

量子物質研究グループ

Quantum Materials Group

物性物理はこれまで新しい物質、新しい現象、新しい概念の発見によって、大きく発展してきた。物性研究所で活発に研究されてきた強相関電子系は、その顕著な例である。一方、研究のブレークスルーは多くの場合、分野の融合によることが多い。本研究グループは、そのような視点のもとに、量子物質研究のさらなる飛躍を目指して、理論と実験の緊密な連携を核とし、従来の研究部門の垣根を超えた共同研究を推進するために新設された。

当グループは2つのコアグループと6つの連携グループからなり、互いに強く連携しながら、強相関電子系の新しい量子相や新しい機能性材料の発見を目指した研究を進めている。実験的には、バルクや薄膜の試料を作成し、その精密物性測定、スピントロニクス機能の開拓を行っている。これらは、理論手法の開発を通じて新しいトポロジカルな量子相の開拓を行う理論チームと強く協力をして進めている。

Discovery of new materials, new phenomena, and new concepts has progressed condensed matter physics. A good example can be found in the history of research in strongly correlated electron systems, one of the major fields studied in ISSP. On the other hand, breakthroughs have been often made at an intersection of various different research fields. To facilitate another leap forward in our activity, the quantum materials group has been created to promote interdisciplinary studies based on the collaboration between the experimental and theoretical groups beyond the conventional research disciplines.

The quantum materials group currently consists of two core groups and six joint groups. All these groups vigorously conduct collaborative research to discover novel quantum phases and functional materials in correlated electron/spin systems. The activities include new material synthesis in bulk and thin film forms and their characterization through state-of-art measurement systems. Device fabrication is also made for spintronics applications. These experiments are being conducted through lively discussion and tight collaboration with theory groups, which search for novel topological phases by using new theoretical approach and numerical methods.

教授 Professor	押川 正毅 OSHIKAWA, Masaki	助教 Research Associate	多田 靖啓 TADA, Yasuhiro	特任研究員 Project Researcher	マン フィユアン MAN, Huiyuan
教授 Professor	中辻 知 NAKATSUJI, Satoru	助教 Research Associate	酒井 明人 SAKAI, Akito	特任研究員*1 Project Researcher	杉井かおり SUGII, Kaori
教授*1 Professor	榊原 俊郎 SAKAKIBARA, Toshiro	助教*1 Research Associate	下澤 雅明 SHIMOZAWA, Masaaki	特任研究員*4 Project Researcher	杉本 聡志 SUGIMOTO, Satoshi
教授*2 Professor	辛 埴 SHIN, Shik	助教*4 Research Associate	一色 弘成 ISSHIKI, Hironari	特任研究員*4 Project Researcher	肥後 友也 HIGO, Tomoya
教授*3 Professor	廣井 善二 HIROI, Zenji	特任研究員 Project Researcher	大槻 匠 OTSUKI, Takumi	特任研究員*4 Project Researcher	ムドゥリ プラサンタ クマール MUDULI, Prasanta Kumar
教授*4 Professor	大谷 義近 OTANI, Yoshichika	特任研究員 Project Researcher	シェ チャンツェ HSIEH, Chang-Tse	学振特別研究員 JSPS Research Fellow	志村 恭通 SHIMURA, Yasuyuki
准教授*1 Associate Professor	山下 穰 YAMASHITA, Minoru	特任研究員 Project Researcher	チェン タイシ CHEN, Taishi	学振特別研究員 JSPS Research Fellow	杉浦 祥 SUGIURA, Sho
准教授*2 Associate Professor	近藤 猛 KONDO, Takeshi	特任研究員 Project Researcher	富田 崇弘 TOMITA, Takahiro	学振特別研究員 JSPS Research Fellow	チュ ダンル Qu, Danru
教授(客員) Visiting Professor	有田 亮太郎 ARITA, Ryotaro				
教授(外国人客員) Visiting Professor	ダムル ケダー DAMLE, Kedar				
教授(外国人客員) Visiting Professor	ラン イン RAN, Ying				

*1 所内兼務。本務は凝縮系物性研究部門。
/ concurrent with Division of Condensed Matter Science

*2 所内兼務。本務は極限コヒーレント光科学研究センター。
/ concurrent with Laser and Synchrotron Research Center

*3 所内兼務。本務は物質設計評価施設。
/ concurrent with Materials Design and Characterization Laboratory

*4 所内兼務。本務はナノスケール物性研究部門。
/ concurrent with Division of Nanoscale Science

量子物質研究グループ

Quantum Materials Group

http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/oshikawa_group.html

押川研究室

Oshikawa Group



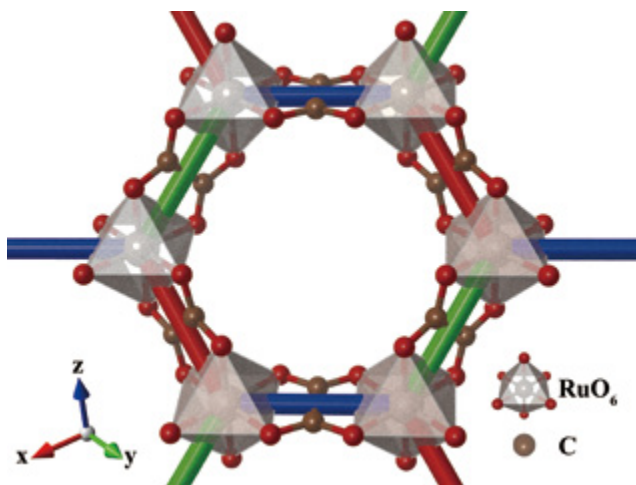
押川 正毅
OSHIKAWA, Masaki
教授
Professor



多田 靖啓
TADA, Yasuhiro
助教
Research Associate

量子多体系の理論を中心として研究を行っている。量子多体系と古典統計力学および場の理論の密接な関係を踏まえ、広範な系について成立する普遍的な概念を探求するとともに、実験結果の統一的理解や新たな実験に対する予言も目標とする。最近の成果の一つとして、カイラル超流動体の全軌道角運動量についての40年来のパラドックスに一定の理論的解決を与えた。また、場の理論における量子異常を応用して、離散的な対称性の存在下ではギャップレスな臨界相の間に新たな分類が生じることを示した。これは、量子相の分類に新たな展開をもたらすものである。このような理論研究における発展を実験研究と結びつけるべく、Kitaevスピン液体相などの新奇なトポジカル相を実現する物質設計についても研究を進めている。これらの研究の多くは、国際共同研究として推進している。

Our main focus is quantum many-body theory. Based on the close correspondence among quantum many-body systems, classical statistical systems, and field theory, we pursue universal concepts in physics. At the same time, we aim to give a unified picture on experimental data and to make testable predictions. As an example of our recent achievements, we have given a certain theoretical result for the total orbital angular momentum of chiral superfluids, which has remained paradoxical for 40 years. We also demonstrated, based on anomaly in quantum field theory, a new classification of gapless quantum critical phases in the presence of a discrete symmetry. This opens up a new direction in classification of quantum phases. In order to connect these theoretical developments with experiments, we also study material design to realize exotic topological phases such as Kitaev spin liquids. Much of our research is carried out in international collaborations.



金属有機構造体 (Metal-Organic Framework, MOF) を用いたKitaevスピン液体の設計。Kitaevモデルは、基底状態としてスピン液体を実現する、非常に興味深い厳密に解ける量子スピンモデルである。イリジウム酸化物等の無機化合物でのKitaevモデルの実現が議論されているが、これらの物質では直接交換に起因するハイゼンベルグ型相互作用の寄与が大きく、基底状態はスピン液体ではない。我々は、MOFを用いて直接交換相互作用を抑制し、より理想的なKitaevモデルの実現の可能性を提案した。

Designing Kitaev spin liquid using Metal-Organic Framework (MOF). Kitaev model is an intriguing exactly solvable spin model, with a spin-liquid ground state. Although realizations of the Kitaev model in iridates and other inorganic materials has been discussed, the dominance of Heisenberg type interactions owing to direct exchanges prevents the ground state from becoming the spin liquid. We proposed a possibility of more ideal realizations of the Kitaev model, using MOFs in which direct exchange interactions are suppressed.

研究テーマ Research Subjects

1. 量子スピン系および itinerant 電子系における電子スピン共鳴
Electron Spin Resonance in quantum spin systems and itinerant electron systems
2. 量子細線の接合における伝導と共形場理論
Conduction at a junction of quantum wires and conformal field theory
3. トポジカル相と量子エンタングルメント
Topological phases and quantum entanglement
4. カイラル超流体の軌道角運動量
Orbital angular momentum of chiral superfluids
5. トポジカル相・トポジカル現象の物質系での実現
Realization of topological phases and topological phenomena in materials

中辻研究室

Nakatsuji Group



中辻 知
NAKATSUJI, Satoru
教授
Professor



酒井 明人
SAKAI, Akito
助教
Research Associate

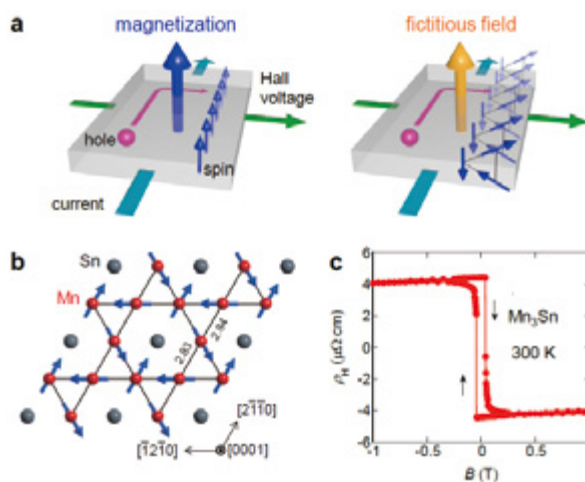
物質科学のフロンティアは、新しい現象の発見にある。なかでも、無機物質は我々の生活を支える材料として最もよく利用されてきた。その無機物質から物質中の 10^{23} 個もの電子が相互作用して創り出すマクロな量子現象が続々と発見されており、物理と化学を駆使した新物質の開発こそが新しい量子現象を目指す物質科学の醍醐味である。さらに、これらの量子現象の発見は現代の情報社会や IoT 社会の基盤となる革新的技術を生みだしている。私達の研究室では、このような新しい機能の開発を目指した新物質開発に取り組み、スピントロニクス機能やエネルギーハーベスティングなどの応用に資する新たな量子機能を探求する研究を進めている。

そのため、私達の研究室では、物質の化学合成のみならず、新しい物理現象の発見を目指した最先端物性測定、また、それを応用したデバイス作製や薄膜測定にも力を入れている。多様な手法を用いて新しい化合物の単結晶育成や薄膜作製に自ら取り組むとともに、顕著な量子効果が現れる極低温から応用に重要な室温以上での様々な高精度物性測定を行っている。

The discovery of new phenomena is at the forefront of research in condensed matter physics. This is particularly true for the inorganic materials, which provide an important basis in current electronic and information technology research, which keep providing numbers of macroscopic quantum phenomena due to correlations among the Avogadro numbers of electrons. Thus, the search for new materials that exhibit new characteristics is one of the most exciting and important projects in the materials research. We have synthesized new materials in so-called strongly correlated electron systems including transition metal compounds and heavy fermion intermetallic compounds. Our interest lies in quantum phenomena such as exotic superconductivity and anomalous metallic states close to a quantum phase transition, novel topological phases in magnetic metals, quantum spin liquids in frustrated magnets, and their spintronics application.

a. 強磁性体における異常ホール効果 (左図) と反強磁性体 Mn_3Sn における異常ホール効果 (右図)。強磁性体中では、自発磁化 M によって電子の運動が曲げられることにより、ゼロ磁場下 ($B = 0$) でホール効果が自発的に現れる。一方で、反強磁性体 Mn_3Sn では、ゼロ磁場下 ($B = 0$) で、かつ、自発磁化 M のない状態において、ホール効果が自発的に現れる。この場合、電子の運動を曲げる要因となる仮想的な内部磁場 b が、スピンの秩序化によってもたらされると考えられる。b. Mn_3Sn の磁気構造。カゴメ格子の各頂点に位置する Mn は磁気モーメント (青矢印) を有し、キラル反強磁性構造を示す。c. Mn_3Sn における室温でのホール抵抗率の磁場依存性。

Magnetic behavior and crystal structure of Mn_3Sn . a, Anomalous Hall effect in ferromagnets (left) and in antiferromagnets (right) induced by bending the trajectory of conducting carriers by magnetization and fictitious field, respectively. b, Crystal and spin structure of Mn_3Sn . Each Mn has a magnetic moment (arrow). c, Magnetic field dependence on the Hall resistivity in Mn_3Sn at room temperature.



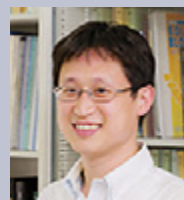
研究テーマ Research Subjects

1. ワイル磁性体の量子伝導効果とそのスピントロニクス応用
Quantum transport phenomena in Weyl magnets and their applications for spintronics
2. トポロジカル磁性体の開発とエネルギーハーベスティング
Search for novel topological magnets and their application for energy harvesting
3. トポロジカル量子相や新しい超伝導体の開拓
Search for novel topological phases and superconductors

量子物質研究グループ
Quantum Materials Group

有田研究室

Arita Group



有田 亮太郎
ARITA, Ryotaro
客員教授
Visiting Professor

私は現在、おもに第一原理計算に基づいた物質科学の研究に従事している。特に、遷移金属化合物や重い電子系、分子性導体など様々な強相関電子系の研究を行ってきた。客員教授として物性研に滞在中は、主として機能反強磁性体に関する研究を行うことを計画している。中辻知教授のグループによる Mn_3Sn 、 Mn_3Ge における大きな異常ホール効果の発見に触発され、最近、我々は「クラスター多極子」という量を導入し、これによって磁性体の磁気構造を特徴づける方法を定式化した。このアプローチに従えば、一般の磁性体に対する電子特性、輸送特性、光学特性などを第一原理計算に基づいて設計することができる。ホストの中辻教授と協力し、新しい機能反強磁性体を発見することを目指す。また、物性研に滞在中は中辻グループ以外の研究室との共同研究にも積極的に取り組みたいと考えている。

My current research interests are in computational materials science based on first-principles calculation. Especially, I have been working on a variety of correlated materials such as transition metal oxides, heavy fermion systems, molecular solids, and so on. As a visiting professor, I am planning to study functional antiferromagnets. Motivated by the recent discovery of large anomalous Hall effect in Mn_3Sn and Mn_3Ge by the group of Prof. Satoru Nakatsuji, we have recently formulated a scheme based on “cluster multipole” to characterize the magnetic structure. With this scheme, one can design electronic, transport and optical properties of magnets with general spin structure. Collaborating with my host, Prof. Nakatsuji, we wish to find new functional antiferromagnets. In addition to this project, I intend to interact with other ISSP professors.

量子物質研究グループ
Quantum Materials Group

ダムル研究室

Damle Group



ダムル ケダー
DAMLE, Kedar
外国人客員教授
Visiting Professor

我々の研究の中心は、強い相関を持つ量子系における相と相転移、およびそれらに関連する統計力学の問題である。フラストレートした量子磁性体やボース粒子系では、相互作用の競合により多数の低エネルギーの配位が縮退する。これは、しばしば量子ゆらぎや熱ゆらぎで安定化された興味深い低温相の実現につながる。我々の研究の多くは、このような興味深い低温相の、数値的・解析的に取り扱い可能な例に関するものである。具体的な対象としては、比較的大きな単一イオン異方性を持つフラストレート磁性体や、フラストレートした相互作用を持つボソン系が挙げられる。このような系の効率的なシミュレーションを可能にする新しいアルゴリズムの開発に注力している。また我々は、局所的拘束条件に従う格子ガスの統計力学におけるエントロピーの秩序化や臨界相にも興味を持っている。これらの現象は、フラストレートした磁性体における「無秩序による秩序化」現象に類似している。

Our research focuses on phases and transitions in strongly correlated quantum systems as well as related problems from statistical mechanics. Frustrated quantum magnets and other bosonic systems, in which the leading couplings compete with each other and are unable to determine the low temperature fate of the system due to a large degeneracy of low-energy configurations, often provide realizations of interesting low-temperature phases stabilized by quantum or thermal fluctuations within the subspace of low energy configurations. With this motivation, much of the work in our group has focused on numerically or analytically tractable examples of such interesting low temperature phases. Examples include frustrated magnets with relatively strong single-ion easy-axis anisotropy and bosonic systems with frustrated interactions. A recent focus has been the development of algorithms that allow efficient simulations of certain classes of frustrated magnets. Additionally, we are interested in examples of entropic ordering as well as critical phases in the statistical mechanics of lattice gases that obey local constraints, since these phenomena are similar to order-by-disorder phenomena in frustrated magnets.

ラン研究室

Ran Group



ラン イン
RAN, Ying
外国人客員教授
Visiting Professor

我々の目標の一つは、相関によって誘起される新しいトポロジカル相の系統的な理解と、それらの相の現実的な系における実現を探ることである。そのため、新奇なトポロジカル相が必然的に現れるような、対称性に基づく一般的な制約を導く。このような制約は、相関の強いトポロジカル相を実現する現実的なモデルや具体的な候補物質を同定する指導原理となる。もう一つの目標は、フラストレーションの強い量子スピン系における量子臨界点を代数的に解析することである。たとえば、最近開発されたボソン・フェルミオン双対性に基づき、そのような量子臨界点に電子をドーピングすると高温超伝導が誘起されることがわかった。このような解析は、電子対の対称性と対形成機構を明確にし、相関の強い非定型の超伝導体の理解に有効である。物性研は、トポロジカル相の多くの側面に関する専門家である押川教授と共同研究する貴重な機会を我々に提供する。物性研は強相関量子物質に関して世界をリードする研究所でもある。我々は物性研のメンバーとの、互いに有益な意見交換を望んでいる。

One of the goals of our research activities is to develop systematic theoretical understandings of new types of correlation-driven topological phases and to search for these states in practical materials. We plan to theoretically develop certain generic symmetry-related conditions, under which exotic topological phases are inevitably realized. Namely symmetry-related conditions could enforce topological phases. These symmetry-related conditions would provide guiding principles to identify both realistic quantum models and candidate materials realizing correlated topological phases. Another goal of our research activities is to algebraically analyze quantum critical points in frustrated quantum spin systems. For example, based on recently developed boson-fermion dualities, it turns out that electronically doping such quantum critical points could immediately lead to high temperature superconductivities. This algebraic analysis would allow us to sharply understand the pairing symmetries and mechanisms, which could be relevant to multiple unconventional correlated superconductors. ISSP provide us with a unique opportunity of collaborate with Prof. Oshikawa, who is an expert on many aspects of topological states of matter. Moreover, ISSP is one of the leading institutions in this fields of strongly correlated quantum materials. We hope to both contribute to and benefit from the exchange of ideas with the members of ISSP.