

物性理論研究部門

Division of Condensed Matter Theory

当部門では、実験系研究室とも協力しつつ、現代の凝縮系物理学、統計物理学、物質科学の最先端の問題について、微視的な見地から活発な理論研究が行われている。その目標は、実験結果の理論的解明、またそれを通じた相互作用する多体系の運動を捉える新概念の開拓、そして、物質の本質を捉えた有用なモデルの提案、さらには興味ある新現象の予言である。研究対象としては、量子スピン系や強相関電子系における量子相転移や量子臨界現象、重い電子系、様々な物質における超伝導、フラストレーション系、表面での動的過程や触媒作用、そして、メソスコピック系における量子輸送や相互作用の問題など、多様である。これらの対象にアプローチする手法も多彩であり、トポロジーなどの数学概念に基づく現代的手法、場の量子論に基づく多体摂動理論、密度汎関数理論に基礎を置く最先端の第一原理計算や量子モンテカルロ法などの大規模数値計算手法等、各研究者がそれぞれ得意とするものを中心として研究を進めている。このように、部門全体としては、現代の最先端の問題と手法をいずれも幅広くカバーしている。

This Division conducts vigorous theoretical research from a microscopic point of view at the forefront of contemporary condensed matter physics, statistical physics, and materials science, also in collaboration of experimental groups. Its goals include theoretical elucidations of experimental results, developments of new concepts describing collective behavior of interacting systems, useful theoretical modeling of materials, and predictions of novel interesting phenomena. The topics in recent research span diverse areas as quantum phase transitions and critical phenomena in quantum spin systems and strongly correlated electron systems, heavy-fermion physics, superconductivity in various materials, frustrated systems, dynamic processes and catalysis at surfaces, and quantum transport and interactions in mesoscopic conductors. A wide variety of methods, including modern approaches based on mathematical concepts such as topology, quantum field theory, and large-scale state-of-the-art computational approaches such as quantum Monte Carlo simulations and ab-initio calculation of electronic structures based on the density functional theory, are utilized to investigate these problems. As a whole, this Division and related theory groups cover a wide range of topics and approaches in the cutting-edge condensed matter theory.

教授 Professor	常次 宏一 TSUNETSUGU, Hirokazu	助教 Research Associate	池田 達彦 IKEDA, Tatsuhiko	特任研究員 Project Researcher	玉谷 知裕 TAMAYA, Tomohiro
教授* ¹ Professor	押川 正毅 OSHIKAWA, Masaki	助教 Research Associate	藤井 達也 FUJII, Tatsuya	特任研究員* ³ Project Researcher	河津 励 KAWATSU, Tsutomu
教授* ² Professor	杉野 修 SUGINO, Osamu	助教 Research Associate	阪野 隼 SAKANO, Rui		
教授* ² Professor	岡 隆史 OKA, Takashi	助教* ¹ Research Associate	多田 靖啓 TADA, Yasuhiro		
准教授 Associate Professor	加藤 岳生 KATO, Takeo	助教* ² Research Associate	春山 潤 HARUYAMA, Jun		

*¹ 所内兼務。本務は量子物質研究グループ。 / concurrent with Quantum Materials Group

*² 所内兼務。本務は機能物性研究グループ。 / concurrent with Functional Materials Group

*³ 所内兼務。本務は計算物質科学研究センター。 / concurrent with Center of Computational Materials Science

常次研究室

Tsunetsugu Group



常次 宏一
TSUNETSUGU, Hirokazu
教授
Professor



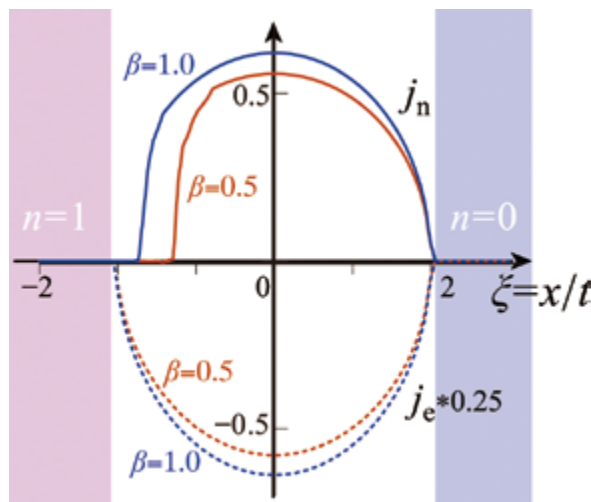
池田 達彦
IKEDA, Tatsuhiko
助教
Research Associate

遷移金属化合物、希土類・アクチノイド化合物などの電子間クーロン相互作用が強い強相関電子系の物性の理論を研究している。クーロン相互作用が強い系においては、低温において興味深い磁性状態や異方的超伝導、密度波などの多種多様な物性が出現する。これらの複雑な物性の統一的理解を目標とするとともに新しい現象の発見を目指している。

主に研究しているテーマは、強磁性超伝導体やフラストレーション系などのスピン・電荷・軌道の複合自由度を持つ系における新しいタイプの量子秩序や量子ゆらぎである。これらの系に特有の、多くのモードの揺らぎが結合している場合における秩序と臨界現象の特徴、電子状態や輸送現象をはじめとするダイナミクスがどのような影響を受けるのかを調べている。最近の成果として、一次元強相関電子系の非平衡ダイナミクスを研究し、電流が零であるにもかかわらずエネルギー流が有限となる場合を発見し、この系の可積分性がダイナミクスに大きく影響していることを示した。

Strongly correlated electron systems, particularly compounds including d - or f -orbital electrons, are the main subjects of our research. In these systems where electron-electron interactions are very strong, a variety of interesting phenomena emerge at low temperatures, and various magnetic orders, unconventional superconductivity and density waves are typical cases.

Targets of our recent study include novel types of quantum order and quantum fluctuations in frustrated spin and strongly correlated electronic systems with multiple degrees of freedom. In these systems, many soft modes of fluctuations are coupled, and this affects the nature of quantum phase transitions, as well as electronic states and dynamical properties including transport phenomena. One of our recent achievements is about non-equilibrium dynamics of strongly correlated electrons in one dimension. We have found a case where nonzero energy current coexists vanishing charge current, which is related to the integrability of the system.



1次元ハバード模型の電流 $j_c = e j_n$ とエネルギー流 j_e 。左右領域が電子密度 $n = 1$ および 0 の熱平衡状態から出発した後の時刻 t における空間分布。電子ホッピングを単位としてクーロン斥力 $U = 8$ 、初期状態の逆温度 $\beta = 0.5, 1.0$ 。 $\xi \sim -2$ 付近に電流が消える領域が出現。

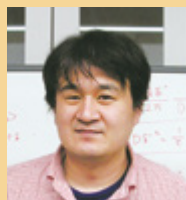
Electric and energy currents, $j_c = e j_n$ and j_e , in the one-dimensional Hubbard model starting from the initial state where the left and right parts are different equilibria with electron density $n = 1$ and 0 . Plotted is the spatial profile of the currents at time t . Coulomb repulsion is $U=8$ and the initial reciprocal temperature is $\beta = 0.5$ or 1.0 in units of electron hopping. Electric current vanishes in a region near $\xi \sim -2$.

研究テーマ Research Subjects

1. d 電子、 f 電子化合物など強相関電子系の電子状態と異方的超伝導
Electronic states and unconventional superconductivity in strongly correlated systems with d - or f -electrons
2. フラストレーション系の統計力学
Statistical physics of frustrated systems
3. 量子磁性体の新奇量子相の理論
Theory of novel phases in quantum magnets
4. 量子系の非平衡ダイナミクス
Nonequilibrium dynamics of quantum systems

加藤研究室

Kato Group



加藤 岳生
KATO, Takeo
准教授
Associate Professor



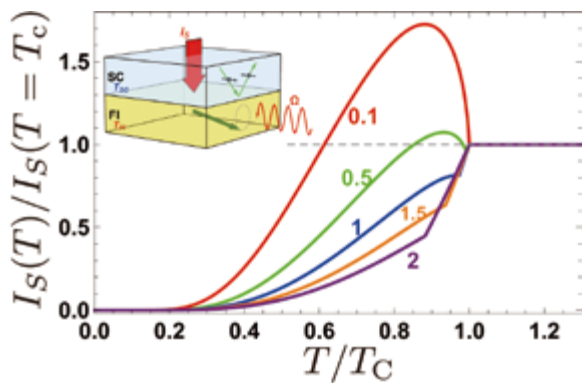
阪野 塁
SAKANO, Rui
助教
Research Associate



藤井 達也
FUJII, Tatsuya
助教
Research Associate

ナノスケール素子の量子輸送特性について、さまざまな手法を使った理論研究を行っている。この研究分野は古くからメゾスコピック系と呼ばれ、電子の量子力学的な性質に着目した研究が活発に行われてきた。最近では、非平衡多体現象・ショットノイズ・高速駆動現象・スピントロニクスなどの新しい視点で研究が進展しており、本研究室ではこれらの進展に対応して、非平衡統計力学や量子力学基礎論、多体電子論などを援用した理論研究を行っている。最近の研究例としては、ナノスケール素子の断熱ポンピング、磁性体・金属界面でのスピン輸送、フォノン系の熱輸送現象における多体効果、近藤量子ドットの非平衡輸送特性、などがある。

本研究室では上記の理論研究のほか、多体効果や非平衡現象に関する幅広い研究テーマも取り扱っている。最近の研究例としては、二次元電子系のウィグナー結晶化、固体中の高調波発生の理論などがある。物性研究所内の実験グループとの共同研究も進めている

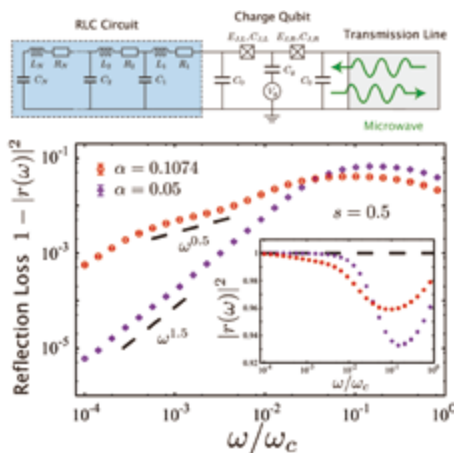


スピンプンピングによって生じる強磁性絶縁体から超伝導体へのスピン流の温度変化。挿入図：強磁性絶縁体 - 超伝導体接合の模式図。

Main panel: Temperature dependence of a spin current induced by spin pumping from a ferromagnetic insulator to a superconductor. Inset: A schematic of a ferromagnetic insulator/superconductor junction.

We are theoretically studying quantum transport in nanoscale devices using analytic and numerical approaches. This research field is called 'mesoscopic physics', which has been studied for a long time by focusing on the quantum mechanical nature of electrons. Recently, mesoscopic physics based on new viewpoints, for instance, nonequilibrium many-body phenomena, shot noise, high-speed drive phenomena, and spintronics has been studied. We aim to elucidate these phenomena, by exploiting nonequilibrium statistical mechanics, fundamental theory of quantum mechanics, and many-body physics. Examples of our research activities are adiabatic pumping in nanoscale devices, spin transport at an interface between a ferromagnet and a metal, many-body effect in thermal transport of phonons, and nonequilibrium transport properties of the Kondo quantum dots.

We are also working on various research subjects related to many-body effects and nonequilibrium phenomena. Examples of these researches are Wigner crystallization of two-dimensional electron systems and higher harmonics generation in solids. We are also collaborating with experimental groups in ISSP.



上図：サブオームミックス熱浴と結合した超伝導量子ビットを実現する超伝導回路。下図：マイクロ波の散乱ロスをマイクロ波の振動数の関数としてプロットしたもの。αは量子ビットと熱浴の結合定数。

Upper panel: A superconducting circuit for realizing a superconducting qubit system coupled to the subohmic bath. Lower panel: A numerical result for the microwave reflection loss as a function of the frequency. α is the dimensionless qubit-reservoir coupling.

研究テーマ Research Subjects

1. メゾスコピック系の量子輸送現象
Transport phenomena in mesoscopic systems
2. 相互作用する電子系の物性
Electronic properties of interacting electron systems
3. スピントロニクス素子の基礎理論
Fundamental theory of spintronics
4. 非平衡統計力学
Non-equilibrium statistical mechanics