

# 物性理論研究部門

## Division of Condensed Matter Theory

物性理論研究部門では、物性研究の最先端分野の理論研究に積極的に取り組んでいる。物性物理学では理論研究が重要な役割を果たしており、マクロからミクロまでのさまざまな階層における理論研究によって、実験結果から新しい物理現象を見出したり、新しい物理現象の予言を行ったりすることが可能となる。物性研究のブレークスルーには、新しい発想に基づく研究が、既存の理論を発展させ予測能力を高めるような継続的な研究に加えて必要不可欠である。本部門は3つの研究室、および、量子物質研究グループ・機能物性研究グループ・附属物質設計評価施設を兼務する6つの研究室から構成される。他部門・施設の理論研究室とともに、解析手法に基づく基礎理論からスーパーコンピュータを用いる大規模数値計算にいたるまで、多様な理論手法を駆使して物性物理における最先端の研究課題に取り組んでいる。また、研究所内外の実験グループとの連携も積極的に進めている。

The Division of Condensed Matter Theory is actively engaged in theoretical research on the cutting-edge topics in condensed matter physics. Theoretical studies play a crucial role in condensed matter physics: those studies at various levels extract new discoveries from experimental results, and novel theoretical predictions also start as well as boost experimental works. For achieving a breakthrough in the condensed matter physics, the research based on novel ideas is essential and indispensable, in addition to continuous research for increasing the predictive power based on existing theories. This division now consists of three groups and six other groups of concurrent members. Together with other theoretical groups, the activity of this division covers various theoretical studies from basic theory based on analytical methods to large-scale state-of-art numerical computation using supercomputers, and actively develops the theory for forefront research subjects in the condensed matter physics. Discussions and collaborations are also actively pursued with experimental groups inside and outside ISSP.

---

部門主任 加藤 岳生  
Leader KATO, Takeo

---

# 加藤研究室 Kato Group

## 研究テーマ Research Subjects

- 1 メゾスコピック系の量子輸送現象  
Quantum transport phenomena in mesoscopic systems
- 2 スピントロニクス素子の基礎理論  
Fundamental theory of spintronic devices
- 3 固体中の非平衡特性と輸送特性  
Nonequilibrium and transport properties in solids



准教授 加藤 岳生  
Associate Professor KATO, Takeo

専攻 Course

理学系物理学

Phys., Sci.



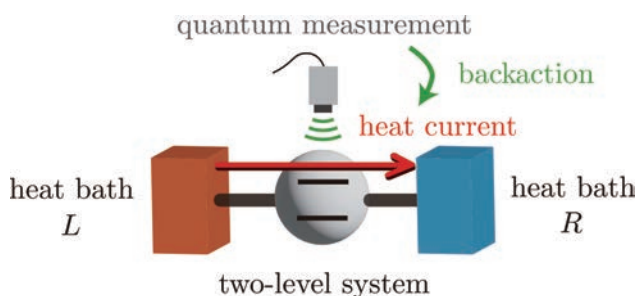
助教 藤井 達也  
Research Associate  
FUJII, Tatsuya

当研究室では、メゾスコピック分野およびスピントロニクス分野において、輸送特性に関する理論研究を幅広く展開している。メゾスコピック系の研究では、電子の量子力学的な性質に注目し、古くから研究が行われてきた。現在も、非平衡多体現象、非平衡ノイズ、強外場駆動現象など、新たな現象を積極的に追求している。スピントロニクス分野では、電流や熱とスピンの変換現象を中心に、多様なスピン輸送現象が研究されている。

当研究室では、これらの進展に対応するために、非平衡統計力学、場の量子論、多体電子論など、幅広い理論手法を活用している。具体的な研究事例としては、磁性体・金属界面でのスピン輸送、超伝導回路における多体効果を考慮した熱輸送現象、近藤量子ドットの非平衡輸送特性、そして光による固体内のスピン流生成などがある。また、物性研究所内の実験グループとも緊密な共同研究を進めている。

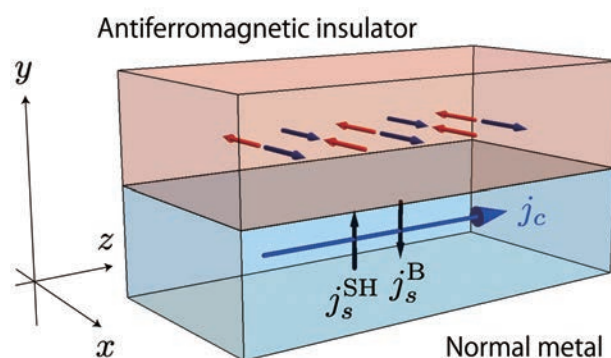
Our laboratory is engaged in extensive theoretical research on transport properties in the fields of mesoscopic and spintronics. Research on mesoscopic systems has long focused on the quantum mechanical properties of electrons. We are still pursuing new phenomena such as non-equilibrium multi-embodiment phenomena, non-equilibrium noise, and strong external field-driven phenomena. In the field of spintronics, various spin transport phenomena are being studied, mainly in current and heat/spin conversion phenomena.

In order to respond to these developments, our laboratory utilizes a wide range of theoretical approaches, including non-equilibrium statistical mechanics, quantum field theory, and many-body quantum theory. Specific research examples include spin transport at magnetic-metal interfaces, heat transport phenomena considering many-body effects in superconducting circuits, the nonequilibrium transport properties of Kondo quantum dots, and the generation of spin current in solids by light. We are also working closely with experimental groups in ISSP.



二つの熱浴と量子連続測定装置に結合した二準位系。二準位系に量子測定を行うと、左のリードから右のリードへの熱流に影響を与える（バックアクション）。

A two-level system coupled to two heat baths and an apparatus for continuous quantum measurement. The quantum measurement of the two-level system affects the heat current from the left to the right lead, which is called backaction.



スピンホール磁気抵抗の模式図。界面でのスピン吸収は反強磁性絶縁体のネールベクトルの向きによって変化し、磁気抵抗の大きさは変化する。

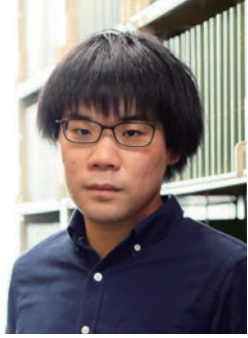
Illustration of spin Hall magnetoresistance. Spin absorption at the interface changes according to the orientation of the Néel vector of the antiferromagnetic insulator, and the magnitude of the magnetoresistance changes.



# 川畑研究室 Kawabata Group

## 研究テーマ Research Subjects

- 1 物性理論 (物性基礎論)  
Condensed matter theory
- 2 非平衡系の相分類・相転移  
Nonequilibrium phases of matter
- 3 非平衡統計力学  
Nonequilibrium statistical mechanics
- 4 非エルミート物理  
Non-Hermitian physics

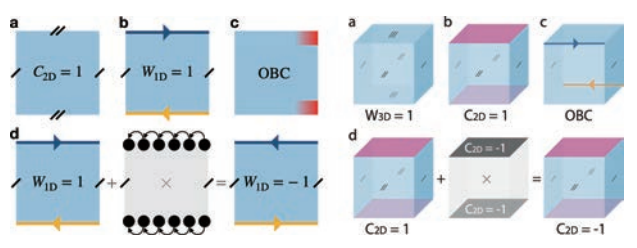
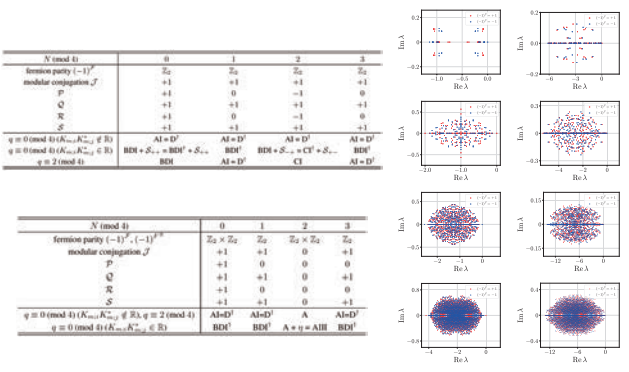


准教授 川畑 幸平  
Associate Professor KAWABATA, Kohei

専攻 Course  
理学系物理学  
Phys., Sci.

近年、孤立平衡系を中心とした従来の物性物理の枠組みを越えて、非平衡開放系で実現される物性物理に大きな関心が集まっている。そのようなめざましい進展にも拘らず、非平衡開放系で現れる物性現象は、重要な問題でさえも、依然として理解が確立していない。また、今後のさらなる発展が期待される量子技術分野において、非平衡開放系の理解はさらに重要性を増していくと考えられる。本研究室では、非平衡開放系で現れる多彩な物性現象をはじめとして、物性理論の新しい基礎を確立することを目指す。最近では、非平衡開放系のトポロジカル相の特徴づけおよび分類、また量子カオスや局在転移について研究し、とくに孤立平衡系に対応物をもたない非平衡開放系に特有の物性現象を探究してきた。対称性やトポロジーといった一般的な概念をもとにして、普遍的であるがゆえに種々の実験を記述および予言するような基礎理論を構築し、新しい物性物理を開拓する。

Recent years have seen remarkable progress in the physics of open quantum systems. In view of the recent rapid development of quantum information science and technology, it seems urgent to develop a general theory of open quantum systems. In our group, we are broadly interested in theoretical condensed matter physics, with a particular focus on nonequilibrium physics, to establish new foundations and principles in contemporary physics. Our recent research highlights topological phases of open quantum systems, as well as dissipative quantum chaos and lack thereof. On the basis of fundamental concepts such as symmetry and topology, we aim to uncover new physics intrinsic to far from equilibrium.



量子開放系の対称性とカオス。散逸下の Sachdev-Ye-Kitaev 模型の対称性にもとづく周期表と複素スペクトル。[PRX Quantum 4, 030328 (2023)]

Symmetry of open quantum systems: Classification of dissipative quantum chaos. Periodic tables of Sachdev-Ye-Kitaev Lindbladians. [PRX Quantum 4, 030328 (2023)]

エルミートなバルクと非エルミートな境界のトポロジカルな対応。トポロジカル絶縁体・超伝導体の表面状態に散逸を加えると、種々の高次トポロジカル現象が生まれる。[PRX Quantum 4, 030315 (2023)]

Hermitian bulk – non-Hermitian boundary correspondence. The interplay of Hermitian topology and dissipation leads to new types of higher-order non-Hermitian topological phenomena. [PRX Quantum 4, 030315 (2023)]



[https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/kawabata\\_group.html](https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/kawabata_group.html)

## 常次研究室

Tsunetsugu Group

## 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



教授 常次 宏一  
Professor TSUNETUGU, Hirokazu

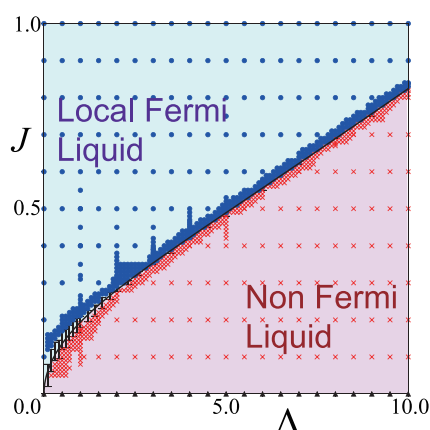
専攻 Course  
理学系物理学  
Phys., Sci.

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。これら強相関電子系においては、低温で新奇な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。

主なテーマは、フラストレーション系や強磁性超伝導体などのスピン・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。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。また、最近はカイラルな結晶構造のもたらす新規なフォノンおよび電子物性の研究にも取り組んでいる。

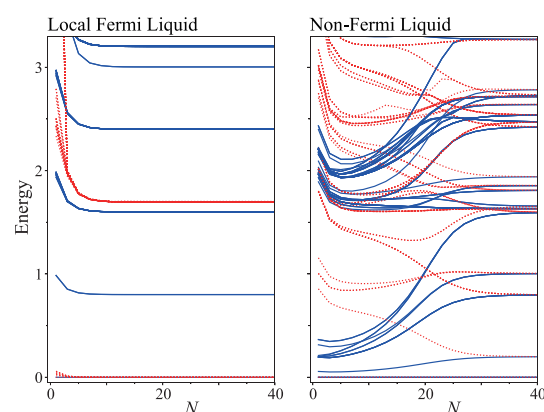
Strongly correlated electron systems, particularly transition metal compounds and rare-earth or actinide compounds are the main subjects of our theoretical research. In these systems, strong electron-electron interactions lead to a variety of interesting phenomena emerging at low temperatures, such as various types of exotic magnetic orders, unconventional superconductivity and density waves. We aim to establish a unified theory for those complex properties and also predict novel phenomena in those systems.

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 such as charge, spin, and orbital. In these systems, many soft modes of fluctuations are coupled to each other, and this affects the nature of quantum phase transitions, as well as electronic states and dynamical properties including transport phenomena. We also study systems with chiral structure and explore novel behaviors of their phonon and electronic properties related to their chirality.



励起エネルギー  $\Delta$  の一重項を含む拡張四極子不純物近藤モデルの相図。局所フェルミ液体状態と非フェルミ液体状態の相境界近傍で、近藤温度の新しいスケーリング則が発見された。 $J$  は四極子近藤結合の大きさ。

Phase diagram of an extended impurity quadrupole Kondo model including an additional singlet level with excitation energy  $\Delta$ . A new scaling form of Kondo temperature is found near the phase boundary between local Fermi liquid and non-Fermi liquid phases.  $J$  denotes the strength of quadrupole Kondo coupling.



拡張四極子不純物近藤モデルの低エネルギー状態の繰り込みフロー。 $N$  は数値繰り込み群ステップ数。左図が局所フェルミ液体状態、右図が非フェルミ液体状態の結果。

Energy flow of low-energy levels in the extended impurity quadrupole Kondo model with the step number  $N$  in numerical renormalization group calculation. Left and right panels show the results in the local Fermi liquid and non-Fermi liquid phases, respectively.

