

# 論文審査の結果の要旨

氏名 是常 隆

本論文は6章からなる。第1章はイントロダクションとして、研究の動機と簡単な内容の説明が行われている。第2章は前半で本論文で考察するフラストレーションのある格子構造を持つ物質の紹介を行い、後半では従来の理論のまとめとして、幾何学的フラストレーションを持つ系の一般的な性質、モット絶縁体に電子または正孔が導入されたときの共鳴原子価結合状態 (RVB), 及び強磁性について述べられている。次の第4章以下が本論文での研究成果を述べた部分であり、先ず第3章ではここで取り扱う  $t$ - $J$  模型の導入と、それに対する高温展開法の説明が行われている。第4章は系の磁性に関する研究の結果が述べられ、第5章では系の超伝導相関についての研究結果が述べられている。最後に第6章では本研究のまとめが述べられている。なお、本論文ではこの他に付録として高温展開法の詳細の説明と、高温展開で得られた具体的な展開係数の膨大な表が付けられている。

本論文で取り扱われたのは三角格子とカゴメ格子上の  $t$ - $J$  模型である。そもそも四角格子上の  $t$ - $J$  模型は高温超伝導体を表す標準的な模型として、様々な方法により、膨大な研究が積み重ねられてきた。電子間の強い相関を表す模型であるがために、長年の多数の研究者による研究にも拘わらず、未だにその性質は解明し尽くされていない。本論文で取り扱う三角格子とカゴメ格子は電子正孔が導入されていないときには格子上のスピン間相互作用にフラストレーションを持つために更に難しい模型であるといえる。このような模型で低温での基底状態を明らかにしようというのが本論文の目的であるが、この場合に理論の近似などに依存しない、きちんとした結果を出したいという要求の下に選択された手法が高温展開法である。

高温展開法は高温極限からの温度の逆数による展開で自由エネルギーなどを求める方法である。従って、無限次までの展開ができれば絶対零度まで正しい自由エネルギーが求められるが、現実には有限次数までの展開しかできないので、この方法で基底状態についてどこまで分かるかは難しいところである。本研究では展開は12次まで行われ、パデ近似を用いて、低温への外挿が行われた。その際、エネルギーの関数としてのエントロピーのパデ近似を求めるといふ、新しい方法も用いられ、現時点での計算機環境の下で、最良の結果を得る努力が払われている。

本論文では先ず、第4章で三角格子とカゴメ格子について、基底状態での磁性についての研究結果が述べられている。これらの格子では、電荷が導入されていないときにはスピン間の相互作用にフラストレーションがあり、古典的な反強磁性秩序より、量子的なスピン状態が出現しやすいと考えられているが、電荷を導入したときにはそのような

量子的状態が更に起こりやすくなるのではないかというのが、研究の動機である。ここではまず、これらの格子ではホッピング積分  $t$  の符号により、一電子状態密度が大きく変わることが指摘され、この結果、 $t$ -J 模型においても  $t$  の符号により系の性質が全く異なることが明らかにされた。即ち、 $t$  が正の場合には正孔濃度が 0.2 から 0.4 の領域で帯磁率の高温からの現象が見られ、これは低温での短距離 RVB 状態の実現を意味するものと結論付けられた。一方、 $t$  が負の場合には帯磁率の発散的な増大が見られ、これは絶対零度での強磁性の出現につながると結論された。 $t$  が負の場合には一電子状態はバンドの底で平坦になる。従って、この強磁性状態は低ドーピング領域での平坦バンド強磁性状態と、ドーピングがゼロの極限での長岡強磁性を連続的に結ぶ物であると、結論された。

次に第 5 章では超伝導相関についての研究結果が述べられている。ここでは三角格子とともに、フラストレーションの無い四角格子についての研究結果も示されている。まず、既に様々な研究が行われている四角格子では、これまでの研究と同様に  $d$  波の超伝導相関が低温で増大することが確かめられた。一方三角格子では、 $t$  の符号によって結果が異なることが明らかにされ、まず、 $t$  が正で短距離 RVB 状態が期待される場合には  $d$  波の超伝導相関が低温に向けて一番大きな増大を示すことが示された。一方強磁性的な  $t$  が負の場合には低電荷密度において  $f$  波の超伝導相関が増大し、これはハバード模型での結果と整合するものであること、また、 $1/2$  充填近傍の狭い領域では  $d$  波の超伝導相関がもっとも強く増大することが示された。

以上第 4 章と第 5 章で得られた結果は現時点での計算機環境の下での高温展開として、最善のものであり、この範囲では疑問の余地のない明確な結論を得たものとして、本論文は高く評価できる。

なお、本論文は小形正男との共同研究であるが、論文提出者が主体となって計算を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。