



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Study on frustrated magnetism realized on breathing kagome lattice antiferromagnet [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	石井, 裕人
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第13902号
Issue Date	2020-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/78454
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Yuto_ISHII_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（理 学） 氏 名 石井 裕人

学 位 論 文 題 名

Study on frustrated magnetism realized on breathing kagome lattice antiferromagnet
(ブリージングカゴメ格子反強磁性体で実現するフラストレート磁性の研究)

幾何学的な要因による磁気相互作用の競合としてフラストレーションは磁性物理学の分野において重要な役割を担っている。三角格子やカゴメ格子など幾何学的フラストレーションをもつ磁性体では、長距離磁気秩序の形成が阻害され、代わりに量子カゴメ反強磁性体におけるスピン液体や古典三角格子反強磁性体におけるカイラリティ秩序、KT 転移など多彩かつ非自明な磁気状態の出現が理論的に予想されており、それらを検証する多くの物質が提案され盛んに研究が行われている。カゴメ反強磁性体は磁気フラストレーションの効果が顕著に現れることが知られており、 $S = 1/2$ カゴメ反強磁性体 $\text{ZnCu}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_2$ に代表されるモデル物質において量子スピン液体と考えられる状態が実際に観測されている。他方、カゴメ反強磁性体における次近接や三次近接相互作用、異方性といった効果が磁気基底状態、磁場中物性にどのような影響を与えるかについては未解明の点が多かった。

本研究では、カゴメ反強磁性体に内在しうるブリージング性に着目し、モデル物質の開発を行った。ブリージング性は、カゴメ格子を構成する頂点共有の三角形が交互に大きさを変える構造的な特徴である。それに伴って大小の三角形内の相互作用は交互に大きさを変え、その比はブリージング異方性として定義される。このようなブリージング性は近年ではパイロクロアと孤立四量体を繋ぐパラメータとして、量子臨界性の観点からも注目されている。

本研究では、ブリージングカゴメ反強磁性体のモデル物質として $\text{Li}_2\text{Cr}_3\text{SbO}_8$ の合成に初めて成功した。また、J-PARC の SUPER-HRPD における超高分解能中性子回折実験から結晶構造の精密化を行い、 Cr^{3+} イオンがブリージングカゴメ格子を形成していることを確認した。磁化測定による Weiss 温度 (-480 K) の見積もり、また DFT 計算による相互作用の評価から $\text{Li}_2\text{Cr}_3\text{SbO}_8$ のカゴメ面には二種類の相互作用が存在し、それぞれ $J_1/k_B = 154.2$ K、 $J_2/k_B = 24.8$ K と得られ、結果としてブリージング異方性 $J_2/J_1 = 0.16$ が見積もられた。共同で行った中性子、 μSR 実験により $T = 4.3$ K 以下でスピン揺らぎを伴う $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ の 120° 磁気状態が実現することを明らかにした。これは我々の知る限りカゴメ反強磁性体で観測された初めての $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 状態である。

本学位論文の特に重要な点は、ブリージングカゴメ反強磁性体 $\text{Li}_2\text{Cr}_3\text{SbO}_8$ の強磁場磁化過程の結果である。実験は大阪大学先端強磁場科学研究センター及び東京大学物性研究所国際超強磁場科学研究施設で 123 T までの磁化測定を行った。その結果、磁化過程に飽和磁化の $1/9$ における明瞭な磁化プラトーと、 $1/3$ プラトーと期待される異常の観測に成功した。ブリージング異方性のない $S = 3/2$ カゴメ反強磁性体に対する先行理論研究においては $1/3$ プラトールの出現は予想されていたものの、 $1/9$ プラトールは出現しないと考えられていた。本研究では、 $1/9$ プラトールの微視的発現機構にブリージング異方性が本質的に重要であることを提案し、それは共同研究による理論的考察によっても支持された。

以上の結果は新たに合成された $S = 3/2$ ブリージングカゴメ反強磁性体 $\text{Li}_2\text{Cr}_3\text{SbO}_8$ において観測された特異なフラストレート磁性であり、本学位論文はその新規性や物理的重要性を示したものである。特に、カゴメ反強磁性体においてブリージング異方性が新たなキーパラメータになり得ることを示した点で重要であり、今後の更なる発展が期待される。