

氏 名(本 籍)	横 <sup>よこ</sup> 田 <sup>た</sup> 光 <sup>てる</sup> 史 <sup>ふみ</sup> (東 京 都)
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	博 乙 第 673 号
学位授与年月日	平成 3 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 2 項該当
審 査 研 究 科	物 理 学 研 究 科
学位論文題目	Random Ising Models with Transverse Field : Mean Field Theory and Pair Approximation (横磁場中のランダムイジング模型：平均場理論とペア近似)
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	筑波大学教授 理学博士 小 寺 武 康
副 査	筑波大学助教授 理学博士 宗 田 敏 雄

## 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がランダムに入り混ざった磁性体をスピングラスと言う。また、交換相互作用は一樣に強磁性的であるが、スピングとにランダムな向きの外部磁場がかけられているようなスピン系の性質を解析する問題をランダム磁場問題という。前者ではスピン間相互作用が互いに競合し、後者では相互作用による強磁性秩序をランダム外部磁場が壊そうとする。このような競合する効果が内在するランダム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、 $\pm 1$  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模型（平均場模型と呼ばれる）、に関してのみ、その相転移描像がほぼ明らかにされているが、現在、現実のランダム磁性体により近い理論模型の解析が研究の焦点になっている。

本研究は、おもに横磁場のかかったランダムイジング模型を取り上げ、ランダム磁性体の相転移に対する、スピンの量子性と相互作用の短距離性の効果を解析したものである。「横磁場中のイジングスピン」とは、スピンをベクトルとして捉え、ただし相互作用効果はその 1 成分（例えば  $z$  成分）にのみ働き、外部磁場はその横方向（例えば  $x$  方向）にかけられた状況を、スピンの  $z$  成分と  $x$  成分の量子力学的非可換性を取り込んで考察する理論的アプローチを指す。本研究ではこのアプローチを上述したランダムイジング模型に適用し、その相転移現象に対する横磁場効果を二つの理論的処方箋、すなわち、レプリカ法とペア近似法を用いて調べている。レプリカ法では、まず、量子系を同等な古典

系に書き換える鈴木・トロッター公式を用い、ランダムな交換相互作用あるいはランダム外部磁場に関する平均操作としてレプリカ法を用いることにより均一系の問題に還元し、その分配関数の鞍点法による評価を行なう。ペア近似法では、2つのスピン対についてはその相関効果および量子性を正しく取り込み、他のスピンの影響を平均場で置換し、その際同時にランダム変数に関する平均も行なうて系の熱力学量を評価する。その結果、次のような事実が明らかにされた。

ランダム磁場イジング模型に対する横磁場効果を見るため、レプリカ法を用いて平均場模型について相図を決定し、その結果から、横磁場が強磁性秩序に及ぼす影響は、定性的には温度が及ぼす影響と類似したものであることを明らかにした。ただし、詳しくみると両者の効果は同等ではなく、特にランダム磁場が2値分布の場合は、その絶対値のある領域で、温度を下げて行くと常磁性相から強磁性相に転移した後、さらに低温で常磁性相に戻るといった、リエントラント転移が横磁場の下で存在することを示した。

相互作用が短距離型のランダム磁場イジング模型における横磁場効果をペア近似法を用いて調べ、相互作用のレンジが無限大である平均場模型との違いを明らかにした。特に、2値分布のランダム磁場下の平均場模型においてはランダム磁場の増大に伴って2次相転移から1次相転移への移行（3重臨界点）が見られていたものが、1つのスピンと相互作用でつながるスピンの数が減少するとともに1次相転移の領域が減少し、その数が3のとき3重臨界点が消えることを示した。

スピングラスに対するイジング平均場模型（SK模型）における横磁場効果を調べるために、ペア近似を用いて、サイト磁化に対する状態方程式（TAP方程式）を横磁場がある場合に拡張し、そのスピングラス相の特性を解析した。横磁場はスピングラス秩序に対しても温度と同様な影響を及ぼすが、横磁場下のスピングラス相についても、それがマージナルに安定であり、多数の準安定状態をもつことを明らかにした。

## 審 査 の 要 旨

ランダム磁性体の相転移は一般的な理論的取り扱いが難しく、数値的なシミュレーションもきわめて大規模な計算を必要とし、平均場模型からより現実的な理論模型への展開が難渋している。このような状況にあって、横田氏の研究では、ランダムイジング模型に対するこれまでの平均場模型にスピンの量子性を取り込んだ場合、および、相互作用をより現実的な短距離型にした場合の相転移現象が、スピンの量子性と系固有のランダム性を取り込んだレプリカ法とペア近似法を用いて徹底的に解析されている。近似に基づく解析であるが、例えば、ペア近似で得られたランダム磁場問題の3重臨界点の消失がベーテ格子上の同じ模型に対するより厳密な議論の結果と一致することを確認するなど、その妥当性の範囲もきちんと押さえられている。横磁場系に固有なリエントラント転移など、本研究で得られた結果はランダム磁性体に関する新しい知見であり、本論文の成果は高く評価される。

よって、著者は理学博士の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。