

Title	Investigation of the Multiple-q Ordered States of Frustrated Magnets under Pulsed High Magnetic Fields
Author(s)	佐藤, 和樹
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/76368
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 ＜a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について をご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (佐藤 和樹)

論文題名

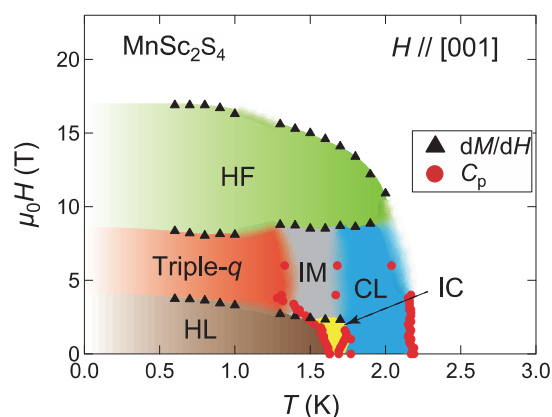
Investigation of the Multiple- q Ordered States of Frustrated
Magnets under Pulsed High Magnetic Fields
(パルス強磁場を用いたフラストレート磁性体における多重 Q 秩序状態の研究)

論文内容の要旨

特殊なスピントクスチャの一つとしてスキルミオン格子の研究が広く行われている。現在まで報告されているスキルミオン格子は、強磁性的な相互作用と空間反転対称性が破れた系において働くジャロシンスキー・守谷(DM)相互作用が競合するカイラル磁性体に弱磁場を印加することで発現する。近年、T. Okubo *et al.* によって、古典ハイゼンベルグスピン模型での二次元三角格子フラストレート磁性体において磁場を印加することで、スキルミオン格子に対応するTriple- q 構造を発現すると理論的に提唱された。これはDM相互作用由来のスキルミオン格子とは異なり、縮重したカイラリティ自由度に伴う多彩な興味深い物理現象が起これと期待されている。実験的には、 $S = 5/2$ の三次元ダイヤモンド格子磁性体 MnSc_2S_4 においてフラストレーションによるTriple- q 構造が、 $[001]$ 方位に磁場を印加することで現れると偏極中性子回折実験から確認されており、そのスピン構造はスキルミオン格子に似たVortex-likeな構造であると確認されている。このように理論と実験の観点からフラストレーションによる様々なスピントクスチャが報告されており、そのエネルギースケールの大きさから強磁場中での実験的な検証が望まれる。

本論文ではTriple- q 相を発現する MnSc_2S_4 で、三次元のフラストレート磁性体における多重 Q 秩序状態の実現の可能性について包括的に検証するため、極低温パルス強磁場下磁化測定および定常磁場での比熱測定を行い、飽和磁化に至るまでの磁場-温度相図を作成した。Fig. 1 は我々の実験で得られた磁化および比熱異常から決定した相図である。図中に表記されているHL、IC、CLはそれぞれHelical、Incommensurate、Collinear相に対応しており、過去に報告されている中性子回折実験から決定した。そして我々の実験において新たにIntermediate(IM)相、およびHigh Field(HF)相が発見された。我々のマクロな測定から磁気構造を断定することは難しいが、磁化測定で見られたわずかなヒステリシスや多重 Q 秩序状態の理論的な考察から、IM相はマルチドメイン構造のMultiple- q 構造をとる可能性があり、HF相ではシングルドメインのSingle- q 構造に対応するumbrella構造やfan構造、Conical構造の可能性はある。

更に我々は、T. Okubo *et al.* によってフラストレーション由来のスキルミオン格子発現する候補物質として挙げられた、二次元三角格子反強磁性体 NiGa_2S_4 において60 Tまでのパルス強磁場下磁気熱量効果測定を行った。過去に報告されている磁化過程では、1.3 Kで ab 面内に磁場を印加することで45 T付近にわずかな磁化異常が観測されており、この異常は多重 Q 秩序状態に関連したものではないかと考えられている。この異常を検証するために強磁場中での磁気熱量効果測定を行ったが、過去に報告された異常は観測されなかった。しかし、50 T近傍から磁気相転移を示唆する温度変化のテールを捉えており、このことから多重 Q 秩序状態に関連する磁気相転移は60 T以上の磁場下で起きることを示唆している。

Fig. 1 MnSc_2S_4 の磁場-温度相図

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (佐 藤 和 樹)				
論文審査担当者	(職)		氏 名	
	主 査	教授	萩 原 政 幸	
	副 査	教授	松 野 丈 夫	
	副 査	教授	川 村 光	
	副 査	教授	中 澤 康 浩	
	副 査	准教授	鳴 海 康 雄	

論文審査の結果の要旨

近年、トポロジカルに安定なナノスピントクスチャーであるスカーミオン格子等の多様な多重 Q 秩序が理論的に予想され、かつ実験的に観測されたことから大きな関心がもたれている。このスカーミオン格子は Triple- q 状態の一つであり、MnSi などのいわゆるカイラル磁性体で観測されているジャロシンスキー・守谷 (DM) 相互作用由来のものがこれまで多く研究されてきた。一方、磁気フラストレーション由来の多重 Q 秩序状態が理論的に予想され、DM 相互作用由来のものと異なって、縮退したカイラリティ自由度に伴う興味深い物理現象が起こると期待されている。実験的には三角格子フラストレート磁性体 NiGa_2S_4 で多重 Q 秩序状態、特に Triple- q 状態の観測が可能ではないかと以前行われた強磁場磁化測定の結果から考えられていた。また、ダイヤモンド格子フラストレート磁性体 MnSc_2S_4 は 2.5 K 以下の中性子散乱実験により 1.5 K 以下約 3 T 以上の磁場中で Triple- q 状態が観測されており、上述のスカーミオン格子ではなくてボルテックス状態であると報告されている。しかしながら、6 T 以上のより高磁場領域の研究はなされておらず、相図も不完全なものであった。

佐藤和樹君は、これら二つの系において強磁場下の磁化測定と磁気熱量効果や比熱測定を行う事で、 NiGa_2S_4 においては Triple- q 状態の観測を、 MnSc_2S_4 においては詳細な磁場-温度相図の作成を目指した研究を行った。 NiGa_2S_4 の磁化測定では以前の磁化測定で見られた Triple- q 状態に対応する可能性のあるアノマリーは最低温のみならずより高温でも観測されなかった。しかし、磁気熱量効果測定では 7~8 K の 55 T 以上の磁場中で温度上昇が観測されたことにより高磁場に新たな磁気転移の可能性が示唆された。 MnSc_2S_4 の磁化測定では 1 K 以下の高感度の測定が必要であったために、小さなサンプルに対応した高感度の磁化測定用ピックアップコイルを作成し、また、 ^3He を用いた 0.6 K までのノイズの少ない磁化測定装置開発を行った。これにより、 MnSc_2S_4 の飽和磁場に至るまでの磁化の詳細なデータを得ることができるようになった。磁場中比熱測定の結果と合わせて、飽和磁場を含む広い詳細な磁場-温度相図を得ることができた。この相図作成により、Triple- q 相より高磁場と、1.5 K 辺り 2 T 以上の温度磁場領域に新たな複数の相の存在を見出した。この研究の中で佐藤君は、磁化過程に現れるヒステリシスの温度依存性に注目している。一般に、スピン構造の同定にはミクロな中性子回折実験が不可欠である。しかし、多重 Q 秩序の種別に応じて異なるドメイン構造の有無がマクロな磁化のヒステリシスに現れることに着眼することで、マクロな磁化測定によっても磁気構造に関する推察が進められることを示した。これらの知見は、今後関連する分野の発展に資する可能性が極めて高いものである。

これらすべての研究は博士の学位にふさわしく、よって本論文は博士 (理学) の学位論文として十分価値のあるものと認める。