

| | |
|--------------|---|
| Title | Crystalline-Electric-Field Effect on f ₂ -Based Heavy Electron Systems : Anomalous Local Fermi Liquid and Local Non-Fermi Liquid |
| Author(s) | 四橋, 聡史 |
| Citation | 大阪大学, 2002, 博士論文 |
| Version Type | |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/43555 |
| rights | |
| Note | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。 |

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

| | |
|------------|--|
| 氏名 | よつ はし まよ し 四 橋 聡 史 |
| 博士の専攻分野の名称 | 博 士 (理 学) |
| 学位記番号 | 第 1 7 1 4 6 号 |
| 学位授与年月日 | 平成 14 年 3 月 25 日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第 4 条第 1 項該当 基礎工学研究科物理系専攻 |
| 学位論文名 | Crystalline-Electric-Field Effect on f^2 -Based Heavy Electron Systems: Anomalous Local Fermi Liquid and Local Non-Fermi Liquid (f^2 配置の重い電子系における結晶場効果：異常な局所フェルミ液体 と非フェルミ液体) |
| 論文審査委員 | (主査) 教授 三宅 和正 (副査) 教授 北岡 良雄 教授 吉田 博 |

論文内容の要旨

極端に小さい磁気モーメントや異方的超伝導などさまざまな性質を示す重い電子系と呼ばれる物質群の準粒子状態に対する研究を行った。この論文ではサイトあたりに複数の f 電子が存在する U 系化合物の性質に焦点を当て、それらを「 f^1 、 f^2 、両状態における結晶場の異方性が低エネルギーの準粒子描像にどのような影響を与えるか」という統一的な観点から理解することを目的とした。

基本的な理論的枠組みは以下のとおりである。まず、一般的な性質として、 f^1 の結晶場の異方性により 2 つの軌道がそれぞれに異なった「近藤温度」を持つ、「軌道依存近藤効果」の状態が実現していると考えられる。また、 f^2 状態における結晶場の異方性は、2 つの f^1 状態における「軌道間相互作用」として働く。特に、 f^2 状態で良く実現されていると思われる結晶場一重項状態は、ある擬スピン表示導入することによって 2 つの f^1 状態における「異方的反強磁性 Hund 相互作用」として理解されることが明らかになった。

まず、 UPd_2Al_3 においてみられる「実験手段によって違って見える価数状態」の問題を議論した。この物質は、帯磁率においては $(5f)^2$ -singlet 基底状態で理解される一方でバンド計算や dHvA 効果の実験などは $(5f)^3$ を示唆している。これを、 f^1 の結晶場の異方性から導かれる「軌道依存近藤効果」と Hund 結合の効果を考慮することによって説明できた。次に、希釈系 U 化合物 $R_{1-x}U_xRu_2Si_2$ ($R=Th, Y$ and $La, x \leq 0.07$) においてみられる非フェルミ液体についての議論を行った。この非フェルミ液体の振る舞いを、「結晶場 singlet と Kondo singlet の競合」という新しいメカニズムによって、すべての振る舞いを矛盾なく説明出来ることを示した。最後に、 UPt_3 において見られる「増強されない準粒子帯磁率」と「増強された NMR 縦緩和率や比熱係数」の関係を、「結晶場一重項基底状態における異常な局所フェルミ液体」の立場から議論した。これらの振る舞いは f^2 状態における結晶場の異方性の低エネルギー準粒子状態における影響の帰結として無理なく説明できることを示した。

論文審査の結果の要旨

極端に小さい磁気モーメントや異方的超伝導など様々な興味ある性質を示す重い電子系と呼ばれる物質群は強相関電子系の典型物質として世界的に活発な研究が進められている。これらの物性を理解する上ではその低エネルギー励

起を記述する準粒子状態を解明することが不可欠である。本論文においては、サイト当たり複数の f 電子が存在するためにその準粒子状態がよく分かっていない U 系化合物の性質に焦点を当て、「 f^1 、 f^2 、両状態における結晶場の異方性が低エネルギーの準粒子描像にどのような影響を与えるか」という基本的な問題の諸様相が「数値くりこみ群」の方法を用いて理論的に解明された。

まず、 f^1 状態に対する結晶場の異方性により、2つの軌道がそれぞれに異なった「近藤温度」を持つ、「軌道依存近藤効果」を議論した。それにもとづいて、 UPd_2Al_3 における「実験手段によって違って見える価数状態（帯磁率の異方性・温度依存性は $(5f)^2$ 一重項結晶場基底状態で理解される一方でバンド計算や dHvA 効果の実験などは $(5f)^3$ を示唆している）」の問題を解明した。即ち、軌道間の Hund 結合が、 f^1 の結晶場の異方性から導かれる軌道によって異なる「近藤温度」の比率を顕著に増大させることを示し、実験的に実現可能な温度領域において一つの軌道の「スピン」だけが伝導電子と一重項を形成してその自由度を失った状態が出現することを例示した。

つぎに、希釈系 U 化合物 $R_{1-x}U_xRu_2Si_2$ ($R=Th, Y$ and $La, x \leq 0.07$) においてみられる非フェルミ液体についての議論を行った。 f^2 状態と良く実現されている結晶場一重項状態は、ある擬スピン表示を導入することによって2つの f^1 状態における「異方的反強磁性 Hund 相互作用」として理解されることと、結晶場一重項と近藤一重項の競合が非フェルミ液体の振る舞いを導くことに着目し、1990年代を通じて長年謎とされてきた希釈系 U 化合物 $R_{1-x}U_xRu_2Si_2$ のすべての振る舞いを矛盾なく説明することに成功した。

さらに、奇パリティ超伝導を示す重い電子系物質 UPt_3 の準粒子状態を議論した。この系では、「準粒子帯磁率は有効質量の増大の効果を受けない」のに対し「NMR 縦緩和率および Sommerfeld 係数は有効質量の増大の効果を受け」という一見矛盾した性質を示し、大きな謎であった。この問題を「結晶場一重項基底状態における異常な局所フェルミ流体」の立場から議論し、これらの異常な振る舞いは「 f^2 状態における結晶場の異方性が低エネルギー準粒子状態に与える効果として無理なく説明する」ことに成功した。

以上の結果はいずれも、U系重い電子化合物の準粒子状態の新しい側面を理論的に解明した独創的な研究であり、博士（理学）論文の価値があると認めることができる。