

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 17 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2014～2016

課題番号：26707017

研究課題名(和文)非クラマース系の多極子自由度が誘起する強相関電子現象

研究課題名(英文) Multipole-driven phenomena of strongly correlated electronic states in non-Kramers systems

研究代表者

鬼丸 孝博(Onimaru, Takahiro)

広島大学・先端物質科学研究科・准教授

研究者番号：50444708

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、4f2配位をとるPrイオンを含む非クラマース系の立方晶PrT2Zn20(T=Ir, Rh)に着目し、非磁性の基底二重項で活性となる電気四極子に起因する強相関電子現象について調べた。PrIr2Zn20の大型単結晶を用いた磁場中中性子回折により、四極子秩序の秩序変数を同定した。共存する四極子秩序と超伝導の転移温度のLa置換に対する変化の相関は弱かった。電気抵抗率と比熱の非フェルミ液体的挙動は四極子近藤格子の理論モデルで説明でき、磁場中ではフェルミ液体の基底状態が現れた。これら四極子秩序や超伝導、構造相転移などに関して、同型のPrT2Al20(T=遷移金属)を含めた系統的な解釈を示した。

研究成果の概要(英文)：In the present work, I have focussed on the multipole-driven phenomena in non-Kramers systems PrT2Zn20 (T=Ir, Rh) including the trivalent Pr ion with 4f2 configuration. By means of neutron diffraction experiments in magnetic fields, the order parameter of the quadrupole order in PrIr2Zn20 was determined. La substitution effect on the transition temperatures for the quadrupole order and the superconductivity in PrIr2Zn20 is hardly related. The non-Fermi liquid behaviors of the electrical resistivity and the specific heat can be reproduced by the 2ch Anderson lattice model, suggesting formation of quadrupole Kondo lattice. In magnetic fields at around 5 T applied along the [100] direction, a new type of a Fermi-liquid ground state manifests itself. Moreover, systematic understanding of the quadrupole order, superconductivity, and structural transition in PrT2Zn20 (T=Ir, Rh) and PrT2Al20 (T=Ti, V) were presented.

研究分野：磁性物理学

キーワード：多極子秩序 超伝導 非フェルミ液体 四極子近藤効果 構造相転移

1. 研究開始当初の背景

従来の磁性研究では、スピン自由度の秩序や揺らぎを主に扱ってきたが、近年、電子の軌道あるいは多極子自由度(以下、多極子)の重要性が指摘されている。特に、希土類系の $4f^2$ 配位をとる非クラマース Pr^{3+} イオンを含む化合物では多極子に起因した多彩な物性が見出されており、Pr を内包するスクッテルダイト化合物における重い電子超伝導や多極子物性、ラットリングなどの研究は、磁性とフォノン物性の融合分野を創出した[1]。

申請者らは、Pr 内包カゴ状物質である立方晶 $\text{PrT}_2\text{Zn}_{20}$ ($T: \text{Rh}, \text{Ir}$) に着目し、純良単結晶を作製し、物性測定を行った[2-4]。 $\text{PrT}_2\text{Zn}_{20}$ は、図1に示す立方晶 $\text{CeCr}_2\text{Al}_{20}$ 型構造をとる[5]。Pr サイトの点群は立方晶 T_d であり、Pr だけを抜き出すとダイヤモンド構造と等価となる。三価の Pr イオンは 16 個の Zn 原子のカゴに囲まれているため、Pr 充填スクッテルダイトと同様に、結晶場効果が弱く、 $4f^2$ 電子と伝導電子の混成は多くの混成パスによって増強されることが期待された。 Pr^{3+} イオンの結晶場基底状態は、磁気モーメントをもたず多極子が活性な非磁性二重項である[6]。申請者らは、 $\text{PrT}_2\text{Zn}_{20}$ ($T=\text{Ir}, \text{Rh}$) において、電気四極子が交替的に整列する反強四極子秩序 (AFQ) を見出した[3,4]。さらに、AFQ 相内で超伝導が発現することを明らかにし、四極子揺らぎを媒介とする新しいタイプの超伝導機構を提案した[2-4]。

また、 $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$ の電気抵抗率は $T > T_Q$ の比較的広い温度範囲において上凸の NFL 的な温度依存性を示す。さらに、AFQ 秩序が磁場で壊れる 5 T 付近において熱電能の異常な増大や弾性定数のソフト異常、メタ磁性が観測され、四極子の関与が示唆された。このように、 $\text{PrT}_2\text{Zn}_{20}$ ($T=\text{Ir}, \text{Rh}$) の系では、四極子と伝導電子の相互作用に起因すると思われる現象が次々に見出され、これらに対する元素置換や磁場による効果や微視的測定による研究が待たれていた。

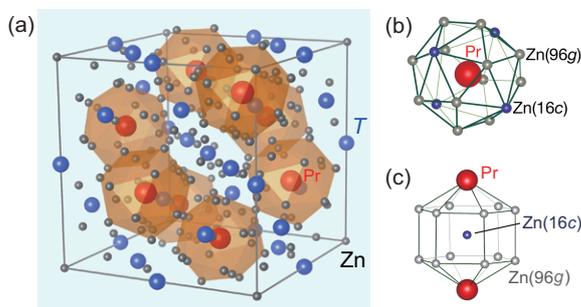


図1. (a) $4f^2$ 配位の Pr^{3+} を含む $\text{PrT}_2\text{Zn}_{20}$ ($T: \text{Ru}, \text{Os}, \text{Rh}, \text{Ir}$) の結晶構造。 (b) Pr を 16 個の Zn のカゴが内包する。 (c) 16c サイトの Zn が 2 個の Pr と 12 個の Zn(96g) に囲まれる。

2. 研究の目的

非クラマース系の $4f^2$ 配位をとるカゴ状物質 $\text{PrT}_2\text{Zn}_{20}$ ($T: \text{Rh}, \text{Ir}$) に着目し、四極子に起因する相転移や強相関電子現象について調べる。元素置換や磁場により超伝導や四極子秩序を制御し、それらの相関ならびに基底状態の変化について明らかにする。また、大型単結晶を作製し、磁場中中性子散乱実験により四極子秩序相での秩序変数を同定する。さらにフォノン分散について調べ、構造相転移と低エネルギーフォノンの相関について明らかにする。マイクロ・マクロ両面の測定手法を駆使し、これら多極子に起因する現象の特異性と普遍性を捉える。

3. 研究の方法

(1) $4f^2$ 配位をとる $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$ の Pr サイトを非磁性の La で置換し、超伝導転移温度 T_c と四極子秩序温度 T_Q の変化を調べる。また、これらの超伝導特性を比較し、超伝導に対する $4f^2$ 電子の寄与を捉える。

(2) $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$ において見出された電気抵抗率と比熱の NFL 的挙動に対する磁場の効果を調べる。NFL 的挙動が四極子による近藤効果によるものであれば、磁場ともに特性温度が変化することが期待出来る。また、AFQ 秩序が消失する磁場 $B = 5$ T 近傍で電気抵抗率と比熱を詳細に測定し、弾性定数やゼーベック係数の異常に伴う変化を捉える。

(3) $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$ の AFQ 秩序の秩序構造に関する微視的な情報はまだない。大型単結晶を用いた磁場中での中性子回折実験を行い、磁場誘起の反強磁性成分を観測し、秩序変数を同定する。

(4) $\text{PrT}_2\text{X}_{20}$ ($X: \text{Al}, \text{Zn}$) では、共通した現象が見出されている。そこで、比較的研究データが得られている $\text{PrT}_2\text{Zn}_{20}$ ($T: \text{Ir}, \text{Rh}$) と $\text{PrT}_2\text{Al}_{20}$ ($T: \text{Ti}, \text{V}$) の 4 つの系に絞って相違点をまとめ、四極子に起因する諸物性に対する系統的な理解を目指す。

(5) $\text{RRu}_2\text{Zn}_{20}$ ($R=\text{La}, \text{Pr}$) で見出された構造相転移に関して、比熱測定と非弾性 X 線散乱実験によりフォノン分散について調べる。第一原理計算から指摘されている Zn 原子の低エネルギーフォノンについて調べ、構造相転移との関係を明らかにする。

4. 研究成果

(1) $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$ の超伝導特性ならびに超伝導転移と四極子秩序に対する La 置換効果

$\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$ は $T_c=0.05$ K で超伝導転移を示す[2,3]。磁場中での電気抵抗と比熱の測定より、超伝導臨界磁場の温度依存性を調べ、 $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$ の有効質量を $22m_0$ と見積った[7]。これが非磁性の $\text{LaIr}_2\text{Zn}_{20}$ より 2 倍以上大きいことから、 $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$ の超伝導には、 $4f$ 電子と伝導電子の混成効果により重くなった電子が関与していると考えられる。また、 $T < T_Q$ で超伝導を示すこと、および T_Q でのエントロピーが基底 Γ_3 二重項の秩序から期待される

Rln2 の 20%しかないという事実から、四極子揺らぎによる超伝導対形成の可能性を提案した。

また、超伝導と四極子秩序の関係を調べるために、Pr サイトを 4f 電子のない非磁性の La で希釈した $\text{Pr}_{1-x}\text{La}_x\text{Ir}_2\text{Zn}_{20}$ ($0 \leq x \leq 1$) を作製し、その電気抵抗率、磁化、比熱を測定した [7]。希釈により Pr 原子間の平均距離は長くなるので、Pr の四極子間の相互作用は弱まり、 T_Q は低下すると予想された。 T_Q は La 置換量 x の増加とともに低下し、 $x = 0.09$ では 0.07 K 以下に下がる。この AFQ 秩序の抑制は、La 置換によって生じた歪みで基底二重項の縮退が解け、四極子自由度が消失することに起因している。また、電気抵抗率の測定から、すべての置換量で超伝導転移が確認された。 T_c は $x \leq 0.47$ まで殆ど変化せず、 $x > 0.47$ で大きく上昇する。このような La 置換に対する T_c と T_Q の相反する振る舞いは、両者の相関が弱いことを示している。一方、La 置換に対して鈍感な T_c の振る舞いは、重い電子系超伝導体 $\text{PrOs}_4\text{Sb}_{12}$ の合金系 $\text{Pr}_{1-x}\text{La}_x\text{Os}_4\text{Sb}_{12}$ とよく類似していることから、非 BCS 型の超伝導対形成の可能性を指摘した。

(2) 比熱と電気抵抗率の非フェルミ液体的挙動: 四極子近藤格子形成の可能性

f^2 配位の非クラマース二重項では、伝導電子が四極子を過剰遮蔽する四極子近藤効果が

が発現し、各種物理量の非フェルミ液体的挙動と残留エントロピーの存在が理論的に予測された [8]。これを確かめるために、 $5f^2$ 配位の希薄 U 系で、電気抵抗率、比熱、磁化率等で非フェルミ液体的挙動が観測され、不純物四極子近藤効果の可能性が議論されたが、実験的な確証には至っていない [9]。一方、 $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$ では、 $T > T_Q$ の比較的広い温度範囲において電気抵抗率の上凸の温度依存性が現れ、ほぼ同じ温度領域で磁気比熱 C_m/T は $-\ln T$ 依存性を示す [10]。磁場中でのこれらの温度変化をある特性温度でスケールすると、広い範囲で同じ曲線にのる。この温度依存性は、2 チャンネルアンダーソン格子モデルによる理論計算と符合し、四極子近藤格子の形成を示唆する [10,11]。さらに、四極子秩序が消失する [100] 方向の磁場 5 T の T^* 付近で、新たなクロスオーバーが見出された [10]。(図 2 を参照) $T < T^*$ で電気抵抗率は T^2 に比例し、その A 係数が 5 T 付近で大きくなると同時に、磁気比熱 C_m/T やゼーベック係数 S/T も同様に増大することは、フェルミ液体 (重い電子) 状態の特徴である。微視的にどのような基底状態が実現しているかについては、四極子近藤格子における動的平均場計算から予測されている、2 つの伝導チャンネルの片方が四極子と結合する複合秩序 [12] の可能性もある。

(3) $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$ の AFQ 相の秩序変数

ブリッジマン法により作製した大型の単結晶試料に対して、フランス Laboratoire Léon Brillouin の熱中性子回折装置 6T2 で磁場誘起磁気反射を観測する実験を行った。超伝導マグネット付き希釈冷凍機を用い、温度範囲は 0.04-0.18 K、磁場は結晶軸 [1-10] 方向に 0-5 T の範囲でかけた。 $T=0.05$ K、 $B=5$ T において、散乱ベクトル $Q = (0.5, 0.5, 1.5)$ でブラッグピークが出現した [13]。このピークはゼロ磁場では消失する。このピーク強度は磁場とともに増大し、また $B=5$ T では $T > 0.12$ K において消失する。ピークが観測される温度-磁場領域は、比熱で決定した AFQ 秩序の領域とほぼ合致する [2]。このほか、核散乱ピークに重なった強磁性成分とともに、いくつかの磁場誘起反射を観測した。波数ベクトル $k = (1/2, 1/2, 1/2)$ の磁場誘起反強磁性をとともなう長距離秩序が結論でき、 $\text{PrT}_2\text{X}_{20}$ 系における AFQ 秩序に伴う長周期秩序が初めて微視的に実証された。反強磁気反射の消滅則を満たす単位胞は立方相の [111] 軸を c 軸とする六方晶であると考えられる。秩序変数に関しては、基底二重項における四極子 O_2^0 あるいは O_2^2 の秩序が考えられる。しかしこれらの単純な反強磁的秩序から予想される磁場誘起磁気構造では、観測した磁気回折強度の Q 依存性は説明しきれない。基底二重項の八極子 T_{xyz} などの複数の多極子が、秩序構造に寄与する可能性が考えられる。

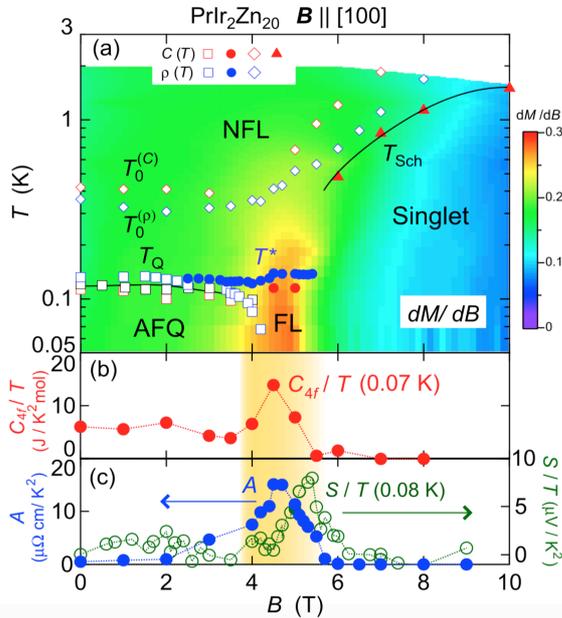


図 2. (a) 非クラマース系 $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$ の温度・磁場相図 [10]。コンター図は、磁化の磁場微分 dM/dB の値を示す (右の強度軸を参照)。AFQ は反強四極子秩序、FL はフェルミ液体、NFL は非フェルミ液体を表す。 T_Q は四極子秩序温度、 T_0 は NFL の特性温度。(b) 比熱の 4f 電子の寄与を温度で割った C_{4f}/T 、(c) 電気抵抗率の A 係数とゼーベック係数 S/T の磁場依存性。

(4) $\text{PrT}_2\text{X}_{20}$ ($X: \text{Al}, \text{Zn}$)の四極子に起因する諸物性に対する系統的な理解

四極子が関与するもっとも典型的な現象が、四極子秩序である。 $\text{PrT}_2\text{Zn}_{20}$ ($T=\text{Ir}, \text{Rh}$)と $\text{PrV}_2\text{Al}_{20}$ では、非磁性二重項の四極子が交替的に並ぶ反強四極子秩序を、また $\text{PrTi}_2\text{Al}_{20}$ は強四極子秩序を示す。[2-4, 14, 15] さらにこれらの系では、四極子秩序温度より低温で超伝導転移が起こる。図3に、超伝導転移温度 T_c と四極子秩序温度 T_Q を、結晶場基底状態と第一励起状態のエネルギー差 Δ に対してプロットした[16]。 Δ に対して、 T_c と T_Q は左側のZn系から右側のAl系にむかって直線的に上昇しており、これらの系に特徴的なエネルギースケールが存在することを示唆する。Al系の電気抵抗率は $T > 70 \text{ K}$ で $-\ln T$ に従い、励起三重項の磁気自由度による近藤効果を示す。また、Al系のゼーベック係数 S/T はZn系よりも1桁以上大きい。これらを考慮すると、 $4f^2$ 電子と伝導電子の混成強度も図3の左から右に向かって増大すると予想され、これらの系の四極子と伝導電子の相互作用による物性を系統的に理解する上で重要な知見を与える。これらの成果をJ. Phys. Soc. Jpn.の招待レビュー論文としてまとめた[16]。

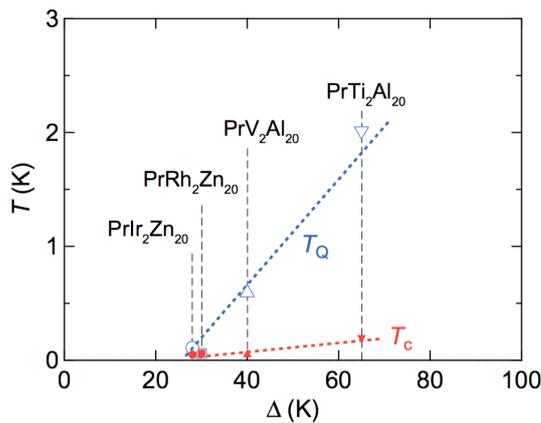


図3. $\text{PrT}_2\text{Zn}_{20}$ ($T = \text{Rh}, \text{Ir}$)と $\text{PrT}_2\text{Al}_{20}$ ($T = \text{Ti}, \text{V}$)の四極子秩序と超伝導の転移温度 T_Q , T_c と結晶場第一励起準位のエネルギーの関係[16]。

(5) Zn原子の低エネルギーフォノンと構造相転移の関係

第一原理計算から予言されたZn原子の低エネルギー振動を実験的に観測するため、非弾性X線散乱(IXS)、ラマン散乱、比熱測定、単結晶X線構造解析を行った[17]。それらの結果をもとに、この系で観測されている構造相転移とZn原子の振動の相関について調べた。図4に示すように、 $T_S = 150 \text{ K}$ で構造相転移を示す $\text{LaRu}_2\text{Zn}_{20}$ の格子比熱の解析から、Einstein温度を35 Kと82 Kと見積った。IXS実験により、[110]方向の横波モードでは7 meV付近で、また[111]方向の縦波モードでは3 meVにおいて分散の小さなフォノンモードを観測し、後者のモードをラマン散乱で

確認した。第一原理計算による結果との比較から、3 meVのフォノンモードはZn(16c)の大振幅振動によるものであると同定した。

また、構造相転移を示さない $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$ のIXS実験により、Zn(16c)のフォノンモードのエネルギーが7 meVに上昇していることを見出した。この上昇は、 $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$ の格子定数が $\text{RRu}_2\text{Zn}_{20}$ ($R = \text{La}, \text{Pr}$)よりも小さいためであると考察した。一連の $\text{RT}_2\text{Zn}_{20}$ ($T = \text{Ru}, \text{Ir}$)の格子定数と構造相転移温度 T_S の関係について整理し、室温での格子定数が 14.3 \AA より大きい場合に構造相転移が起こることを指摘した[18]。

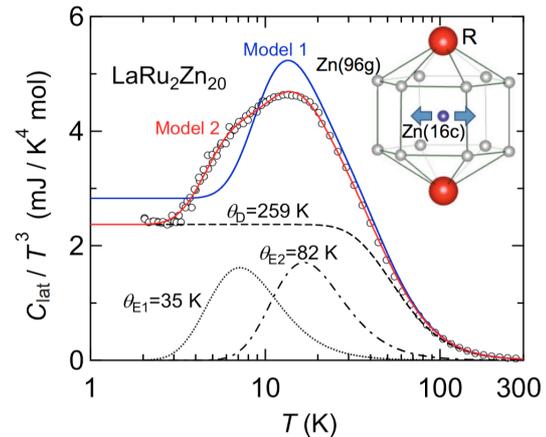


図4. 非磁性 $\text{LaRu}_2\text{Zn}_{20}$ の格子比熱。2つのアインシュタイン振動子($\theta_{E1} = 35 \text{ K}$, $\theta_{E2} = 82 \text{ K}$)を考慮したModel2でよく再現できる[17]。 $\theta_{E1} = 35 \text{ K}$ の振動モードは、非弾性X線散乱でも観測され、16cサイトのZn原子の低エネルギーフォノンによる。

引用文献

- [1] H. Sato *et al.*, *Handb. Magn. Mater.* **18**, 1 (2009).
- [2] T. Onimaru *et al.*, *JPSJ* **79**, 033704 (2010).
- [3] T. Onimaru *et al.*, *PRL* **106**, 177001 (2011).
- [4] T. Onimaru *et al.*, *PRB* **86**, 184426 (2012).
- [5] T. Nasch *et al.*, *Z. Naturforsch. B* **52**, 1023 (1997).
- [6] K. Iwasa *et al.*, *JPSJ* **82**, 043707 (2013).
- [7] K. T. Matsumoto *et al.*, *JPSJ* **84**, 063703 (2015).
- [8] D. L. Cox and Z. Zawadowski, *Adv. Phys.* **47**, 599 (1998).
- [9] G. R. Stewart, *Rev. Mod. Phys.* **73**, 797 (2001).
- [10] T. Onimaru *et al.*, *PRB* **94**, 075134 (2016).
- [11] A. Tsuruta and K. Miyake, *J. Phys. Soc. Jpn.* **84**, 114714 (2015).
- [12] S. Hoshino *et al.*, *PRL* **107**, 247202 (2011).
- [13] K. Iwasa *et al.*, *Phys. Rev. B* **95**, 155106 (2017).
- [14] A. Sakai *et al.*, *JPSJ* **81**, 083702 (2012).
- [15] M. Tsujimoto *et al.*, *PRL* **113**, 267001 (2014).
- [16] T. Onimaru and H. Kusunose, *J. Phys. Soc. Jpn.* **85**, 082002 (2016).
- [17] K. Wakiya *et al.*, *PRB* **93**, 064105 (2016).
- [18] K. Wakiya *et al.*, *JPSJ* **86**, 034707 (2017).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 26 件) すべて査読あり

1. T. Yoshida, Y. Machida, K. Izawa, Y. Shimada, N. Nagasawa, T. Onimaru, T. Takabatake, A. Gourgout, A. Pourret, G. Knebel, and J.-P. Brison, "Anisotropic B-T Phase Diagram of Non-Kramers System $\text{PrRh}_2\text{Zn}_{20}$ ", *J. Phys. Soc. Jpn.* **86**, 044711 (2017). DOI: 10.7566/JPSJ.86.044711
2. K. Wakiya, T. Onimaru, K. T. Matsumoto, Y. Yamane, N. Nagasawa, K. Umeo, S. Kittaka, T. Sakakibara, Y. Matsushita, and T. Takabatake, "Structural, Magnetic, and Superconducting Properties of Caged Compounds $\text{ROs}_2\text{Zn}_{20}$ (R = La, Ce, Pr, and Nd)", *J. Phys. Soc. Jpn.* **86**, 034707 (2017). DOI: 10.7566/JPSJ.86.034707
3. T. Onimaru, K. Izawa, K. T. Matsumoto, T. Yoshida, Y. Machida, T. Ikeura, K. Wakiya, K. Umeo, S. Kittaka, K. Araki, T. Sakakibara, and T. Takabatake, "Quadrupole-Driven Non-Fermi Liquid and Magnetic-Field Induced Heavy Fermion States in a Non-Kramers Doublet System", *Phys. Rev. B* **94**, 075134-1-8 (2016). DOI: 10.1103/PhysRevB.94.075134
4. T. Onimaru and H. Kusunose, "Exotic Quadrupolar Phenomena in Non-Kramers Doublet Systems—The Cases of $\text{PrT}_2\text{Zn}_{20}$ (T = Ir, Rh) and $\text{PrT}_2\text{Al}_{20}$ (T = V, Ti) —", *J. Phys. Soc. Jpn.* **85**, 082002-1-22 (2016). DOI: 10.7566/JPSJ.85.082002
5. I. Ishii, H. Goto, S. Kamikawa, S. Yasin, S. Zherlitsyn, J. Wosnitza, T. Onimaru, K. T. Matsumoto, T. Takabatake, and T. Suzuki, "Exotic Ground State and Elastic Softening under Pulsed Magnetic Fields in $\text{PrTr}_2\text{Zn}_{20}$ (Tr = Rh, Ir)", *J. Phys. Soc. Jpn.* **85**, 043601-1-4 (2016). DOI: <http://dx.doi.org/10.7566/JPSJ.85.043601>,
6. T. Onimaru, K. Uenishi, Y. Yamane, K. Wakiya, K. T. Matsumoto, K. Umeo and T. Takabatake, "Effect of Ga Substitution on the Γ_3 Doublet Ground State in $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$ ", *J. Phys.: Conf. Series* **683**, 012011/1-7 (2016). DOI: 10.1088/1742-6596/683/1/012011
7. K. Wakiya, T. Onimaru, S. Tsutsui, T. Hasegawa, K. T. Matsumoto, N. Nagasawa, A. Q. R. Baron, N. Ogita, M. Udagawa, T. Takabatake, "Low-energy optical phonon modes in the caged compound $\text{LaRu}_2\text{Zn}_{20}$ ", *Phys. Rev. B* **93**, 064105/1-6 (2016). DOI: 10.1103/PhysRevB.93.064105
8. K. Wakiya, K. T. Matsumoto, T. Onimaru, K. Umeo, T. Takabatake, "Ferromagnetic transition in a caged compound $\text{NdOs}_2\text{Zn}_{20}$ ", *Phys. Procedia* **75**, 511-515, 2015. DOI: 10.1016/j.phpro.2015.12.064
9. K. T. Matsumoto, T. Onimaru, K. Wakiya, K. Umeo, T. Takabatake, "Effect of La substitution in $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$ on the superconductivity and antiferro-quadrupolar order", *J. Phys. Soc. Jpn.* **84**, 063703/1-4 (2015). DOI: 10.7566/JPSJ.84.063703
10. H. Kusunose and T. Onimaru, "Competition between Quadrupole and Magnetic Kondo Effects in Non-Kramers Doublet Systems", *J. Phys.: Conf. Series* **592**, 012099 (2015). DOI: 10.1088/1742-6596/592/1/012099
11. K. Wakiya, T. Onimaru, S. Tsutsui, K. T. Matsumoto, N. Nagasawa, A. Q. R. Baron, T. Hasegawa, N. Ogita, M. Udagawa and T. Takabatake, "Interplay between low-energy optical phonon modes and structural transition in $\text{PrT}_2\text{Zn}_{20}$ (T=Ru and Ir)", *J. Phys.: Conf. Series* **592**, 012024 (2015). DOI: 10.1088/1742-6596/592/1/012024
12. K. Wakiya, T. Onimaru, S. Tsutsui, K. T. Matsumoto, N. Nagasawa, A. Q. R. Baron, T. Hasegawa, N. Ogita, M. Udagawa, T. Takabatake, "Atomic Dynamics and Structural Transitions in Caged Compounds $\text{RRu}_2\text{Zn}_{20}$ (R = La and Pr)", *JPS Conf. Proc.* **3**, 011068-1-5 (2014). DOI: 10.7566/JPSCP.3.011068
13. Y. Shimada, N. Nagasawa, T. Onimaru, K. T. Matsumoto, K. Umeo, T. Takabatake, "Suppression of Superconductivity in $\text{PrRh}_2\text{Zn}_{20}$ by the Substitution of Co for Rh" *JPS Conf. Proc.* **3**, 011042 (2014). DOI: 10.7566/JPSCP.3.011042
14. K. T. Matsumoto, T. Onimaru, Y. Obayashi, N. Nagasawa, K. Wakiya, K. Umeo, R. Tamura, K. Nishimoto, T. Takabatake, "La Substitution Effect on Superconducting Transition and Doublet Ground State in $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$ ", *JPS Conf. Proc.* **3**, 011039-1-5 (2014). DOI: 10.7566/JPSCP.3.011039

他 12 件

〔学会発表〕(計 67 件)

1. 山田怜志, 鬼丸孝博, 上西和登, 山根悠, 脇舎和平, 松本圭介, 梅尾和則, 高島敏郎, "PrIr₂Zn₂₀ の非フェルミ液体的挙動に対する Zn サイト置換効果", 日本物理学会 2017 年春季大会, 大阪大学 豊中キャンパス, 2017 年 3 月 17-20 日.
2. 山根悠, 上西和登, 脇舎和平, 松本圭介, 鬼丸孝博, 梅尾和則, 高島敏郎, "Pr 希薄系 Y_{1-x}Pr_xIr₂Zn₂₀ (x ≤ 0.05) の非フェルミ液体的挙動に対する磁場効果", 日本物理学会 2017 年春季大会, 大阪大学 豊中キャンパス, 2017 年 3 月 17-20 日.

3. 鬼丸孝博, "非磁性基底二重項をもつ $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$ の温度・磁場相図", 第二回強相関電子系研究会, 島根大学 (島根県松江市), 2016年9月23日.
 4. T. Onimaru, "Quadrupole-driven exotic phenomena in non-Kramers doublet systems" (Invited), 13th German-Japanese symposium: Effects of Parity Mixing in Correlated Electron Systems, Sapporo, Hokkaido, 27 September 2016.
 5. 鬼丸孝博, "4f² 配位をとる Pr 化合物の多極子自由度と超伝導" (シンポジウム講演), 2016年度応用物理・物理系学会中国四国支部 合同学術講演会, 岡山大学 (岡山県岡山市), 2016年7月31日.
 6. 鬼丸孝博, "4f² 系の非クラマース二重項を舞台としたエキゾチック多極子物性", 新学術領域「J-Physics: 多極子伝導系の物理」平成 28 年度全体会議, 北海道大学 (北海道札幌市), 2016年5月26日-28日
 7. T. Onimaru, "Quadrupole-Driven Non-Fermi Liquid Behaviors in Pr 1-2-20 System", J-Physics: Mini International Workshop: "Physics of Strongly Correlated Electron Systems under Extreme Conditions", Rokkodai Campus, Kobe University (Kobe, Hyogo), 13-14 April, 2016.
 8. 鬼丸孝博, "多極子が活性となる 4f² 配位系の探索", 新学術領域第 1 回トピカル会議「J-Physics が目指す物質開発」, 岡山大学 (岡山県岡山市), 2016年1月9日.
 9. T. Onimaru, K. T. Matsumoto, K. Wakiya, K. Uenishi, K. Umeo, and T. Takabatake (Invited), "Non-Fermi Liquid Behaviors in a Non-Kramers 4f² System $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$ ", TMU International Symposium 2015 "New Quantum Phases Emerging from Novel Crystal Structure", Minami-Osawa Campus, Tokyo Metropolitan University (Hachioji, Tokyo), September 24-25, 2015.
 10. 鬼丸孝博, "非クラマース 4f² 配位系における非フェルミ液体的挙動と四極子近藤効果" (シンポジウム講演), 日本物理学会 2015 年秋季大会, 関西大学千里山キャンパス (大阪府吹田市), 2015年9月16日-19日.
 11. 鬼丸孝博, "4f 電子系の電気四極子が誘起する多彩な物性", 新学術領域「J-Physics: 多極子伝導系の物理」キックオフミーティング, 神戸大学統合研究拠点コンベンションホール (兵庫県神戸市), 2015年9月14日-15日.
 12. 鬼丸孝博, "レアアース化合物の電気四極子が誘起する多彩な相転移", 2015 年度 応用物理・物理系学会中国四国支部 合同学術講演会, 徳島大学 (徳島県徳島市), 2015年8月2日
 13. T. Onimaru, K. Uenishi, K. T. Matsumoto, K. Wakiya, K. Umeo, T. Takabatake, "Non-Fermi liquid behaviors in $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$: Effect of Ga substitution", International Conference on Magnetism (ICM) 2015, Barcelona, Spain, 5-10 July 2015.
 14. 鬼丸孝博, "Pr1-2-20 系の非磁性基底二重項を舞台とした多彩な強相関電子物性", 研究会「局所多自由度の相関が創出する新物性」, 愛媛大学理学部 (愛媛県松山市), 2015年2月2-3日.
 15. 鬼丸孝博, "Pr1-2-20 系における多極子自由度が誘起する多彩な強相関電子物性", 東京大学物性研究所短期研究会, 東京大学物性研究所 (千葉県柏市), 2014年10月10-12日
 16. 鬼丸孝博, 松本圭介, 梅尾和則, 橘高俊一郎, 荒木幸治, 榊原俊郎, 高島敏郎, "非磁性基底二重項をもつ $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$ の磁場中比熱測定による四極子近藤効果の検証", 日本物理学会 2014 年秋季大会, 中部大学春日井キャンパス (愛知県春日井市), 2014年9月7-10日.
 17. T. Onimaru, "Quadrupolar ordered phases in a Pr-based superconductor $\text{PrT}_2\text{Zn}_{20}$ (T=Rh, Ir)" (invited), 13th German-Japanese symposium, Ringberg, Germany, 13-16 July 2014.
 18. T. Onimaru, K. T. Matsumoto, K. Umeo, S. Kittaka, T. Sakakibara, T. Takabatake, "Magnetic field induced quantum critical phenomena in a non-Kramers doublet system $\text{PrIr}_2\text{Zn}_{20}$ ", International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES2014), Grenoble, France, 7-11 July 2014.
 19. T. Onimaru, "Quadrupolar ordered phases in a Pr-based superconductor $\text{PrT}_2\text{Zn}_{20}$ (T=Rh, Ir)" (invited), New Horizon of Strongly Correlated Physics (NHSCP2014), Kashiwa, Chiba, 25-27 June 2014.
- 他 48 件
- [その他]
ホームページ等
<http://home.hiroshima-u.ac.jp/adsmmag/>
6. 研究組織
(1)研究代表者
鬼丸 孝博 (ONIMARU TAKAHIRO)
広島大学・大学院先端物質科学研究科・准教授
研究者番号：50444708