

氏名(本籍)	福島孝治(京都府)		
学位の種類	博士(物理学)		
学位記番号	博甲第1,499号		
学位授与年月日	平成8年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	物理学研究科		
学位論文題目	Monte Carlo Study on Phase Transition of Ising Spin Glasses (イジングスピニングラスの相転移に関するモンテカルロ法を用いた研究)		
主査	筑波大学教授(併)理学博士	高山	一
副査	筑波大学教授	理学博士	高田 慧
副査	筑波大学教授	理学博士	久保 健
副査	筑波大学講師	理学博士	平島 大

## 論文の要旨

スピニングラスは強磁性と反強磁性の相互作用がランダムに混ざった磁性体である。互いに競合する相互作用が空間的にランダムに存在する系において、スピンの集成的な凍結を伴う相転移が存在するかどうか、存在するとすればその凍結(秩序)相はどのようなものであろうか? 福島孝治氏提出の本論文は、このスピニングラスに関する最も基本的な問題を計算物理的手法によって追究したもので、英文で5章からなる。

序論の第1章に述べられているように、これまでのスピニングラス研究の大きな成果は、無限レンジ相互作用をもつ模型から構築された平均場理論である。この理論は、位相空間で見たスピニングラス相の自由エネルギーが複雑な多谷構造を持つことなど、全く新しい相転移描像を提起した。これが現実のスピニングラス物質にも当てはまるかどうかの問題が、最近のスピニングラス研究の焦点になっている。そのような研究において、数値シミュレーション、なかでも、モンテカルロ法による計算物理的手法が最も有効な研究手段である。ある確率的なルールで系を時間発展させ、その時間平均で熱平衡値を評価するのがモンテカルロ法であるが、多くの準安定状態が存在するスピニングラスの低温相においては、系が一つの準安定状態にトラップされてしまうため、可能な計算時間の範囲では正しい熱平衡状態を再現できない、という問題が生じる。

本論文の第2章では、この困難を飛躍的に軽減するために本論文の著者が新たに考案した計算手法、「交換モンテカルロ法」が述べられている。この手法では、まず、着目する系の複製を多数導入し、各々を異なる温度の熱浴に接触させ、通常のモンテカルロ法に従った状態更新を行なう。その上で、異なる複製間の状態を交換する(一つの複製からみれば温度を交換する)過程を新たに導入する。詳細釣合の条件を常に満たすように設定された、この新たな過程によって、各状態は温度空間を移動することでトラップされた準安定状態からの脱出が容易となり、早く平衡状態に達することができる。この手法の有効性をイジングスピニングラス模型に関して詳しく調べ、平衡状態への緩和過程の特徴的な時間スケールは各状態が設定した全温度範囲を探索する時間で与えられること、その時間はこれまでのモンテカルロ法での緩和時間よりも圧倒的に短いこと等を検証している。

第3章では、交換モンテカルロ法を用いて、スピニングラスに対する最も基本的な模型であるところの3次元±Jイジングスピニングラス模型における相転移現象を解析している。同手法によって、大きな系でしかも低温相のシミュレーションが可能になった結果、まず、この系において有限温度でスピニングラス相転移が存在すること、および、その低温相は対称性の低下を伴って有限の秩序パラメータが出現しているような秩序相であることが検

証された。次に、自由エネルギーの構造と密接に関係している秩序変数の分布関数を調べたところ、平均場描像の特徴である、自由エネルギーの多谷構造の存在を強く示唆する結果を得ている。

第4章では、サイトランダム模型とよばれる系の臨界現象を解析している。この模型は、立方格子の上にランダムに分布させた2種類の磁性イオン (A, B) から構成され (A イオンの濃度を  $c$  とする)、最隣接相互作用のうち B-B イオン間のみ反強磁性的で、それ以外のイオン間は強磁性的であるとする。交換モンテカルロ法を適用してこの模型を調べた結果、温度-濃度面上での常磁性相と秩序相の相境界は  $c=1/2$  に関して対称であること、その秩序相では、A イオンが多い場合 ( $c>0.5$ ) は強磁性秩序、B イオンが多い場合 ( $c<0.5$ ) は反強磁性秩序が形成されていること、さらに、 $\pm J$  模型で見いだされたようなスピングラス相は存在しない (したとしても  $c=1/2$  の極近傍に限られる) ことを示すとともに、結果に対する物理的な考察を行っている。

なお、第5章は結果のまとめに当てられている。

## 審 査 の 要 旨

本論文の著者が独自に考案した「交換モンテカルロ法」は、スピングラスに限らず、多数の準安定状態の存在が予想されるような複雑系に対する、きわめて有力な計算手法であると考えられ、今後大きく発展するものと期待される。この手法を用いることによって初めて得られた、3次元 $\pm J$ イジングスピングラス模型の秩序相に関する新たな知見はたいへん興味深く、スピングラス研究における最も基本的な問題に対する着実な一歩前進と言えよう。サイトランダム模型の成果も、現実の物質 (この場合は磁性混晶) により近い模型を解析することによって、多様なスピングラス現象の理解を深めようとするものであり、高く評価される。以上のように、本研究で得られた多くの新たな知見は、今後、計算物理学およびスピングラスの分野の研究の進展に大いに貢献するものと認められる。

よって、著者は博士 (物理学) の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。