

令和 5 年 5 月 25 日現在

機関番号：24405

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K03495

研究課題名(和文)メゾ・ナノスケール系における量子凝縮相の多電子相関と電流ゆらぎに関する理論的研究

研究課題名(英文)Theoretical study on highly correlated quantum states and current fluctuations of interacting electrons in nanoscale and mesoscale systems

研究代表者

小栗 章(Oguri, Akira)

大阪公立大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：10204166

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：量子ドット等のメゾ・ナノスケール系では、低エネルギー領域において多数の電子が強く相関した量子凝縮相が出現される。本研究では、多体量子力学の手法を用いたFermi流体論の拡張を通して、電子間の三体相関が非線形電気伝導、および電流ゆらぎ等の輸送現象に系統的に寄与することを微視的な証明によって示した。さらに、低エネルギー量子状態を精度よく計算することができる数値くりこみ群法を用いて、スピン以外に軌道自由度等の内部自由度を持つ量子不純物系における輸送係数に対する三体相関の効果に対する多くの具体例を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究はメゾ・ナノスケール系で実現される非平衡近藤効果に関連するものである。近藤効果における低エネルギーの量子状態は、Landauが提唱したFermi流体論を相互作用が局所的である系に拡張した理論によって記述されることが、1970年代に示されていた。しかし、従来の理論は相互作用の効果がかき消された準粒子のもつ寿命を正確に導くものであったが、対称性が低い系では同程度の寄与を与える準粒子の高次のエネルギー・シフトについて不十分であった。本研究では、このエネルギー・シフトが電子間の三体相関によって決ることを示し、輸送係数の振舞いから量子凝縮相の特徴を厳密かつ系統的に解析する有効理論を構築した。

研究成果の概要(英文)：In mesoscale and nanoscale systems such as quantum dots, quantum condensed phases in which electrons are strongly correlated are realized at low energies. In this study, using an extension of Fermi fluid theory based on many-body quantum mechanics, we have shown that three-body correlations between electrons systematically contribute to transport phenomena such as nonlinear conductivity and current fluctuations. Furthermore, using the numerical renormalization group method, which can accurately calculate low-energy quantum states, we have demonstrated concrete examples of the effect of three-body correlations on transport coefficients of quantum impurity systems with internal degrees of freedom such as orbital degrees of freedom in addition to spin.

研究分野：物性理論

キーワード：物性理論 量子ドット 強相関電子系 非平衡状態 近藤効果 フェルミ流体 電流ノイズ ケルディシュ・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。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

量子ドット系の顕著な特徴は、離散的な局在量子準位構造および電極との接合等が実験的に制御できることが挙げられる。そのため従来は不可能であった複雑な状況の下で物性測定が可能になってきている。特に基礎研究の面では、電子の波動性による干渉効果と粒子性がより反映される電子間相互作用の効果の競合に関する情報が、輸送係数の温度変化やバイアス電圧変化などの精密測定を通して得られる。そして適切な理論解析を通して、様々な系の量子状態に関する知見を得ることができる。

我々は、研究開始の当初までに、量子ドットおよび金属中の磁性不純物の低エネルギー量子状態を統一的に説明する Fermi 流体論の微視的な拡張を行い、電子-正孔対称性のない場合における有限温度、バイアス電圧による補正項が局在電子の二体および三体感受率で決定されることを軌道縮退のない系に対して厳密に示していた。我々の場の理論的の定式化は、近藤効果および強相関電子系の研究に広く応用できるものである。また、カーボンナノチューブなどの多数の局在軌道を持つ量子ドット系の非平衡電流および電流ノイズの低温の性質および温度依存性、励起スペクトルの構造を数値くりこみ群を用いて調べ、実験グループと協力して、磁場で観測された SU(2)近藤状態と SU(4)近藤状態の間のクロスオーバーに関する実験結果に理論的な説明を与える研究を進めていた。

2. 研究の目的

本研究は、メゾ・ナノスケール系で実現される Fermi 流体状態および超伝導トンネル接合の Andreev 状態などの量子凝縮相を対象とし、低エネルギー領域で現れる普遍性を統一的に説明することを目的とするものである。特に、これらの多電子系の量子力学的状態に対して電子間相互作用がおよぼす影響を、熱平衡および非平衡定常状態における定常電流および電流ゆらぎの振る舞いを通して解明する。我々はこれまでに近藤効果の Fermi 流体論を微視的に拡張し、局在電子間の三体相関の効果コンダクタンス等の輸送特性の温度依存性に寄与すること等を示してきた。本研究では、この理論を発展させ軌道自由度や超伝導相関のある量子ドットなど、多彩な量子不純物系における量子ゆらぎの全貌を、新たな視点から明らかにすることを目指し、次の二点に主眼を置いた計画に沿って研究を進めた：

(I) Anderson 不純物模型で記述される単一量子ドット、およびさらに拡張された多軌道・多重量子ドット量子不純物系の非平衡近藤効果の低エネルギーにおける Fermi 流体補正と三体相関効果に関する研究。

(II) 超伝導および常伝導リードに接続された量子ドットにおける Andreev 散乱に対する Fermi 流体補正と交差相関、さらに Josephson 接合を含む系における量子相転移と電子相関に関する研究。

3. 研究の方法

我々は、量子統計力学における場の量子論の方法に基づく解析的なアプローチ、および計算サーバーを用いた数値的なアプローチを駆使し、精密な理論計算をシステム系に進めている。これらの理論計算・解析は、Anderson 不純物模型および拡張した量子不純物系のハミルトニアンに基づいて行っている。特に、Keldysh 形式の非平衡 Green 関数、および Ward 恒等式に基づく微視的 Fermi 流体論、くりこまれたパラメータと Feynman ダイアグラムによる展開法を用いた計算と定式化を行った。また、数値くりこみ群によって低エネルギー励起状態を高精度に求めることができるが、加えて多体量子状態の完全系を用いたスペクトル関数の温度依存性の計算も行い、多軌道系の励起スペクトル等に應用も行っている。

4. 研究成果

量子ドット系では、閉じ込めポテンシャルによって離散化した局在エネルギー準位を占有する電子と、連続エネルギースペクトル構造を持つ電極内の伝導電子が、トンネル効果と電子間相互作用を通して、近藤効果やクーロンブロックなどの現象を引き起こす。さらに超伝導電極に接続された場合には、Cooper 対が量子ドットに侵入することより生じる超伝導近接効果との競合が起こる。以下では、「2.研究目的」に記した(I)、(II) の研究成果について概要を述べる。

(I) 多軌道の低エネルギー状態輸に対する三体的な Fermi 流体補正。

このような内部自由度を持つ量子ドット系の性質は、 N 準位に拡張した Anderson 不純物模型で良く記述される。そして、量子ドットと電極の間のトンネル接合を通じた電荷移動により、低温では Fermi 流体状態が形成される。特に、基底状態の性質および絶対零度 $T=0$ およびゼロバイアスの極限では、輸送係数の振舞いは散乱による位相のずれ δ_σ によって決定さる。ただし、添字 $\sigma (= 1, 2, \dots, N)$ はスピン自由度を含めた N 個の内部状態を表すものであり、 $T=0$ では Friedel 総和則により位相のずれは各準位の平均占有数 $\langle n_{d\sigma} \rangle = \delta_\sigma / \pi$ に対応する。さらに、外部からわずかなエネルギーの流入が、温度 T 、バイアス電圧 eV 、あるいは振動数 ω を通してあ

る場合には、輸送係数のゼロエネルギー極限值からのずれ第二主要項として現れ、そこには低エネルギー励起状態の性質がより顕著に反映される。例えば、微分コンダクタンス dI/dV および電流ゆらぎ相関 S_{QD} は、絶対零度かつゼロバイアスの近傍で、次のように展開できる：

$$\frac{dI}{dV} = \frac{e^2}{h} \sum_{\sigma} \left[\sin^2 \delta_{\sigma} - c_{T,\sigma} (\pi T)^2 - c_{V,\sigma} (eV)^2 + \dots \right],$$

$$S_{\text{QD}} = \frac{2e^2}{h} |eV| \sum_{\sigma} \left[\frac{\sin^2 2\delta_{\sigma}}{4} + c_{S,\sigma} (eV)^2 + \dots \right],$$

ここで、展開係数 $c_{T,\sigma}$ 、 $c_{V,\sigma}$ 、 $c_{S,\sigma}$ を含む項がゼロエネルギー極限からの補正に対応する第二主要項であり、これらの係数が Fermi 流体状態を特徴づける一連の相関関数によって表される。1970年代の希薄磁性合金系およびこれまでの量子ドット系の近藤効果の研究では、系が電子正孔対称性を持つ特別な場合には、第二主要項は Fermi 流体中に励起される準粒子の減衰項が示す T^2 、 $(eV)^2$ 、 ω^2 の依存性によって完全に決定され、展開係数は位相のずれ δ_{σ} と局在準位の占有数の二体相関関数 $\chi_{\sigma\sigma'}$ によって厳密に記述されることが分かっていた：

$$\chi_{\sigma\sigma'} = \int_0^{\frac{1}{T}} d\tau \langle \delta n_{d\sigma}(\tau) \delta n_{d\sigma'} \rangle, \quad \delta n_{d\sigma} \equiv n_{d\sigma} - \langle n_{d\sigma} \rangle,$$

しかし、電子正孔対称性が成立しない場合や、磁場が印加された状況では、系の持つ対称性の低下のため、準粒子には減衰項と同じ T^2 、 $(eV)^2$ 、 ω^2 依存性をもつエネルギーシフトが生じる。従来の理論では、このエネルギーシフトの大きさを決めているものの物理的な起源については不明であった。この問題は、最近の Mora 等による現象論的 Fermi 流体論の拡張[1-3]、および我々の Ward 恒等式を用いた微視的証明[4-7]を通して明らかになった。これらの最新の理論により、Fermi 流体領域における輸送係数の第二主要項は、 δ_{σ} 、 $\chi_{\sigma\sigma'}$ に加え、局在準位の三体相関関数 $\chi_{\sigma\sigma'\sigma''}^{[3]}$ に系統的に記述され、厳密な公式として表されることが示された：

$$\chi_{\sigma_1\sigma_2\sigma_3}^{[3]} = - \int_0^{\frac{1}{T}} d\tau_3 \int_0^{\frac{1}{T}} d\tau_2 \langle T_{\tau} \delta n_{d\sigma_3}(\tau_3) \delta n_{d\sigma_2}(\tau_2) \delta n_{d\sigma_1} \rangle,$$

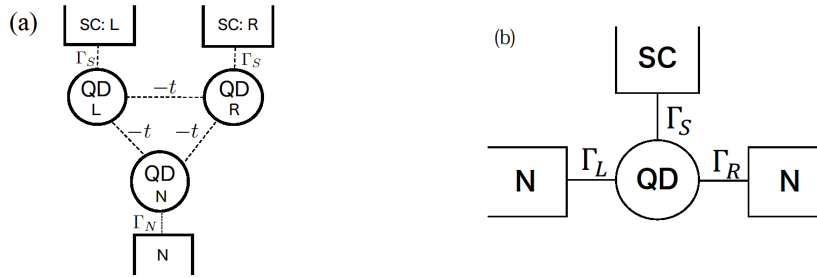
ただし、 T_{τ} は虚時間に関する時間順序演算子である。本課題研究期間中には、多準位 Anderson 不純物模型に対して展開係数 $c_{T,\sigma}$ 、 $c_{V,\sigma}$ 、 $c_{S,\sigma}$ および熱伝導度の第二主要項に対する公式を導出し、さらに三体相関関数の各成分を数値くりこみ群を用いて計算し、三体の Fermi 流体効果の局在電子占有数や量子ドットと電極のトンネル接合の非対称性に依存した変化を具体的に示した[5-7]。また、実験グループとの共同研究を行い、バイアス電圧に対する 3 次の非線形応答電流の係数 $c_{V,\sigma}$ の測定値の磁場変化を解析から、三体相関の値を実験的に決定することに成功した[8]。

参考文献：

- [1] C. Mora, P. Vitushinsky, X. Leyronas, A. A. Clerk, *et al.*, Phys. Rev. B **80**, 155322 (2009).
- [2] C. Mora, C. P. Moca, J. von Delft, and G. Zaránd, Phys. Rev. B **92**, 075120 (2015).
- [3] M. Fillipone, C. P. Moca, J. von Delft, C. Mora, *et al.*, Phys. Rev. B **98**, 075404 (2018).
- [4] A. Oguri and A.C. Hewson, Phys. Rev. Lett. **120**, 126802 (2018).
- [5] Y. Teratani, R. Sakano, and A. Oguri, Phys. Rev. Lett. **125**, 216801 (2020).
- [6] K. Tsutsumi, Y. Teratani, R. Sakano, and A. Oguri, Phys. Rev. B **104**, 235147 (2021).
- [7] A. Oguri, Y. Teratani, K. Tsutsumi, and R. Sakano, Phys. Rev. B **105**, 115409 (2022).
- [8] T. Hata, Y. Teratani, A. Oguri, K. Kobayashi, *et al.*, Nature Commun. **12**, 3233 (2021).

(II) 超伝導および常伝導リードに接続された系における Andreev 散乱と電子相関。

量子ドット(QD)に常伝導金属電極(N)に加え、超伝導電極(SC)を接続した系では、Cooper 対が量子ドット内部に侵入することより生じる超伝導近接効果が起こり、さらに近藤効果などの電子相関に起因する量子効果との競合による多彩な現象が起こる[9]。我々は本課題研究の期間中に、特に次に次の図(a), (b) のように三端子に接続された量子ドット系の基底状態と輸送現象について調べた。



(a)は、三角形に配列された三重量子ドット系に、2つの超伝導電極と1つの常伝導電極を接続した系である。三角形三重量子ドット系では、常伝導電極のみに接続された場合には、通常のSU(2)近藤効果に加え、SU(4)対称性を持った近藤状態、長岡強磁性機構による高スピンの局在状態、伝導電子のチャンネル数に依存した多段階の近藤遮蔽など、多彩な量子現象が起こる[10-13]。本課題研究では、これらの状態間のクロスオーバーおよび量子相転移が、局在電子数などの変化に伴ってどのように移り変わるか、数値くりこみ群を用いて詳細に調べた。その結果、SU(4)近藤効果と高スピン長岡状態の競合が起こるパラメータ領域では、超伝導近接効果によりCooper対が侵入することにより、リエントラントを示す量子相転移が起こることを見いだした[14]。現在、この系のAndreev散乱による輸送係数の計算を進めている。

(b)は、二端子の超伝導/QD/常伝導系に関する研究[9]の発展として位置づけられが、二つの常伝導電極間があるため、左側の常伝導電極から入射した電子が量子ドット近傍でCooper対を形成して超伝導リードに透過し、正孔を右側の常伝導電極へ放出する散乱過程が起こり、交差Andreev散乱と呼ばれている[15]。そのため、このようなAndreev散乱による電気伝導が、左から右への一電子トンネル過程より大きくなる場合には、量子ドットと右電極間の局所電気伝導度が負の値を持つ。本課題研究では、この多端子系の低エネルギー状態は近接効果により形成されるBogoliubov粒子が、粒子間のCoulomb斥力の効果によって繰り込まれた局所Fermi流体として振舞いことに着目し、非局所伝導度の振舞いを、数値くりこみ群を用いて、局在準位位置のゲート電圧依存性、量子ドットと電極間のトンネル接合の強度、外部磁場からなる広いパラメータ領域で調べた。その結果、絶対零度では、超伝導近接効果、近藤効果、Zeeman分裂が競合する領域の近傍に、Andreev散乱が優勢な非局所電気伝導が起こることを示した[16]。Bogoliubov粒子の三体相関の影響が現れる有限温度やバイアスに関する非線項の振舞いに関する検討が、今後の興味深い課題として残っており、継続して研究を進めている。

参考文献：

- [9] Y. Tanaka, N. Kawakami, and A. Oguri, *J. Phys. Soc. Jpn.* **69**, 1812 (2007).
- [10] A. Oguri, Y. Nisikawa, Y. Tanaka, and Y. Numata, *J. Magn. Magn. Mater.* **310**, 1139 (2007).
- [11] Y. Numata, Y. Nisikawa, A. Oguri, and A. C. Hewson, *Phys. Rev. B* **80**, 155330 (2009).
- [12] A. K. Mitchell, T. F. Jarrold, and D. E. Logan, *Phys. Rev. B* **79**, 085124 (2009).
- [13] M. Koga, M. Matsumoto, and H. Kusunose, *J. Phys. Soc. Jpn.* **86**, 062702 (2016).
- [14] M. Hashimoto, Y. Teratani, M. Shirotnani, Y. Nakata, M. Shimamoto, Y. Tanaka, Y. Yamada, and A. Oguri, *JPS Conf. Proc.* **38**, 011178 (2023).
- [15] G. Michałek, B. R. Bułka, T. Domański, *et al.*, *Phys. Rev. B* **88**, 155424 (2021).
- [16] M. Hashimoto, Y. Teratani, Y. Tanaka, Y. Yamada, A. Oguri, *et al.*, in preparation.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Masashi Hashimoto, Yoshimichi Teratani, Masaya Shirotani, Yukihiro Nakata, Masashi Shimamoto, Yoichi Tanaka, Yasuhiro Yamada, and Akira Oguri	4. 巻 38
2. 論文標題 Kondo screening of local moments in a triangular triple quantum dot connected to normal and superconducting Leads	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 011178 (1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.38.011178	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 小栗 章	4. 巻 714
2. 論文標題 非平衡近藤系の低エネルギー量子輸送と三体相関	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 『数理科学』, “特集:量子多体系の物理と数理”, サイエンス社	6. 最初と最後の頁 14-20
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 Akira Oguri, Yoshimichi Teratani, Kazuhiko Tsutsumi, Rui Sakano	4. 巻 105
2. 論文標題 Current noise and Keldysh vertex function of an Anderson impurity in the Fermi liquid regime	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 115409 (1-37)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.115409	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 Kazuhiko Tsutsumi, Yoshimichi Teratani, Rui Sakano, Akira Oguri	4. 巻 104
2. 論文標題 Nonlinear Fermi-liquid transport through a quantum dot in asymmetric tunnel junctions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 235147 (1-17)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.235147	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 Tokuro Hata, Yoshimichi Teratani, Tomonori Arakawa, Sanghyun Lee, Meydi Ferrier, Richard Deblock, Rui Sakano, Akira Oguri, Kensuke Kobayashi	4. 巻 12
2. 論文標題 Three-body correlations in nonlinear response of correlated quantum liquids	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 3233 (1-7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-021-23467-4	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 該当する

1. 著者名 Teratani Yoshimichi, Sakano Rui, Oguri Akira	4. 巻 125
2. 論文標題 Fermi Liquid Theory for Nonlinear Transport through a Multilevel Anderson Impurity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 216801 (1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.125.216801	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 Teratani Yoshimichi, Sakano Rui, Hata Tokuro, Arakawa Tomonori, Ferrier Meydi, Kobayashi Kensuke, Oguri Akira	4. 巻 102
2. 論文標題 Field-induced SU(4) to SU(2) Kondo crossover in a half-filling nanotube dot: Spectral and finite-temperature properties	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 165106 (1-23)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.165106	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 M. Ferrier, R. Delagrance, J. Basset, H. Bouchiat, T. Arakawa, T. Hata, R. Fujiwara, Y. Teratani, R. Sakano, A. Oguri, K. Kobayashi, and R. Deblock.	4. 巻 special issue for anniversary
2. 論文標題 Quantum Noise in Carbon Nanotubes as a Probe of Correlations in the Kondo Regime	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Low Temperature Physics	6. 最初と最後の頁 1-34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-019-02232-4	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 Yoshimichi Teratani , and Akira Oguri	4. 巻 30
2. 論文標題 Three Body Correlations in a Non-equilibrium Current through an SU(N) Anderson Impurity at Arbitrary Fillings	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 011175 (1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.30.011175	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 Kazuhiko Tsutsumi, Yoshimichi Teratani, and Akira Oguri amd Rui Sakano	4. 巻 30
2. 論文標題 Effects of Tunnel-coupling Asymmetries on Fermi-liquid Transport through an Anderson Impurity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 011174 (1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.30.011174	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 阪野 隼, 小栗 章	4. 巻 55
2. 論文標題 非平衡状態にある近藤効果(その2)近藤効果入門1	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 固体物理 / アグネ技術センター	6. 最初と最後の頁 47-54
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 Sakano Rui, Oguri Akira, Nishikawa Yunori, Abe Eisuke	4. 巻 99
2. 論文標題 Bell-state correlations of quasiparticle pairs in the nonlinear current of a local Fermi liquid	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 155106 (1-7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.155106	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 小栗 章	4. 巻 73
2. 論文標題 近藤効果・ゼロ次元Fermi流体の非線形量子輸送	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本物理学会誌	6. 最初と最後の頁 750-751
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 阪野 壘, 小栗 章	4. 巻 53
2. 論文標題 非平衡状態にある近藤効果(その1)非平衡グリーン関数入門	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 固体物理 / アグネ技術センター	6. 最初と最後の頁 279-303
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 -

[学会発表] 計65件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 20件)

1. 発表者名 寺谷義道, 小栗章, 本山海司, 阪野壘
2. 発表標題 軌道縮退した磁性不純物系の熱電気輸送に対する三体的Fermi流体効果: Anderson模型による定式化
3. 学会等名 日本物理学会春季大会 (2023.3, オンライン開催)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 堤和彦, 寺谷義道, 阪野壘, 小栗章
2. 発表標題 磁場中の量子ドット系の非線形電流に対するトンネル結合・バイアス電圧の非対称性の効果
3. 学会等名 日本物理学会春季大会 (2023.3, オンライン開催)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 本山海司, 堤和彦, 寺谷義道, 阪野壘, 小栗章
2. 発表標題 SU(4)量子ドット系の3体Fermi流体補正に対する軌道分裂の効果
3. 学会等名 日本物理学会春季大会 (2023.3, オンライン開催)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 橋本将史, 寺谷義道, 小栗章, 山田康博, 田中洋一
2. 発表標題 磁場中の量子ドット系における非局所Andreev散乱II
3. 学会等名 日本物理学会春季大会 (2023.3, オンライン開催)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 堤和彦, 寺谷義道, 阪野壘, 小栗章
2. 発表標題 電子正孔非対称なSU(N)量子ドット系の非線形応答に対するトンネル結合およびバイアス電圧の非対称性の効果
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会 (2022.9 東京工業大学)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本山海司, 堤和彦, 寺谷義道, 阪野壘, 小栗章
2. 発表標題 強相関SU(4)量子ドット系の輸送係数における3体Fermi流体補正II
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会 (2022.9 東京工業大学)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 寺谷義道, 阪野壘, 小栗章
2. 発表標題 SU(3)Anderson不純物模型を透過する電流に対する3体相関の効果
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会 (2022.9 東京工業大学)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋本将史, 寺谷義道, 小栗章, 山田康博, 田中洋一
2. 発表標題 磁場中の量子ドット系における非局所Andreev 散乱
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会 (2022.9 東京工業大学)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 阪野壘, 秦徳郎, 本山海司, 寺谷義道, 堤和彦, 荒川智紀, Meydi Ferrier, Richard Deblock, 江藤幹雄, 小林研介, 小栗章
2. 発表標題 磁気コンダクタンスを用いた近藤温度の見積もりの実験データへの適用
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会 (2022.9 東京工業大学)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Akira Oguri
2. 発表標題 Collision integral and generalized Ward identity for nonlinear Kondo effect in the low-energy Fermi-liquid regime
3. 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (August, 2022, Sapporo) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masashi Hashimoto, Yoshimichi Teratani, Masaya Shirotani, Yukihiro Nakata, Masashi Shimamoto, Yoichi Tanaka, Yasuhiro Yamada, and Akira Oguri
2. 発表標題 Kondo screening and Andreev scattering in a triangular triple quantum dot connected to normal and superconducting leads
3. 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (August, 2022, Sapporo) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazuhiro Tsutsumi, Yoshimichi Teratani, Akira Oguri, and Rui Sakano
2. 発表標題 Three-body Fermi-liquid corrections in an SU(N) quantum dot with asymmetric tunnel couplings
3. 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (August, 2022, Sapporo) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Rui Sakano, Tokuro Hata, Kaiji Motoyama, Yoshimichi Teratani, Tomonori Arakawa, Meydi Ferrier, Richard Deblock, Mikio Eto, Kensuke Kobayashi, and Akira Oguri
2. 発表標題 Universal Scaling property of Linear Conductance through a Kondo Dot in Magnetic Field and its Application
3. 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (August, 2022, Sapporo) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堤和彦, 寺谷義道, 阪野壘, 小栗章
2. 発表標題 非対称なトンネル結合を持つSU(N)量子ドット系に対する電子間相互作用の影響
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会 (2022.3, ONLINE)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本山海司, 堤和彦, 寺谷義道, 阪野壘, 小栗章
2. 発表標題 強相関SU(4)量子ドット系の輸送係数における3体Fermi流体補正
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会 (2022.3, ONLINE)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 寺谷義道, 小栗章, 阪野壘
2. 発表標題 SU(N) Anderson 不純物模型における熱起電力および熱伝導度に対する3体Fermi流体補正
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会 (2022.3, ONLINE)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林良輔, 寺谷義道, 小栗章, 阪野壘
2. 発表標題 強相関極限における量子ドット系の非線形磁気伝導度
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会 (2022.3, ONLINE)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋本将史, 寺谷義道, 小栗章, 山田康博, 田中洋一
2. 発表標題 多重量子ドット系における非局所Andreev散乱: Fermi流体論による研究 II
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会 (2022.3, ONLINE)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 寺谷義道, 小栗章, 阪野皇
2. 発表標題 N重に縮退した局在準位を持つ量子ドットの非平衡輸送に表れる3体非線形相関: $1/(N-1)$ 展開と数値くりこみ群による解析
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会 (2021.9, ONLINE)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 橋本将史, 寺谷義道, 小栗章, 山田康博, 田中洋一
2. 発表標題 多重量子ドット系における非局所Andreev散乱: Fermi流体論による研究
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会 (2021.9, ONLINE)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堤和彦, 寺谷義道, 阪野皇, 小栗章
2. 発表標題 SU(N)量子ドット系の非線形電流に対するトンネル結合の非対称性の効果
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会 (2021.9, ONLINE)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 阪野皇, 秦徳郎, 寺谷義道, 荒川智紀, 堤和彦, 小林研介, 小栗章
2. 発表標題 線形コンダクタンスの磁場応答を用いた近藤温度の見積もり
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会 (2021.9, ONLINE)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshimichi Teratani, Akira Ogur, and , Rui Sakano
2. 発表標題 NRG study of nonlinear susceptibilities appearing in low-energy transport through N-level quantum dots
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (ONLINE) (2021.9) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小栗章
2. 発表標題 非平衡近藤効果のFermi流体論：三体相関による補正
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会 (2021.3, ONLINE) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堤和彦, 寺谷義道, 阪野壘, 小栗章,
2. 発表標題 非対称なトンネル結合を持つ SU(4)量子ドット系における3体Fermi流体補正
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会 (2021.3, ONLINE)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 和氣康平, 寺谷義道, 小栗章, 阪野壘
2. 発表標題 斥力U無限大不純物Anderson模型における高次Fermi流体補正
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会 (2021.3, ONLINE)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 橋本将史, 寺谷義道, 小栗章, 山田康博, 田中洋一
2. 発表標題 三重量子ドット系における非局所Andreev散乱の数値くりこみ群による研究,
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会 (2021.3, ONLINE)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小栗章, 寺谷義道, 阪野壘
2. 発表標題 非平衡近藤系における準粒子衝突積分と電流ノイズの微視的Fermi流体論
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会 (2020.9, ONLINE)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 寺谷義道, 小栗章, 阪野壘
2. 発表標題 N個の局在準位を持つ量子ドットを透過する電流および電流揺らぎに表れる非線形Fermi流体補正
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会 (2020.9, ONLINE)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 寺谷義道, 小栗章, 阪野壘
2. 発表標題 1/(N-1) 展開によるSU(N) Anderson 不純物模型の解析: 非平衡輸送に対する3体相関の効果
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会 (2020.9, ONLINE)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 堤和彦, 寺谷義道, 小栗章, 阪野壘
2. 発表標題 電子正孔非対称な量子ドットにおける非線形電流の磁場依存性に関する近藤スケーリング
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会 (2020.9, ONLINE)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 橋本将史, 寺谷義道, 小栗章, 山田康博, 田中洋一
2. 発表標題 三角形三重量子ドット系における非局所Andreev散乱と近藤効果
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会 (2020.9, ONLINE)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Effects of three-body correlations on nonlinear current noise through an N-level Anderson impurity: NRG and large N studies.
2. 発表標題 Yoshimichi Teratani, Akira Oguri, and , Rui Sakano
3. 学会等名 American Physical Society March Meeting (ONLINE) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akira Oguri
2. 発表標題 Fermi liquid theory for nonequilibrium Kondo effect
3. 学会等名 (10th WorkShop on Semiconductor/Superconductor Quantum Coherence effect and Quantum information (December 17-18, 2020, ONLINE) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 堤和彦, 寺谷義道, 小栗章, 阪野壘
2. 発表標題 Anderson不純物における非線形電流の磁場依存性に関する近藤スケーリングに与えるトンネル結合の非対称性の効果
3. 学会等名 日本物理学会 (名古屋大 東山キャンパス 2020.3. 16-19)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 橋本将史, 寺谷義道, 小栗章, 山田康博, 田中洋一
2. 発表標題 三重量子ドット系の近藤領域におけるAndreev散乱と非局所伝導度II
3. 学会等名 日本物理学会 (名古屋大 東山キャンパス 2020.3. 16-19)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 一町ほのか, 寺谷義道, 小栗章
2. 発表標題 SU(N) Anderson模型の非線形感受率の $1/(N-1)$ 展開 II
3. 学会等名 日本物理学会 (名古屋大 東山キャンパス 2020.3. 16-19)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 寺谷義道, 小栗章, 阪野壘
2. 発表標題 N軌道Anderson不純物模型における3体相関の非平衡電流およびノイズに対する効果
3. 学会等名 日本物理学会 (名古屋大 東山キャンパス 2020.3. 16-19)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小栗章, 寺谷義道, 阪野壘
2. 発表標題 電子正孔非対称な量子ドットにおける電流ゆらぎのFermi液体補正
3. 学会等名 日本物理学会 (岐阜大 柳戸キャンパス 2019.9. 10--13)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堤和彦, 寺谷義道, 小栗章, 阪野壘
2. 発表標題 磁場中のAnderson不純物の非線形応答に対するトンネル結合の非対称性の効果
3. 学会等名 日本物理学会 (岐阜大 柳戸キャンパス 2019.9. 10--13)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺谷義道, 小栗章
2. 発表標題 SU(N)Anderson不純物の非平衡電流におけるフェルミ流体効果II
3. 学会等名 日本物理学会 (岐阜大 柳戸キャンパス 2019.9. 10--13)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 阪野壘, 小栗章, 江藤幹雄
2. 発表標題 三端子量子ドットの端子間のエンタングルメント
3. 学会等名 日本物理学会 (岐阜大 柳戸キャンパス 2019.9. 10--13)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 一町ほか, 寺谷義道, 小栗章
2. 発表標題 SU(N) Anderson模型の非線形感受率の1/(N-1)展開
3. 学会等名 日本物理学会 (岐阜大 柳戸キャンパス 2019.9. 10--13)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 橋本将史, 寺谷義道, 小栗章, 山田康博, 田中洋一
2. 発表標題 三重量子ドット系の近藤領域におけるAndreev散乱と非局所伝導度
3. 学会等名 日本物理学会 (岐阜大 柳戸キャンパス 2019.9. 10--13)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshimichi Teratani, and Akira Oguri
2. 発表標題 Three body correlations in a non-equilibrium current through an SU(N) Anderson impurity at arbitrary fillings
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (September 23-28, 2019, Okayama, Japan) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Oguri, and Yoshimichi Teratani
2. 発表標題 Higher-order Fermi-liquid corrections for thermoelectric transport through an Anderson impurity
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (September 23-28, 2019, Okayama, Japan) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuhiko Tsutsumi, Yoshimichi Teratani, Akira Oguri, and Rui Sakano
2. 発表標題 Effects of Tunnel-coupling Asymmetries on Fermi-liquid Transport through an Anderson Impurity
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (September 23-28, 2019, Okayama, Japan) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Oguri, Yoshimichi Teratani, and Rui Sakano
2. 発表標題 Fermi-liquid corrections to non-equilibrium Keldysh vertex functions for an Anderson impurity model
3. 学会等名 American Physical Society March Meeting (March 2-6 2020, Denver, USA) [COVID-19のため直前に開催中止] (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshimichi Teratani, and Akira Oguri
2. 発表標題 Role of non-linear susceptibilities in non-equilibrium transport through an N-level Anderson impurity model away from half-filling
3. 学会等名 American Physical Society March Meeting (March 2-6 2020, Denver, USA) [COVID-19のため直前に開催中止] (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Rui Sakano, Akira Oguri, and Mikio Eto
2. 発表標題 Bell-state correlation in electric currents through lead electrodes connected to a quantum dot
3. 学会等名 American Physical Society March Meeting (March 2-6 2020, Denver, USA) [COVID-19のため直前に開催中止] (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 寺谷義道, 小栗章
2. 発表標題 SU(N)Anderson不純物の非平衡電流におけるフェルミ流体効果: 3体相関の数値くりこみ群による研究
3. 学会等名 日本物理学会2019年3月年会 (九州大学 伊都キャンパス, 3.14-3.17)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堤和彦, 寺谷義道, 小栗章, 阪野壘
2. 発表標題 Anderson不純物の非線形応答に対するトンネル結合の非対称性の効果
3. 学会等名 日本物理学会 (九州大学 伊都キャンパス, 3.14-3.17)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 毛見拓郎, 寺谷義道, 小栗章
2. 発表標題 磁場中の非平衡電流および熱伝導に対するフェルミ流体効果の局所電子数依存性
3. 学会等名 日本物理学会 (九州大学 伊都キャンパス, 3.14-3.17)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 阪野壘, 小栗章
2. 発表標題 3端子量子ドットに生成されたベル状態
3. 学会等名 日本物理学会 (九州大学 伊都キャンパス, 3.14-3.17)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺谷義道, 小栗章
2. 発表標題 電子正孔非対称な多軌道Anderson模型の3体相関
3. 学会等名 "メゾスコピック系における非平衡スピン輸送の微視的理解とその制御"研究会 (東大物性研 柏キャンパス, 2018.11.22-23) (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小栗章, 寺谷義道, 阪野壘
2. 発表標題 多軌道・電子 - 正孔非対称Anderson不純物に対する高次Fermi液体補正II
3. 学会等名 日本物理学会 (同志社大学 京田辺キャンパス, 9.9-9.12)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺谷義道, 小栗章
2. 発表標題 N重に縮退した準位を持つAnderson不純物の高次Fermi液体補正: $1/(N-1)$ 展開とNRGによる研究
3. 学会等名 日本物理学会 (同志社大学 京田辺キャンパス, 9.9-9.12)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 秦徳郎, 荒川智紀, Lee Sanghyun, 小林研介, Meydi Ferrier, Raphaelle Delagrance, Richard Deblock, 寺谷義道, 小栗章, 阪野壘
2. 発表標題 近藤効果における3体相関の実験的検出
3. 学会等名 日本物理学会 (同志社大学 京田辺キャンパス, 9.9-9.12)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akira Oguri, and Yoshimichi Teratani
2. 発表標題 Higher-order Fermi-liquid corrections for thermo-electric transport through an Anderson impurity
3. 学会等名 American Physical Society March Meeting (March 4-8 2019, Boston, USA) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshimichi Teratani, and Akira Oguri
2. 発表標題 Fermi liquid corrections for non-equilibrium transport through an SU(N) Anderson impurity with arbitrary electron fillings
3. 学会等名 American Physical Society March Meeting (March 4-8 2019, Boston, USA) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rui Sakano, Yunori Nishikawa, Akira Oguri, and Eisuke Abe
2. 発表標題 A measurable form of Bell's correlation of spin currents across a double dot in the Kondo regime
3. 学会等名 American Physical Society March Meeting (March 4-8 2019, Boston, USA) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshimichi Teratani, Akira Oguri
2. 発表標題 Three body correlations in non-equilibrium current through SU(N) Anderson impurity
3. 学会等名 International Symposium in Honor of Professor Nambu for the 10th Anniversary of his Nobel Prize in Physics (December 12, 2018, Osaka City University, Osaka) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuhiko Tsutsumi, Yoshimichi Teratani, Akira Oguri, Rui Sakano
2. 発表標題 Effects of asymmetric couplings and bias voltages on nonlinear transport of a local Fermi liquid
3. 学会等名 International Symposium in Honor of Professor Nambu for the 10th Anniversary of his Nobel Prize in Physics (December 12, 2018, Osaka City University, Osaka) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takuro Kemi, Yoshimichi Teratani, Akira Oguri
2. 発表標題 Fermi-liquid corrections to nonlinear transport through Anderson impurity at finite magnetic fields
3. 学会等名 International Symposium in Honor of Professor Nambu for the 10th Anniversary of his Nobel Prize in Physics (December 12, 2018, Osaka City University, Osaka) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akira Oguri
2. 発表標題 Fermi liquid theory for non-equilibrium Kondo effect
3. 学会等名 Shanghai University - Osaka City University Symposium on Physics(December 27-28, 2018, Osaka City University) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>からみあう電子たち 量子液体における三体相関の検出 https://www.osaka-cu.ac.jp/ja/news/pdfs2021/press_210528-1.pdf/ からみあう電子たち 量子液体における三体相関の検出 https://www.sci.osaka-u.ac.jp/ja/topics/9317/ からみあう電子たち 量子液体における三体相関の検出 https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/press/2021/7412/ 数理的手法を用いて成功! ~ナノスケール物質に生成された量子多体状態の普遍的性質を解明~ https://www.osaka-cu.ac.jp/ja/news/2020/201118 無数の電子の協力現象「量子液体」-人工原子×数理的アプローチで、その隠された性質に迫る https://academist-cf.com/journal/?p=15521 Theory describes quantum phenomenon in nanomat... https://www.eurekalert.org/pub_releases/2020-12/ocu-tdq122320.php Theory describes quantum phenomenon in nanomat... https://www.alphagalileo.org/en-gb/Item-Display/ItemId/202810?returnurl=https://www.alphagalileo.org/en-gb/Item-Display/ItemId/202810 Theory describes quantum phenomenon in nanomat... https://www.asiaresearchnews.com/content/theory-describes-quantum-phenomenon-nanomaterials</p>
--

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
研究協力者	阪野 隼 (Sakano RUi)		
研究協力者	田中 洋一 (Tanaka Yoichi)		
研究協力者	山田 康博 (Yamada Yasuhiro)		
研究協力者	寺谷 義道 (Teratani Yoshimichi)		
研究協力者	堤 和彦 (Tsutsumi Kazuhiko)		
研究協力者	毛見 拓郎 (Kemi Takro)		
研究協力者	橋本 将史 (Hashimoto Masashi)		
研究協力者	一町 ほのか (Hitotsumachi Honoka)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	和氣 康平 (Wake Kohei)		
研究協力者	小林 良輔 (Kobayashi Ryosuke)		
研究協力者	本山 海司 (Motoyama Kaiji)		

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		
フランス	Universite Paris-Saclay, CNRS		