

# 論文題目：Study on Quantum Criticality in a Dilute Kondo System

(希釈近藤系における量子臨界性の研究)

氏名：椎野貴之

## 論文の要約

近藤効果は、希薄磁性合金（非磁性の金属中に微量の磁性不純物が混入している金属）において、磁性不純物が担う局在電子スピン（局在スピン）と非磁性金属中の伝導電子が持つスピンとの間の相互作用に起因して発現する現象である。近藤効果は多体電子論の典型問題であり、素粒子物理とも関係づけられることから、多角的に研究が進められた。その結果、高温（高エネルギー）極限において自由度を持っていた局在スピンの、低温（低エネルギー）極限において、伝導電子スピンとのシングレット束縛状態形成の結果、その自由度を失う現象であることが明らかとなった。このような“希釈近藤系”において磁性不純物の濃度を増大させると、局在スピン間に相互作用が発生し、近藤効果は消失する。不思議なことに、局在スピンの濃度を増やしても近藤効果が生き残る現象が、ある種の Ce 化合物において見いだされた。特に、局在スピンを担う Ce 原子が周期的に配列した系は“近藤格子系”と呼ばれ、大きな興味を集めている。

金属の基底状態はフェルミ液体論によって記述されるが、近藤効果の基底状態もまたフェルミ液体である。近年、フェルミ液体論に従わない現象（非フェルミ液体）が希土類金属化合物等において発見され、物性物理学のトピックスとなっている。これまで、非フェルミ液体の起源として量子臨界点（図 1 参照）の近傍で発現するスピン揺らぎや、マルチチャンネル近藤効果に代表される単サイトのスピン揺らぎが考えられてきた。他方、従来の量子臨界現象の理論では説明できない非フェルミ液体も見いだされ、これらの起源の解明は強相関電子系物理学の重要課題となっている。その内の一つが近藤格子系  $\text{CeCu}_6$  の近傍 ( $\text{CeCu}_{6-y}\text{Au}_y$ ;  $y = 0.1$ ) で発現する非フェルミ液体である（図 1 参照）。この非フェルミ液体の起源をめぐり、Ce 原子中の f 電子の遍歴・局在の変化が重要であるとする Local criticality（局所量子臨界性）モデルが提案されるなど活発な研究が続けられているが、問題は未解決のままである。著者は、 $\text{CeCu}_6$  が 2 種類の揺らぎ（単サイトの揺らぎとサイト間相関をもつ揺らぎ）を示すことなどから、 $\text{CeCu}_{6-y}\text{Au}_y$  の量子臨界現象解明のためには、単サイト揺らぎとサイト間相関のある揺らぎを分離することが重要であると考えた。本研究では、磁性元素の Ce を非磁性元素の La で置換（即ち磁性元素を希釈）することによりサイト間相関のない（小さい）系  $\text{Ce}_x\text{La}_{1-x}\text{Cu}_{6-y}\text{Au}_y$  を合成し、その低温物性の研究を行った。

まず、母体となる近藤格子系  $\text{CeCu}_{6-y}\text{Au}_y$  の一様磁化率の温度依存性を測定した。その結果、パラメータ  $y$  を変化させることにより、従来の量子臨界点 ( $y =$

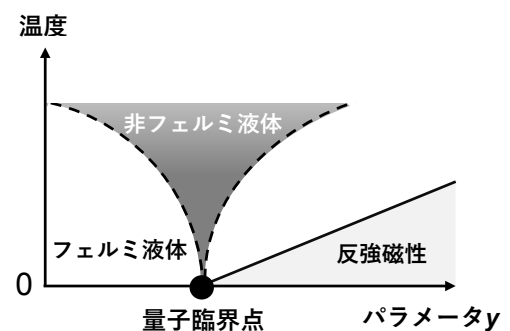


図 1.  $\text{CeCu}_{6-y}\text{Au}_y$  の相図

0.1)とは異なる ( $y=0.38$ を中心とする)有限のパラメータ領域に非フェルミ液体状態(非通常の臨界指数を有する磁化のスケーリング則など)が見られることを見出した。

次に、パラメータ  $y$  を (0.38 に) 固定したまま磁性 Ce 原子濃度  $x$  を変化させる (非磁性 La 原子で置換する) ことにより、 $x = 0.05$  以下の希釈近藤領域において、一様磁化率が上記と同じ臨界指数をもって温度降下とともに (発散的に) 増大する振る舞いを見出した。また、極低温領域において電気抵抗の温度依存性にフェルミ液体とは異なる冪乗則が出現することを見出した。さらに、通常の希釈近藤効果とは異なる比熱の温度依存性を見出した。これらの物理量の異常な挙動は、希釈近藤系  $Ce_xLa_{1-x}Cu_{6-y}Au_y$  ( $x \leq 0.05$ ) において、シングレット束縛状態の形成に伴う局所フェルミ液体とは異なる新奇基底状態 (非通常型の量子臨界的現象) が発現している可能性を示唆する。また、比熱の  $f$  電子成分が Ce 濃度  $x$  でスケールされることから、この量子臨界的現象が単サイト効果であることを指摘した。一様磁化率が特異な臨界指数で特徴付けられる発散性を示すこと及び比熱が異常な温度依存性を示すことから、この希釈近藤系における量子臨界性の起源が単サイトの (局所的) 価数揺らぎである可能性を指摘した。

さらに、Ce 原子濃度  $x$  を 0.02 に固定し、パラメータ  $y$  を変化させた系 (希釈近藤系) の低温物性測定を行った。この結果、上述の近藤格子系  $CeCu_{6-y}Au_y$  と同様に、希釈近藤系においても ( $y = 0.38$  を中心とする) 有限のパラメータ領域に非フェルミ液体状態を見出した。また、臨界指数の  $y$  依存性が近藤格子系と希釈近藤系で同様であることや比熱の異常な温度依存性などから、この単サイトの量子揺らぎが近藤格子系においても重要な役割を担っている可能性を指摘した。

以上のように、著者は、希釈近藤系  $Ce_xLa_{1-x}Cu_{6-y}Au_y$  において従来型とは異なる非フェルミ液体あるいは量子臨界的様相を発見するとともに、局所的な価数 (Ce 原子の  $f$  電子数) の揺らぎの重要性を指摘した。また、近藤格子系  $CeCu_{6-y}Au_y$  の量子臨界現象においても局所揺らぎが重要である可能性を指摘した。