

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25800228

研究課題名(和文) 乱れのある一次元量子流体の量子相転移と非平衡動力学

研究課題名(英文) Quantum phase transitions and non-equilibrium dynamics of disordered one-dimensional quantum fluids

研究代表者

段下 一平 (Danshita, Ippei)

京都大学・基礎物理学研究所・助教

研究者番号：90586950

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：極低温の量子気体、特にその量子相転移現象に対する不純物ポテンシャルの効果を調べた。特に、実験で精密に制御可能な一成分ボース気体と二成分ボース気体を対象とした。結果として、いくつかの重要な未解決問題に対して答えを導き、さらに新奇現象の発見につながった。具体的には、一次元一成分ボース気体において不純物と量子揺らぎが組み合わさって引き起こされる量子位相滑りによる超流動流の崩壊を実験で定量的に調べる方法を提案した。光格子中二成分ボース気体において、不純物が引き起こす表面臨界現象を見出した。光格子中一成分ボース気体がローレンツ不変性を持つ場合に、ヒッグス束縛状態という新奇な素励起の存在を予言した。

研究成果の概要(英文)：We have studied the effects of impurities on properties of ultracold quantum gases, such as quantum phase transitions. Our main focus has been placed on single-component and two-component Bose gases, which are precisely controllable in experiments. We have successfully resolved some long-standing problems and found novel phenomena. Specifically, we have proposed a way to experimentally quantify the breakdown of superfluid flow due to quantum phase slips in a system of one-dimensional single-component Bose gases. As for two-component Bose gases in optical lattices, we have found surface critical phenomena caused by impurity potential. Moreover, we consider a relativistic superfluid of single-component Bose gases in optical lattices to predict the existence of a novel elementary excitation, namely the Higgs bound state.

研究分野：凝縮系理論

キーワード：冷却気体 光格子 超流動 量子相転移

## 1. 研究開始当初の背景

1995年にアルカリ原子気体のボース・アインシュタイン凝縮体の生成が実現されて以来、冷却気体系はその前例のないほどのパラメータ制御性、希薄さ、清浄度(不純物や格子欠陥のなさ)の三点が大きな強みとなって、飛躍的な発展を遂げてきた。広範囲にわたるパラメータ制御性によって、固体中の電子や液体ヘリウムなどの通常の凝縮系では到達不可能な領域で新奇な量子凝縮相や相転移を探索することが可能である。また、気体が希薄であるために、緩和時間が長く、系の非平衡ダイナミクスをより詳細に調査することができる。さらに、系の希薄さと清浄さのために微視的理論と実験の定量的な比較ができ、それによって超流動、超伝導、量子相転移などの物性物理学における非常に重要な現象に対する理解が劇的に深化してきた。

近年の実験研究では、三つの利点のうち清浄度を意図的に下げる試みがなされている。これらの実験の狙いは、通常の凝縮系において普遍的に現れる系の乱れの効果を、微視的なハミルトニアンを制御下においた状況で調べるという点にある。乱れた系の研究の歴史は長く、これまでにアンダーソン局在やグラス転移に代表される様々な興味深い現象が見つかっているが、実験で乱れの効果を制御できないために未解決のまま残された問題も数多くある。制御性の高い冷却気体系を研究することで、いくつかの重要な未解決問題に対して答えを導き、さらに新奇現象の発見につながると期待した。

## 2. 研究の目的

本研究では、極低温の量子気体、特にその量子相転移現象に対する不純物ポテンシャルの効果を明らかにすることを目的とした。特に、実験で精密に制御可能な一成分ボース気体と二成分ボース気体を対象とした。

## 3. 研究の方法

解析的な量子場の理論と数値的な手法(空間一次元系には密度行列繰り込み群法、二次元系には量子モンテカルロ法、三次元系にはGutzwiller平均場近似法)の両方を用いて包括的な理論研究を展開した。

## 4. 研究成果

まず、放物型トラップ中の一次元一成分ボース気体に単一不純物がある場合を考え、気体の二重極振動を調べた。解析的な考察と時間依存密度行列繰り込み群法による厳密な数値計算から、二重極振動の減衰率と位相滑りの生成率を関係付ける公式を導入した。これによって位相滑りによる超流動流の崩壊を実験で実証することが可能になると同時に、位相滑りの生成率を数値的に厳密に与えることも可能になった。ごく最近、この提案に従って、実際に二重極振動を観測することで、量子位相滑りによる超流動流の崩壊を調

べる実験研究が発表された。

二成分ボース気体に関しては、不純物のない清浄な系ですら基底状態において未知の事柄がいくつもあったので、まず、不純物がある場合の研究の地盤を固める意味で、これらの未知の事柄を明らかにすべきだと考えた。具体的には、光格子中の二成分ボース気体の量子相図を厳密な量子モンテカルロ法によって数値的に描き、そこに量子三重臨界点が存在すること、三重臨界点を通る超流動絶縁体転移が新しい普遍性属性を持つことを明らかにした。さらに、この量子相転移近傍での超流動秩序変数のダイナミクスを記述する有効作用を導出した。

続いて、本研究課題の主要な目的である不純物ポテンシャルの効果について解析した。まず、量子相転移近傍において超流動秩序変数を記述する有効作用を不純物がある場合に拡張した。続いて、その有効作用から運動方程式を導き、それが三次と五次の非線形項を持つ非線形シュレーディンガー方程式になることを示した。不純物ポテンシャルがある場合の秩序変数の振る舞いは暗孤立波と類似しているため、まずこの暗孤立波解に着目して解析した。孤立波のサイズと慣性質量を計算し、これらの量が不連続転移近傍で臨界的な振る舞いを示すことを明らかにした。連続転移とは異なり、不連続転移近傍では熱力学量や線形励起には臨界性はあられないので、非線形励起である孤立波にそれが現れるというのは興味深い。

さらに、不純物として障壁ポテンシャルがある場合の解析を行った。障壁ポテンシャルの強さがある閾値よりも大きい場合には、孤立波に現れたのと全く同じ臨界性が基底状態において出現することを明らかにした。この臨界性は表面臨界性と呼ばれる。超流動臨界速度に表面臨界性が鋭く現れることを指摘し、この量を測ることで表面臨界現象が実験で観測できると提案した。

最後に、光格子中の三次元一成分ボース気体考えた。超流動ボース気体を光格子に閉じ込めて、モット絶縁体への量子相転移近傍まで格子を深くすると、系が粒子・正孔対称性を獲得してその結果として超流動秩序変数が相対論的なクライン・ゴルドン方程式に従う。この相対論的な超流動体では、秩序変数の位相揺らぎに対応する南部ゴールドストーンモードと振幅揺らぎに対応するヒッグスモードが存在する。本研究では、ヒッグスモードに対する不純物ポテンシャルの効果を考え、粒子・正孔対称性を破らない不純物がある場合に、ヒッグスモードの束縛状態という新奇な素励起を見出した。このヒッグス束縛状態は障壁の周りに局在し、バルクのヒッグスギャップよりも小さい束縛エネルギーを持つという点で、遍歴状態である従来のヒッグスモードとは全く異なる。このヒッグス束縛状態の存在に起因する劇的な効果として、粒子・正孔対称性を破る不純物があ

る場合には、ヒッグス束縛状態を介した南部ゴールドストーンモードのファノ共鳴トネル現象が起こることを示した。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 17 件)

[1] Kazuma Nagao and Ippei Danshita, "Damping of the Higgs and Nambu-Goldstone modes of superfluid Bose gases at finite temperatures", *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, 査読有, 掲載決定, オープンアクセス

[2] Giacomo Marmorini, Daisuke Yamamoto, and Ippei Danshita, "Umbrella-coplanar transition in the triangular XXZ model with arbitrary spin", *Physical Review B*, 査読有, Vol. 93, 2016, pp. 224402/1-8.

DOI: 10.1103/PhysRevB.93.224402

[3] Takumi Ohta, Shu Tanaka, Ippei Danshita, and Keisuke Totsuka, "Topological and dynamical properties of a generalized cluster model in one dimension", *Physical Review B*, 査読有, Vol. 93, 2016, pp. 165423/1-15.

DOI: 10.1103/PhysRevB.93.165423

[4] Daisuke Yamamoto, Giacomo Marmorini, and Ippei Danshita, "Magnetization process of spin-1/2 Heisenberg antiferromagnets on a layered triangular lattice", *Journal of the Physical Society of Japan*, 査読有, Vol. 85, 2016, pp. 024706/1-6.

DOI: 10.7566/JPSJ.85.024706

[5] Takeru Nakayama, Ippei Danshita, Tetsuro Nikuni, and Shunji Tsuchiya, "Fano resonance through Higgs bound states in tunneling of Nambu-Goldstone modes", *Physical Review A*, 査読有, Vol. 92, 2015, pp. 043610/1-19.

DOI: 10.1103/PhysRevA.92.043610

[6] Takumi Ohta, Shu Tanaka, Ippei Danshita, and Keisuke Totsuka, "Phase diagram and sweep dynamics of a one-dimensional generalized cluster model", *Journal of the Physical Society of Japan*, 査読有, Vol. 84, 2015, pp. 063001/1-4.

DOI: 10.7566/JPSJ.84.063001

[7] Ippei Danshita, Daisuke Yamamoto, and Yasuyuki Kato, "Cubic-quintic nonlinearity in superfluid Bose-Bose mixtures in optical lattices: Heavy solitary waves, barrier-induced criticality, and current-phase relation", *Physical Review A*, 査読有, Vol. 91, 2015, pp. 013630/1-17.

DOI: 10.1103/PhysRevA.91.013630

[8] Daisuke Yamamoto, Giacomo Marmorini, and Ippei Danshita, "Microscopic Model Calculations for the Magnetization Process of Layered Triangular-Lattice Quantum Antiferromagnets", *Physical Review Letters*, 査読有, Vol. 114, 2015, pp. 027201/1-6.

DOI: 10.7566/JPSJ.85.024706

[9] J. Reeves, B. Gadway, T. Bergeman, I. Danshita, and D. Schneble, "Superfluid Bloch dynamics in an incommensurate lattice", *New Journal of Physics*, 査読有, Vol. 16, 2014, pp. 065011/1-8, オープンアクセス.

DOI: 10.1088/1367-2630/16/6/065011

[10] Ippei Danshita, Rafael Hipolito, Vadim Oganesyan, and Anatoli Polkovnikov, "Quantum damping of Fermi-Pasta-Ulam revivals in ultracold Bose gases", *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, 査読有, Vol. 2014, 2014, pp. 043103/1-8, オープンアクセス.

DOI: 10.1093/ptep/ptu041

[11] Daisuke Yamamoto, Giacomo Marmorini, and Ippei Danshita, "Quantum Phase Diagram of the Triangular-Lattice XXZ Model in a Magnetic Field", *Physical Review Letters*, 査読有, Vol. 112, 2014, pp. 127203/1-5; Erratum: *ibid.*, Vol. 112, 2014, pp. 259901/1.

DOI: 10.1103/PhysRevLett.112.127203

[12] Yasuyuki Kato, Daisuke Yamamoto, and Ippei Danshita, "Quantum Tricriticality at the Superfluid-Insulator Transition of Binary Bose Mixtures", *Physical Review Letters*, 査読有, Vol. 112, 2014, pp. 055301/1-5.

DOI: 10.1103/PhysRevLett.112.055301

[13] Daisuke Yamamoto, Takeshi Ozaki, Carlos A. R. Sá de Melo, and Ippei Danshita, "First-Order Phase Transition and Anomalous Hysteresis of Binary Bose Mixtures in an Optical Lattice", *Journal of Low Temperature Physics*, 査読有, Vol. 175, 2014, pp. 258-264.

DOI: 10.1007/s10909-013-0989-0

[14] Ippei Danshita, "Quantum Phase Slips of Trapped Superfluid Bose Gases in One Dimension", *Journal of Low Temperature Physics*, 査読有, Vol. 175, 2014, pp. 222-228.

DOI: 10.1007/s10909-013-0970-y

[15] Daisuke Yamamoto, Takeshi Ozaki, Carlos A. R. Sá de Melo, and Ippei Danshita, "First-order phase transition and anomalous hysteresis of Bose gases in optical lattices", *Physical Review A*, 査読有, Vol. 88, 2013, 033624/1-17.

DOI: 10.1103/PhysRevA.88.033624

[16] D. Yamamoto and I. Danshita, "Magnon supersolid and anomalous hysteresis in spin dimers on a triangular lattice", *Physical Review B*, 査読有, Vol. 88, 2013, 014419/1-6 (2013).

DOI: 10.1103/PhysRevB.88.014419

[17] Ippei Danshita, "Universal Damping Behavior of Dipole Oscillations of One-Dimensional Ultracold Gases Induced by Quantum Phase Slips", *Physical Review Letters*, 査読有, Vol. 111, 2013, 025303/1-5.

DOI: 10.1103/PhysRevLett.111.025303

[学会発表] (計 44 件)

[1] 高橋 淳一, 段下 一平, "光学格子中のボース混合気体におけるカイラル超流動相の

集団励起", 日本物理学会第 71 回年次大会, 2016年3月, 宮城県仙台市泉区東北学院大学.

[2] 段下 一平, 中山 健, 二国 徹郎, 土屋 俊二, "粒子・正孔対称性が僅かに破れた超流動体の集団励起を記述する場の量子論の定式化", 日本物理学会第 71 回年次大会, 2016年3月, 宮城県仙台市泉区東北学院大学.

[3] Ippei Danshita, Takeru Nakayama, Tetsuro Nikuni, and Shunji Tsuchiya, "Fano resonance between Nambu-Goldstone modes and Higgs bound states in a superfluid", Ugo Fano Gold Medal & Ugo Fano Symposium, 国際学会, 招待講演, 2015年12月, CNR, Rome, Italy.

[4] 段下 一平, "光格子中の強相関超流動 Bose 気体: Higgs 束縛状態と重い孤立波", 第4回関西若手物性研究会, 招待講演, 2015年10月, 大阪府豊中市大阪大学.

[5] Kazuma Nagao and Ippei Danshita, "Interaction between the Nambu-Goldstone and Higgs modes of superfluid Bose gases in optical lattices", Okinawa School in Physics: Coherent Quantum Dynamics, 国際学会, 2015年9月, OIST, Okinawa, Japan.

[6] Ippei Danshita, "Bound states of Higgs modes in a relativistic superfluid", 12th US-Japan Seminar: Many body quantum systems from quantum gases to metrology and information processing, 国際学会, 招待講演, 2015年9月, Monona Terrace, Madison, Wisconsin, USA.

[7] Kazuma Nagao and Ippei Danshita, "Finite-temperature effects on damping of the Nambu-Goldstone and Higgs modes of superfluid Bose gases in optical lattices", FINISS-2015: Finite-Temperature Non-Equilibrium Superfluid Systems, 国際学会, 2015年9月, Hotel Haffner, Sopot, Poland.

[8] Ippei Danshita, Takeru Nakayama, Tetsuro Nikuni, and Shunji Tsuchiya, "Higgs bound states of superfluid Bose gases in optical lattices", Bose-Einstein Condensation 2015 - Frontiers in Quantum Gases, 国際学会, 2015年9月, Hotel Eden Roc, Sant Feliu de Guixols, Spain.

[9] 土屋 俊二, 中山 健, 二国 徹郎, 段下 一平, "ヒッグス束縛状態を介する南部ゴールドストーンモードのファノ共鳴", 熱場の量子論とその応用, 2015年9月, 京都府京都市左京区京都大学基礎物理学研究所.

[10] 長尾 一馬, 段下 一平, "超流動 Bose 原子気体の Nambu-Goldstone モードと Higgs モードの減衰に対する有限温度の効果", 熱場の量子論とその応用, 2015年9月, 京都府京都市左京区京都大学基礎物理学研究所.

[11] 段下 一平, "一次元超流動体の量子位相滑り", 密度行列繰り込み群法における最近の展開, 招待講演, 2015年8月, 兵庫県神戸市中央区理化学研究所計算科学研究機構.

[12] Ippei Danshita, Daisuke Yamamoto, and Yasuyuki Kato, "Superfluid Bose-Bose mixtures obeying a nonlinear Schroedinger equation with cubic and quintic nonlinearities", 24th Annual

International Laser Physics Workshop, 国際学会, 2015年8月, Courtyard by Marriott Hotel Shanghai Pudong, Shanghai, China.

[13] Ippei Danshita, Takeru Nakayama, Tetsuro Nikuni, and Shunji Tsuchiya, "Effects of potential barriers on collective modes of strongly correlated superfluid Bose gases in optical lattices", 24th Annual International Laser Physics Workshop, 国際学会, 2015年8月, Courtyard by Marriott Hotel Shanghai Pudong, Shanghai, China.

[14] Kazuma Nagao and Ippei Danshita, "Damping of the Nambu-Goldstone and Higgs modes of superfluid Bose gases in optical lattices", 24th Annual International Laser Physics Workshop, 国際学会, 2015年8月, Courtyard by Marriott Hotel Shanghai Pudong, Shanghai, China.

[15] 段下 一平, "超流動体が従う運動方程式を光格子でデザインする", 量子制御技術の発展により拓かれる量子情報の新時代, 2015年7月, 京都府京都市左京区京都大学基礎物理学研究所.

[16] Giacomo Marmorini, Daisuke Yamamoto, and Ippei Danshita, "New results for triangular-lattice quantum antiferromagnets in a magnetic fields", 20th International Conference on Magnetism, 国際学会, 2015年7月, Palau de Congressos de Catalunya, Barcelona, Spain.

[17] Daisuke Yamamoto, Giacomo Marmorini, and Ippei Danshita, "High-field quantum phase transition induced by weak three dimensionality in triangular-lattice antiferromagnets", 20th International Conference on Magnetism, 国際学会, 2015年7月, Palau de Congressos de Catalunya, Barcelona, Spain.

[18] Ippei Danshita, "Higgs bound states and heavy solitons of Bose gases in optical lattices", Frontiers in Quantum Simulation with Cold Atoms, Week 4, 国際学会, 2015年4月, INT University of Washington, Washington, USA.

[19] 段下 一平, 山本 大輔, 加藤康之, "光格子中の二成分超流動 Bose 気体における表面臨界現象", 日本物理学会第 70 回年次大会, 2015年3月, 東京都新宿区早稲田大学.

[20] 長尾 一馬, 段下 一平, "光格子中に閉じ込められた強相関領域のボース気体における集団励起の減衰", 日本物理学会第 70 回年次大会, 2015年3月, 東京都新宿区早稲田大学.

[21] 中山 健, 段下 一平, 二国 徹郎, 土屋 俊二, "ヒッグス束縛状態を介する南部ゴールドストーンモードの非対称共鳴トンネル現象", 日本物理学会第 70 回年次大会, 2015年3月, 東京都新宿区早稲田大学.

[22] T. Nakayama, I. Danshita, T. Nikuni, and S. Tsuchiya, "Fano resonance between Higgs bound states and Nambu-Goldstone modes", Dynamics of Strongly Correlated Systems, 国際学会, 2015年3月, ISSP University of Tokyo, Kashiwa, Chiba, Japan.

- [23] Takumi Ohta, Shu Tanaka, Ippei Danshita, and Keisuke Totsuka, "Phase diagram of a one-dimensional generalized cluster model and dynamics during an interaction sweep", Dynamics of Strongly Correlated Systems, 国際学会, 2015年3月, ISSP University of Tokyo, Kashiwa, Chiba, Japan.
- [24] 山本 大輔, Giacomo Marmorini, 段下 一平, "層状三角格子反強磁性体の量子相転移と磁化過程", 量子スピン系研究会, 2015年1月, 福井県福井市福井大学.
- [25] Ippei Danshita, "Quantum tricriticality and heavy solitary waves of binary Bose mixtures in optical lattices", Qua Vadis BEC? V, 国際学会, 招待講演, 2014年12月, Physikzentrum, Bad Honnef, Germany.
- [26] Ippei Danshita, "Superfluid-Mott insulator transitions of binary Bose mixtures in optical lattices -- quantum tricriticality and heavy solitary waves", Novel Quantum States in Condensed Matter 2014, 国際学会, 招待講演, 2014年12月, YITP Kyoto University, Kyoto, Japan.
- [27] 段下 一平, "一次元ボース気体におけるインスタント効果", 離散的手法による場と時空のダイナミクス, 招待講演, 2014年9月, 神奈川県横浜市慶応大学.
- [28] Daisuke Yamamoto, Giacomo Marmorini, and Ippei Danshita, "Quantum phase diagram of triangular-lattice antiferromagnets with XXZ anisotropy and magnetic field", The 2014 International Conference on Highly Frustrated Magnetism, 国際学会, 2014年7月, University of Cambridge, Cambridge, UK.
- [29] Ippei Danshita, Daisuke Yamamoto, and Yasuyuki Kato, "Bose-Bose mixtures in optical lattices in optical lattices: quantum tricriticality and a bright-like dark soliton", Coherent Control of Complex Quantum Systems, 国際学会, 2014年4月, OIST, Okinawa, Japan.
- [30] 段下 一平, "二次元光格子で期待される新奇な量子相転移", 日本物理学会第69回年次大会, 招待講演, 2014年3月, 神奈川県平塚市東海大学.
- [31] 段下 一平, "光格子中の一次元ボース気体における超流動流の崩壊", 日本物理学会第69回年次大会, 招待講演, 2014年3月, 神奈川県平塚市東海大学.
- [32] 段下 一平, 山本 大輔, 加藤 康之, "不連続モット絶縁体転移近傍における超流動ボース混合気体の明的暗ソリトンと流れの位相特性", 日本物理学会第69回年次大会, 2014年3月, 神奈川県平塚市東海大学.
- [33] 加藤 康之, 山本 大輔, 段下 一平, "二成分ボース・ハバード模型の量子三重臨界点近傍の臨界現象", 日本物理学会第69回年次大会, 2014年3月, 神奈川県平塚市東海大学.
- [34] Ippei Danshita, "Binary Bose mixtures in optical lattices", International Molecule-type Workshop on New Correlations in Exotic Nuclei and Advances of Theoretical Models, 国際学会, 招待講演, 2014年3月, YITP Kyoto University, Kyoto, Japan.
- [35] Yasuyuki Kato, Daisuke Yamamoto, and Ippei Danshita, "Quantum tricriticality at the superfluid-insulator transition of binary Bose mixtures: A quantum Monte Carlo study", American Physical Society March Meeting 2014, 国際学会, 2014年3月, Colorado Convention Center, Denver, Colorado, USA.
- [36] Ippei Danshita, Daisuke Yamamoto, and Yasuyuki Kato, "Bright-like dark solitons and current-phase characteristics of superfluid Bose mixtures near the first-order Mott transition", American Physical Society March Meeting 2014, 国際学会, 2014年3月, Colorado Convention Center, Denver, Colorado, USA.
- [37] Daisuke Yamamoto, Giacomo Marmorini, and Ippei Danshita, "Triangular-Lattice Antiferromagnets with Exchange Anisotropy and a Magnetic Field", American Physical Society March Meeting 2014, 国際学会, 2014年3月, Colorado Convention Center, Denver, Colorado, USA.
- [38] 山本 大輔, Giacomo Marmorini, 段下 一平, "三角格子上スピン-1/2XXZ模型の磁場中量子相図", 日本物理学会2013年秋季大会, 2013年9月, 徳島県徳島市徳島大学.
- [39] Daisuke Yamamoto, Takeshi Ozaki, Carlos A. R. Sá de Melo, and Ippei Danshita, "First-order transition and anomalous hysteresis of binary Bose mixtures in an optical lattice", International Conference on Quantum Fluids and Solids 2013, 国際学会, 2013年8月, Kunibiki Messe, Matsue, Shimane, Japan.
- [40] Ippei Danshita, "Quantum phase slips of trapped superfluid Bose gases in one-dimension", International Conference on Quantum Fluids and Solids 2013, 国際学会, 2013年8月, Kunibiki Messe, Matsue, Shimane, Japan.
- [41] Ippei Danshita, "Detecting superflow decay via quantum phase slips in damped dipole oscillations of one-dimensional ultracold gases", Disorder in Condensed Matter and Ultracold Atoms, 国際学会, 2013年6月, Villa Monastero, Varenna, Italy.
- [42] Ippei Danshita, "Damping of dipole oscillations of one-dimensional Bose gases induced by quantum phase slips", 2013 Joint Meeting of the APS Division of Atomic, Molecular, and Optical Physics and the CAP Division of Atomic, Molecular, and Optical Physics, 国際学会, 2013年6月, Quebec City Convention Center, Quebec City, Quebec, Canada.
- [43] Daisuke Yamamoto, Takeshi Ozaki, Carlos A. R. Sá de Melo, and Ippei Danshita, "First-order transition and hysteresis phenomena of Bose-Bose mixtures in an optical lattice", 2013 Joint Meeting of the APS Division of

Atomic, Molecular, and Optical Physics and the CAP Division of Atomic, Molecular, and Optical Physics, 国際学会, 2013 年 6 月, Quebec City Convention Center, Quebec City, Quebec, Canada.

[44] Ipppei Danshita, "Quantum phase slips in damped dipole oscillations of 1D ultracold gases", The 11th US-Japan Joint Seminar on Quantum Electronics and Laser Spectroscopy 'Ultimate Quantum Systems of Light- and Matter-Control and Applications', 国際学会, 2013 年 4 月, Nara Prefectural New Public Hall, Nara, Japan.

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

受賞

2014 年 3 月、日本物理学会若手奨励賞受賞(領域 1, 研究題目「光格子中の一次元ボース気体における超流動流の崩壊」)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

段下 一平 (DANSHITA, Ipppei)

京都大学・基礎物理学研究所・助教

研究者番号: 9 0 5 8 6 9 5 0

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし