

論文審査の結果の要旨

氏名 北谷 基治

本学位論文は、超伝導相への適用を念頭に、新しい近似手法を提案し、同時にこれをハバードモデルとその派生モデルに適用し、異方的超伝導相を含む相図を求め、自発的空間回転対称性の破れや、有効相互作用の特徴、さらに、その超伝導相への影響などを解明したものである。d 波超伝導相を導く平均場型近似として代表的なものに **Fluctuation Exchange (FLEX)** 近似があるが、この近似では、相関効果を正確に取り入れることができないため、モット絶縁体を正しく記述することができないことが知られていた。一方、モット絶縁体を正しく記述することができる近似として動的平均場近似 (DMFT) が知られているが、有効相互作用の波数依存性を扱えないために、空間的な異方性をもった相の記述が困難であった。本論文では両者を組み合わせた新しい近似法を提案している。1 章から 3 章は導入部であり、本論文の中心的な部分である 4, 5, 6 章で議論される物理的問題の背景の説明や方法論の説明がなされている。4 章は、FLEX 近似と DMFT を組み合わせることで新しく得られる方法論について述べ、ハバードモデルの相図を求めている。5 章では、とくに空間的な回転対称性が自発的に破れる **Pomeranchuk** 不安定性が生じる領域の計算の結果を示している。6 章は、DMFT から得られるバーテックス関数を用いて動的バーテックス近似 (D Γ A) を拡張する試みについて述べている。7 章は結論である。以下、より 4, 5, 6 章の内容をより詳しく述べる。

第 4 章では、新しい近似手法として、FLEX 近似と DMFT の組み合わせを考察している。単独の FLEX 近似では、局所的な自己エネルギーを過剰に見積もってしまう傾向があり、超伝導相図で期待されるドーム型の構造を再現することが困難であった。また、正であるべき 2 重占有数が負になってしまうという欠陥も存在していた。本章では両者を **Luttinger-Ward** 汎関数の局所部分と非局所部分に対する寄与を与えるものとみなして結合することで、従来扱えなかった物理現象を再現しうる方法論として提案している。また、得られた近似手法を第 3 近接ホッピングまで含んだハバードモデルに適用して、本来正になるべきところ、FLEX 近似だけでは負になってしまうという欠陥が知られていた 2 重占有率が正になることを確認した。更に、相図については、とくに次近接ホッピングのみの単純ハバードモデルについて、転移温度が電子密度の関数として極大値を持つ「ドーム」構造を再現した。

第 5 章では、第 4 章で提唱した手法を用いて、空間の 90 度回転対称性の自発的な破れが生じる現象 (**Pomeranchuk** 不安定性) が起きるパラメータ領域が存在すること、および、自発的な回転対称性の破れのもとで、超伝導転移温度がどのように変化するかについて論じている。とくに、FLEX 近似だけでは再現できない、**Pomeranchuk** 不安定性が、第 3 近

接ホッピングまで含んだハバードモデルにおいて再現されることを見出した。また、超伝導転移温度と回転対称性の自発的破れの関係について考察し、ある場合には、回転対称性の破れが、超伝導転移温度の上昇をもたらすことを論じている。同時に、FLEX+DMFT 近似の方法による数値計算によって超伝導転移温度と回転対称性の自発的破れが起きる温度を含む相図を得た。この相図は、回転対称性の破れに伴う超伝導転移温度の上昇が実際に起きることを示唆している。

第6章では、非局所自己エネルギーの効果を取り入れて近似の性能を上げるために、DMFT から得られるバーテックス関数を利用して、動的バーテックス近似を、超伝導を扱えるように一般化した。この結果、FLEX+DMFT の結果と同様に、超伝導相図のドーム構造を再現することができることが分かった。さらに、フェルミ準位近傍で有効相互作用が遮蔽されて弱まるという特徴的なふるまいを見出した。

以上のように、論文提出者は本論文において、強相関電子系モデルに対する適用することで、超伝導相を扱うことのできる新しい近似手法を提案し、実際にそれを用いて、従来法で知られていた困難のいくつかが消されることを見出した。更に、回転対称性の自発的破れが超伝導相の出現に及ぼす可能性のある影響を明らかにした。これらの結果は、強相関電子系の理解に新しい方向性をもたらす成果である。また、共同研究の成果である部分についても主として北谷氏の寄与によって得られたものと認められ、論文の内容と形式は東京大学大学院理学系研究科における博士論文に関する指針に則っている。

これらの理由により、博士（理学）の学位を授与できるものと認める。