

理学専攻  
物理学分野

量子多体物理学研究室

准教授

段下 一平

Quantum many-body physics Lab.

Associate Prof.

Ippei Danshita

## キーワード

冷却気体、光格子、量子シミュレーション、超流動、超固体、量子磁性、量子相転移、ヒッグスモード、量子非平衡ダイナミクス、場の量子論、テンソルネットワーク、クラスター平均場理論

Ultracold gas, optical lattice, quantum simulation, superfluid, supersolid, quantum magnetism, quantum phase transition, quantum non-equilibrium dynamics, tensor network, cluster mean-field theory

## 研究内容

### [1] 量子多体系の数値計算手法の開発

量子多体系を厳密対角化法で解析すると、数値計算のコストが系のサイズに対して指数関数的に増大する。そのため、多くの場合現実的な実験と対応する結果を得るためには、より効率的な計算手法が必要である。

- テンソルネットワーク法を用いると、多体系の波動関数を局所的なテンソルの積として書くことで、特殊な状態（基底状態、低エネルギー励起状態など）に限れば計算コストは系のサイズに対して代数的な増大で済む。本研究室では、特に空間一次元の量子多体系の計算に有効な行列積状態を用いた新たな手法開発を目指している [2,9]。
- 量子多体系の平衡状態を記述する手法として、量子モンテカルロ法がとて有用であるが、この手法には幾何学的フラストレーションのある場合に適用できないという弱点がある。本研究室では、幾何学的フラストレーションがある量子多体系を定量的に解析する手法としてサイズスケリングと組み合わせたクラスター平均場理論という計算手法を開発している [6,8]。
- 空間一次元の量子多体系の非平衡ダイナミクスの記述は上記の行列積状態を用いればある程度うまくいくが、高次元系に対しては現在のところ適用範囲外である。空間高次元の強相関量子多体系への適用を念頭に、本研究室では、切断ウィグナー近似という手法の開発を行っている [1,3,5]。

### [2] 光格子中の冷却気体の物性

- 超流動とは液体や気体が摩擦を生じることなく永続的に流れ続ける現象である。超流動体を低次元空間に閉じ込めると、物質の状態としては超流動状態なのに流れが散逸的になるという一見矛盾した状況が実現する。本研究室では、低次元超流動現象の普遍的な理解を目指している [10]。
- 三角格子型やカゴメ格子型の光格子中の Bose 気体においてホッピングの符号を反転させることで幾何学的フラストレーションを持つ系にすることができる。フラストレーションと量子ゆらぎの協奏が引き起こす新奇な量子多体現象を探索している [6,8]。

・京都大学大学院理学研究科の量子光学研究室（実験グループ）と協力して冷却気体を用いた量子シミュレーター開発に携わっている [3]。

## 最近の業績

- [1] “Performance evaluation of the discrete Truncated Wigner approximation for quench dynamics of quantum spin systems with long-range interactions”, Kunimi, M.; Nagao, K.; Goto, S.; Danshita, I.; *Phys. Rev. Research*, **2021**, 3, 013060 (15 pages).
- [2] “Minimally entangled typical thermal states algorithm with Trotter gates”, Goto, S.; Danshita, I.; *Phys. Rev. Research*, **2020**, 2, 043236 (9 pages).
- [3] “Energy redistribution and spatio-temporal evolution of correlations after a sudden quench of the Bose-Hubbard model”, Takasu, Y.; Yagami, T.; Asaka, H.; Fukushima, Y.; Nagao, K.; Goto, S.; Danshita, I.; Takahashi, Y.; *Sci. Adv.*, **2020**, 6, eaba9255 (6 pages).
- [4] “Measurement-induced transitions of the entanglement scaling law in ultracold gases with controllable dissipation”, Goto, S.; Danshita, I.; *Phys. Rev. A*, **2020**, 102, 033316 (7 pages).
- [5] “Semiclassical dynamics of a dark soliton in a one-dimensional bosonic superfluid in an optical lattice”, Ozaki, Y.; Nagao, K.; Danshita, I.; Kasamatsu, K.; *Phys. Rev. Research*, **2020**, 2, 033272 (12 pages).
- [6] “Frustrated Quantum Magnetism with Bose Gases in Triangular Optical Lattices at Negative Absolute Temperatures”, Yamamoto, D.; Fukuhara, T.; Danshita, I.; *Comm. Phys.*, **2020**, 3, 56 (10 pages).
- [7] “Non-equilibrium steady states of Bose-Einstein condensates with a local particle loss in double potential barriers”, Kunimi, M.; Danshita, I.; *Phys. Rev. A*, **2019**, 100, 063617 (13 pages).
- [8] “Magnetism driven by the interplay of fluctuations and frustration in the easy-axis triangular XXZ model with transverse fields”, Yamamoto, D.; Marmorini, G.; Tabata, M.; Sakakura, K.; Danshita, I.; *Phys. Rev. B*, **2019**, 100, 063617R (6 pages).
- [9] “Quasiexact Kondo Dynamics of Fermionic Alkali-Earth-Like Atoms at Finite Temperatures”, Goto, S.; Danshita, I. *Phys. Rev. Lett.*, **2019**, 123, 143002 (6 pages).
- [10] “Decay mechanisms of superflow of Bose-Einstein condensates in ring traps”, Kunimi, M.; Danshita, I.; *Phys. Rev. A*, **2019**, 99, 043613 (9 pages).

■ JSTCREST 研究 分担 (2016-2021 年度 2620 万円)

■ 科学研究費 基盤研究 (C) 代表 (2018-2020 年度 330 万円)

■ 科学研究費 基盤研究 (S) 分担 (2018-2022 年度 1500 万円)

■ 文部科学省 Q-LEAP プログラム 基礎基盤研究 分担 (2018-2027 年度 2540 万円)

■ JST 創発的研究支援事業 代表 (2021-2023 年度 2000 万円)