

1 2023年度 研究活動 報告

1.1 桂研究室

物性理論・統計力学の基礎的な問題に関する理論的研究を行っている。特に、相関の強い多体系における創発的な物性の解明および予言を目指している。またこれらの系に対して、平均場近似などの従来の手法や、場の理論的手法、数値的対角化などを組み合わせて多角的にアプローチしている。同時に、平衡および非平衡量子多体系や可解模型に関する数理論理学的研究も行っている。

1.1.1 強相関系

SU(N) Hubbard 模型および近藤格子模型における平坦バンド強磁性の一般論

近年、冷却原子系の実験技術の向上により様々な量子系のシミュレーションが可能となっている。冷却原子系を用いることで、従来知られていた模型のシミュレーションができるだけでなく、これまで物質中には見られなかったような系も実現可能である。そのような系のひとつに、光学格子中の SU(N) 対称性を持つ N 成分フェルミオン系がある。この系は SU(N) Hubbard 模型でよく記述され、これは固体中の強相関電子系を記述する SU(2) Hubbard 模型の一般化とみなせる。冷却原子系を用いた SU(N) 対称なフェルミオン系の実現を契機に、SU(N) Hubbard 模型への理論的な関心も増しており、新奇な相を示すことなどが期待されている。

一方で、SU(N) Hubbard 模型の解析は一般に困難であり、特に数学的に厳密な結果に注目すると、SU(2) Hubbard 模型と比較してもそのような結果は少数に限られている。例えば SU(2) Hubbard 模型で知られている厳密な結果の一つに、平坦バンド強磁性が挙げられる。平坦バンドとは巨視的な縮退を持つ一体のエネルギースペクトル構造のことを指し、平坦バンド強磁性とはこの巨視的な縮退に由来して、多体系の基底状態が強磁性を示すことである。特に SU(2) の場合、一般的な平坦バンドを持つ Hubbard 模型の強磁性に関する一般論が確立されており、強磁性を示すための必要十分条件が得られていた。しかしこれに対応する SU(N) Hubbard 模型における平坦バンド強磁性の一般論は確立されていなかった。

田村と桂は、一体のエネルギースペクトルの最低エネルギーに縮退がある SU(N) Hubbard 模型を考え、平坦バンド強磁性の一般論を確立した。その結果、一体の最低エネルギー状態への射影行列がある種の既約性を満たすことが、SU(N) 強磁性の発現の必要十分条件であることが証明された。さらにこの結果が、SU(N) 強磁性近藤格子模型にも適用可能であることを見出した。具体的には一体のエネルギースペクトルに縮退があるような SU(N) 近藤格子模型を考える。この時、上述の射影行列の既約性が満たされ、かつ一体の最低エネルギー固有状態全体が考えている格子を覆える場合に SU(N) 強磁性が現れることが厳密に証明された。これらの結果は原著論文 [2] にまとめられた。

SU(N) Hubbard 模型における resonating-flavor-singlet 状態

Hubbard 模型における厳密な結果として、長岡の定理が古くから知られている。この定理の帰結である長岡強磁性とは、オンサイト斥力が無限大の系にひとつホールを導入した場合に、基底状態が強磁性になることを指す。通常のホッピングの符号が正の Hubbard 模型に対しては、この定理は格子が二部グラフでない場合には適用できない。しかしこのような二部グラフでない格子上の Hubbard 模型に対しても、ある種のクラスの格子については厳密な結果を得ることができる。SU(2) Hubbard 模型については、例えばデルタ鎖や伏見カクタスと呼ばれる格子上の基底状態がスピン一重項であり、resonating-valence-bond (RVB) 状態であることを示すことができる [K.-S. Kim, Phys. Rev. B **107**, L140401 (2023)]。

Kim (Stanford 大) と桂は、この結果を SU(N) Hubbard 模型に拡張した。具体的には、connectivity condition と呼ばれる条件を満たす N サイトの部分グラフからなるツリー状のグラフを考えた場合、基底状態が SU(N) 一重項であり、SU(2) の場合の RVB 状態の自然な拡張 (resonating flavor singlet 状態) であることを、Perron-Frobenius の定理などを用いて明らかにした。また、この結果は SU(N) t - J 模型やその拡張に対しても、同様に成立することを明らかにした。これらの結果は、国際学会 [35] で発表されたほか、原著論文 [8] にまとめられた。

1.1.2 トポロジカル磁性

空間反転対称な遍歴磁性体におけるスカラースピ ンカイラリティの光制御

磁気スキルミオンをはじめとする非共面的・非共線的なスピントクスチャとその創発磁場がもたらす新物性が広く関心を集めている。そのような磁気構造はスカラースピ
ンカイラリティ等で特徴付けられ、空間反転対称性のない系で存在する Dzyaloshinskii-

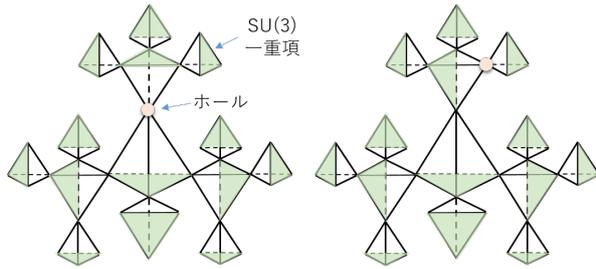


図 1.1.1: 伏見カクタス上のホールと SU(3) 一重項の配置の例

守谷相互作用等の反対称相互作用によって安定化されることが知られている。また、空間反転対称性を持つ磁性体においても、幾何学的フラストレーションやフェルミ面の不安定性に起因してスキルミオン結晶相やスカラースピカイラル相が現れることが示されている。近年、これらのスピネクスタの光制御の可能性についても盛んに議論されており、レーザー光の加熱効果を利用したスキルミオン生成等が提案・報告されている。しかしながら、これらの多くは反対称相互作用の存在が本質的であり、空間反転対称性を持つ系におけるスピネクスタの光制御に関する研究はほとんどなされていない。

赤城と小野(東北大)は、空間反転対称性を持つ三角格子上の強磁性近藤格子模型において、テラヘルツ電場の印加によって誘起される実時間ダイナミクスの数値解析を行った。ここで、ハミルトニアンは伝導電子のホッピング項ならびに伝導電子と古典局在スピンの間の強磁性交換相互作用項のみからなり、外部電場は伝導電子系のパイエルズ位相として取り入れられる。結果として、強磁性金属相の基底状態を初期状態として直流電場を印加した場合は、およそ数百フェムト秒に相当する時間スケールで強磁性秩序が融解し、その後数ピコ秒でスカラースピカイラル状態 [図 1.1.2 参照] や 120 度ネール状態が現れることが見出された。また、この非平衡スカラーカイラル状態においては、カイラリティの符号が円偏光の左右によって制御できることも明らかになった。これらの非平衡状態における磁気構造は、電場により駆動された電子の非平衡分布によって安定化され、反対称相互作用を必要としない。このことは、空間反転対称な遍歴磁性体がスピネクスタの高速光制御の有望な舞台となる可能性を示唆している。これらの成果は論文 [3] にまとめられた。

量子ダイマー磁性体における電場誘起のトリプロンの熱ホール効果

近年、磁性体における熱ホール効果がマグノンなどの素励起の性質の探索、特にバンド構造のトポロジーの検出に有用であることから注目集めている。量子ダイマー磁性体においても、トリプロン励起由来の熱ホール効果の理論提案が主に $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ と

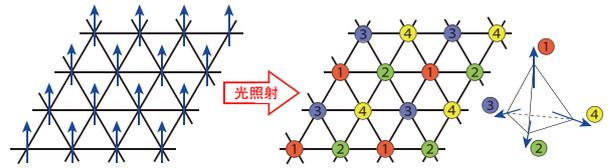


図 1.1.2: 強磁性金属相への光照射で誘起されるスカラースピカイラル状態

いう物質に対して行われてきた。しかし、トリプロンの熱ホール効果はいまだに観測されていない。

そこで、江崎・赤城・桂は新たな候補物質としてトリプロンの Bose 凝縮や電気磁気効果の観点から注目されてきた量子ダイマー磁性体 $X\text{CuCl}_3$ ($X = \text{Tl}, \text{K}$) の Bose 凝縮相を対象に、トリプロンの熱ホール効果の可能性を探索した。その結果、電場が 0 の時には対称性から熱ホール効果が生じないが、電場がその対称性を破ることで、観測可能な大きさの熱ホール効果を誘起できることを見出した。また、電場の向きや大きさを変化させることで、熱ホール流の向きや大きさを制御できることも見出した。これらの成果は、国際学会 [22, 27, 29, 30, 33] および国内学会 [60] で発表されたほか、プレプリント [9] にまとめられた。また、江崎は、これらの結果を修士論文としてまとめた [10]。

1.1.3 散逸のある量子多体系

開放量子多体系における定常状態の一意性

開放量子系とは、外部の環境と相互作用する系である。外部との相互作用は系に散逸を引き起こし、十分時間が経つと、系は定常状態に落ち着く。定常状態の性質は、開放量子系における最も基本的な性質のひとつである。中でも、定常状態の縮退度は様々な先行研究によって調べられており、例えば系の対称性によって定常状態に縮退が出ることが知られている。一方で、定常状態が一意であるための条件には未解明な点が残っている。

そこで吉田は、定常状態が一意であるための十分条件と、その証明を与えた。この十分条件は先行研究と比較し、定常状態に対する事前の知識を必要としないことや、証明は先行研究と比べて簡単であり、初等的な線形代数の知識で理解できるといった利点がある。また、この十分条件の有用性を示すために、散逸のある横磁場 Ising 模型や XYZ 模型、tight-binding 模型といった量子多体系の典型的な例に対する応用も示した。これらの結果は国際学会 [13, 26, 28] および国内学会 [44, 46, 58] で発表されたほか、原著論文 [7] にまとめられた。

非エルミートなフェルミオン 2 次形式のジョルダン分解

非エルミートなフェルミオン 2 次形式は、散逸のある自由フェルミオン系のダイナミクスを記述する際に自然に現れるもので、一見単純に見えるが、その非エルミート性に由来して高次の例外点など非自明な構造を持ちうる。このような非エルミートなフェルミオン 2 次形式が、どのようなジョルダンブロックに分かれるかということに関して、Prosen による予想 [T. Prosen, J. Stat. Mech. **2010** P07020 (2010)] があったが、この予想の厳密な証明はなかった。

北浜と吉田、桂は、豊田 (Texas A & M 大学) と、この Prosen の予想を証明した。証明の鍵となるのは、非エルミートなフェルミオン 2 次形式のべき零部分が sl_2 リー代数の生成子のひとつとみなせる点である。このリー代数を閉じる残りの二つの演算子を明示的に構成することで、固有空間の次元、すなわちジョルダンブロックの数を sl_2 代数の既約表現の次元に関連づけることができる。より一般的に、組合せ論における既知の結果を適用することで、広義固有空間の次元を q -二項係数の係数を用いて明示的に得ることができる。これらの結果は散逸系に限らず、非エルミートなフェルミオン 2 次形式一般に広く適用可能である。例えば、(ランダムポテンシャルのない) 片方向 Hatano-Nelson 模型の多体のハミルトニアンジョルダン分解にも直接適用できる。これらの成果は、国際学会 [15, 19, 24, 25, 31, 43] および国内学会 [47, 64] で発表されたほか、論文 [5] にまとめられた。

1.1.4 数理物理学・統計力学

多体相互作用を持つスピン鎖における量子多体傷跡状態

孤立量子多体系における熱化 (もしくは平衡化) の問題は、ミクロな量子力学とマクロな統計力学を繋ぐ非常に重要な問題として、長年精力的に調べられている。可積分系や多体局在系、ヒルベルト空間の断片化といった特別な構造を持たない通常の量子多体系の熱化過程は、全てのエネルギー状態が熱的状态であるという仮説 (固有状態熱化仮説) をもとに説明されていた。ところが、そのような特別な構造を持たない量子多体系であっても、量子多体傷跡状態 (Quantum Many-Body Scars; QMBS) と呼ばれる非熱的状态を持つ系が存在することが実験的・理論的に示され、現在活発に研究されている。

真田と桂は Yuan Miao (IPMU) とともに、QMBS を持つ系を系統的に構成する方法を二つ提案した。ひとつは可積分境界状態とよばれる可積分系の奇数次の保存量の固有状態を利用する方法であり、もうひとつは制限スペクトル生成代数のような既存の方法の拡張に基づく方法である。最初の方法により、ラストレーションフリー系の典型例である Majumdar-Ghosh 模型や Affleck-Kennedy-Lieb-Tasaki 模型の基底状態が QMBS として現れる模型を構成するこ

とができた。これらの模型のハミルトニアンは、三体相互作用のひとつであるスカラースピカイラリティを含む。またより高次の相互作用を含む模型を無限に構成できることを明らかにした。第二の方法では、1 次元と 2 次元の両方でスカラースピカイラリティを含むスピン 1 模型の大きなクラスを構築することができた。さらに、この方法で構成した模型の中には複数個の QMBS を持つものがあり、それらの QMBS を初期状態とするダイナミクスは熱平衡状態に緩和せず、周期的に振動する振る舞いを示すことを明らかにした。これらの結果は、国際学会 [17, 32, 39] および国内の学会・研究会 [48, 54, 65] で発表されたほか、原著論文 [4] にまとめられた。

<受賞>

- [1] Hironobu Yoshida: Uniqueness of the steady state in various GKSL equations, Best Poster Award, PHYSICS OF OPEN SYSTEMS AND BEYOND, Satellite Meeting of STATPHYS28

<報文>

(原著論文)

- [2] Kensuke Tamura and Hosho Katsura: Flat-band ferromagnetism in the $SU(N)$ Hubbard and Kondo lattice models, J. Phys. A **56**, 395202 (2023).
- [3] Atsushi Ono and Yutaka Akagi: Photocontrol of spin scalar chirality in centrosymmetric itinerant magnets, Phys. Rev. B **108**, L100407 (2023).
- [4] Kazuyuki Sanada, Yuan Miao, and Hosho Katsura: Quantum many-body scars in spin models with multibody interactions, Phys. Rev. B **108**, 155102 (2023).
- [5] Shunta Kitahama, Hironobu Yoshida, Ryo Toyota, and Hosho Katsura: Jordan Decomposition of Non-Hermitian Fermionic Quadratic Forms, J. Stat. Mech. **2024**, 013101 (2024).
- [6] Md. Maruf Hossain, Nanse Esaki, and Hirofumi Sakai: All-optical three-dimensional orientation of asymmetric-top molecules with combined linearly and elliptically polarized two-color laser fields, Phys. Rev. A **108**, 063109 (2023).
- [7] Hironobu Yoshida: Uniqueness of steady states of Gorini-Kossakowski-Sudarshan-Lindblad equations: a simple proof, Phys. Rev. A **109**, 022218 (2024).
- [8] Kyung-Su Kim and Hosho Katsura, Exact hole-induced $SU(N)$ flavor singlets in certain $U = \infty$ $SU(N)$ Hubbard models, Phys. Rev. Research **6**, 013307 (2024).
- [9] Nanse Esaki, Yutaka Akagi, and Hosho Katsura: Electric field induced thermal Hall effect of triplons in the quantum dimer magnets $X\text{CuCl}_3$ ($X = \text{Ti, K}$), Preprint (2023). arXiv:2309.12812

(学位論文)

- [10] 江崎蘭世: Theoretical Studies of the Electric Field Induced Thermal Hall Effect in Quantum Dimer Magnets (修士論文).
- [11] 野下隼: 複数の欠陥がある自由フェルミオン鎖でのエンタングルメントエントロピー (修士論文).
- [12] 真田兼行: Construction of Quantum Many-Body Scars in Spin Models with Multibody Interactions (博士論文).
- (著書)
- <学術講演>
- (国際会議)
- 一般講演
- [13] Hironobu Yoshida: The uniqueness of the steady-state solution of the Lindblad equation, *OpenQMBP2023: New perspectives in the out-of-equilibrium dynamics of open many-body quantum systems*, Paris, France, June 2023.
- [14] Hironobu Yoshida: Exact analysis of the Liouvillian gap for the $SU(N)$ Fermi-Hubbard model with two-body loss, *OpenQMBP2023: New perspectives in the out-of-equilibrium dynamics of open many-body quantum systems*, Paris, France, June 2023.
- [15] Shunta Kitahama: Jordan Decomposition of Non-Hermitian Fermionic Quadratic Forms, *OpenQMBP2023: New perspectives in the out-of-equilibrium dynamics of open many-body quantum systems*, Paris, France, June 2023.
- [16] Hoshio Katsura (Dirk Schuricht): Constructing frustration-free models via Witten's conjugation, *StatPhys28*, Tokyo, Aug. 2023.
- [17] Kazuyuki Sanada (Yuan Miao, Hoshio Katsura): Quantum many-body scars in spin models with multi-body interactions, *StatPhys28*, Tokyo, Aug. 2023.
- [18] Hironobu Yoshida (Hoshio Katsura): Liouvillian gap and single spin-flip dynamics in the dissipative Fermi-Hubbard model, *StatPhys28*, Tokyo, Aug. 2023.
- [19] Shunta Kitahama (Ryo Toyota, Hironobu Yoshida, Hoshio Katsura): General theory of non-Hermitian quadratic Majorana Hamiltonians, *StatPhys28*, Tokyo, Aug. 2023.
- [20] Shoichi Tsubota (Hong Yang, Yutaka Akagi, Hoshio Katsura): Symmetry-protected quantization of complex Berry Phases in non-Hermitian many-body systems, *StatPhys28*, Tokyo, Aug. 2023.
- [21] Yutaka Akagi: Topological magnetism in quantum spin-nematics, *International Conference on Quantum Liquid Crystals 2023 (QLC2023)*, Hokkaido, Aug. 2023.
- [22] Nanse Esaki (Yutaka Akagi, Hoshio Katsura): Electric field controllable thermal Hall effect of triplons in the quantum dimer magnets $XCuCl_3$ ($X = Tl, K$), *International Conference on Quantum Liquid Crystals 2023 (QLC2023)*, Hokkaido, Aug. 2023.
- [23] Yuki Amari (Yutaka Akagi, Sven Bjarke Gudnason, Muneto Nitta, Yakov Shnir): Realization of spin nematic Skyrmion crystals in cold atom systems, *International Conference on Quantum Liquid Crystals 2023 (QLC2023)*, Hokkaido, Aug. 2023.
- [24] Shunta Kitahama: Generalized eigenstates of non-Hermitian quadratic Majorana Hamiltonians, *Non-Hermitian Topology: from Classical Optics to Quantum Matter*, Dresden, Germany, Aug. 2023.
- [25] Shunta Kitahama: General theory of non-Hermitian quadratic Majorana Hamiltonians, *STATPHYS28 Satellite Meeting: Physics of Open Systems and Beyond*, Hokkaido, Aug. 2023.
- [26] Hironobu Yoshida: Uniqueness of the steady state in various GKSL equations, *STATPHYS28 Satellite Meeting: Physics of Open Systems and Beyond*, Hokkaido, Aug. 2023.
- [27] Nanse Esaki (Yutaka Akagi, Hoshio Katsura): Electric field controllable thermal Hall effect of triplons in quantum dimer magnets $XCuCl_3$ ($X = Tl, K$), *The 14th APCTP Workshop on Multiferroics*, Tokyo, Oct. 2023.
- [28] Hironobu Yoshida: Uniqueness of the non-equilibrium steady state in open quantum many-body systems, *International Symposium on Quantum Electronics*, Tokyo, Feb. 2024.
- [29] Nanse Esaki (Yutaka Akagi, Hoshio Katsura): Theoretical studies of the electric field induced thermal Hall effect in the quantum dimer magnets $XCuCl_3$ ($X = Tl, K$), *International Symposium on Quantum Electronics*, Tokyo, Feb. 2024.
- [30] Nanse Esaki (Yutaka Akagi, Hoshio Katsura): Theoretical studies of the electric field induced thermal Hall effect in the quantum dimer magnets $XCuCl_3$ ($X = Tl, K$), *CEMS Symposium on Emergent Quantum Materials 2024*, Tokyo, Feb. 2024.
- [31] Shunta Kitahama: Jordan Decomposition of Non-Hermitian Fermionic Quadratic Forms, *Quantum Simulators*, Paris, France, Feb. 2024.
- [32] Kazuyuki Sanada (Yuan Miao, Hoshio Katsura): Quantum Many-Body Scars Constructed from Integrable Boundary States, *APS March Meeting 2024*, Minneapolis, USA, Mar. 2024.
- [33] Nanse Esaki (Yutaka Akagi, Hoshio Katsura): Electric field induced thermal Hall effect of triplons in the quantum dimer magnets $XCuCl_3$ ($X = Tl, K$), *APS March Meeting 2024*, Minneapolis, USA, Mar. 2024.

- [34] Masaya Kunimi (Takafumi Tomita, Hosho Katsura, Yusuke Kato): Proposal for realizing quantum spin models with Dzyaloshinskii-Moriya interaction using Rydberg atoms, *APS March Meeting 2024*, Minneapolis, USA, Mar. 2024.
- [35] Kyung-Su Kim (Hosho Katsura): Exact hole-induced resonating-valence-bonds in certain infinite U Hubbard models, *APS March Meeting 2024*, Minneapolis, USA, Mar. 2024.
- [36] Jong-Yeon Lee (Haruki Watanabe, Hosho Katsura): Spontaneous breaking of $U(1)$ symmetry at zero temperature in one dimension, *APS March Meeting 2024*, Minneapolis, USA, Mar. 2024.
- [37] Nic Shannon (Leilee Chojnacki, Rico Pohle, Han Yan, Yutaka Akagi): Gravitational wave analogues in spin nematics and cold atoms, *APS March Meeting 2024*, Minneapolis, USA, Mar. 2024.
- [38] Hosho Katsura (Soshun Ozaki): Disorder-free Sachdev-Ye-Kitaev models, *Exactly Solved Models and Quantum Computing*, Leiden, Netherlands, Mar. 2024.
- 招待講演
- [39] Hosho Katsura: Algebraic construction of quantum many-body scars, *Periodically and quasiperiodically driven complex systems*, Bangalore, India, June 2023.
- [40] Yutaka Akagi: Topological textures and CP^2 Skyrmion crystals in quantum spin-nematics, *The 13th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics [META 2023]*, Paris, France, July 2023.
- [41] Hosho Katsura: Integrable dissipative spin chains and ladders, *Workshop on exactly solvable models of open quantum systems*, Moscow, Russia (and online), Sept. 2023.
- [42] Hosho Katsura: Integrable SYK models, *ExU-YITP Workshop on Condensed Matter Physics and Quantum Information*, Kyoto, Japan, Sept. 2023.
- [43] Hosho Katsura: Jordan blocks of non-Hermitian quadratic Hamiltonians, *Random Operators and Related Topics*, Sendai, Japan, Oct. 2023.
- (国内会議)
- 一般講演
- [44] 吉田博信: Lindblad 方程式における定常状態の一意性, アトム会, 2023年8月, 名古屋.
- [45] 赤城裕: $SU(3)$ 近藤格子模型における CP^2 triple-Q state, 日本物理学会第78回年次大会, 2023年9月, 東北大学.
- [46] 吉田博信: 様々な Lindblad 方程式における定常解の一意性, 日本物理学会第78回年次大会, 2023年9月, 東北大学.
- [47] 北濱駿太, 桂法称, 吉田博信, 豊田遼: 非エルミート自由フェルミオン系の例外点の構造, 日本物理学会第78回年次大会, 2023年9月, 東北大学.
- [48] 真田兼行, 桂法称: 多体相互作用を持つスピン模型における量子多体傷跡状態, 日本物理学会第78回年次大会, 2023年9月, 東北大学.
- [49] 尾崎壮駿, 桂法称: 乱れない Sachdev-Ye-Kitaev 模型のダイナミクス, 日本物理学会第78回年次大会, 2023年9月, 東北大学.
- [50] 國見昌哉, 富田, 桂法称, 加藤雄介: Rydberg 原子系で実現する Dzyaloshinskii-Moriya 相互作用を有する量子スピン系での量子多体傷跡状態, 日本物理学会第78回年次大会, 2023年9月, 東北大学.
- [51] 羽田野直道, 桂法称, 川畑幸平: ベーテ格子上的非エルミート系における量子輸送, 日本物理学会第78回年次大会, 2023年9月, 東北大学.
- [52] Myles Scollon, Masaki Oshikawa, Hosho Katsura: Spin dynamics near the field-induced gap-closing transition in 1D magnets - II, 日本物理学会第78回年次大会, 2023年9月, 東北大学.
- [53] 赤城裕: Generalized Skyrmions in spin-1 quantum magnets, ipi 知の物理学研究センター×ダイキン シンポジウム, 2023年10月, 東京大学.
- [54] 真田兼行: 可積分境界状態に紐づいた量子多体傷跡状態, ipi 知の物理学研究センター×ダイキン シンポジウム, 2023年10月, 東京大学.
- [55] 赤城裕: CP^2 triple-Q state in the $SU(3)$ Kondo lattice model, 新学術領域研究「量子液晶の物性科学」領域研究会, 2023年12月, 東京大学.
- [56] 甘利悠貴 (赤城裕, Sven Bjarke Gudnason, 新田宗士, Yakov Shnir): Skyrmion crystals with spin-nematic order in $SU(3)$ chiral magnets, 新学術領域研究「量子液晶の物性科学」領域研究会, 2023年12月, 東京大学.
- [57] Nic Shannon (Leilee Chojnacki, Rico Pohle, Han Yan, 赤城裕): Gravitational wave analogues in quantum liquid crystals, 新学術領域研究「量子液晶の物性科学」領域研究会, 2023年12月, 東京大学.
- [58] 吉田博信: Uniqueness of the non-equilibrium steady state in open quantum many-body systems, *The 2nd young researchers' workshop of the Extreme Universe Collaboration*, 2024年2月 滋賀.
- [59] 小野淳, 奥村駿, 今井涉平, 赤城裕: スピンスカラーカイラル状態における高次高調波発生, 日本物理学会, 2024年3月, オンライン.
- [60] 江崎蘭世, 赤城裕, 桂法称: $XCuCl_3$ ($X = \text{Ti, K}$) の BEC 相におけるトポロジカルトリブロン熱ホール効果の理論, 日本物理学会, 2024年3月, オンライン.
- [61] 尾崎壮駿, 桂法称: 乱れない Sachdev-Ye-Kitaev 模型の有限温度ダイナミクス, 日本物理学会, 2024年3月, オンライン.
- [62] 國見昌哉, 富田隆文, 桂法称, 加藤雄介: Rydberg 原子系で実現する Dzyaloshinskii-Moriya 相互作用を有する量子スピン系での漸近的量子多体傷跡状態, 日本物理学会, 2024年3月, オンライン.

- [63] Myles Scollon, Masaki Oshikawa, Hosho Katsura: Spin Dynamics Near the Field-Induced Gap-Closing Transition in 1D Magnets - III, 日本物理学会, 2024年3月, オンライン.
- [64] 北濱駿太, 吉田博信, 豊田遼, 桂法称: 非エルミート自由フェルミオン系の例外点の構造, 計算物理春の学校, 2024年3月, 沖縄市町村自治会館.

招待講演

- [65] 桂法称: 量子多体傷跡状態と関連する話題, 熱場の量子論とその応用, 2023年8月, 高エネルギー加速器研究機構.

(セミナー)

- [66] Hosho Katsura: Duality, criticality, topology, and integrability in quantum spin-1 chains, 統計力学セミナー, 2023年5月, 東京大学.
- [67] Hironobu Yoshida: Liouvillian gap and single spin-flip dynamics in the dissipative Fermi-Hubbard model, 生産技術研究所・羽田野研セミナー, 2023年5月, 東京大学.
- [68] Hironobu Yoshida: The uniqueness of the steady-state solution of the Lindblad equation, *Quantum seminar*, 2023年7月, LPTMS - Université Paris-Saclay.
- [69] 吉田博信: GKSL マスター方程式における定常解の一意性, 2023年11月, 芝浦工業大学.
- [70] Yutaka Akagi: CP^2 triple-Q state in the $SU(3)$ Kondo lattice model, 2024年3月, Okinawa Institute of Science and Technology
- [71] Hosho Katsura: Frustration-free systems and beyond, *LPTMS seminar*, 2024年3月, LPTMS - Université Paris-Saclay.

1 Katsura Group

Research Subjects: Condensed Matter Theory and Statistical Physics

Member: Hosho Katsura and Yutaka Akagi

In our group, we study various aspects of condensed matter and statistical physics. In particular, our research focuses on strongly correlated many-body systems in and out of equilibrium, which would give rise to a variety of novel phases. We study theoretically such systems, with the aim of predicting intriguing quantum phenomena that have no counterpart in weakly interacting systems and cannot be understood within standard approaches. Our work involves a combination of analytical and numerical methods. We are currently interested in (i) magnetism in Fermi Hubbard models, (ii) topological magnetism, (iii) open quantum many-body systems, and (iv) non-ergodic dynamics in non-integrable systems. In addition, we are also interested in the mathematical aspects of the above-mentioned fields. Our research projects conducted in FY 2023 are the following:

- Magnetism in $SU(N)$ Hubbard models
 - Flat-band ferromagnetism in the $SU(N)$ Hubbard and Kondo lattice models [1]
 - Hole-induced $SU(N)$ flavor singlets in certain infinite- U $SU(N)$ Hubbard models [2]
- Topological magnetism
 - Photocontrol of scalar spin chirality in centrosymmetric itinerant magnets [3]
 - Electric field induced thermal Hall effect of triplons in quantum dimer magnets [4]
- Open quantum many-body systems
 - Uniqueness of steady states of Gorini-Kossakowski-Sudarshan-Lindblad equations [5]
 - Jordan decomposition of quadratic open fermionic systems [6]
- Mathematical and statistical physics
 - Quantum many-body scars in spin models with multibody interaction [7]
 - Spontaneous breaking of $U(1)$ symmetry at zero temperature in one dimension [8]

[1] K. Tamura and H. Katsura, *J. Phys. A* **56**, 395202 (2023).

[2] K-S. Kim and H. Katsura, *Phys. Rev. Research* **6**, 013307 (2024).

[3] A. Ono and Y. Akagi, *Phys. Rev. B* **108**, L100407 (2023).

[4] N. Esaki, Y. Akagi, and H. Katsura, Preprint, arXiv:2309.12812 [cond-mat.mes-hall] (2023).

[5] H. Yoshida, *Phys. Rev. A* **109**, 022218 (2024).

[6] S. Kitahama, H. Yoshida, R. Toyota, and H. Katsura, *J. Stat. Mech.* **2024**, 013101 (2024).

[7] K. Sanada, Y. Miao, and H. Katsura, *Phys. Rev. B* **108**, 155102 (2023).

[8] H. Watanabe, H. Katsura, and J. Y. Lee, Preprint, arXiv:2310.16881 [cond-mat.stat-mech] (2023).