



# 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             | <a href="https://hdl.handle.net/2115/78454">https://hdl.handle.net/2115/78454</a>                                                                     |
| Rights(URL)         | <a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>                                               |
| Type                | doctoral thesis                                                                                                                                       |
| File Information    | Yuto_ISHII_review.pdf, 審査の要旨                                                                                                                          |



## 学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士 (理 学) 氏 名 石 井 裕 人

|       |    |     |         |
|-------|----|-----|---------|
| 審査担当者 | 主査 | 准教授 | 吉 田 紘 行 |
|       | 副査 | 教 授 | 河 本 充 司 |
|       | 副査 | 教 授 | 小 田 研   |
|       | 副査 | 講 師 | 大 原 潤   |

### 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)

### 博士学位論文審査等の結果について (報告)

幾何学的フラストレーションは古典的な磁気秩序を抑制し、カイラルオーダーやKT転移、スピン液体といったノントリビアルな量子状態の形成を誘起することが知られている。カゴメ反強磁性体は最も顕著にフラストレーションが働く系であり、絶対零度でコヒーレンスを持って揺らぎ続けるスピン液体状態が実現することや、磁場下において $(2n+1)/9$ の磁化プラトーが現れることなど、通常の磁性体では観測されない新しい量子状態の実現が次々と予想されている。しかし、多くのモデル物質に存在する相互作用の三次元性や、構造歪み、乱れは本質的な基底状態の磁性を曖昧にしまうため実験的な理解を得る事は困難であった。本学位論文はカゴメ反強磁性体のモデルとして  $\text{Li}_2\text{Cr}_3\text{SbO}_8$  に注目し、カゴメ反強磁性体に内在する相互作用のブリージング性をパラメータとして、基底状態の性質、また磁場中での異常な磁気特性を見出したものである。

$\text{Li}_2\text{Cr}_3\text{SbO}_8$  は過去にその存在が指摘されていたが、同時に単相での分離は困難であると報告されていた。申請者である石井裕人氏は固体化学的な手法を駆使し、本試料を初めて単相で得ることに成功し、中性子回折を用いた精密構造解析から本物質が  $S = 3/2$  ブリージングカゴメ反強磁性体のモデル物質であることを見出した。磁化、比熱、中性子、 $\mu\text{SR}$  測定から  $\text{Li}_2\text{Cr}_3\text{SbO}_8$  の基底状態がスピン揺らぎを伴う  $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$  構造(スタaggerドカイラル秩序)であることを確認した。カゴメ反強磁性体で期待される  $120^\circ$  磁気秩序相としてはこれまで  $q = 0$  のポジティブカイラル秩序、ネガティブカイラル秩序構造の実現のみが知られていたが、本発見によりスタaggerドカイラル秩序が現実には生じることが初めて示された。また、大阪大学先端強磁場科学研究センターで 71 T までの磁化測定を行い、24 T から 53 T においてカゴメ反強磁性体で初めて  $1/9$  磁化プラトーの観測に成功した。更に、東京大学物性研究所で行った一巻きコイル法による磁化過程の測定により、74 T 以上、少なくとも 123 T まで飽和磁化の  $1/3$  に近い値でプラトーが現れる事を明らかにした。これまで通常の  $S = 3/2$  カゴメ反強磁性体における理論計算では  $1/9$  磁化プラトーは出現しないと結論されており、従って  $\text{Li}_2\text{Cr}_3\text{SbO}_8$  における  $1/9$  磁化プラトーの出現は新たなプラトー出現機構によるものと期待される。本発見を機に理論的研究が行われ、ブリージング異方性に起因した  $1/9$  磁化プラトー出現の微視的機構の解明が進められている。

本研究での発見はブリージング性の観点からカゴメ反強磁性体の新たな展開を切り開いた点で、フラストレート磁性における重要な成果と考えられる。よって著者は、北海道大学博士(理学)の学位を授与される資格あるものと認める。