

氏名(本籍)	にしむらこうじ (京都府)			
学位の種類	博士(理学)			
学位記番号	博甲第1085号			
学位授与年月日	平成5年3月25日			
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当			
審査研究科	物理学研究科			
学位論文題目	Theory of the Naive Mean Field Model for Spin Glasses (スピングラスのナイーブ平均場模型の理論)			
主査	筑波大学教授	理学博士	高山	一
副査	筑波大学教授	理学博士	高田	慧
副査	筑波大学助教授	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

スピン間の交換相互作用がスピン対によって強磁性的なものと反強磁性的なものとランダムに入り混ざった磁性体をスピングラスという。相互作用が互いに競合し合っているランダム系であり、このような系における協力現象、特に相転移現象の問題は近年の統計力学・物性基礎論の主要な研究課題の一つである。これまでに最も単純な理論模型、すなわち、 ± 1 の2値だけをとるイジングスピンからなり、相互作用が全てのスピン間に同等に存在する平均場模型(SK模型という)に関して、レプリカ法と呼ばれる理論手法に基づいて、その特異な相転移描像がほぼ明らかにされている。エネルギー的にほぼ縮退した多数の(準)安定状態を伴う、自由エネルギーの多谷構造がその典型である。ところが、レプリカ法は純数理的な操作でまずランダム系をある人為的な均一スピン系に焼き直してから議論を展開するため、その結果と元々のスピン系の性質との関連が必ずしも明らかでないという難点があった。

本研究の目的は大別して2つある。その1つは、SK模型に対するレプリカ法から導かれたスピングラス特性を、実スピン系に対する直接的な解析から検証することにある。そのために、各スピンの熱平均値に対する状態方程式を数値的に解析する。SK模型に対する状態方程式にはワイス場と呼ばれる通常の平均場に加えて、オンサガー場とも呼ばれる自己反跳場があるため、数値的解析が著しく困難になっている。この自己反跳場を除いた状態方程式で記述される理論模型が論文題目にあるナイーブ平均場(NMF)模型である。その数値的解析が容易である利点を生かして、本研究ではこの模型の状態方程式を徹底的に調べ上げ、スピングラス相の様々な特性を明らかにした。まず、状態方程式の解の安定性から相図を決定し、また、スピングラス相における準安定状態の数を数え

上げ、これを温度と磁場の関数として確定した。ところで、多数の準安定状態が互いにどれほど違っているか（位相空間で互いにどれほどの距離にあるか）を示す量を準安定状態の重なりという。その分布が自由エネルギーの多谷構造を特徴付けるものとして重要である。本研究では、重なり分布関数と呼ばれるこの分布が、熱力学的極限においても相互作用の分布の詳細によって異なること（非自己平均性と呼ばれる性質）、さらに、この分布関数が従う分布則がSK模型に対するレプリカ法から導かれた分布に一致していることを明らかにした。

本研究の第2の目的は、1つのサイトに m 個のイジングスピンの存在しているような、2項スピン模型に対するレプリカ法による理論の構築にある。 $m=1$ がSK模型に、 $m=$ 無限大がNMF模型に対応しており、両模型を内挿する、一般化されたスピングラス平均場模型である。この理論を構築することに成功を取めたこと自体が成果の1つであるが、さらに重要な結果は、レプリカ法においてスピングラス特性を規定する基本方程式（パリシ方程式と呼ばれる）が m に依らないことが示された点である。これは、SK模型に対するスピングラス特性がそのままNMF模型について当てはまる、従って、この特性が少なくとも平均場模型の範囲では普遍的であるという第1の研究結果をレプリカ理論から基礎付けるものである。本研究ではNMF模型に対する状態方程式とレプリカ法からのアプローチの定量的な比較も試みている。

審 査 の 要 旨

スピングラスの平均場理論は、相互作用に競合が内在するランダム系における斬新かつ特異な相転移描像を提起し、ランダム磁性体に限らず、種々の最適化問題やニューラルネットワーク模型など、広範な分野に展開されている。従って、おもにレプリカ法に基づいて導かれたスピングラスの相転移現象を実スピン系の特性として理解することは大変重要である。本研究では、そのようなアプローチのための数値的解析が比較的容易なナイーブ平均場（NMF）模型を取り上げ、詳細な解析によって、様々なスピングラス特性が数値的に検証され、その結果がSK模型で期待されるものほとんど一致することが示された。この一致、すなわち、スピングラス特性の普遍性を基礎付ける目的で、SK模型とNMF模型を内挿する2項スピン模型の熱力学をレプリカ法によって定式化し、実際、スピングラス特性を規定する基礎方程式が内挿のパラメータに依らないことを示した。本研究で得られた以上の結果は、スピングラスの統計力学に新たに加えられるべき重要な知見であり、本論文の成果は高く評価される。

よって、著者は博士（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。