2018 Issue

Science

Japanese Scientists in *Science* 2017

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* 2017では、2017年の1年間にサイエンス誌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、サイエンス誌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、2018年1月時点のものになります。

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

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

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

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

表紙デザイン
株式会社大伸社 東京本社
〒151-0051 東京都渋谷区千駄ヶ谷 2-9-9
TEL：03-3405-0603　FAX：03-3405-0653
http://www.daishinsha.co.jp/

発行日
2018 年 3 月

© 2018 American Association for the Advancement of Science (AAAS). All Rights Reserved.

Science

Japanese Scientists in *Science* 2017

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138年にわたり最も長い歴史を持つ科学学術誌のひとつとしてあらゆる分野の科学研究をリードしてきました。オンラインの姉妹誌である*Science Signaling*および*Science Translational Medicine*、さらに2016年に新たに創刊された*Science Immunology*と*Science Robotics*とともに、近年重要性を増す研究領域にフォーカスしながら、学問の新たな地平を切り拓く科学的知見を発信しています。

この「サイエンス誌に載った日本人研究者」は2007年に創刊され、*Science*に掲載された日本人による研究を選び取り上げています。今号では47件の研究の紹介に加え、*Science*が発表する2017年の最も顕著な10項目の科学的業績（Breakthrough of the Year）を日本語訳で掲載しています。2017年最も注目すべきトピックとして選ばれたのは、2つの中性子星が合体するという壮大な規模の天体現象が観測されたことでした。これに先立ち、LIGO計画は2016年にレーザー干渉計型検出器を用いて重力波の検出に初めて成功しており、同年のBreakthrough of the Yearおよび2017年のノーベル物理学賞にも選ばれました。今回の現象はLIGOを含むさまざまな検出器によって観測されており、ガンマ線バーストなどに関わる重要な仮説を裏付ける結果として、今後広範な宇宙物理学理論の検証を推し進める文字通りのブレークスルーになると期待されています。その他、生命科学の分野で急速な発展を遂げるゲノム編集技術、ノーベル化学賞にも選ばれたクライオ電子顕微鏡による生体分子の構造解析、東南アジアで発掘された大型類人猿、さらに論文プレプリントの普及に伴う新たな科学コミュニケーションの話題などもトピックとして挙げられ、本誌の中で紹介しています。

本誌は大学等研究機関のほか、国内のスーパーサイエンスハイスクールに配布されています。未来の日本の科学界を担う学生・生徒の教育にも活用していただく目的で、従来に引き続き、専門的な研究内容をわかりやすく紹介する*Science*の著者によるコラムを3本掲載しています。そのひとつは、130億年前に遡るブラックホールの起源をコンピュータのシミュレーションにより再現するという野心的な取り組みです。さらに、若い世代にも関心の高いiPS細胞やゲノムの研究についても解説記事を執筆していただきました。本誌を日本の科学新興のためお役立ていただけることを祈念しております。

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

2018年3月

編集チーム一同

2017 Breakthrough of the Year

宇宙の集会：2つの中性子星の合体に何千人もの観測者が夢中になり、宇宙物理学上の予測がいくつも立証された

Cosmic Convergence : The merger of two neutron stars captivated thousands of observers and fulfilled multiple astrophysical predictions

Adrian Cho

8月17日、世界中の科学者がこれまで見たことのない天体現象を目の当たりにした。1億3千万光年の彼方で2つの中性子星が互いにらせんを描いて合体し、壮大な爆発を起こしたのである。この天体現象は、ガンマ線検出器から電波望遠鏡にいたる様々な観測装置を用いて研究された。この爆発現象の観測により、いくつもの宇宙物理学上重要なモデルが立証され、多くの重元素の生成場所が明らかになった。また、これまで実現できなかったような一般相対性理論の検証も行われた。サイエンス誌は、この中性子星合体を初めて観測できたことと観測により得られた科学的な収穫を2017年の「今年のbreakthrough」に選んだ。

特に注目すべき点は、この天体現象が発見された方法である。中性子星が合体する直前、らせん運動をする際に放出され、重力波とよばれる時空のゆがみによって生じる、微小な波紋を検出したことで、この天体現象は発見された。重力波を人類が初めて検出したのは、わずか27ヵ月前のことである。Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory（レーザー干渉計重力波観測所［LIGO］）が、2つの大質量ブラックホールが互いにらせんを描いて合体する、電磁波で観測できない激変現象により生じる時空の振動を感知した。重力波の発見は、サイエンス誌の2016年の「今年のbreakthrough」であった。

昨年の観測が発見のファンファーレだとしたら、今年の観測は科学の交響曲である。その違いは、電磁波で観測できる物質の存在にある。ブラックホールは、巨大な星が崩壊して生じる特異点に残る、実体の見えない重力場であり、物質が加熱され放射する様子が観測できない。これに対し、中性子星はほぼ純粋な中性子からなる球で、この世で最も密度の高い物質として、観測できる状態で存在する。ブラックホールの衝突は重力エネルギー以外では観測できないのに対し、中性子星の激突は光のショーであり、それが70以上の観測器で研究された。「1つの天体現象から引き出しうる情報量に圧倒された」とLIGOチームを代表して、アトランタ・ジョージア工科大学の物理学者であるLaura Cadonatiは語る。

らせん運動をする中性子星からの重力波は、ワシントン州ハンフォードとルイジアナ州リビングストンにある巨大なLIGO検出器だけではなく、フランス・イタリアが共同運用するイタリア・ピサ近郊のVirgo検出器でも観測された。Virgoが5年にわたるアップ・グレードを終えて、観測を始めてから17日目のことであった。研究者たちは、2つの中性子星が合体に向けてらせん運動をしている信号を受信していることにすぐに気が付いた。ブラックホールの合体では秒単位の継続時間で変動する低周波数の重力波を生じるのに対し、より質量の小さい中性子星連星は高周波数の信号を発し、その振動数と強度は数百秒間にわたり増幅した。

その重力波の増幅は、花火の合図であった。2秒後に、NASAのフェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡がショート・ガンマ線バーストの信号を検出した。それに続き、他の望遠鏡も重力波源にねらいを定めた。重力波は離れた場所に位置する3つの検出器によって発見されたため、研究者たちは、三角測量により中性子星連星の位置を知ることができた。11時間のうちに、複数の可視光・赤外線天文学者のチームが、系外銀河NGC4993の端に新たに生じた光源を発見した。数日間にわたってその光源は、明るい青から暗く赤い光へと弱まっていった。そして11日後に、重力波源はX線と電波で増光し始めた。この爆発現象は、天文学史上で飛びぬけて研究された天体現象となった。953の研究所に所属する3,674人の研究者が共著で、この中性子星合体とその余波に関する研究を1報の論文にまとめた。

これらの観測により、25年前に提唱された、中性子星合体によりショート・ガンマ線バーストが発生するという仮説を支持する結果が得られた。また、赤みを帯びていく残光は、キロノヴァとよばれるモデルとよく一致した。このモデルによると、中性子星の衝突合体によりr過程として知られる一連の核相互作用が生じ、中性子を多く含む物質が宇宙空間に放出される。r過程により、鉄より重い元素の半分が生成されると考えられている。最も重い元素は青い光を吸収し、合体した中性子星の周囲に広がる放射性のガス雲を赤くするのである。「概念に過ぎなかった事象が現実のものとなっていくのを目の当たりにして、非常に興奮している。このモデルはすべて、基本的には観測的検証のない理論に基づいていた」と、キロノヴァ・モデルを提唱した、カリフォルニア大学バークレー校のDaniel Kasenは語る。今回の観測は、アルベルト・アインシュタインの一般相対性理論をも支持する結果を得た。重力波が、他の理論が予想したように、光速よりも遅い速度では伝搬せず、一般相対性理論が予想したように、光速で伝搬することを証明したのである。

一方で今回の中性子星合体は、宇宙物理学者がさらに

多くのデータが欲しくなるような謎ももたらした。例えば、ガンマ線バーストは驚くほど弱かった、とイリノイ州エバンストンのノースウェスタン大学に所属する、LIGOチームのメンバーであり宇宙物理学者のVicky Kalogeraは語る。ショート・ガンマ線バーストは、合体した中性子星から幅の狭いジェットが光速に近いスピードで、サーチライトのように放たれる際に生じると考えられている。ガンマ線バーストが弱かったことに対する最も単純な解釈としては、ジェットが地球の方向を向いていなかった、と考えることができる。しかし、宇宙物理学者たちのモデルが正しくなく、中性子星合体により弱いガンマ線バーストしか生じない、という可能性もある、とKalogeraは語る。この問題を解決するためには、宇宙物理学者たちはさらに多くの中性子星合体を観測する必要がある。

また宇宙物理学者たちは、中性子星が互いにらせん運動をして合体する瞬間まで重力波を観測したいと考えている。今回の初観測でLIGOとVirgoの検出器は、中性子星が加速しながら互いにらせん運動をし、徐々に高い周波数の重力波を放出する様子を追跡した。しかし1秒約500回転を超えたところで重力波の周波数はLIGOの感度の限界を超え、合体にいたる最後の数回転を検出することができなかった。

最後の数回転が観測できれば、中性子星、すなわち、太陽よりも少し重たいが20～30キロメートルの大きさしかない純粋な核物質の球体の性質を知ることができただろう。宇宙物理学者たちは、中性子星を構成する物質がどのくらい硬いか柔らかいか、すなわち、いわゆる状態方程式で表される性質を知りたいと考えている。原理的には、重力波によりその情報が明らかになる。物質がより硬ければ中性子星はより大きくなり、共にらせん運動をするより早い段階で互いにばらばらになり、信号を変化させる。「状態方程式を決定するには、合体する瞬間まですべてを観測する必要がある」と、ニューヨーク州立大学ストーニーブルック校に所属する天体核物理学者のJames Lattimerは語る。研究者たちは、例えば、巨大な検出器を巡るレーザー光を操作することにより、LIGOの高周波数側の感度を改善したいと考えている。しかしそのような改善は、数年を要する可能性がある。

科学者たちはまた、中性子星とブラックホールの合体のような、理論的には稀だと示唆されている、新たなタイプの現象を観測したいと考えている。天の川銀河中の個々の星の超新星爆発もまた、検出可能な重力波を放出すると考えられている。超新星爆発からの重力波が観測されれば、宇宙物理学者は、星がどのように爆発するかを解明する手がかりを得ることができる。パルサーと呼ばれる高速回転する中性子星は、定常的な重力波の振動をまき散らしているかもしれない。今後数十年間で科学者たちは、宇宙に重力波検出器を打ち上げたいと考えている。これが実現すれば、銀河中心の超大質量ブラックホールの合体から放出されるような、低周波数の重力波を検出することができるようになるだろう。

最もわくわくするのは、宇宙物理学者たちが全く予想していなかった信号の検出である、とカリフォルニア州パロアルトのスタンフォード大学に所属する理論宇宙物理学者であるRoger Blandfordは語る。「予想に反する信号の検出を願っている」。

ピンポイントな遺伝子編集

Pinpoint gene editing

Jon Cohen

60,000以上の遺伝子異常がヒトの病気に関連しているが、そのうちの35,000近くは、ゲノム中の特定の位置における、たった1つのDNA塩基の変化という最小のエラーによって引き起こされている。今年、このような点変異を修正するための「塩基編集（base editing）」と呼ばれる新たな技術に関して大きな進歩が発表された。しかもDNAだけでなくRNAにおいても、である。研究者たちはすでにこの進歩を利用しており、これは最終的には医療への応用につながる可能性がある。

塩基編集は、強力な研究ツールとして2012年に登場した「分子のハサミ」であるCRISPRを流用したものであり、ハーバード大学の化学者であるDavid Liuがその先駆者である。CRISPRは特定の場所でDNAを切断して、遺伝子の機能を破壊するエラーを導入することに長じている。しかしCRISPRは、DNAの4つのヌクレオチド塩基（A、C、TおよびG）の1つが別のものに置換されている点変異のような間違いの修正においては、安定した成果をもたらしていなかった。Liuのグループは CRISPRのツールボックスを改変して、DNAを標的の位置で切断せずに解きほぐし、1つの塩基を別の塩基に化学的に置換する塩基エディタを創り出した。昨年、Liuとその共同研究者たちは異常型のCをTに変換したが、今年は正しくないG（最も一般的な点変異）をAに置き換えることに成功した。また、同じく近隣のマサチューセッツ州ケンブリッジにあるBroad Institute所属のFeng Zhangが率いる別のチームは、塩基編集がRNA中のGをAに変えることができることを実証した。

中国の研究者たちは今年、病気の原因となる点変異をヒトの胚において修復し、塩基編集の能力を示した。彼らは胚を移植することは全く視野に入れておらず、また、修復が常に成功したわけではなかったものの、この偉業は、CRISPRという贈り物の恩恵は尽きることがなく、塩基編集が「巨大な可能性」を秘めていることを証明している。

270万年前の地球大気

Earth's atmosphere 2.7 million years ago

Paul Voosen

世界の南端にある氷、そこは別世界への扉である。その氷は、太古の地球大気を小さな泡に閉じ込めている。2017年8月に、プリンストン大学とオロノにあるメイン大学の研究者率いるチームは、270万年前に凍った南極の氷を回収したと発表した。この南極の氷は、既存のどの氷のサンプルより170万年も古く、地球の気候の歴史にとって極めて重要な時代を大気が直に記録しているのである。

アランヒルズは南極の荒涼とした場所で、厳しい風が雪や若い氷をはぎ取るため、太古の氷は高密度で光沢のあるものになる。アランヒルズで掘削された最も古い氷（2015年に掘削）は、最初の氷河期が進行中の時のものであった。これは、従来なら10万年の氷河期サイクルのはずのものが、4万年サイクルとなっており、そうした短い時間間隔を示すということは、温暖化している現代の気候の特徴に似ている。

気候変動のきっかけになる手がかりを求めて、研究者らはコアに捉えられた空気を測定した。大気の記録を解明することは困難である。なぜなら、従来の南極氷床コアのような層状のケーキ構造とは異なり、このコアはよりごちゃ混ぜになった構造だからである。初期分析では、氷河期の始まりにおいては二酸化炭素レベルが300ppm以下で、現在の400ppmよりはるかに低い値であった。より高いレベルを示す同時代の別の記録とは異なっているが、地球が氷河期サイクルに入るにはこのような低濃度の値が不可欠であると予想する気候モデルの正当性を立証した。

科学者らは、アランヒルズを再訪し、さらに多くのコアを掘削し、最終的に500万年前に遡る氷を採り出せることを期待している。500万年前の世界は、現代の人類が引き起こした温室効果に似た条件を持つからである。

がん治療薬の射程圏

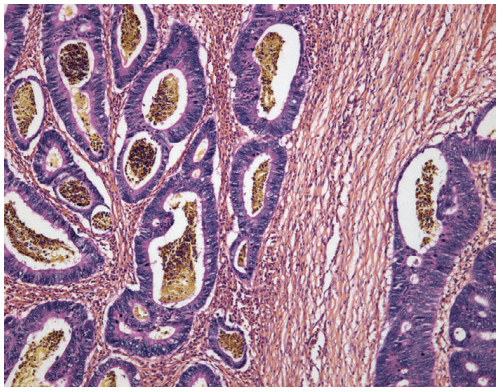
A cancer drug's broad swipe

Jennifer Couzin-Frankel

ついにこの時がやってきた。がんの生じた臓器別ではなく、そのDNA異常のパターンに基づいて効果を発揮するがん治療薬の登場である。5月に米国食品医薬局（FDA）は、初めてそのような薬剤を承認した。その薬剤の名はペムブロリズマブで、メルク社が製造し「キイトルーダ」の名称で販売している。今回の5月の承認前にすでに、悪性黒色腫（皮膚がんの一種）や複数のがん種への治療の承認を得ていたが、今や大人も子供も含めたあらゆる進行固形腫瘍で、ある特徴を有するものであれば投与可能となった。その特徴とは、「DNAミスマッチ修復異常」という奇妙な名称で呼ばれている状態である。これは、膵臓・大腸・甲状腺その他あらゆる臓器で発生したがんの中に、DNAを修復する遺伝子の異常が存在する状態である。

FDAの今回の承認は、がん治療に大きな転換をもたらす。その理由は、異なる臓器に出現したがんで共通する因子のほうが、同一臓器に出現するがんで共通する因子よりも多い場合があるにも関わらず、この知見を治療に生かすのはこれまで容易でなかったためである。この点についてのbreakthroughは2015年に訪れた。米国メリーランド州ボルティモアのジョンズ・ホプキンス大学のLuis Diaz医師（現在はニューヨークのメモリアル・スローン・ケタリングがんセンター在籍）率いる医師団は、大腸がん患者へのペムブロリズマブを用いた臨床研究を行った。彼らの示した結果は驚くべきものであった。ペムブロリズマブは、腫瘍に対抗する免疫システムを活性化する「免疫チェックポイント阻害薬」と呼ばれる薬剤であるが、この薬剤で、DNAミスマッチ修復異常を有する13症例のうち8症例の腫瘍に縮小がみられ、残りの症例のうち4症例で腫瘍の進行が抑制された。これに対して、DNAミスマッチ修復異常が認められない大腸がんの25症例においては、この治療に反応しなかったのである。この理由として、DNAミスマッチ修復異常があると腫瘍にDNA変異が幾百となく起こり、免疫システムが腫瘍細胞を異物と認識しやすくなり、そして腫瘍細胞を退治するのであろうと医師団は推測した。

ジョンズ・ホプキンス大学の先のDiaz医師やDung Le医師、そして多くの研究者たちにより6月に公表された研究では、12種の異なる腫瘍を含む86症例の、いずれもDNAミスマッチ修復異常が認められる、状態のよくない患者へ治療を拡張し、53%の症例でこの薬剤の効果がみられた。こうした研究も後押しとなってFDA承認となった。腫瘍治療に従事する医師たちは、今回の薬剤が第1号となり、多くの薬剤がこのがん治療戦略に沿って続くことを願っている。



大腸がんの細胞：特定の遺伝子異常があれば、今やどんな固形腫瘍もペムブロリズマブによる治療を受けることができる。

ホモ・サピエンスの起源が遡った

Deeper roots for *Homo sapiens*

Ann Gibbons

モロッコの洞窟で発見されてから永年見過ごされてきた頭骨化石が、今年の再調査によって現生人類（ホモ・サピエンス）の化石記録を遡らせることになり、ホモ・サピエンスの起源論争に火をつけた。研究者たちが発表した30万年前という驚くべき年代は、最古のホモ・サピエンスとして、広く受け入られてきたエチオピア出土の化石群よりも10万年も古い。

この化石は1961年に鉱山作業員たちによって発見され、「アフリカのネアンデルタール人」に属すると長い間考えられてきた。というのも、ネアンデルタール人や他の古代型ホモ属が持ついくつかの原始的な特徴が認められたからだ。1本の歯の放射年代測定からは、16万年前と推定されていた。

しかし、顔面が前に突き出さずに頭蓋骨の下に収まっているなどの現代人的な特徴も複数みられたので、ドイツのマックス・プランク進化人類学研究所の古人類学者Jean-Jacques Hublinはこの化石に強く惹きつけられた。これは非常に初期段階のホモ・サピエンスなのではないだろうか、そうだとすれば、従来の推定年代よりももっと古くてもおかしくないはずだ。

とりあえず、この化石が産出した地層から年代測定が可能な堆積物をわずかでも掘り出そうと、Hublin率いるチームはマラケシュ（モロッコ）から100km西方のジェベル・イルードの崩壊した洞窟を再発掘した。彼らが発見したのは、堆積物だけではなかった。新たに、少なくとも5個体分の頭蓋骨片、顎の骨、歯や手足の骨というボーナスまで付いてきた。

化石群と一緒に見つかったフリント製の石器群を熱ルミネッセンス法で年代測定したところ、28万年～35万年前と判定された。これは改良を加えた放射性年代法により、新たに測定された歯の年代値、28万6,000年前と矛盾しない。そして、ホモ・サピエンスが少なくとも30万年前に誕生したとする、アフリカ人のDNA分析が示す結果とも食い違わない。

33万年～30万年前には、アフリカ全土に拡散して現代人へと進化していった、初期のホモ・サピエンスの大集団がいて、交雑も行われていただろう。ジェベル・イルード人は、この集団の一部だったとHublinらは考えている。初期ホモ・サピエンスの起源は従来説よりも古く、アフリカの広い地域に及んでいた可能性がある。最古段階のホモ・サピエンスの新たな化石探しにも、弾みがつくかもしれない。

シャイな粒子を探す小さい検出器

A tiny detector for the shiest particles

Adrian Cho

物理学者は今年、最もつかみどころのない素粒子であるニュートリノが、原子核を新しい方法で叩いていることを検出した。この成果は約40年にわたる探索が終わりを告げたことを意味しているが、結果としてニュートリノを検出するのに通常用いられる巨大なハードウェアは不要だった。電子レンジの重さくらいの移動式検出器で事足りたのである。
特定の原子核反応により生成されるニュートリノは滅多に他の物質と相互作用しないため、無数のニュートリノが地球を突き抜けている。しかし、稀にニュートリノは原子核の中性子を叩いて陽子に変え、自身は電子のような検出可能な粒子に変化する。もしくは陽子か中性子にぶつかり跳弾し、このとき原子核を弾き飛ばす。これらの相互作用はあまりにも低頻度であるため、検出器は的となる物質を何トンも有する必要がある。物理学者は的として、鉄からドライクリーニング用の液体にいたるまで、あらゆる物質を使用した。しかし、1974年に理論物理学者は、ニュートリノのエネルギーが十分低いならば、量子波動としてふるまい、原子核のすべての陽子と中性子に同時に反射されることを予言した。このような「コヒーレント散乱」は相互作用の可能性を大幅に上昇させるものの、原子核の低エネルギーの跳ね返りは検出困難である。
今年、81人によるCOHERENT共同研究チームは待ち望んでいたコヒーレント散乱を検出した。彼らは原子核が跳ね返った際に光を出す、ナトリウムを添加したヨウ化セシウムの大きな結晶から作成した、14.6キログラムの検出器を用いた。コヒーレント散乱を起こせるエネルギーの低さで、なおかつ跳ね返りが検出できるエネルギーの高さがある、米国テネシー州のオークリッジ国立研究所にあるスパレーション中性子発生施設からのニュートリノをこの検出器に当てた。
このような小さいニュートリノ検出器は今後、原子炉が核不拡散規制を遵守しながら稼働しているか等の原子炉の監視を行う際、あるいはさらに検出が困難な「ステライルニュートリノ」の捜索に役立つかもしれない。異なる原子核からのニュートリノのコヒーレント散乱を比較することにより、物理学者は原子核構造を新しい方法で探索できる可能性がある。しかし、増幅された散乱にも短所がある。物理学者が今まで以上に敏感な検出器で宇宙暗黒物質を検出する際、太陽からのニュートリノのコヒーレント散乱は干渉源となりうる。

原子レベルの生命
Life at the atomic level
Elizabeth Pennisi

これは、*Science*の最高賞に輝くと同時に、その影響が増大し続けている稀に見る革新である。しかし、今年はクライオ電子顕微鏡（クライオEM）の当たり年で、おかげで複雑な分子が互いに作用しているところを静止画像で捉えることが可能になった。今年、クライオEMは主要な蛋白質複合体の機能について多くの洞察を提供し、アメリカ国立衛生研究所（NIH）は全国にクライオEMセンターのネットワーク網を設置した。また、この技術の開発者の一部がノーベル化学賞を受賞した。

クライオEMは水中で活動中の分子を、液体エタンを用いて急速冷凍する。研究者はこれを電子顕微鏡下で観察し、コンピュータプログラムを用いて画像をソートし、データから一貫した構造イメージを組み立てる。構造生物学のゴールドスタンダードであるX線結晶構造解析とは異なり、クライオEMでは対象とする分子を結晶化（多くの場合、困難な課題）する必要はなく、また分子が活動中のところを捕捉するため、機能のカギを明らかにしてくれる。この技術の源は数十年前に遡るが、器具レベルの向上、画像の処理および解析を迅速化するソフトウェア、そしてエラーを減らす取り組みにおける良質で新しい標準法が、爆発的な進歩の引き金を引いた。

これまで可視化されなかった構造について近原子分解能を提供することで、クライオEMは、生化学および遺伝学における何十年にもわたる観察結果を説明する助けとなっている。今年、この技術によって、RNA処理のカギとなる機構であるスプライソソームがいかに機能するかに関する新たな洞察、細胞の生活環で膜のリモデリングを行う蛋白質に関するより明確な見解、そしてDNAの損傷を修復する酵素についての洞察が得られた。この技術はまた、アルツハイマー病患者の脳内に蓄積している神経原線維変化やプラーク形成性線維の高解像度モデルを提供し、遺伝子編集を行う複雑なCRISPRがどのようにDNAを捕捉し操作するのかを示した。さらに研究者らは、紅藻の巨大な集光性蛋白質複合体やこれまで研究の圏外にあったいくつかの小さな蛋白質複合体の構造を明らかにすることで、大分子や小分子を解明するクライオEMの能力を押し上げたのである。

新発見の大型類人猿
A new great ape species
Erik Stokstad

新発見の類人猿、タパヌリ・オランウータン（*Pongo tapanuliensis*）の世界にようこそ。ヒト科の新しい生存種として大型類人猿が最後に発見されたのは約90年前のことで、今年11月に研究者らによってオランウータンの第3の種がお披露目されたのは祝うべきことである。この歓迎の気分に一抹の不安を投げかけるのは、インドネシアの脅威に曝された森林で小さな個体群が1つ生存しているだけという事実である。

今年まで、ボノボ、チンパンジー、2種のゴリラ、2種のオランウータン、そしてヒトが、大型類人猿の全体を構成していた。新しいオランウータン種は、これまで知られていたオランウータン種の1つが棲息した地域の南部である、インドネシアのスマトラ島に棲んでいる。もう1つのオランウータン種はボルネオ島に棲んでいる。DNA、解剖学的特徴、および生態学的特徴に基づいて同定されたこの新種は、棲息しているバタン・トルの森のあるタパヌリ地域の名にちなんで命名された。

3種のオランウータンのゲノムを比較したところ、オランウータンの進化史に関する洞察が得られた。現存するオランウータンたちの祖先は、海面が低くランドブリッジが露出していた数百万年前に、マレーシアからインドネシアの島々に広がったと推定される。新たな研究によれば約340万年前に、スマトラ島北部にいたオランウータンはボルネオやスマトラ島南部にいたオランウータンから分化したが、スマトラ島南部のオランウータンがボルネオ島のオランウータンから分化してタパヌリ・オランウータンとなったのは、わずか67万4千年前のことであった。何がこのような種形成の誘引となったのかは不明であるが、およそ7万3千年前に起きた巨大火山の噴火がスマトラ島にいた2種の分化を促進し、結果として全ての同系交配が止まったと考えられる。

重大な危険が待ち構えている。わずか約800個体のタパヌリ・オランウータンが、孤立した森に棲息している。1本の道路が1,100平方キロの棲息地を分断しており、この森林も公に保護されているにも関わらず不法な伐採によって縮小しつつある。これらに加えて決定的な脅威となるのが、計画中の水力発電ダムである。保護を唱える人たちは、この孤立した個体群を新しい種として認識することが、その窮状に対してより大きな注目を向けさせることになると期待している。

生物学分野の論文プレプリントが急成長

Biology preprints take off

Jocelyn Kaiser

生物学者たちは、物理学者たちが査読付きジャーナルに論文が掲載される前に、日常的に論文原稿をオンラインで共有しているのを、何十年も傍らで見てきた。しかし、今年になって生物学におけるプレプリントの共有が急成長し、何千人もの生命科学者がレビュー前の論文をオンラインで公表するようになった。資金提供側も、このような形の科学コミュニケーションを支持している。

これは4年前に、ニューヨークにあるコールド・スプリング・ハーバー研究所が無料の生物学プレプリントサーバであるbioRxivを立ち上げたことに端を発している。計算生物学の論文がポツポツと掲載されていたbioRxivが、今や微生物学から細胞生物学、神経科学までの分野の実験研究を含むまでに成長した。著名な生命科学者たちが、プレプリントは科学の歩調を速め、若い研究者たちが研究業績を築く一助となるものであるとして各地で同僚たちを説得している。

今年の初め、米国と英国の組織がプレプリントの共有を推奨するポリシーを表明して、このような活動を大きく後押しした。4月には、新たな慈善団体であるChan Zuckerberg InitiativeがbioRxivへの非公開の投資を発表し、生物学分野で最もポピュラーなサーバとしての地位が固められた。ほとんどの論文誌は現在、著者が投稿した論文をプレプリントとして掲載することを認めており、一部には、掲載する論文をbioRxivで探している編集者もいる。

この動きには、まだ先に長い道のりがある。bioRxivや他のサーバに毎月掲載される1,500報ほどの生物学分野のプレプリントは、生物学の要約データベースであるPubMedに追加される新着論文、およそ100,000報のわずか1.5％を占めるに過ぎない（対照的に、素粒子物理学の論文は約70％が最初にプレプリントとして公開されている）。また、査読者の承認印を得ていない研究の共有を快く思っていない生命科学者も多い。それでも「これほど急速に物事が変化したのは凄いことだ」とカリフォルニア大学サンフランシスコ校の細胞生物学者でプレプリントを支持しているRonald Valeは言う。「コミュニケーション文化における大いなる変化だ」。

遺伝子治療の快挙

Gene therapy triumph

Jocelyn Kaiser

今年、小さな臨床試験の劇的な成功が遺伝子治療の分野を活気づけた。

致死的な遺伝性神経筋疾患をもって生まれた複数の赤ちゃんの生命が、失われた遺伝子を脊髄ニューロンに導入することにより救われたと報告された。もし治療しないままにしておくと、これらの赤ちゃんは2歳までに死亡していたであろう。この試験はまた、より大きな意義を持つマイルストーンでもある。なぜなら、脳と脊髄を血液媒介病原体および毒素から保護する血液脳関門を越えて、新しい遺伝子を送達したからである。この業績は、他の神経変性疾患を治療するために遺伝子治療を用いることへの扉を開き得るものである。

この成功のカギとなったのは、遺伝子治療において標的細胞まで遺伝子を運ぶために広く用いられている、アデノ関連ウイルス（AAV）と呼ばれる無害なウイルスであった。2009年に、フランスとNationwide Children's Hospital in Columbus（オハイオ州）のグループが、マウス新生仔に対して経静脈的に投与されたAAV9と呼ばれるタイプのAAVが、脳と脊髄に浸透できることを発見した。

今回、全米規模の研究者らが、乳児における死亡の最も多い遺伝的原因である脊髄性筋萎縮症1型（SMA1）を、経静脈的AAV9を用いた遺伝子治療により阻止できることを示した。SMA1を保有する新生児は、脊髄の運動ニューロンに必要とされる蛋白質を欠失しており、筋力が弱く、最終的に呼吸ができなくなる。今年の11月に、全米のチームとAveXis社は、欠失した蛋白質をコードする蛋白質を搭載した高用量のAAV9の投与を受けた12人の赤ちゃんが、1人を除いて、話し、食事をし、短い時間ではあるが自分で座ることができるようになったと報告した。1人の少女は速く歩けるようになり、1人の少年は走れるようになった。新規薬剤により同様の結果が達成されているが、これは数ヵ月ごとに脊髄に注射する必要がある。

現在、他の遺伝子を搭載したAAV9の注入を用いて、重度の遺伝性脳疾患を有する子供の治療を試みている。これまで、こうした子供に遺伝子治療を施すためには頭蓋骨に孔を開けなければならなかったが、あまり効果はなかった。

SMA1による結果は、今年他の遺伝子治療で得られた進歩に続くものである。患者の免疫細胞に体外で遺伝子改変を行い、次いで再注入するという2つのがん治療は、米国で上市される最初の遺伝子治療となった。そして12月19日に、米国食品医薬品局（FDA）は、失明をもたらす稀な遺伝性疾患に対する初の遺伝子治療を承認した。

脊髄性筋萎縮症1型に対して新しい遺伝子治療を受けた後のEvelyn Villarrealちゃん。（MIKE SHANAHAN）

Japanese Scientists in *Science* 2017

サイエンス誌に載った日本人研究者

2017 Breakthrough of the Year 2

1月6日号 Research Article

減数分裂期におけるDNA二本鎖切断末端切除の全体像 14

A global view of meiotic double-strand break end resection

Research Fellow, Molecular Biology Program, Memorial Sloan Kettering Cancer Center 山田 真太郎

1月6日号 Report

準惑星ケレス表面の水質変成したレゴリス中の大量の水氷：探査機ドーンの核分光データから得られた証拠 15

Extensive water ice within Ceres' aqueously altered regolith: Evidence from nuclear spectroscopy

Senior Scientist, Planetary Science Institute 山下 直之

1月13日号 Research Article

一軸性圧力下でSr_2RuO_4が示す超伝導転移温度の強い極大 16

Strong peak in T_c of Sr_2RuO_4 under uniaxial pressure

Group Leader, Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids Clifford W. Hicks

Post-doctoral research scientist, Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids Alexander Steppke

京都大学大学院 理学研究科 教授 前野 悦輝

Director, Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids Andrew P. Mackenzie

1月20日号 Report

シロイヌナズナの根において拡散障壁として機能するカスパリー線形成に必要なペプチドホルモン 17

A peptide hormone required for Casparian strip diffusion barrier formation in *Arabidopsis* roots

名古屋大学大学院 理学研究科 生命理学専攻 教授 松林 嘉克

名古屋大学 理学部 生命理学科 中山 拓弥

名古屋大学大学院 理学研究科 生命理学専攻 助教 篠原 秀文

1月27日号 Report

記憶痕跡細胞集団の重複は記憶の関連づけには必要であるが個々の記憶の想起には必要でない 18

Overlapping memory trace indispensable for linking, but not recalling, individual memories

富山大学大学院 医学薬学研究部(医学)生化学講座 教授

科学技術振興機構(JST) CREST 井ノ口 馨

富山大学大学院 医学薬学研究部(医学)生化学講座 特命助教 横瀬 淳

3月3日号 Report

ビニルボロン酸アート錯体のラジカル－極性交差反応 19

Radical-polar crossover reactions of vinylboron ate complexes

京都大学大学院 工学研究科 物質エネルギー化学専攻 助教 岡本 和紘

3月10日号 Report

階層的準安定ナノ層状鉄鋼材料における骨のようなき裂進展抵抗 20

Bone-like crack resistance in hierarchical metastable nanolaminate steels

九州大学大学院 工学研究院 助教 小山 元道

九州大学大学院 工学研究院 教授 野口 博司

九州大学大学院 工学研究院 教授 津崎 兼彰

4月14日号 Report

カーボンナノベルトの合成 21

Synthesis of a carbon nanobelt

JST-ERATO 伊丹分子ナノカーボンプロジェクト 博士研究員 Guillaume Povie

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

JST-ERATO 伊丹分子ナノカーボンプロジェクト サブグループリーダー / 名古屋大学大学院 理学研究科 特任助教 西原 大志

京都大学 エネルギー理工学研究所 准教授 / JST-ERATO 伊丹分子ナノカーボンプロジェクト グループリーダー 宮内 雄平

名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所 拠点長・教授 / 名古屋大学大学院 理学研究科 物質理学専攻 教授

JST-ERATO 伊丹分子ナノカーボンプロジェクト 研究総括 伊丹 健一郎

4月14日号 Report
ヘキサソームとオクタソームからなるオーバーラッピングダイヌクレオソームの結晶構造 …… 22
Crystal structure of the overlapping dinucleosome composed of hexasome and octasome
早稲田大学大学院 先進理工学研究科 電気・情報生命専攻 教授 / 早稲田大学 構造生物・創薬研究所 所長 胡桃坂 仁志
早稲田大学大学院 先進理工学研究科 電気・情報生命専攻 加藤 大貴
早稲田大学大学院 先進理工学研究科 電気・情報生命専攻 助教（現 Postdoctoral Fellow, Gregor Mendel Institute） 越阪部 晃永

4月14日号 Report
2016年、マグニチュード 7.1 の熊本地震後の過渡的粘性分布の可視化 …… 23
Imaging the distribution of transient viscosity after the 2016 *Mw*7.1 Kumamoto earthquake
Research Fellow, Earth Observatory of Singapore, Nanyang Technological University James Daniel Paul MOORE
国立研究開発法人建築研究所 国際地震工学センター 上席研究員 芝崎 文一郎

4月21日号 Report
乳幼児期におけるクロストリジウム目菌群の獲得は腸管病原菌の感染を防ぐ …… 24
Neonatal acquisition of Clostridia species protects against colonization by bacterial pathogens
Research Investigator, Department of Pathology and Comprehensive Cancer Center, University of Michigan Medical School
（現 慶應義塾大学 薬学部生化学講座 准教授） 金 倫基
慶應義塾大学 先端生命科学研究所 特任准教授 / JST さきがけ 福田 真嗣

5月5日号 Research Article
多能性幹細胞において、CpG-free DNA の挿入は、CpG アイランドの新規メチル化を誘起する …… 25
Integration of CpG-free DNA induces de novo methylation of CpG islands in pluripotent stem cells
Research Associate, Salk Institute for Biological Studies / 筑波大学 生命領域学際研究センター 助教 高橋 悠太

5月5日号 Research Article
IL-10によるマクロファージの代謝再構成を介した抗炎症作用 …… 26
Anti-inflammatory effect of IL-10 mediated by metabolic reprogramming of macrophages
Associate Research Scientist, Department of Immunobiology and Howard Hughes Medical Institute,
Yale University School of Medicine（現 神戸大学大学院 医学研究科 内科学講座消化器内科学分野 助教） 星 奈美子
Associate Research Scientist, Department of Immunobiology and Howard Hughes Medical Institute,
Yale University School of Medicine W. K. Eddie Ip
Professor, Department of Immunobiology and Howard Hughes Medical Institute,
Yale University School of Medicine Ruslan Medzhitov

5月5日号 Report
ドーパミン作動性神経回路の分枝特異的可塑性がタンパク質渇望を符号化する …… 27
Branch-specific plasticity of a bifunctional dopamine circuit encodes protein hunger
Postdoctoral Fellow, Department of Neurology, Johns Hopkins University 刘 绮丽
Postdoctoral Fellow, Department of Neurology, Johns Hopkins University 田渕 理史
Principal Investigator, Department of Neurology, Johns Hopkins University Mark Wu

5月12日号 Report
葉緑体核様体の分離はホリデイジャンクション解離酵素によって媒介される …… 28
Holliday junction resolvases mediate chloroplast nucleoid segregation
京都大学大学院 理学研究科 生物科学専攻 植物学教室（現 国立遺伝学研究所 共生細胞進化研究部門 遺伝研博士研究員） 小林 優介
山口大学大学院 創成科学研究科 理学系学域（生物学分野）生物・化学科 准教授 三角 修己
京都大学大学院 理学研究科 生物科学専攻 植物学教室 助教 西村 芳樹

5月19日号 Report
グラフェンにおける高次高調波発生は楕円偏光励起によって増強される …… 29
High-harmonic generation in graphene enhanced by elliptically polarized light excitation
京都大学大学院 理学研究科 物理学第一教室 光物性研究室
京都大学高等研究院 物質 - 細胞統合システム拠点（iCeMS） 吉川 尚孝
京都大学大学院 理学研究科 物理学第一教室 光物性研究室 教授
京都大学高等研究院 物質 - 細胞統合システム拠点（iCeMS） 田中 耕一郎

5月26日号 Report
スマトラ沈み込み帯浅部の地震性滑りに寄与する沈み込む前の鉱物脱水 …… 30
Release of mineral-bound water prior to subduction tied to shallow seismogenic slip off Sumatra
千葉大学大学院 理学研究科 地球生命圏科学専攻 地球科学コース 日本学術振興会特別研究員DC 尾張 聡子
産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門
（現 Earth Observatory of Singapore Nanyang Technological University 研究員） 浜橋 真理
山口大学大学院 理工学研究科 地球科学専攻（現 株式会社太平洋コンサルタント 電力・原子力技術部 研究グループ） 藏永 萌
島根大学大学院 総合理工学研究科 助教 向吉 秀樹

5月26日号 Report
ヒト細胞マイクロRNAのTudor-SN依存的分解は、G_1/S期移行を促進する …… 31
Tudor-SN-mediated endonucleolytic decay of human cell microRNAs promotes G_1/S phase transition
Staff scientist, Department of Biochemistry and Biophysics, School of Medicine and Dentistry, Center for RNA Biology, University of Rochester
（現 国立遺伝学研究所 無脊椎動物遺伝研究室 助教） 三好 啓太

6月16日号 Report
アト秒電子波束のコヒーレントイメージング …… 32
Coherent imaging of an attosecond electron wave packet
早稲田大学 理工学術院 先進理工学部 応用物理学科 教授 新倉 弘倫

7月7日号 Report
宿主特異性決定因子の機能喪失によるコムギいもち病菌の進化 …… 33
Evolution of the wheat blast fungus through functional losses in a host specificity determinant
神戸大学大学院 農学研究科 教授 土佐 幸雄
神戸大学大学院 農学研究科 学術研究員（現 京都大学大学院 農学研究科 学術研究員） 井上 喜博
神戸大学大学院 農学研究科 学術研究員 Trinh T. P. Vy

7月7日号 Report
化学的環境を識別できる分解能をもったナノスケール核磁気共鳴 …… 34
Nanoscale nuclear magnetic resonance with chemical resolution
筑波大学 知的コミュニティ基盤研究センター 名誉教授 磯谷 順一
量子科学技術研究開発機構 量子ビーム科学研究部門 高崎量子応用研究所 先端機能材料研究部 主幹研究員 小野田 忍
住友電気工業株式会社 アドバンストマテリアル研究所 フェロー / 技師長 角谷 均

7月28日号 Report
手先の器用さに関わる皮質－運動神経結合の種特異的な調節機構 …… 35
Control of species-dependent cortico-motoneuronal connections underlying manual dexterity
Associate Professor, Division of Developmental Biology, Cincinnati Children's Hospital Medical Center（CCHMC） 吉田 富

8月4日号 Report
UBE2Oはタンパク質複合体からあぶれたみなしご分子を標的とする品質管理因子である …… 36
UBE2O is a quality control factor for orphans of multiprotein complexes
Postdoctoral Fellow, Medical Research Council（MRC）Laboratory of Molecular Biology
（現 株式会社 国際電気通信基礎技術研究所 ERATO佐藤ライブ予測プロジェクト In vivoオルガネラグループ グループリーダー） 柳谷 耕太

8月18日号 Report
二次元sp^2炭素共役共有結合性有機構造体 …… 37
Two-dimensional sp^2 carbon-conjugated covalent organic frameworks
北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 環境・エネルギー領域 教授 江 東林
分子科学研究所 物質分子科学研究領域 電子物性研究部門 准教授 中村 敏和

8月18日号 Report
メタン生成代謝に含まれるヘテロジスルフィドレダクターゼ（HdrABC-MvhAGD）は、2つの非キュバン［4Fe-4S］クラスターを還元反応に使用する …… 38
Methanogenic heterodisulfide reductase (HdrABC-MvhAGD) uses two noncubane [4Fe-4S] clusters for reduction
Research Group Leader, Max Planck Institute for Terrestrial Microbiology 嶋 盛吾
Postdoctoral Fellow, Max Planck Institute for Terrestrial Microbiology Tristan Wagner
Technical Assistant, Max Planck Institute for Terrestrial Microbiology Jürgen Koch
Research Group Leader, Max Planck Institute of Biophysics Ulrich Ermler

9月1日号 Report
基本的な転写伸長因子を結合した完全なRNAポリメラーゼII伸長複合体の構造 …… 39
Structure of the complete elongation complex of RNA polymerase II with basal factors
理化学研究所 ライフサイエンス技術基盤研究センター 超分子構造解析研究チーム チームリーダー 関根 俊一
理化学研究所 ライフサイエンス技術基盤研究センター 超分子構造解析研究チーム 研究員 江原 晴彦

9月1日号 Report
不妊の性染色体トリソミーマウスに由来する繁殖可能な子孫 …… 40
Fertile offspring from sterile sex chromosome trisomic mice
Postdoc, Sex Chromosome Biology Laboratory, The Francis Crick Institute 廣田 孝幸
京都大学大学院 医学研究科 生体構造医学講座 機能微細形態学 教授／科学技術振興機構 ERATO 研究総括
京都大学 iPS細胞研究所 研究員／京都大学 物質－細胞統合システム拠点 連携主任研究者 斎藤 通紀

COLUMN
性染色体の気まぐれな進化 …… 41
Sex Chromosome Biology Laboratory, The Francis Crick Institute 廣田 孝幸

9月1日号 Report
NAD^+還元[NiFe]ヒドロゲナーゼのレドックススイッチ機構の構造基盤の解明 …… 42
Structural basis of the redox switches in the NAD^+-reducing soluble [NiFe]-hydrogenase
茨城大学大学院 理工学研究科 量子線科学専攻 准教授 庄村 康人
兵庫県立大学大学院 生命理学研究科 ピコバイオロジー専攻 教授
科学技術振興機構CREST 研究代表者／理化学研究所 SPring-8 樋口 芳樹

9月29日号 Report
電子の結晶成長 …… 43
Electronic crystal growth
東京大学大学院 工学系研究科 物理工学専攻
（現 理化学研究所 創発物性科学研究センター（CEMS）動的創発物性研究ユニット 特別研究員） 佐藤 拓朗
東京大学大学院 工学系研究科 物理工学専攻 教授 鹿野田 一司
東京大学大学院 工学系研究科 物理工学専攻 助教 宮川 和也

9月29日号 Report
初期宇宙では超音速ガス流が大質量ブラックホールの形成を促進した …… 44
Supersonic gas streams enhance the formation of massive black holes in the early universe
JSPS Overseas Research Fellow, Department of Astronomy, University of Texas at Austin
東京大学大学院 理学系研究科 平野 信吾
京都大学大学院 理学研究科 准教授／東京大学大学院 理学系研究科附属ビッグバン宇宙国際研究センター 細川 隆史
東京大学大学院 理学系研究科 教授／東京大学大学院 理学系研究科附属ビッグバン宇宙国際研究センター
東京大学 国際高等研究所 Kavli IPMU（WPI） 主任研究員 吉田 直紀
Emmy Noether Research Group Leader, Institute of Astronomy and Astrophysic, University of Tübingen Rolf Kuiper

COLUMN
「コンピュータで130億年前の宇宙を観る」 …… 45
Department of Astronomy, University of Texas at Austin 平野 信吾

9月29日号 Report
ガラス状態を形成する電荷液体における電子の結晶化とガラス化 …… 46
Crystallization and vitrification of electrons in a glass-forming charge liquid
東北大学 金属材料研究所 助教 橋本 顕一郎
東北大学 金属材料研究所 教授 佐々木 孝彦

9月29日号 Report
テロメラーゼ遺伝子である*TERT*のプロモーター領域の点変異は2段階で腫瘍形成に関与する …… 47
Mutations in the promoter of the telomerase gene *TERT* contribute to tumorigenesis by a two-step mechanism
Department of Molecular and Cell Biology, University of California, Berkeley 千葉 国俊
Department of Molecular and Cell Biology, University of California, Berkeley Franziska K. Lorbeer
Assistant Professor, Department of Molecular and Cell Biology, University of California, Berkeley Dirk Hockemeyer

10月20日号 Report
単一ポリマー成長ダイナミクス …… 48
Single polymer growth dynamics
Department of Chemistry and Chemical Biology, Cornell University
（現 トヨタ自動車株式会社 無機材料技術部 MEGA開発室（11M1）） 久保 香織

11月3日号 Research Article
機能の相異なる細胞タイプが大脳新皮質内で形成する格子系 …… 49
Lattice system of functionally distinct cell types in the neocortex
理化学研究所 脳科学総合研究センター 局所神経回路研究チーム チームリーダー 細谷 俊彦
理化学研究所 脳科学総合研究センター 局所神経回路研究チーム 研究員 丸岡 久人
理化学研究所 脳科学総合研究センター 局所神経回路研究チーム 研究員 中川 直
理化学研究所 脳科学総合研究センター 局所神経回路研究チーム 研究員 鶴野 瞬
理化学研究所 脳科学総合研究センター 局所神経回路研究チーム 研究員 酒井 誠一郎
理化学研究所 脳科学総合研究センター 局所神経回路研究チーム 研究員 米田 泰輔

11月3日号 Research Article
ショウジョウバエの触覚（体性感覚）の神経構造は哺乳類と相同である …… 50
Topological and modality-specific representation of somatosensory information in the fly brain
東京大学 分子細胞生物学研究所 脳神経回路研究分野 准教授
東京大学大学院 新領域創成科学研究科 メディカル情報生命専攻
Professor, Institute of Zoology, University of Cologne
Senior Fellow, Howard Hughes Medical Institute, Janelia Research Campus 伊藤 啓
東京大学 分子細胞生物学研究所 脳神経回路研究分野 研究員 坪内 朝子
東京大学 分子細胞生物学研究所 脳神経回路研究分野
東京大学大学院 新領域創成科学研究科 メディカル情報生命専攻 矢野 朋子

11月3日号 Research Article
PDZD8による小胞体とミトコンドリア外膜の繋留は哺乳類神経細胞内のCa^{2+}イオン動態を制御する …… 51
ER-mitochondria tethering by PDZD8 regulates Ca^{2+} dynamics in mammalian neurons
Postdoctoral Fellow, Department of Neuroscience, Columbia University Medical Center, Columbia University
Mortimer B. Zuckerman Mind Brain Behavior Institute, Columbia University
Kavli Institute for Brain Science , Columbia University/ 科学技術振興機構 さきがけ 平林 祐介

11月3日号 Report
利己的なDNAは紡錘体の非対称性を利用して次世代へ優先的に伝達される …… 52
Spindle asymmetry drives non-Mendelian chromosome segregation
Postdoctoral fellow, Department of Biology, School of Arts and Sciences, University of Pennsylvania 明楽 隆志

COLUMN
メンデルの法則に反する「利己的なDNA」 …… 53
Department of Biology, School of Arts and Sciences, University of Pennsylvania 明楽 隆志

11月3日号 Report
金属薄膜上高速プラズモン光変調器 …… 54
High-speed plasmonic modulator in a single metal layer
PhD student, ETH Zurich, Institute of Electromagnetic Fields（IEF） 綾田 雅文

11月3日号 Report
コンデンシン複合体はDNAに沿って移動するメカノケミカルモーターである …… 55
The condensin complex is a mechanochemical motor that translocates along DNA
Post-doctoral fellow, Department of Biochemistry and Molecular Biophysics, Columbia University 寺川 剛

11月10日号 Review
触媒・電極触媒としてのペロブスカイト型酸化物 …… 56
Perovskites in catalysis and electrocatalysis
Research Laboratory of Electronics, Massachusetts Institute of Technology
京都大学大学院 工学研究科 物質エネルギー化学専攻（現 山口大学大学院 創成科学研究科 助教） 片山 祐

11月17日号 Research Article
電力ネットワーク内で大規模カスケードに対して脆弱な送電線は少数である …… 57
Small vulnerable sets determine large network cascades in power grids
Research Associate Professor, Department of Physics and Astronomy, Northwestern University
Northwestern Institute on Complex Systems, Northwestern University 西川 崇

11月24日号 Report
モット絶縁体Ca_2RuO_4に電流によって誘起された強い反磁性 …… 58
Current-induced strong diamagnetism in the Mott insulator Ca_2RuO_4
京都大学大学院 理学研究科 教授 前野 悦輝
京都大学大学院 理学研究科 日本学術振興会外国人特別研究員 ソウ・チャンチャル
京都大学大学院 理学研究科 助教 米澤 進吾
Post-doc researcher, Max Planck Institute for the Physics of Complex Systems 北村 想太
Group Leader, Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids/
Max Planck Institute for the Physics of Complex Systems 岡 隆史
大阪大学大学院 理学研究科 教授 黒木 和彦
久留米工業大学 教育創造工学科 教授 中村 文彦

12月8日号 Research Article
スプライシング反応後のスプライソソームの構造により
3’スプライシング部位の認識機序が明らかとなった …… 59
Postcatalytic spliceosome structure reveals mechanism of 3’-splice site selection
Programme leader, MRC Laboratory of Molecular Biology 長井 潔
MRC Laboratory of Molecular Biology Max E. Wilkinson

12月8日号 Report
磁気的トポロジカル絶縁体磁壁上の量子化したカイラルエッジ伝導 …… 60
Quantized chiral edge conduction on domain walls of a magnetic topological insulator
東京大学大学院 工学系研究科附属 量子相エレクトロニクス研究センター 安田 憲司
理化学研究所 創発物性科学研究センター センター長
東京大学大学院 工学系研究科附属 量子相エレクトロニクス研究センター 教授 十倉 好紀

12月15日号 Report
相互作用する2次元ワイルフェルミオンの
異常なスピン相関とエキシトン不安定性 …… 61
Anomalous spin correlations and excitonic instability of interacting 2D Weyl fermions
東北大学 金属材料研究所 助教 平田 倫啓
東京大学大学院 工学系研究科 物理工学専攻 教授 鹿野田 一司
名古屋大学大学院 理学研究科 物質理学専攻 物理系 准教授 小林 晃人
東京大学大学院 工学系研究科 物理工学専攻 石川 恭平
名古屋大学大学院 理学研究科 物質理学専攻 物理系 松野 元樹
東京大学大学院 工学系研究科 物理工学専攻 助教 宮川 和也
東京理科大学 理工学部 物理学科 教授 田村 雅史
Emeritus Researcher, Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses,
LNCMI-CNRS（UPR3228), EMFL, UGA, UPS, and INSA Claude Berthier

12月22日号 Report
海洋リソスフェア－アセノスフェアシステムの
内部減衰パラメーターの決定 …… 62
Determination of intrinsic attenuation in the oceanic lithosphere-asthenosphere system
東京大学 地震研究所 准教授 竹内 希

12月22日号 Research Article
ガンマ線バースト観測衛星SwiftとX線宇宙望遠鏡NuSTARによる
重力波源GW170817の観測：青いキロノヴァの検出 …… 63
Swift and *NuSTAR* observations of GW170817: Detection of a blue kilonova
青山学院大学 理工学部 物理・数理学科 准教授 坂本 貴紀

Science 投稿について …… 64

Science 1月6日号 Research Article *Science* 06 Jan 2017: Vol. 355, Issue 6320, pp. 40-45
DOI: 10.1126/science.aak9704

減数分裂期における DNA二本鎖切断末端切除の全体像

A global view of meiotic double-strand break end resection

山田 真太郎 *Shintaro Yamada*
Research Fellow, Molecular Biology Program, Memorial Sloan Kettering Cancer Center
Eleni P. Mimitou[1] Scott Keeney[1,2]
[1] Molecular Biology Program, Memorial Sloan Kettering Cancer Center, New York
[2] Howard Hughes Medical Institute, Memorial Sloan Kettering Cancer Center, New York

Contact
E-mail：yamadas@mskcc.org
所在地：1275 York Avenue, New York, NY 10065, USA
U R L：https://www.mskcc.org/research-areas/labs/scott-keeney/

DNA修復の初期反応を全ゲノムで詳細に捉える

減数分裂によって精子や卵子が作られる際、細胞は両親由来の相同染色体を組み換えることで正常な染色体分配を保証し、子孫の多様性を促す。組換えは細胞自らが導入したDNA二本鎖切断の修復を通して行われるが、初期反応の鍵である「DNA切断末端の加工（一本鎖切除）」には不明な点が多い（図1）。この問題に取り組むため本研究では新手法を開発し、全ゲノムかつ高解像度で出芽酵母における一本鎖切除の終結点を捉えた。完全な一本鎖切除にはDNA分解酵素のExo1とDNA損傷応答リン酸化酵素のTel1が必要で、DNAヘリカーゼのSgs1は不要であった。またTel1はタイミングよく効率的に切除を開始するためにも必要であった。切除の長さは染色体の部位ごとに大きく異なり、これはDNAが巻きついているヌクレオソームがExo1による一本鎖切除を阻む傾向を反映していた。一方で実験結果と数理モデルを組み合わせて求めたExo1の切除速度は速く、試験管内でヌクレオソームフリーのDNAを切除する速度に近かった。この一見、矛盾する結果から、DNA切断末端でのヌクレオソームの不安定化や除去が減数分裂期の一本鎖切除の程度を決める主因と強く示唆された（図2）。

Figure and Note

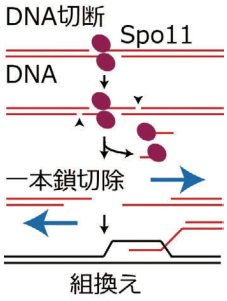


図1：減数分裂期組換えの開始
Spo11により切断されたDNAの末端が一本鎖に分解され、別のDNAに侵入することで組換えが起きる

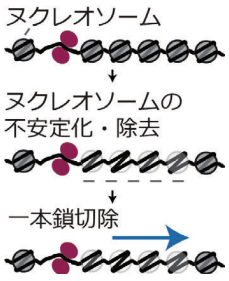
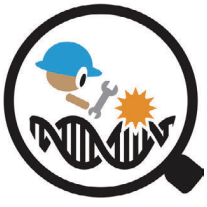


図2：DNA末端切除とヌクレオソーム
DNAの切断に伴って周辺のヌクレオソーム（半透明）が不安定化・除去された後、DNAと強固に結合したままのヌクレオソーム（灰色）に達するまで末端から一本鎖が切除されるモデル



細胞内のDNA修復反応を可視化する

DNAの組換えや修復に重要な一本鎖切除反応は四半世紀以上も前に見つかっていましたがその特徴や反応機構はほとんど分かっていませんでした。本研究ではそれらを高解像度で検出する技術を開発しました。その結果これまで見えなかったり予想されていなかったりした多くの特徴が明らかになり、反応速度や効率も求められるようになりました。私たちの体の中で起こっているDNA修復の過程をさらに詳しく調べることで、DNA修復異常との関連が指摘されるがんなどの病気の理解や治療法の開発が促進できると考えられます。

Science 1月6日号 Report
Science 06 Jan 2017: Vol. 355, Issue 6320, pp. 55-59
DOI: 10.1126/science.aah6765

準惑星ケレス表面の水質変成したレゴリス中の大量の水氷：探査機ドーンの核分光データから得られた証拠

Extensive water ice within Ceres' aqueously altered regolith: Evidence from nuclear spectroscopy

山下 直之 *Naoyuki Yamashita*
Senior Scientist, Planetary Science Institute

Thomas H. Prettyman[1] Michael J. Toplis[2] Harry Y. McSween[3] Norbert Schörghofer[4] Simone Marchi[5] William C. Feldman[1] Julie Castillo-Rogez[6] Olivier Forni[2] David J. Lawrence[7] Eleonora Ammannito[8] Bethany L. Ehlmann[6,9] Hanna G. Sizemore[1] Steven P. Joy[8] Carol A. Polanskey[6] Mark D. Rayman[6] Carol A. Raymond[6] Christopher T. Russell[8]

[1] Planetary Science Institute
[2] Institut de Recherche d'Astrophysique et Planétologie, CNRS, Université Paul Sabatier
[3] Department of Earth and Planetary Sciences, University of Tennessee
[4] University of Hawaii
[5] Southwest Research Institute
[6] Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology
[7] Johns Hopkins University, Applied Physics Laboratory
[8] Earth Planetary and Space Sciences, University of California, Los Angeles
[9] Division of Geological and Planetary Sciences, California Institute of Technology

Contact

E-mail：yamashita@psi.edu
所在地：6509 Caballero Pkwy.
NW, Los Ranchos de Albuquerque,
NM 87107-5603, USA
U R L：https://www.psi.edu/about/staffpage/yamashita

元素組成観測によりケレスの水含有量、水質変化過程、内部進化を制約

準惑星ケレスは火星と木星の間にある小惑星メインベルト内に位置し、岩と氷の混合物から成る地殻を持っていると考えられてきた。NASAのドーン衛星は、ガンマ線・中性子分光計を搭載し、ケレス表層の深さ約数十cmまでの元素組成を全球にわたり観測した。その結果、現在までに炭素を検出し、水素、鉄、カリウム濃度が明らかになった。

表層の物質はケレス内部において水による変成を受けたと考えられる。氷を含まない低緯度の表層物質（レゴリス）は炭素を有し、水質変成後の炭素質コンドライト隕石と同程度の水素を含んでいることが明らかになった。しかし鉄はそうした隕石よりも含有量が低く、氷と岩の分化により、ケレス全体と表層で組成に変化が生じた可能性がある。また、経度方向には組成の違いがあまり見られなかったため、こうした分化は全球規模で起こったと考えられる。中・高緯度においては、表層物質は高濃度の水素を含んでおり、地下水位が高く、氷が広く存在しており、数十億年にわたって氷が保持されてきたことを支持している。

Figure and Note

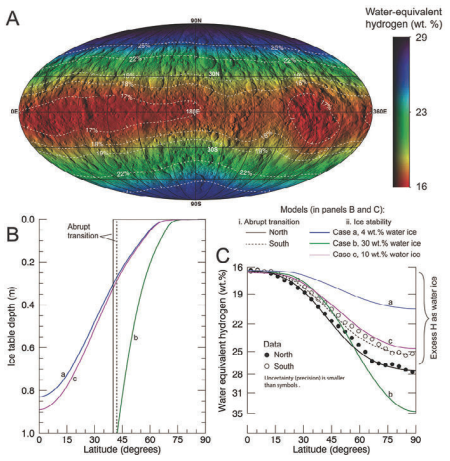


図1：ケレス表層における水素分布図

ドーン衛星搭載のガンマ線・中性子分光計により熱中性子及び熱外中性子を測定し、水素の全球分布を決定した。この結果は氷の安定性モデルと再帰的に比較され、レゴリスの粒子サイズ、多孔度等が決定された。

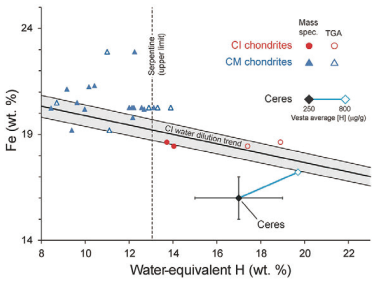


図2：炭素質コンドライトの元素濃度と観測結果の比較

ケレスの低緯度で観測された、氷を含まないレゴリス中の鉄及び水素平均濃度と、炭素質コンドライト隕石の比較。隕石の希薄トレンドからは、ケレスの鉄濃度は外れている。

NASA ドーン・ミッション

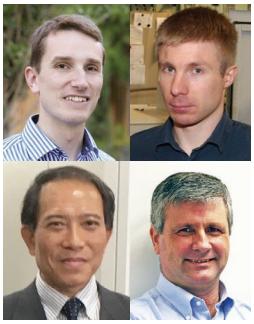
NASAのドーン衛星は2007年9月の打ち上げ以来、火星、小惑星ベスタ、準惑星ケレスを探査してきました。小天体の起源と進化の過程を明らかにすることで、太陽系そのものの成り立ちの謎に迫っています。その功績により、ドーン・ミッションは2016年にThe Robert J. Collier Trophyを受賞しました。その記念碑はアメリカ国立航空宇宙博物館に永続的に展示されています。

写真：ドーン地球化学チームの主要メンバーと共に、Collier Trophy記念碑の前にて。

Science 1月13日号 Research Article *Science* 13 Jan 2017: Vol. 355, Issue 6321, eaaf9398
DOI: 10.1126/science.aaf9398

一軸性圧力下でSr_2RuO_4が示す超伝導転移温度の強い極大

Strong peak in T_c of Sr_2RuO_4 under uniaxial pressure



上左からClifford Hicks、
Alexander Steppke、
下左から前野 悦輝、
Andrew P. Mackenzie

Clifford W. Hicks
Group Leader, Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids

Alexander Steppke
Post-doctoral research scientist, Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids

前野 悦輝 *Yoshiteru Maeno*
京都大学大学院 理学研究科 教授

Andrew P. Mackenzie
Director, Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids

Lishan Zhao[1,2] Mark E. Barber[1,2] Thomas Scaffidi[3] Fabian Jerzembeck[1] Helge Rosner[1] Alexandra S. Gibbs[2,4] Steven H. Simon[3]

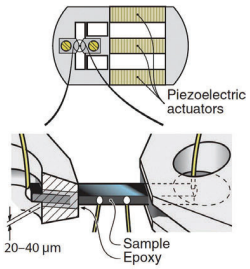
[1] Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids
[2] Scottish Universities Physics Alliance, School of Physics and Astronomy, University of St. Andrews
[3] Rudolf Peierls Centre for Theoretical Physics
[4] ISIS Facility, Rutherford Appleton Laboratory

Contact 前野 悦輝 **E-mail**：maeno@scphys.kyoto-u.ac.jp
所在地：606-8502 京都市左京区北白川追分町
ＵＲＬ：http://www.ss.scphys.kyoto-u.ac.jp/

歪みによって特異な超伝導の性質を引き出す

ルテニウム酸化物Sr_2RuO_4の超伝導は、ヘリウム3の超流動と類似の奇パリティ・スピン三重項のクーパー対形成による画期的な状態と考えられている。この物質の電子状態を意図的に変化させるとその超伝導性はどうなるだろうか？ この動機から、京都大学で育成した高純度単結晶試料にマックスプランク研究所で一軸性圧力をかけた実験を行ったところ、結晶歪の増大とともに超伝導転移温度が2倍以上に上昇したあと急速な減少に転じることが明らかになった。超伝導転移温度が最大となるのはフェルミ面のトポロジーが変わるところに相当する。これらの結果の解析から、圧力によって超伝導ギャップの対称性が奇から偶に変化する可能性を指摘した。スピン三重項の超伝導体はまだ完全に解明された例がなく、今回の超伝導性変化の観測は、有力候補のルテニウム酸化物の超伝導状態を確立する重要なヒントになると期待されている。なお、Hicks博士はこれらの成果により、IUPAP(the International Union of Pure and Applied Physics)の2017年低温物理学若手科学者賞を受賞した。

Figure and Note



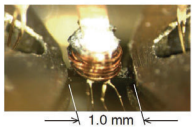


図1： 一軸性圧力印加装置の概略図と測定試料部の写真
(上)外側と内側のピエゾ素子にそれぞれ電圧をかけることにより試料結晶を伸張・圧縮できる。試料結晶に(中)リード線と(下)コイルを装着して電気抵抗と磁化率の測定から超伝導性と電子構造の変化を検出した。

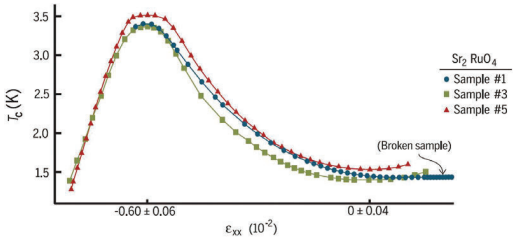


図2：伸縮歪に対するSr_2RuO_4の超伝導転移温度の変化
負のε_{xx}が圧縮歪に対応する。超伝導転移温度T_cは交流磁化率から決定した。T_cは伸張・圧縮両方の歪で顕著に上昇する。その最大値に対応する歪近傍で、3つあるフェルミ面の一つが、円筒状からシート状に変化すると解釈できる。歪のもとでの超伝導臨界磁場とT_cとの関係から、超伝導の対称性が変化する可能性が示唆される。

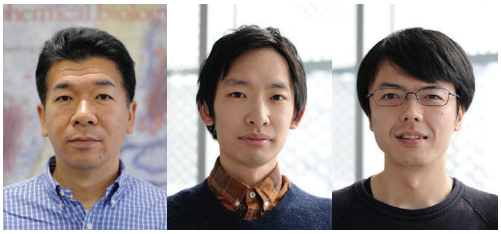
京都大学 固体量子物性研究室メンバー

当研究室は京都大学理学研究科の物理学・宇宙物理学専攻に属し、前野悦輝教授、石田憲二教授、米澤進吾助教、北川俊作助教のもと、海外からの1名のPD、留学生3名を含む12名の大学院生、5名の学部卒業研究生、2名の事務スタッフで活動しています。超伝導体・磁性体などの新奇な量子現象を研究するため、物質開発や単結晶試料育成、そして低温物性測定を行っています。

Science 1月20日号 Report
Science 20 Jan 2017: Vol. 355, Issue 6322, pp. 284-286
DOI: 10.1126/science.aai9057

シロイヌナズナの根において拡散障壁として機能するカスパリー線形成に必要なペプチドホルモン

A peptide hormone required for Casparian strip diffusion barrier formation in *Arabidopsis* roots



左から松林 嘉克、中山 拓弥、篠原 秀文

松林 嘉克 *Yoshikatsu Matsubayashi*
名古屋大学大学院 理学研究科 生命理学専攻 教授
中山 拓弥 *Takuya Nakayama*
名古屋大学 理学部 生命理学科
篠原 秀文 *Hidefumi Shinohara*
名古屋大学大学院 理学研究科 生命理学専攻 助教
田中 美名[1]　馬場 江輝[1]　小川-大西 真理[1]
[1] 名古屋大学大学院 理学研究科 生命理学専攻

Contact
松林 嘉克　**E-mail**：matsu@bio.nagoya-u.ac.jp　**所在地**：464-8602 名古屋市千種区不老町　**URL**：http://www.bio.nagoya-u.ac.jp/~b2/

根の通道組織を守る疎水性バリアをつくるホルモンを発見

植物は根から栄養分を吸収して成長するが、土壌中には生育に必須なイオン成分のみならず、生育に害を与える成分も存在している。植物の細胞と細胞の隙間（細胞間隙）には細胞壁が存在するが、細胞壁はすべての物質を通すため、そのままでは細胞間隙を通って組織の内部にまで各種イオン成分が侵入してしまう。今から約150年前の1865年にRobert Casparyが発見したカスパリー線は、根の内側の内皮細胞の周囲に形成される疎水性の拡散障壁（防水バリア）で、細胞同士の隙間を完全に埋めることによって、栄養分の輸送に関わる通道組織と外界との間における分子の自由な行き来を防ぐ働きをしている。本研究では、このカスパリー線の形成に必要なペプチドホルモン（Casparian strip Integrity Factor: CIF）を発見した。21アミノ酸からなるCIFは道管などが含まれる中心柱と呼ばれる組織でつくられ、その外側に位置する内皮細胞の表面に存在する受容体GSO1/SGN3とそのホモログGSO2に結合する。このホルモンが作れない植物では、カスパリー線が不連続化し、根から栄養分が漏れ出たり土壌から有害な成分が侵入したりするために、植物体が土壌成分の変動に耐えられず、正常に生育できないことが明らかとなった。これらの結果は、刻々と変動する土壌栄養環境への植物の適応のしくみを理解する上で重要な手がかりとなる。

Figure and Note

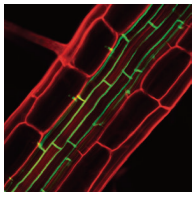


図1：GFPで可視化した根のカスパリー線
シロイヌナズナの根の細胞の輪郭を赤（PI）で、カスパリー線を緑（CASP1-GFP）で可視化すると、通道組織を取り囲む内皮細胞の周囲にカスパリー線が観察される。

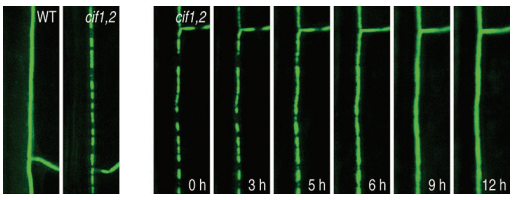


図2：CIFペプチドの欠損によるカスパリー線の不連続化とペプチド添加による回復
*CIF*遺伝子群を欠損するシロイヌナズナ変異株の根（*cif1,2*）では、カスパリー線が不連続化するが、培地にCIFペプチドを加えると、数時間で回復する。

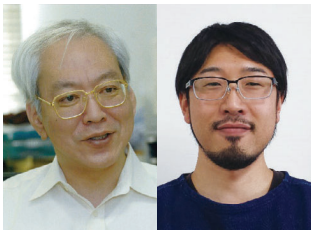
名古屋大学大学院 理学研究科 生命理学専攻
細胞間シグナル研究グループ

モデル植物であるシロイヌナズナには、1回膜貫通型の受容体様タンパク質が600個も見つかっていますが、どのような細胞間シグナルを認識し、どのような役割を果たしているのか、まだそれらの5％程度しか解明されていません。一方で、細胞間シグナルの主要な候補である分泌型ペプチドは、ゲノム上に1,000個程度も存在しています。受容体に結合するシグナル分子はリガンドと呼ばれますが、私たちは、独自のアプローチでリガンドと受容体のペアを見つけ出し、それらの分子群が支えている植物成長や環境応答のしくみを解き明かしたいと考えています。

Science 1月27日号 Report
Science 27 Jan 2017: Vol. 355, Issue 6323, pp. 398-403
DOI: 10.1126/science.aal2690

記憶痕跡細胞集団の重複は記憶の関連づけには必要であるが個々の記憶の想起には必要でない

Overlapping memory trace indispensable for linking, but not recalling, individual memories



左から井ノ口 馨、横瀬 淳

井ノ口 馨 *Kaoru Inokuchi*
富山大学大学院 医学薬学研究部(医学)生化学講座 教授
科学技術振興機構(JST) CREST

横瀬 淳 *Jun Yokose*
富山大学大学院 医学薬学研究部(医学)生化学講座 特命助教

大久保(鈴木)玲子[1,2] 野本 真順[1,2] 大川 宜昭[1,2] 西園 啓文[2,3] 鈴木 章円[1,2] 松尾 美奈[3]
辻村 周平[1,2] 高橋 由香里[4] 永瀬 将志[4] 渡部 文子[4] 笹原 正清[5] 加藤 総夫[4]

[1] 富山大学大学院 医学薬学研究部(医学)生化学講座
[2] 科学技術振興機構(JST) CREST
[3] 富山大学研究推進機構 研究推進総合支援センター 生命科学先端研究支援ユニット 動物実験施設
[4] 東京慈恵医科大学 神経科学研究部
[5] 富山大学大学院 医学薬学研究部(医学)病態病理学講座

Contact
井ノ口 馨 **E-mail**：inokuchi@med.u-toyama.ac.jp
所在地：930-0194 富山県富山市杉谷2630
U R L：http://www.med.u-toyama.ac.jp/bmb/index-j.html
横瀬 淳 **E-mail**：yokosei@med.u-toyama.ac.jp

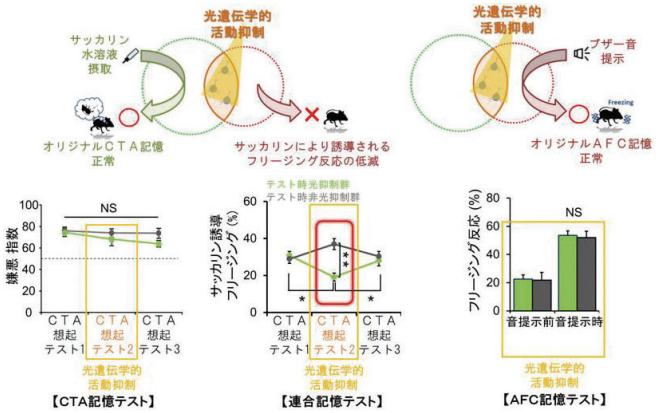
記憶を関連づける神経細胞集団の仕組みを解明

私たちは脳に蓄えられているさまざまな記憶情報を関連づけることで、知識や概念を形成していく。記憶はそれぞれ特定の神経細胞集団(記憶エングラム細胞集団)によって脳内に蓄えられており、記憶同士が関連づけられるときにはそれぞれの記憶を司る細胞集団同士が重複すると報告されているが、重複した細胞集団の役割は不明であった。

本研究では、マウスを用いて味覚嫌悪学習(CTA)と音恐怖条件付け(AFC)の2つの記憶を関連づける高次連合実験系を用いて、重複した記憶エングラム細胞集団は記憶の関連づけ(連合)のみに関与し、それぞれの記憶を思い出すためには必要ではないことを明らかにした。

記憶が関連づけられる仕組みに関する今回の研究は、記憶情報の関連づけで形成される知識や概念の獲得というヒトの高次脳機能の解明につながる成果である。また、この成果により、個々の記憶に影響を与えることなく、記憶の不要な結びつきのみを切り離すことも可能になり、精神疾患の新たな治療法の創出にもつながると期待される。

Figure and Note



図：重複した記憶エングラム細胞集団の光遺伝学的な活動抑制

上段：本研究の結果を示した模式図。
下段：連合記憶想起時に光照射で重複細胞集団の活動を抑制したところ、味覚嫌悪(CTA)記憶と音恐怖条件付け(AFC)記憶の連合の結果生じるサッカリン水溶液によるフリージング反応が一過的に低減した(中央図)。一方で、元々のCTA記憶、AFC記憶の想起に対しては、重複細胞集団の活動抑制による変化は認められなかった(左側図および右側図)。

Conceptual advances

基礎研究の進め方には、最初から大物ねらいで仮説を立てて実証していくスタイルと、自分が見出した小さいけれど興味ある現象を追求していくボトムアップ型があります。自分に合っていればどちらのスタイルで開始してもいいでしょう。重要なのは自分たちの研究からどのようなconceptual advanceを出すことが出来るのかを常に問い続ける姿勢です。基礎研究の最終目標はconceptual advanceを出すことにあるのですから。

Science 3月3日号 Report
Science 03 Mar 2017: Vol. 355, Issue 6328, pp. 936-938
DOI: 10.1126/science.aal3803

ビニルボロン酸アート錯体のラジカル－極性交差反応

Radical-polar crossover reactions of vinylboron ate complexes

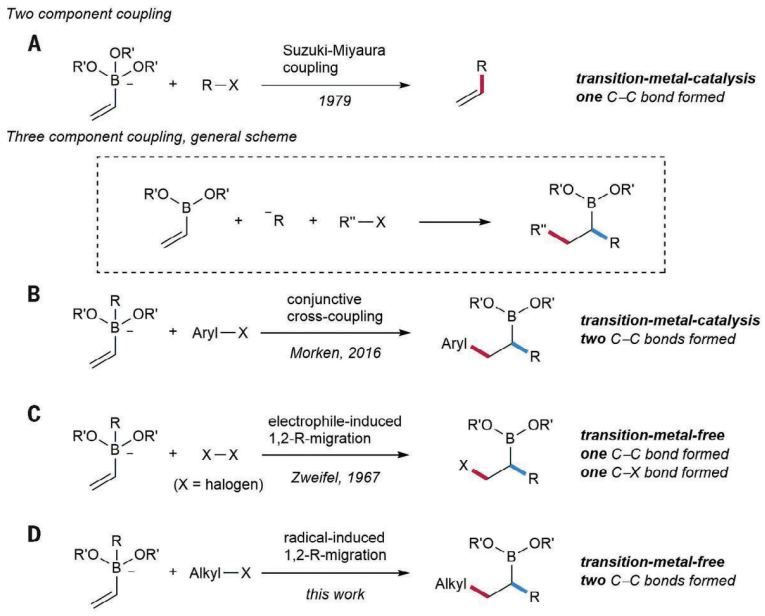
岡本 和紘 *Kazuhiro Okamoto*
京都大学大学院 工学研究科 物質エネルギー化学専攻 助教
Marvin Kischkewitz[1] Christian Mück-Lichtenfeld[1] Armido Studer[1]
[1] Organisch-Chemisches Institut, Westfälische Wilhelms-Universität

Contact
E-mail：kokamoto@scl.kyoto-u.ac.jp
所在地：615-8510 京都府京都市西京区京都大学大学院工学研究科 桂キャンパス 総合研究棟A2 5階504号室
U R L：http://www.ehcc.kyoto-u.ac.jp/eh31/home/index-j.html

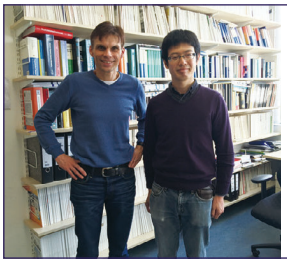
ボロン酸の化学を極性分子とラジカル反応で切り拓く

有機ボロン酸はその炭素－ホウ素結合の性質を活かして炭素と炭素を結合させる、いわゆる鈴木－宮浦クロスカップリングに用いられる重要な有機合成前駆体である。その中でも、ビニル基を有するビニルボロン酸のアート型錯体（ホウ素上が負電荷を帯びる）はオレフィンの二重結合の反応性を利用して、ホウ素上に結合した炭素官能基の転位を伴う反応に利用される。しかしながらこれらの反応形式では炭素官能基はホウ素上から転位するのみであり、外部から炭素官能基を導入することは困難であった。我々は極性分子であるアート型錯体にラジカル反応を組み合わせる、いわゆるラジカル－極性交差反応の概念を取り入れることにより、オレフィン部位の炭素－炭素二重結合に対して二つの炭素官能基を同時に付加させる反応の開発に成功した。類似の形式の反応は遷移金属触媒を用いてもごく最近達成されているが、本反応に必要な試薬は微量のラジカル開始剤のみであり、遷移金属触媒を用いない炭素－炭素結合形成プロセスとして革新的であると言える。

Figure and Note



図：ビニルボロン酸アート型錯体の反応
(A)鈴木－宮浦クロスカップリング
(B)遷移金属触媒を用いる二炭素官能基化
(C)Zweifelらによる初期の研究（1967年）
(D)我々の今回の成果：
ラジカル－極性交差反応によるオレフィンの二炭素官能基化



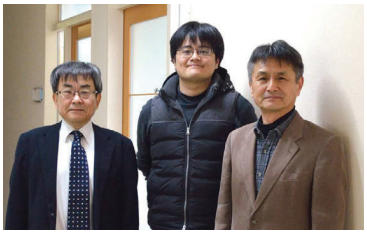
有機化学の魅力と海外研究留学という貴重な経験

緑豊かなドイツ・ミュンスター市に存在するヴェストファーレンヴィルヘルム大学で、著者（写真右）はArmido Studer教授（写真左）のグループで2015年から約1年間滞在しました。有機化学は19世紀から20世紀にドイツを中心とする欧州で大きく発展した学問であり、新しいオリジナル分子や反応を自らデザインし、それを実際に構築できる魅力があります。この歴史ある国で、古くから研究されてきたラジカル反応に関する最先端の研究に携わることができ、貴重な経験となりました。

Science 3月10日号 Report
Science 10 Mar 2017: Vol. 355, Issue 6329, pp. 1055-1057
DOI: 10.1126/science.aal2766

階層的準安定ナノ層状鉄鋼材料における骨のようなき裂進展抵抗

Bone-like crack resistance in hierarchical metastable nanolaminate steels



左から野口 博司、小山 元道、津崎 兼彰

小山 元道 *Motomichi Koyama*
九州大学大学院 工学研究院 助教
野口 博司 *Hiroshi Noguchi*
九州大学大学院 工学研究院 教授
津崎 兼彰 *Kaneaki Tsuzaki*
九州大学大学院 工学研究院 教授
Zhao Zhang[1] Meimei Wang[2,3] Dirk Ponge[2] Dierk Raabe[2] Cemal Cem Tasan[3]
[1] 九州大学大学院 工学研究院 [2] Max-Planck-Institut für Eisenforschung
[3] Department of Materials Science and Engineering, Massachusetts Institute of Technology

Contact 小山 元道 **E-mail**：koyama@mech.kyushu-u.ac.jp
所在地：819-0395 福岡県福岡市西区元岡744 九州大学伊都キャンパス ウェスト4号館440室

骨のような壊れ方で、金属疲労に強い微視構造を、鉄鋼材料で発見

輸送機器や機械類の破壊事故原因の約8割は金属疲労である。このため、金属材料と金属部品の疲労特性を正しく理解し評価すること、また疲労特性に優れた金属材料を開発し製造することは、安全安心な社会基盤を実現する鍵である。

小さな力の繰返し負荷が材料表面に微小き裂を誘起し、それが拡大伝ぱして最終的な破壊に至る。この現象を金属疲労破壊と呼ぶ。我々は、この疲労き裂の発生と伝ぱを抑制するため、き裂周囲の金属が膨張・硬化する構造、き裂伝ぱ抑制の為にき裂面同士の干渉が起こる構造に着目し、画期的な疲労特性を示す鉄鋼を見出した。具体的には、「硬質相と準安定相が交互に層状となる形態をもつ階層性原子集団の金属微視構造」によって、鉄鋼が動物の骨のような壊れ方をするため、き裂伝ぱが抑制され疲労寿命が格段に向上することを示した。本成果は、応用面実用面への貢献はもちろん、疲労などの力学特性に優れた材料開発に貢献する金属物理学、また、き裂先端の特殊な力学状態を解析する破壊力学の両学問分野に新展開をもたらすと期待する。

本研究は日本学術振興会科学研究費補助金若手研究(B)(15K18235)および基盤研究(S)(16H06365)の支援により遂行されたものである。

Figure and Note

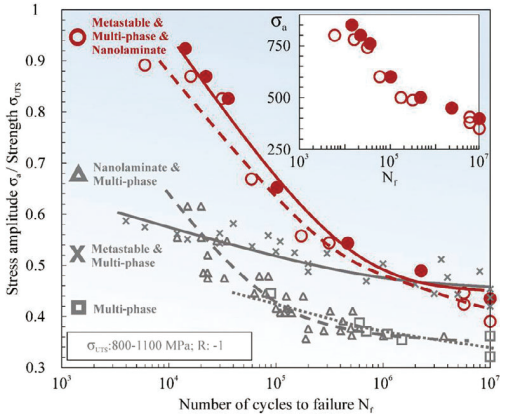


図1：種々な鋼の応力振幅-疲労寿命曲線。縦軸は引張強度にて除している。
層状構造をもつ鋼は高応力で超寿命であり、準安定相をもつ鋼は疲労限度が高い。今回注目した鋼は準安定組織を含む層状構造を有するために、高応力での長い疲労寿命と高疲労限度を兼備している。

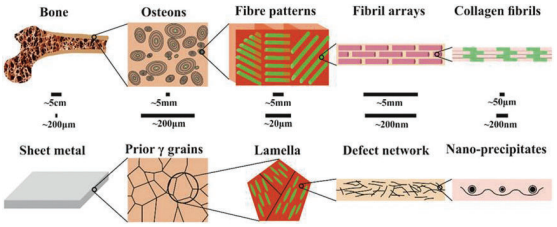
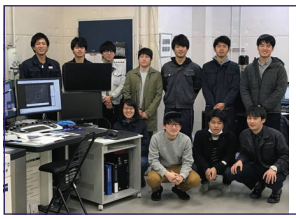


図2：今回対象とした鋼の組織と骨の組織の類似性を示す模式図
本鋼は、階層的組織構造を有しており、実は骨と多くの類似点がある。対応して、破壊挙動にも類似点が観察される。この準安定層状構造かつ、階層的な組織構造が優れた疲労特性の原因であると考える。



学生と目指す、より安全な材料開発、構造設計

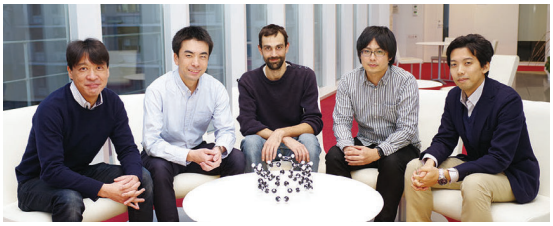
構造金属材料の疲労に関する論文が*Science*誌に掲載されたことは長い間ありませんでした。本成果はそれほどに金属疲労研究として画期的であり、機械工学と材料科学の研究者がスクラムを組むことで初めて達成できました。これを安全安心な社会基盤の構築にとって重要な金属疲労研究の活性化と新たな展開に繋げるために、今後も教育研究を続けます。

写真：当研究室メンバーの学生達。

Science 4月14日号 Report
Science 14 Apr 2017: Vol. 356, Issue 6334, pp. 172-175
DOI: 10.1126/science.aam8158

カーボンナノベルトの合成

Synthesis of a carbon nanobelt



左から伊丹 健一郎、瀬川 泰知、Guillaume Povie、
西原 大志、宮内 雄平

Contact

伊丹 健一郎　**E-mail**：itami@chem.nagoya-u.ac.jp
所在地：464-8602 愛知県名古屋市不老町
ＵＲＬ：http://synth.chem.nagoya-u.ac.jp
Guillaume Povie：gpovie@itbm.nagoya-u.ac.jp
瀬川 泰知：ysegawa@nagoya-u.jp
西原 大志：nishihara.taishi@h.mbox.nagoya-u.ac.jp
宮内 雄平：miyauchi@iae.kyoto-u.ac.jp

Guillaume Povie
JST-ERATO 伊丹分子ナノカーボンプロジェクト 博士研究員

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

西原 大志 *Taishi Nishihara*
JST-ERATO 伊丹分子ナノカーボンプロジェクト サブグループリーダー
名古屋大学大学院 理学研究科 特任助教

宮内 雄平 *Yuhei Miyauchi*
京都大学 エネルギー理工学研究所 准教授
JST-ERATO 伊丹分子ナノカーボンプロジェクト グループリーダー

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

60年来の夢の分子「カーボンナノベルト」の合成に成功！

カーボンナノベルトは、ベンゼン環が縮環してできた筒状構造の有機分子である。1954年に理論化学者によって提唱されて以降、世界中で合成が挑戦されてきたが、ベルト状構造がもつ大きなひずみのために非常に合成困難であり、有効な合成法はこれまで存在しなかった。今回我々は、新たな合成戦略を用いることでカーボンナノベルトの合成に世界で初めて成功した。石油成分であるパラキシレンを原料として用い、ウィッティヒ反応を含む10段階の化学反応によって環状6量体を合成し、最後にニッケル錯体によるホモカップリング反応を行うことで、カーボンナノベルトを得た。X線結晶構造解析によって、カーボンナノベルトが美しい筒状分子であり、(6,6)カーボンナノチューブを輪切りにした構造をもつことを明らかにした。またカーボンナノベルトは固体および希釈溶液状態において赤い蛍光発光を示す物質であることが分かった。

カーボンナノベルトはフラーレンやカーボンナノチューブのような「新しい炭素のカタチ」であるため、カーボンナノチューブの精密合成を実現するテンプレートとして有望であるだけでなく、予想を超えるような破格の物性が今後の性質解明研究によって現れることを期待している。

Figure and Note

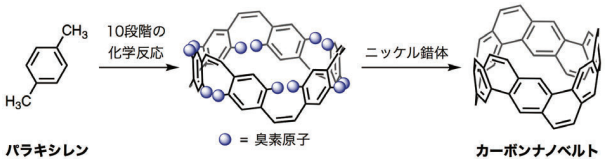


図1：カーボンナノベルトの合成経路

パラキシレンを出発物質として、10段階の化学反応を経て、ベンゼン環6個がcis-オレフィンで架橋された環状体を合成。最後にニッケル錯体によるホモカップリングを適用しカーボンナノベルトを得た。

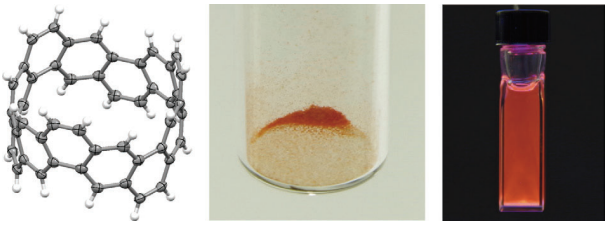


図2：カーボンナノベルトの構造、固体および蛍光発光

X線結晶構造解析で得られた構造（図左）、カーボンナノベルトの固体の写真（図中）、カーボンナノベルトのジクロロメタン溶液に紫外光を照射した際の蛍光発光の様子の写真（図右）。

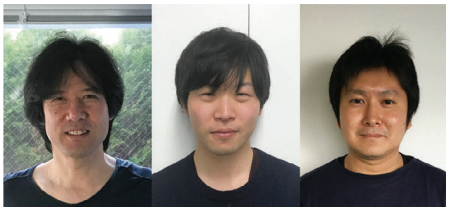
JST-ERATO伊丹分子ナノカーボンプロジェクト

JST-ERATO伊丹分子ナノカーボンプロジェクトでは、「分子ナノカーボン科学」という新たな研究領域を提案し、これまで混合物としてしか取り扱えなかったナノカーボンを分子として扱う合成・計測研究に取り組んでいます。今回のカーボンナノベルトの合成はまさにその中核をなす成果であり、「分子をつなげ価値を生む」合成化学の底力を信じて、これからも研究に邁進していきたいと思います。

Science 4月14日号 Report
Science 14 Apr 2017: Vol. 356, Issue 6334, pp. 205-208
DOI: 10.1126/science.aak9867

ヘキサソームとオクタソームからなるオーバーラッピングダイヌクレオソームの結晶構造

Crystal structure of the overlapping dinucleosome composed of hexasome and octasome



左から胡桃坂 仁志、加藤 大貴、越阪部 晃永

胡桃坂 仁志 *Hitoshi Kurumizaka*
早稲田大学大学院 先進理工学研究科 電気・情報生命専攻 教授
早稲田大学 構造生物・創薬研究所 所長

加藤 大貴 *Daiki Kato*
早稲田大学大学院 先進理工学研究科 電気・情報生命専攻

越阪部 晃永 *Akihisa Osakabe*
早稲田大学大学院 先進理工学研究科 電気・情報生命専攻 助教
(現 Postdoctoral Fellow, Gregor Mendel Institute)

有村 泰宏[1] 水上 優夏[1] 堀越 直樹[1] 七種 和美[2,3] 明石 知子[3] 西村 善文[3] 朴 三用[3]
野上 順平[4] 前原 一満[4] 大川 恭行[4] 松本 淳[5] 河野 秀俊[5] 井上 倫太郎[6] 杉山 正明[6]

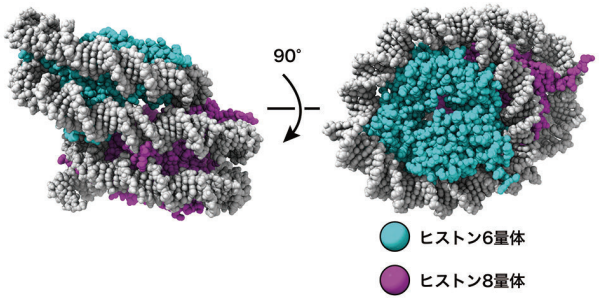
[1] 早稲田大学大学院 先進理工学研究科
[2] 広島大学大学院 理学研究科
[3] 横浜市立大学大学院 生命医科学研究科
[4] 九州大学 生体防御医学研究所
[5] 量子科学技術研究開発機構 生体分子シミュレーショングループ
[6] 京都大学 原子炉実験所

Contact 胡桃坂 仁志
E-mail：kurumizaka@waseda.jp
所在地：162-8480 東京都新宿区若松町2-2 早稲田大学先端生命医科学センター
U R L：http://www.eb.waseda.ac.jp/kurumizaka/

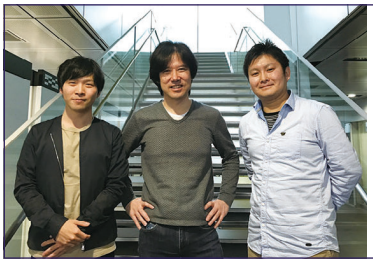
クロマチンの新規基盤構造ユニットの立体構造を解明

真核生物のゲノムDNAは、ヌクレオソームを基本単位としたクロマチンを形成している。ヌクレオソームは、4種のヒストン(H2A、H2B、H3、H4)各2分子ずつからなるヒストン8量体にDNAが巻きついた円盤状の構造体である。遺伝子発現を制御するために、DNA上におけるヌクレオソームの再配置(クロマチンリモデリング)が生じる。この際に、隣接する2つのヌクレオソームが衝突し、オーバーラッピングダイヌクレオソームが形成されることが示唆されていた。本研究では、オーバーラッピングダイヌクレオソームを試験管内で再構成し、X線結晶構造解析法によって、その立体構造を3.14 Åの分解能で明らかにした。その結果、オーバーラッピングダイヌクレオソームでは、ヒストン8量体にDNAが巻きついた通常型オクタソームとヒストン6量体にDNAが巻きついたヘキサソームが緊密に会合することで、250塩基対のDNAがヒストン複合体の周りに連続的に3回転巻きついた特殊な立体構造体が形成されていることがわかった。本研究は、ヒストン含量の異なる特殊なクロマチン基盤構造の立体構造を原子分解能で明らかにした初めての例であり、今後さらに多様なクロマチン構造の解明が期待される。

Figure and Note



図：オーバーラッピングダイヌクレオソームの立体構造
本研究によって明らかになった、オーバーラッピングダイヌクレオソームの立体構造。ヒストン6量体をシアン、ヒストン8量体をマゼンタで示している。



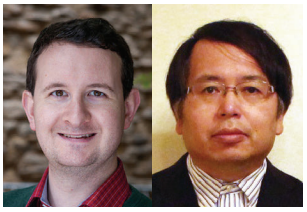
クロマチン構造の観点から、遺伝子発現の制御機構の解明に挑む

生物は、クロマチンの構造を大きく変化させることで、遺伝子の発現を制御しています。私たちの研究室では、クロマチン構造の多様性とそれに伴う遺伝子の制御機構を解明することを目指し、構造生物学や生化学などの手法を駆使しながら研究に励んでいます。内外の様々な研究者とディスカッションや共同研究を繰り広げながら、生命の神秘にアプローチする日々は、やりがいに溢れています。

Science 4月14日号 Report
Science 14 Apr 2017: Vol. 356, Issue 6334, pp. 163-167
DOI: 10.1126/science.aal3422

2016年、マグニチュード7.1の熊本地震後の過渡的粘性分布の可視化

Imaging the distribution of transient viscosity after the 2016 *Mw*7.1 Kumamoto earthquake



左からJames Daniel Paul MOORE、芝崎 文一郎

James Daniel Paul MOORE
Research Fellow, Earth Observatory of Singapore, Nanyang Technological University

芝崎 文一郎 *Bunichiro Shibazaki*
国立研究開発法人建築研究所 国際地震工学センター 上席研究員

Hang Yu[1] Chi-Hsien Tang[2] Teng Wang[3] Sylvain Barbot[3] Dongju Peng[3] Sagar Masuti[3] Justin Dauwels[1] Ya-Ju Hsu[2] Valère Lambert[3] Priyamvada Nanjundiah[3] Shengji Wei[3] Eric Lindsey[3] Lujia Feng[3]

[1] School of Electrical and Electronic Engineering, Nanyang Technological University
[2] Institute of Earth Sciences Academia Sinica
[3] Earth Observatory of Singapore, Nanyang Technological University

Contact

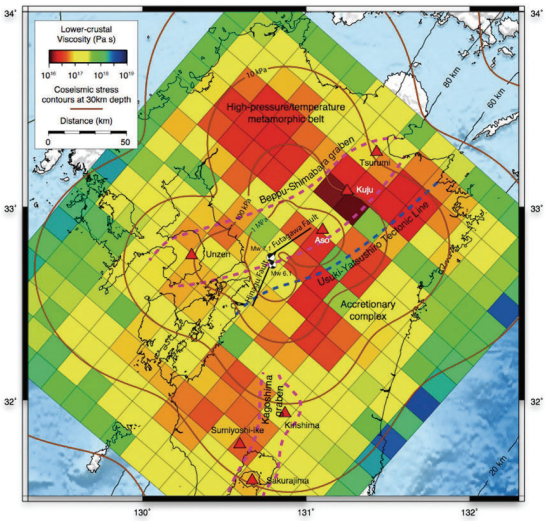
James Daniel Paul MOORE
E-mail：james.moore@ntu.edu.sg
所在地：Nanyang Technological University
50 Nanyang Avenue, Block N2-01a-15, Singapore 639798
U R L：http://www.earthobservatory.sg/

芝崎 文一郎
E-mail：bshiba@kenken.go.jp
所在地：305-0802 茨城県つくば市立原１番地
U R L：http://iisee.kenken.go.jp/

2016年熊本地震後の過渡的粘性分布の可視化に成功

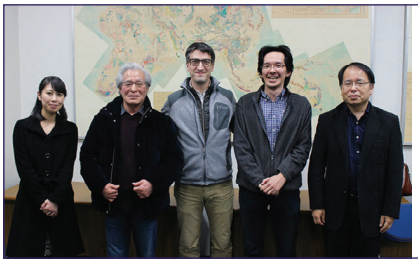
大地震により周辺の下部地殻に力が加わると流動変形を引き起こすが、地震直後の過渡的な粘性（粘っこさ）は小さく、次第に定常値に近づくことが知られている。本研究では、衛星観測から得られた地表変動のデータを用いて、2016年4月に発生した熊本地震直後における九州地方の下部地殻の変形過程や過渡的な粘性係数を可視化することに成功した。最近開発された地下の立方体の変形に対する新しい計算方法を用いた解析により、これまでの手法では捉えることができなかった地震後の複雑な下部地殻の挙動を直接可視化することが可能になった。阿蘇火山や九重火山深部の下部地殻では、地震直後の過渡的な粘性係数は小さく、大きな変形が生じていたことが明らかになった。この結果は、熊本地震の活動が阿蘇火山や九重火山のシステムに対して、大きな擾乱を与えてきたことを示す。実際2016年10月8日に阿蘇火山が噴火しており、熊本地震後の変動が噴火の引き金になった可能性を示唆している。大地震後の地殻の過渡的な挙動は、地震直後の周辺の地震危険度や火山活動を理解する上で重要な鍵になる。

Figure and Note



図：熊本地震後の九州地方下部地殻における過渡的粘性係数の分布

直接可視化された地震直後の下部地殻（深さ20～40km）における過渡的粘性係数の分布。赤色から茶色の領域が、粘性係数の小さな軟らかい領域である。阿蘇火山や九重火山下で粘性係数が小さくなっている。



地殻ダイナミクス

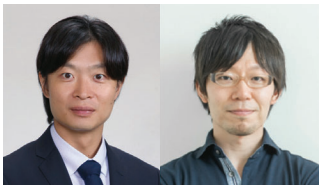
日本列島とその周辺では、2011年東北地方太平洋沖地震や2016年熊本地震などの大地震が発生しており、地殻活動が活発化しています。大地震の発生過程や地震と火山との相互作用を明らかにするためには、地殻ダイナミクスの解明が必要です。現在、京都大学防災研究所を中心に新学術領域「地殻ダイナミクス」のプロジェクトを実施しており、本研究を主導したシンガポール南洋理工大学のSylvain Barbot博士やJames Moore博士との国際共同研究も進めています。

写真：地殻ダイナミクスモデリング関係者。中央はSylvain Barbot博士。

Science 4月21日号 Report
Science 21 Apr 2017: Vol. 356, Issue 6335, pp. 315-319
DOI: 10.1126/science.aag2029

乳幼児期におけるクロストリジウム目菌群の獲得は腸管病原菌の感染を防ぐ

Neonatal acquisition of Clostridia species protects against colonization by bacterial pathogens



左から金 倫基、福田 真嗣

金 倫基 *Yun-Gi Kim*
Research Investigator, Department of Pathology and Comprehensive Cancer Center, University of Michigan Medical School
（現 慶應義塾大学 薬学部生化学講座 准教授）

福田 真嗣 *Shinji Fukuda*
慶應義塾大学 先端生命科学研究所 特任准教授
JST さきがけ

坂本 啓[1,2] Sang-Uk Seo[1,2] Joseph M. Pickard[1,2] Merritt G. Gilliland III[3] Nicholas A. Pudlo[4] Matthew Hoostal[3] Xue Li[3] Thomas D. Wang[5] Taylor Feehley[6] Andrew T. Stefka[6] Thomas M. Schmidt[3,4] Eric C. Martens[4] 猪原 直弘[1] Cathryn R. Nagler[6] Gabriel Núñez[1,2]

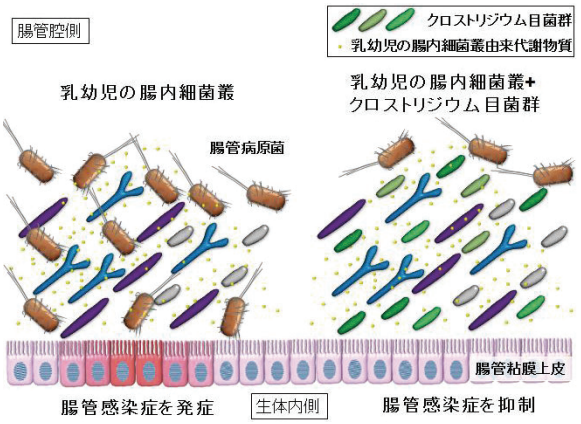
[1] Department of Pathology, University of Michigan Medical School
[2] Comprehensive Cancer Center, University of Michigan Medical School
[3] Department of Internal Medicine, University of Michigan Medical School
[4] Department of Microbiology and Immunology, University of Michigan Medical School
[5] Departments of Biomedical Engineering and Mechanical Engineering, University of Michigan Medical School
[6] Department of Pathology and Committee on Immunology, University of Chicago

Contact
金 倫基 **E-mail**：ykim@keio.jp
所在地：105-8512 東京都港区芝公園1-5-30
U R L：https://k-ris.keio.ac.jp/Profiles/257/0025604/profile.html
福田 真嗣 **E-mail**：sfukuda@sfc.keio.ac.jp
所在地：997-0052 山形県鶴岡市覚岸寺字水上246-2
U R L：http://vu.sfc.keio.ac.jp/faculty_profile/cgi/f_profile.cgi?id=4b6eeaf56e240ec4

腸内細菌叢の成熟化が乳幼児期の腸管感染抵抗性をもたらす

乳幼児は腸管病原菌に対して感染しやすい（感受性が高い）ことが知られているが、その詳細なメカニズムについては未だ不明な点が多く残されていた。今回われわれは、腸内細菌を全く持たない無菌マウスへの腸内細菌叢移植実験や、メタボローム解析技術を駆使することで、乳幼児の腸管感染に対する高い感受性は、乳幼児の腸内細菌叢が未成熟であることに起因することを明らかにした。また、この乳幼児の腸管病原菌感染に対する高い感受性は、クロストリジウム目菌群の欠如によることも明らかにした。さらに、乳幼児の未成熟な腸内細菌叢から産生される代謝物質が、クロストリジウム目菌群の腸内での増殖を促進することで、腸管感染抵抗性がもたらされることも明らかにした。本研究は、乳幼児期に腸管感染症の感受性が高いことの一因として腸内細菌叢が未成熟であることを明らかにしたものであり、今後は乳幼児の腸管感染抵抗性を強化するために、腸内細菌叢をターゲットにした新たな予防・治療法開発等の臨床応用への発展が期待される。

Figure and Note



図：クロストリジウム目菌群が腸管病原菌に対する感染抵抗性を高める

乳幼児の腸管病原菌感染に対する高い感受性は、腸内細菌叢が未成熟なことに起因する。腸内細菌叢の成熟に伴い増えてくるクロストリジウム目菌群が腸管病原菌感染の抵抗性を強化する。クロストリジウム目菌群は、乳幼児の腸内細菌叢から産生される代謝産物によって腸内での増殖が促進される。

The Gut Microbiota for Our Health

腸内細菌叢の構成異常やそこから産生される代謝物質が、さまざまな疾患の発症や増悪に関与することが近年の研究で次第に明らかになってきました。しかし、その全容は未だ明らかになっていないため、われわれは腸内細菌叢が生体に与える影響について、無菌マウスを用いた動物実験や、メタボロミクスを基盤とする統合オミクスアプローチにより研究を行っています。将来的には腸内細菌叢を標的とした、新たな疾患予防・治療基盤技術を創出し、臨床応用へ向けた研究開発を進めていきますので、本研究開発にご興味のある方は是非コンタクトしてください。

Science 5月5日号 Research Article
Science 05 May 2017: Vol. 356, Issue 6337, pp. 503-508
DOI: 10.1126/science.aag3260

多能性幹細胞において、CpG-free DNAの挿入は、CpGアイランドの新規メチル化を誘起する

Integration of CpG-free DNA induces de novo methylation of CpG islands in pluripotent stem cells

高橋 悠太 *Yuta Takahashi*
Research Associate, Salk Institute for Biological Studies
筑波大学 生命領域学際研究センター 助教

Jun Wu[1,2]　鈴木 啓一郎[1]　Paloma Martinez-Redondo[1]　Mo Li[1,3]　Hsin-Kai Liao[1]　Min-Zu Wu[1,2]
Reyna Hernández-Benítez[1,3]　菱田 友昭[1]　Maxim Nikolaievich Shokhirev[4]
Concepcion Rodriguez Esteban[1]　Ignacio Sancho-Martinez[1*]　Juan Carlos Izpisua Belmonte[1]

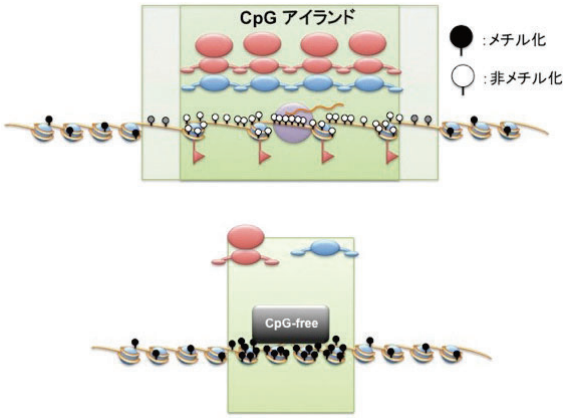
[1] Gene Expression Laboratory, Salk Institute for Biological Studies
[2] Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM)
[3] King Abdullah University of Science and Technology (KAUST)
[4] Integrative Genomics and Bioinformatics Core, Salk Institute for Biological Studies
* 現）The Genomics Institute of the Novartis Foundation (GNF)

Contact
E-mail：ytakahashi@salk.edu
所在地：Gene Expression Laboratory, Salk Institute for Biological Studies,
10010 North Torrey Pines Road La Jolla, CA 92037, USA

ゲノムの標的領域に新規DNAメチル化を誘導

DNAメチル化とはシトシン塩基の六員環5位の炭素原子がメチル化される化学修飾を指し、シトシン（C）の後にグアニン（G）が続くCpG配列（pはヌクレオシド間のホスホジエステル結合を表す）のシトシンがメチル化を受けうる。近年、哺乳類ゲノムにおいてCpG配列のシトシンの多くがメチル化されていることがわかっている。一方で、プロモーター上に存在し、CpG配列が高頻度に出現する領域であるCpGアイランドは、非メチル化状態に維持されている。CpGアイランドのメチル化は、そのプロモーター制御下の遺伝子発現を阻害する。多くの疾患とCpGアイランドの異常なメチル化との関連が指摘されているが、これまで標的CpGアイランドにメチル化を誘導する手法が開発されていなかったため、その因果関係については未解明な部分が多い。本論文で、我々は、CpG配列を含まないDNA断片（CpG-free DNA）を標的のCpGアイランドに挿入することで、CpGアイランドに新規DNAメチル化が誘導されることを見出した。本研究は、患者iPS細胞の修復やDNAメチル化異常モデルの確立を通じて、様々な疾患発症のメカニズムを理解するのに役立つと期待される。

Figure and Note



図：CpG-free DNAの挿入は、CpGアイランドの新規DNAメチル化を誘導する

通常、CpGアイランドは非メチル化状態に保たれている。標的のCpG アイランドにCpGを含まない（CpG-free）DNAを挿入することで、新規DNAメチル化が誘導される。

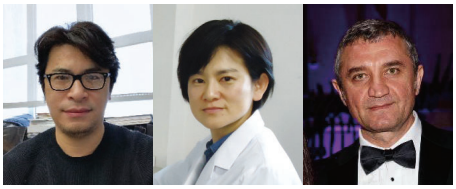
Salk研究所Belmonte研究室

私の所属するSalk研究所Belmonte研究室では、20名を超える博士研究員が所属しています。研究員は、それぞれの専門性を活かして協力し、幹細胞、ゲノム編集、再生、老化といった多岐にわたる研究を進めています。私はエピゲノムが制御する生命現象に焦点をあて、これからも愚直に研究に取り組んでいきたいと思っています。

Science 5月5日号 Research Article
Science 05 May 2017: Vol. 356, Issue 6337, pp. 513-519
DOI: 10.1126/science.aal3535

IL-10によるマクロファージの代謝再構成を介した抗炎症作用

Anti-inflammatory effect of IL-10 mediated by metabolic reprogramming of macrophages



左からW. K. Eddie Ip、星 奈美子、Ruslan Medzhitov

Contact

星 奈美子
E-mail：nhoshi@med.kobe-u.ac.jp
所在地：650-0017 兵庫県神戸市中央区楠町7-5-2

星 奈美子 *Namiko Hoshi*
Associate Research Scientist, Department of Immunobiology and Howard Hughes Medical Institute, Yale University School of Medicine
（現 神戸大学大学院 医学研究科 内科学講座消化器内科学分野 助教）

W. K. Eddie Ip
Associate Research Scientist, Department of Immunobiology and Howard Hughes Medical Institute, Yale University School of Medicine

Ruslan Medzhitov
Professor, Department of Immunobiology and Howard Hughes Medical Institute, Yale University School of Medicine

Dror S.Shouval[1]　Scott Snapper[1]

[1] Boston Children's Hospital, Harvard Medical School

制御性サイトカインIL-10による免疫抑制機序の一つを解明

免疫とは、体内に侵入した病原菌などを排除するために必要なシステムである。インターロイキン10（IL-10）は、過剰な免疫応答が起こらないように機能する制御性蛋白の代表格として知られるが、その作用の具体的なメカニズムについては未知な点が多い。

ミトコンドリアは、代謝を介し、生命現象に必要なエネルギーを生み出す重要な細胞内小器官である。しかし、損傷を受けたミトコンドリアは有害な活性酸素種（ROS）を蓄積し細胞を傷害する危険性があるため、細胞には不要なミトコンドリアを除去するマイトファジーというシステムが備わっている。本研究では、IL-10が、細胞内の解糖系、酸化的リン酸化の代謝バランスを切り替える役割があることを見出し、それは代謝コントロールに重要なmTORC1シグナル経路の修飾を介していることを突き止めた。また、IL-10はmTORC1阻害によりマイトファジーを促進させ、異常なROS蓄積による炎症を抑制することを解明した。この異常が、炎症性腸疾患患者の細胞において認められることも確認し、疾患と免疫異常の関係をひとつ明らかにした。

Figure and Note

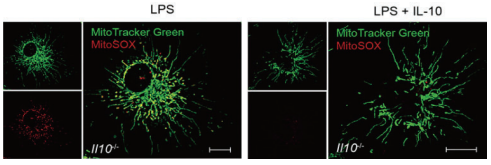


図1：IL-10は損傷を受けたミトコンドリアと活性酸素種の蓄積を減少させる

緑の蛍光色素はミトコンドリアを検出し、赤は活性酸素種（ROS）を検出する。IL-10の存在下では、活性酸素が減少し、ミトコンドリアの総量も減っていることがわかる。（スケールバー：10μm）

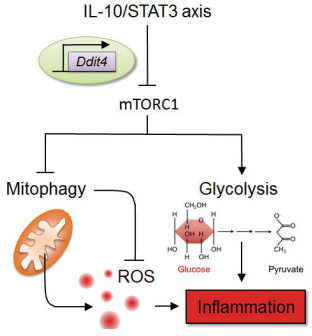


図2：IL-10は活性化したマクロファージの代謝を変化させ炎症を抑制する

IL-10はSTAT3依存性にDDIT4を活性化し、mTORC1を阻害して解糖系を抑制する。一方、マイトファジーは亢進し、ダメージを受けたマクロファージは除去され、過剰な炎症が起こらない。

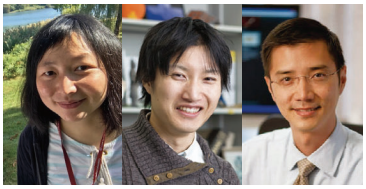
研究は最高に面白い―純粋な探求心と自由な討論が満ちる場所

本研究は、筆者の留学先のイェール大学Medzhitov研究室で行われました。ここには世界中から研究者が集まり、互いの知識を持ち合い討論しながら未知の知見に対する答えを探究する楽しさが満ちていました。当然、苦労も山ほど経験しますが、新たな発見により「未知を既知に変える」醍醐味が研究にはあると思います。そして、留学は、グローバルな交流も楽しめるおまけつきでした。EddieやRuslanなど素晴らしい仲間に巡り会えたことが、人生の宝になっています。日本には沢山の素晴らしい研究室がありますが、日本を飛び出し、世界の人と知的好奇心を共有できる研究留学も研究職の醍醐味の一つかと思います。

Science 5月5日号 Report
Science 05 May 2017: Vol. 356, Issue 6337, pp. 534-539
DOI: 10.1126/science.aal3245

ドーパミン作動性神経回路の分枝特異的可塑性がタンパク質渇望を符号化する

Branch-specific plasticity of a bifunctional dopamine circuit encodes protein hunger



左から刘 绮丽、田渕 理史、Mark Wu

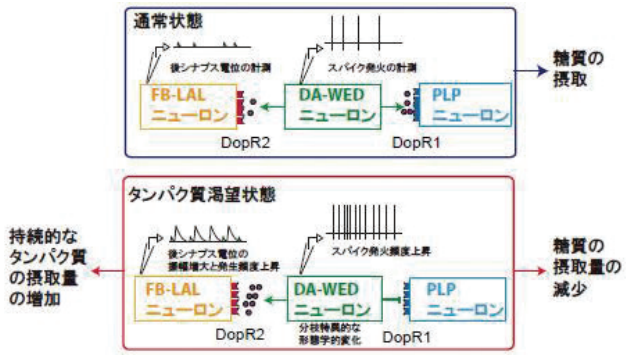
刘 绮丽 *Qili Liu*
Postdoctoral Fellow, Department of Neurology, Johns Hopkins University
田渕 理史 *Masashi Tabuchi*
Postdoctoral Fellow, Department of Neurology, Johns Hopkins University
Mark Wu
Principal Investigator, Department of Neurology, Johns Hopkins University
全著者リスト：http://science.sciencemag.org/content/356/6337/534

Contact
田渕 理史 **E-mail**：mtabuch1@jhmi.edu
所在地：Baltimore, MD 21205, USA
U R L：http://mtbiolab.jp/
Mark Wu **E-mail**：marknwu@jhmi.edu
U R L：https://www.markwulab.net/

ドーパミン作動性ニューロンの分枝特異的可塑性により符号化されるタンパク質要求

食物の摂取においては、常に「何をどのくらい食べるか」という重要な選択が存在する。食物の選択において空腹感は食物に対する生理学的要求を表現する動機付けであり、それゆえに、空腹感というものは塩分やタンパク質のように各種栄養成分特異的に個別付加され得るものであると言える。このような栄養成分に特異的な空腹要求に由来する食物の選択は生物の生存戦略においてとくに重要であると考えられるが、これに関する神経基盤についてはよくわかっていない。筆者らは、ショウジョウバエにおいて、タンパク質に対する要求は特定のドーパミン作動性ニューロンの分枝特異的な可塑的変化により符号化されることを見出した。同定された特定のドーパミン作動性ニューロンの神経活動はタンパク質の不足に依存して増大し、この神経活動の増大はタンパク質の摂取の増加をひき起こすと同時に糖質の摂取の減少をもひき起こした。さらに、このような栄養に特異的な嗜好性の変化は、このニューロンとその出力先である2つのニューロンとのあいだのシナプスにおける分枝特異的なシナプス伝達の可塑的変化と、より持続的な形態的な変化に起因した。この研究により、ニューロンの分枝特異的可塑性に基づく食物摂取における恒常性維持の神経基盤の一端が明らかにされた。

Figure and Note



図：タンパク質渇望を符号化する神経機構

DA-WEDニューロンはタンパク質欠乏に応答して神経活動を上昇させ、そこから放出されたドーパミンがドーパミンD2様受容体を介してFB-LALニューロンに作用することにより、タンパク質摂取における恒常性が維持される。

小さなハエからヒトの健康に役立つ知識を創出する

ジョンズ・ホプキンス大学Mark Wu研究室では、神経回路レベルで分子メカニズムを網羅的かつ無作為スクリーニングが可能な小型モデル生物としてショウジョウバエを使用し、それを、マウスなどのより人に近い哺乳動物のモデル生物において比較検証するというアプローチを取っています。今回は、ショウジョウバエのタンパク質摂取制御の基本的神経基盤を解明しましたが、現在、マウスを用いた検証も行っており、生物がどのようにしてタンパク質の消費を決定しているかという理解だけでなく、飽食時代の現代社会が抱える過食による肥満問題に対しても有効な解決策を打ち出せるのではないかと考えています。

Science 5月12日号 Report
Science 12 May 2017: Vol. 356, Issue 6338, pp. 631-634
DOI: 10.1126/science.aan0038

葉緑体核様体の分離は ホリデイジャンクション解離酵素によって媒介される

Holliday junction resolvases mediate chloroplast nucleoid segregation

左から西村 芳樹、小林 優介、三角 修己

小林優介 *Yusuke Kobayashi*
京都大学大学院 理学研究科 生物科学専攻 植物学教室
(現 国立遺伝学研究所 共生細胞進化研究部門 遺伝研博士研究員)

三角 修己 *Osami Misumi*
山口大学大学院 創成科学研究科 理学系学域(生物学分野)生物・化学科 准教授

西村 芳樹 *Yoshiki Nishimura*
京都大学大学院 理学研究科 生物科学専攻 植物学教室 助教

小田原 真樹[1] 石橋 幸大[2] 廣野 雅文[3] 日高 久美[4] 遠藤 政幸[5] 杉山 弘[4,5] 岩崎 博史[6] 黒岩 常祥[7] 鹿内 利治[2]

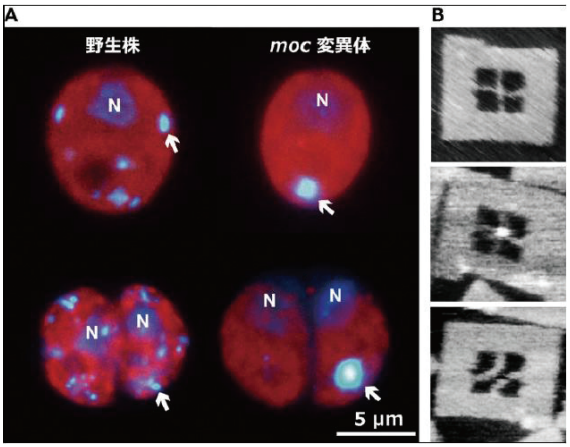
[1] 立教大学 理学部 生命理学科
[2] 京都大学大学院 理学研究科 生物科学専攻 植物学教室
[3] 法政大学 生命科学部 生命機能学科
[4] 京都大学大学院 理学研究科 化学専攻
[5] 京都大学高等研究院 物質-細胞統合システム拠点
[6] 東京工業大学 科学技術創成研究院 細胞制御工学研究センター
[7] 日本女子大学 理学部 物質生物科学科

Contact
西村 芳樹 **E-mail**：yoshiki@pmg.bot.kyoto-u.ac.jp
所在地：606-8502 京都府京都市左京区北白川追分町
ＵＲＬ：http://www.bot.kyoto-u.ac.jp/j/5_iden.html

葉緑体核様体の形や分配を制御する 葉緑体型ホリデイジャンクション解離酵素の発見

光合成を担う葉緑体には、独自のゲノムとタンパク質群からなる染色体様構造(核様体)がある。葉緑体の分裂・増殖に先立って、葉緑体核様体は確実に分配されなければならない。今回、その鍵因子を追跡するなかで、葉緑体型ホリデイジャンクション解離酵素を初めて発見した。発端となったのは、我々が約20年前に単離した緑藻クラミドモナスの変異体(*monokariotic chloroplast*(*moc*)*1*)である。この変異体では、葉緑体核様体が凝集し、葉緑体分裂時に不均等分配されてしまう。我々は最新のゲノム情報と遺伝学を駆使し、その原因遺伝子を同定した。さらにその組換えタンパク質について生化学および原子間力顕微鏡を用いた機能解析を行ったところ、MOC1は緑色植物において高度に保存された葉緑体型ホリデイジャンクション切断酵素であることが判明した。陸上植物シロイヌナズナにおいて、*MOC1*遺伝子発現抑制は葉緑体核様体の凝集を引き起こし、破壊株は致死であった。以上よりMOC1は、相同組換えにより生じたホリデイジャンクションによる葉緑体DNA分子間の絡まりを解消し、娘葉緑体への葉緑体核様体の遺伝を保障することで、地球上の多くの植物の光合成や葉緑体生合成を支えていることが明らかになった。

Figure and Note



図：*moc*変異体における葉緑体核様体不均等分配とAFMによって可視化されたHJR活性

(A)*moc*変異体における葉緑体核様体(矢印)の不均等分配(矢印)。
(B)*moc*変異体の原因遺伝子がコードする産物がもつ葉緑体型ホリデイジャンクション解離酵素(HJR)活性を、DNAオリガミおよび高速原子間力顕微鏡により証明した。

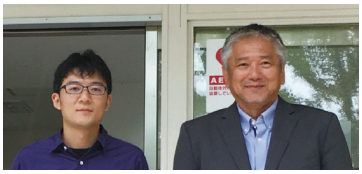
研究も一期一会

今回の研究成果により、これまで謎につつまれていた緑色植物における葉緑体ゲノムの相同組換え、および葉緑体核様体形態制御のメカニズムが分子レベルで見えてきました。これにより、葉緑体ゲノムを対象とした遺伝子工学技術の効率化、葉緑体による有用タンパク質/代謝物の合成が期待されます。今回の成果は、幸運にも多くの共同研究者の方々の協力を得ることで初めて可能となりました。研究もまた一期一会。人の縁の大切さを改めて感じました。

Science 5月19日号 Report
Science 19 May 2017: Vol. 356, Issue 6339, pp. 736-738
DOI: 10.1126/science.aam8861

グラフェンにおける高次高調波発生は楕円偏光励起によって増強される

High-harmonic generation in graphene enhanced by elliptically polarized light excitation



左から吉川 尚孝、田中 耕一郎

吉川 尚孝 *Naotaka Yoshikawa*
京都大学大学院 理学研究科 物理学第一教室 光物性研究室
京都大学高等研究院 物質－細胞統合システム拠点（iCeMS）

田中 耕一郎 *Koichiro Tanaka*
京都大学大学院 理学研究科 物理学第一教室 光物性研究室 教授
京都大学高等研究院 物質 - 細胞統合システム拠点（iCeMS）

玉谷 知裕[1]

[1] 京都大学大学院 理学研究科 物理学第一教室 光物性研究室（現 産業技術総合研究所 ナノエレクトロニクス研究部門）

Contact 吉川 尚孝 **E-mail**：y.naotaka@scphys.kyoto-u.ac.jp
所在地：606-8502 京都府京都市左京区北白川追分町
田中 耕一郎 **E-mail**：kochan@scphys.kyoto-u.ac.jp

単一原子層薄膜によって赤外光を1桁波長の短い可視光に変換

1980年代後半、高強度のパルスレーザーを希ガス原子気体に照射すると、波長が数10分の1（周波数が数十倍）の高次の高調波が発生することが発見された。これは「高次高調波発生」と呼ばれる現象である。さらに数年前、照射レーザーの波長を赤外の領域にすることで、固体においても破壊現象を起こさずに高次高調波が発生可能であることが報告されて以来、その研究が盛んになってきた。固体結晶に関する論文が矢継早に出され、様々な理論モデルも提案されているが、未だに統一見解が取れていないのが現状である。一つには、これまでの研究は厚い固体の結晶が用いられてきたので、光の伝播方向の積み重ね効果が状況を複雑にしてきたことが挙げられる。

本研究グループは、厚さ方向の複雑性を取り除くとともに、なるべくシンプルな構造を持つ固体で実験を行うという狙いのもと、炭素の単一原子層超薄膜であるグラフェンで実験を行った。その結果、世界で初めてグラフェンにおける高次高調波発生を実現するとともに、赤外光の偏光状態を楕円偏光にすると可視光の生成効率が最大となり、その際生成された可視光の偏光状態は元の赤外光とほぼ垂直になることが明らかとなった。この特異な偏光特性は、グラフェンが「ディラック電子状態」と呼ばれる、バンドギャップ（結晶中の電子が存在し得ない禁制帯のエネルギー幅）を持たない電子状態を持つことに起因することを理論的に示した。本発見は、固体における高次高調波発生の物理的メカニズムの解明に、大きな進展を与えるものと期待される。

Figure and Note

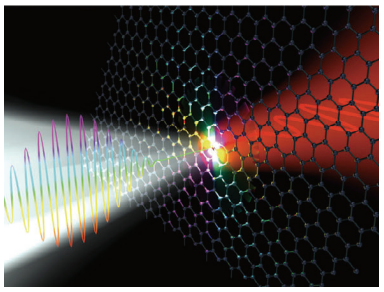


図1：グラフェンからの高次高調波発生の概念図
赤外光を（図面右側から）ほんの少しだけ楕円偏光にしてグラフェンに照射すると、可視光の高調波が発生し（図面左側）、その偏光状態は元々の偏光に対してほぼ垂直となる。

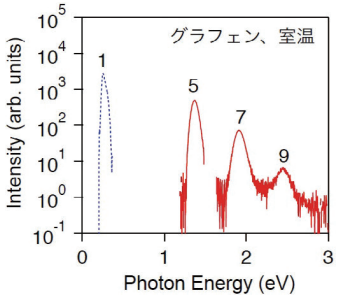


図2：グラフェンからの高次高調波スペクトル
赤外パルス（図中青点線）の照射によって、光子エネルギー（図の横軸）が5倍、7倍、9倍の高次高調波が検出された。

高強度光と固体物質が紡ぎだす新しい物理を目指して

我々の研究トピックスの一つが、「極端非線形光学」です。光の強度が非常に強く、物質と光との相互作用のエネルギーが基底状態の典型的なエネルギースケールと同程度もしくはそれを凌駕するような場合を考えます。そのような状況では、物質の基底状態は不安定化し、光と物質が渾然一体となった新たな「状態」を作り上げることが期待されます。しかし、理論的にも実験的にも固体物質がどのような新しい秩序状態を生み出すかはわかっていません。レーザー加工の原理解明にも繋がる面白いテーマです。そこでどんな物理が現れるかをワクワクしながら皆で研究しています。

Science 5月26日号 Report
Science 26 May 2017: Vol. 356, Issue 6340, pp. 841-844
DOI: 10.1126/science.aal3429

スマトラ沈み込み帯浅部の地震性滑りに寄与する沈み込む前の鉱物脱水

Release of mineral-bound water prior to subduction tied to shallow seismogenic slip off Sumatra

上左から尾張 聡子、浜橋 真理、
下左から藏永 萌、向吉 秀樹

尾張 聡子 *Satoko Owari*
千葉大学大学院 理学研究科 地球生命圏科学専攻 地球科学コース
日本学術振興会特別研究員DC

浜橋 真理 *Mari Hamahashi*
産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門
(現 Earth Observatory of Singapore Nanyang Technological University 研究員)

藏永 萌 *Mebae Kuranaga*
山口大学大学院 理工学研究科 地球科学専攻
(現 株式会社太平洋コンサルタント 電力・原子力技術部 研究グループ)

向吉 秀樹 *Hideki Mukoyoshi*
島根大学大学院 総合理工学研究科 助教

全著者リスト：http://science.sciencemag.org/content/356/6340/841

Contact 尾張 聡子 **E-mail**：owari.stk@chiba-u.jp
所在地：263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33

向吉 秀樹 **E-mail**：mukoyoshi@riko.shimane-u.ac.jp
所在地：690-8504 島根県松江市西川津町1060

スマトラ沖海溝浅部の地震性滑りに寄与する沈み込む前の鉱物脱水

2004年に発生したスマトラ沖沈み込み帯での地震に伴う巨大津波は、過去の研究による予測よりはるかに浅い場所まで断層の滑りが伝搬したことが原因であると考えられている。国際深海科学掘削計画 第362次航海は、かつて巨大津波を起こしたスマトラ沖にはどのような堆積物がどれほどの速度で堆積しているのかを調査することを目的として実施された。本航海では、北スマトラ沖の2地点(サイト名：U1480, 1481)において掘削を行い、プレートが沈み込む前の海底堆積物を採取し、堆積物に含まれる水の地球化学分析を行った。その結果、スマトラ沖では過去900万年の間に急速にニコバール扇状地に堆積物が大量に供給され、厚く堆積し、埋没したことで、堆積物の温度が上昇し、堆積物中の鉱物の脱水反応が進行したことが明らかとなった。さらに熱モデル予測からプレートが沈み込む前に完全に脱水することが予想され、この脱水作用により、沈み込む前の堆積物の岩石化が進み、プレート境界浅部において歪エネルギーが蓄積し、巨大津波発生に寄与していることを示唆した。このモデルは、2011年東北地方太平洋沖地震時の巨大津波の原因と考えられている、沈み込み中に堆積物から脱水した水が透水性の低い断層面にたまり、その水が地震時の摩擦発熱によって膨張し、断層を滑りやすくさせたとされるモデルとは対照的である。またこの研究は、急速に厚い堆積物が堆積する沈み込み帯への応用を可能とし、特に地震記録が限られている沈み込み帯への応用が期待できる。

Figure and Note

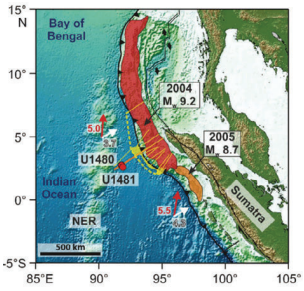


図1：北スマトラ沖掘削地点(U1480,1481)の地図

掘削地点(赤丸)と2004、2005年に発生した地震の破壊域。赤矢印と数字はプレートの相対運動速度(cm/年)を示す。黄色の領域は、海底下で観測された負極性反射面の分布域を示す。この反射面は鉱物の脱水反応が観察された領域に対応すると考えられる。

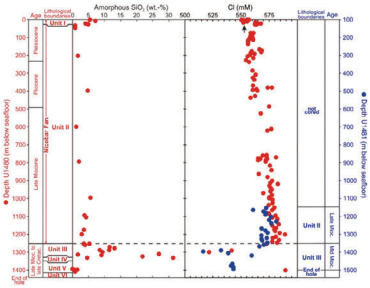


図2：掘削した海底堆積物の年代・柱状図と堆積物から抽出された流体(間隙水)の化学分析結果

掘削した堆積物はUnitI～VIに区分されている。堆積物が大きく変化するUnitIII(海底下1350m)では、Cl濃度が約520mMまで低下し、反対に非晶質シリカの含有量は30％に増加する。このことからこの深度で鉱物の脱水が起きていると考えられる。

研究航海の醍醐味

国際深海科学掘削計画 第362次航海では、2004年スマトラ地震時に発生した巨大津波の原因を調べるため、2016年8月6日～10月6日まで北スマトラ沖で海洋掘削調査を行いました。この航海には10ヵ国から32名の研究者が乗船し海底堆積物の観察や分析などを船上で行いました。国際深海科学掘削では、船上において毎日更新されるデータや新たな疑問に対して様々な分野の研究者の知識が持ち寄られ、顔を合わせて多くの議論を交わすことができます。まさに研究の最前線にいるようなスピードで毎日が進んでいき、多くの達成感や充実した毎日を過ごすことができます。これこそが船に乗って研究するということの醍醐味だと感じています。

Science 5月26日号 Report
Science 26 May 2017: Vol. 356, Issue 6340, pp. 859-862
DOI: 10.1126/science.aai9372

ヒト細胞マイクロRNAのTudor-SN依存的分解は、G_1/S期移行を促進する

Tudor-SN-mediated endonucleolytic decay of human cell microRNAs promotes G_1/S phase transition

三好 啓太 *Keita Miyoshi*
Staff scientist, Department of Biochemistry and Biophysics, School of Medicine and Dentistry, Center for RNA Biology, University of Rochester
（現 国立遺伝学研究所 無脊椎動物遺伝研究室 助教）

Reyad A. Elbarbary[1,2] Jason R. Myers[3] Peicheng Du[4] John M. Ashton[3] Bin Tian[5] and Lynne E. Maquat[1,2,6]

[1] Department of Biochemistry and Biophysics, School of Medicine and Dentistry, University of Rochester
[2] Center for RNA Biology, University of Rochester
[3] Genomics Research Center, University of Rochester
[4] Office of Advanced Research Computing, Rutgers, The State University of New Jersey
[5] Department of Microbiology, Biochemistry, and Molecular Genetics, Rutgers New Jersey Medical School
[6] Department of Oncology, School of Medicine and Dentistry, University of Rochester

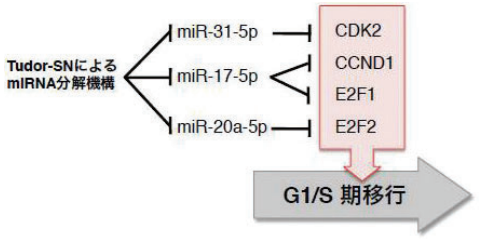
Contact
E-mail：kmiyoshi@nig.ac.jp
所在地：411-8540 静岡県三島市谷田1111
ＵＲＬ：http://ksaitolab.org/

新規miRNA分解機構とその機能を解明

miRNAは約23塩基からなる機能性小分子RNAのひとつである。miRNAはRISC（RNA induced silencing complex（RISC））と呼ばれる複合体を形成し、miRNA配列に相補的な配列を持つmRNAを標的とする。標的mRNAは翻訳抑制もしくは不安定化に導かれ、その発現抑制が行われる。ヒトでは1,800以上のmiRNAが存在し、細胞内遺伝子の30％以上がその制御を受け、発生や形態形成、細胞増殖、癌化などを時期・空間的に制御している。またmiRNA自体の発現制御もmiRNAによる遺伝子発現機構において非常に重要である。miRNAの発現制御機構は、転写制御、miRNA生合成過程における制御など、多岐にわたる。

本研究において、筆者らは、ヒト細胞において成熟型miRNAの新規発現制御機構を明らかにした。Tudor-SNをノックダウンした細胞におけるmiRNAの発現の解析および生化学的な解析により、Tudor-SNのエンドヌクレアーゼ活性により特異的な成熟型miRNAが分解されることを明らかにした。さらに、Tudor-SN欠失細胞の解析により、Tudor-SNは細胞周期G_1/S期移行において特異的なmiRNAの分解を引き起こし、G_1/S期移行に必須な遺伝子の発現を促進することを明らかにした。

Figure and Note



図：Tudor-SNを介したmiRNA分解機構による細胞周期制御
時期特異的なTudor-SNを介した特定miRNAの発現制御により、細胞周期のG_1/S期に関連する遺伝子群の発現が制御されることが明らかになった。

未来につながる仕事と信じて。

今回の論文発表後、イタリアの一般女性から私宛にメールが届きました。「この研究を使って、母の癌の進行を遅らすことはできないか?」という内容でした。お母さんを想った優しいメールでした。私はラボで実験台に立ち、奔走する日々です。また、私の研究内容は非常に基礎的な生命科学です。私たちの研究結果は、まだ直接役に立てる訳ではありませんが、その先にあるはずの未来を本当に心待ちにしている人がたくさんいるということを改めて学びました。

写真：Maquat研究室のメンバー

Science 16 Jun 2017: Vol. 356, Issue 6343, pp. 1150-1153
DOI: 10.1126/science.aam8393

アト秒電子波束のコヒーレントイメージング

Coherent imaging of an attosecond electron wave packet

新倉 弘倫 *Hiromichi Niikura*
早稲田大学 理工学術院 先進理工学部 応用物理学科 教授
David M. Villeneuve[1,2] Paul Hockett[1] Marc J. J. Vrakking[3,4]
[1] National Research Council of Canada
[2] Joint Attosecond Science Laboratory, National Research Council and University of Ottawa
[3] Max-Born-Institut
[4] Fachbereich Physik, Freie Universität Berlin

アト秒レーザーによる位相を分けた電子波動関数イメージング

電子の波動関数（振幅と位相の分布）を直接イメージングし、また制御することは、原子分子光学やアト秒科学および量子物理学における目標の一つである。本研究では、極端紫外領域のアト秒レーザーパルス（高次高調波パルス列）と高強度の赤外レーザーパルスを組み合わせ、ネオン原子を量子選択的にイオン化し、放出された光電子の運動量分布を測定することで、ほぼ純粋なf-軌道電子（磁気量子数m=0）のイメージを得ることに成功した（図1）。

次に、異なる波長のアト秒高次高調波を用いて参照となる電子波動関数を生成し、それとコヒーレントに重ね合わせることで、ほぼ純粋なf-軌道電子の位相を区別したイメージを測定した（図2）。これは波動関数の向かい合う節の位相がちょうど逆になっていることを実験で証明したものである。本研究により、放出された光電子の運動量（角度）と位相との関係を測定することが可能になる。様々な原子や分子の位相を分けた電子波動関数（分子軌道）のイメージとその変化を測定することが今後の展開である。

Contact
E-mail：niikura@waseda.jp
所在地：169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1
早稲田大学 理工学術院 先進理工学部
応用物理学科51号館6階07B室
U R L：http://www.f.waseda.jp/niikura/index.html

Figure and Note

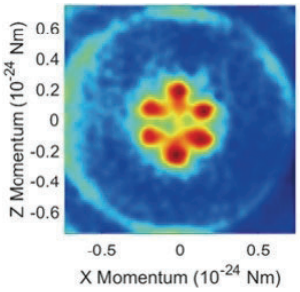


図1：測定されたほぼ純粋なf-軌道

アト秒パルスと赤外パルスによるネオン原子のイオン化により生成した光電子の運動量分布。六つの節が見えるが、ほぼ純粋なf-軌道の磁気量子数（m=0）が選択的に観測されていることがわかる。連続状態の運動量空間での波動関数に相当する。

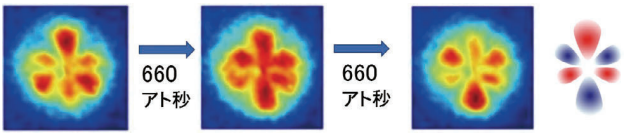
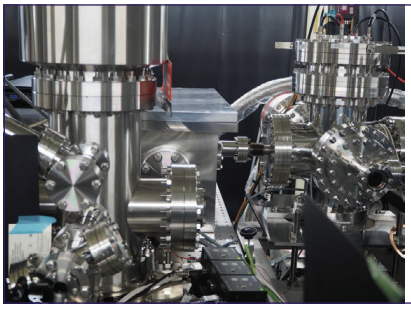


図2：位相を分けた光電子運動量分布

測定された、位相を分けた波動関数イメージ。アト秒パルスと赤外レーザーパルスの時間差を変化させると、異なる位相成分が強調される。右図はf-軌道の模式図。



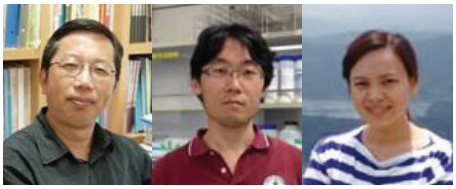
アト秒科学の新規展開

本研究の実験は早稲田大学（新倉研究室）で行われ、またデータのフィッティング等やモデルを確かめる理論計算は、カナダ国立研究機構およびマックスボルン研究所で行われたものです。筆者（新倉）としては、空のラボにレーザーひとつを備え付けるところからスタートし、その後、レーザーの増設・アト秒発生・分光装置の構築・新規開発の高精度高安定アト秒光学系を用いた測定などを経て、新たなアト秒科学の展開を行うことができたので、良かったと考えています。

Science 7月7日号 Report
Science 07 Jul 2017: Vol. 357, Issue 6346, pp. 80-83
DOI: 10.1126/science.aam9654

宿主特異性決定因子の機能喪失による コムギいもち病菌の進化

Evolution of the wheat blast fungus through functional losses in a host specificity determinant



左から土佐 幸雄、井上 喜博、Trinh T.P. Vy

土佐 幸雄 *Yukio Tosa*
神戸大学大学院 農学研究科 教授

井上 喜博 *Yoshihiro Inoue*
神戸大学大学院 農学研究科 学術研究員
（現 京都大学大学院 農学研究科 学術研究員）

Trinh T. P. Vy
神戸大学大学院 農学研究科 学術研究員

吉田 健太郎[1,2] 麻野 北斗[1] 三岡 周子[2] 足助 聡一郎[1] Vu L. Anh[1] Christian J.R. Cumagun[1] 中馬 いづみ[1] 寺内 良平[2,3]
加藤 鎌司[4] Thomas Mitchell[5] Barbara Valent[6] Mark Farman[7]

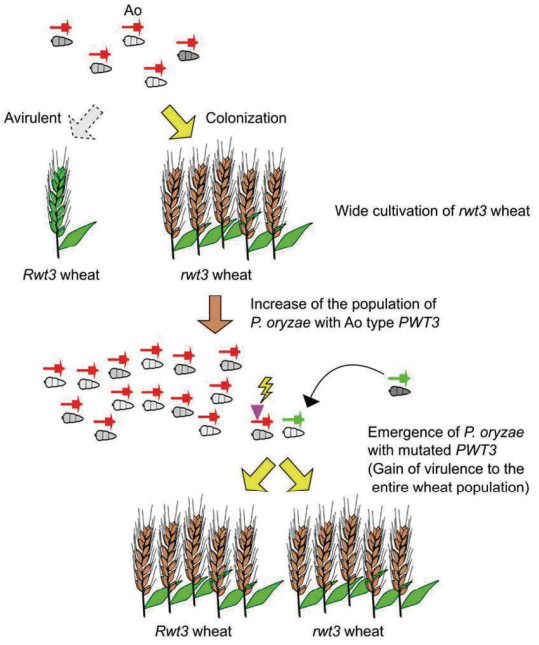
[1] 神戸大学大学院 農学研究科
[2] 岩手生物工学研究センター
[3] 京都大学大学院 農学研究科
[4] 岡山大学大学院 環境生命科学研究科
[5] Department of Plant Pathology, Ohio State University
[6] Department of Plant Pathology, Kansas State University
[7] Department of Plant Pathology, University of Kentucky

Contact 土佐 幸雄 **E-mail**：tosayuki@kobe-u.ac.jp
所在地：657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1 神戸大学大学院農学研究科

新品種の導入が植物病原菌のホストジャンプの跳躍板を提供した

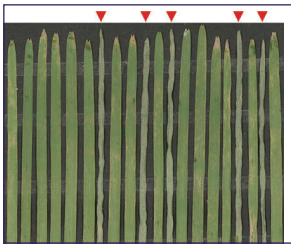
1980年代にブラジルで出現し、最近アジアに飛び火して人類の食料生産の脅威となりつつある植物病原体がある。コムギいもち病菌（以下、コムギ菌）である。本研究は、その進化機構を解明したものである。まず、コムギ菌に近縁のライグラス菌がコムギに寄生できないのは、ライグラス菌が*PWT3*という「非病原力遺伝子」を保有し、その産物がコムギの抵抗性遺伝子*Rwt3*に認識されるためであることを明らかにした。*PWT3*を破壊するとライグラス菌はコムギに病原性を獲得することから、単一の非病原力遺伝子の機能欠失によってライグラスからコムギへのホストジャンプが起こることが明らかとなった。一方、コムギ集団における*Rwt3*の保有状況を調査した結果、一般的にコムギは*Rwt3*を保有しているが、1980年代初頭のブラジルにおいて、*Rwt3*を保有しない品種が奨励品種となり、広く栽培されたことが判明した。このことから、この*Rwt3*非保有品種にライグラス菌が寄生し、その上で増殖する中で*PWT3*に機能欠失変異が起こって*Rwt3*保有品種に対する病原性をも獲得し、最終的に全コムギ品種に病原性を示すコムギ菌が成立したと考えた。このモデルは、*Rwt3*非保有品種がホストジャンプのspringboard（跳躍板）になったことを示している。

Figure and Note



図：コムギいもち病菌の進化モデル

機能を持つ*PWT3*（Ao）を保有する祖先菌は*Rwt3*保有品種を侵せないが、*Rwt3*欠失品種に寄生し増殖する中でコムギに適応した。その中から*PWT3*に変異を起こした系統が出現し、コムギ全体を侵すコムギ菌として成立した。



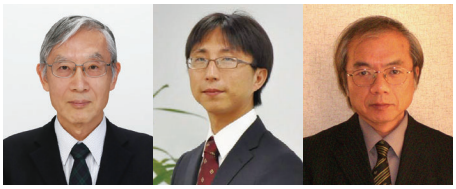
メンデル遺伝学の重要性

分子情報が簡単に入手できるようになった現在、何かの遺伝子をクローニングしようとすると、まず、分子情報を出来る限り集めて形質とのアソシエーションをとる、というアプローチを考える方は多いと思います。しかし、本研究の主役となった*PWT3*は、コムギ菌という新規病原菌の進化に決定的役割を果たした遺伝子ですが、決してアソシエーションではあがってきません。コムギ菌集団の中に大きな多型があるからです。本遺伝子のクローニングは、地道なメンデル遺伝学的解析によって可能となりました。今の時代にあっても、メンデル遺伝学の重要性は不変です。

Science 7月7日号 Report
Science 07 Jul 2017: Vol. 357, Issue 6346, pp. 67-71
DOI: 10.1126/science.aam8697

化学的環境を識別できる分解能をもったナノスケール核磁気共鳴

Nanoscale nuclear magnetic resonance with chemical resolution



左から磯谷 順一、小野田 忍、角谷 均

磯谷 順一 *Junichi Isoya*
筑波大学 知的コミュニティ基盤研究センター 名誉教授

小野田 忍 *Shinobu Onoda*
量子科学技術研究開発機構 量子ビーム科学研究部門 高崎量子応用研究所
先端機能材料研究部 主幹研究員

角谷 均 *Hitoshi Sumiya*
住友電気工業株式会社 アドバンストマテリアル研究所 フェロー / 技師長

Nabeel Aslam[1] Matthias Pfender[1] Philipp Neumann[1] Rolf Reuter[1] Andrea Zappe[1] Felipe Fávaro de Oliveira[1] Andrej Denisenko[1] Jörg Wrachtrup[1,2]

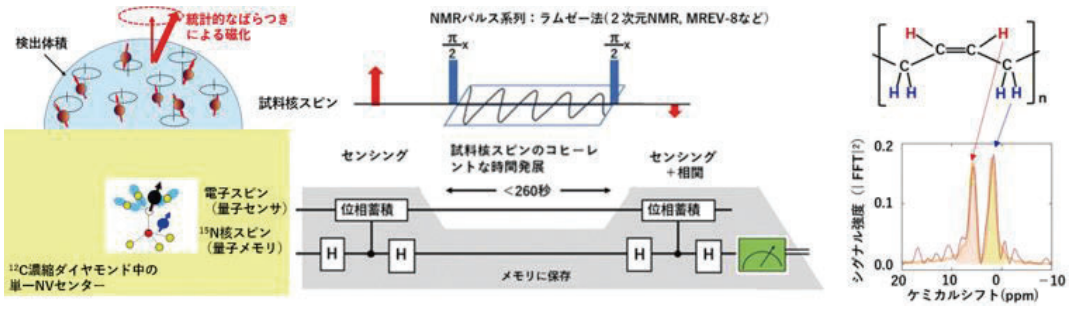
[1] Center for Integrated Quantum Science and Technology (IQST) and 3. Physikalischen Institut, University of Stuttgart
2Max Planck Institute for Solid State Research

Contact 磯谷 順一 **E-mail**：isoya.junichi.fw@u.tsukuba.ac.jp
所在地：305-8550 茨城県つくば市春日1-2

通常のNMRの10桁以上少ない試料に対して室温でケミカルシフトを観測

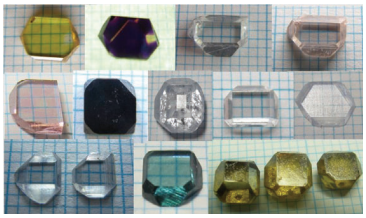
NMR（核磁気共鳴）は化学構造決定の有力な方法であるが、感度と空間分解能が低いという弱点がある。スペクトル分解能を落とさずにこの弱点を大幅に改善できれば、化学、生物学、医学、材料科学に革新的な進歩をもたらす。ダイヤモンドのNV（窒素－空孔）センターは、単一分子に相当する単一欠陥に伴う電子スピンが高感度とナノ空間分解能を併せ持つ量子センサとなる。深さ数ナノメートルの単一NVセンターを用いてダイヤモンド表面においた試料の少数の核スピンを検出するナノNMRが報告されていたが、周波数分解能は電子スピンのスピン格子緩和時間（数ミリ秒）で限られ、化学環境の違いを識別するには程遠かった。本研究ではラジオ波パルスで駆動したNMRシグナルを受信コイルの代わりに単一NVセンターを磁気センサに用いて検出する方式を用いた。高磁場を用いること、NVセンターの窒素核スピン（室温・高磁場では260秒のスピン格子緩和時間を持つ）をメモリに用いること、やや深いNVセンターを用いることにより周波数分解能を改善した。液体試料では、通常のNMRの10桁以上少ない検出体積で、NMR周波数の百万分の一にあたる周波数分解能を達成し、化学構造決定の重要な情報であるケミカルシフトの観測に成功した。固体試料で双極子場のひろがりを平均化する多重パルス法にも成功している。

Figure and Note



図：ナノNMRプローブによる極微量試料の化学構造同定

NMRパルス系列（自由誘導減衰が得られるラムゼー法を例にするが、MREV-8なども使える）による試料核スピンの時間発展の前後の相関をとることで1点ごとに時間領域のスペクトルを得る。^{15}N核スピンをメモリに用いることで高分解能に必要な長時間の追跡が可能になる。



ダイヤモンド材料科学から量子科学技術へ

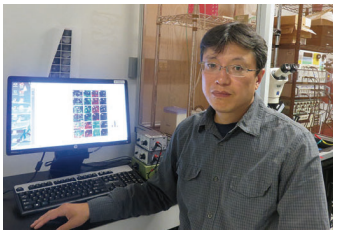
量子科学技術の発展は、量子操作技術と試料作製とが伴って、はじめて大きな前進が得られます。本研究では高純度・高結晶性の^{12}C濃縮ダイヤモンド結晶からの（111）薄膜作製が重要な役割を果たしました。私たちは物質・材料研究機構、早稲田大学、シュツットガルト大学、ウルム大学との共同研究として、量子センシング・高分解能ナノNMRの開発を行っています。ナノ空間の反応や細胞内の化学物質の追跡への応用をめざしています。

写真：プロジェクトで作製したダイヤモンド結晶

Science 7月28日号 Report
Science 28 Jul 2017: Vol. 357, Issue 6349, pp. 400-404
DOI: 10.1126/science.aan3721

手先の器用さに関わる皮質－運動神経結合の種特異的な調節機構

Control of species-dependent cortico-motoneuronal connections underlying manual dexterity



吉田 富 *Yutaka Yoshida*
Associate Professor, Division of Developmental Biology,
Cincinnati Children's Hospital Medical Center（CCHMC）
全著者リスト：http://science.sciencemag.org/content/357/6349/400

Contact
E-mail：yutaka.yoshida@cchmc.org
所在地：Cincinnati, OH 45229, USA
U R L：https://www.cincinnatichildrens.org/research/divisions/d/dev-biology/labs/yoshida

霊長類の手先の器用さに関わる神経回路がマウスにも存在することが明らかに

手先を器用に動かす事ができる霊長類では、進化の過程で霊長類特異的な神経回路を獲得したと考えられていたが、今回、我々は、マウスにはその神経回路を積極的に排除する仕組みがある事を見出した。霊長類では、皮質と運動ニューロンが直接繋がる神経回路が存在しており、その回路により、指の筋肉を別々に動かす事ができると考えられている。我々は、その神経回路が生後初期のマウスにも存在し、その後に排除される事を見出した。この神経回路の排除には、神経同士を反発させるPlexA1受容体が関わっており、PlexA1を欠損した変異マウスでは、皮質と運動ニューロンが直接繋がる神経回路が排除されずに維持されていた。さらに、この変異マウスの手の動きを調べると、野生型のマウスに比べて、手が器用になっていた（図1及び2）。最後に、人間では、PlexA1の発現を抑制するメカニズムがあることが分かった。これらの結果は、哺乳類は手先が器用になる神経回路を持っていたが、霊長類以外では手先を器用に使う必要がないために排除された可能性を示唆している。

Figure and Note

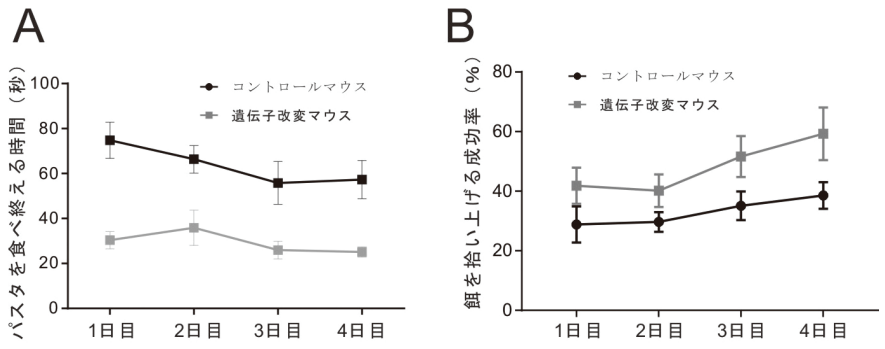
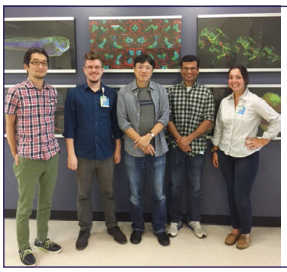


図1：器用なマウス
変異マウスは、コントロールのマウスよりもパスタを早く食べることができる（図1A）。さらに、チューブから落ちる餌を、前脚を使って拾い上げるテストをすると、変異マウスの方が効率良く餌を拾い上げることができた（図1B）。

図2：パスタを食べるマウス
手先が器用になった変異マウスは、パスタをうまくつかんで食べることができる。



運動系の神経回路研究

今回、我々は生後初期のマウスで、皮質と運動ニューロンが直接繋がる神経回路が存在することを示しましたが、マーモセット等のように、その直接の運動回路を持っていない霊長類等の哺乳類でも同様な回路の排除が起こっているかは、今後明らかになっていくと思われます。また、霊長類特異的な運動神経回路形成を明らかにするために、PlexA1のような種特異的に発現する遺伝子の同定も必要であると考えています。運動に関わる神経回路の研究は、回路の変化と運動の異常を直接比べることができる、非常に魅力的な研究分野です。

Science 8月4日号 Report
Science 04 Aug 2017: Vol. 357, Issue 6350, pp. 472-475
DOI: 10.1126/science.aan0178

UBE2Oはタンパク質複合体からあぶれたみなしご分子を標的とする品質管理因子である

UBE2O is a quality control factor for orphans of multiprotein complexes

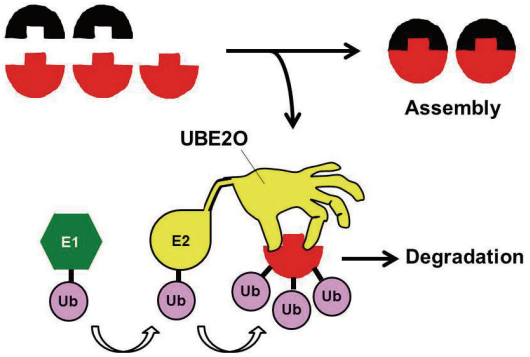
柳谷 耕太 *Kota Yanagitani*
Postdoctoral Fellow, Medical Research Council (MRC) Laboratory of Molecular Biology
(現 株式会社 国際電気通信基礎技術研究所 ERATO佐藤ライブ予測プロジェクト In vivoオルガネラグループ グループリーダー)
Szymon Juszkiewicz[1] Ramanujan S. Hegde[1]
[1] Medical Research Council (MRC) Laboratory of Molecular Biology

Contact
E-mail：yanagi.pausing@gmail.com
所在地：619-0288 京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2(けいはんな学研都市)

サイトゾルでみなしごタンパク質を分解する因子UBE2Oを発見

多くのタンパク質は合成された後に、複数のサブユニットから成るタンパク質複合体の中に取り込まれて機能を発揮する。タンパク質複合体は、それぞれのサブユニットが決まった比率で会合しており、複合体からあぶれたみなしごタンパク質は分解される傾向にある。これは、機能を果たさない余りものを除去することで、タンパク質の恒常性を維持するシステムが存在することを暗に示している。しかし、このようなみなしごタンパク質がどのように認識され、除去されるのかは十分には理解されていなかった。本研究では、種を越えて広く保存されたユビキチン結合酵素(E2)であるUBE2Oが、みなしごタンパク質を直接認識して、ユビキチン化することを見出した。しかも、このユビキチン化には別のユビキチン連結酵素(E3)は必要ではなかった。内在性のUBE2Oの標的を探索したところ、UBE2Oが非常に高発現する網状赤血球においては、β-globinと会合しそこなったα-globinがUBE2Oによってユビキチン化されることが明らかになった。網状赤血球以外の細胞においては、核内移行因子と結合しそこなったribosomal proteinsが、UBE2Oに非常に高効率でユビキチン化されることが見出された。この研究から、UBE2Oはみなしごタンパク質を分解に導く、基質認識活性からユビキチン連結活性までを内蔵した、新たなタンパク質品質管理因子であることが明らかとなった。

Figure and Note



図：UBE2Oはみなしごタンパク質を捕まえて、分解を促進する。
ヘモグロビンやリボソームなどの多サブユニット複合体が形成される際には、複合体に入れなかったみなしごタンパク質が発生する。UBE2Oは、みなしごタンパク質を認識してユビキチン化し、その分解を促進する。

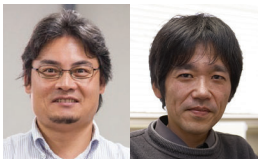
LMB流研究スタイル

この研究を行ったMRC分子生物学研究所では、研究者はランチに加えて、午前と午後のティータイムにカフェテリアでおしゃべりをしていました。日本では、私は研究室に籠りきりの生活だったので、初めは面食らいましたが、こういった会話から研究のアイデアが湧いてくるのだということが、後々実感できるようになりました。皆さんの研究室でもティータイムを導入してはいかがですか?

Science 8月18日号 Report
Science 18 Aug 2017: Vol. 357, Issue 6352, pp. 673-676
DOI: 10.1126/science.aan0202

二次元sp^2炭素共役共有結合性有機構造体

Two-dimensional sp^2 carbon-conjugated covalent organic frameworks



左から江 東林、中村 敏和

江 東林 *Donglin Jiang*
北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 環境・エネルギー領域　教授

中村 敏和 *Toshikazu Nakamura*
分子科学研究所 物質分子科学研究領域 電子物性研究部門 准教授

Enquan Jin[1]　浅田 瑞枝[2]　Qing Xu[1]　Sasanka Dalapati[1]　Matthew A. Addicoat[3]
Michael A. Brady[4]　Hong Xu[1,2]　Thomas Heine[5]　Qiuhong Chen[1]

[1] 北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 環境・エネルギー領域
[2] 分子科学研究所 物質分子科学研究領域
[3] School of Science and Technology, Nottingham Trent University
[4] Molecular Foundry and Advanced Light Source, Lawrence Berkeley National Laboratory
[5] Wilhelm-Ostwald-Institute for Physical and Theoretical Chemistry, Leipzig University

Contact

江 東林
E-mail：djiang@jaist.ac.jp
所在地：923-1292 石川県能美市旭台1-1 マテリアル研究棟MS Building Ⅲ4F
U R L：http://www.jaist.ac.jp/ms/labs/jiang/JAIST/Welcome.html
中村 敏和
E-mail：t-nk@ims.ac.jp
所在地：444-8585 愛知県岡崎市明大寺町字西郷中38番地
U R L：http://naka-w.ims.ac.jp/index.html

2次元sp^2炭素有機骨格構造体を合成

2次元炭素材料は特異な化学・電子構造を有するため、近年各国で熾烈な研究開発が行われている。特に、グラフェンは、sp^2炭素原子が2次元的に繋がって原子層を形成し、特異な物理・化学特性を示す。しかしながら、化学的な手法でsp^2炭素ユニットを規則正しく繋げてsp^2炭素シートを作りあげることが極めて困難である。

本研究では、sp^2炭素ユニットから2次元炭素高分子を設計する原理を明らかにし、さらに、sp^2炭素ユニットを規則正しく連結して2次元炭素高分子を合成する手法を開拓した。この手法は分子構造を思ったままに設計して2次元炭素をテーラーメイドで合成することを可能とする。2次元炭素高分子は、規則正しい分子配列構造を有し、拡張された2次元sp^2炭素有機骨格構造を持つ。高い結晶性と安定性を持ち、π共役が2次元的に広がっており、1次元チャンネルが内蔵されている。この2次元sp^2炭素材料は、ヨウ素でドーピングすると、電気伝導度が12桁も高くなり、優れた半導体特性を示す。極めて高い濃度の有機ラジカル種を共存させることができ、さらに、低温において、これらのラジカルスピンが同じ方向に配列するように転移し、磁性体になることを突き止めた。

Figure and Note

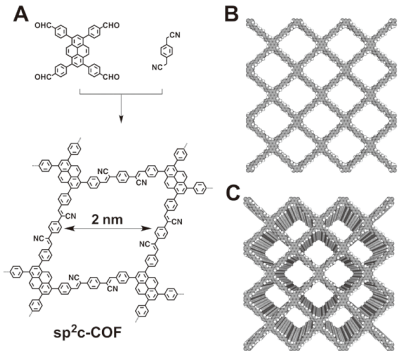


図1：A）sp^2炭素ユニットからなる2次元炭素高分子の合成。B）2次元炭素原子層の構造。C）積層された2次元炭素構造。

可逆的なC＝C結合反応を用いて、C=C結合でsp^2炭素ユニットを規則正しく繋げて、結晶性の高い2次元sp^2炭素高分子を合成した（図1A）。この炭素材料は2次元炭素シートが広がって（図1B）、積層することにより規則正しく並んだ2ナノメートルサイズを有する1次元チャンネルを作り出す（図1C）。

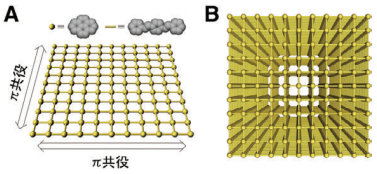


図2：A）2次元炭素の網目モデル構造、xとy方向にπ共役が広がっている。B）積層された2次元炭素の網目モデル構造。

2次元sp^2炭素原子層の中では、xとy方向に沿ってπ電子共役が伸びており、拡張された2次元電子系を形成する（図2A）。また、積層構造では、ピレン（丸い点）ユニットが縦方向でスタックして特異なπカラムアレイ構造と1次元ナノチャンネル構造を形成している（図2B）。

2次元高分子の設計と合成を通じて

当研究室では、化学的な手法を用いて共有結合で2次元有機高分子分野の開拓に挑戦し、設計原理を確立するとともに、様々な合成反応や手法の開拓に成功しました。2次元有機高分子が従来のリニアポリマーと3次元高分子とは全く異なる分子形態を有し、骨格の周期配列および1次元チャネンル多孔構造を持ち合わせているという構造特徴を持ちます。これらの特異な分子空間における光子、エキシトン、電子、ホール、スピン、イオンおよび分子との相互作用の解明を通じて、高分子骨格、1次元細孔チャンネルおよび両者の協働作用をもとに2次元高分子材料の機能設計に挑戦してきました。これまでに、半導体、蛍光発光、光伝導、光誘起子移動、電荷分離、光電変換、エネルギー貯蔵、不斉触媒、水素イオン伝導、二酸化炭素分離・吸蔵およびスピン配列など2次元ならではの様々な優れた機能の開拓に成功しています。

Science 18 Aug 2017: Vol. 357, Issue 6352, pp. 699-703
DOI: 10.1126/science.aan0425

メタン生成代謝に含まれるヘテロジスルフィドレダクターゼ(HdrABC-MvhAGD)は、2つの非キュバン[4Fe-4S]クラスターを還元反応に使用する

Methanogenic heterodisulfide reductase (HdrABC-MvhAGD) uses two noncubane [4Fe-4S] clusters for reduction

左からTristan Wagner、Jürgen Koch、Ulrich Ermler、嶋 盛吾

Contact

嶋 盛吾
E-mail：shima@mpi-marburg.mpg.de
所在地：Karl-von-Frisch-Straße 10, 35043 Marburg, Germany
U R L：http://www.mpi-marburg.mpg.de/shima

嶋 盛吾 *Seigo Shima*
Research Group Leader, Max Planck Institute for Terrestrial Microbiology

Tristan Wagner
Postdoctoral Fellow, Max Planck Institute for Terrestrial Microbiology

Jürgen Koch
Technical Assistant, Max Planck Institute for Terrestrial Microbiology

Ulrich Ermler
Research Group Leader, Max Planck Institute of Biophysics

電子バイフリケーション機構で還元反応を行う酵素の結晶構造

有機物の生物分解によって、地球上で年間1ギガトンものメタンが生成している。ほとんどのメタン生成菌は、水素ガスからの電子を用いて、CO_2を還元しメタンを生成することができる。この代謝の最終反応によってメタンとともに、ヘテロジスルフィド(CoM-S-S-CoB)が生成する。このヘテロジスルフィドを還元し、補酵素M(CoM-SH)と補酵素B(CoB-SH)を再生する反応は、ヘテロジスルフィド還元酵素(Hdr)によって触媒される。水素ガスからの還元力を利用するために、Hdrは水素変換酵素(Mvh)と複合体を形成している。結晶構造解析により、Hdr/Mvh酵素複合体の立体構造を明らかにした。Hdr/Mvh複合体は電子バイフリケーション機構によって、フェレドキシンも同時に還元することができる。還元されたフェレドキシンはメタン生成代謝のCO_2固定反応などで重要な働きをする。今回得られた立体構造から電子バイフリケーション機構の解明につながる重要な結果が得られた。また、これまでに知られていない形状のコファクター(非キュバン型四鉄四硫黄クラスター)を介して、ヘテロジスルフィド還元反応が行われることが明らかとなった。

Figure and Note

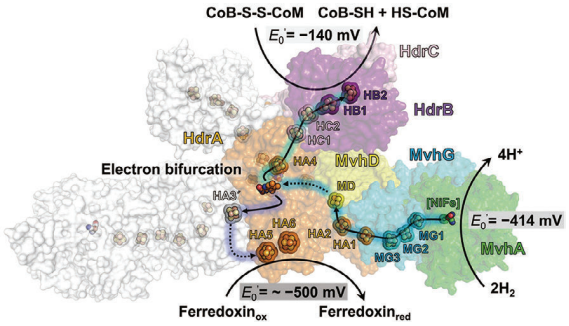


図1：Hdr/Mvh酵素複合体の立体構造

酵素サブユニットを色分けして示した。触媒反応と電子伝達経路は、それぞれ実線と破線の矢印で示した。

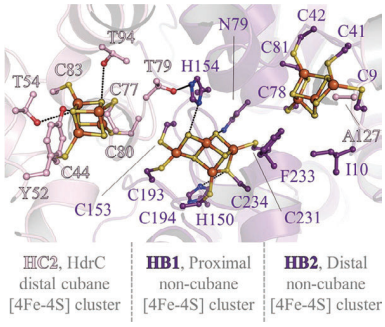
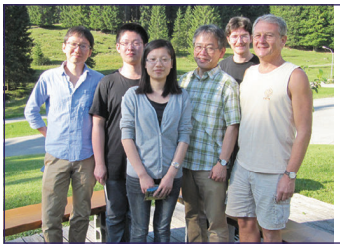


図2：非キュバン[4Fe-4S]クラスター

非キュバン型の新規[4Fe-4S]クラスター(HB1とHB2)。比較のため近くのキュバン型[4Fe-4S]クラスター(HC2)を示した。



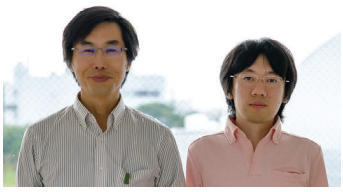
マックスプランク陸生微生物学研究所、嶋グループ

私たちの研究室ではメタン生成代謝に含まれる酵素の触媒機構を解明するため、酵素タンパク質の結晶構造解析を行っています。今回得られた結晶構造により、これまでに知られていない新規な鉄硫黄クラスターを発見しました。このような予想外の結果に出合えることが研究の醍醐味だと感じています。

Science 9月1日号 Report
Science 01 Sep 2017: Vol. 357, Issue 6354, pp. 921-924
DOI: 10.1126/science.aan8552

基本的な転写伸長因子を結合した完全なRNAポリメラーゼII伸長複合体の構造

Structure of the complete elongation complex of RNA polymerase II with basal factors



左から関根 俊一、江原 晴彦

関根 俊一 *Shun-ichi Sekine*
理化学研究所 ライフサイエンス技術基盤研究センター 超分子構造解析研究チーム チームリーダー

江原 晴彦 *Haruhiko Ehara*
理化学研究所 ライフサイエンス技術基盤研究センター 超分子構造解析研究チーム 研究員

横山 武司[1]　重松 秀樹[1]　横山 茂之[2]　白水 美香子[1]

[1] 理化学研究所 ライフサイエンス技術基盤研究センター タンパク質機能・構造研究チーム
[2] 理化学研究所 横山構造生物学研究室

Contact

関根 俊一　**E-mail**：shunichi.sekine@riken.jp
所在地：230-0045 神奈川県横浜市鶴見区末広町1-7-22
U R L：http://www.riken.jp/research/labs/clst/struct_synth_biol/struct_biol/supramol_struct_biol/
江原 晴彦　**E-mail**：haruhiko.ehara@riken.jp

転写中のRNAポリメラーゼIIの立体構造を解明

RNAポリメラーゼII(Pol II)は、mRNAの転写を担う酵素であり、遺伝子発現において中核的な役割を果たす。しかし、Pol IIは、それ単独で転写に必要なすべての機能をもっているわけではなく、転写因子と呼ばれる様々なタンパク質と複合体を形成してはじめて転写の遂行が可能となる。mRNAの転写は、転写の開始から伸長、終結という多段階の過程からなっているが、Pol IIは、各段階で異なる種々の転写因子と会合し、各段階に必要とされる機能をもった巨大複合体を形成することによって、転写を遂行している。

本研究では、X線結晶構造解析とCryo-EM単粒子解析を組み合わせることにより、転写伸長時に作用する普遍的な転写因子(Elf1, Spt4/5, TFIIS)が転写中のPol IIに結合して形成される転写伸長複合体の構造を解明した。その結果、Elf1とSpt4/5は、DNAやRNAの結合部位に結合してPol IIと一体化し、DNAやRNAを導くトンネルを確立することで、転写伸長に特化した構造を完成させていることが明らかになった。また、この複合体は、転写開始時に形成される複合体とは大きく異なっており、転写開始から伸長の段階にかけて起こる転写装置の劇的な変化を解明することができた。

Figure and Note

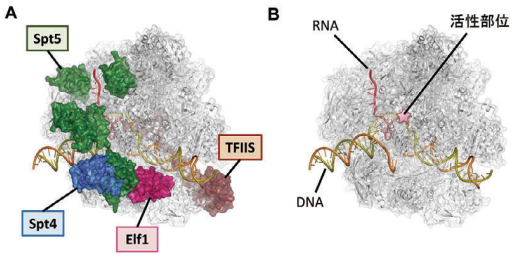


図1：Pol II転写伸長複合体の構造
A Elf1, Spt4/5, TFIISを結合した転写伸長複合体の構造
B 転写伸長複合体から転写伸長因子を省いた構造を比較のために示す。

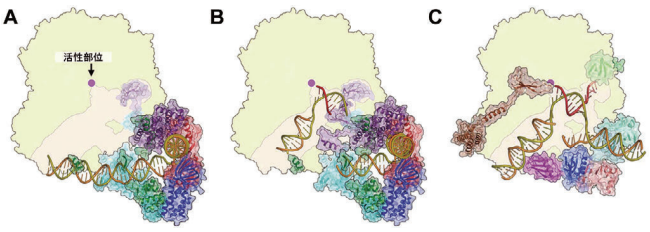


図2：転写開始から伸長段階へかけての劇的な構造変化
A 転写開始前複合体(PIC)
B 転写開始複合体(ITC)
C 今回解明した転写伸長複合体(EC)

生命を支える分子の働く仕組みに挑戦する醍醐味

私たちのチームは、重要な生命現象の背後にある分子メカニズムの理解を目指して研究を行なっています。今回の論文では、mRNAの転写をつかさどる巨大な複合体の構造解明に初めて成功しました。得られた構造は、まさに「構造が機能を物語る」といえるもので、転写伸長因子がどのように働いているか、なぜ必要なのか、を一目瞭然に理解することができました。構造生物学の研究者として、このような機会に巡り合えたことに大きな喜びを感じています。今後も、複合体分子の構造生物学的研究を通じて、生命のメカニズムの解明に挑戦していきたいと思います。

Science 01 Sep 2017: Vol. 357, Issue 6354, pp. 932-935
DOI: 10.1126/science.aam9046

不妊の性染色体トリソミーマウスに由来する繁殖可能な子孫

Fertile offspring from sterile sex chromosome trisomic mice

左から廣田 孝幸、斎藤 通紀

廣田 孝幸 *Takayuki Hirota*
Postdoc, Sex Chromosome Biology Laboratory, The Francis Crick Institute

斎藤 通紀 *Mitinori Saitou*
京都大学大学院 医学研究科 生体構造医学講座 機能微細形態学 教授
科学技術振興機構 ERATO 研究総括
京都大学 iPS細胞研究所 研究員
京都大学 物質-細胞統合システム拠点 連携主任研究者

大田 浩[1,2] Benjamin E. Powell[3] Shantha K. Mahadevaiah[3] Obah A. Ojarikre[3] James M. A. Turner[3]

[1] 京都大学大学院 医学研究科 生体構造医学講座 機能微細形態学
[2] 科学技術振興機構 ERATO
[3] Sex Chromosome Biology Laboratory, The Francis Crick Institute

Contact

廣田 孝幸
E-mail：takayuki.hirota@crick.ac.uk
所在地：1 Midland Road, London, NW1 1AT, United Kingdom
U R L：www.crick.ac.uk/research/a-z-researchers/researchers-t-u/james-turner/

斎藤 通紀
E-mail：saitou@anat2.med.kyoto-u.ac.jp
所在地：606-8501 京都市左京区吉田近衛町
U R L：anat.cell.med.kyoto-u.ac.jp/index.html

性染色体の数を直して不妊マウスから子供をつくる

ヒトの不妊の最も多い遺伝的原因は性染色体の異常である。通常2本である性染色体を3本もつトリソミーは約1,000人に1人の割合でみられ、男性患者で不妊のリスクが高くなる。我々は、精子形成に異常を示す性染色体トリソミーのモデルマウスから人工多能性幹細胞（iPS細胞）を作成する過程で、トリソミーの細胞から過剰な染色体が失われることを見つけた。染色体の本数が正常になったXY型のiPS細胞は生殖細胞へと誘導でき、得られた精子は顕微授精によって健康かつ妊孕性のある産仔を形成した。iPS細胞へのリプログラミングにおける染色体の欠失はトリソミーの細胞に偏ってみられ、ダウン症モデルマウスやトリソミー患者の細胞でも起こることが分かった。これらの発見は、不妊などのトリソミーに付随する症状の治療への新たな手法を提案する。また本研究の方法を用いると、XXY型の細胞からオス型（XY）とメス型（XX）のiPS細胞が得られる。これらの細胞は性染色体の構成のほかは遺伝的に同一であり、遺伝的に多様なヒトにおいて疾患のなりやすさや薬の効能の性差を調べるのに有用な材料になると考えられる。

Figure and Note

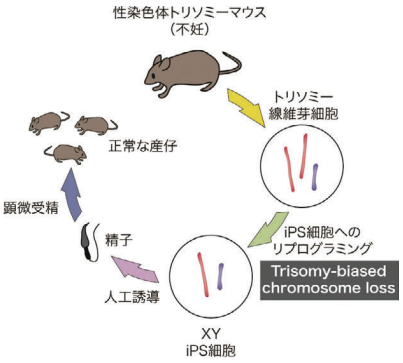


図1：本研究の概要
精子のない性染色体トリソミーのオスマウスの細胞がiPS細胞へと変化する過程で、過剰染色体が脱落する。得られたXY型のiPS細胞は人工的に精子へと誘導でき、正常な産仔をつくる。

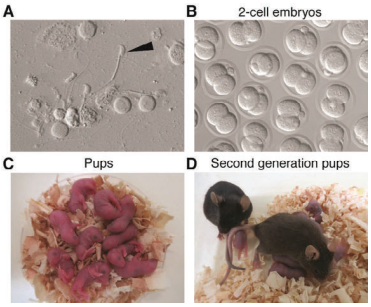


図2：性染色体数を直した細胞からの精子誘導
トリソミー由来のXY型iPS細胞から誘導された精子（A、矢頭）と、その顕微受精により得られた2細胞期胚（B）と産仔（C）。成長したiPS細胞由来産仔同士の自然交配から次世代が生まれる（D）。

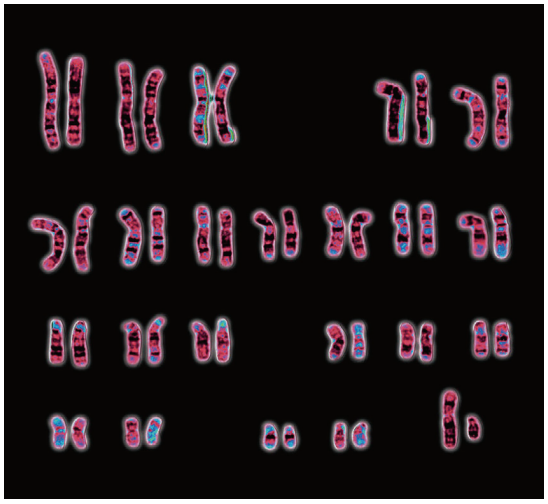
哺乳類の生殖細胞研究のこれから

生殖細胞を人工的に誘導することは、基礎生物学や不妊治療の発展に貢献します。研究者たちはすでにマウスやヒトの多能性幹細胞を使って、生体外で精子や卵子の元である始原生殖細胞、さらにはマウスで機能的な卵子を誘導することに成功しています。今後の競争はおそらく、生体からの材料を全く使わずに培養細胞のみから生殖細胞をつくる方向に進むと思われます。そうした研究を通して、受精卵のもつ全能性を生殖細胞がどのように形作るのか、またどのようなメカニズムで不妊症は起こるのかといった疑問への答えに近付くでしょう。さらなる若者の参加をお待ちしています。

性染色体の気まぐれな進化

Sex Chromosome Biology Laboratory, The Francis Crick Institute　**廣田 孝幸**

研究紹介で述べたように、性染色体のトリソミーは男性不妊と関連します。Xを3本持つ女性は妊娠に問題はありません。これらの症候群では高身長や軽度の発生異常が見られますが、症状は軽いのです。またX染色体を1本だけ持つモノソミーの女性も、低身長や不妊傾向があるものの、適切な医療の下で通常の生活を行うことができます。対照的に、常染色体の本数異常の影響は大きく、多くは出生前に死んでしまいます。13・18・21番染色体のトリソミーは出生可能ですが、早期死亡や知的障害などの重い症状を呈します。それではなぜ、本数異常が性染色体では許容されるのでしょうか？ その鍵は我々哺乳類の染色体の進化が握ると考えられています。



写真：'Normal male 46,XY human karyotype' by Wessex Reg. Genetics Centre. Credit: Wessex Reg. Genetics Centre. CC BY

哺乳類の性染色体は元々一つの常染色体のペアから進化したと考えられ、このペアは鳥類では1番と4番の常染色体として使われています。カンガルーやコアラなどの有袋類とヒトやマウスなどの真獣類が分岐した1億8千万年前より前に、のちにY染色体となる染色体で精巣を作ることを決定する遺伝子の獲得が起きたとされています。この原始的なY染色体で大規模な逆位（染色体領域の向きが逆になること）が起こり、原始X染色体との組換え修復が出来なくなったことが、X染色体とY染色体への分化の契機とされています。Y染色体は1本しかないので遺伝子の変異を直しにくく、遺伝子が失われ小さくなっていきました。またY染色体はオスのみに継承されることから、精子形成に必要な遺伝子が集積しました。このような過程によりY染色体がオスの性分化と生殖機能に特化した染色体となっていった一方、X染色体ではオスとメスで本数が違うという問題が生じました。X染色体を2本持つメスで過剰にX染色体遺伝子が発現するのを防ぐため、哺乳類は2つ目のX染色体を丸ごと不活化する仕組みを獲得しました。かくして両方の性の細胞で、1つのX染色体だけが働くようになりました。ここまで説明したところで、前段落の疑問に答えられるでしょう。つまりY染色体は生存に必須ではないので、X染色体のモノソミーでも生きられます。また機能が生殖に特化しているので、数が増えても他の機能への影響が小さいのです。X染色体を過剰に持っても、上述の不活化により1本だけが使われます。しかし生殖細胞は体細胞と少し異なる性染色体の制御の仕組みを持つので、本数の増減に影響を受けてしまい症状が現れます。

哺乳類で見られた性染色体の進化の流れは、動物で普遍的に見られるわけではありません。性決定の仕組みは多様です。鳥類ではメスが2種類の性染色体を持つZW型の性決定様式が使われていますし、アリやハチでは未受精卵からオス、受精卵からメスが生まれます。一部の爬虫類や魚類では環境要因によって性が決まります。雌雄同体の種もいます。また遺伝的な性決定因子を持つことが、必ずしも性染色体の分化を促すわけではありません。例えばトラフグでは性決定遺伝子の領域以外は同じ配列の2つの性染色体を持ちます。性決定とそれに伴う性染色体の進化は偶然に満ちて気まぐれで、我々の文化や生活はたやすく振り回されています。

Science 9月1日号 Report
Science 01 Sep 2017: Vol. 357, Issue 6354, pp. 928-932
DOI: 10.1126/science.aan4497

NAD$^+$還元[NiFe]ヒドロゲナーゼのレドックススイッチ機構の構造基盤の解明

Structural basis of the redox switches in the NAD$^+$-reducing soluble [NiFe]-hydrogenase

左から庄村康人、樋口 芳樹

庄村 康人 *Yasuhito Shomura*
茨城大学大学院 理工学研究科 量子線科学専攻 准教授
樋口 芳樹 *Yoshiki Higuchi*
兵庫県立大学大学院 生命理学研究科 ピコバイオロジー専攻 教授
科学技術振興機構CREST 研究代表者
理化学研究所 SPring-8
全著者リスト：http://science.sciencemag.org/content/357/6354/928

Contact
庄村 康人
E-mail：yasuhito.shomura.s@vc.ibaraki.ac.jp
所在地：319-1106 茨城県那珂郡東海村白方 162-1
いばらき量子ビーム研究センター内
茨城大学フロンティア応用原子科学研究センター D309号室
U R L：http://qbsle.biochem.ibaraki.ac.jp
樋口 芳樹
E-mail：hig@sci.u-hyogo.ac.jp
所在地：678-1297 兵庫県赤穂郡上郡町光都３丁目２番１号
U R L：http://www.sci.u-hyogo.ac.jp/life/biophys1/

水素代謝酵素の酸素および活性酸素種からの防御機構の解明

NAD$^+$還元ヒドロゲナーゼは、水素酸化還元触媒ユニット（ヒドロゲナーゼ）とNAD$^+$酸化還元触媒ユニット（ジアフォラーゼ）が会合した多酵素複合体で、水素とNAD$^+$の酸化還元をカップリングさせることにより、細胞内の余剰な還元力を水素として放出する役割を担う。本研究におけるX線結晶構造解析の結果、本酵素は分子中の鉄硫黄クラスターの酸化状態の変化が引き金（レドックススイッチ）となって酵素の分子構造が変化し、これが酸素に対する防御機構と活性酸素種の生成を抑える分子機構に関連していることが見出された。また、酵素分子中で電子の移動経路となる鉄硫黄クラスターの立体配置が、ヒトを含む酸素呼吸をする生物の呼吸鎖電子伝達系で重要な酵素・複合体Iと酷似していることが明らかにされた。今回の研究成果は、酵素の酸素に対する防御機構と細胞における活性酸素種の生成を抑える分子機構や、生物によるエネルギー代謝システムの進化的側面の解明に寄与する重要な知見である。

Figure and Note

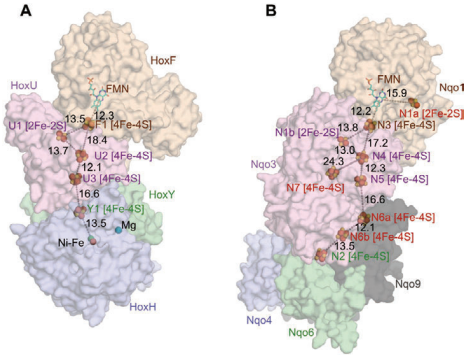


図1：NAD$^+$還元[NiFe]ヒドロゲナーゼ（A）と呼吸鎖複合体I（B）の比較
ヒドロゲナーゼのNAD酸化還元ユニット（HoxF+HoxU）と複合体Iの NADH酸化ユニット（Nqo1+Nqo3）が同じ向きになるように並べてみると、鉄硫黄クラスターの配置がよく似ていることがわかる。一方、ヒドロゲナーゼの水素酸化還元ユニット（HoxY+HoxH）と複合体Iのこれに相当するサブユニット（Nqo6+Nqo4）は、全く異なった位置にある。数字はクラスター間の距離をÅで示す。

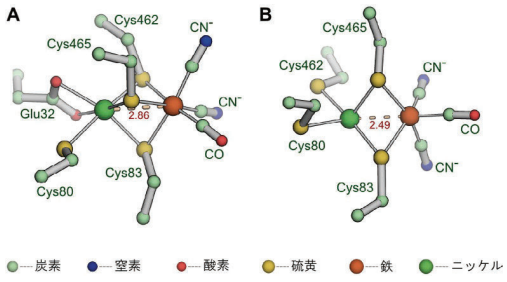


図2：NAD$^+$還元[NiFe]ヒドロゲナーゼの水素酸化還元部位の構造（A：酸化型、B：還元型）
還元型ではニッケルには４つの原子しか結合しておらず、基質である水素や、酵素活性を失う原因となる酸素が近づくことができる。これに対して酸化型では、ニッケルが６つの原子と結ばれており、反応を起こす場所がすきまなく保護されており、水素や酸素は結合できない。

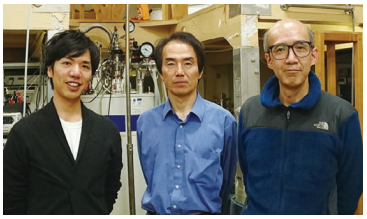
水素代謝に関与する酵素群の機能解明を目指して

我々の研究グループは、活性部位に安価な金属元素である鉄とニッケルをもつ水素分解・合成酵素として知られる[NiFe]-ヒドロゲナーゼの構造化学的研究をすすめています。さまざまな機能や性質をもつことが知られる本酵素ですが、最近の研究により、これらの違いはNi-Fe活性部位そのものではなく、電子伝達を担う鉄硫黄クラスターやその周辺の構造の違いに由来することが明らかになってきました。

Science 9月29日号 Report
Science 29 Sep 2017: Vol. 357, Issue 6358, pp. 1378-1381
DOI: 10.1126/science.aal2426

電子の結晶成長

Electronic crystal growth



左から佐藤 拓朗、鹿野田 一司、宮川 和也

佐藤 拓朗 *Takuro Sato*
東京大学大学院 工学系研究科 物理工学専攻
(現 理化学研究所 創発物性科学研究センター(CEMS)動的創発物性研究ユニット 特別研究員)

鹿野田 一司 *Kazushi Kanoda*
東京大学大学院 工学系研究科 物理工学専攻 教授

宮川 和也 *Kazuya Miyagawa*
東京大学大学院 工学系研究科 物理工学専攻 助教

Contact
佐藤 拓朗 **E-mail**：takuro.sato@riken.jp
所在地：351-0198 埼玉県和光市広沢2-1
鹿野田 一司 **E-mail**：kanoda@ap.t.u-tokyo.ac.jp
所在地：113-8656 東京都文京区本郷7-3-1

固体の中の電子が液体やガラス状態から結晶化する過程の観測に成功

原子・分子から成る過冷却液体やガラスが、しばらく待つと結晶へと変化することは良く知られている。一方、ごく最近、過冷却液体・ガラス・結晶という状態が“電子”集団にも現れることが分かってきた(図1)。では、電子はどのように“結晶化”するのか? 電子は量子性を持つ粒子なので、その結晶化が古典的粒子である原子や分子と同じ仕組みで起こるのか否かは全く自明ではなく、その実験的な解明が待ち望まれていた。今回我々は、電子の過冷却液体とガラス状態を分子性物質の中に作り出し、電気抵抗と核磁気共鳴信号を時間を追って観測することにより、電子の集団が結晶へと成長する過程の観測に初めて成功した。その結果、電子結晶化に要する時間は、Time-Temperature-Transformation曲線という特徴的な温度依存性を持つことが判明した(図2)。この特徴は、電子結晶化過程においても、古典的結晶成長の基本概念である核生成と核成長という2つの機構が働いていることの証拠であり、結晶成長機構の古典系/量子系を問わない普遍性が明確に示されたことを意味する。液体、ガラス、結晶成長といった現象は、従来、古典的な粒子系が示すソフトマターの物理として扱われてきた。今回の発見により、量子力学的自由度を持つ新たなソフトマターの物理が開拓されることが期待される。

Figure and Note

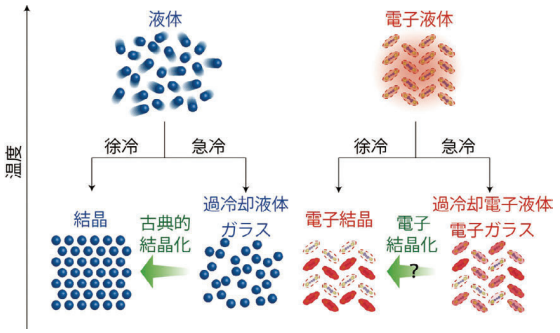


図1：古典的結晶化と電子結晶化の概念図
古典的な原子・分子の凝集形態である液体・固体・ガラスの関係性(左図)と、その電子版(右図)。結晶化現象は、過冷却液体やガラスといった無秩序状態が、秩序だった固体を形成する過程として観測される。

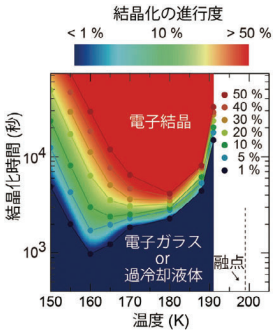
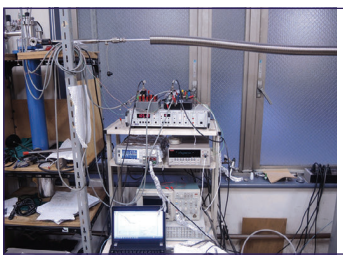


図2：電気抵抗測定から得られた電子結晶化時間の温度依存性
電子結晶化に要する時間の温度依存性(Time-Temperature-Transformation曲線)。中間温度で極小値を示す特徴的な形を示す。このドーム構造は、核生成・核成長の2つのメカニズムによって説明される。



分子性物質を用いた強相関電子ガラスの研究

私たちの研究室では、分子から成る固体(分子性物質)の中で多様な振る舞いを見せる電子集団の物理を解明すべく、日々実験に取り組んでいます。その多様性の背後にあるものは、電子自身の持つ負の電荷に起因する電子間の強い電気的反発力です。この電気的反発力で起こる新しい電子の状態“電子ガラス相”が最近発見されました。この論文では、それを一歩進め、この相が結晶へと向かう“経路”の研究という新たな領域の開拓を目指しました。今後、結晶化現象に限らず、“電子であってソフトマター”の物理学を追求したいと思います。

Science 29 Sep 2017: Vol. 357, Issue 6358, pp. 1375-1378
DOI: 10.1126/science.aai9119

初期宇宙では超音速ガス流が大質量ブラックホールの形成を促進した

Supersonic gas streams enhance the formation of massive black holes in the early universe

上左から平野 信吾、細川 隆史、
下左から吉田 直紀、Rolf Kuiper

平野 信吾 *Shingo Hirano*
JSPS Overseas Research Fellow, Department of Astronomy, University of Texas at Austin
東京大学大学院 理学系研究科

細川 隆史 *Takashi Hosokawa*
京都大学大学院 理学研究科 准教授
東京大学大学院 理学系研究科
東京大学大学院 理学系研究科附属ビッグバン宇宙国際研究センター

吉田 直紀 *Naoki Yoshida*
東京大学大学院 理学系研究科 教授
東京大学大学院 理学系研究科附属ビッグバン宇宙国際研究センター
東京大学 国際高等研究所 Kavli IPMU（WPI）主任研究員

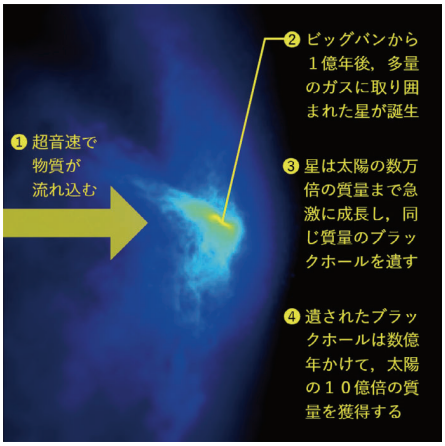
Rolf Kuiper
Emmy Noether Research Group Leader, Institute of Astronomy and Astrophysic, University of Tübingen

Contact
平野 信吾
E-mail：shirano@astro.as.utexas.edu
所在地：Austin, TX 78712, USA
U R L：https://shirano.as.utexas.edu/index.html

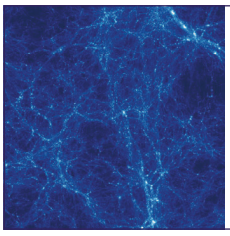
再遠方かつ超重量のモンスターブラックホールの起源が明らかに

近年、ビッグバンから数億年という早期の宇宙に、太陽の数十億倍もの超大質量ブラックホールが次々と見つかっている。この起源を説明すべく仮説がいくつか提案されているが、どの説も超大質量ブラックホールの早期誕生を自然に説明することは困難だった。研究グループは今回、ビッグバン後に遺されていた超音速ガス流に着目した。高速のガス流を考慮した数値シミュレーションを行ったところ、大質量のダークマターの塊ができて初めてガス流は補足され、太陽の数万倍もの質量を持つ乱流ガス雲が誕生することを確認した。乱流ガス雲で誕生する原始星にはガスが高速で流れ込み続け、最終的にはガス雲全体を取り込んだ大質量星へと変貌する。この星が最期に遺す同質量の巨大ブラックホールは、さらに数億年かけて超大質量ブラックホールへと成長していく。超音速ガス流を起源とした巨大ブラックホールの出現率を見積もると、これまでに発見された超大質量ブラックホールの観測数を説明できることがわかった。現代宇宙論より示唆される宇宙論的効果を厳密に取り入れることで、これまで謎とされてきた超大質量ブラックホールの起源を自然に説明することに成功した。

Figure and Note



図：誕生直後の星を取り囲む物質の密度分布
数値計算によって再現された宇宙初期の星形成領域。図上を右向きに流れる超音速ガス流によってガス雲は強く押しつぶされており、ガスは中心の星へと効率よく流れ込む。



スーパーコンピュータ上に再現した宇宙を“実験”する

私たちが研究している初期宇宙は、未だ直接観測できていない「宇宙最後のフロンティア」と呼ばれています。ビッグバン後の“暗黒”宇宙で誕生した第一世代の星によって、宇宙に光と多くの元素がもたらされました。この宇宙揺籃期を明らかにすべく、世界の研究グループが理論・観測・実験（シミュレーション）とあらゆる手法を駆使してしのぎを削っています。

「コンピュータで130億年前の宇宙を観る」

Department of Astronomy, University of Texas at Austin　平野 信吾

シミュレーション天文学

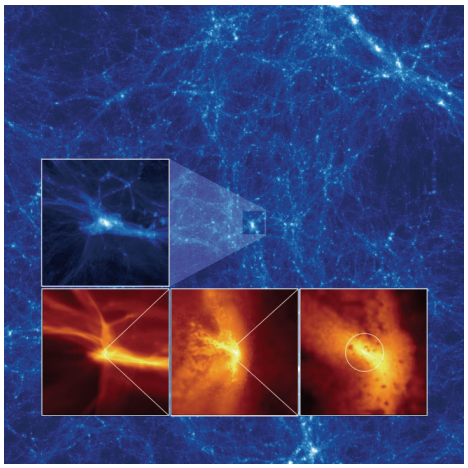
この研究成果は、現実の現象を物理学の基礎方程式に基づいてコンピュータ上に再現する、コンピュータ・シミュレーションから得られたものです。天文学者は「望遠鏡」を使って「現実の宇宙」を観測しているイメージが強いと思いますが、私たちは「コンピュータ」を通して「再現された宇宙」における現象を調べて研究を進めています。天文学は実験が不可能・観測が難しい現象も研究テーマになりますが、シミュレーションを使うとそうした課題についても実験が可能となるのです。シミュレーション実験では、時間を進める・条件設定を変えるなど操作することで、観測とは異なる情報を引き出すことができます。例えば最近のラップトップコンピュータを使うと、宇宙全体の進化といえる網の目構造の発展が、数時間足らずで計算できてしまいます。手元で宇宙の歴史を一望できるというのは、なかなか面白い経験ではないでしょうか。

初期宇宙における星形成

私たちのグループは元々、宇宙における第一世代の星・初代星の研究に取り組んでいました。この星は、ビッグバンによって合成された限られた種類の元素（主に水素・ヘリウム）で構成される物質から誕生し、それまでの宇宙に存在しなかった元素を合成し宇宙に供給します。宇宙に含まれる元素の種類・比率の変化は宇宙の化学進化と呼ばれますが、初代星はその発端となる天体です（ある意味、星としての私たちの遠い先祖にあたります）。初期宇宙の天体形成は、まず宇宙の質量の大半を占める暗黒物質（ダークマター）が主役となります。自身の重力によって集積したダークマターは網の目の大規模構造をつくり、重力が最大となる網の“節”にガスが集まることで、分子ガス雲（星のゆりかご）が誕生します。

星形成と宇宙論的効果が結びつく

ダークマターがガスを集めて初めて星は誕生しますが、若い宇宙においては、ダークマターに対してガスはあちこちへと流れ出る「風」のように振る舞います。ビッグバン直後の灼熱の宇宙では、ガスは光と結びついて運動し、一方でダークマターは光とは無関係に運動していました。この違いが原因となり、ダークマターに対して風（ガス）が取り残されます。風の速さは場所によって異なり、なかでも超音速に達する「宇宙の暴風域」ともいえる領域では、強い風がダークマターの重力（引力）に逆らうため、星の材料となるガスが容易には集まりません。今回の研究では、「無風」の領域では太陽の100倍程度の質量を持って誕生する初代星が、「暴風域」では太陽の34,000倍にもなることがわかりました。星の誕生と宇宙全体を流れる風、大きく異なるスケールの現象が結びつくところに、新たな現象が隠れていました。

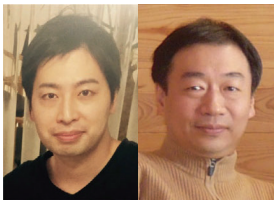


ダークマター（青）とガス（赤）の密度分布。
大規模構造（背景パネル）の中でも特に成長した節（左上パネル）に最初にガスが集まる（左下パネル）。
図上を左から右方向へと流れる超音速ガス流によって、星形成ガス雲は押しつぶされている（中パネル）。
白円（右パネル）は重力不安定となり星となる領域。

Science 9月29日号 Report
Science 29 Sep 2017: Vol. 357, Issue 6358, pp. 1381-1385
DOI: 10.1126/science.aal3120

ガラス状態を形成する電荷液体における電子の結晶化とガラス化

Crystallization and vitrification of electrons in a glass-forming charge liquid



左から橋本 顕一郎、佐々木 孝彦

橋本 顕一郎 *Kenichiro Hashimoto*
東北大学 金属材料研究所 助教

佐々木 孝彦 *Takahiko Sasaki*
東北大学 金属材料研究所 教授

佐々木 智[1] 小林 亮太[1] 伊藤 桂介[1] 井口 敏[1] 西尾 豊[2] 池本 夕佳[3] 森脇 太郎[3] 米山 直樹[4]
渡邉 真史[5] 上田 顕[6] 森 初果[6] 小林 賢介[7] 熊井 玲児[7] 村上 洋一[7] Jens Müller[8]

[1] 東北大学 金属材料研究所
[2] 東邦大学 理学部 物理学科
[3] 高輝度光科学研究センター(JASRI/SPring-8)
[4] 山梨大学 工学部 応用化学科
[5] 東北大学 多元物質科学研究所
[6] 東京大学 物性研究所
[7] 高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所
[8] Institute of Physics, Goethe-University Frankfurt

Contact
橋本 顕一郎 **E-mail**：hashimoto@imr.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：http://cond-phys.imr.tohoku.ac.jp/index.html
佐々木 孝彦 **E-mail**：takahiko@imr.tohoku.ac.jp

固体中の電子の結晶化とガラス化

窓ガラスなどに代表される「ガラス」物質は、我々の生活になじみが深いにもかかわらず、その形成メカニズムは未だ完全には理解されていない。そのため、ガラス形成機構の解明は物性物理学に残された最大の未解決問題の一つである。物質のガラス化は自然界において極めて普遍的な現象であり、磁気スピンや電気双極子、軌道自由度や超伝導体中の渦糸などにおいても現れる。一般的にガラス状態は液体を急冷して結晶化を阻害することで得られるが、今回我々は、固体中の電子も急冷により電子の結晶化を妨げることでガラス化することを実験的に実証することに成功した(図1)。我々が研究対象とした物質は三角格子構造を持つ分子性有機導体θ_m-(BEDT-TTF)$_2$TlZn(SCN)$_4$であり、高温では各分子上に+0.5価の電荷が均一に分布した電荷液体となるが、徐冷下では170K(約マイナス103℃)で分子間のクーロン斥力により電荷が+0.85価と+0.15価に分離した電荷結晶となる。しかしながらこの結晶化は50K/min以上の急冷で抑制され、電荷ガラス状態が現れることが明らかとなった(図2)。本研究により固体中の電子のガラス化現象は一般的なガラス形成物質と多くの類似点をもつことが明らかとなり、今後ガラス化現象一般に対する統一的な理解がより一層深まることが期待される。

Figure and Note

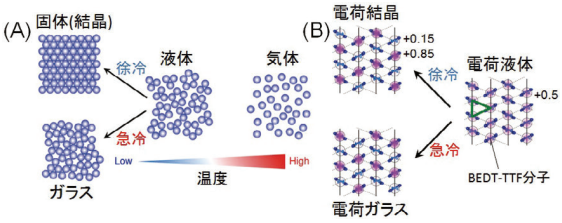


図1：物質の三態(気体/液体/固体)とガラス状態

(A)原子や分子からなる物質の三態とガラス状態の模式図。(B)三角格子構造を有する分子性有機導体θ_m-(BEDT-TTF)$_2$TlZn(SCN)$_4$における電荷液体/結晶/ガラス状態の模式図。

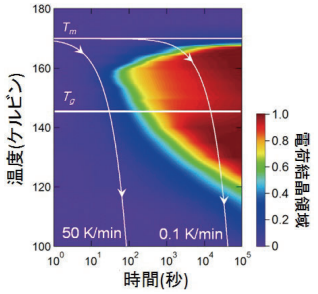


図2：θ_m-(BEDT-TTF)$_2$TlZn(SCN)$_4$の温度-時間-変態図

ある温度・時間における電荷結晶領域の体積分率を色で表している。左側の白の矢印で表した曲線は電荷ガラス化に必要な冷却速度である50K/minでの冷却曲線を表している。一方、右側の曲線のように0.1K/minで徐冷すると試料は結晶化する。T_mとT_gはそれぞれ電荷結晶転移温度とガラス転移温度を表している。

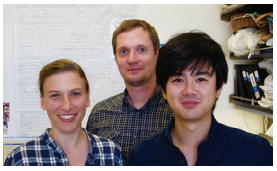
“やわらかい”有機物質中の優柔不断なパイ電子たち

私たちの研究室は、分子性有機導体を研究対象としています。分子同士がゆるやかに集積しているため“やわらかい”ことが特徴です。この“やわらかさ”は、構造的な柔軟性という意味に加えて、電気伝導性や磁性を担っているパイ電子の振る舞いにも現れます。パイ電子間や分子・格子との相互作用が無機物質に比べて適度に小さく、かつ絶妙なバランスで釣り合っているため、“やわらかい”と形容できる電荷ースピンー格子が複合した自由度を有しています。今回、発見・解明した「電子ガラス」もパイ電子集団の“やわらかさ”を起源としています。優柔不断なパイ電子たちが垣間見せる“やわらかい”電子物性物理にチャレンジしています。

Science 9月29日号 Report
Science 29 Sep 2017: Vol. 357, Issue 6358, pp. 1416-1420
DOI: 10.1126/science.aao0535

テロメラーゼ遺伝子である*TERT*のプロモーター領域の点変異は2段階で腫瘍形成に関与する

Mutations in the promoter of the telomerase gene *TERT* contribute to tumorigenesis by a two-step mechanism



左からFranziska Lorbeer、Dirk Hockemeyer、千葉 国俊

千葉 国俊 *Kunitoshi Chiba*
Department of Molecular and Cell Biology, University of California, Berkeley

Franziska K. Lorbeer
Department of Molecular and Cell Biology, University of California, Berkeley

Dirk Hockemeyer
Assistant Professor, Department of Molecular and Cell Biology, University of California, Berkeley

A. Hunter Shain[1] David T. McSwiggen[2] Eva Schruf[2] Areum Oh[3] Jekwan Ryu[3] Xavier Darzacq[2] Boris C. Bastian[1]

[1] Departments of Dermatology and Pathology, Helen Diller Family Comprehensive Cancer Center, University of California, San Francisco
[2] Department of Molecular and Cell Biology, University of California, Berkeley
[3] Optical Biosystems

Contact
千葉 国俊 **E-mail**：kchiba@berkeley.edu
所在地：Berkeley, CA 94720, USA

Dirk Hockemeyer **E-mail**：hockemeyer@berkeley.edu
所在地：Berkeley, CA 94720, USA
U R L：http://mcb.berkeley.edu/labs/hockemeyer/home

*TERT*プロモーター点変異によるガン不死化への新たなるモデルを提唱

染色体末端を保護する繰り返し配列テロメアは細胞分裂に伴い短縮する。幹細胞などでは逆転写酵素テロメアーゼによりテロメアが伸長、維持されている。一方、多くの体細胞ではテロメアーゼ構成タンパク質TERTの発現が抑制されており、テロメア短縮を通じて細胞の複製能が規定される。しかし、90%のガンはTERTを再発現することで、テロメア長を維持し不死化する。*TERT*プロモーター点変異（TPMs）はガンで最頻発する非コード領域の点変異として発見された。しかし、腫瘍形成におけるTPMsの長期的役割はわかっていなかった。今回我々は、良性母斑から悪性黒色腫への遷移時に獲得されたTPMsはテロメア長を維持できないことを示した。そして、ゲノム編集によりTPMsを導入した線維芽細胞を用い、TPMsはテロメアの磨耗を防がず、テロメア長は極端に短くなることを示した。この時点で一部の染色体末端は保護されず、テロメア融合によりゲノムの不安定化が起こる。また、TPMsによる不死化には、テロメア融合が検出され始めるのと同時期に、TERT発現量が徐々に増加する必要があることを示した。これらの結果はTPMsが不死化とゲノムの不安定化の促進の二段階で腫瘍形成に寄与することを示唆している。

Figure and Note

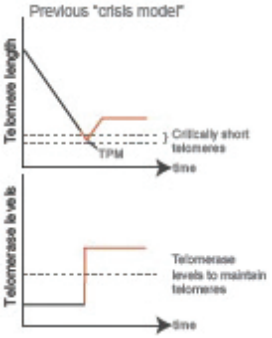


図1：従来のクライシスモデル
TERTの再発現は、クライシスと呼ばれる、テロメア末端が脱保護され、DNA傷害チェックポイントが欠失された段階で獲得される。このモデルではTPMsがチェックポイント欠失以前に起こりうることに説明がつかなかった。

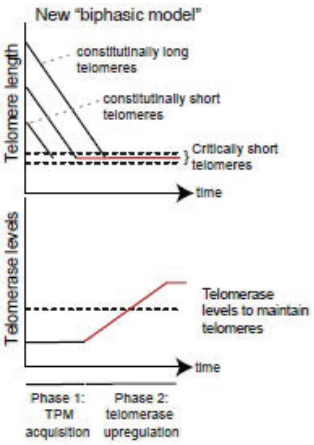
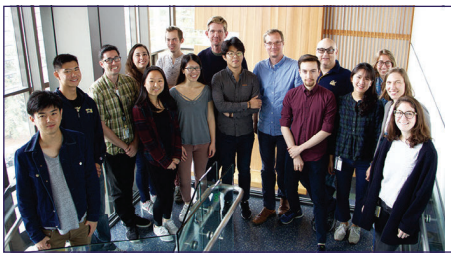


図2：TPMsによる二段階モデル
TPMsはテロメア長に無関係に獲得される。第一段階でTPMsは細胞増殖の限界を引き延ばすが、テロメア短縮は防がない。第二段階でテロメア融合によりゲノムの不安定化が促進され、TERT発現増加により細胞増殖が保持される。



新規立ち上げ研究室にて海外PhD留学

Hockemeyer研究室は私が入学した年度に立ち上がった研究室でした。新しいPIは情熱と野心に溢れかえって、常に非常に濃いディスカッションをできる環境から多くを学ぶことができました。また、研究室立ち上げに伴う苦労やテニュアトラック研究室の独特の雰囲気を味わうことができたのは貴重な体験でした。バークレーは気候、食べ物にも非常に恵まれ、リラックスした雰囲気で研究に集中できます。ボス（Dirk）からの伝言で、日本からのやる気に満ち溢れた優秀なポスドクの応募を待っているそうです。

Science 10月20日号 Report
Science 20 Oct 2017: Vol. 358, Issue 6361, pp. 352-355
DOI: 10.1126/science.aan6837

単一ポリマー成長ダイナミクス

Single polymer growth dynamics

久保 香織 *Kaori Kubo*
Department of Chemistry and Chemical Biology, Cornell University
（現 トヨタ自動車株式会社 無機材料技術部 MEGA開発室（11M1）
Chunming Liu[1] Endian Wang[2] Kyu-Sung Han[1*] Feng Yang[1] Guanqun Chen[1]
Fernando A. Escobedo[2] Geoffrey W. Coates[1] Peng Chen[1]
[1] Department of Chemistry and Chemical Biology, Cornell University
[2] Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Cornell University
* 現Ceramicware Center, Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology

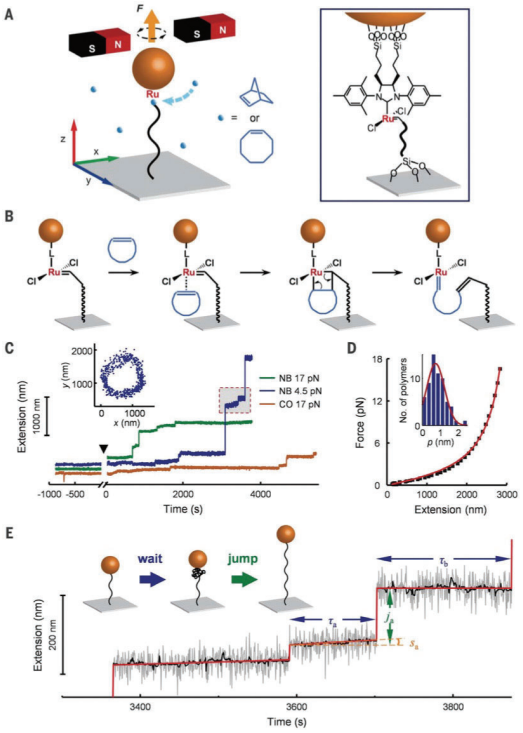
Contact
E-mail：kaori_kubo@mail.toyota.co.jp
所在地：410-1193 静岡県裾野市御宿1200

ポリマー1分子鎖の重合を リアルタイムで観測

DNAやポリペプチドなど、生体高分子は分子量分布が小さい、すなわち鎖長が均一である。しかし、合成高分子において鎖長を均一にするのは至難の技である。同じ重合反応条件下で鎖長の違う高分子が得られるメカニズムが分かれば、高分子鎖長をコントロールでき、より良い性質の高分子を作ることができる。そのためには、高分子鎖一つ一つを観測し、重合のkineticsを解明する必要がある。

我々は、磁気ピンセットを用いて単一高分子鎖が重合する様子をリアルタイムで観測した。驚いたことに、重合における高分子鎖の増加は連続的ではなく、プラトー部分と急激な増加部分に分けられる、階段状の増加挙動を示した。異なるモノマー種や磁力（高分子鎖を引っ張る力）においても同じ挙動を示した。我々は、重合するうちに高分子鎖が絡み合って“hairball”を形成し、それがある程度大きくなると磁力によって引っ張られて伸びるのではないかと考えている。

Figure and Note



図：単一高分子鎖重合の観測方法

（A）磁気ピンセットを用いた、実験の模式図（B）ring-opening metathesis polymerization（ROMP）のメカニズム（C）リアルタイムで高分子鎖が伸びていく様子。モノマー種など条件を変えても同様の伸び方が観測された。（D）（C）の一部を拡大。高分子鎖が伸びる中で鎖が絡み合い、ボール状のものができ、それが引っ張られて急激に伸びるという仮説を立てた。

コーネル大学・Chen研究室

私は、Ph.D課程の学生としてコーネル大学化学科Chen研究室で5年間を過ごしました。研究室では、顕微鏡を用いて様々な触媒反応のリアルタイム観測を行っています。また、大学では他研究室・他学科との交流も盛んであり、本研究もCoates Lab、Escobedo Labとのコラボレーションです。世界中から集まった優秀な教授や学生の方と、学科や学部の垣根を越えてディスカッションすることは非常に刺激になりました。

Science 11月3日号 Research Article
Science 03 Nov 2017: Vol. 358, Issue 6363, pp. 610-615
DOI: 10.1126/science.aam6125

機能の相異なる細胞タイプが大脳新皮質内で形成する格子系

Lattice system of functionally distinct cell types in the neocortex

上左から丸岡 久人、中川 直、鶴野 瞬、
下左から酒井 誠一郎、米田 泰輔、細谷俊彦

細谷 俊彦 *Toshihiko Hosoya*
理化学研究所 脳科学総合研究センター 局所神経回路研究チーム チームリーダー
丸岡 久人 *Hisato Maruoka*
理化学研究所 脳科学総合研究センター 局所神経回路研究チーム 研究員
中川 直 *Nao Nakagawa*
理化学研究所 脳科学総合研究センター 局所神経回路研究チーム 研究員
鶴野 瞬 *Shun Tsuruno*
理化学研究所 脳科学総合研究センター 局所神経回路研究チーム 研究員
酒井 誠一郎 *Seiichiro Sakai*
理化学研究所 脳科学総合研究センター 局所神経回路研究チーム 研究員
米田 泰輔 *Taisuke Yoneda*
理化学研究所 脳科学総合研究センター 局所神経回路研究チーム 研究員

Contact 細谷 俊彦 **E-mail**：hosoya@brain.riken.jp **所在地**：351-0198 埼玉県和光市広沢2-1 **ＵＲＬ**：http://t-hosoya.brain.riken.jp

大脳皮質の基本単位回路を発見

大脳は皮質領野とよばれる様々な機能部位に分かれ、それぞれ感覚処理、運動制御、言語など異なる機能をつかさどっている。大脳の回路構造には不明な点が多く、特に単一の回路が繰り返しているかどうかは不明だった。今回私たちは、大脳皮質に6層ある細胞層の一つである第5層をマウスで解析し、いずれの皮質領野においても大部分の神経細胞が細胞10個程度の細いクラスター（マイクロカラム）を形成していることを発見した。それぞれのマイクロカラムは決まったタイプの神経細胞を含み、六方格子状の規則的な配置をとっていた。同一マイクロカラムの細胞は共通な神経入力を受け、似た神経活動を示した。神経回路が形成される時期にはマイクロカラムの細胞は直接的な電気結合を持つことも分かった。以上から、第5層はマイクロカラムが繰り返した回路に組織化されており、個々のマイクロカラムは機能単位として動作することが分かった。この結果は、同じ構造を持つ多数のマイクロカラムによる並列処理が、様々な皮質領野で共通に第5層の機能を担っていることを示している。今後、単一マイクロカラムの機能の解析により、大脳皮質の理解が大きく進むと期待される。

Figure and Note

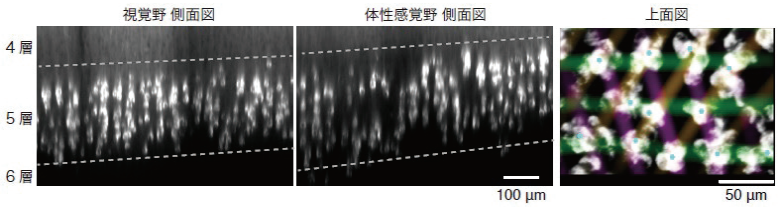


図1：マイクロカラムの顕微鏡画像
マウス第5層の一つのタイプの神経細胞を蛍光色素によって可視化した。これらの細胞は縦に並んでマイクロカラムを形成し（側面図）、六方格子状に並んでいる（上面図。色付きの線は最適推定された格子方向）。

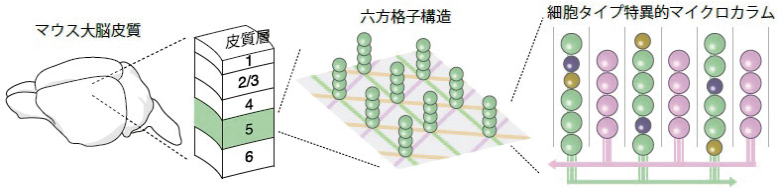
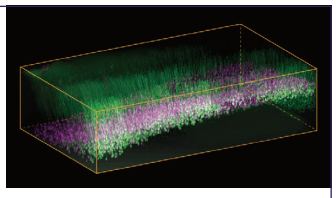


図2：大脳皮質第5層の格子構造
大脳皮質第5層の細胞は細胞タイプ特異的なマイクロカラムを形成し、これらは六方格子を形成する。異なる色付きの丸は異なるタイプの神経細胞を示す。

脳情報処理の原理に迫る

大脳皮質の研究は100年以上にわたって続けられていますが、回路が非常に複雑であるため多くの困難がありました。1960年代に視覚野方位選択性カラムなどいわゆる皮質カラムが発見されましたが、これらは特定の皮質領野に限られており、大脳皮質一般に共通な機能単位回路が存在するか否かは不明でした。今回の発見は、マイクロカラムが大脳皮質の普遍的な機能単位回路であることを示唆しています。今後、どのような並列計算が行われているのか、第5層以外にも類似した構造があるかなどを調べることにより、大脳皮質の機能の深い理解が得られる可能性があると期待しています。



画像：マウス大脳皮質の3次元可視化画像。緑とマゼンタの点はそれぞれ特定のタイプの神経細胞。線状に見えるものは樹状突起。

Science 11月3日号 Research Article
Science 3 Nov 2017: Vol. 358, Issue 6363, pp. 615-623
DOI: 10.1126/science.aan4428

ショウジョウバエの触覚（体性感覚）の神経構造は哺乳類と相同である

Topological and modality-specific representation of somatosensory information in the fly brain

左から坪内 朝子、矢野 朋子、伊藤 啓

伊藤 啓 *Kei Ito*
東京大学 分子細胞生物学研究所 脳神経回路研究分野 准教授
東京大学大学院 新領域創成科学研究科 メディカル情報生命専攻
Professor, Institute of Zoology, University of Cologne
Senior Fellow, Howard Hughes Medical Institute, Janelia Research Campus

坪内 朝子 *Asako Tsubouchi*
東京大学 分子細胞生物学研究所 脳神経回路研究分野 研究員

矢野 朋子 *Tomoko Yano*
東京大学 分子細胞生物学研究所 脳神経回路研究分野
東京大学大学院 新領域創成科学研究科 メディカル情報生命専攻

横山 健[1] Chloé Murtin[1,2] 大綱 英生[3]

[1] 東京大学 分子細胞生物学研究所 脳神経回路研究分野
[2] 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 メディカル情報生命専攻
[3] Howard Hughes Medical Institute, Janelia Research Campus
[4] Institute of Zoology, University of Cologne

Contact
伊藤 啓
E-mail：itokei@iam.u-tokyo.ac.jp
所在地：113-0032 東京都文京区弥生 1-1-1
東京大学 分子細胞生物学研究所 脳神経回路研究分野
U R L：http://jfly.iam.u-tokyo.ac.jp/lab/

記載神経解剖学から明らかになる進化のみちすじ

五感の中で体性感覚は、表皮の接触や変形、関節の曲がりや動きなどの異なる情報を検知する、さまざまな感覚器官が体中に散在した複雑な構造を持っている。私たちは、一部の種類の細胞だけで遺伝子の発現を誘導できるキイロショウジョウバエ遺伝子組み換え系統を多数組み合わせて、すべての種類の体性感覚細胞をそれぞれ特異的に標識し、末梢の感覚器官から、人間の脊髄に相当する昆虫の胸腹部神経節を経て、脳にいたるまでの神経回路の構造を初めて明らかにした。さらに、神経の活動パターンを調べる蛍光タンパクや神経の機能を阻害するタンパクを特定の神経だけで発現させて、各神経の役割を調べた。

異なる種類の体性感覚情報を伝える神経の胸腹部神経節や脳での構造は、哺乳類の神経系とよく似ていた。以前から類似点が指摘されていた視覚・聴覚・嗅覚・味覚と合わせ、これで五感の全てについて神経回路構造の共通性が示されたことになる。全ての回路が偶然同じように進化したとは考えにくいので、まだ化石が見つかっていない、先カンブリア紀にいたはずの昆虫と哺乳類の先祖が枝分かれする前の共通の祖先が、すでにかなり高度な五感の処理機能を備えた脳を持っていた可能性が高まった。

Figure and Note

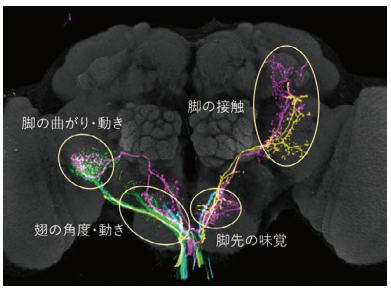


図1：体性感覚神経の脳への投射パターン
発見したそれぞれの神経を異なる色で重ね合わせた。異なる種類の情報を伝える神経ごとに、脳の特定の場所に情報を送っている。

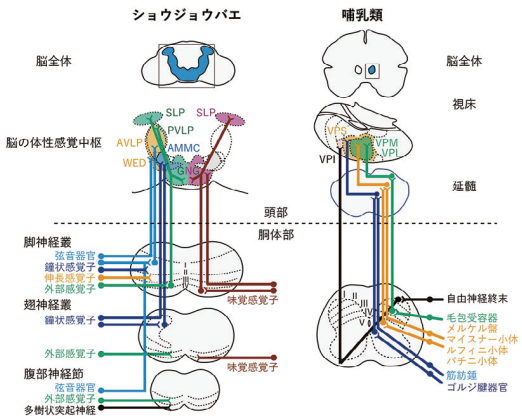


図2：昆虫と哺乳類の体性感覚系の比較
左は今回の研究で明らかになったショウジョウバエの神経経路。右は哺乳類の経路。昆虫だけにある脚や翅の味覚神経を除き、残りの神経が作る層状構造の順番や脳に至る神経のつながりには類似点が多い。

自分しかやらない仕事

世界中のライバルと競争して、相手より1週間でも早く論文を出して勝つことに情熱を傾ける研究者もいますが、放っておいても競争相手がやってくれるのだったら、似たような研究を自分もやるのは才能と時間と国家予算の無駄づかいです。他の人がやっていないことに注目し、新しい視点や研究ツールを他の人に提供して、その人たちが新しい研究に踏み込むきっかけになるような仕事を出すのが、研究の本当の醍醐味だと思っています。

Science 11月3日号 Research Article
Science 03 Nov 2017: Vol. 358, Issue 6363, pp. 623-630
DOI: 10.1126/science.aan6009

PDZD8による小胞体とミトコンドリア外膜の繋留は哺乳類神経細胞内のCa^{2+}イオン動態を制御する

ER-mitochondria tethering by PDZD8 regulates Ca^{2+} dynamics in mammalian neurons

平林 祐介 *Yusuke Hirabayashi*
Postdoctoral Fellow, Department of Neuroscience, Columbia University Medical Center, Columbia University
Mortimer B. Zuckerman Mind Brain Behavior Institute, Columbia University
Kavli Institute for Brain Science , Columbia University
科学技術振興機構 さきがけ

Seok-Kyu Kwon[1,2,3*] Hunki Paek[1,2,3] Wolfgang M. Pernice[4] Maëla A. Paul[1,2,3] Jinoh Lee[1,2,3]
Parsa Erfani[1,2,3] Ashleigh Raczkowski[6] Donald S. Petrey[7,8] Liza A. Pon[4,5] Franck Polleux[1,2,3]

[1] Department of Neuroscience, Columbia University Medical Center, Columbia University
[2] Mortimer B. Zuckerman Mind Brain Behavior Institute, Columbia University
[3] Kavli Institute for Brain Science , Columbia University
[4] Department of Pathology and Cell Biology, Columbia University
[5] Institute of Human Nutrition, Columbia University
[6] Simons Electron Microscopy Center, New York Structural Biology Center(NYSBC)
[7] Center for Computational Biology and Bioinformatics, Department of Systems Biology, Columbia University
[8] Howard Hughes Medical Institute, Columbia University

Contact
E-mail：yh2674@cumc.columbia.edu
所在地：Northwest Corner Building 550 West 120th Street Rm. 1106, MC4862 New York, NY 10027, USA

哺乳類細胞における小胞体とミトコンドリアを繋ぐ分子を同定

細胞内のオルガネラは区画化されており、お互いは独立した細胞内器官として機能するが、一方でオルガネラ同士の物理的な接触を伴うコミュニケーションが細胞の恒常性の維持に必要である。オルガネラ同士の接触の中でも特に小胞体とミトコンドリアの接触点は様々な生物学的反応の場として注目を浴びている。実際に、アルツハイマー病、パーキンソン病をはじめとした神経疾患において小胞体-ミトコンドリア間接触の異常が多く報告されており、この接触面の制御や役割の解明は大きな注目を浴びて来た。しかしながら、小胞体-ミトコンドリア間接触の形成維持機構は多くが不明なままであった。本研究ではこれまで機能がほとんど未知であったタンパク質PDZD8が小胞体−ミトコンドリア相互作用点に存在し、小胞体−ミトコンドリアの物理的近接に必要な分子であることが分かった。また、神経細胞においてシナプス刺激に伴い起こる細胞質のCa^{2+}上昇の制御にPDZD8による小胞体−ミトコンドリア間接触が必須の役割を果たすことも明らかになった。ニューロンを始めとして様々な系において小胞体-ミトコンドリア間接触の重要性が提唱されており、今後多様な系における小胞体-ミトコンドリア間接触の役割が本研究を元に明らかにされると考えられる。

Figure and Note

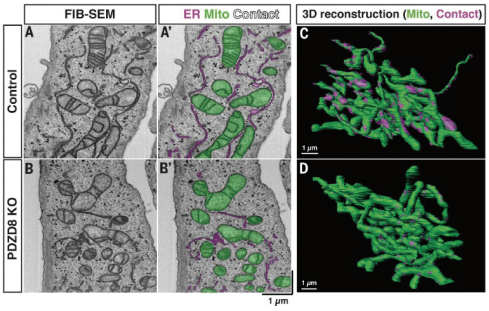


図1：PDZD8は小胞体とミトコンドリアの接触に必要である
電子顕微鏡画像(A, B)の連続切片を3次元再構築した(C, D)。PDZD8のノックアウトにより小胞体-ミトコンドリア接触面(Contact)が大きく減少した。

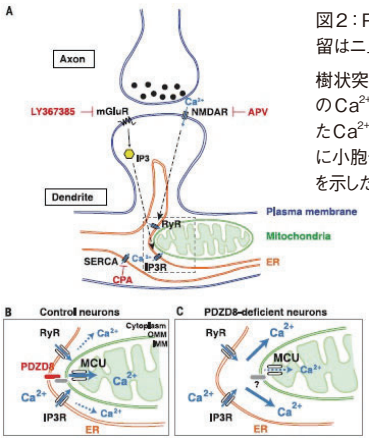
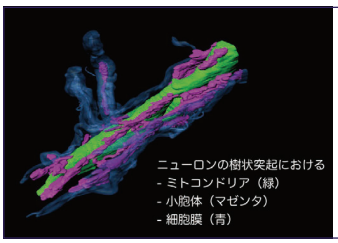


図2：PDZD8による小胞体とミトコンドリアの繋留はニューロンにおいてCa^{2+}の動態を制御する
樹状突起においてシナプス刺激により小胞体からのCa^{2+}放出が誘導される。本研究では放出されたCa^{2+}がミトコンドリアに流入すること、この流入に小胞体−ミトコンドリア間接触が必要であることを示した。



神経回路における細胞内オルガネラネットワークという新たな階層

神経回路においては莫大な数のニューロンが複雑なネットワークを作り上げ複雑な機能を果たしています。本研究はこのニューロン間で形成されるネットワークに加えて、細胞内におけるオルガネラ同士のネットワーク形成が神経回路にさらなる複雑性を与えていることを示唆しています。今後はこのオルガネラネットワークという新たな階層が神経機能に果たす役割を解明していきたいと考えています。

Science 11月3日号 Report
Science 03 Nov 2017: Vol. 358, Issue 6363, pp. 668-672
DOI: 10.1126/science.aan0092

利己的なDNAは紡錘体の非対称性を利用して次世代へ優先的に伝達される

Spindle asymmetry drives non-Mendelian chromosome segregation

明楽 隆志 *Takashi Akera*
Postdoctoral fellow, Department of Biology, School of Arts and Sciences, University of Pennsylvania
Lukáš Chmátal[1] Emily Trimm[1] Karren Yang[1] Chanat Aonbangkhen[2] David M. Chenoweth[2]
Carsten Janke[3,4] Richard M. Schultz[1] Michael A. Lampson[1]
[1] Department of Biology, School of Arts and Sciences, University of Pennsylvania
[2] Department of Chemistry, School of Arts and Sciences, University of Pennsylvania
[3] Institut Curie, PSL Research University, CNRS UMR3348, Centre Universitaire
[4] Université Paris Sud, Université Paris-Saclay, CNRS UMR3348, Centre Universitaire

Contact
E-mail：akera@sas.upenn.edu
所在地：211 Lynch Laboratories, 433 S University Ave. Philadelphia, PA 19104, USA
ＵＲＬ：http://web.sas.upenn.edu/lampson-lab/

利己的なDNAが利用している次世代への道しるべを発見

メンデルの分離の法則は、両親からそれぞれ受け継いだ一対の相同染色体が、減数分裂において均等に配偶子へと分配されることを規定する。しかし、この法則に反して、より配偶子に分配されやすい性質を獲得したDNAの存在が報告されている。このような利己的なDNAは卵母細胞における非対称な細胞分裂を利用し、次世代へと優先的に継承される。卵母細胞の非対称分裂では卵と極体が形成され、卵に分配されたDNAのみが次世代に受け継がれる。すなわち利己的なDNAは卵に分配する側の紡錘体極を探し当て、結合する必要がある。マウスを用いた今回の研究によって、卵に分配する側の紡錘体極では微小管が脱チロシン化されており、利己的なDNAのための道しるべとなることが解明された。また、細胞膜からのシグナルが紡錘体内の道しるべを作ることが分かった。利己的なDNAが哺乳動物の減数分裂をハイジャックするメカニズムが初めて明らかにされた。

Figure and Note

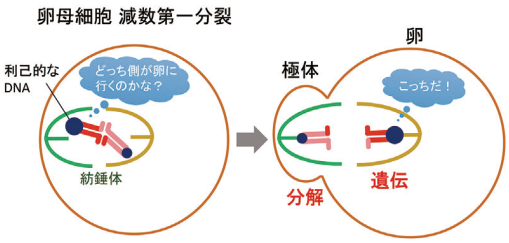


図1：卵母細胞の減数分裂と利己的なDNAのモデル図

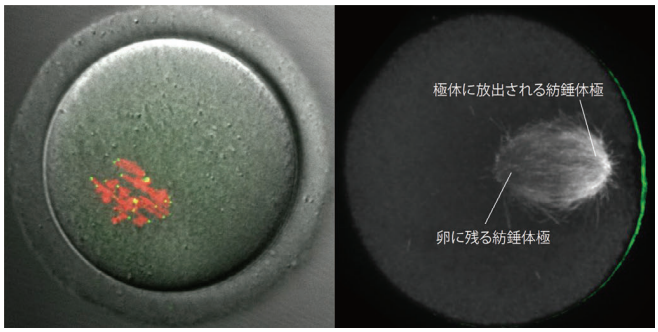


図2：利己的なDNAが利用する紡錘体内の道しるべ
（左）利己的なDNAが卵母細胞内で次世代への道を模索している瞬間。赤色はDNA。（右）紡錘体の両極でチロシン化微小管（白色）のレベルが違う。細胞膜からのシグナル（緑色）が膜付近でチロシン化を促すことで両極の違いを生み出す。

ゲノムの異端児、利己的なDNAを追究する

利己的なDNAは、酵母、昆虫、植物、哺乳動物と真核生物において広く観測されています。私の所属するLampson研究室では、その利己性のメカニズムを明らかにすることを目標に研究に取り組んでいます。利己的なDNAはヒトにも存在し、最も良く観察される異常染色体であるロバートソン転座染色体（Rb染色体）も、そのひとつです。Rb染色体の保因者である母からは、転座型トリソミーによるダウン症の子供が10%の確率で生まれます。つまり、Rb染色体はメンデルの法則を破るだけでなく、非常に高いダウン症のリスクも生じさせます。利己的なDNAの研究が進むことにより、ダウン症のリスクを持つRb染色体がなぜこれほど維持されてしまうのか、という臨床研究としても重大な問いに答えられる可能性があります。

メンデルの法則に反する「利己的なDNA」

Department of Biology, School of Arts and Sciences, University of Pennsylvania　**明楽 隆志**

～利己的なDNAとは～

ヒトを含めた有性生殖によって子孫を残すほとんどの生物において、新たな生命は卵子と精子が出会うことで誕生します。また、多くの有性生殖生物は細胞の中に父親からのDNAと母親からのDNAの2コピーのDNAを持っています。仮に、卵子と精子が2コピーのDNAを持ったまま出会った場合には、赤ちゃんは4コピーのDNAを持つことになり、世代を追うごとに細胞内のDNAがどんどん増幅していってしまいます。これを防ぐために、卵子と精子を作る際に細胞は特別な分裂をし、1コピーだけのDNAを持つようになります。これが減数分裂です（図1）。精子を作る精母細胞は、分裂後の4つすべての細胞が精子になりますが、卵母細胞においては1つの細胞のみが卵子になります。高校生物でお馴染みのメンデルの分離の法則は、父親からのDNAと母親からのDNAが減数分裂において同じ確率で卵子へと分配されることを規定しますが、この法則に反してより卵子に分配されやすい性質を獲得したずる賢いDNAが存在します。この特別なDNAが、私が研究している「利己的なDNA」です（図2）。

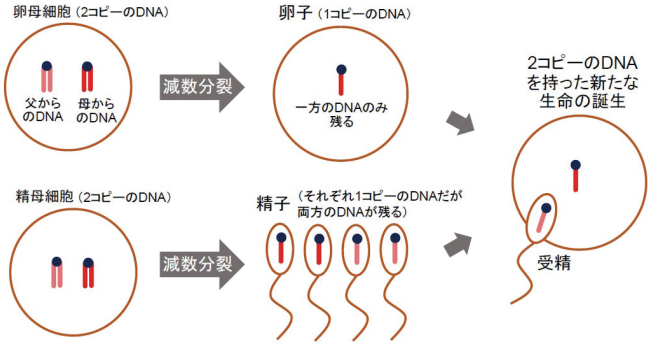


図1：減数分裂と受精のメカニズム

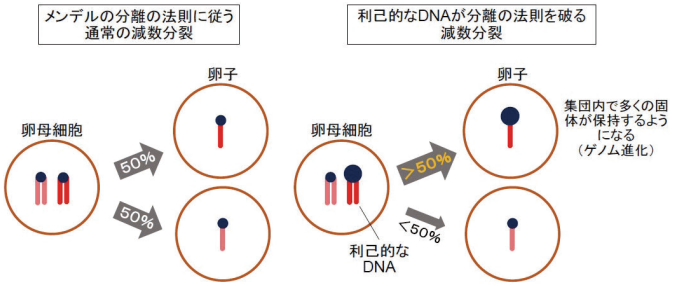


図2：メンデルの法則と利己的なDNA

～「利己的」と呼ばれる所以～

利己的なDNAは、より卵子に分配されやすいことによって次世代に受け継がれる確率が上がります。最終的には集団内の多くの個体が保持するようになり、ゲノムDNAの進化を引き起こします。しかし利己的なDNAによる進化は、生物個体の生存や繁殖に役立つ適応進化とは異なり、基本的に個体にとって有益なことはありません。だいたいの場合、個体に影響はないか悪影響をもたらします。左のページで取り上げたRb染色体の例もそのひとつです。通常は悪影響のあるDNAは適応進化によって排除されていきますが、利己的なDNAは卵子により分配されやすいため、排除されずに集団内に維持されてしまいます。そのために悪影響しかもたらさないRb染色体が1,000人に1人という高確率で今も残っています。個体の利益を考えずに自分さえ次世代に継承されればオッケーという点が、まさしく「利己的」と呼ばれる所以になっています。

～利己的なDNAの一般性～

利己的なDNAはどれくらい一般的に見られるのかという質問をよく受けます。確かに、このようなゲノムの異端児がはびこっていたら、生物個体としてはたまったものではないかもしれません。ですが最近の研究により、セントロメアと呼ばれるすべての染色体が持つDNAが利己性を示すことがマウスなどを用いた研究によって明らかになりました。セントロメアDNAが長ければ長いほど利己性が高くなるということも分かってきました。つまり、利己的なDNAは決して稀にしかみられないDNAではなく、誰でも持ちうるものなのです。さて、あなたのDNAは、どれくらい自分勝手でしょうか?

Science 03 Nov 2017: Vol. 358, Issue 6363, pp. 630-632
DOI: 10.1126/science.aan5953

金属薄膜上高速プラズモン光変調器

High-speed plasmonic modulator in a single metal layer

綾田 雅文 *Masafumi Ayata*
PhD student, ETH Zurich, Institute of Electromagnetic Fields(IEF)
Yuriy Fedoryshyn[1] Wolfgang Heni[1] Benedikt Baeuerle[1] Arne Josten[1] Marco Zahner[1]
Ueli Koch[1] Yannick Salamin[1] Claudia Hoessbacher[1] Christian Haffner[1] Delwin L. Elder[2]
Larry R. Dalton[2] Juerg Leuthold[1]
[1] ETH Zurich, Institute of Electromagnetic Fields(IEF) [2] University of Washington, Department of Chemistry

Contact
E-mail：mayata@ethz.ch
所在地：Gloriastrasse 35, 8092 Zurich, Switzerland
U R L：http://www.ief.ee.ethz.ch/

金属のみで作られた超高速光変調器

プラズモニクスは光を回折限界を超えて微小領域に閉じ込めることが可能なため、既存のフォトニクスやエレクトロニクスでは不可能な変調速度やナノスケールサイズのデバイスを実現するものとして、大きな期待が寄せられている。また、プラズモニクスは光通信のみならず、光センシングの分野においても高感度な光センサが実現できるとされ、注目を集めている。

今回の研究で我々は、金属のみを用いて、「どこにでも簡単に作製することが可能」な超高速かつ極小な光変調器を実現した。ガラスレイヤー上に作製されたプラズモン光変調器はマルチコアファイバを組み合わせることによって毛髪の断面以下の面積に収まり、100Gbit/s以上のデータ伝送を実証した。既存のシリコン基板光変調器の伝送容量を遥かに凌ぐレベルでありながら、基板に依存しない低コストな技術として、我々の研究はプラズモニクスの実用化に向けて大きく貢献したと言える。

Figure and Note

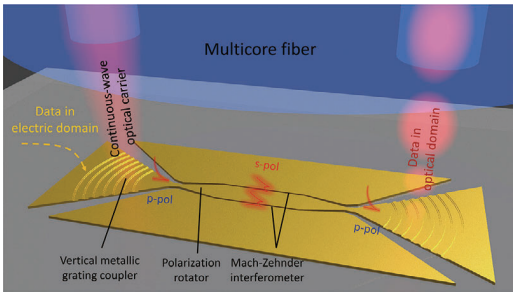


図1：金属薄膜上高速光変調器
マルチコアファイバの一つ目のコアから入力された光はグレーティングカプラを通して直接表面プラズモンに変換される。光は偏向を回転させた後、マッハ・ツェンダー型干渉計で変調され、変調された光信号は隣接するコアから出力される。

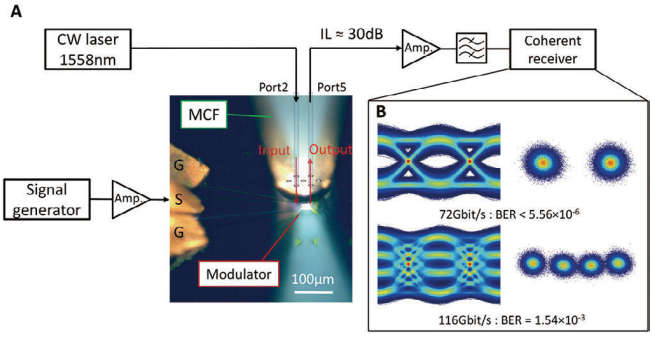


図2：大容量データ伝送実験
コヒーレント光通信システムを用いて72Gbit/s、116Gbit/sのデータ伝送に成功した。

スイス連邦工科大学チューリッヒ校

チューリッヒ湖のすぐ隣に位置するETH Zürichはアルプスを望む自然豊かな場所で、ハイキングやスイミングなどのレジャー環境がとても充実しています。そのようなのびのびとした環境の下で、世界各国から集まったトップクラスの研究者たちが、最先端の研究を行っています。我々のグループでも、次世代の光通信、光インターコネクト技術に向けたフォトニクス、プラズモニクスデバイスの研究に取り組んでいます。

Science 03 Nov 2017: Vol. 358, Issue 6363, pp. 672-676
DOI: 10.1126/science.aan6516

コンデンシン複合体はDNAに沿って移動するメカノケミカルモーターである

The condensin complex is a mechanochemical motor that translocates along DNA

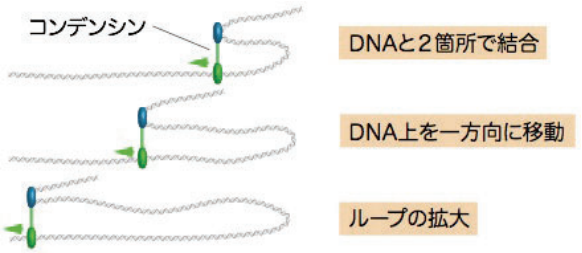
寺川 剛 *Tsuyoshi Terakawa*
Post-doctoral fellow, Department of Biochemistry and Molecular Biophysics, Columbia University
全著者リスト：http://science.sciencemag.org/content/358/6363/672

Contact
E-mail：ttterakawa@gmail.com
所在地：650 West 168th St, New York, NY 10032, USA
ＵＲＬ：https://ttterakawa.wixsite.com/home

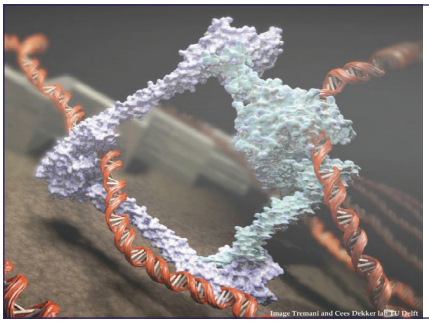
染色体の構造形成を司るコンデンシンは分子モーターだった

コンデンシンは染色体の構造形成において重要な役割を果たすタンパク質であるが、構造形成の分子機構はわかっていなかった。本研究において、我々は、蛍光顕微鏡を用いた1分子観察により、出芽酵母のコンデンシンはATPの加水分解のエネルギーを用いてDNAに沿って移動する分子モーターであることを明らかにした。また、コンデンシンはDNAから解離するまでに1万塩基対の距離を1秒間に60塩基対ずつ移動することも明らかにされた。生化学的な実験との比較により、コンデンシンは1個のATPの加水分解につき30塩基対もの距離を進むことも示唆された。このことから、コンデンシンはほかのDNAの分子モーターとはまったく異なる分子機構によりDNAに沿って移動することが示された。また、この分子モーター活性によって、コンデンシンがDNAのループ構造形成を司っていることも示唆された。この成果は、染色体構造形成の分子機構の解明に向けた大きなブレークスルーである。

Figure and Note



図：コンデンシンによるDNAのループ構造形成機構
コンデンシンがDNA鎖上を移動しながらループを大きくしていく



パワフルな国際共同研究

本研究はアメリカのコロンビア大学、ドイツのEMBL、オランダのデルフト工科大学の3国間共同研究として行われました。昨今、インターネットや電子メールにより、物理的距離に関わらず容易に情報を交換できるようになりました。また、輸送網の整備により、サンプルも国境を越えて約2日以内にやりとりすることができるようになりました。これらのツールをフル活用することにより、それぞれの研究室だけではできないレベルの研究を行うことができました。こういった時代だからこそ、海外の研究者とコミュニケーションする能力が非常に重要です。語学はもちろんのこと、議論や交渉の能力を磨ける機会があるといいと思います。

Science 11月10日号 Review
Science 10 Nov 2017: Vol. 358, Issue 6364, pp. 751-756
DOI: 10.1126/science.aam7092

触媒・電極触媒としてのペロブスカイト型酸化物

Perovskites in catalysis and electrocatalysis

片山 祐 *Yu Katayama*
Research Laboratory of Electronics, Massachusetts Institute of Technology
京都大学大学院 工学研究科 物質エネルギー化学専攻
（現 山口大学大学院 創成科学研究科 助教）

Jonathan Hwang[1] Reshma R. Rao[2] Livia Giordano[2,3] Yang Yu[1] Yang Shao-Horn[1,2,4]

[1] Department of Materials Science and Engineering, Massachusetts Institute of Technology（MIT）
[2] Department of Mechanical Engineering, MIT
[3] Department of Material Science, Università di Milano-Bicocca
[4] Research Laboratory of Electronics, MIT

Contact

E-mail：yuktym@mit.edu
所在地：Massachusetts Institute of Technology
77 Massachusetts Avenue, 31-187 Cambridge, MA 02139, USA
U R L：http://web.mit.edu/eel/index.html

日本での連絡先
E-mail：yuktym@yamaguchi-u.ac.jp
所在地：755-8611 山口県宇部市常盤台2丁目16-1
山口大学 工学部本館 404
U R L：http://ds0n.cc.yamaguchi-u.ac.jp/~tsutsulb/index.html

ペロブスカイト型酸化物を用いた触媒のこれまでとこれから

触媒、電極触媒は化学反応をつかさどる極めて重要な物質である。例えば、日常生活用品のほとんどが何らかの（電極）触媒反応を利用して作られているほか、資源・エネルギー問題、環境汚染問題、食糧問題といった人類が直面する課題の解決においても、（電極）触媒反応は重要な役割を担う。貴金属を材料として用いた（電極）触媒は、その優れた触媒特性から、環境浄化装置やエネルギー貯蔵・変換システムにて実際に利用されている。しかしながら、触媒材料のコストが高いこと、またその希少性から、代替材料を用いた（電極）触媒の研究開発が求められる。これらの代替材料の中でもABO_3（A，Bは各元素、Oは酸素）の組成式で表されるペロブスカイト型酸化物は、その構成元素の適切な選択によって、特性を制御できるため注目されている。

これまでにも、多数のペロブスカイト型酸化物が触媒として研究・開発され、その触媒設計指針もいくつか提案されている。本レビューでは、これまでに報告されているペロブスカイト型酸化物を用いた触媒開発の知見を集約し、今後の触媒設計の鍵となる因子の提案を試みた。加えて、古典的な分子軌道法から最新の実験・理論科学手法にわたる既存の成果をまとめ、ペロブスカイト型酸化物の構成元素と活性の相関、さらにはその高活性の理由を探った。最後に、今後の展望として、著しい発展がみられる*in situ*（その場）測定法の重要性、そしてこれらの実験手法と機械学習を組み合わせた次世代の触媒材料探索について議論した。本レビューがペロブスカイト型酸化物を用いた（電極）触媒の材料設計の一つの指針となり、優れた材料の発見につながることを期待している。

Figure and Note

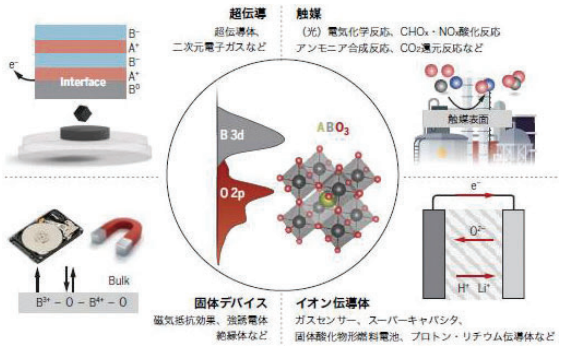


図1：ペロブスカイト酸化物を用いた技術
ペロブスカイト酸化物は中央に示した結晶構造をもつ物質群である。A、B元素を変化させることでその電子構造を制御できる。その応用範囲は多岐にわたり、（電極）触媒以外にも様々な技術に用いられている。

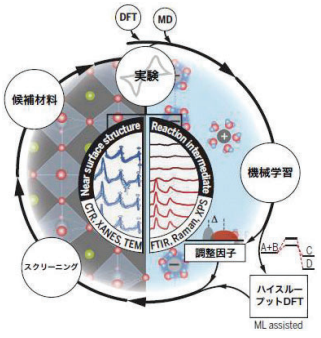
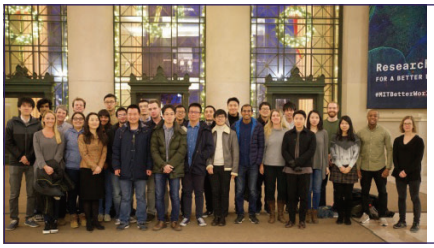


図2：次世代の触媒材料探索
in situ（その場）測定法による電極表面構造・反応機構の理解を、従来の計算化学的手法に加えて機械学習と組み合わせることで、触媒設計の効率化が期待できる。



異なる分野の専門家とのコラボレーション

本レビューはマサチューセッツ工科大学のElectrochemical Energy Lab（Yang Shao-Horn教授）のメンバーとともに執筆しました。本研究室は、世界中の様々な大学で学び、異なるバックグラウンドを持ったメンバーにより構成されています。例えば、本レビューにも材料化学、機械工学、計算化学の専門家が関わっており、執筆時には各自の専門の違いによる視点・考察の違いを度々感じました。互いに納得するまで何度もディスカッションを重ねて、内容を一つにまとめ上げるのは（時に）苦労が伴いましたが、そのプロセスを経験できたことは幸運だったように思います。研究をまとめ上げるには個人の能力も勿論大事ですが、同時にチームワークも必要不可欠であることを実感しました。

Science 11月17日号 Research Article *Science* 17 Nov 2017: Vol. 358, Issue 6365, eaan3184
DOI: 10.1126/science.aan3184

電力ネットワーク内で大規模カスケードに対して脆弱な送電線は少数である

Small vulnerable sets determine large network cascades in power grids

西川 崇 *Takashi Nishikawa*
Research Associate Professor, Department of Physics and Astronomy, Northwestern University
Northwestern Institute on Complex Systems, Northwestern University
Yang Yang[1] Adilson E. Motter[1,2]
[1] Department of Physics and Astronomy, Northwestern University
[2] Northwestern Institute on Complex Systems, Northwestern University

Contact **E-mail**：t-nishikawa@northwestern.edu
所在地：2145 Sheridan Rd., Evanston, IL 60208 USA

脆弱な送電線は意外に少数だがネットワーク内の中心的な位置に分布

多数のユニットが相互作用してネットワークを成す複雑系では、わずかな障害が連鎖的カスケードを誘発し、甚大なシステム障害をもたらすことがある。これまでの研究では、大規模かつ現実的なシミュレーションモデルの使用は稀で、システムコンディションの変動を想定した解析は皆無のため、そのようなカスケード現象のメカニズムの解明とそれに伴うリスクの分析は困難であった。そこで今回は、様々な条件下で運用される北米送電ネットワークの実データを元にモデルを構築し、カスケード現象を忠実にシミュレートすることにより、カスケード障害に対して脆弱な送電線を同定・分析した。その結果、脆弱な送電線の割合は予想外に低い反面、他のノードとの繋がりが密なノード同士を繋いだ送電線は脆弱である傾向が強いことを確認した。さらに、初期障害が脆弱送電線近傍で発生した場合、あるいは初期障害同士が地理的・ネットワーク的に近い場合に、カスケードが大規模なものになりやすいことも判明した。これらの結果は送電ネットワークの設計と運用に直接有益であるのに加え、このような脆弱性解析手段が、送電ネットワークのみならず他の様々な複雑系において、カスケード現象解明に貢献できることを示唆するものである。

Figure and Note

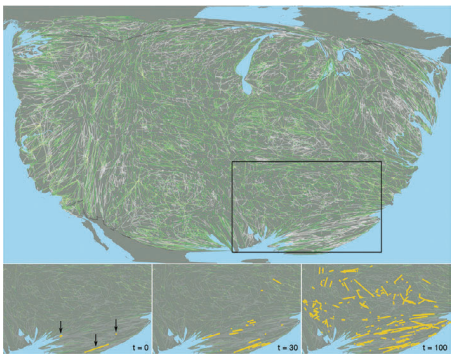


図1：北米送電ネットワークのカスケード耐性領域

（上）ノード分布均一化のために変形した地図上で、カスケードによる障害が全くなかった送電線（緑色）。（下）3本の送電線（矢印）から始まったカスケードが254の送電線へと広がる様子（時間tは％表示）。

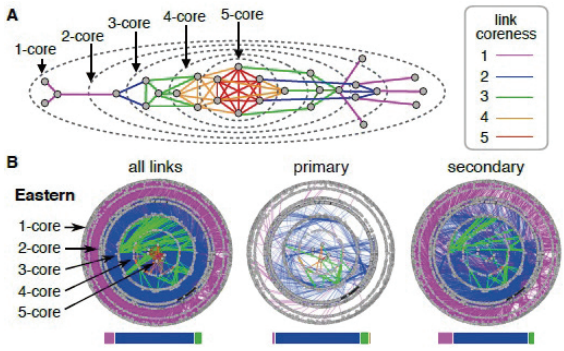
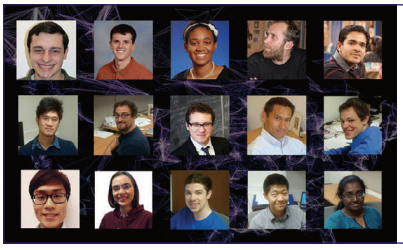


図2：カスケードに対して脆弱な送電線のcorenessによる分類

東海岸側ネットワークの送電線全て（左下）、カスケードによる直接障害に対し脆弱な送電線（中下）、カスケードによる二次的障害に対し脆弱な送電線（右下）をネットワーク内の繋がり密度の指標corenessを用いて分類した。



ネットワークダイナミクス ～理論から生物・電力網・流体などへの応用まで

ノースウェスタン大学物理学科Motter研究グループでは、ネットワーク・複雑系で起こる多様なダイナミクスを理解しコントロールするための研究を理論応用ともに進めています。選りすぐりの学生やポスドクとともに深い議論を交わす刺激的な環境の中、ネットワーク特有の様々な集団的現象（系の非対称性を必要とする状態対称性、振動子間の繋がり方を反映した同期パターンなど）を解明し、将来役に立つ技術の開発につなげるため、日々努力を重ねています。

Science 11月24日号 Report
Science 24 Nov 2017: Vol. 358, Issue 6366, pp. 1084-1087
DOI: 10.1126/science.aah4297

モット絶縁体Ca_2RuO_4に電流によって誘起された強い反磁性

Current-induced strong diamagnetism in the Mott insulator Ca_2RuO_4

上左から岡 隆史、前野 悦輝、ソウ・チャンチャル、黒木 和彦、米澤 進吾
下左から北村 想太、中村 文彦

Contact

前野 悦輝 **E-mail**：maeno@scphys.kyoto-u.ac.jp
所在地：606-8502 京都市左京区北白川追分町
ＵＲＬ：http://www.ss.scphys.kyoto-u.ac.jp/

前野 悦輝 *Yoshiteru Maeno*
京都大学大学院 理学研究科 教授

ソウ・チャンチャル *Chanchal Sow*
京都大学大学院 理学研究科 日本学術振興会外国人特別研究員

米澤 進吾 *Shingo Yonezawa*
京都大学大学院 理学研究科 助教

北村 想太 *Sota Kitamura*
Post-doc researcher, Max Planck Institute for the Physics of Complex Systems

岡 隆史 *Takashi Oka*
Group Leader, Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids/Max Planck Institute for the Physics of Complex Systems

黒木 和彦 *Kazuhiko Kuroki*
大阪大学大学院 理学研究科 教授

中村 文彦 *Fumihiko Nakamura*
久留米工業大学 教育創造工学科 教授

電子が凍るモット絶縁体を電流で「溶かし」て最強の反磁性が出現

電子同士のクーロン反発によって伝導電子が「凍って」動けなくなって絶縁体となっているモット絶縁体に対して、元素置換や圧力印加をすることによって伝導電子が動けるようにしてやると、銅酸化物の高温超伝導のような非常に興味深い現象が引き起こされる。我々は、モット絶縁体であるCa_2RuO_4（図1）にわずかに直流電流を印加することで、「凍った」電子が「溶け」出す寸前の状態を実現し、そこで巨大な反磁性が表れることを明らかにした。反磁性とは、物質が磁石のＮ極にもＳ極にも反発するような性質で、ほとんどの物質は非常に弱い効果しか示さない。例外的に強い反磁性を示す物質は高配向グラファイトやビスマスで、超伝導体を除けばこれらが地球上で最強の反磁性体であることは数十年以上も前から知られていた。図2に示すように、我々の見つけたCa_2RuO_4の反磁性の大きさはこれらの反磁性体のそれを凌ぐものであり、数十年ぶりに記録を塗り替えたことになる。またモット絶縁体などの電子間の相互作用が大きい物質では反磁性は生じないのが固体物理の常識であり、それが覆されたことは非常に驚きである。さらに、わずかな電流でモット絶縁体の電気的・磁気的性質をコントロールできることを示したことは、応用的な観点からも価値があると考えている。

Figure and Note

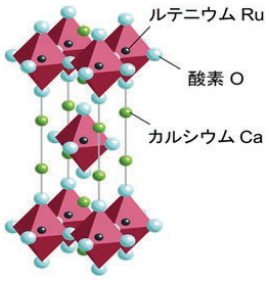


図1：層状ルテニウム酸化物Ca_2RuO_4の結晶構造

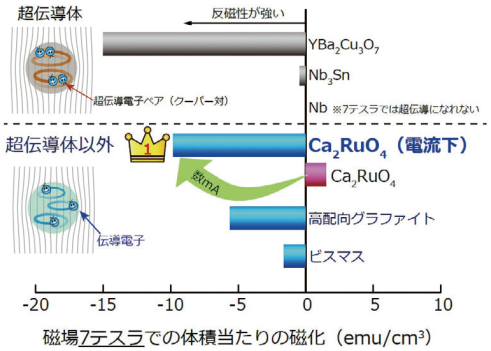


図2：ルテニウム酸化物が電流の下で示す反磁性
超伝導体以外ではこれまで最大の反磁性で、強い磁場のもとでは高温超伝導体にも迫る大きさになる。

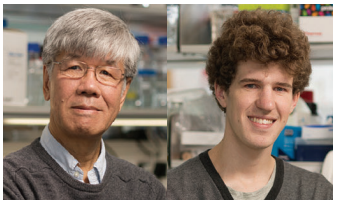
京都大学 固体量子物性研究室メンバー

当研究室は京都大学理学研究科の物理学・宇宙物理学専攻に属し、前野悦輝教授、石田憲二教授、米澤進吾助教、北川俊作助教のもと、海外からの１名のPD、留学生３名を含む12名の大学院生、５名の学部卒業研究生、２名の事務スタッフで活動しています。超伝導体・磁性体をはじめとした物質で起こる新奇な量子現象に興味をもって日々研究をしています。

Science 12月8日号 Research Article
Science 08 Dec 2017: Vol. 358, Issue 6368, pp. 1283-1288
DOI: 10.1126/science.aar3729

スプライシング反応後のスプライソソームの構造により3'スプライシング部位の認識機序が明らかとなった

Postcatalytic spliceosome structure reveals mechanism of 3'-splice site selection



左から長井 潔、Max E. Wilkinson
(Photo：Neil Grant MRC Laborotory of Molecular Biology)

長井 潔 *Kiyoshi Nagai*
Programme leader, MRC Laboratory of Molecular Biology

Max E. Wilkinson
MRC Laboratory of Molecular Biology

Sebastian M. Fica　Wojciech P. Galej*　Christine M. Norman　Andrew J. Newman

MRC Laboratory of Molecular Biology
*現 European Molecular Biology Laboratory (EMBL) Grenoble

Contact
長井 潔　**E-mail**：kn@mrc-lmb.cam.ac.uk
所在地：Francis Crick Avenue, Cambridge CB2 0QH, UK
U R L：http://www2.mrc-lmb.cam.ac.uk/groups/nagai/

Max Wilkinson　**E-mail**：mwilkin@mrc-lmb.cam.ac.uk

スプライソソームによるエキソン結合機序の解明

ちょうど40年前の1977年にPhil SharpとRich Robertsは真核生物の遺伝子がイントロンを含んでいることを発見した。イントロンは二段階のリン酸交換反応（branchingとexon-ligation反応）によってメッセンジャーRNAの前駆体からスプライソソームによって除かれ、翻訳できるmRNAに変えられる。イントロンの初めのGUと最後のAGはほぼすべてのイントロンで保存されているが、この最後のAGがスプライソソームによってどのようにして認識されエキソン結合反応が起こるかは分かっていなかった。エキソン結合後のmRNAはPrp22と呼ばれるDEAH-Boxヘリカーゼによってスプライソソームから除かれるが、ATP分解活性のないPrp22を使うことによってエキソン結合直後のスプライソソームの構造をクライオ電顕で解くことができた（図1）。イントロンの最初と最後のGが塩基対を作り、最後から二番目のAは分岐（branch）部位のAと塩基対を作って認識されていることが分かった（図2）。イントロン中の5'と3'スプライシング部位と分岐部位（branch point）の保存されているヌクレオチドは塩基対を作ることによって互いにチェックしていることになる。この論文でmRNAスプライシングの機構の謎がほぼ解けたことになる。

Figure and Note

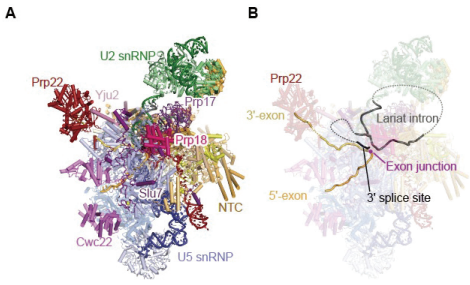


図1：スプライシング反応直後のスプライソソームの構造

第一反応（branching）の後、スプライソソームは構造変化を起こしエキソン結合反応が起こる。右のパネルは結合したエキソン（mRNA）と切り取られたイントロンを示す。3'エキソンはPrp22の活性部位に結合しその活性によってスプライソソームから放出される。

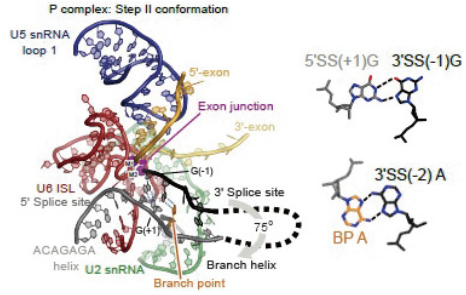
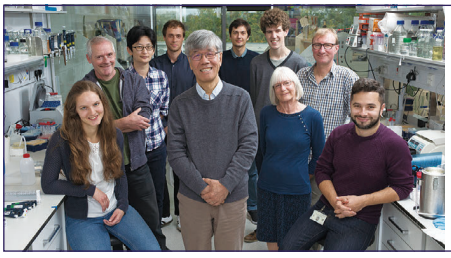


図2：活性部位のRNAの相互作用

エキソンの継ぎ目とイントロンの3'OHは活性部位に結合している。右のパネルはイントロンの最後のAGが分岐点のAとイントロンの最初のGと塩基対を作る様子を示す。



Nagai groupの現在のメンバー

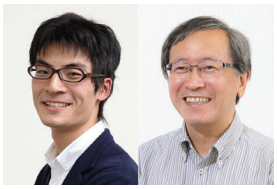
メンバーの国籍はイギリス、フランス、ドイツ、オーストリア、台湾、ルーマニア、ニュージーランドと日本。2017年には研究所のRichard Hendersonがクライオ電顕の方法開発により、Joachim FrankとJacques Dubochetとともにノーベル化学賞を受賞したことは本当に喜ばしいことです。我々の研究もRichard Hendersonの研究から直接恩恵を受けました。

(Photo by Neil Grant MRC Laboratory of Molecular Biology)

Science 12月8日号 Report
Science 08 Dec 2017: Vol. 358, Issue 6368, pp. 1311-1314
DOI: 10.1126/science.aan5991

磁気的トポロジカル絶縁体磁壁上の量子化したカイラルエッジ伝導

Quantized chiral edge conduction on domain walls of a magnetic topological insulator



左から安田 憲司、十倉 好紀

安田 憲司 *Kenji Yasuda*
東京大学大学院 工学系研究科附属 量子相エレクトロニクス研究センター

十倉 好紀 *Yoshinori Tokura*
理化学研究所 創発物性科学研究センター センター長
東京大学大学院 工学系研究科附属 量子相エレクトロニクス研究センター 教授

茂木 将孝[1] 吉見 龍太郎[2] 塚﨑 敦[3] 高橋 圭[2,4] 川﨑 雅司[1,2] 賀川 史敬[2]

[1] 東京大学大学院工学系研究科附属 量子相エレクトロニクス研究センター・物理工学専攻
[2] 理化学研究所 創発物性科学研究センター
[3] 東北大学 金属材料研究所
[4] 科学技術振興機構 さきがけ

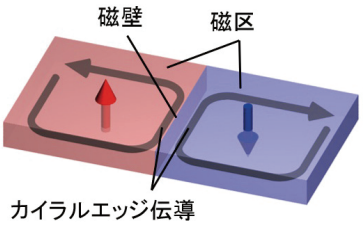
Contact
安田 憲司 **E-mail**：yasuda@cmr.t.u-tokyo.ac.jp
所在地：113-8656 東京都文京区本郷７丁目３番１号
ＵＲＬ：http://www.cmr.t.u-tokyo.ac.jp/

十倉 好紀 **E-mail**：tokura@riken.jp
所在地：351-0198 埼玉県和光市広沢2-1
ＵＲＬ：http://www.cems.riken.jp/jp/

カイラルエッジ伝導の新たな制御原理を実証

磁石は現代の情報社会を支える多くの素子に利用され、特に不揮発な記憶素子として重要な役割を担っている。その磁石に、新たな機能性を付与することで次世代量子デバイスの構築に繋がることが期待され、様々な研究が行われている。その一つに、トポロジー（位相幾何学）の概念に基づいた新しい物質相を用いて機能発現を目指す研究がある。磁石の一種である磁性トポロジカル絶縁体では、磁区間でのトポロジカル不変量（位相不変量）の違いに由来して、磁壁に一次元の金属伝導が現れることが理論的に予言されていた。今回我々は、磁気力顕微鏡を用いて磁性トポロジカル絶縁体薄膜への磁区書き込みに成功し、電気伝導測定によって、磁壁で一方向にのみ流れるカイラルエッジ伝導の存在を明らかにした。電流が一方向にしか流れられないことは、不純物や欠陥といった乱れによって電子が散乱されないことを意味している。従ってこの原理を用いることで、磁区構造を制御するだけで非散逸な回路を自在に設計することが可能となる。今後、動作温度の高温化や電流による磁壁駆動を推し進めることで、新たな動作原理によるスピントロニクスデバイスとしての発展が期待される。

Figure and Note



図：磁性トポロジカル絶縁体の磁壁に生じるカイラルエッジ伝導
磁化が上を向いた磁区（赤色領域）と下を向いた磁区（青色領域）でトポロジカル不変量が異なることに由来して、その境界である磁壁に、一方向にのみ流れるカイラルエッジ伝導が生じる。

理化学研究所 創発物性科学研究センター 強相関物理部門

創発物性科学研究センターでは、物理・化学・エレクトロニクスの３分野の研究者が国内外から集結して、電子や分子の集合体が生み出す「創発的」な物性機能の開拓と学理の構築に取り組んでいます。強相関物理部門では、膨大な数の電子の運動や位相を利用したり制御したりすることで、超低消費、超低損失、超高変換効率など、高度なエネルギー機能を持つ物質を創出し、持続可能な社会の実現を目指します。

Science 12月15日号 Report
Science 15 Dec 2017: Vol. 358, Issue 6369, pp. 1403-1406
DOI: 10.1126/science.aan5351

相互作用する2次元ワイルフェルミオンの異常なスピン相関とエキシトン不安定性

Anomalous spin correlations and excitonic instability of interacting 2D Weyl fermions

上段左から平田 倫啓、鹿野田 一司、小林 晃人、石川 恭平
下段左から松野 元樹、宮川 和也、田村 雅史、Claude Berthier

平田 倫啓 *Michihiro Hirata*
東北大学 金属材料研究所 助教

鹿野田 一司 *Kazushi Kanoda*
東京大学大学院 工学系研究科 物理工学専攻 教授

小林 晃人 *Akito Kobayashi*
名古屋大学大学院 理学研究科 物質理学専攻 物理系 准教授

石川 恭平 *Kyohei Ishikawa*
東京大学大学院 工学系研究科 物理工学専攻

松野 元樹 *Genki Matsuno*
名古屋大学大学院 理学研究科 物質理学専攻 物理系

宮川 和也 *Kazuya Miyagawa*
東京大学大学院 工学系研究科 物理工学専攻 助教

田村 雅史 *Masafumi Tamura*
東京理科大学 理工学部 物理学科 教授

Claude Berthier
Emeritus Researcher, Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses, LNCMI-CNRS (UPR3228), EMFL, UGA, UPS, and INSA

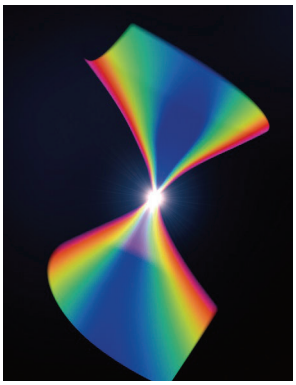
Contact

平田 倫啓 **E-mail**：michihiro_hirata@imr.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：http://www.imr.tohoku.ac.jp/
小林 晃人 **E-mail**：akito@s.phys.nagoya-u.ac.jp
所在地：464-8602 愛知県名古屋市千種区不老町
U R L：http://www.s.phys.nagoya-u.ac.jp/
鹿野田 一司 **E-mail**：kanoda@ap.t.u-tokyo.ac.jp
所在地：113-8656 東京都文京区本郷7-3-1
U R L：http://www.ap.t.u-tokyo.ac.jp/

ゼロ質量電子の強相関効果：コリンガ則の破綻と質量生成ゆらぎ

通常の物質内の電子は、結晶の構造などで決まる見かけ上の質量（有効質量）をもつ。一方、ある種のトポロジカル物質内では、トポロジーという数学概念で記述される電子状態で、この有効質量がゼロになることが分かってきた。この質量ゼロの電子は、むしろ光子のように「一定速度で動き続ける質量ゼロの相対論的粒子」のように振る舞う。本研究はそのような特殊な電子の特性のうち、とりわけ未だ解明されていない長距離クーロン反発力に関係した強相関効果を実験的に明らかにしようとするものである。我々は核磁気共鳴法と数値シミュレーションを組み合わせ、クーロン反発力が従来のトポロジカル物質よりも数段強い有機物質α-(BEDT-TTF)$_2$I$_3$において動的帯磁率の測定に成功し、このクーロン力がコリンガ則と呼ばれる関係式の劇的な破綻と、自発的な質量獲得機構の一つであるエキシトン転移の前駆的なゆらぎを引き起こすことを突き止めた。「トポロジー」と「強相関」を組み合わせるこのような試みは、たとえば将来の新規エレクトロニクス技術や新しい量子演算技術の開発に繋がると期待されており、本研究はそのような流れの基礎研究における実験的に重要な一歩となるものである。

Figure and Note



図：ゼロ質量電子系における質量生成ゆらぎの概念図

長距離クーロン相互作用により変形したゼロ質量電子系の分散関係。フェルミ準位が位置するコーン交点近傍では、自発的質量獲得を伴うエキシトン転移の前駆ゆらぎが発達する事が分かった。

留学が教えてくれた多様性の大切さ

この研究は、私がフランス留学時に開始した日仏共同研究から始まりました。研究達成の直接の鍵となったのは、実験・理論を有機的に同期させ研究を推進できたことです。しかし、その根底を流れる通奏低音は何かと考えると、それは留学を通して構築できた、『多様な価値観の下に喧々諤々の議論を展開する体制』だと言えます。既存の枠組みにとらわれない、多様な視点をもつことの重要性は、今後一層増すでしょう。留学はこの重要性を学べる稀有な機会であり、また柔軟な発想力やネットワークを獲得するチャンスです。どのような進路をお考えであれ、若い方にはぜひ一度留学されることを強くお勧めします（平田）。

Science 12月22日号 Report
Science 22 Dec 2017: Vol. 358, Issue 6370, pp. 1593-1596
DOI: 10.1126/science.aao3508

海洋リソスフェア ーアセノスフェアシステムの内部減衰パラメーターの決定

Determination of intrinsic attenuation in the oceanic lithosphere-asthenosphere system

竹内 希 *Nozomu Takeuchi*
東京大学 地震研究所 准教授
川勝 均[1] 塩原 肇[1] 一瀬 建日[1] 杉岡 裕子[2] 伊藤 亜妃[3] 歌田 久司[1]
[1] 東京大学 地震研究所
[2] 神戸大学大学院 理学研究科
[3] 海洋研究開発機構 地球深部ダイナミクス研究分野

Contact
E-mail：takeuchi@eri.u-tokyo.ac.jp
所在地：113-0032 東京都文京区弥生1-1-1
U R L：http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/people/takeuchi/

海洋アセノスフェアの「柔らかさ」を観測する新たな手段

地球の海の下にはリソスフェアと呼ばれる硬い岩盤があり、柔らかいアセノスフェアの上で運動していると考えられている。しかしなぜアセノスフェアがリソスフェアよりも柔らかいのかは分かっていないうえ、計測の困難さから、アセノスフェアの柔らかさを直接観測する手段もほとんどなかった。私たちは「ふつうの海洋マントルプロジェクト（通称）」を推進し、長期海底地震観測技術を開発し、アセノスフェアの物性をその場観測した。地震波減衰特性という岩石の柔らかさの指標に着目し、独自の地震波伝播シミュレーション手法を駆使して、海洋リソスフェア・アセノスフェアの柔らかさの精密比較に成功した。この計測技術を通じ、室内岩石実験データと地球観測データを直接比較できるようになったため、アセノスフェアを診る新たな手段を獲得したと言える。今後の研究を通じ、岩石が柔らかくなる原因や条件の詳細が室内実験から解明されれば、アセノスフェアの柔らかさの原因が特定できる可能性がある。

Figure and Note

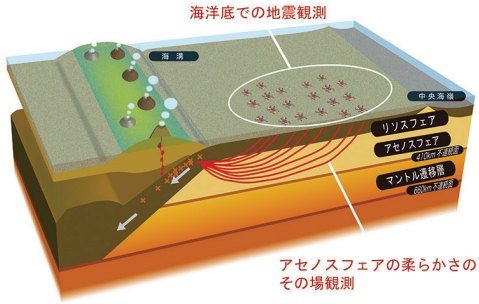


図1：海底地震観測が重要であることを示す概念図
地震波を用いてアセノスフェアを調べるには、対象物に近づくこと、つまり海底で観測することが重要になる。海洋域だけを通ってくる地震波が観測できるようになり、計測精度が大幅に改善される。

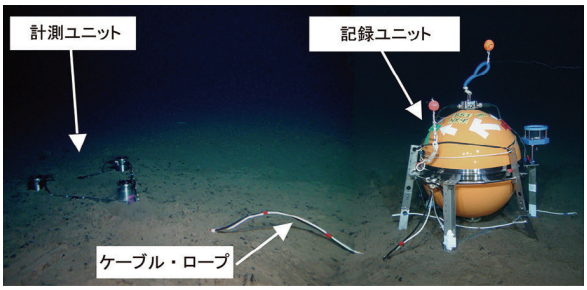
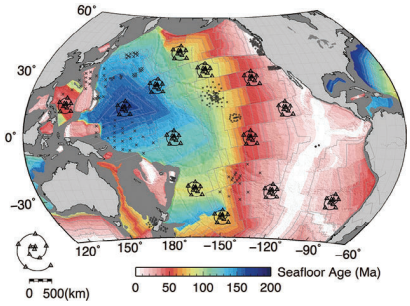


図2：今回開発した海底地震計システム
海洋底に設置した海底地震計システム。海底とのカップリングを改善するために、計測ユニットを埋めてある。また記録ユニットの振動ノイズを軽減するため、計測ユニットを記録ユニットから離して設置した。



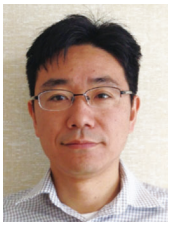
太平洋全域をカバーする海底観測計画

東京大学地震研究所海半球観測研究センターでは、国際連携プロジェクト「太平洋アレイ」を進めつつあります。表層の地震・火山現象等を統一的に説明する「プレートテクトニクス」は、地球科学に変革をもたらしました。しかし表層活動を現象論的に説明するのみで、それを実現するしくみには言及していません。開発した計測技術を応用し、太平洋プレートのダイナミクス・発達史を調べることで、しくみにせまります。

Science 12月22日号 Research Article
Science 22 Dec 2017: Vol. 358, Issue 6370, pp. 1565-1570
DOI: 10.1126/science.aap9580

ガンマ線バースト観測衛星SwiftとX線宇宙望遠鏡NuSTARによる重力波源GW170817の観測：青いキロノヴァの検出

Swift and *NuSTAR* observations of GW170817: Detection of a blue kilonova



坂本 貴紀 *Takanori Sakamoto*
青山学院大学 理工学部 物理・数理学科 准教授

P. A. Evans[1] S. B. Cenko[2,3] J. A. Kennea[4] S. W. K. Emery[5] N. P. M. Kuin[5] et al.

[1] University of Leicester, X-ray and Observational Astronomy Research Group, Leicester Institute for Space and Earth Observation, Department of Physics and Astronomy
[2] Astrophysics Science Division, NASA Goddard Space Flight Center
[3] Joint Space-Science Institute, University of Maryland
[4] Department of Astronomy and Astrophysics, The Pennsylvania State University
[5] University College London, Mullard Space Science Laboratory

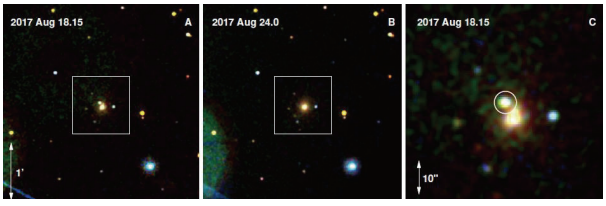
全著者リスト：http://science.sciencemag.org/content/358/6370/1565

Contact
E-mail：tsakamoto@phys.aoyama.ac.jp
所在地：252-5258 神奈川県相模原市中央区淵野辺5-10-1 青山学院大学 理工学部 物理・数理学科
U R L：http://www.agnes.aoyama.ac.jp/phys/faculty/sakamoto.html

重力波源GW170817からの青い光の検出

重力波とはアインシュタインが一般相対性理論で予言したもので、大きな質量をもつ物質が円運動のような加速度運動をすると、時空のゆがみが光速で波として伝わるという現象である。2015年9月にアメリカの重力波検出器Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory（LIGO）によって、ブラックホール同士の合体に伴った重力波が初めて検出されてから、次は中性子星同士の合体に伴った重力波の検出が大いに期待されていた。世界時間2017年8月17日12：41、LIGOから中性子星合体に伴う重力波を検出したという速報が流れ、その数秒後にFermi衛星のGamma-Ray Burst Monitor検出器が2秒程度の弱いガンマ線の信号を検出したという情報がもたらされた。この速報により、世界中の観測装置が、この重力波源GW170817の電磁波対応天体の探査に即座に乗り出した。Swift衛星は速報の約1時間後から探査を開始し、Swope望遠鏡で銀河NGC 4993に付随する対応天体候補SSS17aが報告された後（約14時間後）、SSS17aの追観測を行った。NuSTAR衛星も同様にSSS17aの追観測を約17時間後に開始した。その結果、Swift衛星とNuSTAR衛星による観測で SSS17aに付随する高エネルギー放射は検出されなかった。しかし、Swift衛星の紫外可視光望遠鏡UVOTによる観測により、急速に減光する紫外線放射（青い光）が検出された。この紫外線放射はキロノヴァ放射として理論的に予言されていた中性子星連星合体時の電磁波放射と考えられる。キロノヴァ放射は光速に近い速度で運動する中性子を多く含む物質からつくられた放射性物質の崩壊過程にともなう放射の事を言い、今回の検出は宇宙における重元素の生成現場を観測したと考えられる。

Figure and Note



図：GW 170817領域の疑似紫外線イメージ

紫外線のU，uvw1そしてuvm2フィルターの画像をそれぞれ赤、緑、そして青として重ねたイメージ。

（A）明るい紫外線放射が最初の観測で検出。
（B）急速に青い波長の光が減光。
（C）最初の観測のイメージの拡大図。対応天体を丸で示す。

青山学院大学 理工学部 物理・数理学科 坂本研究室

青山学院大学理工学部物理・数理学科 坂本研究室では、重力波源の電磁波対応天体の探査を主軸に、ガンマ線バーストなどの突発天体の観測的な研究を進めています。重力波源の電磁波対応天体探査を目的とした新しい観測装置の開発やSwift衛星で観測されたガンマ線バーストや高エネルギー天体のデータ解析などを精力的に行っています。重力波を用いた天文学は2015年に花開いたばかりで、様々な驚きを宇宙物理学の研究にもたらしています。今後も我々の予想を良い意味で裏切る新発見を重力波天文学はもたらしてくれるでしょう。

Science 投稿について

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

*Science*では科学に関するあらゆる分野からの投稿を受け付けています。しかし掲載されるのは、幅広い関心を集め革新的な概念を提示する真に重要な論文のみで、掲載率は10％に満ちません。

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

掲載される論文・記事の種類

査読論文

Research Articles：

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

Reports：

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

Reviews：

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

Commentary

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

Perspectives：

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

Books or Media Reviews：

最新の書籍、マルチメディア、展示会、映画等の論評。800語以内。

Policy Forums：

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

Letters：

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

eLetters：

簡潔なオンラインのコメント。著者は規約に従う必要がある。

Technical Comments：

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

原稿の作成

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

オンライン投稿システム：

https://cts.sciencemag.org/

Instructions for Preparing an Initial Manuscript：

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

Instructions for Preparing a Revised Manuscript：

http://www.sciencemag.org/instructions-preparing-revised-manuscript

原稿の投稿

初めて*Science*に投稿される場合は、オンライン投稿システム（https://cts.sciencemag.org/）でアカウントを作成して下さい。Scienceに論文を投稿する著者は、規約ならびにポリシーに合意する必要があります。詳細は下記のページを必ず投稿前にご確認ください。

Editorial policies：

http://www.sciencemag.org/science-journals-editorial-policies

投稿時の画面では、タブを切り替えることにより以下のフォームにご記入をお願いします。

1. 著者名：

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

2. 原稿の情報：

- 原稿の種類
- 記事のタイトル
- カバーレター
- 希望する担当編集者
- 資金提供者

3. 査読者：

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

4. 原稿のアップロード：

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

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

論文の審査

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

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

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

問い合わせ先

Science Contact Information
Phone: (1)-202-326-6550 (USA)
(44)-1223-326500 (UK)
Fax: (1)-202-289-7562 (USA)
(44)-1223-326501 (UK)
E-mail: science_editors@aaas.org (USA)
science@science-int.co.uk (Europe)

ScienceCareers
FROM THE JOURNAL SCIENCE AAAS

Step up your job search with *Science* Careers

- Access thousands of job postings
- Sign up for job alerts
- Explore career development tools and resources

Search jobs on **ScienceCareers.org** today

Science | AAAS

Submit Your Research for Publication in the *Science* Family of Journals

The *Science* family of journals 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 www.sciencemag.org/journals

Science AAAS
Science Advances AAAS
Science Immunology AAAS
Science Robotics AAAS
Science Signaling AAAS
Science Translational Medicine AAAS

ペプチド合成・抗体作製
受託サービス

国内
自社合成

COSMO BIO - Made In Japan

ものづくり立国・日本であることの誇り

ペプチド合成
修飾品・合成難易度の高いペプチド合成

AQUA グレードペプチド合成
- タンパク質絶対定量用途の安定同位体標識ペプチド合成
- ***NEW!*** 配列デザインから合成までの一貫サービス

ファースト抗体
エピトープデザインからペプチド合成、免疫までを安価にトライ

カスタマイズ抗体
使用目的や実験条件に応じてカスタマイズしたプランをご提案

翻訳後修飾アミノ酸抗体作製
リン酸化を含む修飾アミノ酸に対するポリクローナル抗体を作製

モノクローナル抗体作製
- 成果保証制とSTEP by STEPをご用意
- 成果品の知財・権利はお客様へ譲渡

人と科学のステキな未来へ
コスモ・バイオ株式会社

TEL: (03)5632-9744
E-mail：peptide-ab@cosmobio.co.jp
URL : http://www.cosmobio.co.jp/

抗体ガーあっタイガー
ペプチドつくるどん!

抗体百科 Web版

■ 探しま章 ― Web 検索データベース

100 万品目以上の品ぞろえ、主要な約 12,000 ターゲットの抗体を国内に在庫。

■ 作りま章 ― 抗体作製受託サービス

お客様とのコミュニケーションを大切にし、高い技術力であらゆるニーズに対応。

「コウタイガー」「ペプチドン」は、
コスモ・バイオのオリジナルキャラクターです。

ファースト抗体
エピトープデザインからペプチド合成、
免疫までを安価にトライ

翻訳後修飾アミノ酸抗体作製
リン酸化を含む修飾アミノ酸に対する
ポリクローナル抗体を作製

カスタマイズ抗体
使用目的や実験条件に応じて
カスタマイズしたプランをご提案

モノクローナル抗体作製
成果保証の有無を選択可能、
成果品の権利はすべてお客様に帰属

コスモ・バイオの抗体百科に Go!　www.cosmobio.co.jp

人と科学のステキな未来へ
コスモ・バイオ株式会社

お問い合わせ　TEL: (03)5632-9610
URL : http://www.cosmobio.co.jp/

人と科学のステキな未来へ
コスモ・バイオ株式会社

www.cosmobio.co.jp