

理学系
物理学

板谷研究室



教授 板谷 治郎

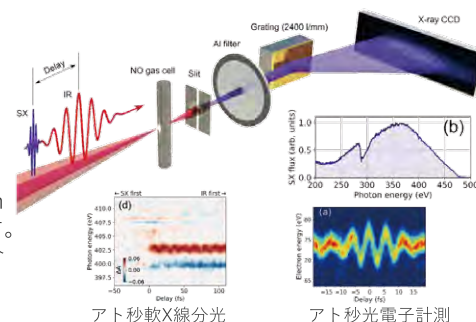
アト秒科学は、超高速で起こる電子の動きを観測するための研究分野です。1アト秒は、1秒の10億分の1のさらに10億分の1 (=10⁻¹⁸秒) という、きわめて短い時間の単位であり、電子が物質中で原子スケールの距離を移動する時間スケールに相当します。高強度レーザー光と物質との相互作用では、物質中での電子過程を誘起できるだけでなく、光電場で電子の動きを直接制御できることから、「**高強度レーザーを用いたアト秒科学**」という分野が21世紀に入って大きく進展しました。とくに、高強度レーザーをガス中に集光して得られる「**高次高調波**」は、その発生過程にアト秒領域の電子過程を含んでいるため、その物理過程をうまく利用することによって、**軟X線領域のアト秒パルス**を発生できるようになりました。アト秒パルス光を用いることによって、物質の非平衡状態における量子状態の変化をアト秒精度で観測し、光電場で制御することが可能となっています。

板谷研究室では、最先端の極短パルスレーザー技術を開発し、その応用として、気相(原子・分子)・凝縮系(固体・液体)・ナノ構造を対象としたアト秒・強レーザー場科学を推進しています。主な研究テーマは以下の三つです。

(1) 位相制御された高強度極短パルスレーザーの開発
位相制御された高強度極短パルス光源の開発と、短波長域(真空紫外・極端紫外・軟X線)でのフェムト秒からアト秒領域の極短パルス光発生とその分光応用を行っています。とくに、アト秒科学を「原理実証」の段階から、物性計測のための基盤技術とするために、より高い平均出力をもつ次世代極短パルスレーザーの開発を進めています。

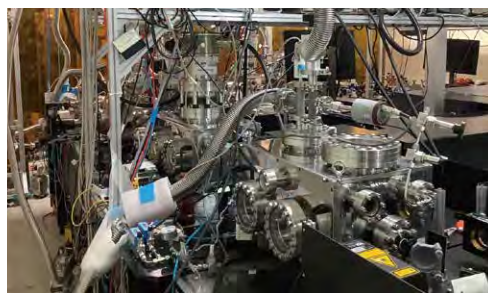


(2) アト秒軟X線パルスの発生と超高速・非線形分光への応用
板谷研究室では「水の窓」領域の軟X線アト秒パルスを用いた超高速過渡吸収分光を実現し、物質中での多様な自由度(電子状態・振動・回転)の量子ダイナミクスを観測できることを実証しました。現在は、このような極限的な超高速実験手法の物性科学への応用をさらに進めています。

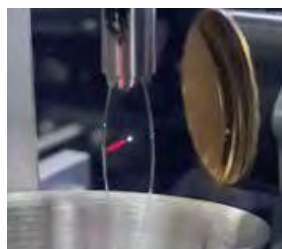


アト秒軟X線分光 アト秒光電子計測

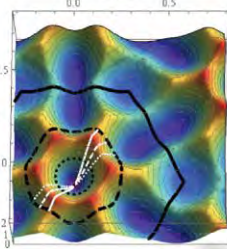
(3) 強レーザー場で駆動されたアト秒電子ダイナミクスの研究
高強度中赤外光を使うと、非破壊的に固体や液体中に10 MV/cmを越える強電場を印加でき、新奇な非線形光学現象が発現します。凝縮系におけるアト秒科学は、最先端の光科学と物質科学の融合分野であり、新しい学理の構築を目指しています。



軟X線アト秒パルスの分光装置



水薄膜ジェットにおける高調波発生



固体における高調波発生

アト秒科学は、「新光源の開発」と「新現象の探索」が、車の両輪となった、原子分子物理学・物質科学・光科学の融合分野です。光技術を極めることにより、物質科学に関する新しい現象の発見や、その量子力学的理解を深められるという点で、光量子物理学の基礎と応用の両方を追求できる研究分野です。これまでの分野や経験にとらわれず、やる気のある方の参画を期待しています。

— 研究室見学はいつでも歓迎です —
E-mail: jitatani@issp.u-tokyo.ac.jp
Tel: 04-7136-3535
場所: 物性研 D棟 D123

詳しくは研究室HPをご覧ください。
<https://itatani.issp.u-tokyo.ac.jp>



理学系
物理学

岡研究室

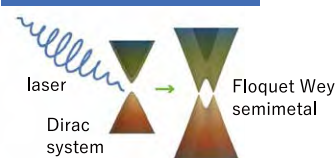


教授 岡 隆史

岡研究室では、非平衡統計力学や非平衡量子多体系の理論研究を通じて、量子状態制御や生命現象の理解などの基礎研究に取り組んでいます。

特に、複雑な物理現象の背後にひそむ「からくり」の発見と理解、そしてそれを利用した「機能発現」の提唱を研究目標とします。これまで量子物質のフロク・エンジニアリングの提唱や非平衡系の場の量子理論など主に非平衡量子多体系の研究に注力してきました。これらに加え、今後の重点領域として、生命現象のマイクロ・メソスコピックな理論への場の理論の応用を考えています。特に学生の自由な発想に基づいて研究分野を拡げていきたいです。学際的な研究と、国内外の共同研究者との交流という、ダイナミックな活躍の場を提供していきたいです。

量子物質の非平衡制御



量子物質制御

レーザー電場などの外場によって物質の性質は劇的に変化します。非平衡多体問題は一般にはとても複雑な現象ですが、外場の時間周期性に着目すると系統的な研究が可能になります(フロク理論)。

現在、量子物質の性質を非平衡外場で制御する「フロク・エンジニアリング」という新分野が国内外の多くの研究室で積極的に研究を進められています。その研究対象はトポロジカル物質や、超伝導体のみならず冷却原子系や高エネルギー物理にまで及んでいます。当研究室では特にフロク・トポロジカル状態の提唱などを通じてこの分野に貢献してきました(Oka-Aoki2009)。様々な物質を自在に制御する方法の発見を目指していきます。

キーワード: 量子制御、トポロジカル状態

多体物理基礎論 (場の理論)



非平衡統計力学の新展開

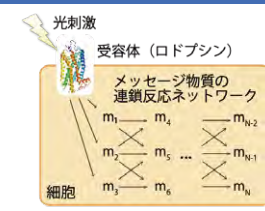
現在、非平衡開放系に関連した統計力学の基礎研究は急速な発展を遂げています。そこでは物性的手法、数値手法、数理的手法などが混ざり合いながら、新しい物理学の芽が多く生まれております。先を見通すことは難しいですが、例えば、この宇宙の初期に何が起きたのか、といった疑問に、物性実験の知見を元に理論的にアプローチすることも可能になると考えられます。

キーワード: 非平衡定常状態、非平衡繰り込み群、量子情報、エンタングルメント

構成員 2026予定:

岡 隆史(教授)、沼澤宙朗(助教)、Swati Chaudhary(特任助教)、特任研究員2名、学生7名、事務補佐員2名

生命現象のメソスコピック物理



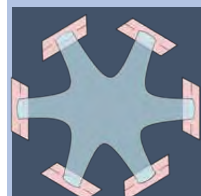
多体問題としての生命現象

生体反応の根幹には細胞の内外でおきる化学反応の連鎖(シグナル伝達)があります。このような過程を動的な多体問題として捉え直し、その性質を実験・理論の協力の下で解き明かす研究が始まっております。また、網膜などにある光受容タンパク質では興味深い開放量子系が実現しており、近年進展している非エルミート量子物理を実現しています。これまで主に電子物性で進展した量子状態制御を生体制御に導入する研究に着手しております。物性研内外の実験グループと協力しながら新分野の発展に貢献したいです。

キーワード: 生命現象、シグナル伝達、ネットワーク、開放量子系
研究室見学も歓迎です
Tel: 04-7136-3285
E-mail: oka@issp.u-tokyo.ac.jp
場所: 物性研A棟A429



助教 沼澤宙朗



重力におけるレプリカ法とレプリカをつなぐワームホール

出身は高エネルギー理論で、これまでは主にブラックホールや初期宇宙における重力の量子効果を理解するために、高エネルギー理論、非平衡物理及び量子情報理論の境界領域を研究してきました。特に量子エンタングルメントは量子系の特徴的な性質で、高エネルギー理論でも量子多体系でも近年重要になったことから興味を持って研究してきました。

今後は、高エネルギー理論と量子多体系において量子情報や非平衡物理のより発展的な知識を応用していくとともに、その逆の応用や、量子情報や非平衡物理自身の基礎的な研究もしていきたいと考えております。



Project Assistant Professor Swati Chaudhary

My research focuses on the response of quantum materials to external stimuli such as light and magnetic fields. One key aspect involves leveraging light to engineer new functionalities. I have previously studied Floquet engineering schemes to modify electronic band topology and magnetic interactions. Additionally, I investigate how light can probe the quantum geometric properties of topological materials, particularly studying nonlinear optical responses arising from nontrivial quantum geometry in various materials.

I also explore the interplay between different degrees of freedom—spin, orbital, and lattice—and their influence on transport and magnetic properties. In particular, I am studying chiral phonons and their magnetic response which arises from such interplay. In this direction, I am also interested in studying how a very strong magnetic field would influence different properties of quantum materials.

In the future, I want to study the unique phenomena at the interface of strong magnetic fields, quantum geometry, and light-matter interactions. I also want to study the effect of different kind of periodic drives on quantum materials where the spatial variation or quantum aspects of the external drive play an important role. This can be achieved by using phonons or placing the materials inside cavities, respectively."

尾崎研究室

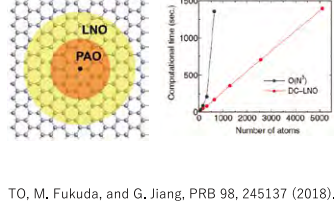


教授 尾崎 泰助

近年のコンピュータの発展に伴い、物質科学におけるコンピューターシミュレーションの重要性が高まっています。当研究室では基礎方程式から出発し、電子デバイス材料、二次元物質、物質表面などの現実物質系の特性を定量的に予測する新しい第一原理計算手法の開発を進めています。第一原理計算の観点から複雑な物質のあるがままの姿を理解し、そして予測していくことが私たちの研究目標です。実験に先立つ新物質予測も大きな課題であり、最近ではハイスループット計算によって二次元物質の構造マップを作製し、多数の新構造の予測を行いました。意欲ある方と共に計算物質科学の地平をひろげていきたいと考えています。

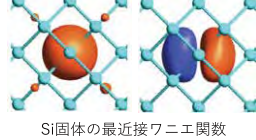
大規模シミュレーション手法:

密度汎関数理論に基づきDirac方程式を数値的に解くことで、物質の安定性、磁気特性、電子伝導特性、光学特性等を定量的に計算することが可能です。また計算量が原子数に比例するO(N)法の開発により、従来は困難であった数千原子系の第一原理計算を実現しました。



最近ワニエ関数の理論:

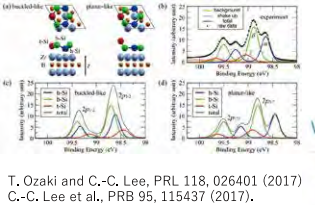
密度汎関数理論に基づく第一原理計算の結果を解析する手法として、最近ワニエ関数の理論を構築。電子状態を原子軌道の観点から理解することが可能になりました。



TO, Phys. Rev. B 110, 125115 (2024).

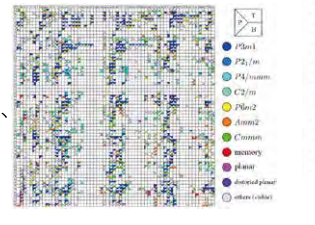
内殻電子の絶対束縛エネルギーの計算:

X線光電子分光法 (XPS) における内殻電子の絶対束縛エネルギーを高精度に計算できる新手法を開発し、ZrB₂上のシリセンのXPSを再現することで、長年の議論となっていた座屈構造を決定しました。



二次元AB₂構造の網羅探索:

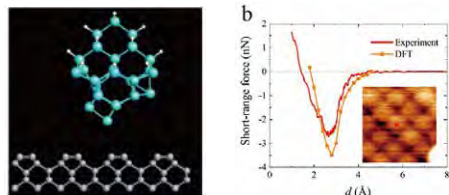
未知の二次元構造を実験に先立って予測するために、AB₂組成を持つ二次元構造の網羅探索計算を実行し、多数の新構造を発見しました。



AgPt₂によるメモリ構造: Ag原子の位置が下で双安定である。

原子間力顕微鏡 (AFM) の第一原理計算:

AFMの探針をコンピュータ内に再現し、ダイヤモンド(001)面との相互作用をシミュレーション。実験で観測された探針と表面原子間の相互作用を定量的に再現しました。



OpenMXの開発:

現実に近い状況を高精度にシミュレーションするためには効率的かつ高精度な計算手法が必要です。私たちは独自の手法論に基づいたソフトウェアOpenMXを開発し、シミュレーションを行っています。

Welcome to OpenMX

- What is OpenMX?
- Download
- Manual of Ver. 3.9
- Manual of Ver. 3.8
- Technical Notes
- Video Lectures
- Publications
- OpenMX Forum
- OpenMX Viewer
- Workshop
- Databases of VPS and PAO
- Ver. 2019
- Ver. 2019 for core excitations
- ADPACK
- Miscellaneous Informations
- Contributions
- Acknowledgment
- Opening positions
- Links

日本、韓国、台湾、中国のコミュニティで連携しながら開発を進めています。

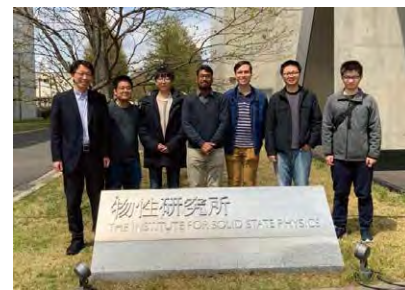
我々の開発したOpenMXは東大物性研だけでなく、世界中の研究者に広く活用され、様々な応用研究の基盤ソフトウェアとなっています。

<http://www.openmx-square.org/>

構成員:

(2026年4月時点)

- 尾崎泰助 (教授)
- 福田 将大 (助教)
- PD 1名
- M2 2名
- M1 2名
- 研究生1名
- 事務補佐員 2名



研究室見学はいつでも歓迎です

Tel: 04-7136-3285
E-mail: t-ozaki@issp.u-tokyo.ac.jp
場所: 物性研A棟A421



加藤研究室



准教授 加藤 岳生

加藤研究室では、固体中の量子輸送現象の理論を主な研究テーマに取り組んでいます。私たちの研究では、非平衡グリーン関数や数値計算手法を用いて、ナノテクノロジーの発展に対応した理論を構築しています。最近では、メゾスコピック系と呼ばれる系の量子輸送現象、および、スピントロニクス分野におけるスピン輸送現象に焦点を当てて研究を展開しています。どちらの研究分野においても、固体の持つ性質をうまく活用し、微細な人工構造体や接合などを利用して基礎的な物理現象や機能性デバイスの探索を行っています。

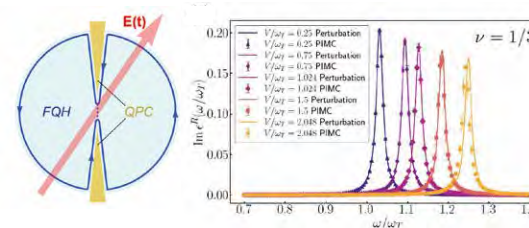
【キーワード】

- マグノンやフォトンなどの輸送現象
 - スピン流・熱流・量子電磁気学
- 非平衡輸送特性や非平衡ノイズの評価
 - 非平衡統計力学・ノイズ分光
- 量子観測や非局所相関の考察
 - 量子力学基礎論
- 分数量子ホール効果・エニオン
 - 強相関系の輸送特性

メゾスコピック系

メゾスコピック系物理とは、マイクロとマクロの間に位置する対象を扱う学問です。この研究テーマの魅力は、量子力学の基礎的な概念を実際に直接実験することができるといことです。量子力学の不思議な性質(例えば粒子の統計性や非局所相関など)を、人間が望むような形で制御し検証する試みが盛んに行われています。メゾスコピック系分野の理論研究者はなぜか日本にはあまりいませんが、世界では活発に研究が行われています。

例: エニオンの輸送特性

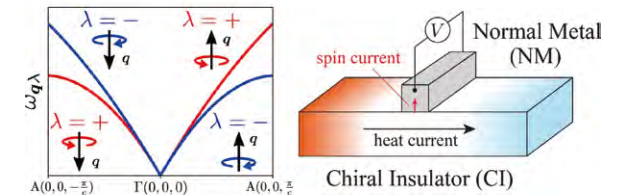


分数量子ホール状態にある二次元電子系では、エニオンと呼ばれるフェルミオンとボゾンの中間的な統計性をもつ励起が存在します。最近になってその直接検証が可能となって以降、活発な研究が世界中で行なわれています。現在、分数量子ホール効果の液滴の交流応答を量子モンテカルロ法と摂動計算によって調べています。

スピントロニクス

スピントロニクスとは、電子のスピン(磁気モーメント)を利用した電子デバイス技術のことです。具体的には、スピン流の制御やスピン流と磁性体の相互作用に関する理論的研究を行っています。微視的なモデルを用いて、非平衡グリーン関数を始めとした様々な手法を用いて、スピン輸送理論を構築したり、新しい物理現象の探索を行っています。現象論を超えて微視的なモデルに基づく予言能力の高い理論の構築を目指しています。

例: カイラルフォノンによるスピン生成



分数量子ホール状態にある二次元電子系では、エニオンと呼ばれるフェルミオンとボゾンの中間的な統計性をもつ励起が存在します。最近になってその直接検証が可能となって以降、活発な研究が世界中で行なわれています。現在、分数量子ホール効果の液滴の交流応答を量子モンテカルロ法と摂動計算によって調べています。

卒業生の就職先

- アカデミック (准教授、特任研究員、ポスドク)
- 企業 (日本銀行、大和証券、明治安田生命など)

一 研究室見学はいつでも歓迎です

E-mail: kato@issp.u-tokyo.ac.jp
場所: 物性研 A棟 A411

詳しくは研究室HPをご覧ください。
<https://kato.issp.u-tokyo.ac.jp>

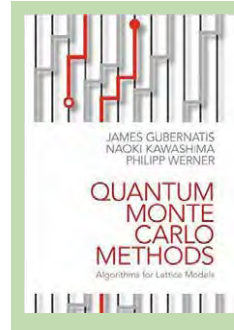


川島研究室



教授 川島直輝

最近、人工知能／機械学習／量子計算などの流行で社会的にも「計算」に注目が集まっていますが、我々の研究グループでは計算物理、計算統計力学の方法論に含まれる数論的コアを明らかにし、新しい手法を開発することを基本に研究を進めています。その応用として、統計力学や強相関電子・スピンの未解決問題にとりくんでいます。ここで用いられる量子モンテカルロ法やテンソルネットワーク法はボルツマンマシンや情報圧縮を通じてデータ科学とも接点を持っており、最近ではテンソルネットワークを用いた生成モデルの構成法を考案しました。

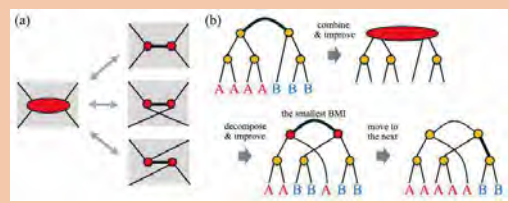
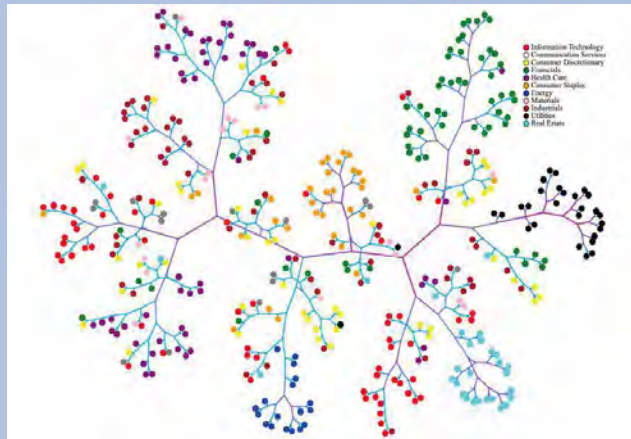


最近の研究から「テンソルネットワークで企業のクラスタリングを試みた」

データ（多数のサンプル）に対してツリー型テンソルネットワークでそのサンプル集合を説明する生成モデルを構築した。とくに、ツリー型は変形が容易であるため、ネットワーク構造をデータに合わせて最適化できる。

$$NLL \equiv \frac{1}{|\text{batch}|} \sum_{\alpha \in \text{batch}} \log P(X^{(\alpha)})$$

テンソル最適化にはコスト関数として NLL (Negative Log-Likelihood) を使い、ネットワーク最適化は、BMI (bond 相互情報量) が最小になるように局所的な枝の組み換えを繰り返すことで実現する。(下図)



株価の騰落のビットパターンをサンプルとして使うと、右図のようにネットワーク構造が企業の業種構造を反映したものになった。

Harada, Okubo and Kawashima: "Tensor tree learns hidden relational structures in data to construct generative models," Machine Learning: Science and Technology (2025), accepted.

上記の生成モデルは一例で、普通の統計力学・物性基礎論の研究もしています。



研究室見学は常時受け付けています。
E-mail: kawashima@issp.u-tokyo.ac.jp
場所: 物性研棟A423



- こんな人が私たちの研究室に向いています
- 美しい計算アルゴリズムが好きな人
- スパコンを使ってみたい人
- 統計力学が好きな人
- 計算によって様々な現象を説明してみたい人

川畑研究室



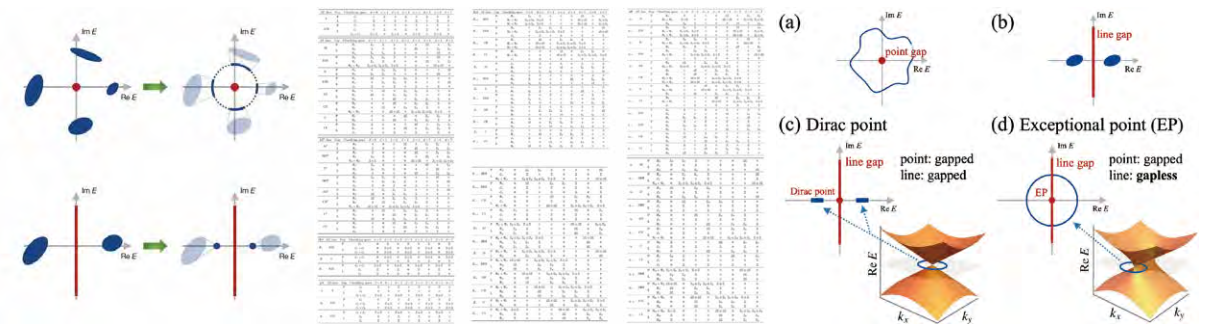
准教授 川畑 幸平

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。

非平衡開放系の対称性・トポロジカル相の分類

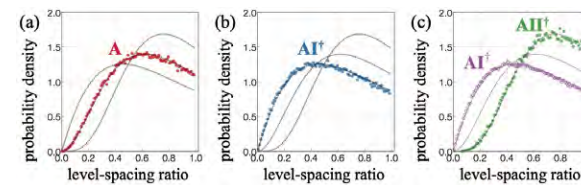
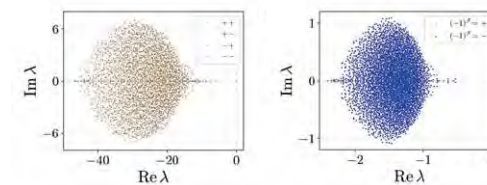
Kawabata *et al.*, PRX **9**, 041015 (2019)
Kawabata *et al.*, PRL **123**, 066405 (2019)

非エルミート物理における対称性・トポロジーの基礎理論の構築、および新しい非平衡トポロジカル現象の発見



量子開放系のカオス・統計力学

非エルミートランダム行列と非平衡開放系の量子カオスの対称性にもとづく分類



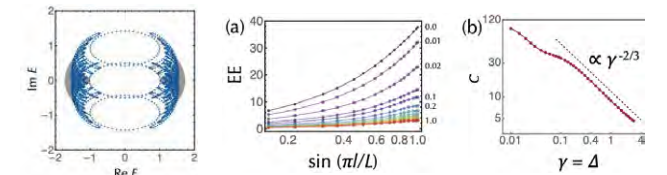
Kawabata *et al.*, PRX Quantum **4**, 030328 (2023)
Kawabata *et al.*, PRX Quantum **4**, 040312 (2023)

E-mail: kawabata@issp.u-tokyo.ac.jp

量子開放系の場の理論

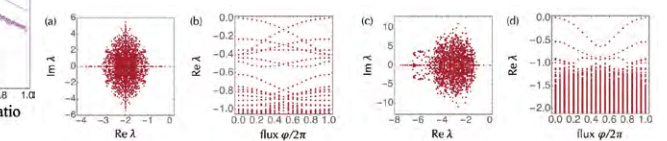
Kawabata *et al.*, PRL **126**, 216405 (2021)

非エルミート系のトポロジカル場の理論・量子異常



非エルミート表皮効果に起因する量子エンタングルメント相転移・非ユニタリー共形場理論

Kawabata *et al.*, PRX **13**, 021007 (2023)



Lieb-Schultz-Mattis 定理・Haldane ギャップ
Kawabata *et al.*, PRL **132**, 070402 (2024)

HP: <https://kawabata.issp.u-tokyo.ac.jp>



北川研究室



准教授 北川 健太郎

深海は高い水圧のために宇宙よりもたどり着くのが困難で人類最後のフロンティアと言われます。超高压下の固体の状態も観測が難しく、まだ見ぬ新物質相が潜んでいます。当研究室では、独自開発の高圧力発生装置と最新の光検出磁気共鳴技術などを組み合わせ、超高压力下で誰も見たことのない量子電子相の探求を行います。近年、室温に近い水素化合物高温超伝導体やニッケル系高温超伝導体が発見されるなど、超高压力下の物性探索は大きな注目を集めています。圧力は、新奇な相を発掘するためだけでなく、物質の基底状態の変化を研究するための基礎研究において重要なパラメータでもあります。一方で、超高压力下では観測困難な物理量が多く、例えば磁気的な状態は数万気圧以上ではあまり研究されていません。固体中ではスピン軌道結合と電子相関、多体効果のバランスにより奇妙な電子相が創り出させることがあります。異方的超伝導や量子スピン液体が例ですが、高圧下で生じうるこれらが発掘して実証するには、やはり、スピンの自由度、磁性を観測することが非常に重要となります。当研究室は量子センシングなどの新技術を用いて従来の物理量と磁気的な物理量を同時に観測可能な新しい高圧力発生装置を開発しています。

開発中のマルチ物理量観測 大型超高压装置



ハイブリッドアンビル 超高压発生技術+ 固体量子センシング

これまでに実用化した高圧下磁性測定技術



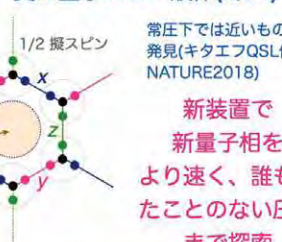
Article Bulk high-temperature superconductivity in pressurized tetragonal La₂PrNi₂O₇

当研究室のマルチアンビル装置を用いた磁化率測定によってニッケル系高温超伝導のバルク性を初めて証明

ターゲットの超高压下新量子相



真の量子スピン液体(QSL)



— 2024年に創設されたばかりの研究室です。研究室見学はいつでも歓迎です —

新しい装置と技術を一緒に作り上げて、他所では出来ない実験と物性研究をしましょう
E-mail: kitag@issp.u-tokyo.ac.jp
Tel: 04-7136-3518
場所: 物性研 A棟 A217またはB棟 B104

詳しくは研究室HPをご覧ください。
<https://kitag.issp.u-tokyo.ac.jp>



久保田研究室



准教授 久保田 雄也

放射光×極限

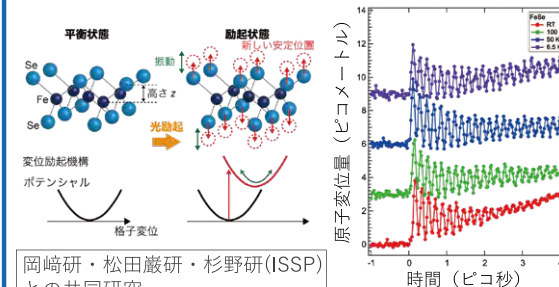
久保田研究室は2026年4月にスタートした新しい研究室です。兵庫県にある大型放射光施設SPring-8とX線自由電子レーザー施設SACLAを主戦場として研究を展開しています。非常に明るいX線を使って、物質の結晶構造や電子状態、そしてそれらのダイナミクスを明らかにすることを目指しています。



リング型のSPring-8と直線型のSACLAの航空写真
提供：理化学研究所

時空間の極限

光励起した鉄系超伝導体の格子振動を直接観測



SACLAのX線レーザーを使えば、**フェムト秒の超高速かつ、ピコメートルの微小な原子の動き**を直接捉えることができます。さらにSACLAなら10 K以下の極低温での測定も可能で、さまざまな物質の非平衡な状態を明らかにできます。

磁場の極限

100 T超強磁場におけるミクロな物性測定を実現

100 T超強磁場発生の様子

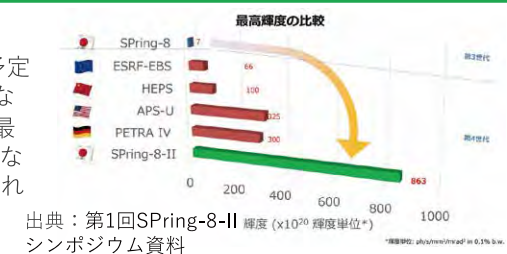


松田康弘研(ISSP)・池田研(UEC)との共同研究
A. Ikeda and Y. Kubota *et al.*, PRL 135, 186702 (2025)

SACLAにて、放射光施設で世界最高120 Tの磁場発生に成功しました。**100 T超強磁場でX線測定ができるのは、世界でSACLAだけです。**極限磁場環境におけるミクロな物性を直接明らかにできます。

SPring-8のアップグレード

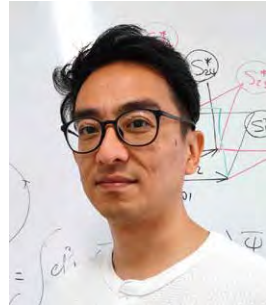
2027年よりSPring-8はSPring-8-IIへのアップグレードを予定しています。アップグレードにより、これまでの100倍となる**世界最高輝度のX線を作ることが可能**になります。世界最大級の放射光施設が作られていく様子を生で見られる貴重なチャンスです。さらに、SPring-8-IIが完成した暁には、これまでとは次元の異なるサイエンスの展開が待っています。



放射光は物理に限らず、化学・生物・医学などの広範な科学分野で利用されており、そのための様々な計測技術があります。きっとひとりひとりが夢中になれる研究テーマが見つかります。新しい久保田研究室と一緒に形作ってくれる学生を待っています。

— 研究室見学はいつでも歓迎です —
新しく生まれた研究室なので、連絡先はガイダンス時に直接聞いてください。

越野研究室



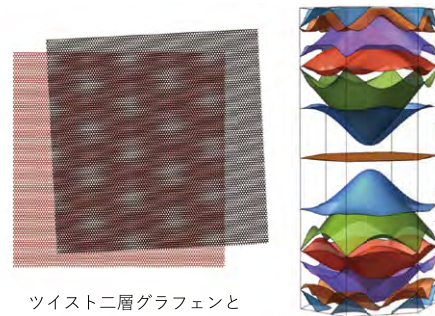
教授 越野 幹人

幾何学構造から生まれる、新しい量子物性

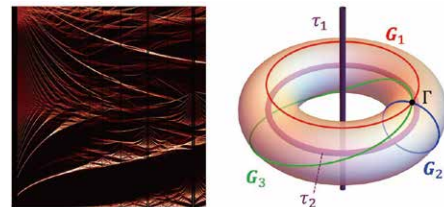
二次元物質やモアレ物質など、特異な形状や構造を持つ多様な物質群を対象として、その量子的性質を理論的に研究しています。これらの物質の研究は21世紀以降急速に拡大し、現在では物質科学の重要なフロンティアの一つとなっています。我々のグループでは、物理の本質を捉える基礎理論の構築を通して、新たな物性や機能の理論的提案を目指しています。特に、**電子やフォノンのトポロジーや量子幾何**に由来する効果に注目し、トポロジカル物性や新奇量子状態の解明に取り組んでいます。さらに、**厳密な空間周期を持たない準周期物質や新しい幾何学的構造**を有する物質系に対して、**従来のブロッホ理論の枠組みを超えた記述法の開発**にも挑戦しています。実験グループとも密接に連携し、理論と実験の協働による新現象の予測と理解を推進しています。

二次元物質・モアレ物質の量子物性理論

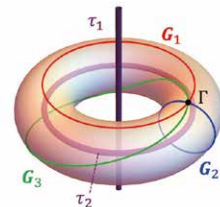
厚みが原子1個~数個分の物質を二次元物質と呼びます。例えば、炭素からなる二次元物質**グラフェン**は、グラファイトの1層を剥離することで作られます。この他にも半導体、磁性体、超伝導体など、様々な二次元物質が知られています。多くの場合二次元物質は母体となる三次元物質と全く異なる性質を持ちます。グラフェンの電子は、有効的に**質量ゼロのDirac方程式**に従い、他にはない特異な性質を示します。また二次元物質は、三次元物質にはない様々な自由度を持ちます。特に、二次元物質を2枚重ねると、原子スケールよりはるかに大きな周期を持つ**モアレ構造**が生じ、物質の性質を劇的に変化させることができます。例えば、グラフェンを回転させて重ねたツイスト二層グラフェンでは、平坦な**モアレバンド**が現れ、元来のグラフェンには存在しない超伝導や磁性が発現します。また、遷移金属カルコゲナイドのモアレ物質では、バンドのトポロジカルな性質が有効な磁場として働き、外部磁場なしに量子ホール効果が現れます。このように、**通常の原子結晶とは全く異なる幾何学構造が、「非常識」な量子物性を生み出します**。この新しい物質の世界を舞台として、未踏の物性や機能を理論的に予言することを目指しています。



ツイスト二層グラフェンとモアレバンド



磁場中モアレ系に現れるフラクタルスペクトル



菱面体積層グラフェン系にあらわれる非可換ゲージ束の概念図

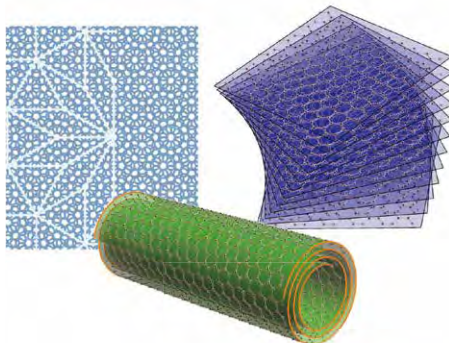
トポロジカル物性・量子幾何学的効果による新奇物性

量子状態の**トポロジー**や**幾何学的位相**は、散乱や局所的摂動に対して頑健な物性を生み出す根源です。バンドトポロジーや量子幾何量に着目し、トポロジカル絶縁体、量子ホール効果、異常応答などに代表される現象を理論的に研究します。さらに、相互作用や外場と結び付いたときに現れる新奇な量子状態や応答現象を明らかにし、従来の対称性分類を超える物性の理解を目指します。

準周期物質・新構造をもつ物質の理論構築

準周期物質や非自明な幾何学構造を持つ物質系では、**従来の結晶理論やブロッホ理論がそのまま適用できません**。このような厳密な空間周期性を持たない系に対して、新たな理論的枠組みを構築することを目指します。準周期構造や高次元トポロジー、幾何学的自由度がもたらす電子状態や輸送現象を解析し、未知の量子物性の体系的理解と予測に挑戦します。

見学、質問、いつでも歓迎です
E-mail: koshino@issp.u-tokyo.ac.jp
場所: 物性研本館 A517
研究室HP: <https://koshino.issp.u-tokyo.ac.jp>



非自明な構造を持つ物質: 30度準周期積層系、螺旋多層系、ナノスクロール。いずれも実在するが従来の固体物理での扱いが困難な系である。

近藤研究室



准教授 近藤 猛



実験室の例

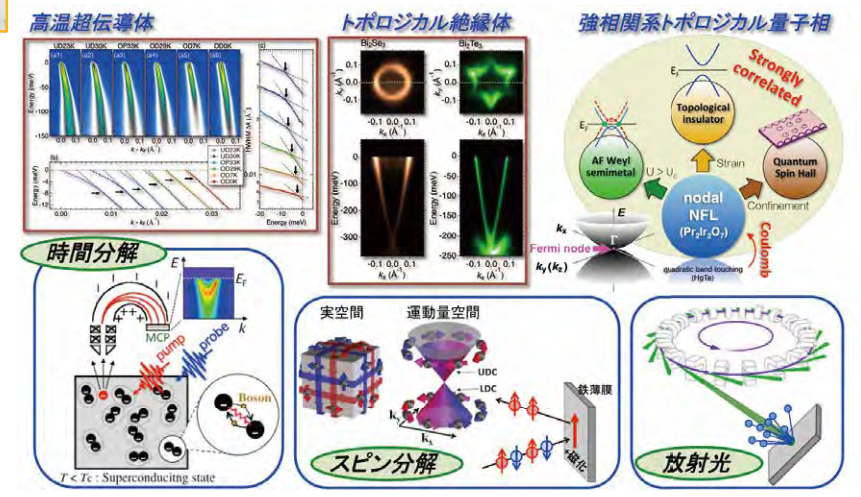
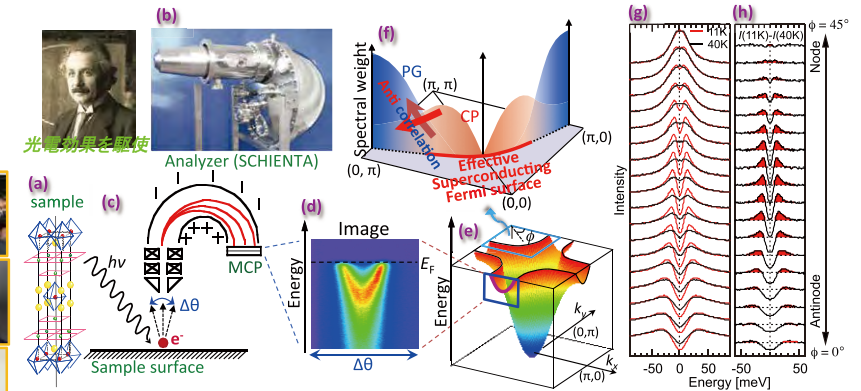


世界最高分解を持つレーザー光電子分光

理学系物理学専攻(A4:物性実験) [連絡先: kondo1215@issp.u-tokyo.ac.jp]

「電子構造の直接観察」 **スタンス: 電子構造が分かれば、全てが分かる。**

- 1) 角度分解・スピ分解・時間分解光電子分光で解明する超伝導やトポロジカル量子相
- 2) 極限レーザーを励起光源とする超高分解能角度分解光電子分光装置の開発



近藤研では、**アインシュタイン**で有名な光電効果を駆使して、高温超伝導やトポロジカル量子現象などの未だ解明されぬ物理現象の根源を、固体内伝導電子の直接観察から探求しています。角度分解による電子状態の逆空間イメージングをベースとして、スピ分解測定や、電子系ダイナミクスフェムト秒スケール観測(時間分解)など、電子物性を視覚的に捉える研究を行います。極限的なレーザーやHe3クライオスタット搭載型の世界最高性能を持つ光電子分光装置を実験室で開発するとともに、アメリカ、イギリス等世界中の放射光施設も利用しつつ研究を進めます。プリンストン大学、パリ大学、ソウル大学など、海外グループとの共同研究も活発で、ワールドワイドな研究活動が楽しめます。我々の研究室には世界最先端の装置が数多く設置されており、日々装置と接しながら過ごしますので、研究者としての技量が鍛えられます。また、世界最高分解能を誇る装置でしか得られない実験データだからそのディスカッション力が磨かれます。研究生活の様子を感じるためにも、見学をお勧めしますので、まずは気軽にメールをして下さい。

佐藤卓研究室



教授 佐藤 卓
Prof. Taku J Sato

我々のグループでは量子スピンの多体相関による新奇な量子相の探索とその解明を目指しています。この目的を達成するため、スピンの動的性質を直接観測することのできる中性子散乱を主たる実験手法としています。

Neutron scattering is one of the most powerful tools to elucidate dynamical nature of quantum spin systems. Utilizing this advantage, we are exploring intriguing quantum phenomena in various quantum magnets.

近年量子系の性質を連続変形に対する不変性分類（トポロジー）を用いて理解する方法が盛んに研究されています。電子系におけるトポロジカル絶縁体はその代表的な例です。我々は近年磁性体における素励起（準粒子）に対してトポロジカルな性質を探索しています。その過程で量子反強磁性ダイマー物質 $\text{Bi}_2\text{CuSi}_2\text{O}_6\text{Cl}_{12}$ においてトポロジカルな磁気準粒子励起（トポロジカルトリプロン）を発見しました(Fig. 1)。中性子非弾性散乱で測定された磁気励起スペクトルを詳細に解析することにより、この物質のモデルハミルトニアンがトポロジカルな1次元電子系を記述する Su-Schrieffer-Heeger モデルとほぼ等価であることが分かり、磁気準粒子励起の新しい性質を見出すことができました。

Topological nature of quantum systems is widely and intensively studied recently, exemplified by the topological insulators in electron systems. Recently, we searched for such topological phenomena in magnetic excitations and found the **topological triplon** excitations in quantum dimer antiferromagnet $\text{Bi}_2\text{CuSi}_2\text{O}_6\text{Cl}_{12}$. Using neutron inelastic scattering, we confirmed that the model Hamiltonian describing this material is almost identical to the Su-Schrieffer-Heeger model, which is for 1D topological insulator. This way, we found a very intriguing topological magnetic excitations in quantum magnet.

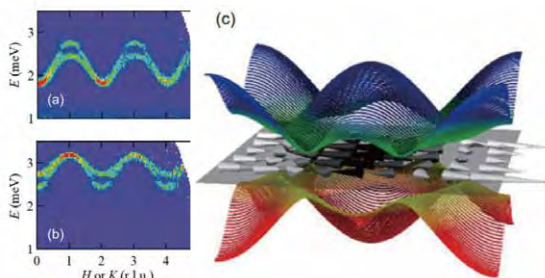


Fig. 1: (a, b) Neutron inelastic scattering spectrum of topological triplon bands in $\text{Bi}_2\text{CuSi}_2\text{O}_6\text{Cl}_{12}$. (c) Calculated triplon bands and fictitious field directions (arrows). After K. Nawa et al., Nature Commun. 10, 2096 (2019).

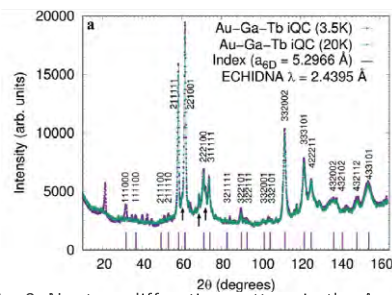


Fig. 2: Neutron diffraction pattern in the Au-Ga-Tb magnetic quasicrystal. At $T = 3.5\text{K}$, many reflections that can be indexed by the integer 6D indices additionally appear, confirming ferromagnetic long-range order. R. Tamura et al., JACS 143, 19938 (2021)

我々のグループからの最近の話題には準結晶磁性体における初めての長距離磁気秩序の発見もあります。準結晶とはブラッグ散乱に特徴づけられる高い空間的長距離相関を有するにもかかわらず、並進対称性とは相容れない回転対称性を有する物質群です。現在このような構造は高次元周期構造の3次元空間射影として理解されています。この準結晶構造中にスピンの配置された場合、それは通常の結晶と同様の磁気秩序を示すでしょうか？この点は1982年の準結晶発見以来長く論争が続いてきました。我々は最近Au系準結晶においてはじめて強磁性的な長距離磁気秩序を確認し、この論争に終止符を打ちました。これはただ論争を終わらせただけでなく、準周期構造中の磁気秩序という非常に興味深い問題を提起したため、現在精力的に研究が進められています。

Another recent topic from our research activities is the **observation of long-range magnetic order in quasicrystal**. Quasicrystal is a solid with long-range positional order (evidenced by Bragg reflection), nonetheless with rotational symmetry that is incompatible with translational invariance. Presently, such an intriguing spatial order (quasiperiodicity) is understood as a projection of higher-order periodic structure to our 3D space. Assuming that we have spins on such quasiperiodic lattice, can we have magnetic order? This is the controversial question since the discovery of quasicrystal in 1982. Just recently, we discovered clear evidence of ferromagnetic long-range order in Au-based magnetic quasicrystal, finalizing the controversy. In addition, this finding opens a new topic, a magnetic order in quasiperiodic systems. Active research is on going.

ー 研究室見学はいつでも歓迎ですー
E-mail: taku@issp.u-tokyo.ac.jp
Tel: 04-7136-3416
場所: 物性研 A棟 A529

詳しくは研究室HPをご覧ください。
<https://sato.issp.u-tokyo.ac.jp/>
佐藤は東大（本務）・東北大のクロスアポイントメント
教員です。



中辻研究室



教授 中辻 知

- TEL&FAX: 04-7136-3240
- E-mail: satoru@issp.u-tokyo.ac.jp
- HP: [中辻研究室](#) [検索](#)



今、物性分野で重要な発見が相次いでいます。これまでの磁性や超伝導、スピントロニクスといった分野が、トポロジーという概念によって、再び見直され整理・統合され、多くの新しい物理や現象の発見に繋がっています。また、素粒子論で発達した概念が物性分野の実験で初めて確認されたり、宇宙論・量子情報の技術が量子液体や超伝導の研究でブレークスルーをもたらしたりと、既存の分野を超えた新しい視点での研究が物性分野に変革をもたらしています。

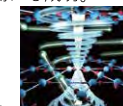
こうした大きな潮流を先導しているのは、実は、新しい概念を具現する量子物質（Quantum Materials）の発見です。その原動力は、物性の深い理解に基づいた物質探索とその合成であり、世界最高精度の物性測定技術です。私たちが生み出す量子物質は新しい物理概念を提供し基礎分野で世界を先導するだけでなく、その驚くべき機能性ゆえに産業界からも注目を集めています。これら独自の量子物質を用いて、様々な環境での精密測定を自ら行うことで、新しい物性とその背後にある物理法則の解明を目指しています。

最後に、私たちが新入生の方に期待するのは、「創造性」と「発信力」です。私たちは大きな可能性を持つ学生の方に、今生まれたばかりの分野で世界の最前線に立てるように、世界最高の研究環境下で、分野の垣根を超える連携や、世界の第一線の国際拠点ネットワークを利用して活躍していただければと思います。理学の基礎の力で世界を変える、そのような意気込みのある方をお待ちしております。

物質中のトポロジーと新規量子現象の探索

ワイル反強磁性体での巨大異常ホール効果

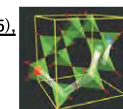
カイラル反強磁性体 Mn_3Sn を用い、世界で初めて反強磁性体において自発的な巨大異常ホール効果を室温で観測。その起源は固体内のワイル点からのベリー曲率の寄与による。異常ネルンスト効果や磁気光学効果、磁気スピンホール効果の観測にも成功。



- Nature Phys.* (2022, 2017),
- Nature* (2015, 2019),
- Nature Mat.* (2017),
- Nature Photon.* (2018),
- Nature Commun.* (2020, 2021).

磁気モノポールとトポロジカルホール効果

フラストレート磁性体の代表例である“スピンアイス”物質で、ゼロ磁化で自発的に生じるトポロジカルホール伝導を発見。さらに近年、新しい量子的素励起“磁気モノポール”や“磁気光子”が関連した量子物性を発見。

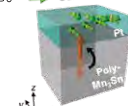


- Nature Phys.* (2023, 2017, 2015),
- Nature* (2010),
- Nature Comm.* (2013, 2017),
- Nature Mat.* (2014),
- PNAS* (2019).

スピントロニクスと室温量子伝導

反強磁性体スピントロニクスワイル点の電気的制御

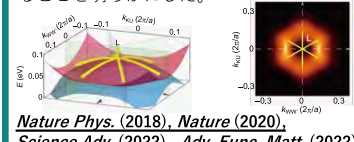
磁気デバイスをより高速・高密度化可能な反強磁性体において、スピン軌道トルクを用いたワイル点の制御と巨大異常ホール効果による信号の読み出しを初めて実証。上記メモリ素子のほか、巨大磁気熱効果を用いた熱流センサーも開発。



- Nature* (2023, 2022, 2020),
- APL* (2018), (2020),
- Adv. Funct. Mater.* (2021),
- Small Sci.* (2021),
- Nano Lett.* (2025).

トポロジカル磁性体における室温巨大ベリー位相効果

室温での最高値を10倍以上更新する巨大異常ネルンスト効果を示す物質を発見。Nodal-web構造によるベリー位相効果であることを明らかにした。

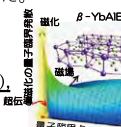


- Nature Phys.* (2018), *Nature* (2020),
- Science Adv.* (2022), *Adv. Func. Mat.* (2022).

強相関電子系における量子相転移と高温超伝導

価数ゆらぎによる自発量子臨界現象と超伝導

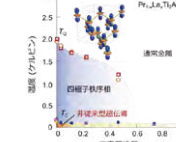
強い電子相関を持つ重い電子系において、Yb系初の超伝導を発見。この超伝導が新たな異常金属状態“自発的量子臨界状態”から現れる事を明らかにした。



- Science* (2023, 2015, 2011),
- Nature Phys.* (2008),
- Nature Commun.* (2022),
- Phys. Rev. Lett.* (2012, 2019),
- Sci. Adv.* (2018).

軌道ゆらぎ起源の重い電子“高温”超伝導

電子軌道のゆらぎの研究に最適な物質群 $\text{PrT}_2\text{Al}_{20}$ (T_r : 遷移金属)を開発。軌道のゆらぎによる“高温”超伝導や異常金属状態の観測に初めて成功。



- Nature Commun.* (2025, 2019),
- Phys. Rev. Lett.* (2012, 2014),
- JPSJ* (2011, 2012).

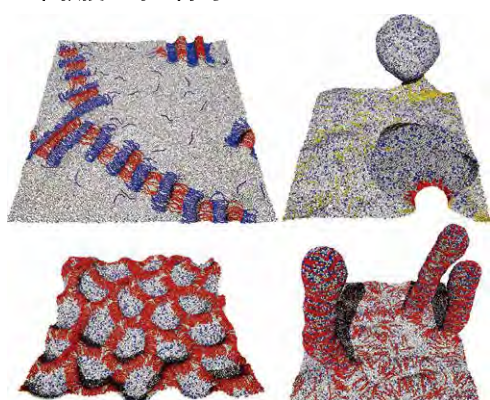
野口研究室



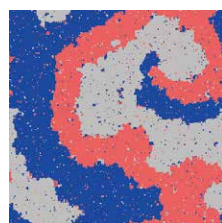
准教授 野口博司

野口研究室ではソフトマター、生物物理を理論、シミュレーションを用いて研究しています。生体内ではまだ理解できていない現象が起こっています。分子スケールから細胞スケールまでの様々な構造変化、ダイナミクスを物理の視点から調べています。

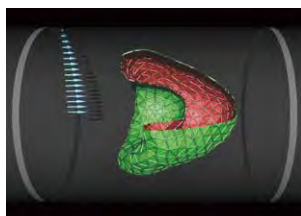
- 主な研究テーマ**
- 非平衡下での構造形成
 - 生体膜の形態変化
 - 複雑流体のダイナミクス
 - アクティブマターの協同現象
 - 計算手法の開発、改良



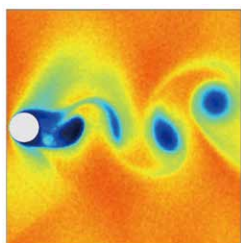
タンパク質の吸着によって生成される様々な膜構造



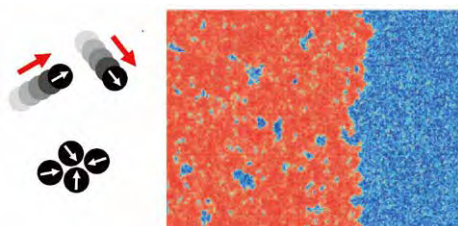
基板上を伝搬する化学反応波



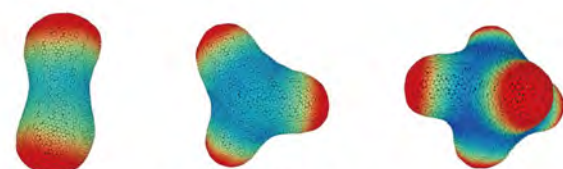
円管を流れる赤血球



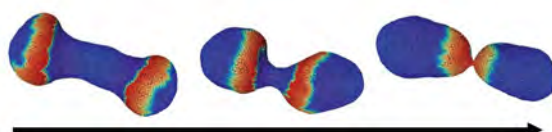
相転移を伴う流れカルマン渦における気泡生成



自己駆動粒子の相分離



チューリングパターン



化学反応波による膜変形

スーパーコンピュータを用いた大規模計算

— 研究室見学はいつでも歓迎です —
E-mail: noguchi@issp.u-tokyo.ac.jp
場所: 物性研 A棟 A509

詳しくは研究室HPをご覧ください。
<https://noguchi.issp.u-tokyo.ac.jp>

橋坂研究室



准教授 橋坂 昌幸

電子の量子的性質と電子間相互作用を起源として、著しく非自明な物性が発現することがあります。超伝導、分数量子ホール効果、近藤効果などがその代表例です。これら「量子多体系」の特異性は、その素励起の性質としてひときわ鮮やかに観測される場合があります。例えば、分数量子ホール系における素励起（準粒子）は、素粒子であるはずの電子1個の電荷（素電荷）よりも小さな分数電荷を持つことが確かめられています。またこの準粒子は、ボーズ統計・フェルミ統計のいずれとも異なる量子統計（エニオン統計）を持つことが知られ、トポロジカル量子計算への応用が期待されています。私たちは、量子多体系の素励起を観測・制御することにより、電子や光子など自然な粒子では実現できない新奇な量子技術の確立を目指して研究を行っています。

人工ナノ構造による量子多体物性の観測と制御

トポロジカルエッジ状態を用いたエニオン量子光学実験

分数量子ホール系では分数電荷とエニオン統計を持つ準粒子が発現します。エッジ状態で量子回路を構築し、準粒子を観測・制御する実験に取り組みます。

- ◆ 分数電荷準粒子のダイナミクス観測 Nat. Commun. 2021; PRL2015.
- ◆ エッジ状態上の電子のスピンの空間分離を観測 Nat. Phys. 2017.
- ◆ 分数エッジ状態の電気・熱伝導量子化を観測 Phys. Rev. X 2023.
- ◆ 分数スピンのコヒーレントエッジ輸送を観測 PRB2025; PRB2025.

微細加工による新奇量子物質のデバイス化と機能探索

量子ホール効果研究で培った微細加工技術および独自の精密電気測定技術により、超伝導体、磁性体、有機物など、様々な量子物質を用いたデバイス研究を推進します。国内外の研究者との共同研究によって物性科学の新分野創出に挑む、私たちにとっても新しい取り組みです。

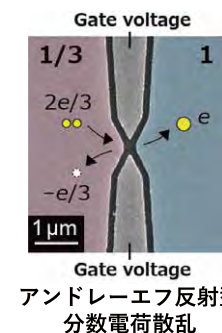
- ◆ 擬1次元熱電物質の電子物性評価とデバイス化研究（論文投稿中）

新奇エレクトロニクスの開拓

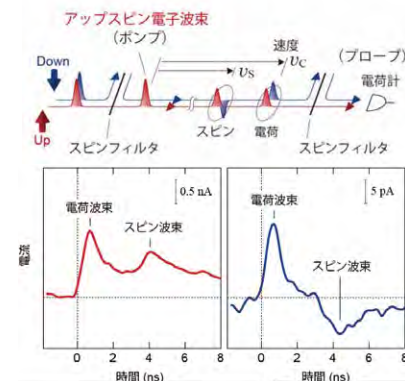
量子効果・高速電子ダイナミクスの応用に向けて

自作半導体デバイスを用いた回路を設計・作製し、量子ビット読み出し等の量子技術や超高速情報処理に役立つ新奇エレクトロニクスを開拓します。

- ◆ 超精密な極低温エレクトロニクスの開発 Appl. Phys. Lett. 2022.
- ◆ グラフェンによるTHz帯エレクトロニクス Nat. Electronics 2024.
- ◆ 低温量子回路のための高周波フィルタ開発 Rev. Sci. Instrum. 2026.



アンドレーフ反射型分数電荷散乱



スピン電荷分離の観測



自作の低温量子測定回路 (MHz帯域で世界最高精度)



研究室見学はいつでも歓迎です
E-mail: hashisaka@issp.u-tokyo.ac.jp

場所: 物性研 A棟 A327
Tel: 04-7136-3305

検索



松田巖研究室



教授 松田 巖

原子層や固体表面を対象に高輝度放射光やX線自由電子レーザーなどを用いた時間分解オペランド計測や非線形現象を中心にX線分光実験を行い、キャリア、スピン、分子のダイナミクスをリアルタイムで観測しています。そのために**オリジナルな実験技術**の開発を行うと共に動的現象の学理を追求し、さらに得られた知識を元に新たな機能性原子層の開拓をします。今年度から利用が開始された次世代放射光施設**NanoTerasu**では**大気圧光電子分光装置**を世界に先駆けて開発するとともに、**ロボット技術**や**インフォマティクス**を活用した新しい実験技術の開拓も行っています。**Spring-8 / SACLA**のX線自由電子レーザー(XFEL)施設においては我々が発見した**X線非線形光学効果**を分光法として昇華し、学理の根本を検証するとともに国際共同研究として太陽電池やスピントロニクス材料などの開発も推進しています。新しい光物性手法を開発するという事は、物質に対して**「新しい視点」**を手に入れることとなります。最先端の物性理論と組み合わせながら、新しい物質の設計と合成も実施しています。最近「環境負荷フリー」「軽量」「豊富な資源」を満たす**新材料「ポロファン(HB)」**の開拓に成功し、社会実装を目指しています。

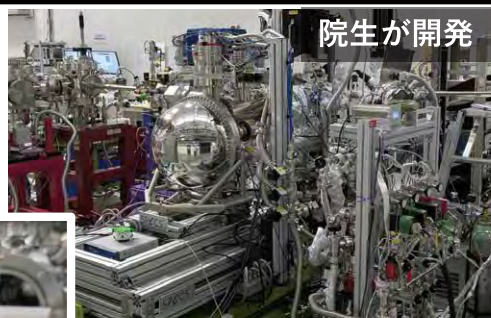
最先端X線光源 × X線オペランド分光 × ロボット技術 × インフォマティクス

最先端の分光技術

次世代光源を活用した最先端の分析装置開発



院生が製作



院生が開発

↑ **世界初**の大気圧軟X線光電子分光装置

← AI解析・ロボット制御型軟X線吸収分光装置

国際共同研究

学生海外派遣

JST国際プログラム
スピントロニクス材料 (フランス)

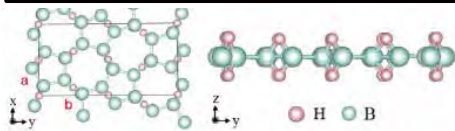
先端放射光技術 (松田巖研)

学振国際プログラム

先端レーザー技術 (ドイツ)

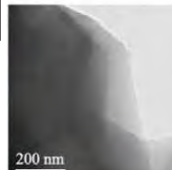
新規原子層物質 (松田巖研)

新しい視点から生み出した新物質「ポロファン(HB)」



化学と物理を融合したトポロジーで設計

院生が合成



CO₂ → CH₄ 変換反応を発見

ディラック線 (ノーダル)



豊富な資源 (レアメタルフリー)

廃棄負荷フリー

軽量 (輸送燃料軽減)

人材育成



松田巖研は光物性・表面物性の研究は勿論、今の世界での**不可能を可能に**してしまう人材を育成します。

— 研究室見学はいつでも歓迎です —
E-mail: imatsuda@issp.u-tokyo.ac.jp
Tel: 04-7136-3402;
080-4901-9222
場所: 物性研 A棟 A507、
東北大学 SRIS棟 205

紹介動画



研究室HP



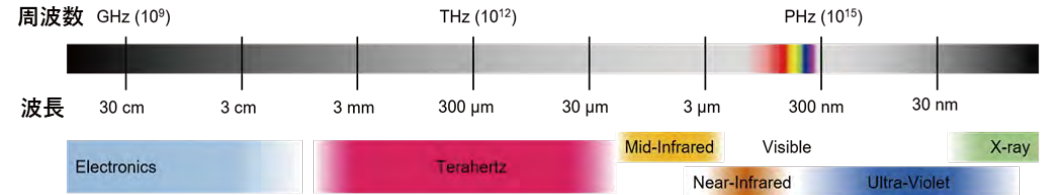
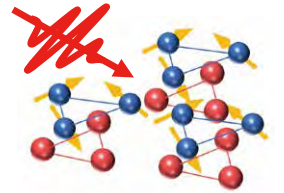
松永研究室



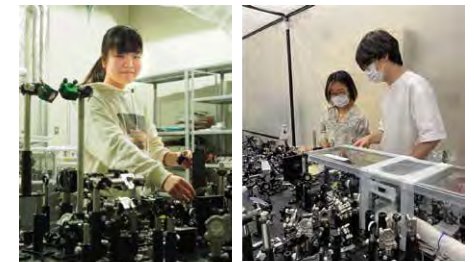
准教授 松永 隆佑

光物性物理学とは、物質に光(電磁波)を当ててその応答を調べることで、**光と物質の相互作用**を調べる研究分野です。これを通して、**物質の未知の性質を光で解明する、物質の状態を光で変化させる、あるいは物質を使って光を自在に制御すること**を目指しています。少し前まで、光と物質の相互作用の研究の多くは「フォトンが物質に吸収される、放出される」といった摂動論や現象論で記述される範囲に留まっていた。しかし高強度かつ位相が固定されたレーザー光源が開発されるとともに、「光が持つ高速な周期的電場を駆使して物質を操作する」といった新しい研究が、理論・実験ともに急速に発展しています。

松永研究室では特に**テラヘルツ周波数帯**に注目しています。テラヘルツ波は、携帯電話などに使われる電波と、可視光のちょうど中間の周波数帯を持つ電磁波です。この帯域の最先端光技術を開発しながら、トポロジカル物質や半導体・半金属・超伝導体に注目し、次世代の高速エレクトロニクス・高速スピントロニクスに繋がる機能性を調べています。

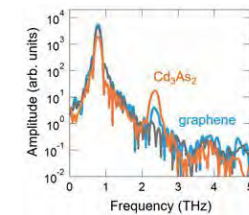
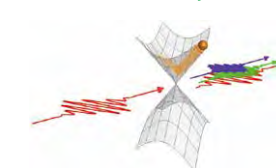


光技術の開発とそれを駆使した新たな物性実験を進めています。他の分野と比較しても、**自分の目的に合わせて様々な光学実験システムを自分で設計して組み立てる作業を常に繰り返す**という点が、光物性物理学の大きな特徴かもしれません。その実験の過程で、様々な光技術と、その背景にある物理を学びます。光と物質の両面を通して幅広い自然科学分野と繋がりがあため、広い知識と技術と理解力を必要とし、そのぶん広い科学的視野が身につく、とてもやりがいがある研究分野だと思います。自分の手を実際に動かして自分自身の実験システムを組み上げるのが好きな人に向いています。



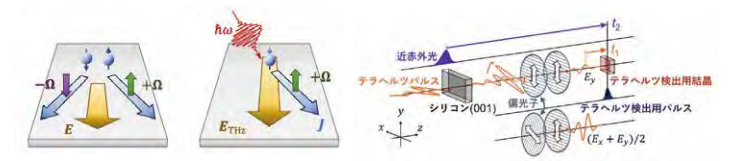
トポロジカル(Dirac, Weyl)半金属の光機能性開拓

T. Matsuda et al., *Nature Commun.* (2020).
B. Cheng et al., *Phys. Rev. Lett.* (2020).
Y. Murotani et al., *Phys. Rev. Lett.* (2022).
Y. Murotani et al., *Phys. Rev. Lett.* (2023).
T. Matsuda et al., *Phys. Rev. Lett.* (2023).



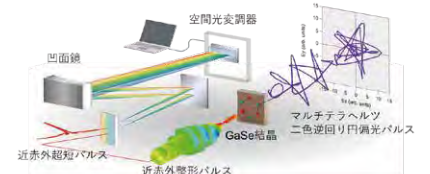
超高速輸送現象 (スピン・バレー・軌道自由度)

Y. Murotani et al., *Nano Lett.* (2024).
T. Fujimoto et al., *Phys. Rev. Lett.* (2024).
T. Fujimoto et al., *Phys. Rev. B* (2025).
A. M. Shirai et al., *Phys. Rev. B* (2025).



新パルス光源/計測手法開発

N. Kanda et al., *Opt. Express* (2021)
M. Nakagawa et al., *Opt. Express* (2023)
N. Kanda et al., *Opt. Express* (2024)
K. Ogawa et al., *Nat. Commun.* (2024)
K. Ogawa et al., *Opt. Lett.* (2025)



研究室見学はいつでも歓迎です。E-mail: matsunaga@issp.u-tokyo.ac.jp