

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K03525

研究課題名（和文）固体物質系と光格子量子シミュレータを繋ぐ新奇フラストレート量子物性の理論研究

研究課題名（英文）Theoretical study of quantum frustrated systems: Connecting solid-state materials and optical lattice quantum simulators

研究代表者

山本 大輔 (YAMAMOTO, Daisuke)

日本大学・文理学部・准教授

研究者番号：80603505

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）：三角格子反強磁性スピン系を中心として、CsCuCl₃といった量子フラストレート磁性体の量子性の制御やその物理的理解から、光格子中の冷却原子フラストレート系の実現法の提案まで、固体物質系と光格子量子シミュレータを繋ぐ理論研究を行った。その結果として「光格子系にフラストレーションを実装するための負温度を用いたプロトコルの提案」や「結合スピン鎖物質に対する圧力による磁気パラメータ制御」などの顕著な成果を得た。特に負温度を用いた幾何学的フラストレーションの導入は、従来のフロケ機構を用いた方法と比較してヒーティングの軽減などの利点があり、今後の量子シミュレーション研究に大きな影響を与えると期待できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

結合スピン鎖物質に対する圧力を用いた量子性の制御法の確立は、2次元フラストレートスピン模型へのマッピングを通じて、スピン液体や磁化プラトーなどの物理をスピン量子数Sを実効的にコントロールしながら実験的にシミュレートするという新たな研究方法を提供する。また、人工量子フラストレート系の作成方法の確立は、負温度気体で作成した量子シミュレータを用いて様々な物質の性質を解析したり、新しい物質を設計したりといった新たな物質科学研究の道を開拓する。一般に量子フラストレート系の数値計算解析は非常に困難であり、本研究によって確立された上記2つの量子シミュレーション方法が今後の研究に大きな意義を持つと期待される。

研究成果の概要（英文）：We conducted theoretical research bridging solid-state materials and optical lattice quantum simulators, with a focus on triangular lattice antiferromagnetic spin systems. Our study encompassed the control of quantum fluctuation effects in the quantum frustrated antiferromagnet CsCuCl₃ and proposing methods for realizing cold atom frustrated systems in optical lattices. As a result, we achieved significant breakthroughs, including the control of magnetic parameters in coupled spin chain materials through pressure and the proposal of experimental protocols utilizing negative temperatures to implement frustration in optical lattice systems. In particular, the introduction of geometric frustration using negative temperatures offers advantages such as reduced heating compared to conventional Floquet-engineering-based methods, making it highly promising for future research in quantum simulation.

研究分野：量子物性理論

キーワード：量子シミュレーション 量子フラストレート系 光格子 量子磁性体 冷却原子 スピン模型 クラスター平均場法 密度行列繰り込み群

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 固体物質系の背景

磁性体などの固体材料では、伝導電子間やスピン間に複数の競合する相互作用が存在する場合、多数の異なる量子状態がエネルギー的に拮抗する。このような系はフラストレート系と呼ばれ、量子揺らぎが基底状態決定に顕著な役割を果たす。個々の物質において、準縮退した量子状態の中から何らかの秩序相が選ばれるか (order-by-disorder 機構) もしくはスピン液体などの古典力学では予測できない新奇な量子状態が現れるかといった問いは現代物性物理学のメインテーマのひとつとなっている。このようなフラストレート物質を化学合成によって実現するためには (i) 三角格子やカゴメ格子といった特殊な幾何構造の結晶格子の作成、(ii) ハミルトニアンの高い対称性の保護、(iii) 競合を外的に解消してしまう格子歪みや不純物の排除、といった様々な課題をクリアする必要がある。また、元素間の化学結合の選択性に起因する制限から、理論的に興味深い物理が期待される量子統計モデルであっても、それを実際に狙って固体材料で作成することが原理的に困難な場合も多い。

(2) 光格子量子シミュレータの背景

一方で近年、原子気体に対するレーザー光を用いた極低温冷却技術 (μK オーダー以下) を基盤とした“人工結晶”を用いた量子統計物理学の研究が世界中で熱狂的な進展を見せている。この系の黎明期には、光学的に補足した原子集団 (Rb や Na など) をレーザー冷却および蒸発冷却することで「気体の Bose-Einstein 凝縮 (BEC)」が実現し、2001 年の Nobel 賞を受賞している。当初は BCS-BEC クロスオーバーや超流動-Mott 絶縁体転移といった「物性基礎論的な」研究が注目を集めたが、研究開始時の過去 4,5 年以内で (i) 三角、カゴメ格子などを含む多様な格子ポテンシャル (光格子) の作成、(ii) 振動外場によるフラストレート相互作用の導入、(iii) 磁気長距離秩序の転移温度以下の極低温の実現、といった要の技術が次々に生み出され、現実的な固体材料と直接対応する“人工物質”の作成が現実的になった。例えば固体材料中の電子の量子統計力学は、光格子に充填した 40K のような Fermi 原子集団を用いて量子シミュレーションでできる。

2. 研究の目的

(1) 既知のフラストレート量子物性を光格子量子シミュレータで実際に再現できるか

2017 年に正方光格子中の Fermi 原子気体を用いた量子シミュレーションによって、固体材料中の電子の運動を記述する Hubbard 模型の反強磁性長距離秩序が初めて観測された [Greiner グループ@Harvard 大, Nature 545 (2017)]。世界の次の興味は、三角光格子などでフラストレーションがある場合に特有の量子磁性相を初めて実現することである。本研究では、理論的な側面からフラストレート量子シミュレーションに内在する様々な困難の打開策および実験セッティングの提案を行うことを目指す。

(2) 固体材料では作成困難であった新奇な量子フラストレート系を作成できるか

理論研究者がシンプルなモデルから普遍的な数理・物理を探求する一方で、実際の固体材料では化学的な要請から実現可能な結晶構造や相互作用の形が制限される。この実験的な制限は、理論研究対象の選択にも暗黙の限界を課してきた。光格子量子シミュレータでは、例えば強く関連するスピン $S=1/2$ Bose 粒子系のような固体材料系では荒唐無稽ともいえるモデルでさえ実際に作成できる。本研究では、このようなこれまで理論の対象外であった様々な量子統計モデル群の広大なフロンティアを開拓することでモデルの全体相図の解明や新奇な量子フラストレート物性の予言を理論的に行うことを目指す。

(3) (2) で研究した新奇物性や量子相の知見を、有用な固体材料の開発に還元できるか

光格子を用いた量子シミュレーションは、量子統計力学に対する我々の基礎物理的な理解を促進するだけでなく、化学合成による物質開発と相補的に行われるべきものである。そこで、光格子系の理論・実験から得た知見と組み合わせることで、フラストレート磁性体などの固体材料の実験観測における非自明な物性の機構解明および新たな物質開発の指針を与えることを目指す。

3. 研究の方法

(1) 量子フラストレートモデルの数値解析

一般にフラストレーションがあるモデルには基底状態の多重準縮退が存在し、量子揺らぎと熱

揺らぎが重要な役割を果たす。しかしながら、フラストレート系には有名な負符号問題などが存在するために、量子揺らぎと熱揺らぎを考慮した理論解析を行うことは非常にチャレンジングである。本研究では、大規模クラスター平均場法と密度行列繰り込み群法や熱的量子純粋状態法を組み合わせた新たな数値計算手法を用いてこの問題を打開する。また、熱揺らぎの効果だけを抽出するために、負符号問題が存在しない準古典 Monte Carlo 法も用いる。

(2) 実験プロトコルの提案

理論模型解析だけでなく、実際の光格子量子シミュレータでの実験プロトコルの提案も重要である。本研究では、実現可能な手順を想定した時間変化の数値シミュレーションを行うことで、プロトコルの有用性の確認および最適化を行う。そのために国内外の実験グループとも連携し、情報共有を行う。

4. 研究成果

(1) 重さの違う 2 種 Fermi 原子気体と三角光格子を用いた量子磁性人工結晶

2 種の Fermi 原子間の斥力が強い極限は、交換相互作用に容易軸異方性を持つ $S=1/2$ 量子三角格子反強磁性体と等価な数理模型で記述できる。さらに我々は成分間の Raman 結合を導入することで横磁場を導入することを提案し、サイズ外挿を伴う数値クラスター平均場法 (CMF+S) および古典モンテカルロ法を用いてこの系の量子物性と熱揺らぎ効果を解析した。その結果、この系が (i) 揺らぎによる秩序化による新たな相の出現、(ii) 量子効果と古典効果の競合によるリエントラント相転移、(iii) 2 段階の熱的相転移といった興味深い物性を示すことを明らかにした。特筆すべきは、量子基底状態相図では低磁場領域において古典相図には存在しない非自明なスピン再配向転移が現れ、磁場-温度相図では高い離散的対称性 (S_3) の破れの回復に伴う 2 段階の相転移およびその中間相における Kosterlitz-Thouless 的振る舞いと長距離秩序の共存などの興味深い物性現象を開拓した。

(2) 「負の絶対温度」を利用した量子フラストレート磁性の量子シミュレーション

冷却原子気体を用いた量子フラストレート磁性の量子シミュレーション研究では、現在のところ極低温までの冷却や反強磁性の実現が困難なこともあり、その重要性と必要性に反してあまり多くの成果が得られていない。我々はこれらの困難を打開する妙案として「負の絶対温度」をもつ気体を利用した量子シミュレーション方法を提唱した。熱平衡系のミクロな状態はボルツマン因子に比例する占有確率に従って分布する。通常の物質ではエネルギーが低い状態ほど多く占有され、エネルギーが高い状態の占有確率は指数関数的に小さくなっている。しかし光格子中の原子気体のような孤立系では、エネルギーが高いほど多く占有されるような熱平衡状態を人工的に作成することができる。このような状態は定義上、絶対温度 (ケルビンスケール) で負の値を持っていることになる。

我々は光格子に充填した Bose 原子気体の物質波の位相をスピンと見立てることで量子磁性体の量子シミュレータとすることを想定した。この系に対し、相互作用やトラップポテンシャルの反転に加えて光照射による位相刷り込みを行うことで負温度の熱平衡状態を実現できることを数値シミュレーションによって示した。通常は物質波の位相は揃ったがる (強磁性) が、「負の絶対温度の世界」ではすべてが反転するために反強磁性を実現できる。したがって光格子の形状を三角格子のようなパイパータイトでない格子形にすることでフラストレーションを導入することができる。将来的には、この負温度気体で作成した量子シミュレータを用いて様々な物質の性質を解析したり、新しい物質を設計したりといったことが可能になると期待される。

(3) アルカリ土類 (様) 原子気体を用いた $SU(N)$ 拡張 Hubbard 模型の強磁場効果

固体物質系では通常スピン自由度 $=$, を持つ電子が主役となるため、Hubbard 模型や Heisenberg 模型といった代表的な統計模型は $N=2$ 次の特殊ユニタリ群 $SU(2)$ の対称性 (もしくはそれ以下) を持つ。一方、より高次の対称性 ($N>2$) を持つ系もスピン液晶物質や遷移金属酸化物などの模型における偶発的な高対称点として議論されてきた。しかし近年では、 ^{173}Yb 原子や ^{87}Sr 原子などのアルカリ土類 (様) 原子気体を用いて直接的に $SU(N)$ 拡張 Hubbard 模型や Heisenberg 模型を作成する試みが盛んに為されている。

本研究では $SU(N)$ 磁性に対する強磁場効果を議論した。強磁場の印加は磁性体研究の基本的な物性計測実験であり、格子幾何やトポロジ、量子・熱ゆらぎとの協奏効果によって磁化プラトーやネマティック状態、磁場誘起スピン液体などの非自明な磁気状態を生み出すことが知られている。ここでは特に三角格子上の $SU(3)$ 反強磁性 Heisenberg 模型に対する磁場効果を調べた。密度行列繰り込み群をソルバーとした CMF+S を用いて絶対零度の量子磁性を、直積状態近似波動関数を用いた準古典 Monte Carlo 法を用いて有限温度の相転移現象を議論した。その結果、磁化およびスカラーネマティック秩序変数の磁場依存性における非自明なプラトーの形成、副格子スピン (ダイポール) モーメントが有限にも関わらず「隠されたネマティック秩序」を持つ「ネマティック-スピンドイポール相」、渦度 $1/2$ を持つ分数渦対励起が誘起するトポロジ

カル相転移などの様々な興味深い物性現象を見出した。

(4) 結合スピン鎖物質と圧力印加を用いた量子性の能動的な制御

磁性体などの固体物質の性質は、主に自然界の化学合成のルールに従った組成(結晶構造やスピン量子数など)によって決定する。したがって新奇な機能を持つ物質を作成するためには、経験的な指導原理の下で偶発的に良い組み合わせを探し出す必要がある。一方で強磁場や圧力の印加は、既存の固体物質の性質を能動的に変化させる数少ない外的な手段である。特に、多数の異なる磁気状態がエネルギー的に準縮退しているフラストレート磁性体では、磁気基底状態の選択に対する磁場や圧力の影響が相対的に大きくなる。フラストレート磁性の典型例である三角格子反強磁性体では、分子場解析において磁化過程に非自明な無限縮退が現れてしまうため、古典的な計算では低温磁気状態が一意に決定できない。したがって、小さな量子揺らぎや異方性が状態決定に本質的に重要な役割を果たし、その結果として磁化の値が飽和値の1/3に量子化された「磁化プラトー」や、強磁場・異方性・量子揺らぎの3者の協奏によって生まれる「(-coplanar)状態」などの非自明な磁気相が現れる。

本研究では、圧力の印加によるフラストレート磁性体の量子性の制御の可能性について議論した。磁性体を構成する磁性イオンのスピン量子数 S は、その物質の量子性の強さに直結する量である。我々は、神戸大学分子フォトサイエンス研究センターにおける結合スピン鎖三角格子反強磁性体 CsCuCl_3 に対する圧力下磁気測定実験と、理論解析による磁気パラメータフィッティングおよび有効2次元模型によるマッピングを行い、スピン量子数 S を圧力によって実効的に制御できる可能性を示した。このことは、結合スピン鎖物質への圧力印加によって、2次元フラストレートスピン模型の物理を量子性の能動的な制御下でシミュレートできるという画期的なアイデアをもたらす。

(5) 光による人工スピン軌道相互作用と「悪魔の階段」超固体の予言

強いスピン軌道相互作用(SOC)を持つ量子多体系の研究はトポロジカル相や磁気光学効果を理解するために重要である。そこで、極低温の原子気体を用いた人工的なSOC系を想定し、SOCの強さや運動量方向の自由度に対する格子Bose量子系の基底状態の振る舞いを理論的に議論した。その結果、異なる波数に凝縮したBose-Einstein凝縮体が共存することで固体結晶秩序と超流動秩序が共存した超固体状態が形成され、さらにその凝縮波数(固体秩序波数)のSOCパラメータ依存性が「悪魔の階段」と呼ばれる特異なフラクタル構造を取ることが明らかになった。SOCパラメータに対する「悪魔の階段」構造は、固体物質のように背景に格子構造を有する系一般に存在するUmklapp散乱に起因することが分かっている。したがって、固体電子系を含む他の多くのSOC多体系でも同様の物理が存在することが期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Hayato Motegi, Giacomo Marmorini, Nobuo Furukawa, Daisuke Yamamoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Thermal Ising transition in two-dimensional SU(3) Fermi lattice gases with population imbalance	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 -
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 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 Kazuki Okada, Hidekazu Tanaka, Nobuyuki Kurita, Daisuke Yamamoto, Akira Matsuo, Koichi Kindo	4. 巻 106
2. 論文標題 Field-orientation dependence of quantum phase transitions in the S=1/2 triangular-lattice antiferromagnet Ba3CoSb209	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 104415
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.106.104415	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 Daisuke Yamamoto, Kotaro Bannai, Nobuo Furukawa, Carlos A. R. Sa de Melo	4. 巻 4
2. 論文標題 Supersolid devil's staircases of spin-orbit-coupled bosons in optical lattices	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 L032023
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevResearch.4.L032023	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 X. Z. Liu, O. Prokhnenko, M. Bartkowiak, A. Gazizulina, D. Yamamoto, A. Matsuo, K. Kindo, K. Okada, N. Kurita, H. Tanaka	4. 巻 105
2. 論文標題 Ground state of the S=1/2 triangular lattice Heisenberg-like antiferromagnet Ba3CoSb209 in an out-of-plane magnetic field	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 214433
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.105.214433	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 Yuki Miyazaki, Giacomo Marmorini, Nobuo Furukawa, Daisuke Yamamoto	4. 巻 91
2. 論文標題 Linear Flavor-Wave Analysis of SU(4)-Symmetric Tetramer Model with Population Imbalance	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 73702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.91.073702	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 Daisuke Yamamoto, Takahiro Sakurai, Ryosuke Okuto, Susumu Okubo, Hitoshi Ohta, Hidekazu Tanaka, Yoshiya Uwatoko	4. 巻 12
2. 論文標題 Continuous control of classical-quantum crossover by external high pressure in the coupled chain compound CsCuCl3	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 4263
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-021-24542-6	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 Yoshihiro Machida, Ippei Danshita, Daisuke Yamamoto, Kenichi Kasamatsu	4. 巻 105
2. 論文標題 Quantum droplet of a two-component Bose gas in an optical lattice near the Mott insulator transition	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 L031301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.105.L031301	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 Daisuke Yamamoto, Chihiro Suzuki, Giacomo Marmorini, Sho Okazaki, Nobuo Furukawa	4. 巻 125
2. 論文標題 Quantum and Thermal Phase Transitions of the Triangular SU(3) Heisenberg Model under Magnetic Fields	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 57204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.125.057204	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 O. Prokhnenko, G. Marmorini, S. E. Nikitin, D. Yamamoto, A. Gazizulina, M. Bartkowiak, A. N. Ponomaryov, S. A. Zvyagin, H. Nojiri, I. F. Diaz-Ortega, L. M. Anovitz, A. I. Kolesnikov, A. Podlesnyak	4. 巻 103
2. 論文標題 High-field spin-flop state in green diopside	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 14427
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.014427	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 Y. Miyazaki, D. Yamamoto, G. Marmorini, N. Furukawa	4. 巻 11
2. 論文標題 Field-induced phase transitions of tetramer-singlet states in synthetic SU(4) magnets	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 025202 ~ 025202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/9.0000227	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 Daisuke Yamamoto, Takeshi Fukuhara, Ippei Danshita	4. 巻 3
2. 論文標題 Frustrated quantum magnetism with Bose gases in triangular optical lattices at negative absolute temperatures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Communications Physics	6. 最初と最後の頁 56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42005-020-0323-5	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 -

1. 著者名 Daisuke Yamamoto, Giacomo Marmorini, Masahiro Tabata, Kazuki Sakakura, Ippei Danshita	4. 巻 100
2. 論文標題 Magnetism driven by the interplay of fluctuations and frustration in the easy-axis triangular XXZ model with transverse fields	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 140410
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.100.140410	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 X. Z. Liu, O. Prokhnenko, M. Bartkowiak, Daisuke Yamamoto, N. Kurita, H. Tanaka	4. 巻 100
2. 論文標題 Microscopic evidence of a quantum magnetization process in the S=12 triangular-lattice Heisenberg-like antiferromagnet Ba3CoSb2O9	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 94436
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.100.094436	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 Nobuyuki Kurita, Daisuke Yamamoto, Takuya Kanekasa, Nobuo Furukawa, Seiko Ohira-Kawamura, Kenji Nakajima, Hidekazu Tanaka	4. 巻 123
2. 論文標題 Localized Magnetic Excitations in the Fully Frustrated Dimerized Magnet Ba2CoSi2O6Cl2	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 27206
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.123.027206	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 Tsuchiya Shunji, Yamamoto Daisuke, Yoshii Ryosuke, Nitta Muneto	4. 巻 98
2. 論文標題 Hidden charge-conjugation, parity, and time-reversal symmetries and massive Goldstone (Higgs) modes in superconductors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 094503-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.094503	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 -

〔学会発表〕 計28件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 山本大輔
2. 発表標題 SU(N)磁性と冷却原子量子シミュレータ
3. 学会等名 極限宇宙ワークショップ～実験と理論の協奏に向けて：固体物質系から量子・冷却気体系まで (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山本大輔、森田克洋
2. 発表標題 SU(N)原子気体と非一様外場を用いた光格子量子シミュレータの効率的冷却
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 山本大輔、森田克洋
2. 発表標題 SU(N)磁性を用いた強相関電子系量子シミュレータの断熱冷却
3. 学会等名 第18回量子スピン系研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本大輔、馬場圭都、Giacomo Marmorini
2. 発表標題 大域的操作によるスパイラル観測基底を用いた光格子系の密度行列再構築
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 山本大輔、古谷峻介
2. 発表標題 一次元光格子中SU(3)冷却原子気体における外場効果とスピンネマティック液体
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 Daisuke Yamamoto
2. 発表標題 Supersolid Devil's staircases of spin-orbit-coupled bosons in optical lattices
3. 学会等名 Connections between cold atoms and nuclear matter: From low to high energy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本大輔、櫻井敬博、大久保晋、太田仁、田中秀数、上床美也
2. 発表標題 Pressure effects on the magnetic transition temperature of CsCuCl ₃ : CMF+TPQ analysis
3. 学会等名 第17回量子スピン系研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本大輔、伴内光太郎、古川信夫、Carlos Sa de Melo
2. 発表標題 スピン軌道相互作用する光格子中ボース気体における「悪魔の階段」超固体
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本大輔
2. 発表標題 強磁場と異方性による三角格子反強磁性体の多彩な磁気相と圧力による量子性の制御
3. 学会等名 第10回強磁場コラボラトリーオンラインセミナー (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本大輔、坪井佑介、櫻井敬博、大久保晋、太田仁
2. 発表標題 結合スピン鎖三角格子反強磁性体CsCuCl ₃ の圧力による次元性と熱揺らぎの変化
3. 学会等名 日本物理学会2022年（第77回）年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本大輔
2. 発表標題 圧力を用いた結合スピン鎖物質の量子性の制御：CsCuCl ₃ の場合
3. 学会等名 第4回スピン系物理研究会「スピン系研究の開拓前線」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本大輔、Giacomo Marmorini、古川信夫
2. 発表標題 三角光格子中のSU(3) Fermi原子気体における磁場効果とゆらぎによる秩序化
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 山本大輔、櫻井敬博、大久保晋、太田仁
2. 発表標題 三角格子反強磁性体CsCuCl ₃ の高圧下磁化過程に対する理論解析と量子性の制御II
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 山本大輔
2. 発表標題 磁場中SU(3) Heisenberg模型の量子相と隠れたネマティック性を持つスピンドイポール秩序
3. 学会等名 オンラインCMTセミナー（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本大輔
2. 発表標題 高压下における三角格子反強磁性体CsCuCl ₃ の量子磁化プラトーとその発現機構
3. 学会等名 神戸大学物性実験研究室セミナー（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本大輔
2. 発表標題 SU(3)スピン模型におけるネマティックなスピンドイポール秩序
3. 学会等名 第15回量子スピン系研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Daisuke Yamamoto
2. 発表標題 Magnetic Phase Diagram of the SU(3) Heisenberg Model with Ultracold Fermions in a Triangular Optical Lattice
3. 学会等名 14th Asia-Pacific Physics Conference, Borneo Convention Centre Kuching, Sarawak, Malaysia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Daisuke Yamamoto
2. 発表標題 Quantum Simulation of Frustrated Quantum Magnetism with Bose Gases at Negative Absolute Temperatures
3. 学会等名 The Fourth Kyoto-Beijing-Tokyo Workshop on Ultracold Atomic Gases, Kyoto University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Daisuke Yamamoto, Takeshi Fukuhara, Ippei Danshita
2. 発表標題 Synthetic Frustrated Quantum Systems with Bose Gases in Triangular Lattices at Negative Absolute Temperatures
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES 2019), Okayama Convention Center, Okayama (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Daisuke Yamamoto, Takeshi Fukuhara, Ippei Danshita
2. 発表標題 Theoretical Modeling of Cold-Atom Simulations for Frustrated Quantum Magnetism
3. 学会等名 IAS Workshop on Quantum Simulation of Novel Phenomena with Ultracold Atoms, Hong Kong, China (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本大輔、櫻井敬博、奥藤涼介、大久保晋、太田仁
2. 発表標題 三角格子反強磁性体CsCuCl ₃ の高圧化磁化過程に対する理論解析と量子性の制御
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本大輔、鈴木千尋、古川信夫
2. 発表標題 SU(N) Heisenberg模型における磁化過程と揺らぎによる秩序化
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Daisuke Yamamoto
2. 発表標題 Synthetic triangular antiferromagnets with ultracold fermions in optical lattices
3. 学会等名 Tensor Network States: Algorithms and Applications (TNSAA), R-CCS Kobe, Japan, December 2018. (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daisuke Yamamoto, Giacomo Marmorini, Masahiro Tabata, Kazuki Sakakura, Ippei Danshita
2. 発表標題 Quantum frustrated magnetism with fermions in triangular optical lattices: Theoretical proposal and prediction
3. 学会等名 ITAMP Harvard Workshop, Fermions in Optical Lattices, October 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daisuke Yamamoto, Giacomo Marmorini, Masahiro Tabata, Ippei Danshita
2. 発表標題 Novel Quantum and Thermal Phase Transitions of Easy-Axis Triangular Antiferromagnets in a Transverse Field
3. 学会等名 International Conference on Magnetism (ICM2018), W4-04, San Francisco, USA, July 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daisuke Yamamoto, Giacomo Marmorini, Masahiro Tabata, Ippei Danshita
2. 発表標題 Synthetic Frustrated Antiferromagnets with Coherently-Coupled Binary Fermi Gases in a Triangular Optical Lattice
3. 学会等名 International Conference on Atomic Physics (26th ICAP), #170, Barcelona, Spain, July 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本大輔、福原武、段下一平
2. 発表標題 三角光格子中の負温度フラストレートBose原子気体の量子相転移
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会、領域1, 15pF202-5、九州大学、2019年3月
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本大輔、Giacomo Marmorini、田畑雅博、坂倉和樹、段下一平
2. 発表標題 横磁場中の容易軸三角格子反強磁性体における量子揺らぎ誘起再配向転移と2段階熱的融解転移
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会、領域3, 10pC201-9、同志社大学、2018年9月
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

山本研究室 https://www.phys.chs.nihon-u.ac.jp/yamamoto/ Daisuke Yamamoto's web page https://sites.google.com/site/daisukeyamamoto624/home
--

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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			
米国	Georgia Institute of Technology			
ドイツ	Helmholtz-Zentrum Berlin			