



岡山大学記者クラブ

文部科学記者会

科学記者会

御中

令和 8 年 8 月 31 日

ひずみで「2つの超伝導」を分離！電子を惑わすカゴメ金属 ～世界が注目する物質で、新たな超伝導の制御法を発見～

◆発表のポイント

- ・ 独自装置を用いてカゴメ金属超伝導体にひずみを加える実験を実施：オリジナルのひずみ発生装置を用い、新奇な量子現象の舞台として注目される「カゴメ金属」の結晶に、精密に引張・圧縮応力（ひずみ）を加える実験を行いました。
- ・ ひずみへの応答が異なる「2つの超伝導」を発見：結晶を引っ張ると、これまで1つに見えていた超伝導が、「ひずみに反応しやすい特殊な超伝導^[1]（非従来型）」と「ひずみに影響されにくい標準的な超伝導（従来型）」という2段階に分裂して現れる現象を世界で初めて突き止めました。
- ・ 引っ張りひずみによる超伝導の「増強と制御」に成功：とくに非従来型の特殊な超伝導が、引っ張る力を加えることで著しく増強されることを発見しました。これは、機械的なひずみによって特定の超伝導を自在に制御できることを示す画期的な成果です。

岡山大学大学院環境生命自然科学研究科の竹内優介大学院生ら（研究当時）、岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域（理）の川崎慎司准教授（低温物性物理学）、鄭国慶教授（同）、中国福建師範大学の Yong Zhao 教授らの国際共同研究グループは、独自開発の「一軸ひずみセル^[2]」を用い、日本古来の伝統的な竹かごの編み目模様「籠目（カゴメ）」と同じ美しい原子配列を持つ「カゴメ超伝導体（ CsV_3Sb_5 ）」の精密なひずみ制御実験を行いました。

その結果、結晶を引っ張ることで、これまで一つに見えていた超伝導が「特殊な状態」と「標準的な状態」の2段階に分離することを発見。さらに、引っ張る力を強めるほど「特殊な超伝導」の転移温度（ T_c ）がはっきりと上昇し、劇的に増強されることを世界で初めて突き止めました。

本研究成果は2026年8月28日、米国物理学会の速報誌「*Physical Review Letters*」にて公開されました。さらに本論文は、同誌において特に重要でインパクトが大きいと認められた論文にのみ与えられる「Editors' Suggestion（注目論文）」に選出されました。これは、世界中で激しい論争が続いていたカゴメ金属の超伝導の謎を紐解く、極めて重要な成果です。

「ひずみ」によって電子の通る道を変え、特定の超伝導を直接操るこの画期的な手法は、銅酸化物などの「非従来型超伝導」のメカニズム解明への重要な手がかりとなり、将来の次世代量子デバイスや、より転移温度の高い革新的な超伝導材料の設計基盤となることが期待されます。



PRESS RELEASE

今回、私たちの論文が『*Physical Review Letters*』の Editors' Suggestion（注目論文）に選出されたことは、研究室にとってこれ以上ない喜びです。この成果は決して一朝一夕に得られたものではありません。独自開発の『一軸ひずみセル』を用いた極低温での精密測定は困難の連続でしたが、歴代の修士の学生たちが3代にわたって泥臭くバトンをつなぎ、根気強く実験を続けてくれた結晶です。彼らの計り知れない努力に、心から感謝します。

物性物理において「結晶ひずみ」は、伝統的な磁場や圧力に次ぐ新しいパラメータであり、超伝導の隠された性質を引き出す上で極めて有効であることを実証できました。これからも、この独自技術を武器に、学生たちとともに大胆に未知の現象に挑み続けます。ひずみ実験にご興味のある研究者の方からの共同研究の打診も、心よりお待ちしております！



川崎准教授

■発表内容

<現状>

電気抵抗がゼロになる「超伝導」は、エネルギーロスのない送電や強力な医療用MRIなど、次世代の省エネ社会に不可欠な技術です。近年、バナジウム原子が竹かごの編み目模様（籠目：カゴメ）状に並ぶ「カゴメ金属超伝導体（ CsV_3Sb_5 ）」が発見され、世界中で大きな注目を集めています。通常、金属の中では電子が自由に動き回りますが、このカゴメ模様の特異な構造の中では、電子が極端に動きづらくなって、“大渋滞”を起こします。実はこの電子の渋滞が、これまでとは違う「特異な超伝導」を生み出す源になると期待されています。しかし、このカゴメ超伝導体の性質については、標準的なものか、あるいは特殊なものか、世界中の研究者の間で実験結果の解釈が二つに分かれ、激しい論争が続いていました。

<研究成果の内容>

岡山大学大学院環境生命自然科学研究科の竹内優介大学院生ら（研究当時）、同研究科博士後期課程の小川晟吾大学院生（学術振興会特別研究員）、岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域（理）の川崎慎司准教授、鄭国慶教授らと中国科学院物理研究所、中国福建師範大学、広安理工学院の国際共同研究グループは、この謎を解き明かすため、独自に開発した「一軸ひずみセル」という特殊な装置を用いました。極低温環境下で、カゴメ金属の微小な結晶を特定の方向にナノメートル単位の精度で精密に引っ張りながら、ミクロな観測技術（核四重極共鳴法[NQR]^[3]）で金属内部の電子の振る舞いを直接調べました。その結果、結晶を引っ張る力が大きくなるにつれ、これまで一つに見えていた超伝導が「ひずみに反応しやすい特殊な超伝導（非従来型）」と「ひずみに影響されにくい標準的な超伝導（従来型）」の2段階に分離して現れる現象を世界で初めて観測しました。通常の下状況下ではぴったりと重なって見えなかった、性質の異なる2つの超伝導の姿を、初めて浮き彫



PRESS RELEASE

りにしました。さらに、引っ張る力を強めるほど、特殊な超伝導になる温度（転移温度： T_c ）がはっきりと上昇し、劇的に増強されることも突き止めました。

<社会的な意義>

本成果は、世界的な論争となっていたカゴメ金属の超伝導の性質について、これまで対立していた実験結果を統一的に説明する重要な手がかりを与えました。さらに、機械的な「ひずみ（引っ張る力）」を加えることで、超伝導を直接操り、隠れていた特定の超伝導状態だけを独立して引き出し、増強できることを実証しました。

この画期的な物性制御手法は、銅酸化物などに代表される「非従来型超伝導」のメカニズムの全容解明に向けた重要な手がかりとなります。電子を惑わすカゴメ構造と独自のひずみ技術を掛け合わせた本アプローチは、将来の次世代量子デバイスの開発や、より高い転移温度を持つ革新的な超伝導材料の設計に向けた強力な基盤技術となることが期待されます。

■論文情報

論文名：Strain-Tuned Nodal Superconductivity in the Charge-Ordered Kagome Metal CsV_3Sb_5

掲載誌：Physical Review Letters

著者：Yusuke Takeuchi, Akito Kobayashi, Saki Uchida, Takumi Nagao, Seigo Ogawa, Rui Zhou, Shinji Kawasaki, Fei Song, Hao Ni, Yong Zhao, and Guo-qing Zheng

DOI： <https://doi.org/10.1103/mzgp-2lzb>

URL： <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/mzgp-2lzb>

■研究資金

本研究は、独立行政法人日本学術振興会（JSPS）「科学研究費助成事業」（基盤 A・JP19H00657、基盤 C・JP26K07015、研究代表：鄭国慶、基盤 C・JP19K03747、JP23K03323、基盤 B・JP26K00657、研究代表：川崎慎司）と地域中核・特色ある研究大学強化促進事業（J-PEAKS）（JPJS00420230010）および公益財団法人村田学術振興・教育財団「研究助成」、公益財団法人中国電力技術研究財団「試験研究-A」（研究代表：川崎慎司）、および公益財団法人岡山工学振興会「一般研究」（研究代表：鄭国慶）の支援を受けて実施しました。

■補足・用語説明

[1] 特殊な超伝導（異方的超伝導／非従来型超伝導）

超伝導は電子がペアを作って発現しますが、通常の超伝導（標準的な超伝導）は、電子のペアがすべての方向で均等に結びついており、これを「等方的」な超伝導と呼びます。一方、今回のような特異な超伝導は、方向によって電子ペアの結びつきの強さが異なり、結びつきがゼロになる方向が存在する「異方的」な性質を持っています。通常の超伝導とは異なるメカニズム（磁気の揺らぎなど）で電子がペアを組んでいると考えられており、異方的超伝導/非従来型超伝導と呼ばれます。リニアモーターカーなどに使われる「高温超伝導体（銅酸化物）」もこの特異な超伝導の仲間であ

PRESS RELEASE

り、室温超伝導実現の鍵と考えられています。

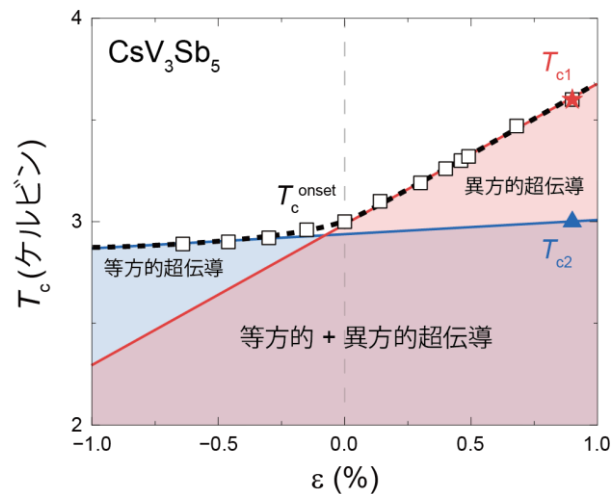


図 1. 本研究で得られた CsV_3Sb_5 の超伝導のひずみ依存性（当該論文より）。引張応力で異方的超伝導が増強されること、ひずみの無い状態では 2 種類の超伝導が存在することが明らかとなった。

[2] 一軸ひずみセル（一軸応力セル）

市販の圧電素子とチタン製の本体で構成された自作の応力発生装置です。物質（微小な結晶）の両端を直接掴むことにより、特定の 1 つの方向（一軸）からだけ「引っ張る」または「押しつぶす」力を加えることを実現した特殊な実験装置です。ナノメートル単位の精密さでカゴメ構造（原子の並び）を局所的に変形させる（ひずみを生じさせる）ことで、電子が通る「道」の形を人工的に変化させます。これにより、中を走る電子の動きやすさをコントロールし、隠れていた特定の超伝導を引き出すことができます。

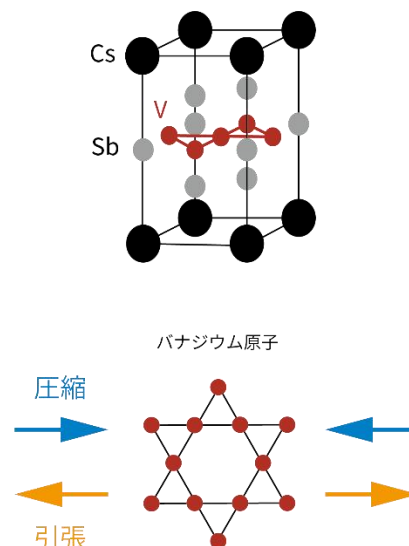
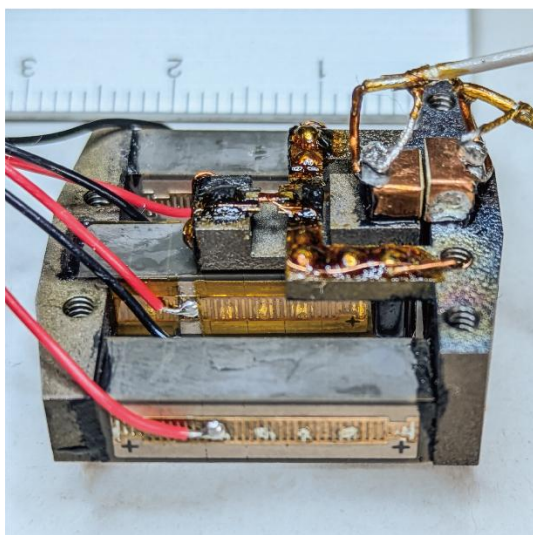




図2. (左) 本研究で用いた自作の一軸応力セル。セル中心に1mm角の微小結晶を固定し、引張圧縮応力を加えた状態で測定を行う。(右) CsV_3Sb_5 の結晶構造および、バナジウム原子が作るカゴメ構造。引張圧縮を加えた方向を矢印で示す。

[3] 核四重極共鳴法 (NQR 法)

物質に特定の周波数の電磁波(電波)を当てて原子核の応答を調べることで、物質内部の電子の振る舞いや磁気的な性質をミクロな視点から直接観測できる実験手法です。病院で体内を透視する「MRI 検査」と似た原理を用いており、いわば「金属の内部を原子レベルで精緻に覗き込む MRI」のような役割を果たします。

<お問い合わせ>

岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域(理)

准教授 川崎 慎司

(電話番号) 086-251-7803

(FAX) 086-251-7825 (物理事務室)



岡山大学
OKAYAMA UNIVERSITY



岡山大学は持続可能な開発目標(SDGs)を支援しています。

