

Title	Unconventional Pairing Mechanisms of Superconductivity in Strongly Correlated Fermion Systems
Author(s)	大西, 祥史
Citation	大阪大学, 2000, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/42187">https://hdl.handle.net/11094/42187</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	大西祥史
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第 15542 号
学位授与年月日	平成12年3月24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	Unconventional Pairing Mechanisms of Superconductivity in Strongly Correlated Fermion Systems (強相関フェルミ粒子系における型にはまらない超伝導対形成の機構)
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

強相関 Fermi 粒子系の研究において異方的超伝導状態は、実験的にも理論的にも、最も興味深い現象の一つである。これらの超伝導を引き起こす機構を理論的に解明することは重要な問題である。本論文において、これまであまり調べられていなかった超伝導(超流動)機構に関して2つの事柄を研究した。

#### 1. f-c Coulomb 相互作用にもとづく価数揺動による超伝導転移温度の上昇

CeCu<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub> は加圧下で超伝導になる物質である。転移温度は圧力の関数としてピークをもち、そこでは同時に残留抵抗率のピーク、電気抵抗の温度2乗の係数  $A$  が急減といった現象が起こっている。これらの現象は Ce の価数が急激に減少するといった観点から理解できるものと考えた。この価数の急減を引き起こす原因の1つとして f 電子と伝導電子とのあいだの Coulomb 相互作用  $U_c$  に注目して  $U_c$  項を含めた周期的 Anderson 模型について研究を行った。 $U_c$  の効果は不純物 Anderson 模型においては比較的詳しく調べられているが、格子系では十分には理解されていない。常伝導状態について  $U_c$  の効果を取り入れた変分関数を用いて変分モンテカルロ法を用いた計算を行い、価数の転移とその前後で電子状態が大きく変化することをみた。また slave-boson と  $1/N$  展開法を用いて電気抵抗、超伝導転移及びその対称性について調べた。その結果、電気抵抗の温度2乗の係数  $A$  と状態密度の2乗  $\gamma^2$  が比例する関係は  $U_c$  を含めた系においても成り立っていることを確認した。また、価数が急激に変化し始める所で  $d$  波の超伝導転移温度が大きく増強されることを明らかにし、 $U_c$  の効果による価数揺動が引き起こす新しい超伝導対形成機構の可能性を示した。

#### 2. 2次元パラマグノンによる $d$ -波クーパー対形成

Graphite 上に吸着させた2次元 <sup>3</sup>He 流体系において超流動相の有無は興味深い問題であり、現在まで確認されていないがその検証が行われている。ここでは2次元 Fermi 粒子系における超流動状態について等方的なモデルにおいて、パラマグノンによる対形成に対する研究を行った。

短距離斥力相互作用をもつ、2次元等方的 Fermi 粒子系においてスピン揺らぎを RPA で取り扱うと、静的な帯磁率は Fermi 波数の2倍まで波数によらない斥力となるため、超流動可能性を議論する際、対に寄与する波数を Fermi 面上に限る弱結合近似では転移は起こらない。しかし強結合近似で広く波数、振動数依存性を取り扱った RPA の範囲でも超流動転移が起こりうる。実際にこのモデルで各部分波における転移温度を計算した結果、3次元における  $p$  波対とは異なり、 $d$  波対が最も有力となり転移温度を見積もると数 mK の程度になる。 $d$  波対が有利にな

るのは主に振動数依存性による寄与が大きい。 $^3\text{He}$  薄膜の面密度が比較的大きいところでは帯磁率が増強されているようであり、RPA による取り扱いからは、そのような領域で転移温度が高くなっていると期待できる。またここでは 2 次元の超流動転移温度を平均場で取り扱っているが転移温度が Fermi 温度と比べ十分に低い領域では有効である。

## 論文審査の結果の要旨

強相関 Fermi 粒子系の研究において異方的超伝導状態は、実験的にも理論的にも、最も興味深い現象の一つとして注目を集めており、その超伝導機構を理論的に解明することは重要な問題である。本論文においては、新しい二つのタイプの超伝導（超流動）機構が可能であることが理論的に示された。

### 1) 価数揺動にもとづく超伝導転機構

重い電子系物質  $\text{CeCu}_2\text{Ge}_2$  は加圧下で超伝導になるが、その転移温度は圧力の関数としてピークをもち、そこでは同時に残留抵抗率がピークを示し、電気抵抗の温度 2 乗の係数  $A$  が急減する。後者の二つの現象は Ce の価数が急激に増加するとして理解できる。この価数の急増を引き起こす原因の一つとして考えられるのは Ce の  $f$  電子と伝導電子との間に働くクーロン相互作用  $U_c$  である。この効果を調べるために、 $U_c$  項を含むように周期的 Anderson 模型を一般化して、常伝導状態について  $U_c$  の効果を取り入れた変分関数を用いた変分モンテカルロ計算により、価数転移の可能性を示すとともにその前後で電子状態が大きく変化することを示した。また、slave-boson と  $1/N$  展開法を用いて電気抵抗、超伝導転移温度及びそのクーパー対対称性について調べた。その結果、電気抵抗の温度 2 乗の係数  $A$  と状態密度の  $\gamma$  の間に成立する Kadowaki-Woods の関係は  $U_c$  を考慮した系においても成り立っていることを確認した。さらに、価数が急激に変化し始める所で  $d$  波の超伝導転移温度が大きく増強されることを明らかにし、 $U_c$  の効果による価数揺動が引き起こす新しい超伝導対形成機構の可能性を初めて具体的な計算にもとづいて示した。

### 2) 2 次元パラマグノンによる $d$ -波クーパー対形成

グラファイト基盤上に吸着させた 2 次元  $^3\text{He}$  流体系において超流動相を探索する努力は世界的に続けられている。本論文では、これに対して理論的な指針を与えるため、単距離斥力相互作用をする 2 次元等方的 Fermi 粒子系において可能な超流動状態は何かについて研究した。短距離斥力相互作用に起因するスピン揺らぎの効果を RPA で取り扱おうと静的な帯磁率は Fermi 波数の 2 倍まで波数によらない斥力となるため、超流動転移可能性を議論する際、クーパー対形成に寄与する波数を Fermi 面上に限る弱結合近似では転移は起こらない。しかし、強結合近似で広く波数および振動数依存性を取り扱おうと RPA の範囲でも超流動転移が起こり得ることを初めて明かにした。実際にこのモデルで各部分波における転移温度を計算した結果、3 次元では既知の  $p$  波対が最も高い転移温度を与えるのに対し、2 次元では  $d$  波対が最も高い転移温度を与え、その値は数 mK の程度になることが可能であるとの結果を得た。それは、2 次元  $^3\text{He}$  の面密度が比較的大きく 2 次元固体形成の近傍では帯磁率が増強されており、そのような領域で転移温度が高くなっていることに由来する。この温度領域は実験的に到達可能な温度であり、今後の実験研究に指針を与えるものである。

以上の結果はいずれも、型にはまらない超伝導 (unconventional superconductivity) 対形成の機構に対して、全く新しい可能性を理論的に指摘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。