

## 論文審査の結果の要旨

氏名 田村 亮

本論文は4章からなる。第1章は序論であり、フラストレートスピ系に関する過去の理論研究をまとめ、本研究の目的、位置づけが述べられている。第2章では格子の離散的回転対称性が破れたスパイラルスピン状態に関する研究結果が、また第3章では面間ランダム相互作用の効果によって現れるランダムファンアウト状態に関する研究結果が示されている。第4章は本論文のまとめである。

スピン間相互作用の競合によってすべての相互作用エネルギーを最小化できない系、すなわちフラストレーションのあるスピン系では、強磁性や反強磁性といった従来型の磁気秩序が低温まで抑えられることにより、新奇な相転移や非従来型の磁気秩序など興味深い物性が出現する。本研究は、近年新奇な磁気秩序の出現が報告されたフラストレート物質である三角格子磁性体  $\text{NiGa}_2\text{S}_4$  およびランダム磁性体  $\text{Sr}(\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x)\text{O}_2$  に着目し、フラストレーションが引き起こす相転移や磁気秩序に関する理論研究を行ったものである。

$\text{NiGa}_2\text{S}_4$  は  $S=1$  のハイゼンベルクスピンを持つ二次元性の高い三角格子磁性体である。この物質では、低温においてスピンの非整合な短距離秩序（数サイト程度のスピン相関）の存在を示す磁気ピークが観測されている。田村氏は本論文に先立つ研究で、相互作用のある三角格子上の連続スピンモデルを用いた理論解析を行っているが、設定したスピン相互作用パラメータではシミュレーションで用いた周期境界条件とは非整合なスパイラルスピン状態が現れることから、熱力学極限の議論を行うことができなかった。そのため本論文の第2章では、このモデルが示す本質的な物性を明らかにするために、整合なスパイラルスピン状態が基底状態となる相互作用パラメータを用いた研究を行った。その結果、モンテカルロ法によって得られた比熱に対する有限サイズスケリングにより、熱力学極限における有限温度一次相転移の存在が確かめられた。また一次相転移温度以下では、スピン相関長は数百サイト以上の長さになること、さらにこの一次相転移点では、モデルの秩序変数空間に関連した  $Z_2$  渦対の解離および格子の離散的回転対称性の破れが同時に起こることが確認された。

第3章でとりあげたランダム磁性体  $\text{Sr}(\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x)\text{O}_2$  は、平面四配位構造を持つ  $\text{SrFeO}_2$  の Fe イオンを Mn イオンにランダム置換することによって合成される。Mn イオン濃度の値を 30% ( $x=0.3$ ) にすると、低温で  $(\pi\pi\pi)$  と  $(\pi\pi 0)$  の磁気ピークが同時に観測される混合相が出現する。しかしこれまでの理論研究では、こ

の二つの波数ベクトルによって記述される磁気秩序の存在は報告されていなかった。本論文では、面内 (ab 面内) と面間 (c 軸) 方向で相互作用の起源が異なることから、これらの相互作用を区別した立方格子上のサイトランダム連続スピンモデルを構築して、モンテカルロ法を用いた数値計算を行った結果、Mn 濃度と温度を軸とする相図中に  $(\pi\pi\pi)$  と  $(\pi\pi 0)$  の波数ベクトルが共存する混合相を発見した。この相図によれば、温度を下げることによって常磁性相  $\rightarrow (\pi\pi\pi)$  または  $(\pi\pi 0)$  反強磁性相  $\rightarrow$  混合相という逐次相転移が起こることが分かる。このとき、高温側および低温側の二次相転移はそれぞれ三次元ハイゼンベルクモデルおよび三次元 XY モデルのユニバーサリティクラスに属している。またこの混合相のスピン配置は、面間 (c 軸) 方向の磁化ベクトルが平行または反平行に揃わず、Mn 濃度に依存した角度で傾き、さらに面間ランダム相互作用の影響から各スピンが磁化ベクトルの周りに扇状に分布した構造 (ランダムファンアウト状態) を持つことが明らかになった。この磁気構造はフラストレーション系においてしばしば現れるスパイラルスピン状態とは異なり、ランダム相互作用の効果によって誘発される新しい種類の磁気秩序である。また、リートベルト解析から、このスピン配置は  $\text{Sr}(\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x)\text{O}_2$  ( $x = 0.3$ ) の中性子散乱の磁気強度を良く再現できることがわかった。

以上のように本論文では、フラストレート古典連続スピン系の新奇な磁気秩序を、有限温度のモンテカルロ法とその結果の解析を用いて明らかにし、物理的に重要な新たな知見が得られた。なお本論文は指導教員である川島直輝氏ほか、田中 宗氏、山本隆文氏、Cedric Tassel 氏、陰山 洋氏との共同研究の成果を含んでいるが、論文提出者が主体となって理論計算と解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、審査員全員の一致により、博士 (理学) の学位を授与できると認める。