

プレスリリース:

カゴメ文様に秘められた磁場中分数量子状態 ～フラストレーションと量子揺らぎで安定化するカゴメ磁性体の 1/3 磁化プラトーを発見～

センターの兼任である化学専攻物性物理化学研究室は、北海道大学大学院理学研究院の吉田紘行教授，加藤萌結氏，福岡脩平博士らのグループと阪大の理学研究科の先端強磁場科学研究センターの萩原政幸教授，鳴海康雄准教授のグループ，東京理科大学の森田克洋助教らの研究グループとの共同研究で，カゴメ構造を有する新物質 $\text{InCu}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_3$ に関する磁化過程の測定で，磁気プラトーが飽和磁化の $1/3$ に生じる現象の発見に関するプレス発表リリースを行いました．研究は，北海道大学の吉田先生らが中心となり，進めてきたカゴメ格子構造をもつ物質系に関する研究ですが，熱測定の面で我々も少し関わらせて頂きました．論文のタイトルは「One-third Magnetization Plateau in Quantum Kagome Antiferromagnet」で，*Communications Physics* 7, 424 (2024)に掲載されています．DOI:10.1038/s42005-024-01922-0 から論文にアクセスできます．また，プレスリリースの記事は理学研究科のサイト <https://www.sci.osaka-u.ac.jp/ja/topics/14785/>になります．

一般的に，二次元のカゴメ格子は幾何学的なフラストレーションをもつ物質として知られています． $S = 1/2$ のスピンをもつ原子や分子を，カゴメ格子の格子点においたような反強磁性量子スピン系は，よりシンプルな三角格子などと同様に，低温まで反強磁性的な磁気秩序を形成せず，量子力学的な性質が極低温まで残り，絶対零度で量子揺らぎを伴う量子スピン液体が予想されます．このスピンの液体状態は，絶縁体であり

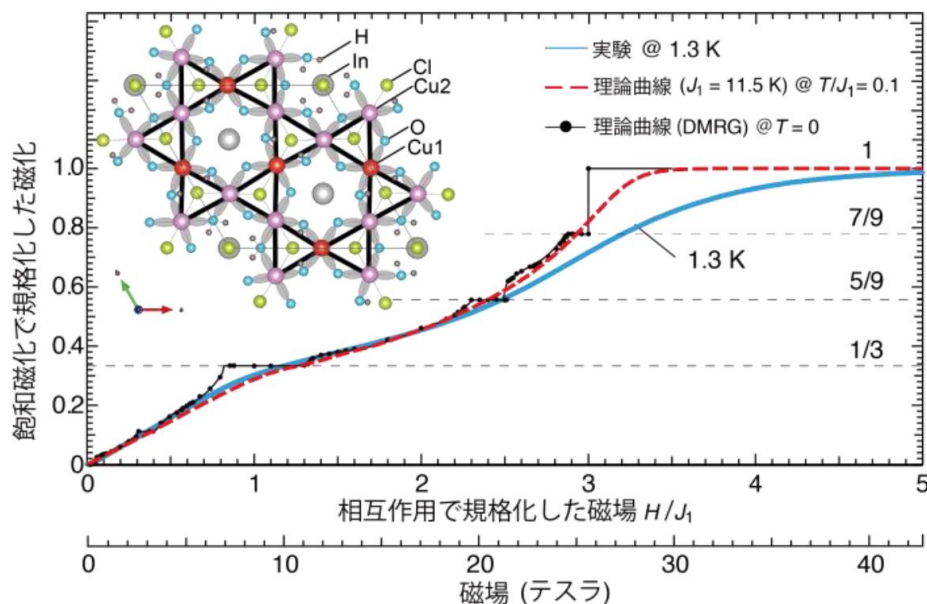


Fig. 1. プラトーの実験，解析結果 (<https://www.sci.osaka-u.ac.jp/ja/topics/14785/>より)．

ながら、量子性による揺らぎを利用して情報を運べる可能性があり、量子コンピューティングなどへの応用も期待され、注目を集めています。さらにカゴメ格子の量子系では、この量子スピン液体の形成に加えて、磁場中での特異な量子状態の形成に強い興味を持たれており、代表的なものが、磁場中で磁場に反応しない磁化プラトーという量子状態です。量子スピン液体と関連して、カゴメ格子ではくした磁化のプラトーが、逐次的に生じることが指摘されていました。しかし、量子カゴメ反強磁性体では一般的に磁気相互作用が強く、飽和磁化までの全磁化過程を調べるためには磁気相互作用をしのぐような超強磁場が必要であることや、有限温度効果を考慮する必要があることが必要で、本研究まで磁化プラトーの明確な観測例はほとんどありませんでした。

北海道大学の吉田教授は、これまでもいろいろなカゴメ系の物質群を研究されてきましたが、その過程で In を含む新しい化合物を水熱合成法で作成することに成功しました。 $\text{InCu}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_3$ の磁気相互作用は他のモデル物質に比べて小さいため、全磁化過程の計測に必要な磁場を 35 テスラ程度にまで抑制することができました。さらに、温度効果を取り入れて磁化過程の理論解析を行い、磁化過程に見える変化が $1/3$ のプラトーであることを確認しました。磁場中熱容量等の測定でもカゴメの特徴的な性質が明らかになり、プラトー相が 8~14 テスラにあることを同定し、飽和までの磁気相図を提案しました。

さらに、プラトー近傍領域では、絶縁体であるにも関わらず比熱に温度比例項が観測されました。このことは、プラトー近傍で特異な磁気準粒子が生じていることを示しています。プラトーの観測例はごく限られており、また超強磁場中では通常の測定手法での物性評価が難しいため、プラトー状態の実験的解明はこれまで進んでいませんでした。本物質では、熱測定や核磁気共鳴、中性子などの様々な手法でプラトー相にアクセスすることができるため、プラトーの実験的理解を本質的に深めていくことが可能になると期待されます。

(中澤康浩)