

審査の結果の要旨

氏名 鈴木 慎太郎

本論文は4章からなり、第1章では重い電子系の研究背景、第2章では本研究の対象物質となった YbAlB_4 系の過去の研究、第3章、第4章は実験手法とその結果についてそれぞれ述べられている。

第1章では、重い電子系の研究背景として、まず希土類イオンの持つ局在した f 電子と伝導電子の相互作用である近藤効果と RKKY 相互作用という競合する性質、また両者の競合により発生する磁気的な量子臨界点・異常金属状態について記述されている。特に、重い電子系の磁気秩序の起源である RKKY 相互作用については、 Yb 系の転移温度がその局在性を反映し通常高くても 3 K 程度にしかならないことが記述されている、次に、近藤効果の強い領域における現象として、希土類の価数が 3 価から大きくずれる価数揺動の振る舞いについての記述がなされ、整数価数状態で表される近藤状態と価数揺動状態がそれぞれ示す性質とその間で起こる価数転移について、 Ce 単金属の例をもとに記述されている。次に、 Ce 系化合物においては、近藤状態においてのみ磁性が現れること、また、異常金属状態はこれまで磁気秩序に隣接する量子臨界点においてみられたことがまとめられている。

第2章では、 Yb 系における重い電子超伝導体である YbAlB_4 系の過去の研究について記載がされている。 $\beta\text{-YbAlB}_4$ において価数揺動と異常金属状態が共存する振る舞いや、異常金属状態を示す領域が反強磁性相に隣接しないという振る舞いから、異常金属状態の起源が従来の重い電子系の場合で見られた磁気的な寄与とは異なり、価数揺動に由来するものである可能性が強く示唆される。さらに、高圧下にて、30K という非常に高い磁気転移温度が示唆されたことについても書かれている。また、その構造異性体である $\alpha\text{-YbAlB}_4$ でも Al サイトへの Fe 置換により、価数の急激な変化を伴う異常金属状態や、磁場中での磁気転移を周辺に持たない異常金属状態が観測されていることが記述されている。また、これら振る舞いの理論的アプローチとして、価数の量子臨界点の理論ならびに YbAlB_4 系の局所構造から基底状態を $|J_z = 5/2\rangle$ と推定した理論についての解説がなされている。

第3章では、 $\alpha\text{-YbAlB}_4$ における Al サイトへの Mn 置換の効果の研究を、単結晶合成並びに物性測定に基づいて行った結果について記述がなされている。本実験の結果として、 Yb 重い電子系最高となる 20 K での反強磁性転移、並びに系が金属的な輸送特性を失い、近藤半導体的な物性を示すことが見いだされた。通常、化学置換効果を系に加える場合には化学圧力効果と電子数変化の効果が同時に起こるため、こうした物性の起源

を圧力効果や電子数変化と比較した結果、この振る舞いは単純な圧力印加では説明できず、局所的な化学圧力による 7 員環構造の破れや電子数の変化がこれら物性の変化に対する有力な起源として示唆される。こうした振る舞いの報告は従来 *c-f* 間相互作用を変化させることで系の物性が説明できるとされ、これらパラメータに直接関与できる磁場や圧力といった外部パラメータが注目されていた中で、電子数変化効果の重要性を示した研究となる。

第 4 章では、 α -YbAlB₄における中性子散乱測定の結果について記載されている。これまで、おおよそ 3mg 程度と小さい単結晶しか得られなかったことに起因し、 α -YbAlB₄の中性子散乱測定は行われてこなかったが、今回 75 個、計 300mg の単結晶を平行に並べることによって疑似単結晶を製作することにより初めて中性子散乱による信号の観測に成功した。その結果、混成の変化を示唆する、相関長のエネルギーに対する異方的な変化や、磁場中での測定により、系の磁場誘起異常金属状態が磁気揺らぎによらないことを微視的に初めて見出した。特に後者については、これまで強相関電子系で広く観測されてきた磁気揺らぎによるものとは異なる新奇な量子臨界点の理解に対し、非常に重要な結果となり、価数揺らぎの重要性を示唆するものである。

なお、本論文第 3 章は富田崇弘博士、久我健太郎博士、志村恭通博士、松本洋介博士、中辻知教授との、第 4 章は Shan Wu 博士、Yiming Qiu 博士、Jose A. Rodriguez 博士、Collin L. Broholm 教授、中辻知教授との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士(科学)の学位を授与できると認める。

以上 1739 字