

### 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）。