

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2019

課題番号：15K17727

研究課題名（和文）強相関量子少数系から多体系への普遍的アプローチの構築

研究課題名（英文）Construction of universal approach from strongly correlated quantum few-body to many-body systems

研究代表者

西田 祐介 (Nishida, Yusuke)

東京工業大学・理学院・准教授

研究者番号：80704288

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、冷却原子を舞台に現れる様々な量子少数現象や量子多体現象について研究を行った。特に、最後の2年間では、時間的・空間的に変化する散乱長を伴う流体力学について研究を行い、非相対論的一般座標変換不変性と共形変換不変性を用いることで、時間・空間的に変化する散乱長が体積粘性と共に流体方程式に現れることを明らかにした。さらに、高温極限での体積粘性をフガシティによる系統的な展開を用いて計算した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

冷却原子実験では、フェッシュバハ共鳴により原子間の散乱長を変化させることができるが、さらに散乱長を時間的・空間的に変化させることも可能である。そこで本研究では、時間的・空間的に変化する散乱長が、強相関多体系のダイナミクスを支配する流体力学をどのように変更するかを明らかにした。ここで得られた知見により、強相関系の輸送係数という理論的に計算することが困難な量を、冷却原子実験を用いて決定するための道筋が開けた。

研究成果の概要（英文）：In this research project, I studied various quantum few-body and many-body phenomena that are realized with ultracold atoms. In particular, the last two years are devoted to hydrodynamics with spacetime-dependent scattering length and I showed that the spacetime-dependent scattering length appears in hydrodynamic equations with a bulk viscosity by using nonrelativistic general coordinate invariance and conformal invariance. Furthermore, the bulk viscosity in the high-temperature limit was computed with a systematic expansion in terms of fugacity.

研究分野：冷却原子気体を主とする理論物理

キーワード：冷却原子 近藤効果 輸送測定 エフィモフ効果 一次元量子系 流体力学 散乱長 体積粘性

1. 研究開始当初の背景

冷却原子の物理は、1995年のボース・アインシュタイン凝縮の実現から始まった比較的若い分野であるが、その後のめまぐるしい技術の進歩により、現在では系を特徴づけるほとんど全ての自由度を自在に制御できるようになった。例えば、光を使って原子を自由に閉じ込めることのできる「光格子」や、磁場を使って原子間相互作用を自在に変化させることのできる「フェッシュバハ共鳴」などが代表的な実験技術である。また原子種を適切に選ぶことで、粒子の量子統計や質量比も自由に選択することができる。つまり冷却原子の出現により、これまでは実現が困難であった系をも自由自在にデザイン・コントロールすることができ、人類が扱うことのできる物理現象の幅が飛躍的に広がったということである。このように他分野にはない顕著な利点を持つ冷却原子の物理は、基礎科学・応用科学の両面において、今後ますます重要になっていくものと考えられる。

2. 研究の目的

強相関量子少数系における普遍的物理現象について得られた知見は、少数系の物理のみに留まるものではない。なぜならば、少数系は多体系の構成要素であるために、少数系について得られた新しい知見は強相関量子多体系への既存の理解を変えうる可能性があるからである。実際に、3成分のフェルミ気体ではエフィモフ効果により3体の束縛状態が存在するために、これまで考えられてこなかった新しいタイプの超流動状態が実現する可能性が示されている。本研究では、強相関量子少数系における普遍的性質に基づいた「多体系へのボトムアップ的アプローチ」を新たに確立し、超流動・超伝導や磁性といった多彩な強相関量子多体系に対する新しい理解の構築を目指す。

3. 研究の方法

本研究の初年度では、ロトン、マグノン、ポラリトン系などの物性系にエフィモフ効果が現れうるのかどうかを解明し、その実験的実現に向けて道筋をつける。次年度には、系の自由度の選択に応じて強相関量子少数系にどのような普遍的現象が現れるのかを系統的に調べ、新奇の普遍的現象を発見した場合にはそれを冷却原子を用いた実験で実現し観測するための提案を行う。本研究の後半の2年間では、上記研究によって得られた強相関量子少数系における新たな知見が、強相関量子多体系への既存の理解をどのように変えうるかを解明し、強相関量子少数系における普遍的性質に基づいた「多体系へのボトムアップ的アプローチ」を確立し、超流動・超伝導や磁性といった多彩な強相関量子多体系に対する新しい理解を構築する。

4. 研究成果

(1年目)

冷却原子系では多種多様な物性現象を実空間・実時間で観測することが可能である。一方、物性における基本的現象の一つである近藤効果は、これまで冷却原子系において実現されてはいない。しかし、もし近藤効果を冷却原子系において実現することができれば、近藤遮蔽雲の空間的構造やその形成のダイナミクス、あるいは近藤格子系における量子臨界現象への新しい理解を構築する上で有用であると考えられる。過去の研究では、冷却原子系において近藤効果を実現するための理論的な提案を行った。そこで本研究では、冷却原子系において近藤効果を観測するために、以下のような理論的な提案を新たに行った。まず遍歴するフェルミ原子にスピンを導入し、 $1/2$ -パルスを当てることによってスピンの重ね合わせ状態を作る。その結果、不純物原子との相互作用によってスピン状態間の遷移が引き起こされる。この系を記述するハミルトニアンは、量子ドット系を記述するアンダーソン模型と同一となる。つまり、本研究で提案した方法では、原子のスピン自由度が量子ドット系における左右の導線の自由度の役割を担うことになる。従って、あらかじめ2つのスピン状態に異なる数の原子を用意しておけば、多数のスピン状態から少数のスピン状態へと原子数の輸送が起こる。この輸送を特徴付ける伝導度は、低温に向かって普遍的な対数的増加を示すので、この量を測定することにより冷却原子系において近藤効果を観測することが可能となる。

(2年目)

相互作用ポテンシャルの到達距離を上回るような大きさを持つ束縛状態は古典的には存在し得ないが、量子力学では粒子の持つ波動性のためにそのような束縛状態が可能となる。特に、相互作用が共鳴的となるような特別な条件下では無限に大きくなる量子力学的束縛状態が出現することがある。これまでに知られている例はエフィモフ効果とスーパーエフィモフ効果である。エ

フィモフ効果やスーパーエフィモフ効果では、量子力学的束縛状態の励起状態の大きさは指数関数的あるいは二重指数関数的に大きくなる。本研究では、2次元のボース粒子系において新しいクラスの量子力学的束縛状態を発見した。具体的には、2体の相互作用は存在しないが3体の共鳴的な相互作用が存在するとき、4体のボース粒子系において無限個の束縛準位が出現し、その励起状態の大きさが $\exp(-\sqrt{n}/27)$ のように振る舞うことを示した。特にモデルポテンシャルを用いた解析に加え、モデルに依らない繰り込み群を用いた解析を行うことによって、この新奇現象の普遍性も示し、上記のエフィモフ効果やスーパーエフィモフ効果との類似性から、半スーパーエフィモフ効果と名付けた。従って、これまでに発見された無限に大きくなる量子力学的束縛状態は、エフィモフ効果、半スーパーエフィモフ効果、スーパーエフィモフ効果のいずれかによるものであり、強相関量子少数系における普遍的現象の三つの普遍クラスを構成することができる。

(3年目)

本年度は1次元量子系における普遍的な物理について研究を行った。s波のコンタクト相互作用ポテンシャルを持つボース粒子系とp波のコンタクト相互作用ポテンシャルを持つフェルミ粒子系との間には対応関係があり、特に両者のエネルギースペクトルは完全に一致する。しかし、例えば運動量分布のような相関関数は、両者の間で一致しない。本研究では、系のエネルギーを運動量分布で表した際に、ボース粒子系では2体のコンタクト(短距離相関を特徴付ける物理量)のみが現れるが、フェルミ粒子系では2体と3体のコンタクトの両方が現れることを示した。このフェルミ粒子系のハミルトニアンは2体の相互作用ポテンシャルしか持たないにも関わらず、エネルギーを運動量分布で表した際には3体のコンタクトが現れるという点は、予期しなかった驚くべき結果である。この新しい関係式をシュレーディンガー方程式を用いて導出するとともに、いくつかの簡単な場合において実際に成り立つことも確認した。この結果は1次元量子系において3体相関の重要性を示唆するものであると考えられる。また、2体の相互作用だけでなく3体の相互作用を持つボース粒子系を考え、この系に現れる束縛状態についても考察を行なった。特に、2体の引力しか存在しない場合には一つしか束縛状態が存在しないが、3体の引力をわずかも加えると、新たな束縛状態が直ちに現れることを示した。また、逆に3体の引力しか存在しない場合には、複数の束縛状態が存在し、特に粒子数が多い極限では、基底状態の束縛エネルギーが指数関数的に大きくなることを示した。

(4年目)

本年度は、時間的・空間的に変化する散乱長を伴う流体力学についての研究を主に遂行した。流体力学は、熱力学的平衡状態から外れた強相関係の低エネルギー物理を記述できる強力な方法である。特に本研究では、時間的・空間的に変化する散乱長を伴う非相対論的な粒子からなる系について、常流動相と超流動相の双方で流体方程式を構築した。そのためにまず、粒子数、運動量、エネルギーに関する連続の方程式を演算子間の恒等式として導き、特にストレステンソルのトレースがハミルトニアンとコンタクトを用いて書けることを示した。これらの恒等式を用いて構成方程式を構築し、熱力学の第二法則と整合するように散逸項を決定した。その結果、散乱長は流体の膨張収縮を表すように、系の体積粘性(超流動相においては η_2)を伴って構成方程式に現れることを明らかにした。このことは散乱長が系のハミルトニアンに内在する唯一のスケールであり、流体の膨張収縮はこのスケールと相対して生じることから自然に理解できる。同様の結果は、時間的・空間的に変化する散乱長を仮想的な外場と見なして、共形不変性を満たすように体積粘性項を構築することによっても得ることができる。また、静止した一様系に対して散乱長を時間的に変化させると、体積粘性に比例してエントロピー生成が生じることも明らかにした。この事実は、冷却原子実験において系の体積粘性を測定するために有用となり得るものである。

(5年目)

本年度は、ゼロレンジポテンシャルで相互作用する2成分フェルミ粒子系における粘性係数についての研究を主に遂行した。一般に強相関係において輸送係数の計算は理論的に困難であるが、高温極限ではフガシティが小さくなるため、フガシティを展開パラメータとする系統的な展開(量子ビリアル展開)が可能となる。本研究では、この量子ビリアル展開に基づいて粘性係数の系統的な評価を行なった。まず、体積粘性に対する久保公式はストレステンソルのトレースの相関関数で書かれているが、これはコンタクトの相関関数を用いて書き直せることを示した。次に、相関関数を量子ビリアル展開に基づいて系統的に計算する一般的な方法を開発し、これを適用することで、コンタクトの相関関数をフガシティの2次までで計算した。そこから得られる振動数依存する体積粘性は、振動数に関する和則や高振動数極限における冪則を満たすことを確認した。特に、ユニタリー極限において、体積粘性に対数的な特異性が現れることを見出し、将来の冷却原子を用いた実験的検証の可能性について議論した。また、久保公式から得られる体積粘性が、ボルツマン方程式に基づく運動論から得られるものと異なることも見出した。この違いは、体積粘性を計算するために採用されたボルツマン方程式において、準粒子近似が破綻していることに起因する可能性を議論した。次に、せん断粘性についても同様の計算をフガシティの2次までで行い、振動数依存するせん断粘性は、振動数に関する和則や高振動数極限における冪則を

満たすことを確認した。また、久保公式から得られるせん断粘性は、ボルツマン方程式に基づく運動論から得られるものと一致することも見出した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 1件）

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 Takuya Furusawa, Yusuke Nishida | 4. 巻 99 |
| 2. 論文標題 Boson-fermion duality in four dimensions | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review D | 6. 最初と最後の頁 101701 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.99.101701 | 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 Yusuke Nishida | 4. 巻 410 |
| 2. 論文標題 Viscosity spectral functions of resonating fermions in the quantum virial expansion | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Annals of Physics | 6. 最初と最後の頁 167949 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aop.2019.167949 | 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 Takaaki Anzai, Yusuke Nishida | 4. 巻 100 |
| 2. 論文標題 Two-dimensional imbalanced Fermi gas in antiparallel magnetic fields | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review A | 6. 最初と最後の頁 43615 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.100.043615 | 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 Fujii Keisuke, Yusuke Nishida | 4. 巻 395 |
| 2. 論文標題 Low-energy effective field theory of superfluid $^3\text{He-B}$ and its gyromagnetic and Hall responses | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Annals of Physics | 6. 最初と最後の頁 170-182 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aop.2018.06.003 | 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 Nishida Yusuke | 4. 巻 97 |
| 2. 論文標題 Universal bound states of one-dimensional bosons with two- and three-body attractions | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review A | 6. 最初と最後の頁 61603 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.97.061603 | 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 Fujii Keisuke, Yusuke Nishida | 4. 巻 98 |
| 2. 論文標題 Hydrodynamics with spacetime-dependent scattering length | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review A | 6. 最初と最後の頁 63634 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.98.063634 | 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 Takaaki Anzai and Yusuke Nishida | 4. 巻 95 |
| 2. 論文標題 Two-dimensional Fermi gas in antiparallel magnetic fields | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review A | 6. 最初と最後の頁 051603(R), 1-6 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.95.051603 | 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 Yusuke Nishida | 4. 巻 118 |
| 2. 論文標題 Semisuper Efimov Effect of Two-Dimensional Bosons at a Three-Body Resonance | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review Letters | 6. 最初と最後の頁 230601, 1-5 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.118.230601 | 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 Yuta Sekino, Shina Tan, and Yusuke Nishida | 4. 巻 97 |
| 2. 論文標題 Comparative study of one-dimensional Bose and Fermi gases with contact interactions from the viewpoint of universal relations for correlation functions | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review A | 6. 最初と最後の頁 013621, 1-7 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.97.013621 | 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 Yuta Sekino and Yusuke Nishida | 4. 巻 97 |
| 2. 論文標題 Quantum droplet of one-dimensional bosons with a three-body attraction | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review A | 6. 最初と最後の頁 011602(R), 1-5 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.97.011602 | 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 Yusuke Nishida | 4. 巻 94 |
| 2. 論文標題 Renormalization group analysis of graphene with a supercritical Coulomb impurity | 5. 発行年 2016年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review B | 6. 最初と最後の頁 85430 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.94.085430 | 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 Yusuke Nishida | 4. 巻 93 |
| 2. 論文標題 Transport measurement of the orbital Kondo effect with ultracold atoms | 5. 発行年 2016年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review A | 6. 最初と最後の頁 11606 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.93.011606 | 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23件 (うち招待講演 19件 / うち国際学会 14件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yusuke Nishida |
| 2. 発表標題 Zoo of quantum halos |
| 3. 学会等名 Few-body Physics in Cold Atomic Gases (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yusuke Nishida |
| 2. 発表標題 Conformality, bulk viscosity, and contact correlation |
| 3. 学会等名 第1回冷却原子研究会「アトムの会」 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yusuke Nishida |
| 2. 発表標題 Conformality, bulk viscosity, and contact correlation |
| 3. 学会等名 The Fourth Kyoto-Beijing-Tokyo Workshop on Ultracold Atomic Gases (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yusuke Nishida |
| 2. 発表標題 Conformality, bulk viscosity, and contact correlation |
| 3. 学会等名 Universal Physics in Many-Body Quantum Systems -- From Atoms to Quarks (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yusuke Nishida |
| 2. 発表標題 Few-body universality: Efimov effect and its application and extension |
| 3. 学会等名 Quantum Few- to Many-Body Physics in Ultracold Atoms (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yusuke Nishida |
| 2. 発表標題 Novel few-body universality and many-body crossover physics |
| 3. 学会等名 Universal Physics in Many-Body Quantum Systems -- From Atoms to Quarks -- (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 西田祐介 |
| 2. 発表標題 非相対論的な系における共形対称性と流体力学 |
| 3. 学会等名 非平衡系の物理学 - 階層性と普遍性 - (招待講演) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 西田祐介 |
| 2. 発表標題 Boson-fermion duality in four dimensions |
| 3. 学会等名 第4回「トポロジーが紡ぐ物質科学のフロンティア」領域研究会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yusuke Nishida |
| 2. 発表標題 Kondo effect and its transport measurement with ultracold atoms |
| 3. 学会等名 From Few To Many: Exploring quantum systems one atom at a time (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yusuke Nishida |
| 2. 発表標題 Zoo of quantum halos |
| 3. 学会等名 The 2nd Tokyo-Beijing Workshop on Ultracold Atoms (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yusuke Nishida |
| 2. 発表標題 Zoo of quantum halos |
| 3. 学会等名 Critical Stability of Quantum Few-Body Systems (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yusuke Nishida |
| 2. 発表標題 Zoo of quantum halos |
| 3. 学会等名 Hadrons and Nuclear Physics Meet Ultracold Atoms: a French-Japanese Workshop (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yusuke Nishida |
| 2. 発表標題 Novel few-body universality and many-body crossover physics |
| 3. 学会等名 Few-body Physics in Cold Atomic Gases (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2016年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yusuke Nishida |
| 2. 発表標題 Kondo effect and its transport measurement with ultracold atoms |
| 3. 学会等名 CEMS Topical Meeting on Cold Atoms (招待講演) |
| 4. 発表年 2016年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yusuke Nishida |
| 2. 発表標題 Few-body universality: from Efimov effect to super Efimov effect |
| 3. 学会等名 The 23rd European Conference on Few-Body Problems in Physics (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2016年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yusuke Nishida |
| 2. 発表標題 Low-energy effective field theory of superfluid $^3\text{He-B}$ and its gyromagnetic and Hall responses |
| 3. 学会等名 Topological Materials Science: Intensive-Interactive Meeting (国際学会) |
| 4. 発表年 2016年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yusuke Nishida |
| 2. 発表標題 Low-energy effective field theory of superfluid $^3\text{He-B}$ and its gyromagnetic and Hall responses |
| 3. 学会等名 EPIQS-TMS Trans-Pacific Conference on Topological Quantum Materials (国際学会) |
| 4. 発表年 2016年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 西田祐介 |
| 2. 発表標題 Low-energy effective field theory of superfluid $^3\text{He-B}$ and its gyromagnetic and Hall responses |
| 3. 学会等名 理研iTHES神戸量子物性研究会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yusuke Nishida |
| 2. 発表標題 Novel few-body universality and many-body crossover physics |
| 3. 学会等名 595th International Wilhelm und Else Heraeus-Seminar "Cold Atoms meet Quantum Field Theory" (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2015年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 西田祐介 |
| 2. 発表標題 冷却原子と原子核・ハドロン物理との接点 |
| 3. 学会等名 KEK理論センター研究会「原子核・ハドロン物理の理論的課題と将来」(招待講演) |
| 4. 発表年 2015年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 西田祐介 |
| 2. 発表標題 量子少数系における普遍性と(スーパー)エフィモフ効果 |
| 3. 学会等名 第4回統計物理学懇談会(招待講演) |
| 4. 発表年 2016年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 西田祐介 |
| 2. 発表標題 冷却原子系における近藤効果の実現とその輸送測定 |
| 3. 学会等名 日本物理学会 第71回年次大会(招待講演) |
| 4. 発表年 2016年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 西田祐介 |
| 2. 発表標題 冷却原子と原子核・ハドロン物理をつなぐ普遍性 |
| 3. 学会等名 量子クラスターで読み解く物質の階層構造(招待講演) |
| 4. 発表年 2018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 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
| | | | |