

## 溶質と溶媒が相互に影響し合う機構を原子レベルで直接観測 － 光化学反応における溶質と溶媒和の構造変化を 100 兆分の 1 秒単位で追跡 －

2023 年 2 月 14 日  
高輝度光科学研究センター  
理化学研究所  
高エネルギー加速器研究機構

### ■概要

高輝度光科学研究センター XFEL 利用研究推進室の片山哲夫主幹研究員、理化学研究所放射光科学研究センター利用システム開発研究部門 SACLA ビームライン基盤グループの矢橋牧名グループディレクター（高輝度光科学研究センター XFEL 利用研究推進室室長）、高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所の野澤俊介准教授、同機構の足立伸一理事、ヨーロッパ XFEL（ドイツ）のクリストファー・ミルネグループリーダー、ハンガリー科学アカデミー（ハンガリー）のジョージ・バンコ教授、ニューキャッスル大学（イングランド）のトーマス・ペンフォールド教授、マドリッド自治大学（スペイン）のポチェック・ガウエルダ教授、アイスランド大学（アイスランド）のジャンルカ・レヴィ研究員らによる共同研究グループは光を吸収した溶質分子とその周りを囲う溶媒分子がお互いに影響し合いながら光化学反応が進行するメカニズムを原子レベルで解明することに成功しました。

溶液中では、反応する分子（溶質分子）の周りは常に溶媒分子に囲われており、溶媒の種類によって化学反応のスピード、反応中間体の寿命、生成物の種類や収率が変わることが知られています（溶媒和効果）。しかし、溶媒分子がどのように溶質分子の構造変化や化学反応を促したり抑制したりするのか、その様子を直接観測することはこれまでできませんでした。

本研究グループは、X線自由電子レーザー（XFEL）施設 SACLA の BL3 を使い、光を吸収した金属錯体（溶質分子）とアセトニトリル（溶媒分子）の構造変化を正確に追跡しました。その結果、溶質分子の動きが周囲の溶媒分子の再配置を促すだけでなく、溶媒の再配置によって溶質の動きが駆動されることが分かりました。すなわち、溶質分子と溶媒分子間の影響が双方向的であることを原子の動きとして捉えることに初めて成功しました。

この研究は、溶質と溶媒の構造変化を観測する分子動画を実現したものであり、光化学反応における溶媒和効果の機構の解明に貢献することが期待されます。またこの研究は、2019 年に科学雑誌 Nature Communications 誌に掲載された同研究グループによる研究成果の続編になります。本成果は科学雑誌 Chemical Science 誌のオンライン版に掲載

されます（この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2023/02/pr20230214.pdf> をご覧ください）。

## 南極の藻類が赤外線で光合成する仕組みを解明。地球外生命の新たな鍵？

2023 年 2 月 16 日  
アストロバイオロジーセンター  
中央大学  
東北大学  
高エネルギー加速器研究機構  
基礎生物学研究所  
国立極地研究所  
兵庫県立大学

### ■概要

アストロバイオロジーセンターの小杉 真貴子 特任研究員（現、基礎生物学研究所 特任助教、および中央大学 共同研究員）、高エネルギー加速器研究機構（KEK）物質構造科学研究所の川崎 政人 准教授、安達 成彦 特任准教授、守屋 俊夫 特任准教授、千田 俊哉 教授、東北大学の柴田 穰 准教授、秋田県立大学の原 光二郎 准教授、東京農業大学の高市 真一 元教授、基礎生物学研究所の亀井 保博 RMC 教授、兵庫県立大学の菓子野康浩 准教授、国立極地研究所の工藤 栄 教授、中央大学の小池 裕幸 教授の研究チームは、赤外線の一部である遠赤色光（700~800 nm）で酸素発生型の光合成を行うことが知られている緑藻ナンキョクカワノリにおいて、遠赤色光を吸収するための光捕集アンテナタンパク質（Pc-ftLHC）を同定し、KEK にあるクライオ電子顕微鏡による単粒子解析によりその分子の立体構造を明らかにしました。Pc-ftLHC は 11 個の同じタンパク質がリング状に結合した大きな複合体を作っていました。1つのタンパク質にそれぞれ 11 個のクロロフィルが結合しており、このうちの 5つのクロロフィルが遠赤色光の吸収に関わる特別なクロロフィルであると示唆されました。分光学的な解析から、この特別なクロロフィルに吸収された遠赤色光のエネルギーの一部が Pc-ftLHC 内で可視光と同等のエネルギーに変換されて光合成利用されていることを示しました。この結果は、英国の科学誌『Nature Communications』に 2023 年 2 月 15 日付で掲載されました（Kosugi *et al.*, 2023, “Uphill energy transfer mechanism for photosynthesis in an Antarctic alga”）。この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2023/02/pr20230216.pdf> をご覧ください。

## 小惑星探査機「はやぶさ2」初期分析 固体有機物分析チーム研究成果の科学誌 「Science」論文掲載について

2023年2月24日  
宇宙航空研究開発機構  
広島大学  
横浜国立大学  
高エネルギー加速器研究機構  
九州大学  
北海道大学  
東北大学  
京都大学  
東京大学

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）では小惑星リュウグウ試料分析を、6つのサブチームからなる「はやぶさ2初期分析チーム」および、2つの「Phase-2キュレーション機関」にて進めています。

この度「はやぶさ2初期分析チーム」のうち「固体有機物分析チーム」の研究成果をまとめた論文が、アメリカの科学誌「Science」に2023年2月24日付（日本時間）で掲載されましたのでお知らせします。

タイトル：小惑星リュウグウ試料中の黒い固体有機物  
原題：Macromolecular organic matter in samples of the asteroid (162173) Ryugu  
掲載誌：Science  
DOI：10.1126/science.abn9057  
公表日：日本時間2023年2月24日（金）午前4時（オンライン公開）  
（この記事の続きは <https://www.kek.jp/ja/press/202302241000/> をご覧ください。）

## マイクロメートルサイズの微小な粉状結晶の電子構造測定に初めて成功 - 次世代半導体開発や微粒子の物性解明のブレークスルーに -

2023年3月2日  
東北大学  
筑波大学  
高エネルギー加速器研究機構  
量子科学技術研究開発機構  
東京工業大学  
科学技術振興機構（JST）

### ■概要

近年、高輝度放射光を用いた電子状態の観測により、高温超伝導体やトポロジカル絶縁体などに代表される量子材

料における物性解明が大きく進展しています。一方、これまで電子状態の観測対象は大面積の試料（大型単結晶など）に限られるという問題があり、様々な材料の物性研究における障害となっていました。

東北大学、筑波大学、物質・材料研究機構、高エネルギー加速器研究機構、量子科学技術研究開発機構、東京工業大学の共同研究グループは、マイクロメートル（ $\mu\text{m}$ ）サイズに集光された放射光を用いて、これまで困難とされてきた微小な粉状結晶における電子状態の直接観測に世界で初めて成功しました。具体的には、近年発見され2次元材料としての応用が期待されている層状半導体である r-BS の微小粉状結晶に  $\mu\text{m}$  程度に集光された紫外線をピンポイントで照射して、放出された電子のエネルギー状態を新たに開発したマイクロ集光角度分解光電子分光（マイクロARPES）装置を用いて精密に観測しました。その結果、r-BS が異方的な有効質量を持つ p 型半導体であることを突き止めました。今回の成果は、r-BS を用いたエレクトロニクスデバイスの開発に貢献するだけでなく、これまで計測が困難だった様々な粉状材料や微粒子における物性研究へのブレークスルーとなります。

本研究成果は、アメリカ化学会発行の学術雑誌 Nano Letters の2023年2月28日号で公開されました（この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2023/03/pr20230302.pdf> をご覧ください）。

## プレートの沈み込み帯の短期的な流体移動の痕跡を上盤マントルで見 - 沈み込み帯における地震活動と流体との関係を示唆 -

2023年4月6日  
東北大学大学  
高エネルギー加速器研究機構  
秋田大学

### ■概要

沈み込み帯で観測される地震活動は流体と密接に関係していると推測されてきました。しかし沈み込み帯での流体活動の継続時間や速度について直接的な物的証拠を得ることは難しく、よくわかっていませんでした。

東北大学大学院環境科学研究科大学院生の吉田一貴氏と岡本敦教授、国土館大学の大柳良介講師、高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所の木村正雄教授、オランダ・ユトレヒト大学のオリバー・プランパー准教授、秋田大学大学院理工学研究科の福山蘭子准教授は、過去に沈み込み帯の上盤を構成したマントルの岩石から、特徴的な反応帯を伴う鉱物脈のネットワークを発見しました。微量元素分析により、この鉱物脈は沈み込むプレートから供給された流体の痕跡であることを示しました。さらに熱力学的解析及び物質移動モデリングにより、その流体活動の継続

時間が非常に短期間（数ヶ月～数年）であり，流速が大きい（秒速 0.1 ～ 1cm）ことを見出しました。本研究で明らかにされた流体活動は，現在の沈み込み帯で観測されている微小地震の継続時間や震源の移動速度とも類似し，沈み込み帯における地震発生過程と流体活動との関連を示唆しています。本成果は，沈み込むプレートの上盤マントルで生じている流体活動を岩石学的アプローチから初めて解明したものであり，プレート境界地震のメカニズムの解明に貢献できると期待されます。

本成果は，2023 年 4 月 6 日，科学誌 Science Advances に掲載されました（この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2023/04/pr20230406.pdf> をご覧ください）。

### 軽石のナノスケール岩石学から福岡ノ場の新しい噴火モデルを提案 ～マグマの酸化が噴火の引き金に～

2023年5月9日

海洋研究開発機構, 京都大学, 東北大学, 静岡大学,  
高エネルギー加速器研究機構

国立研究開発法人海洋研究開発機構(理事長 大和裕幸, 以下「JAMSTEC」) 海域地震火山部門 火山地球内部研究センター 固体地球データ科学研究グループの吉田健太副主任研究員らは、京都大学, 東北大学, 静岡大学, 高エネルギー加速器研究機構と共同で、南西諸島(沖縄・鹿児島)に漂着した福岡ノ場由来の噴火噴出物(軽石)のナノスケール分析を行った結果、黒色軽石部分が10-20nm程度の磁鉄鉱, 100nm程度の黒雲母, 300nm程度の単斜輝石のナノ粒子(ナノライト)を含んでいることを新たに見出しました。また、放射光分析によりガラス中の鉄の酸化還元状態を調べたところ、ナノ粒子を含む黒色軽石部分は、灰色軽石部分よりも鉄が酸化されていることが分かりました。これらの分析結果と熱力学的な解析により、2021年の噴火の際、火山のマグマ溜まり内では地下深くから上昇してきた玄武岩マグマから水が供給されることで福岡ノ場のマグマ溜まりの一部が酸化されてナノ粒子が生じ、形成されたナノ粒子がマグマの発泡を促したことで爆発的な噴火に至ったことを明らかにしました。ナノ粒子形成と火山噴火現象の関わりは近年盛んに研究されている話題ではありますが、今回ナノ粒子の鉱物種と形成条件を詳しく調べることで、これまで通説であった過冷却によるナノ粒子形成モデルとは異なる、マグマ溜まり内部でのナノ粒子形成が爆発的噴火の要因となる新しい噴火モデルを提案しました。

本成果は、JSPS 科研費 JP19K14825, JP19H01999, JP20H00198, JP20H00205, JP 22K03755, JP18KK0376, JP19H00834, JP22H05109, JP21H01195 の支援を受けて行われました。また高エネルギー加速器研究機構での共同利用課題番号 2020G008, 2021G634, 2022S2-001 の成果を一部利用しています。

本成果は、「Scientific Reports」に5月9日付け(日本時間)で掲載される予定です(この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2023/05/pr20230509.pdf> をご覧ください)。

### ナノ構造内における強相関電子の量子化条件の特定に成功 ～次世代の量子デバイス開発に新指針～

2023年5月10日

東北大学, 高エネルギー加速器研究機構

エネルギーが連続的なアナログ値から離散的なデジタル値になる量子化は、現代のナノテクノロジーの基本となる現象です。近年、強い電子相関もつ酸化物においても量子化現象が観測され、この現象を利用した新しい量子物質や量子デバイス創成が期待されています。しかしながら、酸化物中の強相関電子と呼ばれる強く相互作用した電子が量子化するための条件がわかっていませんでした。酸化物の類い希な機能を用いたモットランジスタなどの設計において、このことが大きな障害となっていました。

東北大学多元物質科学研究所の神田龍彦大学院生, 志賀大亮助教, 吉松公平准教授, 組頭広志教授らの研究グループは、高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所の北村未歩助教(現在は量子科学技術研究開発機構)と共同で、高輝度放射光を用いた角度分解光電子分光という手法を用いて、酸化物における量子化条件を決定することに成功しました。

今後、この知見に基づいてナノ構造を設計することで、新たな機能を持つ量子物質の実現が期待されます。

本研究成果は、科学雑誌 Communications Materials のオンライン版に2023年4月25日付けで公開されました(この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2023/05/pr20230510-1.pdf> をご覧ください)。

### 肝がん再発予防薬の標的タンパク質を同定 ータンパク質架橋酵素の立体構造を変えて肝がん幹細胞を制するー

2023年6月12日

理化学研究所, 高エネルギー加速器研究機構

理化学研究所(理研)生命医科学研究センター細胞機能変換技術研究チームの秦咸陽研究員, 鈴木治和チームリーダー, 高エネルギー加速器研究機構(KEK)物質構造科学研究所の清水伸隆教授らの国際共同研究グループは、世界初の肝がん再発予防薬として期待される「非環式レチノイド(一般名:ペレチノイン)」がタンパク質架橋酵素トランスグルタミナーゼ(TG2)に結合することを発見しました。

本研究成果は、肝がん治療後の再発を予防する補助療法の開発やタンパク質架橋酵素の活性制御のために、非環式レチノイドを構造基盤とした創薬研究に貢献すると期待できま

す。

これまで非環式レチノイドの作用には異常細胞の増殖シグナルを抑制することなどが知られていましたが、実際にその作用に非環式レチノイドがどのように関わっているのか、特にどのタンパク質と結合するのかは明らかではありませんでした。

今回、国際共同研究グループは非環式レチノイドのイソプレノ側鎖とカルボキシ基末端が TG2 と結合することで、TG2 の立体構造を変化させ、そのタンパク質架橋酵素活性を阻害することを明らかにしました。さらに TG2 阻害剤が肝がん細胞の幹細胞化と細胞増殖を特異的に阻害することを見だし、TG2 の分子標的としてヘパラン硫酸シグナル経路 [3] を同定しました。

本研究は、科学雑誌『Cell Death & Disease』オンライン版（6月13日付：日本時間6月13日）に掲載されます（この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2023/06/pr20230613.pdf> をご覧ください）。

## バンドトポロジーの性質、アモルファス薄膜で発見 - 応用に適した新材料で次世代センサや素子の開発を加速 -

2023年6月13日

東北大学、東京大学、高エネルギー加速器研究機構、  
科学技術振興機構（JST）

近年トポロジー（数学の分野である位相幾何学）の観点から固体の物性を理解し、素子に応用しようとするトポロジカル物質科学が注目を集めています。トポロジカルな物性の発現には、結晶中の周期的な原子の並びによる長距離の結晶秩序と、それと表裏一体の電子のバンド構造が重要と考えられています。これに対し、原子の周期性が短距離にしか存在しないアモルファス状態は、トポロジカル物質の際立った物性を引き出すことに不向きと考えられていました。

東北大学金属材料研究所の藤原宏平准教授と塚崎敦教授、東京大学大学院工学系研究科の加藤康之講師と求幸年教授、高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所の阿部仁准教授らの研究グループは、鉄とスズのアモルファス薄膜を用いた実験とモデル計算で、主に結晶で議論されてきたバンドトポロジーの概念が、各種応用に適したアモルファス状態でも有効であることを初めて明らかにしました。本研究ではアモルファス薄膜中のごく短距離の原子の秩序が寄与することで、結晶と同等の巨大な異常ホール効果および異常ネルンスト効果が生じることを実証することに成功しました。

この成果はトポロジカル物質の枠組みを大きく広げるだけでなく、結晶よりも安価に作製できるアモルファス薄膜を活用した素子の開発にも貢献し、ひいてはモノのインターネット（IoT）の実現に向けたセンシング技術の高度

化にも寄与すると期待されます。本研究成果は2023年6月13日（英国夏時間）に、科学誌 Nature Communications オンライン版に掲載されます（この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2023/06/pr2023061318.pdf> をご覧ください）。

## 基礎物性から迫る抗菌性ゼオライトの秘密

2023年6月28日

熊本大学、弘前大学、京都大学、  
高輝度光科学研究センター、  
高エネルギー加速器研究機構

熊本大学産業ナノマテリアル研究所の細川伸也特任教授、小林健太郎科研研究員（現：島根大学）、先端科学研究部の高良明英技術職員および下條冬樹教授は、弘前大学、高エネルギー加速器研究機構（KEK）物質構造科学研究所、京都大学、物質・材料研究機構（NIMS）、高輝度光科学研究センター（JASRI）並びに東京大学の研究者と協力して、抗菌性を持つ銀含有ゼオライトの機能の起源の解明に基礎物性の立場から取り組みました。分析には放射光X線を利用したX線回折実験並びに軟X線分光実験、および密度汎関数（DFT）法による理論計算を組み合わせました。

この研究により、これまで不明であった抗菌性のメカニズム、すなわち0.5価という中途半端な価数になっている銀がフリーラジカルとして細菌細胞を破壊することを見出しました。

この研究成果は、これまで経験的にしか語られることがなかった機能性ゼオライトに一定の指針を与えることができ、今後のゼオライト材料の新規材料開発に新たな指針を与えるものとして期待されます。

本研究は文部科学省科学研究費補助金・学術変革領域研究（A）「超秩序構造科学」および基盤研究（C）、科学技術振興機構CRESTの支援を受けて実施されたもので、科学雑誌「Microporous and Mesoporous Materials」に令和5年6月6日掲載され、6月21日に発刊されました（この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2023/06/pr20230628.pdf> をご覧ください）。

## 進化の過程で失った機能を復活させ、回転型分子モーターの加速に成功 ～タンパク質複合体の協奏的機能を制御する新手法～

2023年7月4日資料配布  
分子科学研究所，生命創成探究センター，  
高エネルギー加速器研究機構，  
科学技術振興機構（JST）

多くのタンパク質複合体が生体内で重要な働きをしており，その複雑で協奏的な機能は，「アロステリー」と呼ばれる分子機構をもとに制御されています。新しいアロステリーをタンパク質複合体に付与することができれば，機能を自在に制御することが可能となります。

この研究は，アロステリーの一般的な理解を進展させるだけでなく，工業・農業・医療への貢献も期待されます。自然科学研究機構分子科学研究所（協奏分子システム研究センター）／生命創成探究センターの小杉貴洋助教，古賀信康教授（現所属：大阪大学・蛋白質研究所）は，同じく自然科学研究機構分子科学研究所（生命・錯体分子科学研究領域）の飯田龍也大学院生（総合研究大学院大学，現所属：理化学研究所），飯野亮太教授らの研究チームおよび高エネルギー加速器研究機構（KEK）物質構造科学研究所の田辺幹雄特任准教授らと共同で，計算機を使ったタンパク質設計により回転型モータータンパク質 V1（V1-ATPase）に新しいアロステリック部位を設計することで，V1 の回転速度を速くすることに成功しました。このようにタンパク質複合体にアロステリーを付与することができたのは世界で初めてのことです。

本研究の成果は，「Nature Chemistry」誌に 2023 年 7 月 7 日（金）0 時（日本時間）に公開されます（この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2023/07/pr20230707.pdf> をご覧下さい）。

### 金属有機構造体（Metal-Organic Framework：MOF）において光照射により予期せぬ超高速構造変化を発見－光励起による強誘電性発現などにより新規超高速光応答デバイスの開発へ－

2023年9月19日

東京工業大学，東北大学，高エネルギー加速器研究機構

東京工業大学 理学院 化学系の Samiran Banu（サミラン・バヌ）大学院生（博士後期課程3年）と石川忠彦助教，腰原伸也教授らの研究チームは，東北大学 金属材料研究所の宮坂等教授および高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所の岩野薫講師（故人）の研究チームと共同で，金属有機構造体（Metal-Organic Framework：MOF，結晶において，室温下での光励起を行うと，超高速結晶構造変化を伴う新しい電子状態が発生することを明らかにした。この状態が光励起特有の隠れた秩序状態であることも分かった。

室温より高温で電荷移動型相転移を起こす MOF 結晶である  $(\text{NPr}_4)_2[\text{Fe}_2(\text{Cl}_2\text{An})_3]$  において，室温で 10 兆分の 1 秒のパルス幅の超短パルスレーザー光による時間分解分光を行った結果，有機分子イオン周りの局所的な反転対称性の破れを伴う，当初予期しなかった光誘起構造変化を示す反射率スペクトルを得た。

本研究成果は，MOF の構造が強固だという従来の思い込みを覆し，多彩な MOF 結晶が，光励起により超高速な結晶構造変化を伴う新しい電荷秩序状態を生ずる物質の候補であることを示している。MOF 結晶の多孔質性を活かしたフォトクロミズムや，光磁性デバイスの開発の端緒となるだけでなく，マクロな反転対称性の破れによる強誘電体の光制御の可能性を開くものである。

本研究成果は，9月13日付の「Advanced Optical Materials」に掲載された（この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2023/09/pr20230919.pdf> をご覧下さい）。

### 反強磁性体に隠れた質量ゼロの電子を初めて観測—省エネルギー技術や量子デバイスへの応用を拓く—

2023年11月17日

東北大学, 大阪大学, 高エネルギー加速器研究機構,  
量子科学技術研究開発機構, 分子科学研究所,  
科学技術振興機構 (JST)

物質中で通常は見かけ上の質量(有効質量)がゼロのディラック電子は高速で動きやすく、質量を持たせることで省エネルギー素子などへの応用も期待できます。質量の発生にはこれまでの研究では永久磁石に代表される強磁性体を用いられてきましたが、漏れ磁場が生じるため集積化しにくいという課題がありました。一方、スピンの配列した外部に磁場を発生しない反強磁性体でディラック電子を発生できるというアイデアが10年以上前に提案されましたが、微小領域の電子状態観測が難しいため、研究の障害になっていました。

東北大学, 大阪大学, ケルン大学(ドイツ), 高エネルギー加速器研究機構(KEK), 量子科学技術研究開発機構, 分子科学研究所などの共同研究グループは、10マイクロメートル( $\mu\text{m}$ )に集光した放射光を用いて、これまで困難であった反強磁性体の磁気ドメイン領域内のディラック電子の直接観測に世界で初めて成功しました。

研究グループはNdBi結晶の反強磁性状態において、マイクロ集光角度分解光電子分光(マイクロARPES)という手法によって磁気ドメイン内の電子を精密に観測しました。その結果、NdBi表面のディラック電子が、スピンの配列方向によって巨大な質量を持つ場合と全く質量を持たない場合があることを明らかにしました。この成果は、反強磁性トポロジカル絶縁体という新しい物質相を実証しただけでなく、巨大な電磁気応答や量子伝導現象を用いた省エネルギー素子や量子デバイスへの応用につながるものです。

本研究成果は2023年11月17日(現地時間)、科学誌Nature Communicationsに掲載されます(この記事の続きは<https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2023/11/pr202311171900.pdf>をご覧ください)。

### 量子コンピューター開発への応用などにも期待 二次元に閉じ込めた重い電子をはじめて実現—近藤効果と低次元性が絡んだ新たな物性発現へ—

2023年11月30日

高エネルギー加速器研究機構, 分子科学研究所,  
大阪大学

大阪大学大学院生命機能研究科 中村拓人 助教(理学研究科兼任), 木村真一 教授(理学研究科兼任, 自然科学研究機構分子科学研究所 教授), 同理学研究科 杉原弘基さん(博士前期課程), 陳奕同さん(博士後期課程), 同工学研究科 湯川龍 助教(研究当時. 現東北大学), 量子科学技術研究開発機構(QST) 大坪嘉之 主任研究員, 自然科学研究機構分子科学研究所 田中清尚 准教授, 高エネルギー加速器研究機構(KEK) 物質構造科学研究所 北村未歩 助教(研究当時. 現QST), 東北大学多元物質科学研究所 組頭広志 教授らの研究グループは、電子間の多体効果である近藤効果により伝導電子の有効質量が増大する「重い電子」を、原子一層の厚みしか持たない単原子層物質において初めて実現しました。

希土類元素を含む化合物では、希土類元素が有する局在的な開殻4f電子により、ネオジム磁石のような強力な永久磁石や、高輝度な蛍光剤などの様々な機能が現れます。近藤効果による重い電子もその一つであり、高温超伝導などの特殊な超伝導状態をはじめとする、現在の物性物理学の中心テーマである強相関物性の起源となることが知られています。他方で、近年のナノテクノロジーの発展に伴い、グラフェンに代表される低次元(二次元・一次元)材料研究が活発に行われています。これまで、希土類化合物における重い電子は、主に三次元固体物質で盛んに研究されてきた現象でした。そのため、二次元系の極限である原子一枚の厚みしか持たない単原子層物質において、重い電子が実現するかどうかは、これまで明確ではありませんでした。

今回、研究グループは、単原子層イッテルビウム・銅( $\text{YbCu}_2$ )薄膜の作製に成功し、その電子構造をシンクロトロン光を用いた角度分解光電子分光(ARPES)によって調べました。その結果、 $\text{YbCu}_2$ 原子層内を伝播する二次元的な伝導電子が、低温において重い電子を形成することを明らかにしました。この結果は、原子一枚の厚みに閉じ込めた重い電子状態を世界で初めて実現したことを表します。これにより、新奇超伝導などの物性物理学に残された量子臨界現象への次元性の役割の解明が進むとともに、近年爆発的に研究が進む原子層物質に、新たな機能性を有する物質が仲間入りすることとなり、次世代材料開発や新しいエレクトロニクス素子、量子コンピューター設計開発の指針となることが期待されます。

本研究成果は、英国科学誌「Nature Communications」に、12月1日（金）午後7時（日本時間）に公開されます（この記事の続きは <https://www.kek.jp/wp-content/uploads/2023/12/pr20231130.pdf> をご覧ください）。