

令和 4 年 6 月 9 日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01183

研究課題名(和文) 対称性が自発的に破れた二次元反強磁性体のマグノン励起とスピノン励起の数値解析

研究課題名(英文) Magnon excitations vs. spinon excitations in spontaneously symmetry broken antiferromagnets in two dimensions

研究代表者

柚木 清司 (Yunoki, Seiji)

国立研究開発法人理化学研究所・開拓研究本部・主任研究員

研究者番号：70532141

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：正方格子および三角格子上に定義されたSU(2)対称なスピン $S=1/2$ 反強磁性ハイゼンベルグ模型の中で、特に基底状態がネール秩序を示す幾つかの関連する模型に対して、数値的計算手法を駆使して磁気励起スペクトル計算を実行した。その結果、コヒーレントなマグノン励起の消失やインコヒーレントな高エネルギー励起の存在など、スピン波理論に基づき単純なマグノン励起では説明できない特徴を明らかにした。さらに得られた計算結果と幾つかの二次元物質に対する実験との定量的な比較を行い良い一致が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

最近接相互作用のみを持つ正方格子スピン $S=1/2$ 反強磁性ハイゼンベルグ模型など基底状態が自発的対称性が破れたSU(2)対称なスピン $S=1/2$ 反強磁性ハイゼンベルグ模型の磁気励起はスピン波理論を基とする $S=1$ マグノン励起で記述できると考えられている。これは低エネルギー領域では正しいが高エネルギー領域では必ずしも正しいわけではない。最新の数値計算を駆使することにより、このことを示す計算結果が提供できた。

研究成果の概要(英文)：We have performed various numerical simulations to evaluate magnetic excitation spectrum for SU(2) symmetric spin  $S=1/2$  antiferromagnetic Heisenberg models on the square and triangular lattices, where the ground states are spontaneously symmetry broken to show Neel orders. We have found some indications for the absence of well defined coherent magnon excitations and the existence of incoherent excitations continuing unto very high energy, which are not simply explained by the spin wave theory. Furthermore, we have compared our numerical results with several experiments and found a good quantitative agreement.

研究分野：物性物理学

キーワード：磁気励起 数値計算

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。

## 1. 研究開始当初の背景

一般的に、SU(2)対称性が自発的に破れた  $S=1/2$  反強磁性ハイゼンベルグ模型の励起ダイナミクスはスピン波理論に基づくマグノン励起で記述できると考えられている。ところが、最近の中性子散乱実験ではそれに反する結果が報告されている。例えば、 $120^\circ$ ネール秩序を示す三角格子物質  $\text{Ba}_3\text{CoSb}_2\text{O}_9$  では、その磁気励起スペクトルがスピン波理論では全く説明できない。また、ネール秩序を示す正方格子物質  $\text{Cu}(\text{DCOO})_2 \cdot 4\text{D}_2\text{O}$  に対する中性子散乱実験は、波数  $\mathbf{k}=(\pi,0)$  でのインコヒーレント励起の起源がスピノン励起 ( $S=1/2$  の分数励起) であると主張している。さらに、正方格子物質に関しては、銅酸化物高温超伝導体母物質を中心として以前から、波数  $\mathbf{k}=(\pi,0)$  の励起スペクトルが、マグノンの励起を示す  $\mathbf{k}=(\pi/2,\pi/2)$  に比べて、非対称的で非常にブロードになることが知られており、その起源は謎のままである。

一方、二次元  $S=1/2$  反強磁性ハイゼンベルグ模型の磁気励起ダイナミクスに関する理論的研究は非常に限定的である。しかしながら、計算機性能の向上と新たな数値計算手法の開発にともなって、最近、状況が急変している。QMC 法は幾何学的フラストレーションがない系に対しては最も強力な手法である。しかし、虚時間相関関数から励起スペクトルを得るために通常 maximum entropy 法等が用いられるため、その精度は十分とは言えず、励起スペクトルのラインシェイプ等の解析は困難であった。しかし、近年、連携研究者の Mishchenko により stochastic optimization (SOM)法という新しい方法が提案され成功をおさめている。この法により MEM が苦手であったデルタ関数的なピークの記述やピーク幅等が統計誤差を含めて評価出来るようになった。一方で、QMC 法は幾何学的フラストレーションがある系に対しては負符号問題のため不適である。そのような系に対しては DMRG 法が非常に有効である。実際、(擬)一次元系に対する励起ダイナミクス解析において成功を納めている。さらに、近年の計算機性能の向上にともない二次元系に対する励起ダイナミクスの計算も現実的となってきた。我々も、DMRG 法の大規模並列化に成功しており、量子スピン系に対しては数百サイト程度の励起ダイナミクス計算も現実的な計算時間で精度よく計算可能になった。つまり、これらの最新の数値計算手法を駆使することにより、二次元  $S=1/2$  反強磁性ハイゼンベルグ模型の磁気励起ダイナミクスを系統的に調べることができる状況になった。

## 2. 研究の目的

正方格子および三角格子上に定義された SU(2)対称なスピン  $S=1/2$  反強磁性ハイゼンベルグ模型の中で、特に基底状態がネール秩序を示す幾つかの関連する模型に対して、数値的計算手法を駆使して磁気励起スペクトル計算を実行し、コヒーレントなマグノン励起が消失、インコヒーレントな高エネルギー励起中にスピン  $S=1/2$  を持つ分数励起 (スピノン励起) が存在、あるいはコヒーレントなマグノン励起と分数励起が共存しうることを検討する。また、幾つかの二次元物質に対する実験との定量的な比較を行う。

## 3. 研究の方法

上述したように、幾何学的フラストレーションがない系つまり正方格子  $S=1/2$  反強磁性ハイゼンベルグ模型に対しては QMC 法を用い、解析接続法として SOM 法を用いる。幾何学的フラストレーションがある系つまり三角格子  $S=1/2$  反強磁性ハイゼンベルグ模型に対しては DMRG 法を用いる。さらに計算精度を評価するために少数クラスター系に対して数値的厳密対角化法を用いる。

#### 4. 研究成果

##### (1) 正方格子 $S=1/2$ 反強磁性ハイゼンベルグ模型における励起ダイナミクス

図 1 に QMC+SOM 法で得られた波数  $\mathbf{k}=(\pi,0)$  及び  $\mathbf{k}=(\pi/2,\pi/2)$  における励起スペクトル  $S(\mathbf{k},\omega)$  を示す。ここで用いた系のサイズ  $L \times L$  は  $L=32$  で、温度  $T$  は  $\beta=1/T=32$  である。正方格子  $S=1/2$  反強磁性ハイゼンベルグ模型の基底状態は自発的対称性が破れたネール状態であり、そこからの低エネルギー励起はスピン波理論に基づ

くマグノン励起でよく記述できると考えられている。図 1 には参考のために、最低次のスピン波理論で得られたマグノンの励起エネルギーを波線で示してある。励起スペクトルはこの励起エネルギーでデルタ関数的なピークを示すことが期待されている。まずこの図を見てわかることは、波数  $\mathbf{k}=(\pi/2,\pi/2)$  における励起スペクトルに比べて波数  $\mathbf{k}=(\pi,0)$  における励起スペクトルは、ピーク構造がブロードであり高エネルギー領域までブロードなスペクトルが続いている様子がわかる。さらに、

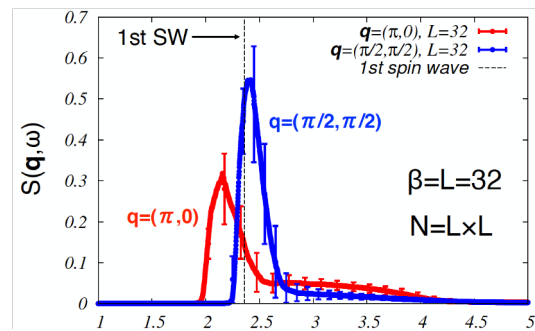


図 1: QMC+SOM 法で得られた正方格子  $S=1/2$  反強磁性ハイゼンベルグ模型に対する波数  $\mathbf{k}=(\pi,0)$  及び  $\mathbf{k}=(\pi/2,\pi/2)$  における励起スペクトル  $S(\mathbf{k},\omega)$ 。系のサイズ  $L \times L$  は  $L=32$ 、温度  $T$  は  $\beta=1/T=32$  比較のために最低次のスピン波理論で得られたマグノンの励起エネルギーを波線で示してある。

波数  $\mathbf{k}=(\pi,0)$   $[(\pi/2,\pi/2)]$  における励起スペクトルのピーク位置はマグノンの励起エネルギーより

低(高)エネルギー側にずれていることが

わかる。これらは、図 2 に示すように、

同じ QMC+SOM 法で得られた正方格子  $S=1/2$  強磁性ハイゼンベルグ模型における励起スペクトル  $S(\mathbf{k},\omega)$  の特徴と対象的である。つまり、正方格子  $S=1/2$  強磁性ハイゼンベルグ模型における波数  $\mathbf{k}=(\pi,0)$  及び  $\mathbf{k}=(\pi/2,\pi/2)$  の励起スペクトルは共にデルタ関数的なピーク構造を示し、スピン

波理論で予想されるマグノン励起エネルギーと数値的に全く同じものが得られた。

さらに、正方格子  $S=1/2$  反強磁性ハイゼ

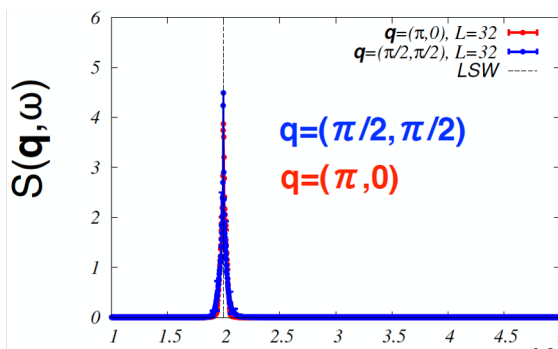


図 2: QMC+SOM 法で得られた正方格子  $S=1/2$  強磁性ハイゼンベルグ模型に対する波数  $\mathbf{k}=(\pi,0)$  及び  $\mathbf{k}=(\pi/2,\pi/2)$  における励起スペクトル  $S(\mathbf{k},\omega)$ 。その他は図 1 と同じ。

ンベルグ模型に対して励起スペクトルの系のサイズ及び温度依存性を  $L=\beta$  と固定して 2 から 64 まで系統的に調べた結果、 $\mathbf{k}=(\pi/2,\pi/2)$  における励起スペクトルの低エネルギーピーク構造は  $L=\beta$  を大きくするに従ってシャープになっていくが、 $\mathbf{k}=(\pi,0)$  における励起スペクトルの低エネ

ルギーピーク構造は  $L=\beta=8$  程度から変わらない様子が分かった。これらの結果は、 $\mathbf{k}=(\pi/2,\pi/2)$  の励起スペクトルはスピン波理論で予想されるマグノン励起スペクトルと矛盾しておらず低エネルギー励起はマグノンと考えて良いが、 $\mathbf{k}=(\pi,0)$  の励起スペクトルは単純なスピン波理論では説明できずむしろ非準粒子的なものと考えの方が自然であるということの意味している。最後

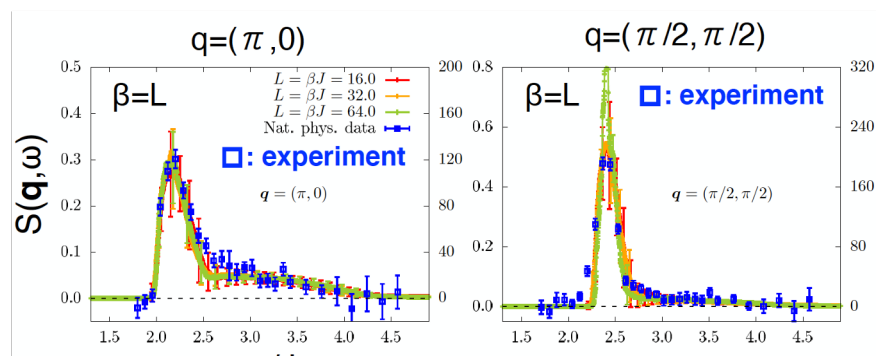


図 3: QMC+SOM 法で得られた正方格子  $S=1/2$  反強磁性ハイゼンベルグ模型に対する波数  $\mathbf{k}=(\pi,0)$ 及び  $\mathbf{k}=(\pi/2,\pi/2)$ における励起スペクトル  $S(\mathbf{k},\omega)$ と  $\text{Cu}(\text{DCOO})_2 \cdot 4\text{D}_2\text{O}$  に対する中性子散乱実験で得られた励起スペクトルの比較。実験と比べるにあたり反強磁性相互作用  $J$ は実験より見積もられた値  $J=6.11\text{meV}$  を仮定。

に、図 3 に、本研究で得られた励起スペクトルと  $\text{Cu}(\text{DCOO})_2 \cdot 4\text{D}_2\text{O}$  に対する中性子散乱実験で得られた励起スペクトルの比較を示す。このように我々の数値計算の結果は、実験結果を非常によく再現できる。

## (2) 三角格子 $S=1/2$ 反強磁性ハイゼンベルグ模型における励起ダイナミクス

精度を保った DMRG 計算を実行するために本研究では図 4 左に示すようなシリンダー境界条件 ( $x$  方向はオープン境界条件、 $y$  方向は周期境界条件) を課した  $12 \times 6$  サイトの系を取り扱っ

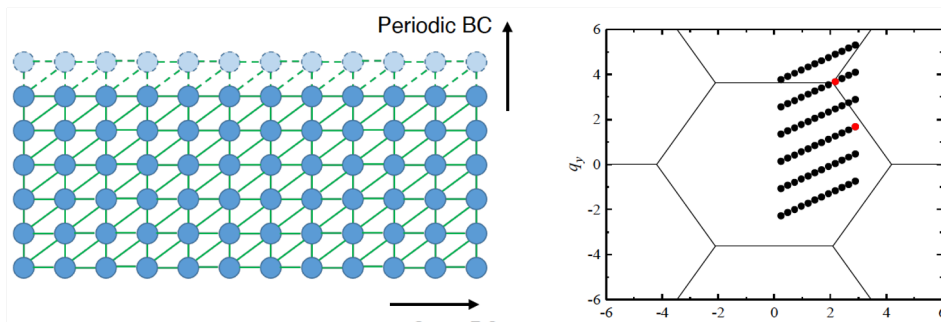


図 4: (左) 本研究で用いた  $12 \times 6$  サイト系。  $x$  方向にはオープン境界条件、  $y$  方向には周期境界条件を課してある。(右) 対応する波数空間における波数点の位置。

た。また、DMRG 計算におけるボンド次元  $m$  としては  $m=6000$  を用いた。図 4 左の系において得られる波数空間における点を図 4 右に示す。本研究では、これらの波数に対して系統的に励起スペクトル  $S(\mathbf{k},\omega)$  の計算を行った。詳細に関しては今後論文として発表する予定であるが、得られた結果は高エネルギー側の励起も含めて  $\text{Ba}_3\text{CoSb}_2\text{O}_9$  に対する中性子散乱実験結果をよく再現することが分かった。その典型例として波数が  $\text{M}$  点における励起スペクトルを図 5 に示す。オレンジで囲った低エネルギー励起は境界の影響によるものであるが、その他に特徴として三つの大きなピーク構造とインコヒーレントな励起が高エネルギー側まで続いている様子が

わかる。この特徴は、最低次のスピン波理論からは説明できず、さらに  $\text{Ba}_3\text{CoSb}_2\text{O}_9$  に対する中

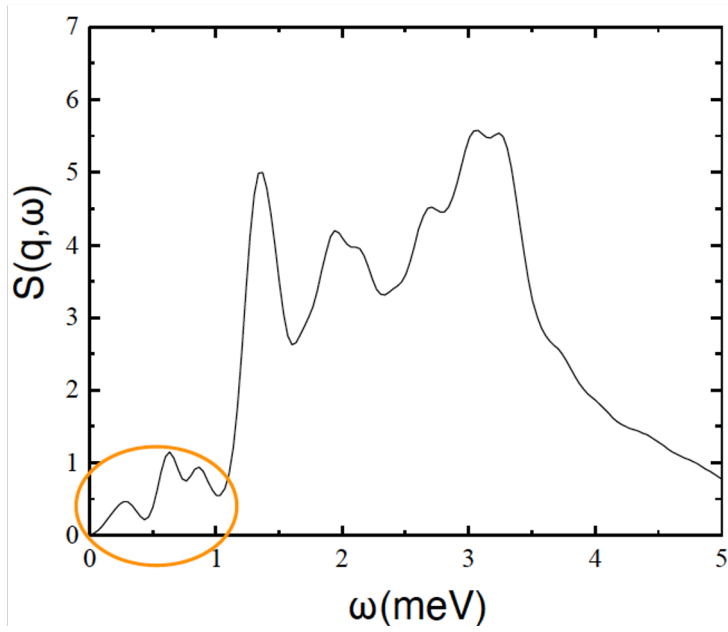


図 5: DMRG 法より得られた三角格子  $S=1/2$  反強磁性ハイゼンベルグ模型における M 点における励起スペクトル  $S(\mathbf{q}, \omega)$ 。反強磁性相互作用  $J$  は実験より見積もられた値  $J=1.67\text{meV}$  を仮定。励起スペクトルのブロードニングファクターは  $0.1J$  を使用。

性子散乱実験結果とよく一致している。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計20件（うち査読付論文 20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 T. Tohyama, M. Mori, and S. Sota	4. 巻 97
2. 論文標題 Dynamical DMRG study of spin and charge excitations in the four-leg t-t'-J ladder	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 235137/1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.97.235137	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 M. Kishimoto, K. Morita, Y. Matsubayashi, S. Sota, S. Yunoki, and T. Tohyama	4. 巻 98
2. 論文標題 Ground state phase diagram of Kitaev-Heisenberg model on honeycomb-triangular lattice	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 054411/1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.054411	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 F. Lange, S. Ejima, T. Shirakawa, S. Yunoki, and H. Fehske	4. 巻 97
2. 論文標題 Spin transport through a spin-1/2 XXZ chain contacted to fermionic leads	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 245124/1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.97.245124	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 K. Seki, T. Shirakawa, and S. Yunoki	4. 巻 98
2. 論文標題 Variational cluster approach to thermodynamic properties of interacting fermions at finite temperatures: A case study of the two-dimensional single-band Hubbard model at half filling	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 205114/1-37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.205114	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 C. C. Chang, A. Gambhir, T. S. Humble, and S Sota	4. 巻 9
2. 論文標題 Quantum annealing for systems of polynomial equations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 10258
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-46729-0	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 K. Shinjo, K. Sasaki, S. Hase, S. Sota, S. Ejima, S. Yunoki, and T. Tohyama	4. 巻 88
2. 論文標題 Machine learning phase diagram in the half-filled one-dimensional extended Hubbard model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 65001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.065001	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 A. Masaki-Kato, S. Yunoki, and D. S. Hirashima	4. 巻 100
2. 論文標題 Quantum Monte Carlo study of the superfluid density in quasi-one-dimensional systems of hardcore bosons: Effect of the suppression of phase slippage	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 224515
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.100.224515	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 Y. Kawasaki, K. Seki, S. Tajima, J. Pu, T. Takenobu, S. Yunoki, H. M. Yamamoto, and R. Kato	4. 巻 5
2. 論文標題 Two-dimensional ground-state mapping of a Mott-Hubbard system in a flexible field-effect device	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eaav7282
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.aav7282	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 H. Watanabe, H. Seo, and S. Yunoki	4. 巻 10
2. 論文標題 Mechanism of superconductivity and electron-hole doping asymmetry in $d$ -type molecular conductor	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 3176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-11022-1	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 Y. Kawasaki, K. Seki, J. Pu, T. Takenobu, S. Yunoki, H. M. Yamamoto, and R. Kato	4. 巻 100
2. 論文標題 Non-Fermi-liquid behavior and doping asymmetry in an organic Mott insulator interface	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 115141
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.100.115141	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 K. Seki, T. Shirakawa, and S. Yunoki	4. 巻 101
2. 論文標題 Symmetry-adapted variational quantum eigensolver	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 52340
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.101.052340	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 K. Seki and S. Yunoki	4. 巻 101
2. 論文標題 Thermodynamic properties of an $S=1/2$ ring-exchange model on the triangular lattice	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 235115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.235115	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 K. Sasaki, T. Sugimoto, T. Tohyama, and S. Sota	4. 巻 101
2. 論文標題 Magnetic excitations in magnetization plateaus of a frustrated spin ladder	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 144407
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.144407	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 M. Fujihala, K. Morita, R. Mole, S. Mitsuda, T. Tohyama, S. Yano, D. Yu, S. Sota, T. Kuwai, A. Koda, H. Okabe, H. Lee, S. Itoh, T. Hawai, T. Masuda, H. Sagayama, A. Matsuo, K. Kindo, S. Ohira-Kawamura, and K. Nakajima	4. 巻 11
2. 論文標題 Gapless spin liquid in a square-kagome lattice antiferromagnet	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature communications	6. 最初と最後の頁 3429
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-17235-z	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 B. H. Kim, S. Sota, T. Shirakawa, S. Yunoki, and Y.-W. Son	4. 巻 102
2. 論文標題 Proximate Kitaev system for an intermediate magnetic phase in in-plane magnetic fields	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 140402
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.140402	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 T. Tohyama, S. Sota, and S. Yunoki	4. 巻 89
2. 論文標題 Spin dynamics in the t-t'-J model: Dynamical density-matrix renormalization group study	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 124709
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.124709	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 K. Shinjo, S. Sota, and T. Tohyama	4. 巻 103
2. 論文標題 Effect of phase string on single-hole dynamics in the two-leg Hubbard ladder	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 35141
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.035141	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 K. Takada, S. Sota, S. Yunoki, B. Pokharel, H. Nishimori, and D. A. Lidar	4. 巻 3
2. 論文標題 Phase transitions in the frustrated Ising ladder with stoquastic and nonstoquastic catalysts	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 43013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.3.043013	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 K. Morita, S. Sota, and T. Tohyama	4. 巻 4
2. 論文標題 Resonating dimer-monomer liquid state in a magnetization plateau of a spin-1/2 kagome-strip Heisenberg chain	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Communications Physics	6. 最初と最後の頁 161
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42005-021-00665-6	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 K. Morita, S. Sota, and T. Tohyama	4. 巻 104
2. 論文標題 Magnetic phase diagrams of the spin-1/2 Heisenberg model on a kagome-strip chain: Emergence of a Haldane phase	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 224417
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.224417	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15件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 柚木清司
2. 発表標題 スピン1/2三角格子Heisenberg反強磁性体の磁気励起：数値計算による解析
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会(シンポジウム講演) (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Sota, T. Tohyama, and S. Yunoki
2. 発表標題 Massively parallel density matrix renormalization group method algorithm for two-dimensional strongly correlated systems and its applications
3. 学会等名 The 1st International R-CCS Symposium
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Yunoki
2. 発表標題 Spin dynamics in two-dimensional S=1/2 antiferromagnet fate of single magnon excitations
3. 学会等名 Workshop Quantum Many body States 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 曾田繁利, 白川知功, 柚木清司, 遠山貴己
2. 発表標題 三角格子量子スピン系Ba3CoSb2O9の非弾性中性子散乱の解析
3. 学会等名 H30年度ポスト「京」重点課題(7)第3回CDMSI研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Sota, T. Shirakawa, T. Tohyama, and S. Yunoki
2. 発表標題 Dynamical DMRG study of excitation dynamics of triangular lattice antiferromagnetic Heisenberg models
3. 学会等名 TNSAA 2018-2019
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 曾田繁利, 柚木清司, 遠山貴己
2. 発表標題 三角格子反強磁性Heisenberg模型における量子スピン液体状態とスピン励起ダイナミクス
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 白川知功, 曾田繁利, 柚木清司, 遠山貴己
2. 発表標題 三角格子ハイゼンベルグ模型の動的スピン構造因子
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 S. Sota, T. Shirakawa, S. Yunoki, and T. Tohyama
2. 発表標題 Dynamical DMRG Study of Spin Excitation Dynamics on the Triangular Lattice Antiferromagnetic Heisenberg model
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 曾田繁利
2. 発表標題 密度行列繰り込み群法による強相関量子ダイナミクスシミュレータの開発と応用
3. 学会等名 第6回「京」を中核とするHPCIシステム利用研究課題成果報告会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 曾田繁利、白川知功、柚木清司、遠山貴巳
2. 発表標題 動的密度行列繰り込み群法による三角格子反強磁性ハイゼンベルク模型の励起ダイナミクスの解析
3. 学会等名 第6回「京」を中核とするHPCIシステム利用研究課題成果報告会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 曾田繁利
2. 発表標題 大規模並列密度行列繰り込み群法の開発と量子ダイナミクスへの応用
3. 学会等名 物性研究所スパコン共同利用・CCMS合同研究会「計算物質科学の新展開」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 曾田繁利、遠山貴巳、白川知功、柚木清司
2. 発表標題 動的密度行列繰り込み群法による三角格子反強磁性ハイゼンベルク模型の励起ダイナミクスの解析
3. 学会等名 第7回「京」を中核とするHPCIシステム利用研究課題 成果報告会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 遠山貴巳、曾田繁利、柚木清司
2. 発表標題 銅酸化物高温超伝導体の磁気励起：動的密度行列繰り込み群法による $t-t'-J$ 模型の動的スピン構造因子の計算
3. 学会等名 第7回「京」を中核とするHPCIシステム利用研究課題 成果報告会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森田克洋、曾田繁利、遠山貴巳
2. 発表標題 kagome strip鎖における磁化プラトーを示す量子スピン液体状態
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 曾田繁利、遠山貴巳、白川知功、柚木清司
2. 発表標題 動的密度行列繰り込み群法による三角格子反強磁性ハイゼンベルク模型の励起ダイナミクスの解析
3. 学会等名 第8回「京」を中核とするHPCIシステム利用研究課題 成果報告会
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
研究分担者	白川 知功  (Shirakawa Tomonori)  (40571237)	国立研究開発法人理化学研究所・計算科学研究センター・研究員    (82401)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	曾田 繁利  (Sota Shigetoshi)  (60466414)	国立研究開発法人理化学研究所・計算科学研究センター・研究員    (82401)	
研究分担者	正木 晶子  (Masaki Akiko)  (00620717)	国立研究開発法人理化学研究所・計算科学研究センター・研究員    (82401)	削除：2018年7月4日

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