

2026 年 6 月 23 日

報道関係各位

近藤絶縁体 YbB_{12} における磁気音響量子振動の探索
～超音波実験により絶縁体相の謎に迫る～

東京理科大学
東京大学
東北大学
総合科学研究機構
茨城大学

研究の要旨とポイント

- 近藤絶縁体 YbB_{12} (12 ホウ化イッテルビウム) に対し、バルク感度の高い超音波実験により磁気音響量子振動 (MAQO) の探索を通じてその起源解明を試みました。
- 最大 65 T までの強磁場、最小 485 mK までの極低温という条件で超音波実験を行ったところ、磁場誘起金属相でのみ磁気音響量子振動が観測され、絶縁体相では観測されませんでした。
- 本研究成果は、近藤絶縁体における量子振動の起源を探る上で重要な手がかりを与えるものです。

【研究の概要】

東京理科大学 創域理工学部 先端物理学科の栗原 綾佑助教、東京大学 物性研究所の宮田 敦彦准教授、東京大学大学院新領域創成科学研究科 物質系専攻の今城 周作准教授、神戸大学大学院 理学研究科 物理学専攻の日比野 瑠央助教らの共同研究グループは、最大 65 T (テスラ) までの強磁場および最小 485 mK までの極低温において、超音波を用いて近藤絶縁体 (*1) YbB_{12} における磁気音響量子振動 (MAQO, *2) を探索しました。実験に用いた単結晶試料は、茨城大学の伊賀 文俊名誉教授 (現総合科学研究機構 サイエンスコーディネータ) により提供されました。

YbB_{12} は絶縁体でありながら磁気抵抗や磁気トルク、比熱などで磁気量子振動 (MQO) が観測されていますが、その起源は未解明となっています。本研究グループは、結晶内部 (バルク) の性質を敏感に検出できる超音波測定を用いて、音響応答の観点から絶縁体相に量子振動が本当に存在するかどうかを検証しました。

今回の研究では、先行研究と同様に磁気抵抗と磁気熱量効果における MQO を確認しました。一方、 ^3He 冷凍機（＊3）を用いた 485 mK までの極低温環境と非破壊パルスマグネット（＊4）による 65 T までの強磁場環境を組み合わせた超音波測定では、絶縁体相における MAQO は確認されませんでした。MAQO は磁場誘起金属相においてのみ観測され、絶縁体相と金属相とで音響応答が明確に異なることが示されました。

本研究は、 YbB_{12} の絶縁体相における音響特性について新たな実験的知見を提供し、絶縁体における量子振動の起源解明に向けた研究に貢献するものです。

本研究成果は、2026 年 6 月 16 日に国際学術誌「[Physical Review B](#)」にオンライン掲載されました。さらに、本論文は、編集者および査読者から重要性・独創性・明快さにおいて高い評価を受け、掲載論文の中でも特に優れた論文として「Editors' Suggestion」に選定されました。

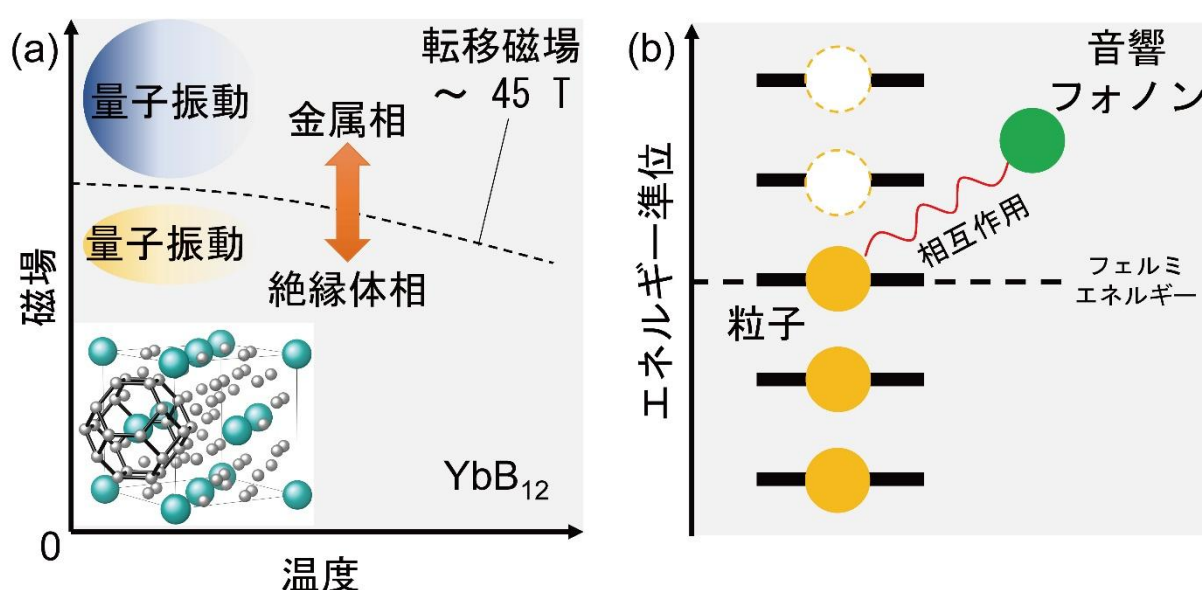


図 1 (a) YbB_{12} の結晶構造と相図 (b) フェルミ粒子-音響フォノン相互作用のイメージ図。
超音波（音響フォノン）は、フェルミ面近傍の粒子と相互作用する。これにより、量子振動を示す粒子の存在の有無を調べることができる。

【研究の背景】

通常、金属にはフェルミ面と呼ばれる電子の境界面が存在し、強磁場中で磁気量子振動（MQO）と呼ばれる周期的な振動現象が生じます。一方、絶縁体にはフェルミ面が存在しないため、MQO は原理的に起きないと考えられています。ところが近年、「近藤絶縁体」と呼ばれる特殊な物質において、絶縁体相にもかかわらず MQO が観測されたという報告が複数なされています。 YbB_{12} では約 45 T の磁場を印加すると絶縁体から金属へと転移し、金属相において MQO が観測されます（図 1(a)）。しかし、その直下の絶縁体相においても MQO と思われる振動が報告されており、その起源として「表面状態」「バルクのフェルミ面」「電荷を持たない中性準粒子」など複数の仮説が提唱されているものの、いまだ決着はついていません。

先行研究では、電気輸送特性を反映する電気抵抗、磁氣的性質を反映する磁気トルク、熱特性を反

映する比熱など、複数の物理量において MQO が観測されてきました。固体物性研究では、結晶格子（フォノン）と電子状態の相互作用の理解も重要ですが、この観点からの研究は限られており、絶縁体中の MQO の起源には未解明な点が残されていました。

そこで本研究では、フォノンと電子状態の相互作用を音響特性として調べられる超音波測定を用いて（図 1(b)）、YbB₁₂ の絶縁体相の磁気音響量子振動（MAQO）を検証しました。

【研究結果の詳細】

本研究では、MQO が報告されている試料を準備したうえで、先行研究と同様に磁気抵抗および磁気熱量効果においても MQO が観測されることを実験的に確認しました。次に、YbB₁₂ に強磁場を印加しながら超音波により弾性定数を測定しましたが、絶縁体相において MAQO は観測されませんでした（図 2）。一方、磁場誘起金属相では 65 T（テスラ）までの測定において MAQO が明確に観測されました。この結果は、絶縁体相で MQO を担うフェルミ粒子が結晶格子（音響フォノン）と極めて弱くしか結合していない、あるいは弾性定数測定では検出できない性質を持つことを示唆しており、絶縁体中で観測される MQO の起源に新たな制約を与える重要な知見です。また、今回の研究により、絶縁体相の 39 T 付近において顕著な弾性異常が観測されました。これらは低温でのみ現れ、絶縁体相に未知の電子状態変化が存在することを示唆しています。

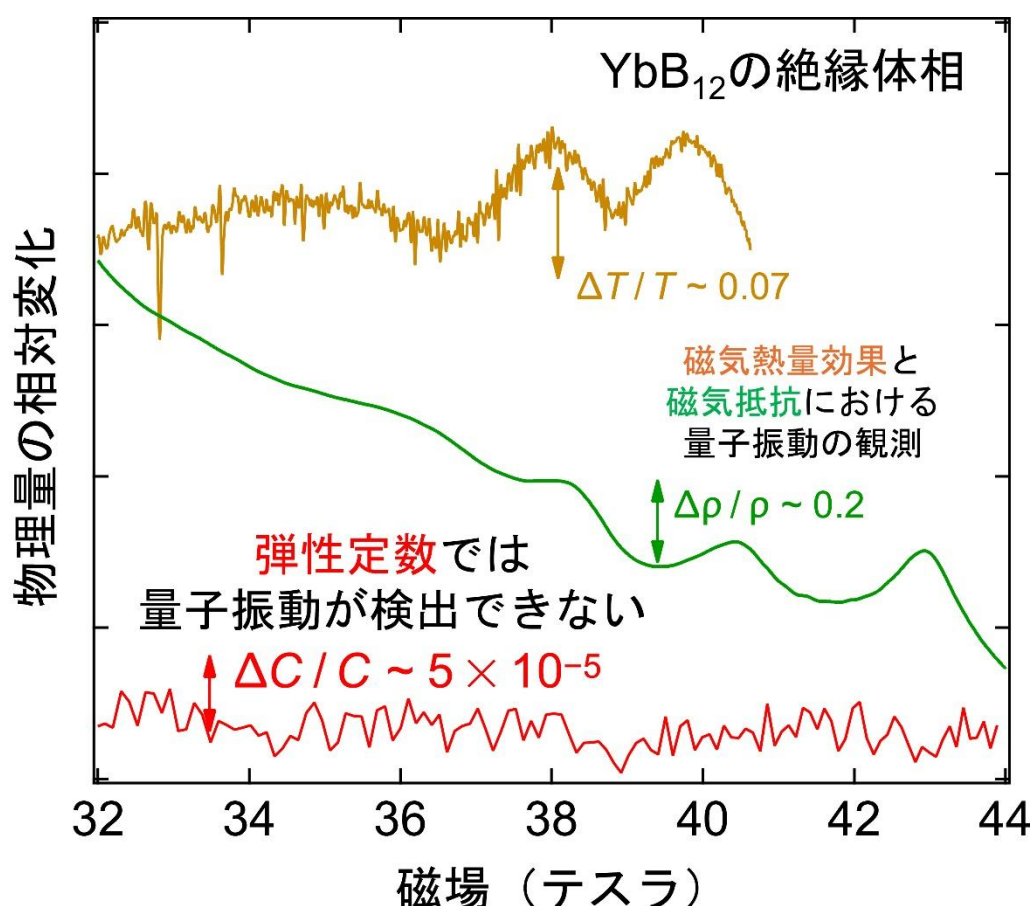


図 2 強磁場下における YbB₁₂ の磁気熱量効果（黄）、磁気抵抗（緑）、弾性定数（赤）の変化。

本研究を主導した東京理科大学の栗原助教は、「絶縁体状態における量子振動は、未知の物理の開拓につながる可能性があります。以前も YbB_{12} の超音波測定に取り組みましたが、量子振動は観測できませんでした。 YbB_{12} では量子振動が試料に依存することが知られているため、素性が確かな試料を用いて、そのうえで超音波で量子振動が観測できるかどうかを確かめたいと考えました。また、仮に観測されない場合でも、その背後には何らかの理由や物理機構が潜んでいると考えられるため、それについても明らかにしたいと思いました」と、研究の意義と動機についてコメントしています。

※ 本研究は、日本学術振興会の科研費（20K14404, 23H04862, 24H01629, 21KK0046）、二国間交流事業（JSBP120193507）の助成を受けて実施したものです。

【用語】

*1 近藤絶縁体

比較的高温では金属的に振る舞うものの、電子間の強い相互作用（近藤効果）により、ある特徴的な温度以下で微小なエネルギーギャップが形成され、絶縁体的性質を示す希土類化合物の総称。代表例として、 SmB_6 や YbB_{12} などが知られている。

*2 磁気音響量子振動（MAQO: magnetoacoustic quantum oscillation）

強磁場中で電子のエネルギー準位がランダウ準位と呼ばれる離散的な準位に量子化されることで、電気抵抗や磁化などの物理量が磁場の逆数に対して周期的に変化する現象を量子振動（QO: quantum oscillation）という。MAQO はその一種であり、ランダウ準位の量子化が弾性定数や音速の振動として超音波測定により観測されるものである。

*3 ^3He 冷凍機

ヘリウムの同位体である ^3He の蒸発冷却を利用した冷凍機。通常の ^4He 冷凍機で得られる 1.4 K よりも低い極低温環境を実現できる。

*4 非破壊パルスマグネット

短時間に強力な磁場を発生させる電磁石を用いた装置。「非破壊」とは電磁石が破壊されずに繰り返し使用できることを意味する。

【論文情報】

雑誌名： Physical Review B

論文タイトル： Search for magnetoacoustic quantum oscillations in the insulating phase of YbB_{12}

著者： Ryosuke Kurihara, Atsuhiko Miyata, Koji Araki, Shusaku Imajo, Ruo Hibino, Atsushi Miyake, Sergei Zherlitsyn, Joachim Wosnitza, Hiroshi Yaguchi, Fumitoshi Iga, Masashi Tokunaga, and Yasuhiro H. Matsuda

DOI： [10.1103/m3gy-g9tv](https://doi.org/10.1103/m3gy-g9tv)

【発表者】

栗原 綾佑	東京理科大学 創域理工学部 先端物理学科 助教 <責任著者>
宮田 敦彦	東京大学 物性研究所 附属国際超強磁場科学研究施設 准教授
荒木 幸治	防衛大学校 応用科学群 応用物理学科 講師
今城 周作	東京大学大学院新領域創成科学研究科 物質系専攻 准教授
日比野 瑠央	神戸大学大学院 理学研究科 物理学専攻 助教
三宅 厚志	東北大学 金属材料研究所 材料プロセス・評価研究部 アクチノイド物質科学研究部門 准教授
Sergei Zherlitsyn	Hochfeld-Magnetlabor Dresden (HLD-EMFL) , Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR)
Joachim Wosnitza	Hochfeld-Magnetlabor Dresden (HLD-EMFL) , Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR)
矢口 宏	東京理科大学 創域理工学部 先端物理学科 教授
伊賀 文俊	一般財団法人総合科学研究機構 中性子科学センター サイエンスコーディネータ、茨城大学 名誉教授
徳永 将史	東京大学 物性研究所 附属国際超強磁場科学研究施設 教授
松田 康弘	東京大学 物性研究所 附属国際超強磁場科学研究施設 教授

【研究に関する問い合わせ先】

東京理科大学 創域理工学部 先端物理学科 助教

栗原 綾佑 (くりはら りょうすけ)

E-mail: r.kurihara@rs.tus.ac.jp

【報道・広報に関する問い合わせ先】

東京理科大学 経営企画部 広報課

TEL: 03-5228-8107 FAX: 03-3260-5823

E-mail: koho@admin.tus.ac.jp

東京大学 物性研究所 広報室

TEL: 04-7136-3207

E-mail: press@issp.u-tokyo.ac.jp

東北大学 金属材料研究所 情報企画室広報班

TEL: 022-215-2144 FAX: 022-215-2482

E-mail: press.imr@grp.tohoku.ac.jp

総合科学研究機構 中性子科学センター 利用推進部 広報担当

TEL: 029-219-5300 FAX: 029-219-5311

E-mail: press@cross.or.jp

茨城大学広報・アウトリーチ支援室

TEL: 029-228-8008

E-mail: koho-prg@ml.ibaraki.ac.jp