



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Development of Novel Quantum Kagome Antiferromagnets and Studies of Field-induced Quantum Many-body States
Author(s)	加藤, 萌結
Description	この博士論文の全文は利用可能日以降に公開されます。利用可能日以前の閲覧方法は https://www.lib.hokudai.ac.jp/dissertations/copy-guides/ をご参照ください。
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第16744号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16744
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99589
Type	doctoral thesis
File Information	Moyu_Kato_summary.pdf, 全文の要約



学 位 論 文 の 要 約

博士の専攻分野の名称 博士（理 学） 氏 名 加藤 萌結

学 位 論 文 題 名

Development of Novel Quantum Kagome Antiferromagnets
and Studies of Field-induced Quantum Many-body States
量子カゴメ反強磁性体の新物質開発と磁場中量子多体状態に関する研究

幾何学的フラストレート磁性体は、非自明な量子多体状態の創発が期待される代表的な系である。中でもカゴメ反強磁性体は、正三角形を頂点共有した四配位構造を有しており、フラストレーション効果が顕著に働くことが知られている。金属においても、その幾何学構造に由来して、ループカレント状態、ディラック点やフラットバンドなどのトポロジカルバンド構造とそれに伴うエキゾチック超伝導などが報告されている。一方、絶縁体では量子スピン液体の実現を目指した精力的な研究が行われてきた。磁場中においても、局在ヘキサゴナルマグノン結晶、磁場誘起スピン液体、マグノン超固体、マグノンボーズアインシュタイン凝縮など多くの量子多体状態の創発が予想され、強い興味を集めている。典型的なモデル物質では最近接相互作用 J_1 のエネルギースケールが非常に大きく、全磁化過程を観測するには 100 T を超えるほどの超強磁場の発生が必要となる。このような超強磁場下で精密物性測定を行うことは、現在の技術でも容易ではない。量子カゴメ反強磁性体の磁場中量子多体状態を明らかにするためには、 J_1 が小さい新規モデル物質を開発し、磁場中における精密物性測定を行うことが必要である。

本研究では、カペラサイト型量子カゴメ反強磁性体のモデル物質として $\text{InCu}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_3$ (In カペラサイト)と $\text{ScCu}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_3$ (Sc カペラサイト)の開発に成功し、その物性を評価した。これらの物質は最近接相互作用 J_1 が小さく、飽和までの全磁化過程を観測することができる。その結果として、両物質において 1/3 磁化プラトーの観測に成功し、磁気相図を提案した。特に、In カペラサイトにおける研究は、1/3 磁化プラトー近傍における磁化率、比熱、NMR、極低温測定により巨視的かつ微視的に 1/3 プラトーの性質を評価した初めての成果として重要である。

In カペラサイトは空間群 $P31m$ に属し、磁性 Cu^{2+} イオンは歪んだカゴメ構造を形成する。 J_1 は 11.5 K と見積もられ、他のカゴメモデル物質に比べて小さい値をとる。50 T までの強磁場磁化測定では、7~14 T という磁場領域に、ヘキサゴナルマグノン結晶の実現が期待される 1/3 磁化プラトーが観測された。このプラトーを NMR 測定によって微視的に調べたところ、 $1/T_1$ の温度、磁場依存性から、プラトー近傍で磁気励起にギャップが開き、プラトー内部ではギャップが磁場に比例して増大することを明らかにした。このギャップ的振る舞いは、極低温比熱測定でも同様に観測されており、ギャップサイズは NMR で得られた値と良く一致する。

Sc カペラサイトは空間群 $P-3m1$ に属し、磁性 Cu^{2+} イオンは歪みのないカゴメ構造を形成する。 J_1 の大きさは 10.2 K と見積もられ、In カペラサイトよりもわずかに小さい。強磁場磁化測定により、In カペラサイトよりもさらに低い磁場領域である 3~9 T において 1/3 磁化プラトーの観測に成功した。

本研究の重要な成果は、 J_1 の小さい二つの量子カゴメ反強磁性体モデル物質を開発し、いずれの物質においても比較的低磁場領域に 1/3 磁化プラトーを発見した点にある。このことにより、実験室で発生可能な定常磁場下でプラトー状態にアクセスし、マルチプローブを用いてプラトーの巨視的、微視的性質を評価することが可能となった。本研究成果は、磁場中量子多体状態であるヘキサゴナルマグノン結晶状態を実験的に検証する初めての成果であり、今後、理論と実験の両面から 1/3 プラトー状態を理解することで、フラストレーションと量子揺らぎ、さらにカゴメ反強磁性体の磁場中量子物性が大きく開拓されると期待される。