

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 5 月 30 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K03689

研究課題名(和文) 強相関量子多体状態の形成過程をフェルミ原子気体の高い操作性を使い解明する研究

研究課題名(英文) Research to elucidate the formation process of strongly correlated many-body systems using high tunability of ultracold Fermi gas

研究代表者

大橋 洋士 (Ohashi, Yoji)

慶應義塾大学・理工学部(矢上)・教授

研究者番号：60272134

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：非平衡状態にある2成分フェルミ原子気体を理論的に研究、熱浴の効果で生じた粒子の運動量分布の2段構造により、Fulde-Ferrell状態に類似した新奇超流動状態が現れることを指摘した。また、それが安定に存在できる領域を、相互作用・温度・化学ポテンシャル差の相図上で特定した。併せてbi-stabilityが発生する領域が存在することも明らかにした。更に、相図中に現れる秩序状態の時間発展を研究し、どのように安定して状態に移行するか、あるいは不安定化し崩壊するかを数値的に示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

非平衡状態にあるフェルミ原子気体において、Fulde-Ferrell状態に類似の超流動状態がスピンインバランスなしで安定に実現しうるということが明らかになったことは、様々な分野で進んでいるFulde-Ferrell超流動の実現に向けた研究に大きなインパクトを与える成果であり、学術的意義は大きい。フェルミ原子気体で実現する超流動は、金属超伝導と物理的に同じであることから、本研究の成果は、技術的应用が期待される超伝導研究の発展にも貢献するものとして、社会的意義もあると判断できる。

研究成果の概要(英文)：I theoretically studied an interacting two-component Fermi atomic gas, being coupled with two reservoirs having different values of the Fermi chemical potential. In the non-equilibrium steady state, I found that the two reservoirs imprint a two-edge structure on the momentum distribution of Fermi atoms in the BCS-BEC crossover region, leading to the realization of a Fulde-Ferrell type novel Fermi superfluid. I identified the region where this superfluid state appears in a stable manner, in the non-equilibrium phase diagram in terms of the interaction strength, temperature, as well as the chemical potential difference. I also showed that the bi-stability occurs in this system. In addition, I numerically examined the time evolution of the states appearing this phase diagram, to clarify their stability conditions.

研究分野：凝縮系物理学

キーワード：非平衡状態 強結合効果 量子多体効果 BCS-BECクロスオーバー 超流動 フェルミ原子気体 光格子  
非平衡グリーン関数

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

2002年に<sup>40</sup>K、<sup>6</sup>Liフェルミ原子気体で実現した超流動では、Feshbach共鳴と呼ばれる特殊な機構を用いることで、フェルミ原子間にはたらく対形成引力相互作用の強度を自在に制御することが可能である。これにより実現されたのが、BCS (Bardeen-Cooper-Schrieffer)-BEC(Bose-Einstein condensation)クロスオーバーであり、ここでは、引力相互作用が強くなるにつれ、超流動の性質が金属超伝導で議論されているBCS状態から、超流動転移温度以上で形成された分子ボソンのBECへと、連続的に移行する現象が実現している。また、この系は、相互作用以外にも、様々な物質パラメータを自在に制御できるという特長があり、それを駆使することで、問題が山積する様々な量子多体現象に対する量子シミュレータとしての活用も期待されている。

これまで、冷却フェルミ原子気体の研究は、熱平衡状態を中心に行われ、BCS-BECクロスオーバー領域における様々な物理量の精密測定が行われてきた。また、それに呼応して、強結合理論も発展し、この領域で測定された多くの実験結果を、定量的レベルで説明できる水準に達しつつある。

こうした従来の熱平衡系の研究に加え、本研究開始の段階で、当該研究分野では非平衡状態の実験も開始され始め、新たな研究領域として注目を集めつつあった。このため、理論研究としても、従来の熱平衡系でのBCS-BECクロスオーバー現象の研究で成功を収めた強結合理論を、非平衡状態に拡張することや、それを用いての非平衡強結合現象の解明、非平衡効果に因る新奇量子状態の探索、そして、そうした量子多体状態の形成過程の解明といった問題が、新たに取り組むべき大きな課題となっていた。

### 2. 研究の目的

上記のような当該研究領域の現状を受け、非平衡効果と強結合効果を共に扱える理論を用い、BCS-BECクロスオーバー領域にあるフェルミ原子気体に対する非平衡効果を研究することが本研究の目的である。BCS-BECクロスオーバー現象に対する非平衡効果や、非平衡系特有の新奇非平衡量子多体現象を探索、その物性や実現条件、および、形成過程や安定性を解明、そして、こうした理論的予言を検証するための実験への提案を目指した。

### 3. 研究の方法

#### (1) 問題設定

本研究では、化学ポテンシャルが異なる2つの熱浴に接した非平衡フェルミ原子気体のモデルを扱った：図1に示すように、2つの熱浴に接することで非平衡状態になっている、s波相互作用する2成分フェルミ原子気体を扱った(図1中央部分)。このモデルでは、熱浴は共に自由フェルミ気体であると仮定、温度Tで指定された熱平衡状態にあるとする。これら熱浴からは、常に原子の流入と流出が系にもたらされ、その結果、系は非平衡状態になっているとする。非平衡状態では温度を指定することができないので、研究では熱浴の温度により状態を指定する。

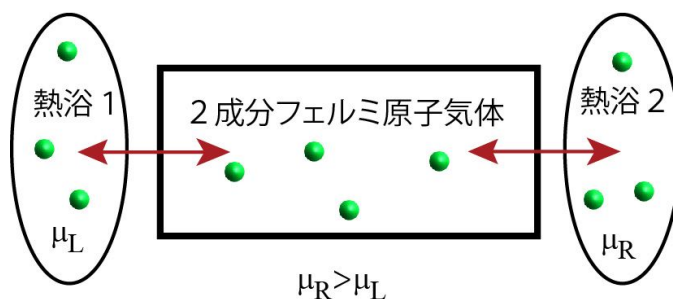


図1：本研究が対象とした非平衡フェルミ原子気体の模式図

#### (2) 理論の枠組み

上記の問題設定で述べたモデルに対し、次の2つの非平衡強結合理論的を用いた：超流動相の研究に対しては、熱平衡系において絶対零度のBCS-BECクロスオーバー理論として知られているBCS-Leggettの理論を非平衡定常状態に拡張し、新奇超流動相の探索を行った。得られた超流動相に対し、そこからパラメータ的にずれた状態を初期状態として、その後の系の時間発展をKadanoff-Baym方程式を用い追跡、崩壊過程を調べることで安定性の解析を行ったり、安定な場合での状態の形成過程を数値的に分析したりした。この理論的アプローチは、平均場近似が有効である弱結合領域に対しては、有限温度でも行った。

正常相においては、熱平衡状態でのBCS-BECクロスオーバー現象の研究に対し発展してきた強結合理論の一つであるT行列近似(T-matrix approximation(TMA))を、Schwinger-Keldysh Green関数法を用い非平衡定常状態に拡張した理論を用いた。これを用い、BCS-BECクロスオーバー領域における強結合物性に対する非平衡効果を理論的に研究した。

## 4. 研究成果

### (1) 新奇非平衡超流動状態の理論的予言と、形成過程、崩壊過程の解明

非平衡定常状態に拡張した BCS-Leggett 理論の解として、ノーマル(常流体相)相、BCS 型超流動相、Interior-gap 型(Sarma 型)超流動相、Fulde-Ferrell 型超流動相の 4 つの状態を得た。熱平衡系の場合、与えられた条件下でどれが実現するかは、自由エネルギーの比較から判定できるが、今考えている非平衡定常状態にあるフェルミ原子気体に対しては、こうした熱力学的安定性解析を用いることができない。そこで、それぞれの解に対し、その状態から離れた状況を初期状態として設定、Kadanoff-Baym 方程式を用い、系の時間発展を数値的に調べた。その結果、4 つの解のうち、Interior-gap 型超流動は、温度と原子間引力相互作用強度、および、2 つの熱浴の化学ポテンシャル差を軸とする相図中のすべてのパラメータ領域で、常に BCS-Leggett 理論の解から遠ざかる方向に状態が時間発展することを見出した。これは、この超流動状態が常に時間発展と共に崩壊することを意味する。すなわち、この結果から、Interior-gap 型超流動は、今考えている非平衡フェルミ原子気体においては常に不安定であることが明らかとなった。

4 つの解のうち、Fulde-Ferrell 型超流動は、上述の Kadanoff-Baym 方程式を用いた解析から、BCS-Leggett 解から離れた初期状態から出発しても、BCS-Leggett 解に向かって系が時間発展するパラメータ領域があることを明らかにした。この場合、系の時間発展は Interior-gap 型超流動の場合とは異なり、この状態の形成過程を表しており、この超流動状態が安定であることを意味している。本研究で得られた Fulde-Ferrell 型超流動は、クーパー対がゼロでない有限な重心運動量を持っている、という点では、熱平衡状態にある磁場中超伝導で議論されている Fulde-Ferrell 状態に類似しているが、後者では、磁場によりスピンインバランス(上向きスピンの電子数と下向きスピンの電子数が異なる状態)があるのに対し、本研究で考えている状況はスピンバランス系である。後者では、化学ポテンシャルの大きさが異なる 2 つの熱浴の効果により、系のフェルミ原子の運動量分布に 2 段構造が生じ、それが、あたかも 2 つの大きさの異なるフェルミ面のように機能することで、(熱平衡状態での)磁場中超伝導における Fulde-Ferrell 状態に類似の状態が、スピンバランス系であるにも関わらず、安定に存在できるのである。ただし、運動量分布に生じる 2 段構造は、超流動に参与する 2 つの原子状態それぞれの成分に対し等しく生じるので、あたかも「上向き磁場」と「下向き磁場」中の超伝導での Fulde-Ferrell 状態を足し合わせたような超流動状態になっているという点で、本研究で得られた Fulde-Ferrell 型超流動は、これまで知られていなかった超流動状態であるといえる。なお、こうした従来型の Fulde-Ferrell 状態との類似性、相違性は、対振幅の運動量分布を具体的に計算することで明らかにした。

### (2) bi-stability 現象の理論的予言

Fulde-Ferrell 型超流動が安定に存在する領域(Kadanoff-Baym 方程式において、この状態が形成されていく方に時間発展する領域)では、同じく、BCS 状態(クーパー対の重心運動量がゼロの超流動状態)も安定に存在できることを、数値的に明らかにした。この結果は、これら 2 種類の超流動が同一条件下で共に存在できる bi-stability が起こることを示しており、熱平衡状態ではこうした現象は起こらないことから、非平衡状態特有の現象と言えらる。また、どちらが実現するかは、実験的にどのようにこの系を準備するかという履歴に依存していることを指摘、それぞれの超流動相に到達するための実験的なルートを提案した。

このような bi-stability は BCS 状態と正常相の間でも起こることも明らかにした。

### (3) BCS-BEC クロスオーバー領域における Fulde-Ferrell 型対形成揺らぎによる擬ギャップ現象

異なる大きさの化学ポテンシャル 2 つの熱浴で制御されたフェルミ原子気体の運動量分布に 2 段構造が生じると、正常相の BCS-BEC クロスオーバー領域では、有限な重心運動量で特徴づけられる Fulde-Ferrell 型の対形成揺らぎが増大するが、それに因り生じる擬ギャップ現象を、非平衡定常状態に拡張した TMA を用い研究した。従来の(重心運動量ゼロの対形成揺らぎに起因する)擬ギャップと異なり、1 粒子冷気スペクトル中に開いた擬ギャップ内に、特殊なスペクトル構造が現れることを指摘した。これは光原子分光スペクトルで観測可能な量であり、本研究が提案している非平衡フェルミ原子気体でこの量を観測することで、Fulde-Ferrell 型の対形成揺らぎが実際に実現していることを検証することが可能であると考えられる。

### (4) 強結合 BCS-BEC クロスオーバー理論の拡張

本研究では非平衡効果については 2 成分フェルミ原子気体を扱ったが、研究対象とする系を広げる準備として、 $^{173}\text{Yb}$  フェルミ原子気体で議論されている軌道 Feshbach 共鳴を有する 2 バンドフェルミ原子気体の超流動相を扱える BCS-BEC クロスオーバー理論や、フェルミ原子気体の BCS-BEC クロスオーバー研究で開発された自己無撞着 T 行列近似(self-consistent T-matrix approximation(SCTMA))を、Feshbach 共鳴を有するボース・フェルミ混合原子気体に拡張するための研究も行った。前者では、構築した理論を用い、超流動相における集団励起の BCS-BEC クロスオーバー領域での振る舞いを明らかにした。後者の研究では、フェルミ原子に媒介されたボー

ス原子間引力による系の不安定化と、ボース間斥力相互作用による再安定化の様子を、幅広い相互作用領域で理論的に明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Manabe Koki, Ohashi Yoji	4. 巻 103
2. 論文標題 Thermodynamic stability, compressibility matrices, and effects of mediated interactions in a strongly interacting Bose-Fermi mixture	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 063317 (1-12)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.103.063317	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 Kamihori Taro, Kagamihara Daichi, Ohashi Yoji	4. 巻 103
2. 論文標題 Superfluid properties of an ultracold Fermi gas with an orbital Feshbach resonance in the BCS-BEC crossover region	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 053319 (1-14)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.103.053319	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 K. Furutani, and Y. Ohashi	4. 巻 201
2. 論文標題 Strong-Coupling Effects on Quantum Transport in an Ultracold Fermi Gas	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Low Temperature Physics	6. 最初と最後の頁 49-57
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-020-02482-7	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 大橋洋士	4. 巻 58
2. 論文標題 BCS-BECクロスオーバー	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 数理科学	6. 最初と最後の頁 21-27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Kagamihara Daichi, Ohashi Yoji	4. 巻 89
2. 論文標題 Kovtun-Son-Starinets Conjecture and Effects of Mass Imbalance in the Normal State of an Ultracold Fermi Gas in the BCS-BEC Crossover Region	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 044005 (1-10)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.044005	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 Ohashi Yoji, Tajima Hiroyuki, van Wyk Pieter	4. 巻 111
2. 論文標題 BCS-BEC crossover in cold atomic and in nuclear systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress in Particle and Nuclear Physics	6. 最初と最後の頁 103739(1-54)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pnpnp.2019.103739	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 Tajima Hiroyuki, Recati Alessio, Ohashi Yoji	4. 巻 101
2. 論文標題 Spin-dipole mode in a trapped Fermi gas near unitarity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 013610(1-7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.101.013610	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 Kawamura Taira, Hanai Ryo, Kagamihara Daichi, Inotani Daisuke, Ohashi Yoji	4. 巻 101
2. 論文標題 Nonequilibrium strong-coupling theory for a driven-dissipative ultracold Fermi gas in the BCS-BEC crossover region	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 013602(1-20)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.101.013602	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 Tajima Hiroyuki, Hatsuda Tetsuo, van Wyk Pieter, Ohashi Yoji	4. 巻 9
2. 論文標題 Superfluid Phase Transitions and Effects of Thermal Pairing Fluctuations in Asymmetric Nuclear Matter	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 18477(1-13)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-54010-7	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 Kagamihara Daichi, Inotani Daisuke, Ohashi Yoji	4. 巻 88
2. 論文標題 Shear Viscosity and Strong-Coupling Corrections in the BCS-BEC Crossover Regime of an Ultracold Fermi Gas	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 114001(1-10)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.114001	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 Manabe Koki, Inotani Daisuke, Ohashi Yoji	4. 巻 100
2. 論文標題 Single-particle properties of a strongly interacting Bose-Fermi mixture with mass and population imbalance	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 063609(1-13)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.100.063609	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 Hanai Ryo, Edelman Alexander, Ohashi Yoji, Littlewood Peter B.	4. 巻 122
2. 論文標題 Non-Hermitian Phase Transition from a Polariton Bose-Einstein Condensate to a Photon Laser	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 185301(1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.122.185301	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 Inotani Daisuke, van Wyk Pieter, Ohashi Yoji	4. 巻 196
2. 論文標題 Strong-Coupling Effects on Specific Heat in the BCS-BEC Crossover	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Low Temperature Physics	6. 最初と最後の頁 111 ~ 118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-019-02194-7	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51件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 大橋洋士
2. 発表標題 物性物理学からの視点：BCS-BECクロスオーバー現象から探る高密度核物質の世界
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大橋洋士
2. 発表標題 冷却フェルミ原子気体のBCS-BECクロスオーバー領域におけるずり粘性率とKovtun-Son-Starinets (KSS) 予想
3. 学会等名 新学術領域 (量子クラスターで読み解く物質の階層構造) 主催「第6回分野横断インフォーマルミーティング」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩崎舜平, 真辺幸喜, 大橋洋士
2. 発表標題 強結合フェルミ気体における奇周波数クーパーペア
3. 学会等名 日本物理学会 2021秋季大会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 河村泰良, 大橋洋士
2. 発表標題 FFLO状態の対形成揺らぎに対する安定性
3. 学会等名 日本物理学会 2021秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鏡原大地, 土屋俊二, 大橋洋士
2. 発表標題 超流動フェルミ原子気体のずり粘性率II
3. 学会等名 日本物理学会 2021秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 真辺幸喜, 大橋洋士
2. 発表標題 強結合Bose-Fermi混合原子気体における分子間有効相互作用効果II
3. 学会等名 日本物理学会 2021秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shunpei Iwasaki, and Yoji Ohashi
2. 発表標題 Odd-frequency pairing in a strongly interacting Fermi gas
3. 学会等名 QFS (Quantum Fluids and Solids) 2021 International Online Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daichi Kagamihara, Shunji Tsuchiya, and Yoji Ohashi
2. 発表標題 Ratio of shear viscosity to entropy density in a superfluid Fermi gas
3. 学会等名 QFS (Quantum Fluids and Solids) 2021 International Online Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koki Manabe, and Yoji Ohashi
2. 発表標題 Strong-coupling effects on thermodynamic properties of a normal Bose-Fermi mixture with a tunable hetero-pairing interaction
3. 学会等名 QFS (Quantum Fluids and Solids) 2021 International Online Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Taira Kawamura, Ryo Hanai, and Yoji Ohashi
2. 発表標題 Realization of unconventional Fermi superfluids through Fermi-surface reservoir-engineering
3. 学会等名 QFS (Quantum Fluids and Solids) 2021 International Online Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoji Ohashi, Taira Kawamura, and Ryo Hanai
2. 発表標題 Non-equilibrium BCS-BEC crossover in a strongly interacting driven-dissipative Fermi gas
3. 学会等名 International Conference "Super Fluctuations 2021" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩崎舜平, 真辺幸喜, 大橋洋士
2. 発表標題 奇周波数超流動の強結合理論
3. 学会等名 新学術領域研究「量子クラスターで読み解く物質の階層構造」スクール
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 河村泰良, 花井亮, 大橋洋士
2. 発表標題 フェルミ面エンジニアリングによる冷却フェルミ原子ガスにおけるクラスター形成の制御
3. 学会等名 新学術領域研究「量子クラスターで読み解く物質の階層構造」スクール
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大橋洋士, 鏡原大地
2. 発表標題 フェルミ原子気体におけるずり粘性率とKovtun-Son-Starinets予想
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鏡原大地, 土屋俊二, 大橋洋士
2. 発表標題 超流動フェルミ原子気体のずり粘性率
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 真辺幸喜, 大橋洋士
2. 発表標題 強結合Bose-Fermi混合原子気体における分子間有効相互作用効果
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 河村泰良, 花井亮, 大橋洋士
2. 発表標題 強結合Bose-Fermi混合原子気体における分子間有効相互作用効果
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 河村泰良, 花井亮, 大橋洋士
2. 発表標題 非平衡定常状態にあるフェルミ超流動の安定性解析
3. 学会等名 日本物理学会 2020秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩崎舜平, 真辺幸喜, 大橋洋士
2. 発表標題 奇周波数超流動に対する強結合理論
3. 学会等名 日本物理学会 2020秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 真辺幸喜, 大橋洋士
2. 発表標題 強相関Bose-Fermi混合原子気体の安定性と熱力学的性質
3. 学会等名 日本物理学会 2020秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古谷浩一朗, 鏡原大地, 大橋洋士
2. 発表標題 強く相互作用するフェルミ原子気体の熱輸送特性
3. 学会等名 日本物理学会 2020秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大橋洋士, 鏡原大地
2. 発表標題 Shear viscosity and Kovtun-Son-Starinets conjecture in a strongly interacting Fermi gas
3. 学会等名 第7回階層を横断する会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大橋洋士, 鏡原大地
2. 発表標題 Shear viscosity and Kovtun-Son-Starinets conjecture in the BCS-BEC crossover regime of an ultracold Fermi gas
3. 学会等名 第3回・4回クラスター階層領域研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤龍平, 鏡原大地, 真辺幸喜, 田島裕之, 猪谷太輔, 大橋洋士
2. 発表標題 強結合フェルミ原子気体におけるpre-formed Cooper-pair間に現れる2体、3体相互作用効果
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古谷浩一朗, 鏡原大地, 大橋洋士
2. 発表標題 相互作用するフェルミ原子気体の量子輸送に対する強結合効果II
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 真辺 幸喜, 大橋 洋士
2. 発表標題 強く相互作用するBose-Fermi混合気体における誘導相互作用効果
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大橋洋士
2. 発表標題 フェルミ原子ガス超流動の中性子星クラスト領域研究への応用
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河村泰良, 花井亮, 大橋洋士
2. 発表標題 非平衡フェルミ原子ガスにおけるエキゾチックな超流動状態
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Manabe, and Y. Ohashi
2. 発表標題 Mediated interaction and induced instability in a strongly-interacting Bose-Fermi mixture
3. 学会等名 International symposium on Clustering as a Window on the Hierarchical Structure of Quantum Systems (CLUSHIQ2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 R. Sato, D. Kagamihara, D. Inotani, K. Manabe, Y. Tajima, Y. Ohashi
2. 発表標題 Isothermal Compressibility and Effects of Induced Multi-body Interactions between Preformed Cooper-pairs in an Ultracold Fermi Gas
3. 学会等名 International symposium on Clustering as a Window on the Hierarchical Structure of Quantum Systems (CLUSHIQ2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 D. Kagamihara, D. Inotani, and Y. Ohashi
2. 発表標題 Shear viscosity and Kovtun-Son-Starinets (KSS) conjecture in an ultracold Fermi gas
3. 学会等名 The Fourth Kyoto-Beijing-Tokyo Workshop on Ultracold Atomic Gases (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taira Kawamura, Ryo Hanai, Daichi Kagamihara, and Yoji Ohashi
2. 発表標題 Phase diagram of a strongly interacting non-equilibrium Fermi gas
3. 学会等名 The Fourth Kyoto-Beijing-Tokyo Workshop on Ultracold Atomic Gases (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Manabe, and Y. Ohashi
2. 発表標題 Density fluctuations and mechanical stability in a strongly-interacting Bose-Fermi mixture: Self-consistent T-matrix approach
3. 学会等名 The Fourth Kyoto-Beijing-Tokyo Workshop on Ultracold Atomic Gases (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Ohashi, H. Tajima, P. van Wyk, D. Inotani, A. Ohnishi, and T. Hatsuda
2. 発表標題 Strong-Coupling Properties of an Ultracold Fermi Atomic Gas in the BCS-BEC Crossover Region and a Possible Application to the Study of Neutron-Star Interior
3. 学会等名 International Conference of Strongly Correlated Electron Systems (SCES2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 真辺幸喜, 大橋洋士
2. 発表標題 強く相互作用するBose-Fermi混合原子気体における密度応答
3. 学会等名 第1回冷却原子気体研究会「アトムの会」(新学術:量子クラスターで読み解く物質の階層構造)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Taira Kawamura, Ryo Hanai, Daochi Kagamihara, and Yoji Ohashi
2. 発表標題 Strong-coupling effects on a non-equilibrium Fermi gas
3. 学会等名 第1回冷却原子気体研究会「アトムの会」(新学術：量子クラスターで読み解く物質の階層構造)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 真辺幸喜, 大橋洋士
2. 発表標題 調和トラップ中の冷却Bose-Fermi混合原子気体における光原子分光スペクトル
3. 学会等名 日本物理学会 2019秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古谷浩一朗, 鏡原大地, 大橋洋士
2. 発表標題 相互作用するフェルミ原子気体の量子輸送に対する強結合効果
3. 学会等名 日本物理学会 2019秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河村泰良, 大橋洋士
2. 発表標題 非平衡引力フェルミオン系における擬ギャップ現象
3. 学会等名 日本物理学会 2019秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤龍平, 田島裕之, 鏡原大地, 真辺幸喜, 大橋洋士
2. 発表標題 超流動相における冷却フェルミ原子気体の等温圧縮率に対する強結合効果
3. 学会等名 日本物理学会 2019秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田島裕之, 初田哲男, Pieter van Wyk, 大橋洋士
2. 発表標題 冷却原子気体から中性子星へ: 非対称核物質におけるペアリング揺らぎと超流動/超伝導相転移
3. 学会等名 日本物理学会 2019秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 真辺幸喜, 大橋洋士
2. 発表標題 強相関Bose-Fermi混合原子気体における量子多体効果と熱力学的安定性
3. 学会等名 基研研究会 「熱場の量子論とその応用」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Furutani and Y. Ohashi
2. 発表標題 Strong-coupling Effects on Transport Properties of an Ultracold Fermi Gas
3. 学会等名 International conference on Fluctuations and Highly Non Linear Phenomena in Superfluid and Superconductors (SuperFluctuations 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 R. Sato, H. Tajima, D. Kagamihara, K. Manabe, D. Inotani, and Y. Ohashi
2 . 発表標題 Isothermal Compressibility and Effects of Induced Interaction between Preformed Cooper-pairs in the BCS-BEC Crossover Regime of an Ultracold Fermi Gas
3 . 学会等名 International Conference on Quantum Fluids and Solids (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Manabe and Y. Ohashi
2 . 発表標題 Thermodynamic Stability and Effects of Bose-Bose Repulsion in an Ultracold Bose-Fermi Mixture with Strong Hetero-Pairing Fluctuations
3 . 学会等名 International Conference on Quantum Fluids and Solids (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Kawamura, D. Kagamihara, R. Hanai, and Y. Ohashi
2 . 発表標題 Strong-Coupling Theory for a Non-equilibrium Unitary Fermi Gas
3 . 学会等名 International Conference on Quantum Fluids and Solids (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Furutani and Y. Ohashi
2 . 発表標題 Strong-coupling Effects on Quantum Transport in an Ultracold Fermi Gas
3 . 学会等名 International Conference on Quantum Fluids and Solids (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 古谷浩一郎, 鏡原大地, 大橋洋士
2. 発表標題 Effect of Pairing Fluctuations on the Transport Phenomena of an Interacting Fermi Gas
3. 学会等名 第二回クラスター階層領域研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河村泰良, 大橋 洋士
2. 発表標題 非平衡引力フェルミオン系におけるクラスター形成
3. 学会等名 第二回クラスター階層領域研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 真辺 幸喜, 大橋 洋士
2. 発表標題 冷却Bose-Fermi混合原子気体の熱力学安定性
3. 学会等名 第二回クラスター階層領域研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤龍平, 田島裕之, 鏡原大地, 猪谷太輔, 真辺幸喜, 大橋洋士
2. 発表標題 冷却フェルミ原子気体において形成される対分子が等温圧縮率に与える強結合効果
3. 学会等名 第二回クラスター階層領域研究会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

慶應義塾研究者情報データベース(大橋洋士)  
[https://k-ris.keio.ac.jp/html/100011580\\_ja.html](https://k-ris.keio.ac.jp/html/100011580_ja.html)

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
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
米国	University of Chicago	Argonne National Laboratory		
イタリア	University of Trento			
オーストラリア	Swinburne University of Technology			