



神戸大学

理学部物理学科 大学院理学研究科物理学専攻

研究紹介 (2024年度版)



目次

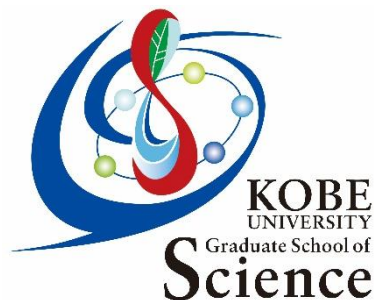


専攻構成・内容 3

理論物理学講座紹介 5

粒子物理学講座紹介 12

物性物理学講座紹介 18



専攻構成

理論物理学講座(理論)

素粒子宇宙理論
物性理論
量子物性論

教育研究分野
教育研究分野
教育研究分野

(早田・神野・伊藤)
(久保木・西野)
(伏屋)

粒子物理学講座(実験)

粒子物理学

教育研究分野

(藏重・竹内・山崎・身内・越智・前田・鈴木)

物性物理学講座(実験)

極限物性物理学
低温物性物理学
電子物性物理学

教育研究分野
教育研究分野
教育研究分野

(大道・大久保)
(藤・小手川)
(菅原・松岡)

専攻内容

物理学：物質の究極の姿を追求

⇒ 自然科学並びにその応用技術の中心
物質の構造と機能を根本原理から理解

物理学専攻の教育研究：

物理学的な素養を持つ高度専門職業人
優れた研究能力を持つ研究者や大学教員

の養成

カリキュラム：

各講座を母体とするコア・カリキュラム
学際的かつ先端的な研究に主体的に参加

理論物理学講座

Theoretical Physics Division

素粒子宇宙理論
物性理論
量子物性論

教育研究分野
教育研究分野
教育研究分野

素粒子宇宙理論 教育研究分野

概要

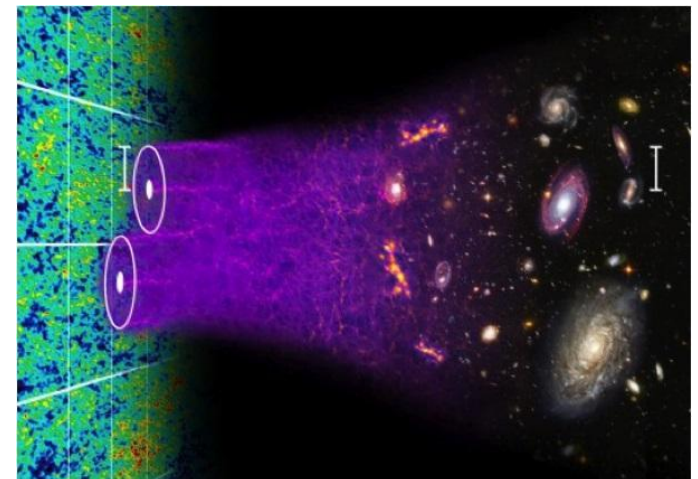
宇宙は様々な美しい天体で埋め尽くされています。この宇宙やそこに存在する構造の起源は何なのか？宇宙に存在する物質はどのようにできたのか？素粒子理論や重力理論を基礎に宇宙誕生の謎と宇宙の大規模構造の進化を研究したり、逆に宇宙の観測から素粒子究極理論への手がかりを得るという研究をしています。また、ブラックホールや重力波などの基礎的な研究も行っています。研究の中核を担っているのは大学院生です。

教授：早田次郎
准教授：神野隆介
助教：伊藤飛鳥

研究テーマ

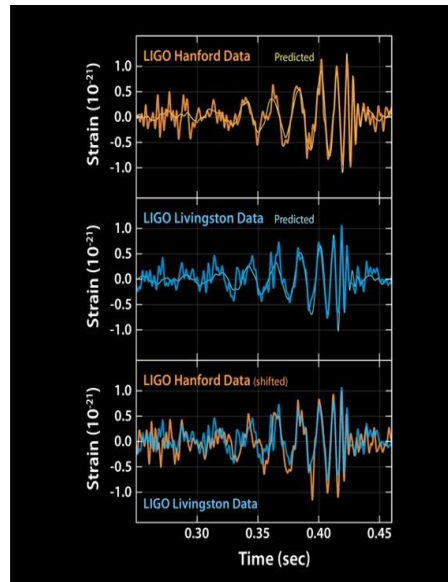
1. 素粒子論的宇宙論

観測技術の発展によって、我々の宇宙に対する理解は格段に進んできました。と同時に、ダークマターやダークエネルギーに代表されるように新たな謎が生じています。現在、素粒子理論や宇宙論はこれらの謎へ挑戦しようとしています。具体的には、超弦理論や超重力理論を基礎に宇宙誕生時のインフレーションを研究し、宇宙背景放射観測と比較することで素粒子論と宇宙論の両方の理解を深め、宇宙誕生の謎に迫るという研究をしています。また、重力理論の修正によってダークエネルギーを説明する可能性も詳しく調べています。



2. 重力物理学

ブラックホールは、アインシュタインが一般相対性理論を発見した直後に見つかった厳密解であらわされる光すら出てくる事ができない天体です。銀河中心には、巨大なブラックホールが存在する事も明らかになっています。また、最近、連星ブラックホールからの重力波が発見され、重力波天文学が幕をあげました。量子情報と重力の関係も明らかになりつつあります。新しい時代の到来です。我々の研究室では量子情報と重力、重力波やブラックホールに関する研究を行っています。



ここに注目👉

我々の研究室は、今年度から新しくできたグループです。今は、スタッフ3名、D3が3名、M2が2名、M1が3名、B4が7名ですが、これから人数も増えて25人規模の比較的大所帯となります。学振研究員が2名、異分野共創プロジェクト生が1名もいることからわかるように皆頑張っているように研究しています。もちろん研究だけではなく、研究室行事（飲み会）もいっぱいです。活気あふれる雰囲気の中で大きな刺激を受けながら研究することができます。

最近の宇宙背景放射観測を始めとする宇宙精密観測の進歩は著しく、宇宙誕生の謎を解く鍵を与え続けています。そして、ついに重力波も発見されました。時空の構造と物質の起源の研究を基礎として全く新しい宇宙の描像がこれから明らかになっていきます。今、まさに新しい物理学の革命が起きようとしています。その歴史的な現場で一緒に研究しませんか？

詳しいことは、ホームページをご覧ください。 <http://www.research.kobe-u.ac.jp/fsci-pacos/>

物性理論 教育研究分野

概要

物性物理は固体や液体など、凝縮系の性質を主な研究対象にしています。多数の原子や分子が集まった、このような「多体系」には、個々の構成要素がもつ性質とは異なった新しい現象が現れます。**対称性の自発的破れ**はその典型例です。これらの現象を支配する物理法則を理論的に解明していくことが物性理論の目標です。私たちは、解析的および数値的手法を用いて、以下のような問題に取り組んでいます。



准教授：久保木一浩
(高温超伝導、特異な表面)



准教授：西野友年
(テンソルネットワーク、量子情報)

We assume that the system is uniform along the y direction, and consider the spatial variations of OPs only in the x direction. By imposing the periodic boundary condition for the y direction, the Fourier transformation for the y coordinate is performed.³⁶⁻³⁹⁾ (Hereafter we write j_x simply as j .) Then the mean-field Hamiltonian is written as follows

$$\mathcal{H}_{MF} = \sum_k \sum_{j,l} \Psi_j^\dagger(k) \hat{h}_{jl}(k) \Psi_l(k), \quad (2)$$

with $\Psi_j^\dagger(k) = (f_{j1}^\dagger(k), f_{j2}^\dagger(-k))$, and k is the wave number along the y direction. The matrix $\hat{h}_{ij}(k)$ is given as

$$\hat{h}_{ij}(k) = \begin{pmatrix} \xi_{j11}(k) & F_{j1}(k) \\ F_{ij}^*(k) & -\xi_{j22}(k) \end{pmatrix}, \quad (3)$$

where

$$\xi_{j11}(k) = -\delta_{j1}[\mu - rJ(m_{j-1} + m_{j+1}) + 2t'\delta \cos 2ka] - \delta_{j2}[\mu + rJ(m_{j-1} + m_{j+1}) + 2t'\delta \cos ka + \frac{J}{2}(v^{(+)} + \frac{1}{v^{(+)})}v^{ik}]$$

論文:

JPSJ. 83, 054703 (2014) より

研究テーマ

1. 超伝導体の物性、特異な表面状態をもつ物質の研究 (久保木)

超伝導体の物性とその発現機構を理論的に研究しています。超伝導の臨界温度 (T_c) は物質によって大きく異なりますが、高温超伝導体とよばれる物質群はその T_c の高さから応用面での期待が高いだけでなく、超伝導と磁性の共存、時間反転対称性の自発的な破れなど興味深い物性を示します。実は T_c の高さと同様に超伝導体中の電子状態の特性に起因しており、その性質を理解することは基礎科学としても応用面でも同じように重要です。我々はこの問題を計算機を使った数値的手法と解析的手法を用いて研究しています。また、最近ではトポロジカル絶縁体など表面で特異な性質を示す物質の研究がさかんになっています。我々はこれらの物質、超伝導体、磁性体の接合界面で出現する秩序状態の性質について理論的な解析を行っています。

2. 密度行列繰込群・テンソルネットワークから量子情報へ (西野)

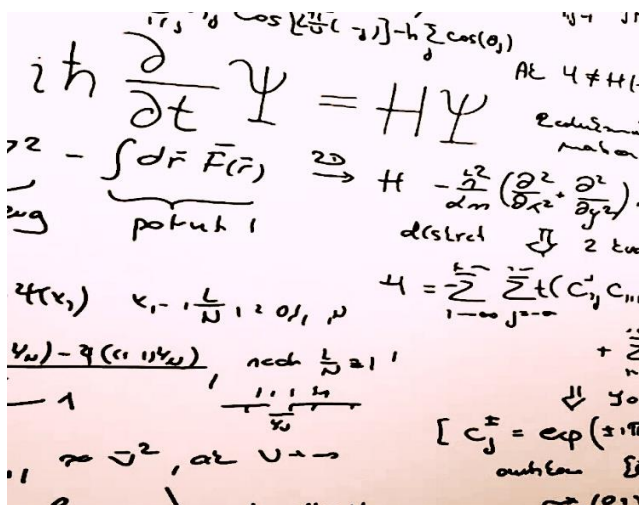
物質の性質を探る方法として「数値シミュレーション法」が盛んに用いられる時代になりました。しかし、最新の計算機、例えばスパコンを使う場合でも、実際の物理系を忠実に取り扱おうとすると計算機がパンクします。解析に重要な情報は精密に取り扱い、そうでないものは圧縮してしまう「繰込み群」の発想が必要です。この圧縮を行う手法として「密度行列繰込群(DMRG)法」が知られています。私たちは、DMRG法の背後にあるテンソル積構造を足がかりにして、同手法を古典統計系や、高次元系へと応用する端緒を切り開いて来ました。興味深いことに、テンソル積構造は量子情報理論とも深いつながりを持つことが21世紀の初頭に判明しました。いよいよ、物性物理学という伝統的な研究分野にも、情報科学の光が当たる時代(?)となったわけです。以上の計算手法を用いて、現在私たちは双曲格子やフラクタル格子などの上で、古典相転移や量子相転移の研究を行っています。



A práve preto, keď sa učíte v škole, neprijímajte učebnice vcelku, bez pochyb

スロバキア科学アカデミーとの共同研究：神戸とブラティスラヴァを行き来しています。

★もちろん、理論屋ですからアイデアが勝負です！



ここに注目👉

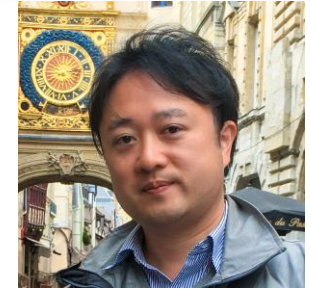
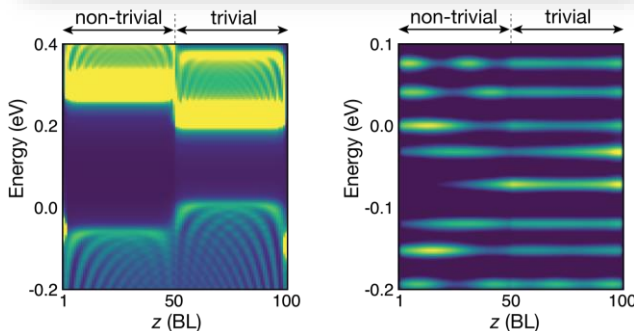
物理学の研究というと、予備知識がたくさん必要な気がするかもしれませんが、物性物理学や量子情報の分野は間口が広く、理論的研究とは言っても意外と最前線に近いものです。研究室に所属の学生さん達は「今日から研究する！」と決意を持ったその日から、研究論文の執筆を目標として、研究を始めることとなります。実際、学部4年生の卒業研究の成果をPhysical Review誌に発表した人もいます。詳しいことについては、どうぞいつでも質問に来て下さい。平行して、前期の間は週に一度、場の理論など大学院の、あるいは大学院への基礎を学ぶ文献講読を行ないます。皆さんも、私達と一緒に研究しませんか？

量子物性論 教育研究分野

概要

世界は物質で構成されています。そして人類は、個々の物質の特徴的な性質（物性）を巧みに利用して文明を築いてきました。電気を通すもの、磁石にくっつくもの、光を反射するもの... どうしてそのような性質を持つのでしょうか？人間が捉えるマクロな性質を、電子や原子といったミクロな視点から理論的に探求するのが量子物性論です。そうして得られた物性の理解を次の文明へとつなげる、という夢に向かって、研究を進めています。

教授：伏屋雄紀

研究テーマ

1. 量子輸送現象

エレクトロニクスは、現代文明の基幹技術で、物質中で電子が輸送されることを利用します。電子の輸送現象には、通常の電気伝導のように古典物理学でも（ある程度は）理解できるものもあります。一方、量子ホール効果やアンダーソン局在のように、量子論を駆使することで初めて理解できる現象も多くあります。

私たちは、そうした量子輸送現象について、**場の量子論の方法**や**ファインマン・ダイアグラム**、**線形応答理論**を用いて理論的に研究しています。これまでに、ディラック電子が生む**スピンホール効果**や、**100%スピン分極電流**など、新現象を理論的に発見しています。

この他にも、**スピントロニクス**、**ナノ薄膜**、**トポロジカル物性**、**強磁場物性**、**非平衡非線形現象**などの研究にも取り組んでいます。

2. 面白いと思ったことはなんでも！！

物性物理学は、身の回りの物質全てが研究対象です。これまでの研究にとらわれず「どうして!？」と不思議に思ったことは全て研究テーマになり得ます。

例えば、Bi単原子層に現れたナノスケールの奇妙な模様について、「どうして現れるの？」と疑問に思い、あれこれ考え抜いた結果、シマウマや熱帯魚など、生物のパターン形成機構である“チューリング・パターン”であったことを突き止めました。さらには、無機物である原子層が生物と同様の自然治癒力（創傷治癒）を持つことも発見しました。このように、化学や生物学など、物質を対象とするすべての学問分野が当研究室の研究対象になっています。

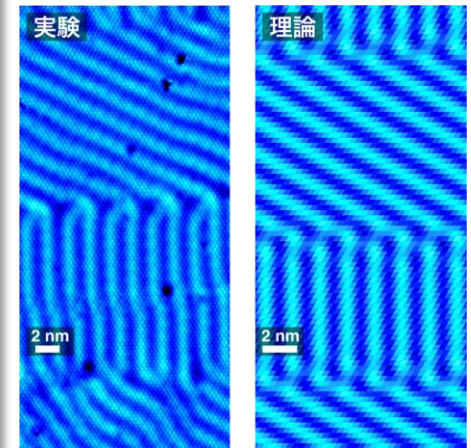


ここに注目👉

- ✓ 「物質と実験を真摯に見つめる理論研究」を常に心がけ、実験事実の詳細な検討に立脚した理論研究を行っています。
- ✓ 実験グループとの協働研究も多く実施し、実験と理論が緊密に連携した総合型の研究を進めています*。
- ✓ 海外の研究グループとの国際共同研究にも力を入れています†。成果を出した人には、どんどん海外に出て行って研鑽を積んでもらっています。
- ✓ プレゼンテーションや科学技術文の執筆の指導にも力を入れています。こうした技能は、将来どの分野に行っても必ず役立つはずです。

*国内では、東大、京大、大阪大、東工大、都立大、物財機構

†国外では、ESPCI Paris (FRA), College de France (FRA), Nancy Univ. (FRA), Stanford Univ. (USA), NHMFL (USA), Univ. Sherbrook (CAN), 武漢国立強磁場センター (CHN), 梨花女子大 (KOR) といったグループと共同研究を実施しています。



(上)タテジマキンチャクダイ
(下)Bi単原子層で観測されたナノスケールの模様と、チューリング理論に基づく理論結果

粒子物理学講座

Particle Physics Division

粒子物理学 教育研究分野

粒子物理学 教育研究分野

概要

素粒子物理学とは、

- ・ 物質の基本構成要素である素粒子(Particle) と
- ・ これらの素粒子間に働く力, つまり相互作用

を研究する学問分野です。私たちの研究室では、巨大な粒子加速器や宇宙からの宇宙線を用いて、実験の立場から素粒子の研究を行っています。

粒子物理学研究室では、ATLASグループ、暗黒物質グループ、ニュートリノグループ、新検出器開発グループの4グループがそれぞれ研究を行っています。

教授：藏重久弥・竹内 康雄・山崎祐司
准教授：身内賢太郎・越智敦彦
講師：前田順平・鈴木州

<https://ppwww.phys.sci.kobe-u.ac.jp/>

神戸粒子

検索

ATLAS EXPERIMENT

NEUTRINO
SUPER-K T2K Hyper-K

DARK MATTER
NEWAGE DARWIN XENON

μ-PIC

研究テーマ

1. ATLASグループ：ヒッグス粒子の先へ

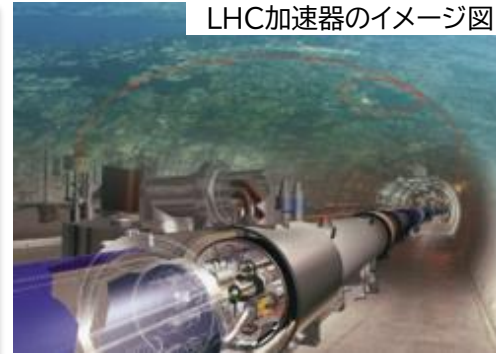
ATLAS実験は、スイス・CERN研究所（欧州素粒子物理研究所）に建設された**世界最大・最高エネルギーの加速器LHC**の衝突実験です。陽子ビームを最大7TeV（テラ電子ボルト）（陽子質量の約7,500倍）まで加速し衝突させ、重心系エネルギー14TeVの状態を作り、**宇宙の始まり（ビッグバン）の高エネルギー状態を人工的に生成・観測**します。

2012年の8TeV衝突でATLAS実験はヒッグス粒子を発見し、それを予言する「**標準模型**」の正しさが証明されました。しかし標準模型は様々な不完全な点があり、より高いエネルギー領域での「究極な理論」があると考えられています。**超対称性**などのこれらの理論に共通するのは、LHC実験で到達できる**TeV領域**の質量を持つ新しい粒子、相互作用です。これらの稀現象の発見には、より多くの衝突で実験する必要があります。現在は2022年からの第三期実験を行っています。さらに現在の3倍近くの衝突を起こすHL-LHC運転で新発見を目指します。

検出器は直径約22m、長さ約44mの円筒形と世界最大で、共同研究も40ヶ国、約3000名以上の科学者と大規模です。神戸大学はATLAS実験に初期から参加し、**ミュオン粒子をとらえるトリガー**（事象選別装置）で、以下のように実験の中核を担っています。

- **トリガー用飛跡検出器を検査・運用**：実験の成功に大きく貢献
 - **トリガー装置の改良・アップグレード**：先端技術を用いた電子回路とアルゴリズムの開発でトリガー選別を高度化、HL-LHCに対応
- また、物理データ解析では、以下を中心に新発見を狙っています。
- **ヒッグス粒子の自己結合の観測** ヒッグス機構を超える物理？
 - **超対称性粒子の探索** 重い長寿命粒子の発見感度向上
 - **標準模型の精密検証（トップクォーク）** による新物理の兆候探索

LHC加速器のイメージ図



ミュオントリガー用飛跡検出器



ATLASコントロールルームにおける作業



トリガー判定のために様々な電子回路も独自に開発

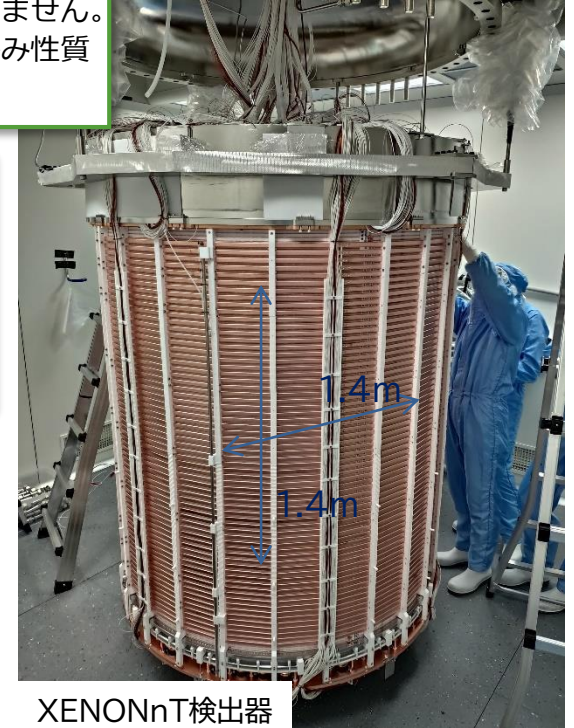
研究紹介として[粒子物理学講座WEB](#)も参考にしてください

2. 暗黒物質グループ：暗黒物質直接検出をめざして

宇宙暗黒物質（ダークマター）は、現在の宇宙・素粒子物理学分野で最も注目されている研究対象の1つです。暗黒物質は**既知の物質の約6倍**の量存在する事が分かっており、未知の素粒子である可能性が高いと考えられておりますが、これまで実験的に直接検出されたことはありません。暗黒物質グループでは大質量の検出器で発見を目指す**XENON実験**と、確実な証拠をつかみ性質解明を目指す**NEWAGE実験**を進めています。



XENON実験は、**大質量液体キセノン**を用いて暗黒物質の直接検出を目指す国際共同実験です。約8.4トンの液体キセノン（**暗黒物質への有効質量は約4トン**）を用いたXENONnT検出器が2020年に検出器が完成、イタリアのグランサッソ研究施設の地下実験室で暗黒物質の発見に向けた観測を行っております。神戸大学は、中性子背景事象の反同時計測検出器の解析・保守を通じて検出器高感度化に貢献、世界初の暗黒物質発見を目指した研究を行っております。



XENONnT検出器



「暗黒物質の風」の検出をめざすNEWAGE検出器

NEWAGE実験は、**方向に感度を持った観測装置**を用いて暗黒物質の確実な証拠を捉えて、その性質解明を目指す、神戸大学を中心とした新しい実験です。暗黒物質と反応した原子核がガス中を走る数mmの飛跡を精度よく検出するために、研究室内の新検出器開発グループと協力して開発した検出器「 μ -PIC」を利用した三次元微細飛跡検出器を用います。現在、30cm角の検出器で神岡の地下実験室で観測を行い、**方向に感度を持つ暗黒物質探索実験としては世界をリード**、将来的にはさらに大型の検出器による「暗黒物質の風」の検出を目指しています。

3. ニュートリノグループ：ニュートリノの謎に迫る

ニュートリノは質量が非常に小さく、物質と殆ど反応しない素粒子です。その質量や特性はまだ完全には解明されておらず、今日も世界中で多くの実験が行われています。

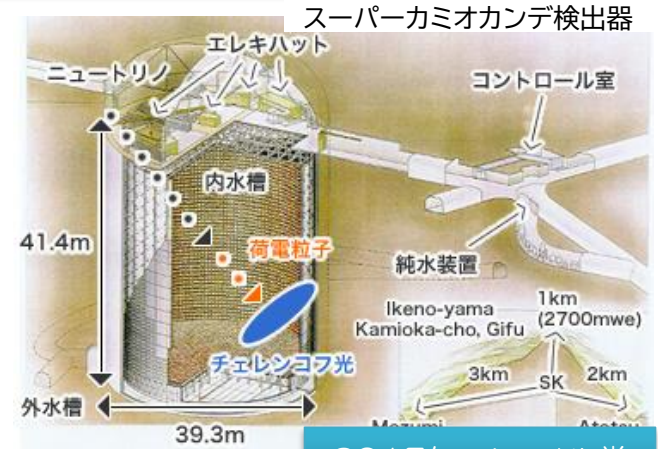
現在の素粒子の標準理論には殆ど綻びが見つかりません。ニュートリノはその突破口の一つです。我々はニュートリノを研究し、標準理論を超える「大統一理論」への到達、物質が優勢な宇宙が創成された謎の解明を目指しています。



スーパーカミオカンデ(SK)実験：世界最大のニュートリノ検出器

スーパーカミオカンデは岐阜県神岡鉱山の地下1000mにある、5万トンの水を使用する世界最大の水チェレンコフ検出器です。標準理論を超えた現象であるニュートリノ振動を発見するなど、これまでに数々の発見を行ってきました。SKは2020年に0.011%のガドリニウム(Gd)を溶かしてSK-Gdとなり、新たな観測フェーズを開始しました。

本研究室では、太陽の核融合や天体現象からのニュートリノを観測することで、素粒子や宇宙に関連する研究を推進しています。また、26万トン（有効体積はSKの8倍）の純水を使用したハイパーカミオカンデ(HK)計画を進めています。



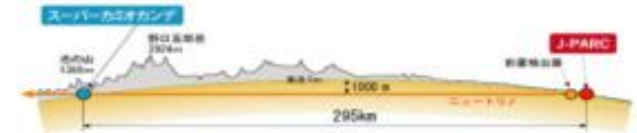
2015年 ノーベル賞

T2K実験：大強度ニュートリノビーム実験

T2K実験は、茨城県東海村にある世界最大強度の陽子加速器施設J-PARCから、295km先のSKに大強度ニュートリノビームを照射する実験です。人工的にコントロールされたビームを用いることで、ニュートリノ振動現象を精密に測定することが可能です。

T2K実験は、2013年ミューニュートリノから電子ニュートリノへ変化する現象を世界で初めて観測しました。2014年から反ニュートリノビームでの実験も開始し、ニュートリノにおける物質-反物質対称性(CP対称性)の破れの研究を進めています。また、2022年から始まったJ-PARCの加速器と前置検出器のアップグレードが2023年に終わり、新たな結果が期待されています。HK実験の開始（2027年を予定）に合わせ、J-PARC加速器の増強やJ-PARCから約1kmの地点には水チェレンコフ検出器の建設を行い（HK長基線実験計画）、ニュートリノ研究をさらに進めていきます。

T2K実験の概要とJ-PARC前景(航空写真)



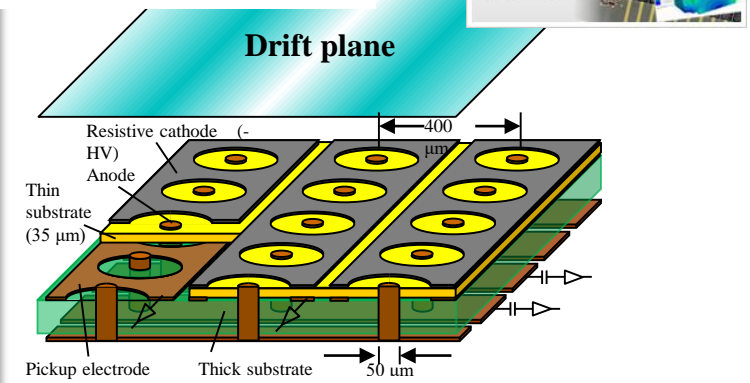
2016年 Breakthrough賞

4. 新検出器開発グループ：新物理へのキーテクノロジー

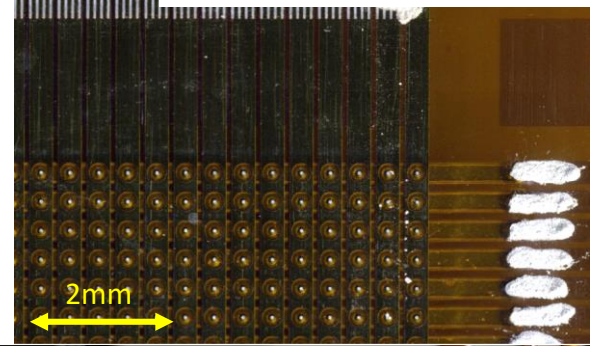
現代の素粒子実験においては、ほとんどの実験において粒子線（電離放射線）の測定を行います。つまり、**新しい検出器を開発することにより新たな実験結果が産み出されている**と言ってもよいでしょう。加速器を使った素粒子実験では、近年ではより強度の高いビームが用いられ、粒子線の検出位置や検出時間の測定精度についても高いものが望まれるようになっていきますし、一方暗黒物質探索のような非加速器実験で、極低バックグラウンドの動作が要求されることもあります。

本研究室では、このような次世代の高エネルギー実験における検出器として、**マイクロパターンを使ったガス放射線検出器（MPGD）**を研究しています。MPGDの中でも高い性能が期待されている **μ -PIC**（右図上・中）や、レプトンフレーバーの破れを探索する**MEG II実験**においては大強度の μ 粒子ビーム中で動作する超低物質量の**DLC-RPC**（右下写真）の開発を行っています。また検出器の試験では、国内だけでなく、海外のビーム施設なども使って様々な性能を評価しています（下写真）。

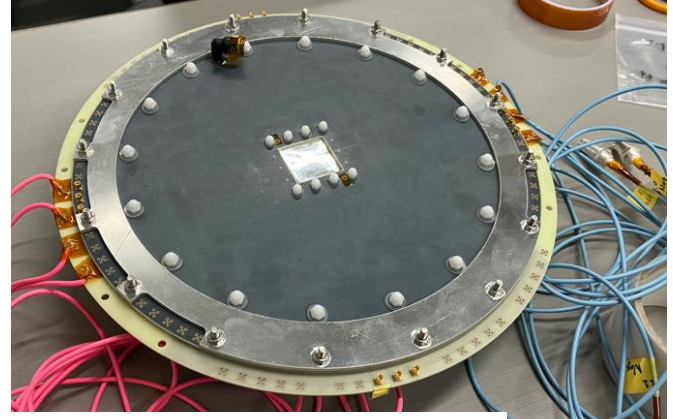
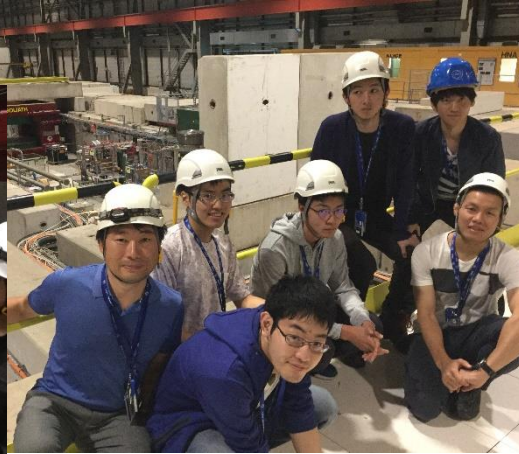
抵抗陰極型 μ -PICの構造図



抵抗陰極型 μ -PICの顕微鏡写真



CERN (スイス) SPS ビームラインを用いた検出器のビームテスト



開発中の検出器（DLC-RPC）の試作機

物性物理学講座

Condensed Matter Physics Division

| | |
|---------|--------|
| 極限物理学 | 教育研究分野 |
| 低温物性物理学 | 教育研究分野 |
| 電子物性物理学 | 教育研究分野 |

極限物性物理学 教育研究分野

概要 物質の性質を決めているものは電子

身の回りにある物質の性質-エレクトロニクスを支える半導体素子、DVDやMDの動作原理と素材、軽量高剛性の新素材-それらの性質を決めているものは**原子や分子の外側にある電子**です。青色LED、有機EL、CCDカメラ、超高密度HDDに使われているGMR (Giant Magneto Resistive) ヘッドやスーパーパラマグネット、ネオジム永久磁石 (NdFeB系磁石) など身の回りにある最新ハイテクを支えているのは新機能物質です。超伝導を始めとするこれらの特異な現象の多くは量子力学的現象が表に現れたことによります。**量子現象が現れる極端条件下における電子状態を調べる**ことによって、**新量子現象の発見とメカニズムを理解**するために物質の電子状態を調べる必要があります。電子物性を担う電子そのものを観測対象とする**電子スピン共鳴 (ESR)** は物質の電子状態を調べるのに有効な手法です。

スタッフ



大道英二 准教授



大久保晋 准教授



櫻井敬博 助教*
(研究基盤センター)



原茂生 職員*
(研究基盤センター)



嵯峨慎 職員*
(研究基盤センター)



川村光 客員教授
(分子フォト)



太田仁 客員教授
(分子フォト)



菊池彦光 客員教授
(分子フォト)

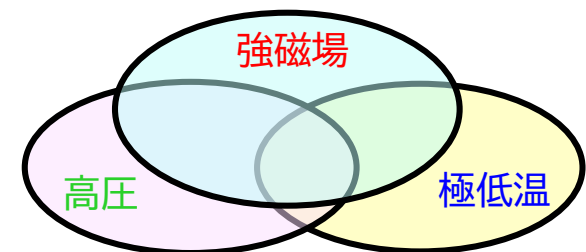
*共同研究スタッフ

極端条件下における物質の性質を調べるため、**強磁場・極低温・高圧**下の磁気共鳴による研究を行っています。

- **強磁場**：電子の持つ電荷とスピンの性質のうち、スピンの性質は磁場によって制御されます。パルス強磁場を用いて55T (地磁気の12万倍、ネオジム磁石の55倍)
- **極低温**：熱的励起を抑えて量子現象を発現させるには低温の実験が最適です。減圧4Heで1.68K(-271.47°C)、減圧3Heで0.5K(-272.65 °C)を達成しています。
- **高圧**：圧力下で物質中の原子間距離を縮めることで、電子-電子間の相互作用を大きくして従来にない新量子現象を発見します。極限で発生できる圧力は2.5GPa (大気圧の25000倍)。

このような条件下で広帯域な高周波数電磁波(9GHz~7THz)を用いた電子スピン共鳴(ESR)、磁気光学測定を行っています。

多重極限の実現



研究テーマ

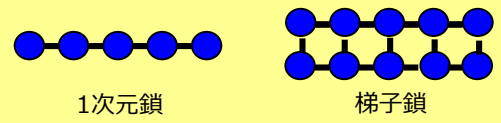
幅広い物性を対象に研究を行っています。

磁性体

局在電子系の磁性は理想的なモデル物質が多くあり、理論と実験の一致のよい分野です。

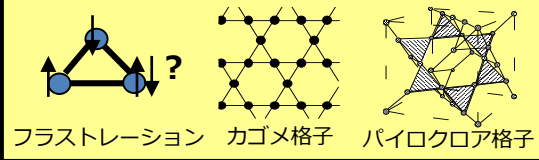
低次元磁性体

低次元磁性体は、量子性が顕著に現れる系です。従来にはない奇妙な振舞を示す低次元磁性体が見つかっています。これらの系では、超伝導に代表されるBose-Einstein凝縮の磁性版が近年発見され大変注目を集めています。



スピンプラストレーション系

三角格子に代表される格子では、フラストレーションがあり、基底状態に複数の状態が縮退しています。これらの効果が磁性におよぼす効果を調べています。



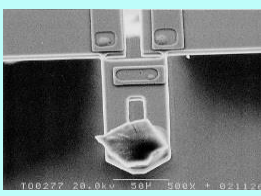
マイクロ計測

微小な計測装置を用いることで、検出感度を劇的に向上させることができます。極限ではマイクロカンチレバー/メンブレンを用いた精密計測を行っています。

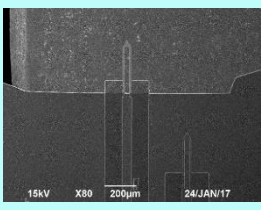
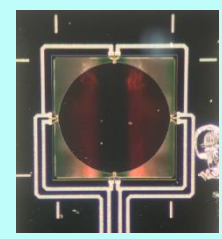
カンチレバー/メンブレン

大きさが100 nm程度の微小な片持ち梁（カンチレバー）や厚さが100 nmの薄膜（メンブレン）を用いることで、力や変位を非常に精度よく検出することができます。

マイクロカンチレバー



メンブレン



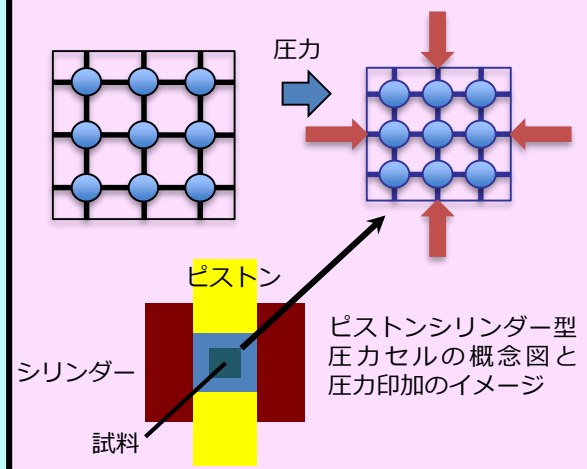
⇒カンチレバー/メンブレンを用いた精密測定技術の開発と超高感度ESRへの応用

高圧測定

物質に圧力を印加すると格子間隔が変化し、電子間の相互作用等が変化します。圧力によって誘起される新奇な物理現象を、ESR等を通して観測しています。

圧力セル

物質に圧力を印加するための代表的な装置の一つに、ピストンシリンダー型圧力セルがあります。極限ではこの圧力セルを電磁波透過型に改良し、圧力下での多周波数ESRを可能にしました。



極限のここに注目!

極限条件下の測定が可能な世界でオンリーワンの装置が沢山あります。

高周波・強磁場ESR測定

コンデンサーバンク



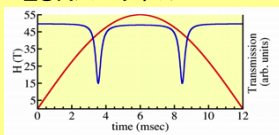
パルス磁石用コンデンサーバンク 10kV 6mF 300kJ

300kJコンデンサーバンク国内第3位!

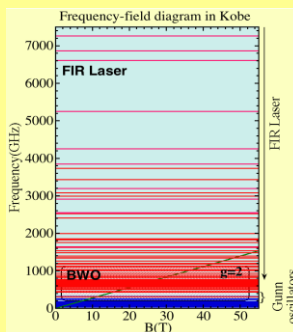
FIRレーザー



55Tパルス磁場波形とESRスペクトル



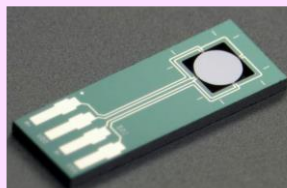
極限の周波数-磁場ダイアグラム



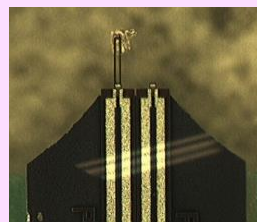
Gunn, BWO, FIRレーザー 30GHz~7THz超広帯域

カンチレバー/メンブレンを用いた超高感度ESR測定

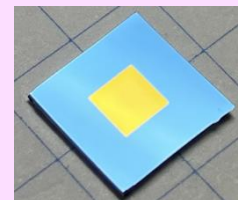
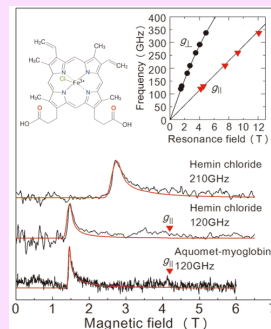
ESR測定の限界に挑戦!
微小なカンチレバーをESR実験へ応用



ピエゾ抵抗型メンブレン



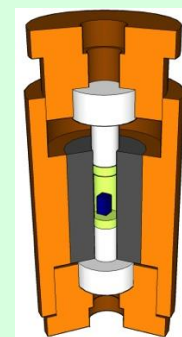
マイクロカンチレバー



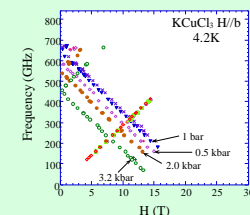
ナノメンブレン (上) を用いて得られた多周波数 ESRデータ (左)

高圧下ESR測定

ハイブリッド式ピストンシリンダー型圧カセル



最高圧力2.5GPa



圧力でスピギャップが潰れてゆく様子。この先で圧力誘起新量子現象が!?

高圧・高周波数・強磁場ESRができるのは世界で極限だけ!

活躍する極限の若手

- 2022. 3. 修士課程 伊神早紀さん, 小路悠斗さん 物理学専攻修士論文発表優秀賞受賞 (ダブル受賞)
- 2022. 8. 修士課程 長澤直生さん 29th International Conference on Low Temperature Physics (第29回低温物理の国際会議) ベストポスター賞受賞
- 2022.11. 修士課程 瀬川和磨さん 日本赤外線学会優秀発表賞受賞
- 2023.11. 博士課程 小路悠斗さん 電子スピサイエンス学会優秀発表賞受賞
- 2023.11. 博士課程 小路悠斗さん 日本赤外線学会優秀発表賞受賞
- 2023.12. 博士課程 小路悠斗さん テラヘルツ科学の最先端X シンポジウム優秀学生発表賞受賞

低温物性物理学 教育研究分野

概要 「低温における電子がもたらす量子現象の実験的研究」

低温の世界では熱的な励起が抑えられ、電子の量子効果が現象として現れます。我々は超伝導などの低温における量子現象の発現メカニズムを実験的に解明する事を目的としています。また、低温に加えて強磁場、高圧の極限条件を組み合わせることで様々な量子相の研究を行っています。

教授：藤秀樹

教授：小手川 恒



R6年度は
博士課程後期 1名
博士課程前期 4名
が在籍しています

室温(300K)

液体窒素(77K)

^4He (4.2K)

^4He 減圧(1.4K)

^3He 冷凍機(0.5K)

希釈冷凍機(0.1K以下)

超伝導マグネット(17T(テスラ))

電磁石(1.5T)

永久磁石(0.1T)

地磁気(0.00005T)

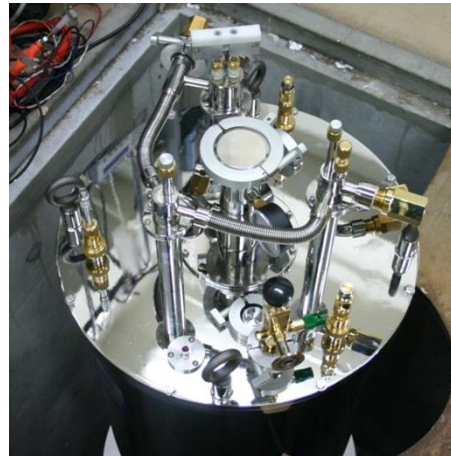
インデンター型圧力セル(5万気圧)

ピストンシリンダー型圧力セル(3万気圧)

大気圧(1 気圧)



希釈冷凍機



超伝導マグネット



様々な高圧セル

実験手法

ミクロな電子状態を明らかにするNMR

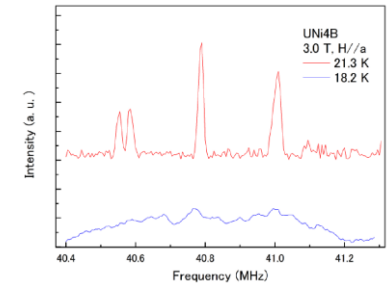
NMRは**Nuclear Magnetic Resonance**（核磁気共鳴）の略です。医療現場で活躍しているMRI（磁気共鳴画像）は良く知られていますが、同じ原理を用いて固体物質中の電子状態を調べることが出来ます。物質を構成する元素の核スピンを通して電子状態を探るため、その元素位置での情報が得られます。このためNMRはミクロスコピックな実験手法と呼ばれています。

ミクロとマクロの融合

ミクロな実験手法であるNMRに対し、電気抵抗、磁化、比熱などの基本的な実験手法をマクロ測定と呼んでいます。これらの測定では試料中で平均化された物理量を調べることが出来ます。つまり何がその物質の本質かを見抜くためには、ミクロとマクロの両方から実験結果を眺めることは非常に大切です。我々はNMRに加えてマクロ測定も行い、総括的な研究を目指しています。



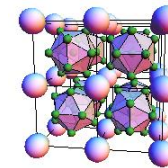
角度回転NMR装置の測定部分



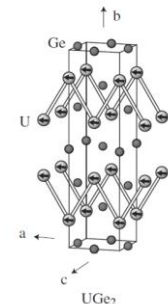
磁気秩序前と後のNMR信号。これを解析すると内部磁場の様子がわかる

研究テーマ1 「様々な超伝導体における超伝導機構の解明」

超伝導とは2つの電子が対（クーパー対）を形成した状態のことですが、その対形成には様々な機構が存在します。従来、超伝導は電子と格子の相互作用で生じるものばかりでしたが、最近は電子同士の相互作用（電子相関）により生じる新しい超伝導体も報告されています。我々のグループでは、右の物質に対してNMRやマクロ測定を通して、その電子状態を調べています。



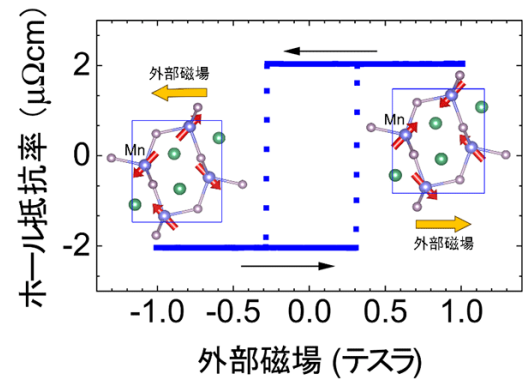
スピン3重項超伝導 UBe_{13}
クーパー対の全スピンの $S=1$ の超伝導(非常に珍しい)



強磁性超伝導体 UGe_2
強磁性(磁石)でありながら超伝導(世界に4例)

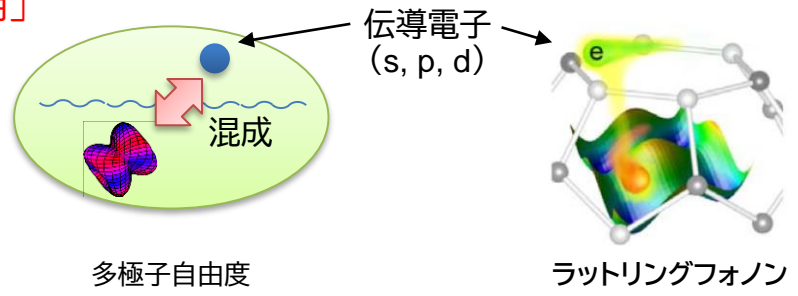
研究テーマ2 「反強磁性体における異常ホール効果」

強磁性体が示す代表的な機能性の一つに異常ホール効果が挙げられ、工業的に磁気メモリなどで応用されています。NbMnPはのノンコリニア磁性体です。その磁気構造から反強磁性構造由来の異常ホール効果を予見し、実際に観測に成功しました。これはNbMnPの反強磁性構造が強磁性と同じ対称操作で表現できるため出現する特異な効果です。このような性質を示す物質は現在のところ数例しかなく、同様の性質を持つ物質の探索と研究を行っています。



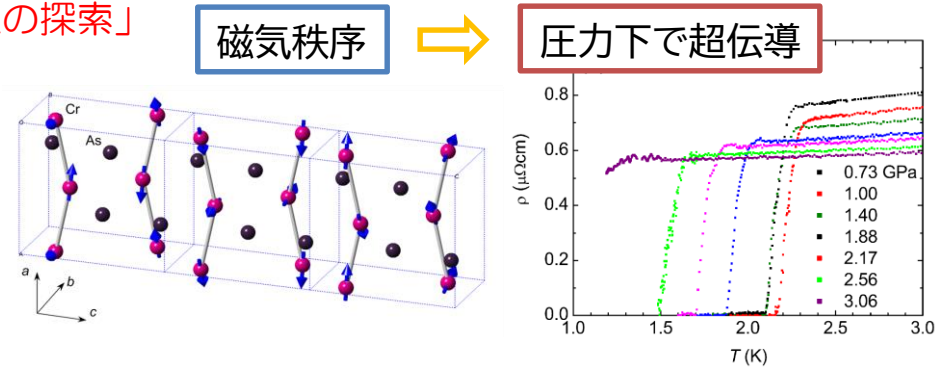
研究テーマ3 「他の自由度と伝導電子の相互作用」

f 電子が持つ多極子モーメントや、カゴ状物質が持つ非調和ラットリングフォノンなどが伝導電子の相互作用することによって生まれる新しい量子状態が生じます。この新しい量子状態が起きるメカニズムや物理特性をNMRによって調べています。



研究テーマ4 「圧力誘起の新しい量子現象の探索」

物質に圧力を加えることによって電子状態を変化させることができます。超伝導などの量子現象を探索しています。



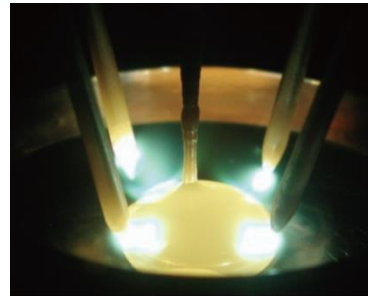
電子物性物理学 教育研究分野

概要

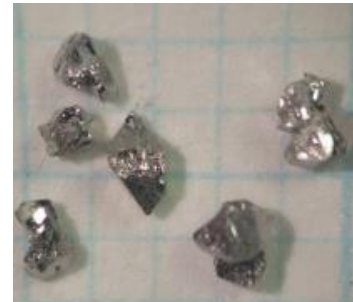
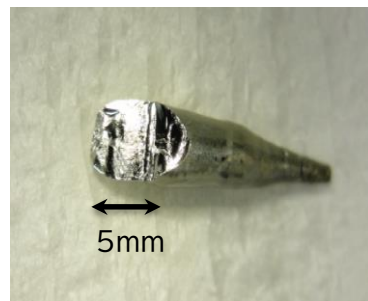
新しい物質の発見は科学技術に革新をもたらし、同時に基礎科学を飛躍的に発展させてきました。銅酸化物高温超伝導体や鉄系超伝導体、ネオジム磁石等の希土類強力磁石、そして2014年のノーベル賞に輝いた青色発光ダイオードに使用される窒化ガリウム等はその典型例です。私たちの研究室では、新奇な超伝導や磁性、あるいは半導体的な性質を示す物質の純良単結晶を作製し、電気抵抗、磁化、比熱等の基本物性測定や、ドハース・ファンアルフェン(dHvA)効果等の特色ある先端的測定手段を用いて研究を行っています。



テトラアーク炉



引上法で単結晶を作製している様子

PrTi₂Al₂₀の単結晶CeIr₃B₂の単結晶LaRu₂Al₁₀の単結晶

高温電気炉

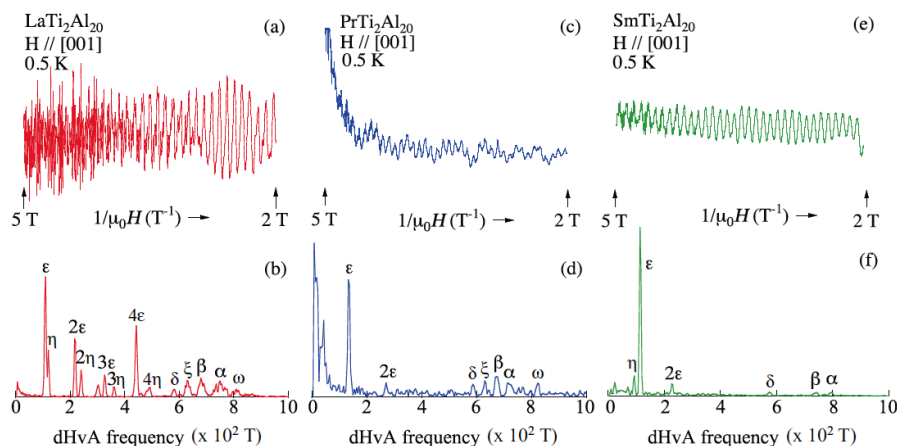
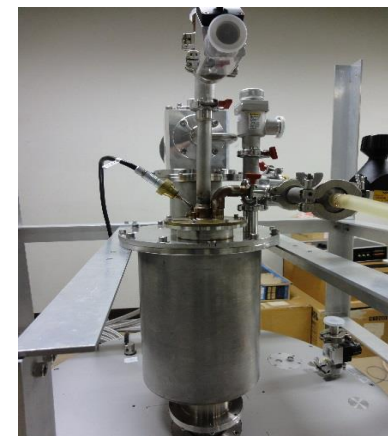
教授：菅原仁
准教授：松岡英一

研究テーマ

物性物理学で取り扱う重要な現象として「磁性」と「超伝導」があげられます。どちらの現象も長年にわたって研究が行われ、その発現機構が明らかにされるとともに、磁性体であればモーターや記録素子等の材料として、超伝導体であればMRI（磁気共鳴画像診断装置）等の強磁場マグネットとして、今日では応用面でも不可欠なものとなっています。その一方で、どちらの現象にも未解明な問題が少なからず残されています。本来、強い磁性を示す物質は超伝導を示さないと考えられて来ましたが、最近、この常識をくつがえす物質が次々と発見され、磁性と超伝導は密接に関連していることが明らかになって来ました。このような面白い現象を示す物質はそれほど多くは発見されていないため、より多くの物質について研究を行い、現象の類似性と多様性を明らかにすることが重要です。そこで私達の研究室では、未解明問題に取り組む手段として、「新物質探索」を行っています。希土類や遷移金属を含む新しい物質の結晶を様々な手法によって作製し、磁化、比熱、ドハース・ファン・アルフェン効果等の測定を行うことで、その物質の性質を調べています。そして、これまでに知られていなかった新しい特徴を持つ磁性体や超伝導体を見つけることを目指して、日々研究に取り組んでいます。



dHvA効果測定システム

 $\text{RTi}_2\text{Al}_{20}$ ($\text{R} = \text{La, Pr, Sm}$)のdHvA効果

無冷媒式クライオスタット

ここに注目

物性研究は、研究対象となる物質がなければ始まりません。我々の研究室では自ら新しい物質を開発し、新奇現象の発見・解明を行い、物性物理学のフロンティアを目指します。



おわりに

当研究紹介を最後まで御覧頂きありがとうございます。
一人でも多くの方と、一緒に研究できることを楽しみにしております。

2024年4月 物理学専攻 オープンラボ担当

