

自己評価報告書

平成23年3月31日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2008～2011

課題番号：20340083

研究課題名 (和文) 希土類化合物における量子スピン系の基底状態と相転移の研究

研究課題名 (英文) Research on Ground State and Phase Transition of Quantum Spin System in Rare Earth Compound

研究代表者 落合 明 (OCHIAI AKIRA)

東北大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：90183772

研究分野：固体物性

科研費の分科・細目：物理学・物性II

キーワード：磁性、量子スピン系、希土類化合物、強相関電子系

1. 研究計画の概要

スピンと軌道が結合した全角運動量で記述される $4f$ 電子から構成される量子スピン系は、ほぼスピンのみで記述される d 電子量子スピン系に比べてその数が少ないため、いまだ多くの未知な部分を抱えている。本研究では、 $4f$ 電子を量子揺らぎの大きなスピン系として振舞える環境に置いたとき、どのような基底状態をとり、どのような量子相転移を起こすか明らかにすることを目的とする。このため、新規物質の探索により新しい $4f$ 電子量子スピン系を開拓していくと共に、磁場などの外場の印加や、伝導電子との混成により $4f$ 電子量子スピン系がどのように変貌していくかを調べる。

2. 研究の進捗状況

(1) 量子スピンダイマー系 YbAl_3C_3 の研究
この系で、磁場により誘起される新奇な磁性相を見出した。これは d 電子系の磁場誘起秩序相に似てはいるが、磁場-温度相図上で開いた相として存在し、低温まで続く無秩序な状態であると考えられる。 f 電子系の特徴が現れた新奇な相である可能性がある。

(2) 新規 $4f$ 電子量子スピン系物質の探索
① $R\text{Zn}_3\text{P}_3$ ($R =$ 希土類) : この系列物質は、 YbAl_3C_3 と同じ結晶構造を有するが、構造相転移を起こさないため、三角格子によるフラストレーションを内在させた系である。この中の CeZn_3P_3 では、量子効果が顕著な $S = 1/2$ スピン系が実現しており、その磁性と複雑な磁気相図を明らかにした。

② R_2T_2Y ($R =$ 希土類, $T =$ 遷移金属, $Y =$ Sn, In, Pb等) : 二つの量子臨界点を持つ重い電子系物質 $\text{Yb}_2\text{Pd}_2\text{Sn}$ で、元素置換によ

る化学的圧力の印加実験を行い、この系では近藤効果とRKKY相互作用だけでなく幾何学的フラストレーションも関与していることを明らかにすると共に、一方の量子臨界点には、ダイマー形成が関与している可能性を指摘した。

(3) 磁気秩序相が関与しない磁場と強弾性の交差相関の発見

$R\text{Al}_3\text{C}_3$ ($R =$ 希土類) で、磁場印加による構造ドメインの制御が可能であることを見出した。これはマルチフェロイック物質に見られる磁場と強弾性の交差相関と捉えることが出来るが、大きく異なるのは、常磁性状態でも可能である点であり、磁気秩序相が介在しないことにある。

3. 現在までの達成度

① 当初の計画以上に進展している。

(理由)

YbAl_3C_3 で見出された磁場誘起の新奇な相は、まさに本研究で期待していた d 電子系とは異なる $4f$ 電子量子スピン系ならではの現象と考えられる。さらに、 $R\text{Zn}_3\text{P}_3$ や R_2T_2Y 等では新規 $4f$ 電子量子スピン系物質を見出し、特に R_2T_2Y では伝導電子が介在している量子スピン系について知見を得ることができた。これらの当初の計画に加えて、磁気秩序相が関与しない磁場と強弾性の交差相関という新しい現象を見出した。

4. 今後の研究の推進方策

(1) YbAl_3C_3 における新奇磁性相の特徴 (例えば印加磁場方向により出現する磁化プラトー等) についてさらに研究を進め、その起源についての知見を得る。

(2) R_2T_2Y 系を用いて、新規 $4f$ 電子量子ス

ピン系物質の探索をさらに進める。これまでの研究から、新たに非従来型の秩序相を示唆する実験結果が得られている。

(3) RAl_3C_3 で観測された磁気秩序を介さない磁場と強弾性的の新奇交差相関の起源の解明を進める。

5. 代表的な研究成果

(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 16 件)

① Y. Kawarasaki, T. Matsumura, M. Sera, and A. Ochiai
Pressure-Induced Antiferroquadrupole Order in CeTe

J. Phys. Soc. Jpn 80 (2011)023713-1-4
査読有

② H. Kubo, K. Umeo, K. Katoh, A. Ochiai and T. Takabatake

Multiple Magnetic Transitions in a Frustrated Heavy-Fermion Antiferromagnet YbAgGe under Magnetic Field and Pressure
J. Phys. Soc. Jpn 79 (2010)064715-1-5
査読有

③ A. Ochiai, K. Hara, F. Kikuchi, T. Inukai, E. Matsuoka, H. Onodera, S. Nakamura, T. Nojima and K. Katoh

Quantum spin system in *f*-electron compounds -YbAl₃C₃ and its related compounds-

J. Phys.: Conference Series 200 (2010) 022040-1-4
査読有

④ F. Kikuchi, K. Hara, E. Matsuoka, H. Onodera, S. Nakamura, T. Nojima, K. Katoh and A. Ochiai

Yb₂(Pd_{1-x}Ni_x)₂Sn: interplay of geometrical frustration and Kondo effect in quantum spin system

J. Phys. Soc. Jpn 78 (2009)083708-1-4
査読有

⑤ T. Matsumura, T. Inami, M. Kosaka, Y. Kato, T. Inukai, A. Ochiai, H. Nakao, Y. Murakami, S. Katano, and H. S. Suzuki

Structural phase transition in the spin gap system YbAl₃C₃

J. Phys. Soc. Jpn 77 (2008)103601-1-4
査読有

[学会発表] (計 23 件)

① 松田沙織、ScAl₃C₃型希土類化合物における磁場と格子変形の交差相関、日本物理学会 2010 年秋季大会、平成 22 年 9 月 23 日、大阪府立大学

② 落合明、YbAl₃C₃の基底状態の磁場による変貌、日本物理学会第 65 回年次大会、平成

22 年 3 月 21 日、岡山大学

③ A. Ochiai, Quantum spin system in *f*-electron compounds -YbAl₃C₃ and its related compounds-, ICM2009、平成21年7月28日、Karlsruhe (Germany)

④ 菊池文武、化学的圧力による Yb₂Pd₂Sn の磁性の変貌、日本物理学会第 64 回年次大会、平成 21 年 3 月 28 日、立教大学池袋キャンパス

⑤ 松村武、YbAl₃C₃ の低温相結晶構造とスピンギャップ形成、日本物理学会 2008 年秋季大会、平成 20 年 9 月 20 日、岩手大学上田キャンパス

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]