

| | |
|--------------|---|
| Title | 強相関電子系における量子相転移点近傍の物性 |
| Author(s) | 大橋, 琢磨 |
| Citation | |
| Issue Date | |
| Text Version | none |
| URL | http://hdl.handle.net/11094/46975 |
| DOI | |
| rights | |

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

| | |
|------------|---|
| 氏名 | おお 大 はし 橋 たく 琢 ま 磨 |
| 博士の専攻分野の名称 | 博 士 (工 学) |
| 学位記番号 | 第 20294 号 |
| 学位授与年月日 | 平成 18 年 3 月 24 日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科応用物理学専攻 |
| 学位論文名 | 強相関電子系における量子相転移点近傍の物性 |
| 論文審査委員 | (主査) 助教授 菅 誠一郎 (副査) 教授 川上 則雄 教授 笠井 秀明 教授 岩崎 裕 基礎工学研究科助教授 河野 浩 |

論文内容の要旨

銅酸化物高温超伝導体の発見以来、電子間クーロン相互作用に起因した多体効果が様々な興味深い物性を引き起こす重要な因子となることが広く認識されるようになった。このような電子間相互作用が本質的に重要となる系は強相関電子系と呼ばれ、現在、物性物理学において一大研究分野を形成している。銅酸化物をはじめとする遷移金属化合物や希土類元素・アクチノイド元素を含む f 電子系化合物は強相関電子系の典型例であり、これらの系においては、電子相関効果に起因して磁性や超伝導などの多彩な物性が現れる。このような磁気的な秩序や超伝導などに関する量子相転移点近傍の振る舞いについて理解することは、最も重要な研究課題の 1 つである。量子相転移の臨界点近傍においては、臨界揺らぎに起因して電荷やスピンの揺らぎが増幅されるため、新奇な物性が発現する可能性がある。臨界点付近にコントロールされた系は磁場や圧力などの外部パラメータに非常に敏感となるため、電荷・スピン自由度を制御することによる異常な量子効果の発現が期待される。また、このようなスピンや電荷の秩序と幾何学的フラストレーションとの競合は非常に興味深い問題である。幾何学的フラストレーションとは、ある特殊な格子構造を持つ系において、通常の単純な格子系において予期されるスピンや電荷の秩序が不安定となる相互作用が生じている状況であり、このフラストレーション効果に起因してこれまでにない非自明な物性の発現が示唆されている。以上の背景の下に、本論文では強相関電子系における量子相転移と臨界点近傍の物性に関して理論的研究を行った。

第 1 章では、研究背景について紹介した後、本論文の目的について述べた。

第 2 章では、本論文を通して用いた理論的手法である動的平均場理論とその拡張について説明した。

第 3 章と第 4 章では、近藤絶縁体における磁場誘起相転移と臨界点近傍の物性について調べた。まず、磁場の効果により近藤シングレットの形成が抑制され、常磁性近藤絶縁相から反強磁性秩序相へと 2 次相転移することを明らかにし、磁場と温度に対する詳細な相図を得た。さらに、反強磁性転移温度が最大となる磁場領域では、反強磁性転移温度直上の金属相において、重い電子的振る舞いが現れることを明らかにした。次に、転移点近傍において重要となると考えられる RKKY 相互作用の効果について調べた結果、上記の重い電子的振る舞いは RKKY 相互作用に起因してより顕著に現れることを明らかにした。

第 5 章では、カゴメ格子電子系における金属・絶縁体転移と臨界点近傍の物性に関して調べた結果について述べた。まず、本研究により初めてカゴメ格子電子系における金属・絶縁体転移の振る舞いが明らかとなった。転移点近傍の金

属相においては、フェルミ面近傍の状態密度に非常に鋭い準粒子ピークが出現し、重い電子の状態が実現することを明らかにした。さらに、帯磁率について調べた結果、絶縁相においても幾何学的フラストレーションの効果により磁気的不安定性が抑制されていることを明らかにした。

最後に第6章において本論文を総括し、今後の展望について述べた。

論文審査の結果の要旨

銅酸化物高温超伝導体の発見以来、電子間クーロン相互作用に起因した多体効果が様々な興味深い物性を引き起こす重要な因子となることが広く認識されるようになった。このような電子間相互作用が本質的に重要となる系は強相関電子系と呼ばれ、現在、物性物理学において一大研究分野を形成している。銅酸化物をはじめとする遷移金属化合物や希土類元素・アクチノイド元素を含む f 電子系化合物は強相関電子系の典型例であり、これらの系においては、電子相関効果に起因して磁性や超伝導などの多彩な物性が現れる。このような磁気的な秩序や超伝導などに関する量子相転移点近傍の振る舞いについて理解することは、最も重要な研究課題の1つである。量子相転移の臨界点近傍においては、臨界揺らぎに起因して電荷やスピンの揺らぎが増幅されるため、新奇な物性が発現する可能性がある。臨界点付近にコントロールされた系は磁場や圧力などの外部パラメータに非常に敏感となるため、電荷・スピン自由度を制御することにより異常な量子効果の発現が期待される。また、このようなスピンや電荷の秩序と幾何学的フラストレーションとの競合は非常に興味深い問題である。ここで、幾何学的フラストレーションとは、ある特殊な格子構造を持つ系において、通常の単純な格子系で予期されるスピンや電荷の秩序が不安定となる相互作用が生じている状況である。そして、このフラストレーション効果に起因して、これまでにない非自明な物性の発現が示唆されている。以上の背景の下に、本論文は強相関電子系における量子相転移と臨界点近傍の物性に関する理論的研究を、以下の6章にまとめている。

第1章では、研究背景および研究の位置づけについて述べている。

第2章では、論文を通して用いている理論的手法である、動的平均場理論とその拡張法について説明している。

第3章と第4章では、近藤絶縁体における磁場誘起相転移と臨界点近傍の物性について調べている。まず、磁場の効果により近藤シングレットの形成が抑制され、常磁性近藤絶縁相から反強磁性秩序相へと2次相転移することを明らかにし、磁場と温度に対する詳細な相図を示している。さらに、反強磁性転移温度が最大となる磁場付近の金属相において、重い電子的振る舞いが現れることを初めて指摘している。次に、転移点近傍において重要となる局在スピン間の反強磁性的交換相互作用 (RKKY 相互作用) の効果について調べ、上記の重い電子的振る舞いは RKKY 相互作用により顕著になることを明らかにしている。

第5章では、カゴメ格子上的相関電子系における金属・絶縁体転移と臨界点近傍の物性に関して調べている。まず、クーロン相互作用を大きくした場合に、カゴメ格子上的電子系において1次の金属・絶縁体転移が引き起こされることを初めて明らかにしている。さらに、転移点近傍の金属相において、フェルミ面近傍の状態密度に非常に鋭い準粒子ピークが出現し、重い電子の状態が実現することを明らかにしている。さらにフラストレーション効果に起因して、転移点近傍におけるスピン相関関数が異常な温度依存性を示すことを明らかにし、このスピン励起の振る舞いが金属・絶縁体転移に重要な役割を果たすことを示している。また、幾何学的フラストレーションの効果により絶縁体相においても磁気的不安定性が抑制されていることを明らかにしている。

第6章において論文を総括し、今後の展望について述べている。

以上のように、本論文は強相関電子系における量子相転移と臨界点近傍の物性に関して理論的に研究したもので、基礎的な面のみならず応用の面でも有益な知見を得ており、応用物理学、特に物性物理学に寄与するところが大きい。よって本論文は、博士論文として価値あるものと認める。