

「量子状態の高度な制御に基づく革新的量子技術基盤の創出」  
平成28年度年度採択研究代表者

H29 年度  
実績報告書

高橋 義朗

京都大学大学院理学研究科  
教授

冷却原子の高度制御に基づく革新的光格子量子シミュレーター開発

## § 1. 研究実施体制

### (1) 「光格子実験」グループ

- ① 研究代表者: 高橋 義朗 (京都大学 大学院 理学研究科、教授)
- ② 研究項目
  - ・個別観測技術の開発
  - ・量子磁性実験
  - ・散逸下の非平衡過程の実験
  - ・SU(N)スピン量子シミュレーション実験

### (2) 「光格子理論」グループ

- ① 主たる共同研究者: 段下 一平 (京都大学 基礎物理学研究所、助教)
- ② 研究項目
  - ・散逸的 Bose-Hubbard 模型の理論
  - ・非ユニバーサル量子計算の理論

## § 2. 研究実施の概要

まず、全体研究項目(1)「光格子中原子の個別観測・量子フィードバック制御技術の開発」について、イッテルビウム原子の量子気体顕微鏡技術の高度化を進め、2次元光格子中原子の局所的操作の実現に関する成果を得ることができた。観測や冷却のための光源とは別に、2次元光格子中原子の局所的操作のレーザー光源を別に用意し、それを現有の冷却原子装置に組み入れることに成功し、稀薄な原子集団の分布の一部が、上記局所操作のレーザー光源の照射により取り除かれる様子を、照射前後の量子気体顕微鏡の画像から確認することができた。

次に、全体研究項目(2)「量子多体系の革新的量子シミュレーター開発」に対応して、非平衡や開放系といったこれまでと異なる状況でのユニークな量子シミュレーションを行った。まず、開放系での量子多体系の振る舞いについて、「散逸による超流動—モット絶縁体量子相転移の影響」の研究を理論グループと共同で完成させ論文を出版させることができた。さらに非平衡での量子多体系の振る舞いについて、光格子深さを急激に減少させるクエンチ操作後の、モット絶縁体相から超流動相などへ移行する非平衡ダイナミクス過程について、i) 3次元系での運動および相互作用エネルギーの時間発展の振る舞いを切断 Wigner 近似法を用いた新しい理論解析により、実験結果を定量的に説明することに成功、ii) 1および2次元系での位相コヒーレンスの空間伝搬の様子を初めて実験で観測し、信頼性の高い計算手法を開発して定量的に説明することに成功、また、iii) 1および2次元系での光円錐的な伝搬の定性的な理解、などの成果を得ることができた。

さらに、全体研究項目(3)「SU(N)量子シミュレーターの開発」について、まず、近藤効果の量子シミュレーションに応用可能な実験系を見出すことに成功した。また、SU(N)量子磁性の研究として、スピン4および2成分系を光ポンピングを駆使して準備してそれぞれを光超格子に導入し、反強磁性スピン相関が形成されていることを確認した。特に、4成分系の場合により大きな反強磁性スピン相関が実現されていることを確認しポメラランチュク冷却効果として理解できることを原子リミットの理論計算により確認した(図1)。

今年度の代表的な原著論文は以下の通りである。

- [1]"Observation of the Mott insulator to superfluid crossover of a driven-dissipative Bose-Hubbard system", T. Tomita, S. Nakajima, I. Danshita, Y. Takasu, and Y. Takahashi, **Science Advances** **3**, e1701513-1-8 (2017)
- [2]"Interaction-Driven Shift and Distortion of a Flat Band in an Optical Lieb Lattice", H. Ozawa, S. Taie, T. Ichinose, and Y. Takahashi, **Phys. Rev. Lett.** **118**, 175301-1-5 (2017)
- [3]"Cooling schemes for two-component fermions in layered optical lattices", S. Goto and I. Danshita, **Physical Review A**, **96**, 063602-1-10 (2017)

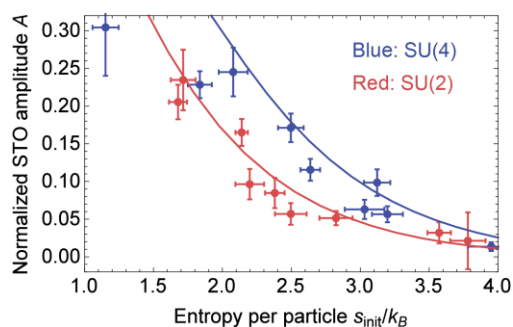


図1 スピン4(青)および2(赤)成分系でのスピン1重項—3重項振動の大きさの初期エントロピー依存性。実線は理論曲線。