

量子物性

創発量子物性研究室

Emergent Quantum Matter Group

HP : <https://sites.google.com/view/eqm-phys-kyushu-u/>

コアタイム：特になし

研究キーワード：強相関電子系、エキゾチック超伝導、量子スピン系、トポロジカル物性



Member

教授	笠原裕一
助教	村山陽奈子
博士1年	曹熙元
修士1年	今村健人 鈴木雅也 野上大輝 楊梓璇
学部4年 (特別研究生)	菊池戒 工藤智貴 藤岡優心 八木涉太
研究生	邵国恩



教員プロフィール

笠原裕一 教授



出身地：神奈川県逗子市

昨年の4月に着任しました。これまで九州とは縁もゆかりもありませんでしたが、新天地で私生活だけでなく研究／教育においてもたくさん刺激をいただいています。自身は学部4年生から一貫して超伝導や磁性を中心とした固体物理(凝縮系物理)の実験研究を行ってきました。まだ研究室は立ち上げ最中ですが、すぐに研究を軌道にのせてメンバーとともに独自の成果をあげていきたいと意気込んでいます。学部／修士／博士でそれぞれ異なる国立／私立の大学を卒業するというやや特殊な経歴をもっており、その後もさまざまな現場を見てきた経験から、フレキシブルに対応できるようじと僭越ながら思っています。物性実験の魅力は、思いがけない発見があったり自然界にない状態を人の手やアイディアで作り出せたりすることだと思います。研究テーマに沿って測定手法や物質開発の方法は最適なものを選択していくというのが研究室のスタイルであり、「型」にはまらない研究ができればと思います。研究内容を見て興味を持たれた方は、是非、研究室見学にお越しください。

村山陽奈子 助教



出身地：北海道札幌市

京都大学での学生生活、理化学研究所でのポスドク経験を経て、昨年の10月に着任しました。学生時代は極低温での熱測定等の物性測定を行っていましたが、ポスドクになってからは結晶合成にも取り組んできました。協力し合って大きなものを作り上げるのが実験系研究室の醍醐味だと思います。みんなで知恵を絞って面白い研究をしましょう！3年生実験ではBZ反応を担当しています。好きな食べ物はトマト、趣味は1歳の息子と週末に出かけることです。



アピールポイント

新研究室

本研究室は昨年度に発足しました。新しく研究室を立ち上げている最中です。そのため研究室の雰囲気や歴史は、これから配属される皆さんに作り上げていただくことになります。装置立ち上げは、さまざまなことを学ぶ貴重な機会であり、他にはできない経験ができます。

柔軟な研究スタイル

私たちが行うのは固体中の電子やスピンが示す物理現象の実験的研究です。研究のアプローチは精密測定を軸としつつ、物質合成、新物質開発、装置開発など多岐にわたっています。興味のある電子状態や物理現象に狙いを定めたら、その解明／発見に最短距離となる手法を吟味して選択し実験を行う、というのが基本的な研究スタイルです。特にコアタイムはなく、ゼミやセミナーは皆の都合の良い日程に合わせています。

スタンダードながら最先端を狙う

測定する物理量は聞いたことがあるようなスタンダードなもので、比熱、磁化、電気抵抗、熱伝導などになります。しかし測定技術を工夫して測定精度を世界最高水準まで高めることなどにより、大規模施設で行う実験では得られないような新しい知見が得られることがあります。そのため、装置開発などにも積極的に取り組みます。



イベント

年間スケジュール

4月	新入生歓迎会
8月	前期打ち上げ/物性若手夏の学校/大学院入試
9月	日本物理学会
12月	忘年会
2月	卒論、修論、D論打ち上げ
3月	日本物理学会/アメリカ物理学会/送別会
随時	国際会議

定例イベント

週一回 (通年)	研究進捗報告会/セミナー[論文紹介](全体)
週一回 (通年)	ゼミ[輪読](B4, M1) 磁性、超伝導、電子物性などから 興味のあるトピックスを学生中心に選択。 今年度は物性入門や超伝導。
不定期開催	量子物性セミナー(外部研究者)

研究進捗報告会／セミナー／ゼミは所属学生の予定に合わせて決めています。それぞれ1～2コマ分くらいを目安に行っています。昨年度発足したばかりの新しい研究室ですので、イベントはメンバーの活力になるようなものを次々と増やしていきたいと考えています。未来のメンバーの方々も含め、学生の皆さんにイベント等を通じて研究室の歴史と雰囲気を作り上げていただきたいと願っています。

Message

- **研究室について**
教員と距離が近く、いつでも相談できる環境が整っています。
いろんな事に挑戦したい人や、なんでも自分でやってみたい人におすすめです。
私生活
最近はコンビニのおでんを毎日食べています。おすすめはあらびきウィンナーです。
- どうも、BZ反応TAの今村です。「学部の物理（電磁気学・統計力学・量子力学など）を履修すれば物性なんてだいたいみんな一緒でしょ」と思うことありませんか？
そう思っているなら、**ちっちっち**ですね！
物性物理学は、実験・理論ともに世界中で研究されている奥深いトピックです！紙とペンで物理を味わう理論物理も素敵ですが、その理論上の現象を**目の前で発現させる**実験物理も非常に魅力的です。
我々と一緒に、誰も知らない『物理』を『創発』させませんか？
- 研究室選びに迷っている方は是非研究室に遊びに来てください！研究内容から普段の生活まで色々なことを聞けますよ（お菓子もあげちゃうかも）
- 物性実験の魅力は、現象を探るために計算・装置設計・プログラミングなど、さまざまなアプローチを組み合わせられる点にあると思います。理論と実験、手と頭の両方を使って、物質の性質を多角的に理解できるところに面白さを感じます。ぜひ創発量子物性研究室で一緒にいろんなことを学んでみてみましょう！

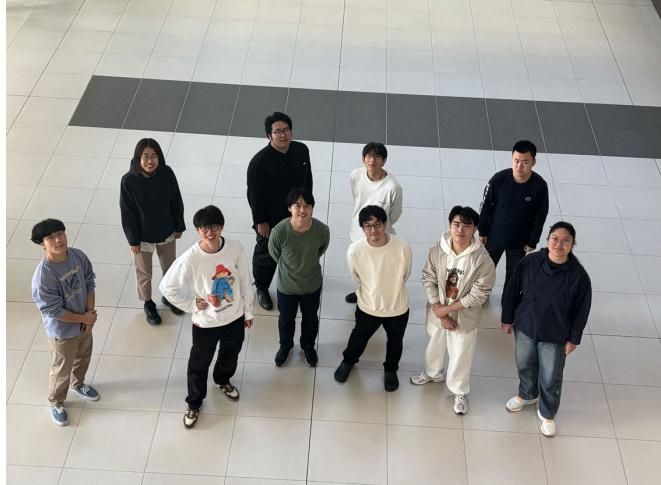




実績

研究	<ul style="list-style-type: none"> T. Yokoi, Y. Kasahara et al., "Half-integer quantized anomalous thermal Hall effect in the Kitaev material candidate α-RuCl₃", Science 373, 568-572 (2021). プレスリリース：「量子コンピューターのワイルドカードとなる粒子を解明」 https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research-news/2021-08-02-0 H. Murayama, Y. Kasahara et al., "Bond Directional Anapole Order in a Spin-Orbit Coupled Mott Insulator Sr₂(Ir_{1-x}Rh_x)O₄", Phys. Rev. X 11, 011021 (2021). プレスリリース：「物質中における極のないナノ電磁石の発見－原子間ループ電流が引き起こす新しい電子状態を観測－」https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research-news/2021-02-05-0 Y. Kasahara, T. Ohnishi et al., "Majorana quantization and half-integer thermal quantum Hall effect in a Kitaev spin liquid", Nature 550, 227-231 (2018). Hot Paper (Top 0.1%) & Highly Cited Paper (Top 1%), Web of Science/Clarivate Analytics プレスリリース：「幻の粒子「マヨラナ粒子」の発見－トポロジカル量子コンピューターの実現に期待－」https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research-news/2018-07-12
表彰	<p>第27回井上研究奨励賞(2010年／笠原) 日本物理学会若手奨励賞(2018年／笠原) 第6回ヤマト科学賞(2019年／笠原) 第13回京都大学たちはな賞(2021年／村山) 第39回井上研究奨励賞(2023年／村山)</p>
進学先 (特研生)	内部進学、東大
進学先 (修士課程)	内部進学(京大)
就職先 (修士課程)	パナソニック、キーエンス、富士通、新日鉄、村田製作所、三菱電機、日立製作所、NEC、IBM、他多数(京大)
就職先 (博士課程)	ポスドク[国内、海外]、助教[国内]、コニカミノルタ、東陽テクニカ、テルモ(京大)

上記は笠原の前職である京都大学の実績を含みます。これまで多数の修士／博士の学生を指導し、卒業生はアカデミックから企業の研究職など、さまざまな分野で活躍しています。博士課程の学生には、在学中の海外留学(半年から1年)を奨励し、渡航費などをできるだけ支援したいと考えています。





研究内容

本研究室では、固体中に存在する膨大な数の電子やスピンが示す量子力学的多体現象、具体的には**高温超伝導を含む非従来型超伝導**、**重い電子状態**、**量子臨界現象**、**量子スピン液体**、**トポロジカル現象**などに興味を持って研究しています。強く相互作用する量子多体系においては、電子やスピンといった構成要素の性質だけでは理解できないような質的に新しい性質や現象が出現することがあり、これが研究室名の由来でもある「**創発性**」になります。そして新しい量子現象や量子状態を実験的に開拓・解明することに挑戦しています。

研究分野はひとことで言うと「固体物理学」になりますが、上記の研究対象には「強相関」、「対称性の破れ」、「トポロジー」といった、現代物理学のエッセンスが詰まっています。また、研究テーマによっては統計物理、量子情報や量子計算、素粒子物理や原子核物理、さらには応用物理などさまざまな研究分野と密接な関係をもっていて、さまざまな展開が期待されることもこの研究分野の大きな魅力だと思います。

興味のある量子現象はしばしば低温で現れるため、数ケルビン以下の極低温環境を用い、強磁場や強電場により物質の状態がどのような応答を示すかを調べます。(図1, 2)したがって、**多重極限環境下における精密物性測定**が中心的な研究アプローチで、研究テーマに応じて電気輸送測定、熱輸送測定、熱力学量測定、磁気測定などのさまざまな測定手法を駆使しています。また、新しい実験手法および計測技術の開発や、物質開発にも取り組んでいます。従来の化学的な物質合成だけでなく、最先端の薄膜作製技術を用いた人工超格子により**自然界には存在しない物質系の作製**にも挑戦しています。



図1：無冷媒冷凍機（室温300 K - 2 K）



図2：希釈冷凍機 (<100 mK)

非従来型超伝導

超伝導はゼロ抵抗を示す状態であり、リニアモーターカーやMRIなどの応用に用いられていることはご存知の方も多いのではないでしょか。量子現象が巨視的(マクロ)なスケールで現れる物理学の中でも最も劇的な現象のひとつであり、電子が対(クーパーペア)を形成しボーズ・アイシュタイン凝縮することで起こります。発見から100年以上の歴史があるものの、現代物理の中心課題のひとつとして依然として活発な研究が行われています。超伝導の基礎的な理解は50年以上前に発表されたBCS理論により確立したものの、BCS理論の枠組みを超えて不思議な性質を示す**非従来型超伝導体**が次々と発見されています。非従来型超伝導体には銅酸化物や鉄系化合物における高温超伝導体も含まれており、その超伝導状態の理解や発現機構の解明は物性物理学における大きな課題です。

非従来型超伝導の研究における重要なキーワードは、「対称性の破れ」と「新奇超伝導状態」です。前者は物理学における重要かつ普遍的な概念であり、超伝導はゲージ対称性の破れた状態として特徴づけられます。しかし近年、ゲージ対称性以外の対称性が破れた超伝導が次々と発見されています。後者は**クーパーペアが重心運動量をもつ超伝導状態**(図3)や**トポロジカル超伝導体**があります。それぞれ現実物質における実現／実証は議論的になっています。なかでも重心運動量を持つクーパーペア形成は中性子星でも議論されるなど、原子核物理とも関連しています。精密物性測定により、対称性の破れを決定し新奇超伝導状態を探索します。

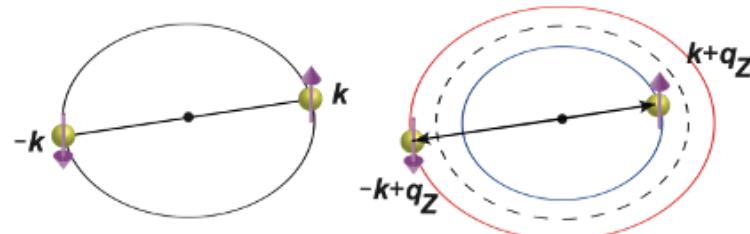


図3：(左) 通常のクーパーペア、(右) 重心運動量を持つクーパーペア

量子スピン液体

磁性体中のスピンは通常、温度を下げていくと物質と同様に凍結します。しかし量子揺らぎが支配的になるとスピンが絶対零度まで凍結せず液体状態にとどまり、このような状態は**量子スピン液体**と呼ばれます。磁性体におけるスピン励起を量子化した**準粒子**としてスピン波の量子化であるマグノンがよく知られていますが、量子スピン液体においてはさらにエキゾチックな準粒子の出現が提唱されており、自然界には存在しない未知の粒子ともみなせるため、それらの探索および解明を目的とした研究を行っています。一例として、我々の研究グループの最近の成果を紹介します。対象としたのは**キタエフ量子スピン液体**と呼ばれる特殊な量子スピン液体状態です。この量子スピン液体状態においては、粒子と反粒子が同一という特殊な性質を持つ中性フェルミ粒子、**マヨラナ粒子**が準粒子として現れるため、大きな注目を集めています。マヨラナ粒子に由来する**非可換エニオン**を利用した量子計算が提案され、ニュートリノがマヨラナ粒子の候補ともされていますが、理論的予言から80年以上もその存在の確証が得られていませんでした。我々はキタエフ量子スpin液体の候補物質である磁性絶縁体において**半整数熱量子ホール効果**を観測し、物質中にマヨラナ粒子が存在することを実験的に証明しました(図4)。量子ホール効果はトポロジカル現象の代表例であり、量子スpin液体においてトポロジーによって保護された量子状態が実現していることを初めて示したことになります。マヨラナ粒子の理解はまさにこれからであり、今後は発現機構や普遍性を探査します。さらに量子計算も含めた応用展開に向けて、マヨラナ粒子の検出技術の開発にも取り組んでいます。

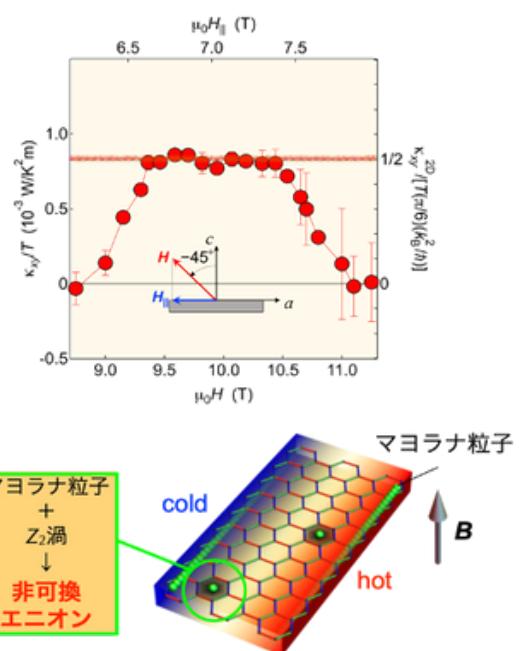


図4：キタエフ量子スpin液体候補物質において観測された半整数熱量子ホール効果とその模式図



図5：PLD装置



図6：MBE装置

物質合成、人工構造による物質開発

複数の種類の結晶格子の重ね合わせにより、その周期構造が基本単位格子より長くなった結晶格子は超格子と呼ばれますが、これを人為的に異なる物質を交互積層したものが**人工超格子**です。人工超格子により、前例のない組み合わせの積層構造、すなわち**自然界に存在しない物質の作製**が可能となり、興味のある量子状態の次元性制御や空間反転対称性の破れの人工導入、さらには界面を通じた電子状態の変調により、各構成要素には見られなかった新奇な量子相の出現が期待されます。本研究室では、パルスレーザー堆積法(PLD)(図5)や分子線エピタキシー法(MBE)(図6)などによる原子層薄膜作製技術を駆使して、新物質開発に挑戦します(図7)。

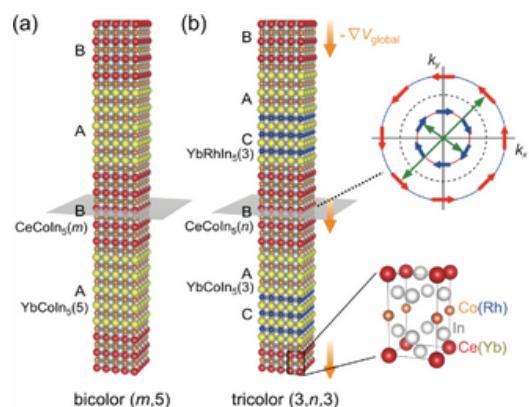


図7：人工超格子の例