

平成 21年 6月 5日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）

研究期間：2007～2008

課題番号：19840017

研究課題名（和文）複合極限環境下におけるイッテルビウム化合物の磁気量子臨界現象の研究

研究課題名（英文）Quantum criticality in Yb-based heavy fermion compounds under pressure

研究代表者

氏名（アルファベット）松林 和幸 (MATSUBAYASHI KAZUYUKI)

所属機関・所属部局名・職名 東京大学・物性研究所・助教

研究者番号 10451890

研究成果の概要：

物質の新機能・新物性を探索する手段として圧力・磁場・温度をコントロールパラメーターとした多重極限環境下での物性測定が注目を集めている。最近、圧力を印加することによって磁気秩序が絶対零度において消失する、いわゆる量子臨界点近傍においてエキゾチックな超伝導を示すことが数多く報告されている。しかし、複合極限環境下での物性測定の困難さのため、その本質は解明されていない。本研究では、高圧下においても熱力学的物理量の詳細な温度依存性が観測可能となる装置の開発を行い、イッテルビウム系化合物における磁気量子臨界現象に関わる電子状態の解明をめざした研究を行った。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,350,000	0	1,350,000
2008年度	1,350,000	405,000	1,755,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,700,000	405,000	3,105,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物性

キーワード：重い電子系、量子臨界現象、高圧、低温、磁性

## 1. 研究開始当初の背景

最近、重い電子系化合物において、圧力を印加することによって磁気秩序が絶対零度において消失する、いわゆる量子臨界点近傍においてエキゾチックな超伝導を示すことが数多く報告されている。しかし、複合極限環境下での物性測定の困難さのため、Ce系及びYb系物質の量子臨界現象の本質は解明されていないという問題点があった。Ce系と比較するとYb系化合物の研究例は少なく、

系統的な研究が可能な典型物質が必要とされていた。

## 2. 研究の目的

本研究では、高圧下で圧力誘起磁気秩序相の出現が期待できる重い電子系新物質  $\text{YbT}_2\text{Zn}_{20}$  (T=Fe, Co, Ru, Rh, Os, Ir) に着目し、高圧力をコントロールパラメータとした物性研究を行った。特に興味深い物性を示す

YbCo<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub> に対しては、その磁場効果も含めて集中的な研究を行った。そして、従来の Ce 系化合物に対する研究との比較を行うことにより、強相関電子系における極限環境下において発現する新規な現象としての理解を深めることを目標とした。

### 3. 研究の方法

本研究では、これまで高圧下物性測定において不得手とされてきた比熱測定法の開発及び精密化に焦点を絞り、熱力学的物理量の詳細な温度依存性を測定することで、磁気量子臨界現象に関わる電子状態の解明を目指した。図1に示すようなマイクロセルを用いることで、バックグラウンドの熱容量を精密に評価し、比熱の絶対値も含めた精度の高い測定を約2GPaという高圧まで測定することに成功した。

圧力発生方法としては、比熱測定に用いたピストンシリンダーセルに加えて、10 GPa程度の超高圧が発生可能なキュービックアンビルセルを用いた。その結果、高い静水圧下での実験が可能となり、圧力の質に敏感な強相関係物質の本質的な物性を引き出す事が可能となった。

また、より低温域での測定が可能となるように、<sup>3</sup>He クライオスタットに搭載可能な小型キュービックアンビルセルの開発も行った。さらに圧力効率を向上させるための工夫として、従来とは異なる材質のガスケットを作成したところ、12 GPa までの圧力発生にも成功した。

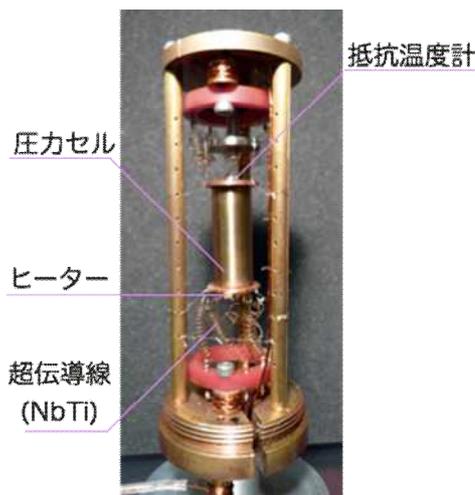


図1 高圧下比熱用マイクロセル

### 4. 研究成果

単結晶育成に成功した重い電子系物質

YbCo<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub> に対して高圧下物性測定を行った。その結果、約1 GPaにおいて圧力誘起磁気秩序相の存在を初めて見いだした(図2参照)。また、電気抵抗や比熱の温度依存の詳細な解析から、臨界圧力付近において非フェルミ液体的な振る舞いを示すことがわかった。また、YbCo<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub> は圧力のみならず、磁場印可によっても相転移を示すことを新たに見いだした(図3参照)。但し、磁場誘起相の起源が磁気相転移によるものか否かに関しては明確な結論が得られていない。この系におけるエンハンスされた重い電子状態を示す原因としては、常圧・ゼロ磁場において既に圧力・磁場の外場によって制御される相転移点近傍に位置していることが考えられる。さらに特筆すべき点としては、YbCo<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub> の臨界圧力はわずか1 GPaと従来の圧力誘起磁気秩序を示すイテルビウム系化合物の臨界圧力と比べて格段に小さいことがあり、今後より詳細な研究が行われると期待される。

遷移金属サイトが異なる YbIr<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub>、YbRh<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub> に関しては、10 GPa 程度の高圧までの電気抵抗測定を行った。その結果、約3 GPa 付近に磁気臨界圧力が存在することを示唆する実験結果を得た。これらの系統的な研究により、近藤効果に対応したエネルギースケールと磁気秩序相が出現する臨界圧力との間に相関があることを見いだした。

さらに、低温物性がほとんど調べられていなかった重い電子系物質 YbPtSb に関しては、約400mKの低温で磁気秩序を示すこと、また磁気秩序状態はわずか1 T以下の磁場印可により消失することを明らかにした。

以上の結果は、国内外の学会において発表を行い、その一部に関しては論文としてまとめた。

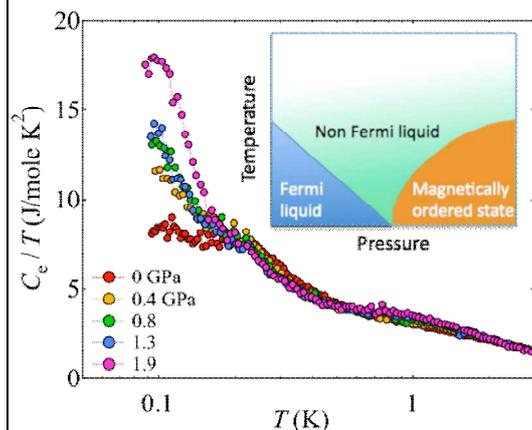


図2 重い電子系物質 YbCo<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub> の高圧下比熱測定結果

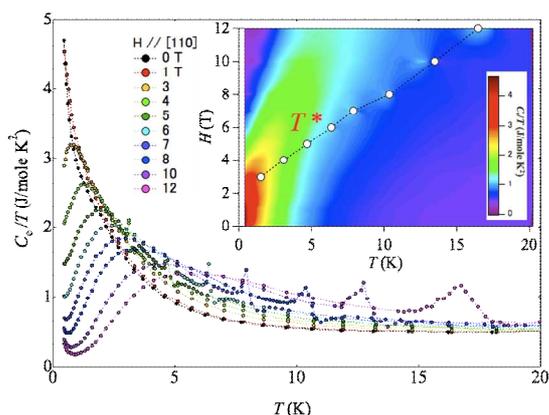


図3 重い電子系物質 YbCo<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub> の磁場中比熱測定結果

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 4 件)

K. Matsubayashi, Y. Saiga, T. Matsumoto and Y. Uwatoko

“Fermi-liquid properties of the heavy fermion systems YbT<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub> (T = Ir, Rh and Co) under pressure”

J. Phys.: Conf. Ser. (査読有) **150** (2009) 042117 (4 pages)

Y. Saiga, K. Matsubayashi, T. Fujiwara, T. Matsumoto, M. Kosaka, S. Katano and Y. Uwatoko

“Magnetoresistivity of YbCo<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub> at low temperature”

J. Phys.: Conf. Ser. (査読有) **150** (2009) 042168 (4 pages)

Y. Saiga, K. Matsubayashi, T. Fujiwara, M. Kosaka, S. Katano, M. Hedo, T. Matsumoto, and Y. Uwatoko

“Pressure-induced Magnetic Transition in a Single Crystal of YbCo<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub>”

Journal of the Physical Society of Japan (査読有) **77** (2008) 053710 (4 pages)

K. Imura, K. Matsubayashi, H. S. Suzuki, K. Deguchi and N. K. Sato

“Pressure and magnetic field effect on transport gap of black SmS”

J. Phys.: Conf. Ser. (査読有) **121** (2008) 032014 (4 pages)

[学会発表](計 11 件)

水戸毅, 中川原圭太郎, 小山岳秀, 上田光一, 小原孝夫, 松林和幸, 才賀裕太, 上床美也

“重い電子系 YbCo<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub> の NMR/NQR”  
日本物理学会 2009年3月30日 立教大学

宗像孝司, 松林和幸, 鈴木博之, 山田篤, 松本武彦, 上床美也

“重い電子系 YbPtSb の高圧下物性測定”  
日本物理学会 2009年3月27日 立教大学

上床美也, 松林和幸, 山田篤, 宗像孝司, 松本武彦, 石本英彦, 辺土正人, 藤原哲也, 鍵裕之

“Palm Cubic Anvil 圧力発生装置の開発 (5)”  
日本物理学会 2009年3月27日 立教大学

松林和幸, 山田篤, Chandreyee Ganguli, 松本武彦, 石本英彦, 辺土正人, 藤原哲也, 鍵裕之, 上床美也

“Palm Cubic Anvil 圧力発生装置の開発 (4)”  
日本物理学会 2008年9月21日 岩手大学

上床美也, 松林和幸, 松本武彦, 石本英彦, 阿首尚文, 西正和, 藤原哲也, 繁岡透, 鍵裕之, 山田篤, Chandreyee Ganguli, 松本武彦, 石本英彦, 辺土正人, 藤原哲也, 鍵裕之, 上床美也

“Palm Cubic Anvil を用いた高圧下中性子回折実験”  
日本物理学会 2008年9月21日 岩手大学

松林和幸, 才賀裕太, 藤原哲也, 辺土正人, 梅原出, 松本武彦, 上床美也

“YbCo<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub> における高圧下物性測定”  
日本物理学会 2008年9月20日 岩手大学

K. Matsubayashi

“Fermi liquid properties of the heavy fermion systems YbT<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub> (T = Ir, Rh and Co) under pressure”  
25th international conference on Low Temperature Physics 2008年8月1日 Amsterdam RAI Convention Center

松林和幸, 才賀裕太, 辺土正人, 梅原出,  
藤原哲也, 小坂昌史, 片野進, 上床美也  
“ 重 い 電 子 系 新 物 質  
YbT<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub>(T=Co, Rh, Ir)おける高圧下物性  
測定 ”  
日本物理学会 2008年3月26日 近  
畿大学

髭本亘, 伊藤孝, 大石一城, 佐藤一, 才  
賀裕太, 小坂昌史, 松林和幸, 上床美也  
“ ミュオンスピン緩和法による  
YbCo<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub>の磁性研究 ”  
日本物理学会 2008年3月26日 近  
畿大学

才賀裕太, 松林和幸, 藤原哲也, 小坂昌  
史, 片野進, 上床美也  
“ YbCo<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub>における磁場効果 ”  
日本物理学会 2008年3月23日 近  
畿大学

松林和幸, 才賀裕太, 辺土正人, 梅原出,  
藤原哲也, 小坂昌史, 片野進, 上床美也  
“ YbCo<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub>における高圧下比熱 ”  
日本物理学会 2007年9月22日 北  
海道大学

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

松林 和幸 (MATSUBAYASHI KAZUYUKI)  
東京大学・物性研究所・助教  
研究者番号: 10451890

### (2)研究分担者

なし

### (3)連携研究者

なし