

令和 4 年 5 月 24 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17H02920

研究課題名(和文)軌道自由度が活性な強相関系における新奇量子凝縮状態の研究

研究課題名(英文) Study of novel quantum state in strongly correlated system with orbital degrees of freedom

研究代表者

井澤 公一 (Izawa, Koichi)

大阪大学・基礎工学研究科・教授

研究者番号：90302637

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,600,000円

研究成果の概要(和文)：多極子自由度が活性なPr系化合物における多重極限下での輸送係数の結果をもとに温度-磁場相図を構築した。その結果、PrRh<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub>では、四極子近藤効果に由来する非フェルミ液体状態を含む、多極子自由度によりもたらされた4つの特異な電子状態が存在することが明らかになった。これに対し、混成の弱いPrT<sub>2</sub>Cd<sub>20</sub>(T=Rh, Pt)では、明確な四極子秩序は見られないが、非フェルミ液体状態は存在することが明らかとなった。この混成の違いによる相図の変化は、多極子由来の特異な電子状態の理解に、希土類化合物の電子状態を広く説明してきた従来のドニアック描像とは異なる考え方が必要であることを強く示唆している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

f電子を持つ希土類化合物やアクチノイド化合物で見られる磁気秩序や非フェルミ液体的挙動、非従来型超伝導といった物性物理学における極めて重要な現象の多くは、f電子のスピンの自由度に由来し、ドニアック描像で概ね理解されてきた。これに対し、本研究で得られた系統的な結果が、ドニアック描像の予想とは異なることが示されたことにより、四極子自由度による物理を考える場合には、すでに標準的な考え方として浸透しているドニアック描像とは別の考え方が必要であることを強く示唆している。このことは、f電子系で見られる特異な現象の統一的理解だけでなく新奇物性の開拓にも重要な情報を与え、当該分野の進展への貢献が期待される。

研究成果の概要(英文)：We have studied the low-temperature phase diagram of the Pr-based non-Kramers system based on the low-temperature transport measurements in high magnetic fields under pressures. We have revealed the presence of four novel electronic states, including quadrupole ordering and non-Fermi liquid (NFL) behavior originating from the quadrupolar Kondo effect, inherent to the multipolar degrees of freedom in PrRh<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub>.

On the other hand, in PrT<sub>2</sub>Cd<sub>20</sub>(T=Rh, Pt) with weaker c-f hybridization, the NFL behavior has been observed, although quadrupole order has not. Thus, the c-f hybridization has governed the phase diagram, but the evolution of the phase diagram is different from the expectation from the Doniach picture.

The present results require a different/modified picture than the Doniach picture for a unified understanding of the phase diagram containing the various novel electronic states inherent to multipolar degrees of freedom.

研究分野：低温物理学

キーワード：強相関電子系 多極子

### 1. 研究開始当初の背景

希土類化合物やアクチナイド化合物において、これまで重い電子状態、磁気秩序、メタ磁性、量子臨界点近傍における非フェルミ液体的挙動、非従来型超伝導などの興味深い現象が数多く発見され、精力的に研究がなされてきた。これらの現象のほとんどは、磁性イオンのもつ  $f$  電子のスピンの自由度にその起源をもち、ドニアック描像とよばれる近藤効果と RKKY 相互作用の競合という考えに基づいた議論により概ね理解されてきた。注目すべきは、非フェルミ液体的挙動や非従来型超伝導が、量子臨界点、すなわち磁気秩序から非磁性フェルミ液体に基底状態が移り変わる点近傍で見られることからわかるように、局在  $f$  スピンが伝導電子と混成することにより遍歴性を獲得してゆく段階において物性物理学における重要な新奇現象や概念が数多く創出されてきたということである。

一方、電子にはスピン以外に軌道の自由度が存在し、スピンと合わせて多極子として表現され整理される。スピンの場合と同様に、この多極子(軌道)の自由度が中心的役割を果たすときの基底状態がどうなっているかは、非常に興味深い問題である。しかしながら、これまで多極子秩序を除いてその研究例はあまりなかった。特に多極子が伝導電子との混成( $c$ - $f$ 混成)により遍歴性を獲得してゆく中での電子状態については、四極子近藤効果やコンポジット秩序など、いくつか理論的に提案されてはいるものの、現状、理論・実験ともにそれほど理解は進んでいない。ここで重要なのは、多極子は本来局在描像での概念であるので、それが伝導電子との混成を通して遍歴性を獲得した時の物理的描像は明確ではなく、確立した概念はほぼないということである。実際、「スピン」を単純に「多極子」に置き換えることで、スピン自由度の場合と同様にドニアック描像が適用できるかどうかは全く自明ではない。つまりこのことは、上述の問いが本質的に新しい概念の創出につながる重要な問題であることを強く示唆している。しかしながら、これまで多極子自由度が活性な物質はいくつか発見されているものの、多極子だけでなくスピン自由度も活性な場合が多く、多極子由来の物性を純粋に議論するのは容易ではなかった。したがって、多極子特有の物性を統一的に理解するためには、まず多極子自由度のみをもつ単純な物質を調べるのが重要である。

以上のような背景のもと、我々は多極子自由度が活性な  $\text{PrT}_2\text{X}_{20}$  ( $T$ :遷移金属,  $X$ :Al, Zn) に注目し、 $\text{PrT}_2\text{Zn}_{20}$  ( $T = \text{Ir, Rh}$ ) (Zn系)の極低温高磁場下の輸送係数を調べてきた。この物質群は、他の物質群とは異なり、電気四極子の自由度は活性であるがスピン自由度は不活性な非クラマース二重項を結晶場基底状態にもつため、純粋な高次の多極子(軌道)自由度に由来する議論が可能である。我々は、輸送係数の結果に基づき  $\text{PrT}_2\text{Zn}_{20}$  ( $T = \text{Ir, Rh}$ )の温度-磁場相図を構築し、低温領域において、非フェルミ液体的挙動、四極子秩序、新奇重い電子状態、磁場誘起一重項の4つの特異な電子状態が実現していることを突き止めた。特に、電気抵抗率に見られる非フェルミ液体的挙動が、ある単一のエネルギーでスケールすることを先駆けて見出し、それが四極子近藤格子理論でよく説明できることを明らかにした。これは、他の量子臨界物質で見られる非フェルミ液体的挙動とは本質的に異なる、多極子特有の電子状態であると考えられる。また、極低温における四極子秩序の臨界磁場付近で、大きな有効質量をもつフェルミ液体的挙動を見出した。これは、何らかの非自明な量子凝縮状態が実現していることを示しており、理論的に予想されているコンポジット秩序が実現している可能性を示唆している。

このようにこれまでの研究からスピン自由度が活性な系とは異なる興味深い現象が見いだされているが、これらが多極子自由度の活性な系(多極子系)に共通する普遍的な振る舞いかどうか、また、もしそうであった場合にそれらをどのように理解すればよいのか、ドニアック描像のような統一的な理解が可能かどうかは明らかではなかった。

### 2. 研究の目的

本研究では、多極子自由度が活性な Pr 化合物を対象として、そこに見られる多極子と強い電子相関がもたらす特異な量子凝縮状態の本質、およびそれらがどのように統一的に理解されるかの解明を目指す。具体的には、 $\text{PrT}_2\text{X}_{20}$  ( $T = \text{Rh, Pt}$ ,  $X = \text{Zn, Cd}$ )における詳細な温度-磁場相図を系統的に調べ構築する。そして、それらがどのように理解できるかを明らかにする。特に、 $c$ - $f$ 混成効果が、それぞれの電子状態も含めた相図にどのように影響しているかを明らかにし、スピン系と同様にドニアック描像が適用可能かどうか、もし適用できない、つまりスピン系と異なる場合、どのように異なるのか、そしてそれをどのように理解すればよいのか、といった多極子がもたらす電子状態の統一的理解につながる知見を獲得する。

### 3. 研究の方法

(1)  $\text{PrRh}_2\text{Zn}_{20}$ の極低温磁場下の電気抵抗率、ホール抵抗率、ゼーベック係数を系統的に測定し、 $H//[100]$ ,  $[110]$ ,  $[111]$ のすべての磁場方向での温度-磁場相図を構築した。そして得られた相図の磁場に関する異方性から、4つの新奇電子状態、および相図がどのように理解できるかを考察した。

(2)  $\text{PrT}_2\text{Cd}_{20}$  ( $T = \text{Pt, Rh}$ )の極低温磁場下の電気抵抗率、ホール係数、ゼーベック係数を系統的に測定し、 $H//[100]$ ,  $[110]$ ,  $[111]$ のすべての磁場方向での温度-磁場相図を構築した。そして

得られた相図を  $\text{PrRh}_2\text{Zn}_{20}$  のそれと比較し、 $c$ - $f$  混成の違いが相図にどのように現れるかを調べた。さらに  $c$ - $f$  混成効果を考慮しない局在モデル(結晶場モデル)計算を行い、実験結果と比較することで、実験結果にどのように  $c$ - $f$  混成効果が現れるかを調べた。

(3) 高圧下輸送係数測定システムを構築することで、上記の測定を圧力領域に拡張した。特に、これまであまり測定されてこなかった圧力下で熱電係数を測定できるシステムを開発した。

#### 4. 研究成果

本研究では、四極子自由度が活性な  $\text{Pr}1\text{-}2\text{-}20$  系物質の典型物質として、 $\text{PrRh}_2\text{Zn}_{20}$  に注目し、その温度-磁場相図を  $H//[100]$ ,  $[110]$ ,  $[111]$  のすべての磁場方向で構築するとともに、そこに見られる特異な電子状態がどのように整理・理解されるかを明らかにした。更に、 $\text{PrRh}_2\text{Zn}_{20}$  よりも伝導電子と  $4f$  電子の混成 ( $c$ - $f$  混成) が弱いと考えられる  $\text{PrT}_2\text{Cd}_{20}$  ( $T = \text{Pt}, \text{Rh}$ ) ( $\text{Cd}$  系) に対しても同様に調べ、 $\text{PrRh}_2\text{Zn}_{20}$  の結果と比較することで、四極子自由度に由来する電子状態における  $c$ - $f$  混成効果に関する知見を得た。

なお、 $\text{PrT}_2\text{Cd}_{20}$  ( $T = \text{Pt}, \text{Rh}$ ) は、当初計画には無かった物質ではあるが、上述の  $\text{PrRh}_2\text{Zn}_{20}$  と同じ結晶構造をもち、同様に多極子自由度が活性な系であることから、本研究に関連した重要な物質として位置づけられる。さらに  $\text{PrRh}_2\text{Zn}_{20}$  と比べて格子定数がかなり大きいことから、 $c$ - $f$  混成は  $\text{PrRh}_2\text{Zn}_{20}$  よりも弱いことが期待される。関連物質には  $\text{PrT}_2\text{Al}_{20}$  ( $T = \text{Ti}, \text{V}$ ) もあるが、これらの物質は非常に興味深い物性を示す反面、 $c$ - $f$  混成が強いため、現れる電子状態は非常に複雑で、その解釈は容易ではない。したがって、電子状態が単純で  $c$ - $f$  混成の弱い物質と考えられる  $\text{PrT}_2\text{Cd}_{20}$  は、 $c$ - $f$  混成の効果を議論するのに適した系として期待される。これらのことから、本研究における最重要事項である  $c$ - $f$  混成効果を単純に議論できる貴重な物質として計画に優先的に取り込んだ。

以下、得られた成果の詳細を述べる。

##### (1) $\text{PrRh}_2\text{Zn}_{20}$ の磁場-温度相図と4つの特異な電子状態

電気抵抗率、ホール抵抗率、ゼーベック係数を系統的に測定し、それらの結果から、 $H//[100]$ ,  $[110]$ ,  $[111]$  のすべての磁場方向に対する精密な温度-磁場相図を構築した(図1)。その結果、相図上の極低温で見られる非フェルミ液体的挙動、四極子秩序、新奇重い電子状態、磁場誘起一重項の4つの電子状態は、磁場方向によらず存在することが明らかとなった。先行研究で  $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$  においても同様の4つの電子状態が見られることから、これは物質固有の特徴ではなく、 $\text{Zn}$  系の典型的な電子状態および相図であると考えられる。一方、相図上で各電子状態が見られる温度及び磁場領域、すなわち各電子状態のもつエネルギースケールである四極子近藤温度  $T_K$ 、四極子秩序相の臨界温度  $T_Q$ 、フェルミ液体-非フェルミ液体クロスオーバー温度  $T_H$  の大きさ及び磁場依存性が、磁場方向に強く依存すること、しかもそれらの磁場依存性が磁場に関する異方性も含め、結晶場基底状態である非クラマース二重項の磁場による分裂幅 ( $h$ ) という1つのパラメータだけで概ね統一的に説明できることを見出した。このように、 $\text{Zn}$  系に見られる4つの電子状態が四極子自由度と密接に関わっており、( $h$ ) がそれらを統一的に理解する鍵となる重要なパラメータであることをつきとめることができた。

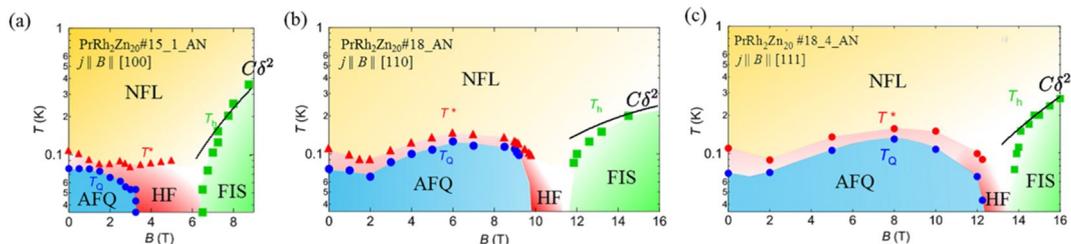


図1  $\text{PrRh}_2\text{Zn}_{20}$  の温度-磁場相図 (a) $H//[100]$ , (b) $H//[110]$ , (c) $H//[111]$  .

##### (2) $\text{PrPt}_2\text{Cd}_{20}$ の磁場-温度相図と特異な電子状態

(2-1) 上述の通り、 $\text{Zn}$  系では、四極子自由度と密接に関わる4つの特異な電子状態が ( $h$ ) という1つのパラメータで理解可能であることを見出した。そこで次に、各電子状態が  $c$ - $f$  混成強度の変化により、どのように影響を受け、どのように相図に現れるのか、そしてそれらはどのように整理されるのかを調べた。 $\text{PrRh}_2\text{Zn}_{20}$  よりも  $c$ - $f$  混成の弱い物質と考えられる  $\text{PrPt}_2\text{Cd}_{20}$  の電気抵抗率、ホール係数、ゼーベック係数の極低温磁場中測定を行った結果、電気抵抗率は、1K以下の極低温で上凸型の非フェルミ液体的挙動を示し、磁場を印加すると低温で上凸型から温度に依存しない磁場誘起一重項状態に変化する挙動を示す。そして磁場の増加とともに、磁場誘起一重項状態を示す領域が広がってゆることが明らかとなった。これは、 $\text{Zn}$  系と類似した振る舞いである。それに対し、それぞれのエネルギースケールである  $T_K$  および  $T_H$  はいずれも  $\text{PrRh}_2\text{Zn}_{20}$  のそれよりも小さいことがわかった。これらエネルギースケールの違いは、格子定数の違いに由来する結晶場の大きさの違いでおおよそ説明できることを見出した。さらに、 $T_H$  において、ゼーベック係数に増大が見られることがわかった。同様の傾向が、 $\text{Zn}$  系でも見られている。このゼ

ーベック係数の増大は、非フェルミ液体からフェルミ液体である磁場誘起一重項状態への劇的な電子状態の変化に由来していると考えられる。

(2-2) 一方、電気抵抗率、ゼーベック係数において、特徴的な異常が見られることがわかった。この異常は、先行研究で報告されている比熱の異常に対応すると考えられる。また、ホール抵抗率は、マルチキャリアの正常項で一見説明可能な振る舞いを示すことがわかった。これは、四極子近藤効果が起こっていることを支持する Zn 系のホール抵抗率の結果とは異なる振る舞いである。これらの原因は、現時点で明らかではなく、今後の課題である。

(2-3) さらに、これら輸送係数の結果をもとに温度-磁場相図構築した(図2)。温度-磁場相図では、上述の非フェルミ液体的挙動および磁場誘起一重項状態の2つの電子状態が、それぞれ高温低磁場領域、および低温高磁場領域に存在するのみで、明確な四極子秩序および新奇重い電子状態に由来すると考えられる挙動は見られないことがわかった。このように、PrPt<sub>2</sub>Cd<sub>20</sub>の相図は、Zn系のそれとはかなり異なることが明らかになった。この違いは、単純な結晶場の違いでは説明困難であり、*c-f*混成強度の違いを反映した電子状態の違いを反映している可能性を強く示唆している。その詳細は後ほど述べる。

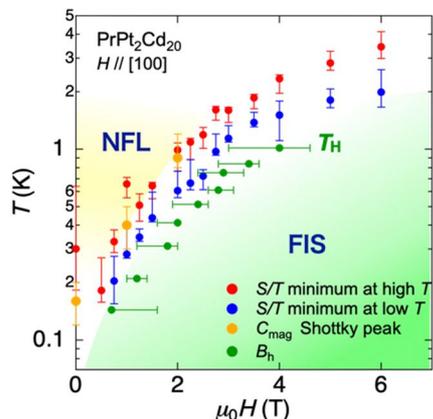


図2 PrPt<sub>2</sub>Cd<sub>20</sub>の温度-磁場相図。

### (3) PrRh<sub>2</sub>Cd<sub>20</sub>の磁場-温度相図と特異な電子状態

(3-1) 上述の PrPt<sub>2</sub>Cd<sub>20</sub>の結果が、Cd系共通の特徴であるかどうかを調べるため、関連物質である PrRh<sub>2</sub>Cd<sub>20</sub>に対しても同様に電気抵抗率及びホール係数の測定を行った。その結果、PrPt<sub>2</sub>Cd<sub>20</sub>と類似した特徴がみられる一方で、PrPt<sub>2</sub>Cd<sub>20</sub>で見られた比熱の異常に対応する異常は見られないことがわかった。先行研究において、PrPt<sub>2</sub>Cd<sub>20</sub>における四極子間の相互作用が強制的であるのに対し、PrRh<sub>2</sub>Cd<sub>20</sub>では反強制的であることが示唆されていることから、この異常の有無は、四極子間の相互作用の違いに起因する可能性が考えられる。また、Zn系における四極子間の相互作用が反強制的であることを考えると、*c-f*混成効果を純粋に議論するには、PrRh<sub>2</sub>Cd<sub>20</sub>の方がより適していることがわかる。

(3-2) そこで PrRh<sub>2</sub>Cd<sub>20</sub>の極低温磁場下輸送係数測定の結果に基づき、*H*//[100], [110], [111]のすべての磁場方向に対する精密な温度-磁場相図を構築した(図3)。その結果、[110]方向の相図の一部を除き、すべての方向で、長距離秩序(四極子秩序)や重い電子状態に対応する領域は明確には見られず、非フェルミ液体的挙動および磁場誘起一重項状態に対応する2つの領域が存在することが明らかとなった(相図中の領域Aは、電気抵抗率が上凸型の温度依存性からわずかにずれる領域を示しており、試料内の不純物や歪みにより非クラマース二重項が僅かに分裂している事に由来していると考えられる)。このように PrRh<sub>2</sub>Cd<sub>20</sub>の相図は、PrPt<sub>2</sub>Cd<sub>20</sub>で見られた比熱に対応する異常がないことを除けば、PrPt<sub>2</sub>Cd<sub>20</sub>と非常によく似ていることが明らかとなった。一方、[110]方向の相図における極低温の中間温度領域でのみ、電気抵抗が温度低下とともに

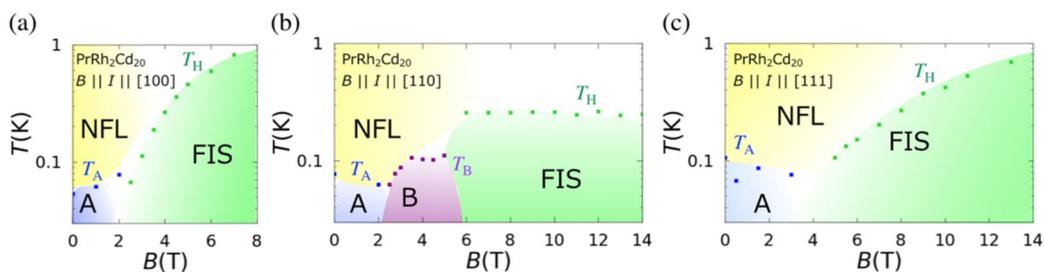


図3 PrRh<sub>2</sub>Cd<sub>20</sub>の温度-磁場相図 (a)*H*//[100], (b)*H*//[110], (c)*H*//[111]。

に増加傾向に転じる異常を示すという特徴が見られた(相図中領域B)。これは、この系のもつ特徴的な異方性が現れた結果で、何らかの電子状態の変化が起きたと考えられるが、現時点でその原因はわかってはいない。

(3-3) さらに *H*//[100], [110], [111]のすべての相図を比較すると大きな異方性があることがわかった。そして我々は、この異方性が、Zn型と同様、非クラマース基底二重項の分裂の大きさ (*H*)で説明できることを見出した。このことから、本研究で扱っている Pr-1-2-20系における特異な電子状態の形成に、非クラマース基底二重項が重要な役割を果たし、そのエネルギースケールが (*H*)で決まっているという、共通した特徴が存在することを明らかに出来た。このことは、本研究の目的である多極子がもたらす電子状態の統一的理解に関する重要な知見である。

一方、非フェルミ液体領域と磁場誘起一重項のクロスオーバー温度 *T<sub>H</sub>*が Zn系では (*H*)<sup>2</sup>に比例しているのに対し、PrRh<sub>2</sub>Cd<sub>20</sub>では (*H*)に比例しているという違いがあることを見出した。こ

れは、Zn系では $T_H$ で四極子近藤効果に由来する非フェルミ液体的挙動からフェルミ液体に変化しているのに対し、 $\text{PrRh}_2\text{Cd}_{20}$ の高磁場領域では四極子近藤効果は抑制され、局在描像に変化していることを示している。

(3-4) そこで局在描像を仮定した結晶場モデルに基づいた電気抵抗率の計算を行い、実験結果と比較した。その結果、高温高磁場領域の電気抵抗率は異方性も含め、この局在描像のモデルでよく説明できることを確認した。それに対して、低温低磁場領域における非フェルミ液体的挙動については、同モデルでは全く説明できないことも明らかとなった。これは、 $c-f$ 混成の弱いCd系においても低温低磁場領域では四極子近藤効果が起きていることを支持する。ここで注目すべきは、 $c-f$ 混成強度が弱いCd系において、明確な長距離秩序が見られていない状況にもかかわらず、四極子近藤効果に由来すると考えられる非フェルミ液体的挙動が見られていることである。これは、従来のスピン自由度が活性な系の電子状態を広く説明するドニアック描像から想定されるRKKY相互作用と近藤効果の競合関係が、本研究で注目している四極子自由度が活性な系におけるRKKY相互作用と近藤効果の競合関係とは異なることを意味している。このことは、本研究で得られた結果が、多極子をもたらす電子状態の理解に従来の考え方は不適であることを示していると同時に、その理解のための考え方において重要な指針を与えている。

#### (4) 高圧下熱電係数測定システムの構築

10 GPa以上の圧力領域、1 K以下の極低温領域で実験可能なシステムにするため小型ブリッジマン型圧力セルを採用し、その圧力セルを用いたシステム開発を行った。その結果、電気抵抗率、ホール係数はもちろんのこと、ゼーベック係数、ネルンスト係数の精密測定が可能なシステムを構築することが出来た。そしてその構築したシステムを用いた実験により、 $\text{Pr}_{1-2-20}$ 系において四極子秩序が圧力により抑制されるとともにゼーベック係数が低温に向かって異常に増強されることを確認した。図4に開発した熱電係数測定用の圧力セルとセル内部の様子を示す。

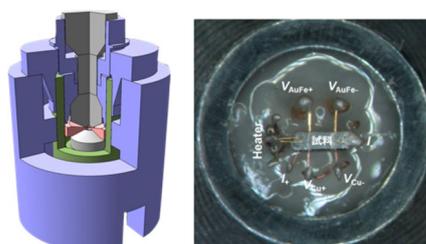


図4 熱電係数測定用の圧力セルとセル内部

#### (5) まとめ

四極子自由度が活性な $\text{Pr}_{1-2-20}$ 系物質 $\text{PrT}_2\text{X}_{20}$ の多重極限下の輸送係数測定を磁場方向を変えて系統的に行い、四極子近藤効果に由来すると考えられる非フェルミ液体状態を含む、多極子自由度に由来した4つの特異な電子状態が存在すること、そしてそれらの電子状態のエネルギースケールの磁場依存性が磁場に関する異方性も含め、非クラマース結晶場基底二重項の分裂の大きさにより整理できることを明らかにした。

さらに、 $c-f$ 混成強度が弱くなると、明確な長距離秩序は見られなくなるのに対し、四極子近藤効果は抑制されるものの、少なくとも低温低磁場領域に存在することがわかった。この結果は、従来のドニアック描像から期待されるRKKY相互作用と近藤効果の競合関係とは異なっている。ドニアック描像は、スピン自由度に由来する系をよく説明し、標準的な考え方といえるほど浸透しているが、この結果は、ドニアック描像を多極子系に単純には適用できないことを示している。

以上のように、本研究成果により、四極子自由度をもたらす電子状態を統一的に理解するための重要な指針となる知見を得ることが出来たと考えている。

新型コロナウイルス感染症拡大による活動制限の影響で、成果発表が遅れている部分があるが、現在、発表に向けて迅速に進めているところである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Machida Yo, Subedi Alaska, Akiba Kazuto, Miyake Atsushi, Tokunaga Masashi, Akahama Yuichi, Izawa Koichi, Behnia Kamran	4. 巻 4
2. 論文標題 Observation of Poiseuille flow of phonons in black phosphorus	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eaat3374
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1126/sciadv.aat3374	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計20件（うち招待講演 3件/うち国際学会 7件）

1. 発表者名 足立涼, 佐賀範彰, 細井優, 下澤雅明, 井澤公一, 町田洋, 広瀬雄介, 土塔寛, 河野琢馬, 摂待力生
2. 発表標題 電気輸送係数からみる非クラマース系PrTr2Cd20(Tr=Pt, Rh)の温度磁場相図
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井澤公一
2. 発表標題 熱伝導率で見た準粒子低エネルギー励起
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中川翔太, 今西優人, 細井優, 多田勝哉, 下澤雅明, 井澤公一, 仲村愛, 本間佳哉, 本多史憲, 青木大
2. 発表標題 輸送測定による重い電子系超伝導体UTe2の電子状態の研究
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今西優人, 中川翔太, 細井優, 多田勝哉, 下澤雅明, 井澤公一, 仲村愛, 本間佳哉, 本多史憲, 青木大
2. 発表標題 熱伝導率の磁場角度依存性から探る新奇ウラン系超伝導体UTe2の超伝導ギャップ構造の研究
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 多田勝哉, 室谷拓海, 細井優, 下澤雅明, 井澤公一, 仲村愛, 本間佳哉, 本多史憲, 青木大
2. 発表標題 強トロイダル秩序候補物質Uni4Bにおける電気磁気効果由来のゼロ磁場Hall効果
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 足立涼, 佐賀範彰, 細井優, 下澤雅明, 井澤公一, 町田洋A, 広瀬雄介, 土塔寛, 河野琢馬, 摂待力生
2. 発表標題 PrTr2Cd20(Tr=Pt, Rh)の電気輸送特性と温度磁場相図
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会(2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中川翔太, 細井優, 今西優人, 多田勝哉, 下澤雅明, 井澤公一, 仲村愛, 本間佳哉, 本多史憲, 青木大
2. 発表標題 熱伝導率の磁場方向依存性からみたUTe2の超伝導状態
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会(2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小江悠達, 細井優, 野村尚也, 下澤雅明, 井澤公一, 星和久, 後藤陽介, 水口佳一
2. 発表標題 BiCh <sub>2</sub> 系超伝導体La <sub>0.5</sub> F <sub>0.5</sub> BiSSeにおける弾性抵抗測定
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会(2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 足立涼, 佐賀範彰, 細井優, 井澤公一, 町田洋, 広瀬雄介, 土塔寛, 摂待力生
2. 発表標題 四極子自由度を持つPrPt <sub>2</sub> Cd <sub>20</sub> におけるホール効果測定」
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Adachi, N. Saga, S. Hosoi, K. Izawa, Y. Machida, Y. Hirose, H. Doto, R. Settai
2. 発表標題 Hall effect of PrPt <sub>2</sub> Cd <sub>20</sub> in the presence of quadrupole degrees of freedom
3. 学会等名 J-Physics 2019 International Conference & KINKEN-WAKATE 2019 Multipole Physics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 足立涼, 佐賀範彰, 細井優, 下澤雅明, 井澤公一, 町田洋, 広瀬雄介, 土塔寛, 河野琢馬, 摂待力生
2. 発表標題 PrTr <sub>2</sub> Cd <sub>20</sub> (Tr=Pt, Rh)の電気輸送特性と温度磁場相図
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井澤公一
2. 発表標題 非クラマース系PrPt <sub>2</sub> Cd <sub>20</sub> の異常なゼーベック係数
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今井智章
2. 発表標題 U <sub>1-x</sub> Th <sub>x</sub> Be <sub>13</sub> に見られる異常な金属状態とその圧力効果
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koichi Izawa
2. 発表標題 Low temperature quasiparticle transport in U-based unconventional superconductors
3. 学会等名 International Workshop on j-ferrnion Physics and Materials (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koichi Izawa
2. 発表標題 Orbital dependent nodal structure of UPt <sub>3</sub> probed by thermal conductivity tensors
3. 学会等名 Plasma2019 workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koichi Izawa
2. 発表標題 Probing non-Fermi-liquid nature by thermoelectric coefficients
3. 学会等名 Conference on Modern Concepts and New Materials for Thermoelectricity (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koichi Izawa
2. 発表標題 Transport properties of the Pr 1-2-20 system
3. 学会等名 International Workshop on Multipole Physics and Related Phenomena (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 J. Ogawa, Y. Machida, K. Izawa, N. Nagasawa, T. Onimaru, and T. Takabatake
2. 発表標題 Hall resistivity of non-Kramers system PrT <sub>2</sub> Zn <sub>20</sub> (T = Ir, Rh)
3. 学会等名 International Workshop on Multipole Physics and Related Phenomena (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Yoshida, Y. Machida, Y. Shimada, N. Nagasawa, T. Onimaru, T. Takabatake, A. Gourgout, A. Pourret, G. Knebel, J-P. Brison, and K. Izawa
2. 発表標題 Dual Nature of f-electrons in the Pr 1-2-20 quadrupolar Kondo system
3. 学会等名 The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小川純平, 町田洋, 井澤公一, 長澤直裕, 鬼丸孝博, 高畠敏郎
2. 発表標題 PrRh <sub>2</sub> Zn <sub>20</sub> の異方的な磁場温度相図と基底状態
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

大阪大学大学院基礎工学研究科井澤研究室 <a href="https://qc.mp.es.osaka-u.ac.jp">https://qc.mp.es.osaka-u.ac.jp</a>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	細井 優  (Hosoi Suguru)  (00824111)	大阪大学・基礎工学研究科・助教   (14401)	
研究分担者	町田 洋  (Machida Yo)  (40514740)	東京工業大学・理学院・助教   (12608)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------