

Title	1/N-expansion and Its Applications for Ce-Based Heavy Fermion Systems
Author(s)	西田, 靖孝
Citation	大阪大学, 2007, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/47318">https://hdl.handle.net/11094/47318</a>
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">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</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	にし 西	だ 田	やす 靖	たか 孝
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)			
学位記番号	第 2 1 2 7 1 号			
学位授与年月日	平成 19 年 3 月 23 日			
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 基礎工学研究科物質創成専攻			
学位論文名	1/N-expansion and Its Applications for Ce-Based Heavy Fermion Systems (Ce 系重い電子に対する 1/N 展開法とその応用)			
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

1979 年の Steglich らによる  $\text{CeCu}_2\text{Si}_2$  の発見、その後の  $\text{UBe}_{13}$  の発見以降、電子格子相互作用を媒介とする BCS 超伝導以外の強相関電子系超伝導体が広く認知されるようになり、それに触発されて Ce 系化合物について多くの研究がなされた。多くの Ce 系化合物において、有効質量の増大に伴う低温比熱係数の顕著な増大が見られ、実験的に真空中の電子の数十から数百倍の質量と見積られることから、これらの系は重い電子系とも呼ばれている。本論文では、重い電子系の代表例である Ce 系化合物の動的性質を 1/N 展開法を用いて調べた。

Ce 系化合物において電気抵抗は降温とともに劇的な変化を示す。高温側では近藤効果による対数的温度依存性を示し、低温側では温度の 2 乗に比例したフェルミ液体的振る舞いを示す。そのため、これらの系では電気抵抗の温度依存性はブロードなピークを持つが、物質によってはピークは 1 つであったり、2 つである場合がある。これは結晶場のためであると考えられる。また 2 つのピークがある際、加圧するにつれて、1 つのピークに合流することが実験で分かっている。本論文の主題の一つはこれらの振る舞いを結晶場効果の観点から統一的に説明することである。

重い電子の振る舞いを示す Ce 系化合物において Ce は通常 3 価のイオン配置をとるため、各結晶格子点に 1 つの f 電子が局在していることになる。この系を最も簡単に捉えた模型が Anderson 格子模型であり、重い電子系を記述する標準模型である。そこで本論文では通常の Anderson 格子模型に対して結晶場効果を取り入れ、電気抵抗の温度依存性を初めて計算した。また圧力効果を f 電子と伝導電子間の混成の増大と捉えることで、定性的に実験との良い対応を得た。さらに、これを応用して  $\text{CeCu}_2\text{Si}_2$  を念頭に、価数転移臨界圧力近傍の電気抵抗の振る舞いを調べ、圧力増大にともなう急激な価数の変化による繰り込み因子の増大の結果、電気抵抗の 2 つのピークがマージすることも見出した。

また、1/N 展開法の枠組みそのものについても、高次の計算を行うことと Anderson 模型に対する他の手法 (NCA や Self-Energy Correction) との関係調べ、高次においては最低次では扱えない準粒子間相互作用を論じることができた。また局所相関を越えた効果を扱う可能性について boson-fermion 模型に 1/N 展開を応用する議論を展開した。

## 論文審査の結果の要旨

Ce、Pr、Yb、U などを含む多くの金属化合物において、有効質量の増大に伴う低温比熱係数の顕著な増大が見られ、有効質量が真空中の電子の数十から数百倍の質量と見積もられることから、これらの系は重い電子系と呼ばれている。1979年のSteglichらによるCeCu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>での超伝導の発見以降、電子格子相互作用を媒介とするBCS超伝導以外の強相関電子系超伝導体が広く認知されるようになり、それに触発されて重い電子系に関する多くの研究がなされた。

本論文は、重い電子系の代表例であるCe系化合物の電気抵抗の温度依存性に対する結晶場の効果を理論的に研究したものである。Ce系化合物において電気抵抗は（降温にともなって）高温領域では近藤効果による温度の対数的増大を示し、低温領域では温度の2乗に比例して減少するフェルミ液体的振る舞いを示す。そのため、これらの系では電気抵抗の温度依存性はブロードなピークを持つが、物質によってはピークは1つであったり、2つである場合がある。これは結晶場効果のためであると考えられる。また、2つのピークを示す系に加圧すると、1つのピークに合流する。本論文の主題の一つはこれらの振る舞いを結晶場効果の観点から統一的に説明することである。

Ce系重い電子の一般的な振る舞いはAnderson格子模型にもとづいて理解されるというのが現在の標準的考えである。この模型の性質を調べるために種々の近似法が考案されて来たが、強相関効果を表現するスレーブ粒子とf電子のもつスピン・軌道の多重度Nの逆数で展開する1/N-展開法による研究が80年代後半から盛んに成されてきた。その中でも名古屋大学の黒田グループの開発した手法は、高温領域での近藤効果、低温領域でのフェルミ液体的振る舞いを統一的に議論できる優れた方法である。本論文では通常Anderson格子模型に結晶場効果を取り入れた模型に対してもその1/N-展開法が適用できるように工夫し、電気抵抗の温度依存性を初めて計算した。その結果、結晶場分裂の程度によっては電気抵抗の二つのピークが出現すること、圧力効果をf電子と伝導電子間の混成の増大と捉えることで二つのピークが一つに合流することなど、定性的に実験との良い対応を得た。さらに、臨界価数転移を示すCeCu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>を念頭に、臨界圧力近傍の電気抵抗の振る舞いをしらべ、圧力増大にともなう急激な価数の変化によって、電気抵抗の2つのピークが必然的にマージすることも見出した。

また、1/N-展開法の枠組みそのものについても研究し、高次項の効果とAnderson模型に対する手法（NCAやSelf-Energy Correction）との関係を調べ、1/Nの高次においては最低次では扱えない準粒子間相互作用を論じることができた。

これらの結果は重い電子系における結晶場効果を理論的に初めて系統的に取り扱った例であり学術的意義は大きく、博士（理学）の学位論文として価値のあるものと認める。