

Title	Non-Fermi Liquid Behavior in Ce(Ru <sub>1-x</sub> Rh <sub>x</sub> ) <sub>2</sub> Si <sub>2</sub>
Author(s)	Tabata, Yoshikazu
Citation	大阪大学, 2001, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3183818">https://doi.org/10.11501/3183818</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

氏名	田畑吉計
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第 15950 号
学位授与年月日	平成13年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 理学研究科物理学専攻
学位論文名	Non-Fermi Liquid Behavior in Ce (Ru <sub>1-x</sub> Rh <sub>x</sub> ) <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> (Ce (Ru <sub>1-x</sub> Rh <sub>x</sub> ) <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> における非フェルミ液体的振舞)
論文審査委員	(主査) 教授 河原崎修三  (副査) 教授 三宅 和正    教授 川村 光    名誉教授 都 福仁 助教授 金道 浩一

### 論文内容の要旨

本博士論文では重い電子化合物 Ce (Ru<sub>1-x</sub>Rh<sub>x</sub>)<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>における非フェルミ液体 (NFL) 的振舞についての研究成果について報告する。

最近の強相関電子系の中心的なトピックスの1つに「重い電子系の量子臨界点 (QCP) 近傍における NFL 的振舞」がある。重い電子系は磁気秩序を形成しようとする局在スピン間の RKKY 相互作用とその局在スピンの自由度を殺し非磁性フェルミ (FL) 液体状態を形成しようとする近藤効果の競合する系であり、わずかなパラメータ (例えば、圧力  $P$ 、磁場  $H$ 、元素置換  $x$ ) の変化によって絶対零度において磁性非磁性量子相転移 (QPT) が起こる。最近、この QPT のおこる QCP の近傍にあると考えられる化合物で比熱や帯磁率、電気抵抗に FL ( $C/T \sim \text{const.}$ ,  $\chi \sim \text{const.}$ ,  $\rho \sim T^2$ ) から外れる振舞 (NFL 的振舞) が観測されており、量子ゆらぎと熱ゆらぎの複雑に絡み合った量子臨界現象として注目されてきた。しかしながら、NFL を示す物質は多くの場合混晶系であり、元素置換による disorder の影響を無視する事は出来ず、現象の単純な理解を妨げてきた。

我々は、disorder の NFL 的振舞、ひいては量子臨界現象に与える影響を調べるために、擬二元化合物 Ce (Ru<sub>1-x</sub>Rh<sub>x</sub>)<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> の、特に Rh 中間濃度で観測される NFL に注目して研究を行った。Ce (Ru<sub>1-x</sub>Rh<sub>x</sub>)<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> は Rh 濃度によって以下の様に基底状態が変化し、3つの異なる QCP が存在する興味深い系である。

- I) 非磁性フェルミ液体状態 ( $x \leq 0.03$ )
- II) スピン密度波 (SDW) 状態 ( $0.03 < x < 0.4$ )
- III) 非磁性状態 ( $0.4 \leq x \leq 0.6$ )
- IV) 反強磁性状態 ( $0.6 < x$ )

極低温 ( $\sim 20\text{mK}$ ) までの実験の結果、Rh 低濃度領域の QCP 近傍の濃度  $x = 0.03$  では NFL 的振舞はどの物理量にも観測されず、基底状態は CeRu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> ( $x = 0$ ) と同じ FL であった。この領域では disorder の効果は小さく、その場合 NFL 的振舞を見せる領域は狭く QCP に非常に近いパラメータ領域でのみ NFL 的振舞は観測され得る、と考えられる。この領域の種々の物理量の温度変化を SCR 理論によって解析を行った結果、実験結果を良く再現するパラメータを得る事が出来、 $x = 0$  では強い量子ゆらぎのため発達しきれなかった反強磁性ゆらぎが Rh 置換によって増強され、 $x > 0.03$  の領域では長距離秩序が形成されたと考えられる。一方、Rh 中間濃度領域においては磁気秩序を示さない領域 (III) において、ほぼ全域にわたって NFL 的振舞が観測された。しかしその振舞はユニバーサルな

ものではなく、反強磁性相 (IV) の臨界濃度  $x_c \sim 0.6$  から離れるほど NFL 的傾向は弱くなる。この領域は Rh 置換による disorder の効果は非常に強いと考えられる。そこで Rh 低濃度との比較のために SCR 理論による解析を、また disorder の影響を考慮した最も単純なモデルである「近藤温度の分布」による解析を行ったが、共に満足のいく結果は得られなかった。

この領域の NFL 的振舞をより詳しく調べるために、 $x = 0.5$  及び  $0.6$  の試料に対して磁場中での電気抵抗及び交流帯磁率の測定を行った結果、量子臨界現象と disorder の両方の効果を同時に考慮に入れる必要があることを示唆する結果が得られた。高磁場領域 ( $H > 1$  kG) では電気抵抗、帯磁率が、(IV) の反強磁性相の QCP からの距離  $\Delta(x, H, T)$  でスケールされる事が分かり、その形は動的平均場近似の枠内で説明できる。つまりこの磁場領域では、我々は QCP 近傍の (平均場的な) 量子臨界現象を観測していると考えられる。しかし、低磁場領域 ( $H < 1$  kG) では平均場の予想から大きくずれており、異なる機構を考えなければならない。零磁場においては比熱、線形、非線形帯磁率に  $T = 0$  に向かって発散的な温度依存性が観測されており、これは強い disorder のある場合に QCP 近傍に広がっていると考えられる「量子グリフィス相」がこの濃度領域に存在すると仮定することによって説明することが出来た。また、この考えに従えば (III) の非磁性領域の広い範囲にわたって non-universal な NFL 的振舞が観測されることも説明出来る。さらに、この磁場領域では帯磁率  $\chi(T, H)$  が、

$$\chi(T, H) = T^{-\gamma} f(H/T^\delta)$$

の形でスケールされる事が分かった。このようなスケール領域は disorder の弱い系の QCP 近傍では観測されない、と予想される。そこで、その典型例である、 $\text{CeCu}_{5.9}\text{Au}_{0.1}$  に関して低磁場での帯磁率の測定を行い、それを確かめた。つまり、上記のスケールは disorder の強い系の特徴であり、disorder によって QCP 近傍での量子臨界現象が強く影響を受け得る、という事を示している。

#### 論文審査の結果の要旨

この研究は、「重い電子系における非フェルミ液体 (NFL) 的振舞」の物理的起源を探るためのものであり、特に元素置換等によって強く disorder の入った系における disorder と量子臨界現象の役割について研究を行ったものである。そのために、まず複雑な磁気相図をもつ  $\text{Ce}(\text{Ru}_{1-x}\text{Rh}_x)_2\text{Si}_2$  系の基底状態を詳しく調べ、広く Rh 中間濃度領域に渡って NFL 現象が現れる事を見出した。この濃度領域において、磁場中電気抵抗、帯磁率の測定を行うことにより、NFL 現象が量子臨界点 (QCP) 起源ではなく、disorder によって QCP 近傍に出現した「量子グリフィス相 (QGP)」起源であると考えられることを明らかにした。また、実験からその特徴として、(i)  $T = H = 0$  の線路上に広く自由エネルギー  $F(T, H)$  の singularity が存在する、(ii) 自由エネルギーの特異部分が、 $F(T, H) = T^{-\gamma+2\delta} \psi(H/T^\delta)$  のスケール形式で書ける、(iii) 磁場  $H$  をかけることにより、QGP 起源の singularity が隠され、QCP 起源の singularity による量子臨界現象が観測される、事を見出した。

以上の結果は、広く混晶系で観測される NFL 的振舞の起源を明らかにし、また、disorder が量子相転移に対してどのような影響を与えるか、という疑問に対し重要な知見を与えるものである。よって博士 (理学) の学位論文として十分価値あるものと認める。