

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14395

研究課題名（和文）カゴメ格子反強磁性体におけるマグノンバンドトポロジーの検証

研究課題名（英文）Topological magnon bands in kagome antiferromagnets

研究代表者

那波 和宏（Nawa, Kazuhiro）

東北大学・多元物質科学研究所・助教

研究者番号：10723215

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：近年、トポロジーと呼ばれる逆格子空間における波動関数のつながり方の性質の観点からの固体の電子物性の理解が進んでいる。このようなトポロジーの概念は電子のみならずマグノン等のボソン系にも拡張されつつある。本研究ではカゴメ格子反強磁性体ジャロサイトを舞台にマグノンのバンドトポロジーを検証した。単結晶試料を水熱合成法によって育成し中性子非弾性散乱実験を行うことで、 Γ 点からM点にかけて3本のマグノンモードの分散を観測した。加えて Γ 点周りにおける大きな方向依存性及びバンド間での強度分布の反転している様子が観測され、 Γ 点周りにおいてマグノンがねじれたトポロジーを有していることと合致する結果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

非共線磁気構造を持つ反強磁性体に関して非偏極中性子非弾性散乱実験からマグノンのねじれたトポロジーを帯びている兆候をとらえることができた例は研究代表者が知る限り本研究が初めてである。ねじれたトポロジーを生ずる原因は磁性体における副格子自由度とジャロシンスキー守谷相互作用である、電子系におけるスピンと異なる副格子自由度は磁性体を選ぶことで自由に増やしたり減らしたりすることができる。本研究をきっかけに、ねじれたトポロジーを有するマグノン物性の開発が大きく進展すると期待される。

研究成果の概要（英文）：Recently, electronic properties of solids have been understood in terms of topology, which represents how wavefunctions are connected in reciprocal lattice space. The concept of topology is not only discussed for electrons but also extended to bosonic particles, such as magnons. We have investigated the magnon band topology in the Kagome lattice antiferromagnet jarosite. Single crystalline samples were grown by hydrothermal synthesis, and used for inelastic neutron scattering experiments. Dispersions of three magnon modes from the Γ point to the M point were observed. In addition, inelastic neutron scattering spectra suggest a strong direction dependence around the Γ point and the opposite intensity distribution between the magnon bands. These results are consistent with the nontrivial topology of the magnon bands around the Γ point.

研究分野：磁性

キーワード：カゴメ格子反強磁性体 トポロジー マグノン

1. 研究開始当初の背景

物性物理学における主要な課題は固体の物性がその対称性の観点からどのように理解できるかという点にある。相転移現象は対称性の破れによって分類され、個々の相における物性は秩序変数と紐づけることで理解されてきた。他方で、固体内の対称性とは全く異なる観点としてトポロジーと呼ばれる波動関数の普遍的な性質によってある種の物性が分類できることが最近分かってきた。結晶はその周期性のためにブロッホ波を形成する。その波数 k を第一ブリルアンゾーンの端から端まで移動させると、もとの状態に戻る。この際に波動関数のつながり方にねじれがあると、波動関数の位相因子には経路に依存した付加的な位相が加わる。このような付加的な位相項を発生させる波動関数のつながり方に関する性質をトポロジーと呼び、局所的な秩序変数がないような系についても分類を可能にする画期的な指標として注目を集めた。

このようなトポロジーの概念は主に電子を対象に研究が進められてきた。トポロジカル絶縁体と呼ばれる物質群において、バルクとしてはエネルギーギャップを持つ絶縁体であるが、トポロジーのために端でギャップレスの伝導状態が実現することが物質開発や角度分解光電子分光実験によって明らかにされてきた[1]。同時にトポロジーの概念は電子系だけではなく、フォノン、マグノン等のボソンの系にも拡張できることが分かってきた。中でもマグノンは電子系に比べてエネルギースケールが小さく、温度や磁場等の外場によってバンド構造を制御できる長所がある。実際に強磁性体においてマグノンの熱ホール効果[2]が発見されたことをきっかけに、マグノンバンドのトポロジーについても物性として抽出できることが明らかになりつつある[2,3]。マグノンの熱ホール効果の起源は、ジャロシンスキー-守谷 (DM) 相互作用等によりマグノンの波動関数のつながり方にねじれが発生するためである。このような波動関数のねじれを検証するために中性子非弾性散乱実験も進められており、マグノンの散乱強度や分散関係はマグノンバンドが非自明なトポロジーを有していることを示唆した[4,5]。しかしながら、マグノンの端状態そのものやマグノンの波動関数のねじれの観測が困難であるという実験的課題のために、特に反強磁性体においては本当にマグノンの波動関数のつながり方にねじれがあるのかどうかの検証は十分ではなかった。

[1] D. Hsieh et al., *Nature* **452**, 970 (2008). [2] Y. Onose et al., *Science* **329**, 297 (2010). [3] L. Zhang et al., *PRB* **87**, 144101 (2013). [4] M. Mena et al., *PRL* **113**, 047202 (2014). [5] R. Chisnell et al., *PRL* **115**, 147201 (2015).

2. 研究の目的

本研究の目的はマグノン波動関数のトポロジーを実験的に検証することである。電子系ではスピン-軌道相互作用があれば上向きスピンのバンドと下向きスピンのバンドが混成することでエネルギーギャップが開き、このエネルギーギャップの内に上向きスピンと下向きスピンの端状態が形成される。端状態ではスピンの向きが運動量に応じた向きに固定されるスピン-運動量ロッキングと呼ばれる現象が起こる (図 1)。他方で、磁性体中におけるマグノンはそれ自体スピンに相当する

自由度を持たないため、副格子から生ずる自由度を擬スピンの代わりに利用する必要がある。DM 相互作用によりマグノンバンド間の混成が誘起され、両者の間にエネルギーギャップが開き、エネルギーギャップの中に端状態が形成される。

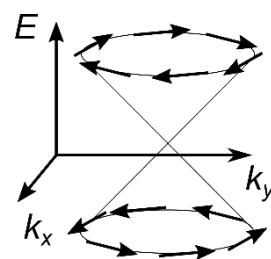


図1 (擬) スピン-運動量ロッキングの模式図。

強磁性体では全ての副格子でスピンの向きが同じ方向を向くため中性子で副格子を区別することができないが、反強磁性体ではスピンの向きと副格子を結びつけることで区別することが可能になる。この点を利用し、面内で 120 度 ($q=0$) 構造を示すカゴメ格子反強磁性体を対象に副格子と結びついたスピンのテクスチャー[6]を偏極中性子非弾性散乱実験によって検証することを研究目標とした。

[6] N. Okuma, PRL **119**, 107205 (2017).

3. 研究の方法

上記の必要条件を満たす候補物質としてスピン 5/2 カゴメ格子反強磁性体のジャロサイト ($\text{KFe}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$) [7,8]が挙げられる。本物質は既に中性子非弾性散乱実験が行われており分散関係から相互作用の大きさが見積もられているが[9]、散乱強度に関する理論的検証が行われていなかった。

(1). カゴメ格子反強磁性体ジャロサイトの単結晶試料の育成

水熱合成法によってジャロサイトの単結晶試料を合成した。単結晶試料の大型化には水溶液中における鉄の酸化反応の速度を制御することが重要である[10]。そこでテフロン反応容器内に内蓋を挿入し水溶液と気体の界面を小さくすることで反応速度を最適化した。同時に、ジャロサイトに含まれる水素原子は大きな非干渉性散乱によって弱い磁気散乱の観測を妨げる恐れがあることから、単結晶試料の重水素化にも取り組んだ。

(2). 中性子非弾性散乱実験によるバンド反転の検証

単結晶試料を用いた非偏極中性子非弾性散乱実験によってマグノンの分散関係を確認し、同時に散乱強度の波数依存性を測定した。さらに、カゴメ格子反強磁性体の 120 度構造に DM 相互作用を加えた模型の中性子散乱強度を計算し、実験的に得られた散乱強度との比較を行った。

なお本研究では偏極中性子非弾性散乱実験を行うことを最終目標としていたが、この目標達成には 1g を超える大きさの単結晶試料が必要である。以下に示すようにある程度の大きさの単結晶試料は得られたものの 1g を超える大きさのものは得られなかったため、非偏極中性子非弾性散乱実験において観測された散乱強度からマグノンバンドのトポロジーを検証することにした。

[7] D. Grohol et al., Nat. Mater. **4**, 323 (2005). [8] M. Takano et al., JPSJ **30**, 1049 (1971) [9] K. Matan et al., PRL **96**, 247201 (2006). [10] D. G. Nocera et al., Chem. Eur. J., **10**, 3850 (2004).

4. 研究成果

単結晶試料の育成条件については、テフロン容器内の気体酸素の容量と内蓋の外径の大きさを系統的に変えることで試料の大型化を進めた。試行錯誤の結果、図 2 に示す 20-30 mg 程度の単結晶試料を定常的に作製することができるようになった。また、重水素化した単結晶試料の育成にも取り組んだが、同程度の大きさの単結晶試料を得ることはできなかったため、図 2 に示す単結晶試料を用いて中性子非弾性散乱実験を進めた。



図 2 水熱合成法によって合成した単結晶試料。

図 3 に 2 つの単結晶試料を並べて測定した中性子非弾性散乱スペクトルを示す。研究代表者らは 2021 年度に研究用原子炉 JRR-3 が再稼働したのに伴い、中性子三軸分光器 4G GPTAS の整備や運営を行っていた。このような経緯から、測定は 4G GPTAS を用いて行った。散乱中性子は PG 002 反射を用いて $E_f = 14.7$ meV の条件でエネルギー分解した。図 3 は HK0 面内における $(H,K) = (1,0)$ から $(1.200, -0.200)$ へ、 $(1,1)$ から $(1.200, 0.800)$ へと沿って測定したエネルギーキャンを示したものである (図 4a に示す分散関係の $\Gamma \rightarrow M$ に相当する)。A : 2 meV から 12 meV まで急激に励起エネルギーが変化するモード、B : 7 meV 近傍でほとんど分散を持たないモード、C : 励起エネルギーが 7 meV から 12 meV に変化するモード、の 3 種類のモードが存在することが明らかになった。また、図 3 は左右いずれも Γ 点から M 点へのエネルギーキャンを示すが、左図に示すキャンでは A、B のモードの散乱強度が大きいのにに対して、右図に示すキャンでは C のモードの散乱強度が大きく対比的な強度分布を示すことが分かった。

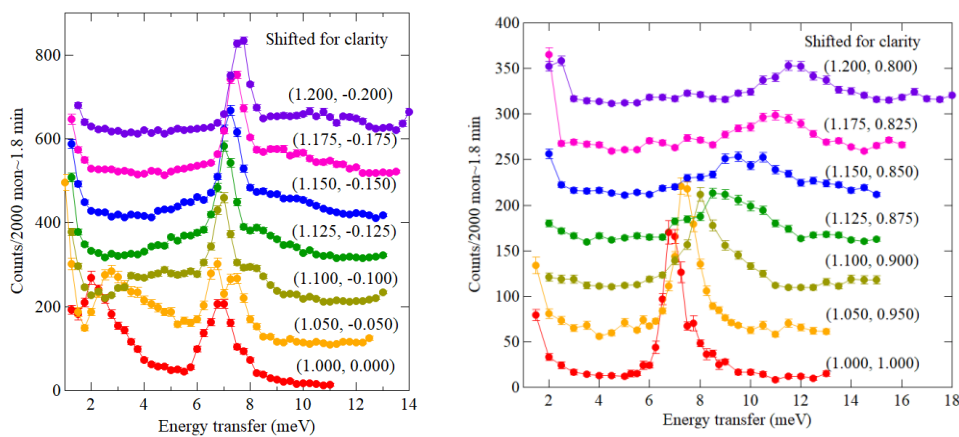


図 3 4G GPTAS を用いて測定したジャロサイトの中性子非弾性散乱スペクトル。散乱面は HK0 である。(左) $(H,K) = (1,0)$ から $(1.133, -0.266)$ へ、(中) $(H,K) = (1,0)$ から $(1.200, -0.200)$ へ、(右) $(H,K) = (1,1)$ から $(1.200, 0.800)$ へと沿って測定したエネルギーキャン。

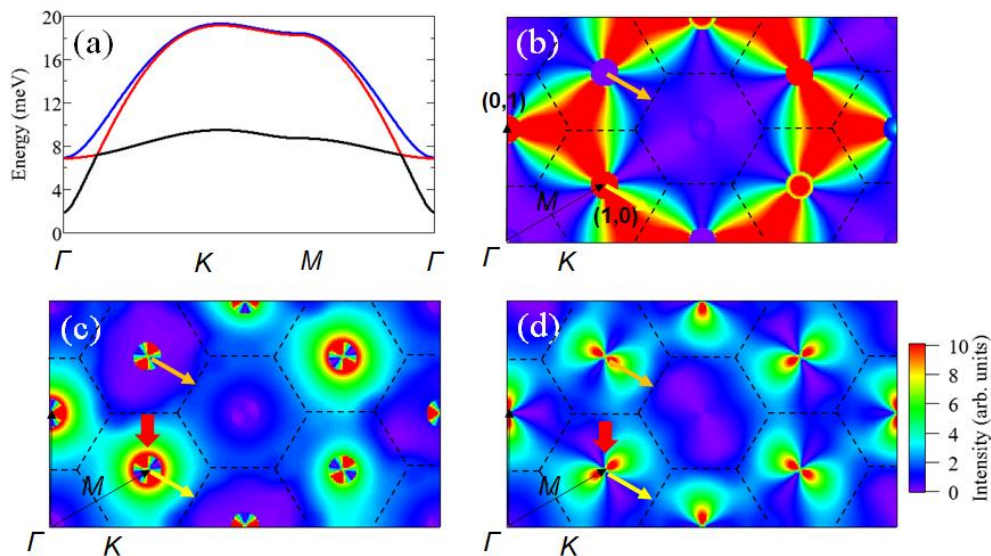


図 4 スピン波近似のもと計算した中性子非弾性散乱強度。(a) 分散関係 (b) (a) の黒色に示す励起エネルギーが最も低いモードの散乱強度 (c) (a) の赤色に示すエネルギーが 2 番目に低いモードの散乱強度 (d) (a) の青色に示すエネルギーが最も高いモードの散乱強度。(b-d) における黄色の矢印は図 3 左、橙色の矢印は図 3 右に示すキャンに対応する。

また、スピン波近似の二次までの項から散乱強度を計算するプログラムを作製し、本系のように 120 度構造のような非共線な磁気構造を持つ系に対しても適用できるようにした。図 4 に散乱強度の分散関係と強度の波数依存性を示す。図 3 左に示すエネルギースキンの波数は図 4 (b-d) における黄色の矢印の領域、図 3 右に示すスキンの波数は橙色の矢印の領域に対応する。計算においても実験で観測された A、B のモードと C のモードの対比的な強度分布を再現することができた。図 4 に示すような Γ 点近傍における強度分布の大きな方向依存性、及びその強度分布がバンド間で反転する振る舞いはマグノンバンドのねじれたトポロジーが誘起された場合に予想される振る舞いと合致している[11]。実験的には当初の目標である偏極中性子非弾性散乱実験を履行するには至らなかったものの、非共線磁気構造を持つ反強磁性体に関して研究代表者が知る限り初めて非偏極中性子非弾性散乱実験からマグノンのねじれたトポロジーを帯びている兆候をとらえることができたと考えている。電子のスピンとは異なり、磁性体における副格子自由度は磁性体を選ぶことで自由に増やしたり減らしたりすることができる。本研究をきっかけに、ねじれたトポロジーを有するマグノン物性の開発が大きく進展すると期待される。

なお、上記に関連した研究としてカゴメ格子反強磁性体 $\text{Yb}_3\text{Ni}_{11}\text{Ge}_4$ の単結晶試料育成を行い、磁化測定や中性子回折実験によって本物質の磁性を明らかにした (M. Takahashi et al., JPSJ 89, 094704 (2020))。さらに、中性子非弾性散乱実験によって観測された結晶場励起から各 Yb^{3+} イオンの波動関数を決定し、かつ中性子非弾性散乱実験によって観測された低エネルギー励起からこれらの擬スピン 1/2 間の磁気相互作用の存在を明らかにするなどの成果も得られた。

[11] M. Elliot et al., Nat. Commun. **12**, 3936 (2021).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Imai Yoshinori, Nawa Kazuhiro, Shimizu Yasuhiro, Yamada Wakana, Fujihara Hideyuki, Aoyama Takuya, Takahashi Ryotaro, Okuyama Daisuke, Ohashi Takamasa, Hagihala Masato, Torii Shuki, Morikawa Daisuke, Terauchi Masami, Kawamata Takayuki, Kato Masatsune, Gotou Hirotsada, Itoh Masayuki, Sato Taku J., Ohgushi Kenya	4. 巻 105
2. 論文標題 Zigzag magnetic order in the Kitaev spin-liquid candidate material RuBr ₃ with a honeycomb lattice	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L041112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.L041112	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nawa Kazuhiro, Imai Yoshinori, Yamaji Youhei, Fujihara Hideyuki, Yamada Wakana, Takahashi Ryotaro, Hiraoka Takumi, Hagihala Masato, Torii Shuki, Aoyama Takuya, Ohashi Takamasa, Shimizu Yasuhiro, Gotou Hirotsada, Itoh Masayuki, Ohgushi Kenya, Sato Taku J.	4. 巻 90
2. 論文標題 Strongly Electron-Correlated Semimetal RuI ₃ with a Layered Honeycomb Structure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 123703
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.123703	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nawa Kazuhiro, Avdeev Maxim, Berdonosov Peter, Sobolev Alexey, Presniakov Igor, Aslandukova Alena, Kozlyakova Ekaterina, Vasiliev Alexander, Shchetinin Igor, Sato Taku J.	4. 巻 11
2. 論文標題 Magnetic structure study of the sawtooth chain antiferromagnet Fe ₂ Se ₂ O ₇	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 24049
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-03058-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Nawa Kazuhiro, Hirai Daigorou, Kofu Maiko, Nakajima Kenji, Murasaki Ryo, Kogane Satoshi, Kimata Motoi, Nojiri Hiroyuki, Hiroi Zenji, Sato Taku J.	4. 巻 2
2. 論文標題 Bound spinon excitations in the spin-1/2 anisotropic triangular antiferromagnet Ca ₃ Re ₅ O ₁₂	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 43121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.2.043121	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Takahashi Mitsuru, Nawa Kazuhiro, Okuyama Daisuke, Nojiri Hiroyuki, Frontzek Matthias D., Avdeev Maxim, Yoshida Masahiro, Ueta Daichi, Yoshizawa Hideki, Sato Taku J.	4. 巻 89
2. 論文標題 Crystal Structure and Magnetic Properties of the Breathing Kagome Ising Antiferromagnet Yb ₃ Ni ₁₁ Ge _{4.63}	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 94704
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/jpsj.89.094704	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Nawa Kazuhiro, Avdeev Maxim, Ishikawa Asuka, Takakura Hiroyuki, Wang Chin-Wei, Okuyama Daisuke, Murasaki Ryo, Tamura Ryuji, Sato Taku J.	4. 巻 7
2. 論文標題 Magnetic properties of the quasicrystal approximant Au ₆₅ Ga ₂₁ Tb ₁₄	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review Materials	6. 最初と最後の頁 54412
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevMaterials.7.054412	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Nawa Kazuhiro, Okuyama Daisuke, Ebina Akihito, Sato Taku J, Ishikawa Asuka, Tamura Ryuji	4. 巻 2461
2. 論文標題 Single-crystal neutron diffraction study on the quasicrystal approximant Au ₇₀ Al ₁₆ Tb ₁₄	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012015 ~ 012015
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2461/1/012015	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hung-Cheng Wu, Ai Nakamura, Daisuke Okuyama, Kazuhiro Nawa, Dai Aoki, Taku J Sato	4. 巻 2305
2. 論文標題 Unraveling the magnetic structure of YbNiSn single crystal via crystal growth and neutron diffraction	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 cond-mat arXiv	6. 最初と最後の頁 11542
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 C. Chaffey, H. C. Wu, Hanshang Jin, P. Sherpa, Peter Klavins, M. Avdeev, S. Aji, R. Shimodate, K. Nawa, T. J. Sato, V. Taufour, N. J. Curro	4. 巻 2306
2. 論文標題 Magnetic structure and Kondo lattice behavior in CeVGe3: an NMR and neutron scattering study	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 cond-mat arXiv	6. 最初と最後の頁 10166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計29件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 那波 和宏, 高橋 満, 奥山 大輔, 佐藤 卓
2. 発表標題 擬スピン1/2ブリージングカゴメ格子磁性体Yb3Ni11Ge4.63の中性子非弾性散乱
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 那波 和宏
2. 発表標題 スピン1/2フラストレート正方格子磁性体2V0S04・D2S04・3D20 における磁気相互作用制御
3. 学会等名 新学術領域研究「量子液晶の物性科学」第2回量子物質開発フォーラム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 那波 和宏, Wu Hung-Cheng, 奥山 大輔, 佐藤 卓
2. 発表標題 4G GPTASのトリセツ
3. 学会等名 日本中性子科学会2022年次大会 (JSNS2022) (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 那波 和宏, 柴田 将弥, 佐藤 卓
2. 発表標題 J1-J2フラストレート正方格子磁性体 $2\text{VOSeO}_4 \cdot \text{D}_2\text{SO}_4 \cdot \text{D}_2\text{O}$ の磁気相互作用制御
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazuhiro Nawa, Ryo Murasaki, Clarina Dera Cluz, Shinichi Itoh, Hiraku Saito, Hiroyuki Nojiri, Daisuke Okuyama, Masahiro Yoshida, Daichi Ueta, Hideki Yoshizawa, and Taku J. Sato
2. 発表標題 Magnetism of pseudospin-1/2 pyrochlore antiferromagnet $\text{Na}_3\text{Co}(\text{CO}_3)_2\text{Cl}$
3. 学会等名 US-Japan workshop "Neutron Scattering on continuous sources future developments", (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazuhiro Nawa
2. 発表標題 Magnetic excitations in the spin-1/2 anisotropic triangular lattice antiferromagnet $\text{Ca}_3\text{ReO}_5\text{Cl}_2$
3. 学会等名 4th international workshop on quantum matter quantum many-body dynamics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazuhiro Nawa, Takumi Hiraoka, Yoshinori Imai, Ryo Murasaki, Pharit Piyawongwatthana, Maiko Kofu, Richard Mole, Wakana Yamada, Hideyuki Fujihara, Ryotaro Takahashi, Masato Hagihara, Shuki Torii, Hirotsada Gotou, Kenya Ohgushi, Taku J Sato
2. 発表標題 Magnetic structure and excitations of the Kitaev model candidate RuBr_3
3. 学会等名 ICNS2022, Online, August, 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. C. Wu, D. Okuyama, K. Nawa, W. T. Chen, C. H. Lu, T. W. Yen, S. M. Huang, S. Calder, D. Morikawa, M. Terauchi, S. Torri, and T. J. Sato
2. 発表標題 Structural and magnetic characterization of Cu ₂ OSeO ₃ polymorph synthesized under high-pressure
3. 学会等名 「量子液晶の物性科学」令和4年度領域研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松坂信之介, 那波和宏, H.C.Wu, 奥山大輔, 佐藤卓
2. 発表標題 量子三角格子磁性体Ba ₃ Yb(BO ₃) ₃ の中性子非弾性散乱
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会 2022年9月15日
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平岡巧, 那波和宏, 谷口貴紀, 佐藤卓
2. 発表標題 粉末中性子回折による八ニカム格子様化合物Pb ₆ Co ₉ (TeO ₆) ₅ の磁気構造研究
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会 2022年9月13日
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Pharit Piyawongwatthana, Kazuhiro Nawa, Stuart Calder, Maiko Kofu, Daisuke Okuyama, Taku J Sato
2. 発表標題 Magnetic Excitation of Cu ₂ (MoO ₄)(SeO ₃)
3. 学会等名 APS March Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 那波和宏, 柴田将弥, 奥山大輔, Maxim Avdeev, Ross Piltz, 佐藤卓
2. 発表標題 J1-J2フラストレート正方格子磁性体 $2V0S04 \cdot D2S04 \cdot nD20$ の磁気秩序
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松坂信之介, 那波和宏, 奥山大輔, 佐藤卓
2. 発表標題 量子三角格子磁性体 $Ba_3Yb(B03)_3$ の結晶場励起
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平岡巧, 那波和宏, 今井良宗, 藤原秀行, 村崎遼, Pharit Piyawongwatthana, 古府麻衣子, Richard Mole, 後藤弘匡, 大串研也, 佐藤卓
2. 発表標題 Kitaevスピン液体候補物質 $RuBr_3$ の中性子非弾性散乱測定
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Nawa, M. Shibata, D. Okuyama, Maxim Avdeev, Ross Piltz, T. J Sato
2. 発表標題 Magnetic structure of the frustrated square lattice magnet $2V0S04 \cdot D2S04 \cdot nD20$
3. 学会等名 令和3年度新学術領域研究「量子液晶の物性科学」領域研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazuhiro Nawa, Maxim Avdeev, Peter Berdonosov, Alexey Sobolev, Igor Presniakov, Alena Aslandukova, Ekaterina Kozlyakova, Alexander Vasiliev, Igor Shchetinin, and Taku J Sato
2. 発表標題 Magnetic structure of the sawtooth chain antiferromagnet Fe ₂ Se ₂ O ₇
3. 学会等名 日本中性子科学会2021年大会 (JSNS2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Pharit Piyawongwatthana, Maiko Kofu, Kazuhiro Nawa, Daisuke Okuyama, Taku J Sato
2. 発表標題 Magnetic Excitation of Cu ₂ (MoO ₄)(SeO ₃)
3. 学会等名 日本中性子科学会2021年大会 (JSNS2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村崎遼, 那波和宏, 古府麻衣子, 佐藤卓
2. 発表標題 中性子非弾性散乱による S=1 スピンドイマー物質 K ₂ NiMo ₂ O ₈ の磁気励起研究
3. 学会等名 日本中性子科学会2021年大会 (JSNS2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松坂信之介, 那波和宏, 奥山大輔, 佐藤卓
2. 発表標題 量子三角格子磁性体Ba ₃ Yb(BO ₃) ₃ の単結晶育成および結晶場
3. 学会等名 日本中性子科学会2021年大会 (JSNS2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平岡巧, 那波和宏, 今井良宗, 藤原秀行, 村崎遼, Pharit Piyawongwatthana, 古府麻衣子, Richard Mole, 後藤弘匡, 大串研也, 佐藤卓
2. 発表標題 Kitaevスピン液体候補物質RuBr ₃ の中性子散乱
3. 学会等名 日本中性子科学会2021年大会 (JSNS2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村崎遼, 那波和宏, 古府麻衣子, 佐藤卓
2. 発表標題 S=1スピンドイマー物質K ₂ NiMo ₂ O ₈ の中性子非弾性散乱実験による磁気励起測定
3. 学会等名 日本物理学会令和3年度秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柴田将弥, 那波和宏, 村崎遼, 伊藤晋一, 植田大地, 佐藤卓
2. 発表標題 反転対称性の破れたフェリ磁性体LiFe ₅ O ₈ の低エネルギースピンの励起
3. 学会等名 日本物理学会令和3年度秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 那波 和宏, 村崎 遼, 伊藤 晋一, 齋藤 開, Clarina R Dela Cruz, 佐藤 卓
2. 発表標題 パイロクロア反強磁性体Na ₃ Co(CO ₃) ₂ Clの結晶場励起
3. 学会等名 日本物理学会令和3年度秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuhiro Nawa, Masaya Shibata, Daisuke Okuyama, Maxim Avdeev, and Taku J Sato
2. 発表標題 Search for the J1-J2 low dimensional frustrated magnet
3. 学会等名 QLC2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 那波 和宏, 平井 大悟郎, 古府 麻衣子, 中島 健次, 村崎 遼, 小金 聖史, 木俣 基, 野尻 浩之, 廣井 善二, 佐藤 卓
2. 発表標題 S=1/2異方的三角格子反強磁性体Ca ₃ ReO ₅ Cl ₂ におけるスピノン束縛対の励起
3. 学会等名 日本中性子科学会第20回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柴田 将弥, 那波 和宏, 奥山 大輔, 佐藤 卓
2. 発表標題 低次元フラストレート強磁性体候補物質の探索
3. 学会等名 日本中性子科学会第20回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 那波 和宏, 柴田 将弥, 奥山 大輔, 佐藤 卓
2. 発表標題 正方格子J1-J2フラストレート磁性体の物質探索
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村崎 遼, 那波 和宏, 中島 健次, 河村 聖子, Hong Tao, 佐藤 卓
2. 発表標題 S=1/2異方の三角格子反強磁性体Cs ₂ CuCl ₄ の磁気励起
3. 学会等名 日本中性子科学会第20回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柴田将弥, 那波和宏, 奥山大輔, 佐藤卓
2. 発表標題 フラストレート強磁性体候補物質の構造
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	佐藤 卓 (Sato Taku)	多元物質科学研究所・教授 (11301)	
研究協力者	奥山 大輔 (Okuyama Daisuke)	多元物質科学研究所・助教 (11301)	所属、職名等は東北大在籍時(2021年度まで)のもの

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
オーストラリア	ANSTO	シドニー大学		
米国	ORNL	カルフォルニア大学デービス校		
ロシア連邦	モスクワ大学	ロシア国立科学技術大学		