

## 量子物性

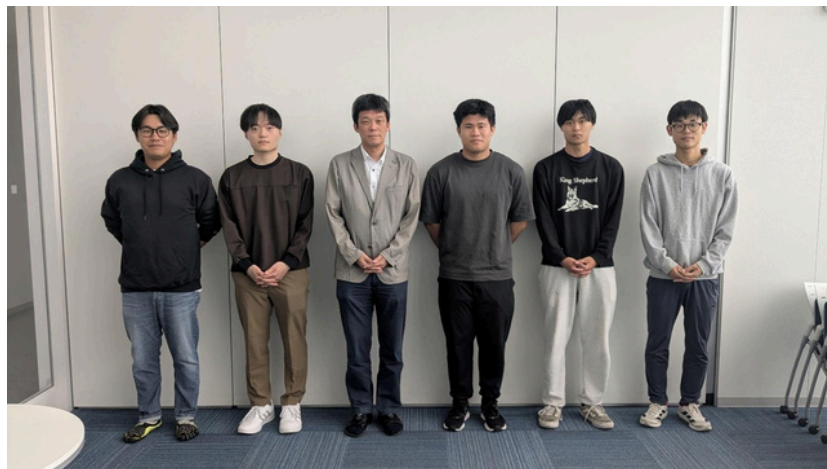
## 磁性物理学研究室

## Physics of Magnetism Laboratory

HP : <http://pom.phys.kyushu-u.ac.jp>

コアタイム：なし

研究キーワード： 磁性 固体物性 希土類元素 実験 試料作製 高圧 低温 強磁場



## Member

准教授	光田暁弘
修士2年	大谷峻人、松田悠太
修士1年	梶西幸平、成田悠馬
学部4年 (特別研究生)	高田悠剛



## 教員プロフィール



## 光田暁弘 准教授

愛知県出身ですが、親の仕事と家庭の都合で大阪、静岡でも育ちました。大学は、身の回りにある電化製品やPC等に使われるデバイスや材料に興味があったので工学部に進学しました。

当時の大学では1, 2年生(私の大学では回生を使っていました)は教養部(九大の基幹教育院のような組織)で授業を受けることがほとんどだったのですが、そこで受けた物理学の授業が興味深かったのと、ある先生と教養部の物理学実験を通じて親しくなり、より基礎的なことに興味が移っていきました。

その先生からは、「君の学科なら○○先生の研究室が良いよ」と勧められて、私の所属学科にあった磁性物理学の研究室に所属することになりました。

金属結晶中の電子や磁気モーメントの振舞を研究する研究室であったので、当初の興味とは少しずれていましたが、より基礎的な所を掘り下げる研究という意味では繋がっていると思っています。

その後、理学部的な研究室でPD研究員、助手を務めて九大物理に赴任しました。



## アピールポイント

### コアタイムについて

磁性物理学研究室では基本的にコアタイムと呼ばれる拘束時間はありません。  
そのため、各自自由に計画を立てて自分の研究を行う事ができます。

### 先生方・仲間のサポート

研究で行き詰まったときや、サポートが必要な際は先生方、研究室メンバーに頼る事も可能です。  
なかなか1人で研究を進められない場合、声をかけて頂けるとサポートします。

### 雑誌会

上半期、下半期に1回ずつ論文紹介があります。自分の研究に近い内容、興味のある内容の論文を、翻訳して研究室メンバー、先生方と議論し合います。様々な論文に触れられる機会だと捉えています。



## イベント

### 年間スケジュール

4月	新入生歓迎会
8月	大学院入試 院試お疲れ様会
12月	ニュートン祭 忘年会
3月	合同卒論発表会 追い出しコンパ

### 定例イベント

半期一回ずつ	雑誌会 論文の紹介をします
--------	---------------



## 実績

### 研究

2025.3 量子物性分野特研発表会で梶西君、成田君が発表しました。  
2025.2 修士発表会で木村君、田坂君が発表しました。  
2024.3 量子物性分野特研発表会で大谷君と松田君が発表しました。  
2024.2 修士発表会で中島君、横枕君が発表しました。  
2023.3 量子物性分野特研発表会で菊本君、木村君が発表しました。  
2022.3 和田先生の理学研究院長の任期が終了しました。  
2021.3 大山耕平君が理学博士号を取得しました。

### Message

院生1：外部施設で実験できます！  
院生2：コアタイムがなく自分のペースで研究を進めることができる自由な雰囲気が魅力の研究室です。



## 研究内容

希土類元素(4f電子)や遷移金属元素(3d電子)が発現する磁性に興味を持って研究している。特に希土類元素の4f電子は5s,5p閉殻の内側に存在するため、結晶中でも周りの原子の影響を受けにくく安定に局在すると考えられてきたが、一部の化合物中で不安定になることがあり、4f電子数が揺らいだり、磁性が消失したりする。更にそれに伴って伝導電子の有効質量が増大したり、**非BCS超伝導**を引き起こしたり、通常の金属中の電子とは似ても似つかない振舞を示すことがある。我々は、このような振舞を示す物質を探索して純良試料を作製し、高圧・極低温・強磁場などの極限環境下に置くことで振舞の特徴を詳しく調べている。更に高度な測定技術をもつ世界中の研究者に試料提供したり、大型研究施設を利用した最先端の研究を行っている。

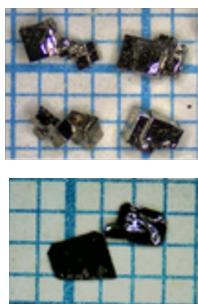


図1：当研究室で作製した単結晶試料。上はYbPd、下はEuNi<sub>2</sub>P<sub>2</sub>、1マスは1mm。



図2：試料に圧力かける装置。上下のネジで圧力を閉じ込めて保持できる。測定手法によって使い分ける。長さは6cm、外径は1~2.5cm。中央の装置で3GPaの圧力を発生することができる。



図3：大型放射光施設SPring-8。蓄積リング(写真右、1周1400m)内で電子を光速に近い速度で運動させ、発生するX線を使って物質の性質を調べることができる。我々は物質の構造や価数を調べる測定を行ってきた。



図4：日本原子力開発機構のJRR-3内のT1-1ビームライン。原子炉から出てくる中性子を利用してYbの磁気モーメントの配列の仕方を調べている。冷凍機(右側の水色の装置)で試料を0.3Kまで冷やして実験をしている。

### 1. 価数揺動・価数転移

希土類元素の1つのEuは、化合物中で2つの4f電子状態(4f<sup>7</sup>と4f<sup>6</sup>)を取ることが知られている。通常はどちらか一方の状態が安定であるが、ごく一部の化合物では2つの電子状態がエネルギー的に拮抗して不安定になり、時間的・空間的に揺らいだり、外部環境(温度、圧力、磁場)によって電子状態を大きく変化させることがある。このような現象をそれぞれ**価数揺動**、**価数転移**と呼んでいる。これら2つの電子状態は、4f<sup>7</sup>のとき大きな磁気モーメントを持ち、体積が大きいのに対し、4f<sup>6</sup>のとき磁気モーメントを持たず体積が小さいという対照的な性質を持つことから、価数転移に伴い大きな物性変化が期待される。また、絶対零度付近で価数揺動が臨界発散的に増大する場合に新奇な超伝導が出現することが理論的に指摘されており、この点からも興味を持たれている。我々はEuの価数転移現象を探索することを目的として4f<sup>7</sup>状態が安定な反強磁性体EuRh<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>に圧力を加えたところ、1GPaの圧力で価数転移を示し反強磁性が消失することを見いだした。このときEuは非磁性の4f<sup>6</sup>状態に近い状態となっている。更にこの状態に磁場を印加すると4f<sup>7</sup>状態へと変化し、

再び磁気モーメントが出現することも見いだした。従来、このような現象を引き起こすのに非常に高い圧力、強い磁場が必要であったが、大学の研究室で容易に発生可能な圧力、磁場で価数転移現象を引き起こすことが可能になり、価数転移についてより多くの実験手法で研究することができるようになった。

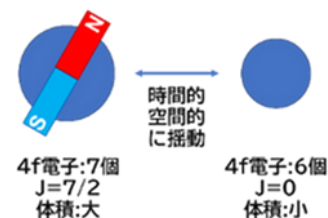


図5：Euの2つの4f電子状態。一部の化合物中では、両状態間で揺らいだり、外部環境によって一方から他方へ変化する現象が出現する。

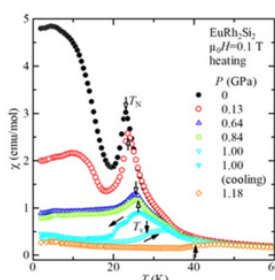


図6：EuRh<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>に圧力を加えていくと反強磁性(TN)が抑制され、1GPa以上で価数転移(Tv)が出現する様子を示す。

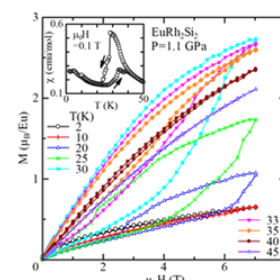


図7：1.1GPaの圧力を加えた状態で磁場をかけると、磁化Mに跳びが出現する様子を示す。これは磁場によって4f<sup>6</sup>→4f<sup>7</sup>状態への変化(価数転移)を示している。

## 2. 価数秩序

4f電子の不安定性に起因する現象として**価数秩序**にも注目している。**YbPd**は立方晶CsCl型のシンプルな構造を持つ化合物であり、Ybは4f電子を平均13.2個持つ価数揺動状態にあること、 $T=125\text{K}$ ,  $105\text{K}$ で原因不明の相転移を示すことが報告されていた。我々は $T=125\text{K}$ で立方晶→正方晶への構造相転移し、 $T=105\text{K}$ でYbの2つの4f電子状態( $4f^{13}$ と $4f^{13.4}$ )がc軸方向に規則配列(これを価数秩序と呼ぶ)することを示した。またYbの $4f^{13}$ 状態は磁気モーメントを持つことから低温で磁気秩序の出現が予想される。我々は日本原子力開発機構のJRR-3とJ-PARCのMLFにおいて中性子回折実験を行い、Ybは $4f^{13}$ 状態のみ磁気モーメントを持ち、これが非整合サイン波構造という複雑な磁気構造を持つことを示した。これらの研究過程で、純良な粉末試料を得る必要があったが、従来方法では原子配列を乱してしまう等の問題点があり、精密な中性子実験が困難であった。我々はお出原料や反応の手順を工夫することによって純良な粉末試料を得ることに成功し、この実験を実現できた。



図8： $T=0.59\text{K}$ におけるYbPdの磁気構造。ここではPdは省略されている。矢印は $4f^{13}$ の磁気モーメントを示しており、 $4f^{13.4}$ は磁気モーメントを持たない。磁気モーメントはa軸方向を向き、波数ベクトル $k = [0.080 \ 0 \ 0.32]$ を持つ。磁気モーメントの大きさがサイン波的に変化するの熱的揺らぎのためと考えられる。非常に複雑な構造であるが、磁気モーメントを持つ $4f^{13}$ は二次元正方格子を組んでいることから磁気的不安定性の強い状態と考えられている。 $T=0.5\text{K}$ に機構不明な相転移が報告されているが、熱的揺らぎが抑えられることによる別の磁気構造(よりシンプルな磁気構造)が予測されている。

## 3. スピントロニクス素子の圧力効果

固体電子物性研究室と共同で、**スピントロニクス現象の圧力効果研究**を行っている。スピントロニクスはスピン自由度に着目したデバイス応用とその基礎研究を行う新しい分野であるが、圧力を利用した研究は僅かであった(九大物理の巨海玄道先生によるFe/Cr人工格子の巨大磁気抵抗効果の圧力効果研究が有名)。圧力は物質の状態を系統的に変化させるのに適しており、試料作製条件が物性に強く影響されるスピントロニクス素子の研究に適用できれば強力なツールとなる。我々は、強磁性/重金属素子を用いて**強磁性共鳴(FMR)**によるスピン注入現象を高圧セル内で観測することに初めて成功し、CoFeB/Pt膜において圧力とともにスピン注入が増大することを明らかにした。

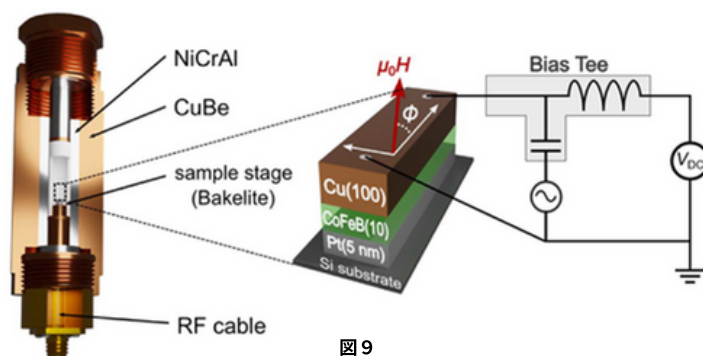


図9