

論文審査の結果の要旨

氏名 姫田 章宏

1986年に発見された銅酸化物における高温超伝導は、未だにその出現機構についての定説が無く、現在も活発な研究が続けられている。実験により明かにされたことは、超伝導には銅酸化物中の CuO_2 面が本質的な役割を果たし、この面内の電荷がいわゆるハーフフィルド状態の場合には反強磁性が出現し、電荷が減る、即ち正孔が導入されることによって、d波の超伝導が出現するということである。本論文では超伝導機構の解明へ向けた研究の一環として、 CuO_2 面を記述するモデルとして提唱されている2次元 t - J 模型の基底状態を変分モンテカルロ法を用いて研究した結果が述べられている。もちろん2次元 t - J 模型についてはこれまでに多くの研究が行われ、変分モンテカルロ法を用いた研究も行われている。本論文がこれら以前の研究と異なる点は、La系の超伝導体を特徴付けるものとして次近接サイト間のホッピングを取り入れることと、反強磁性と超伝導が共存した波動関数および、ストライプ相を表す波動関数を試行関数として用いたことで、これによってLa系超伝導体で提唱されているストライプ相の成因として提唱されている2つの機構：長距離クーロン力の存在下での相分離説、フェルミ面のネスティング効果説の可否を調べている点である。

本論文は5章からなる。第1章は導入部であり、本論文で考察するLa系の超伝導体についての実験事実、特にストライプ相の可能性、正孔濃度 $1/8$ での相転移温度の低下などが述べられ、続いて、これまでに行われた研究の紹介がなされ、本論文の概要が示されている。第2章は t - J 模型の説明と、変分モンテカルロ法の説明がなされている。

第3章と第4章は本論文の中心部分であるが、先ず第3章では変分に用いる試行波動関数として反強磁性秩序とd波超伝導が一様に共存したものを用い、基底状態の研究を行っている。この結果、超伝導と反強磁性の共存領域は正孔密度が10%程度以下の低濃度領域に限られること、しかし、これらの共存状態は相分離に対して安定ではなく、系は正孔が存在しないハーフフィルドの反強磁性相と、10%程度の正孔の存在の下にd波超伝導のみが実現する相に分離することが示された。次近接ホッピングがないときの相分離の様子はグリーン関数モンテカルロ法の結果と一致し、負の次近接ホッピングは相分離領域を減少させることが明らかにされた。

次に第4章ではストライプ相と超伝導の共存の可能性が調べられた。ストライプ相を表すために、正孔密度、磁化、及び超伝導秩序変数が一方向 (y 方向) に正弦波で変調された状態を平均場として与え、ここでのボゴリューボフ・ドジャン方程式を解いたものを試行関数に用いて、 12×12 の正方格子に12個の正孔が導入された系の近似的な基底状態が得られた。この結果、空間的に変調された相が安定に存在するためには、実際のLa系超伝導体に対応する負の次近接ホッピングが必要であることが明かにされた。なお、超伝導秩序変数としては隣り合うストライプ間で符号が等しい場合と、逆の場合が調べられた。符号が逆の場合がより低いエネルギーを与えることが明かにされたが、この結果は c 軸方向のジョセフソン結合が弱いという実験事実と矛盾しないと言う主張がなされている。

最後の第5章では本研究のまとめが記されている。相分離が正孔密度が低い領域に限られることからストライプの原因としては相分離説は不適當であることが述べられ、空間変調構造の実現には次近接ホッピングが必要であることは、フェルミ面のネスティング効果説を支持するものであるとの主張が行われている。

以上のように本論文は変分モンテカルロ法という信頼できる方法に基づき、典型的な強相関係である2次元 t - J 模型の研究を行い、新しい知見を得たものとして高く評価できる。なお、本論文の第3章、第4章は小形正男、加藤岳生との共同研究であるが、論文提出者が主体となって研究を進めたもので論文提出者の寄与が十分であると判断した。

したがって、博士(理学)の学位を授与できるものと認める。