



Title	Monte Carlo Studies of the Ordering of Heisenberg Spin Glasses
Author(s)	今川, 大輔
Citation	大阪大学, 2004, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/45147
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	いま がわ だい すけ 今 川 大 輔
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	第 1 8 4 2 3 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 16 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 理学研究科宇宙地球科学専攻
学 位 論 文 名	Monte Carlo Studies of the Ordering of Heisenberg Spin Glasses (ハイゼンベルグスピングラスの秩序化のモンテカルロ法による研究)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 川村 光 (副査) 教 授 河原崎修三 教 授 小川 哲生 教 授 菊池 誠 助教授 谷口 年史

論 文 内 容 の 要 旨

スピングラスは、強磁性相互作用と反強磁性相互作用が混在するようなランダム磁性体であり、フラストレーションとランダムネスで特徴付けられる。長年、スピングラスの秩序化の問題は「複雑系」の典型例として精力的に研究されてきており、零磁場ではスピンの時間的に、かつ空間的にランダムに凍結するスピングラス相が熱平衡相転移に伴い存在することが実験的に確立されている。スピングラスではそれ特有の物性が実験で観測されているが、とりわけ、磁場中でのスピングラス相転移の振舞いは非常に興味を引くものである。理論的には、これはスピングラス秩序相がレプリカ対称性の破れ (RSB) と呼ばれるハミルトニアングローバル対称性とは無関係なエルゴード性の破れを伴うが否か、という基本的な問題と密接に関係している。本論文では、磁場中での 3 次元ハイゼンベルグスピングラスの秩序化現象に焦点を当てた、大規模モンテカルロシミュレーションによる研究結果を等方的な場合と異方的な場合の両方について報告する。計算にあたっては、近年スピングラス秩序化において隠れた秩序変数として主要な役割を果たすと言われている「カイラリティ」という量にも注目して行なった。ここで、「カイラリティ」はフラストレーションで誘起されるスピンの立体構造度を表し、複数のスピンから定義される量である。

本論文では、まずはじめに磁場がない場合の等方的ハイゼンベルグスピングラスに関して調べた。3 次元系においては、過去の仕事により RSB を伴うカイラルガラス転移が有限温度で起こり、同時にスピンの秩序化は起こらないという結果が報告されている。しかし、近年、スピンとカイラリティが同時に秩序化する可能性が指摘されている。一方、無限次元系に相当する平均場モデルでは、通常のスピングラス転移が起こることが知られている。ここで、4 次元以上の高次元系でのスピンとカイラリティの関係がどうなっているのかという問題が湧いてくるが、これは 3 次元系における秩序化に対する知見を得るという点においても、非常に重要である。そこで、本研究では第 1 に 4 次元以上の高次元ハイゼンベルグスピングラスのスピン・カイラリティの秩序化に関して研究した。その結果、4 次元ではカイラリティが秩序変数である相転移が起こり、5 次元以上ではスピンが秩序変数である通常のスピングラス転移が起こることがわかった。

磁場がない場合の性質をおさえた後、次に、本論文では有限磁場中における 3 次元等方的ハイゼンベルグスピングラスについて調べた。3 次元ハイゼンベルグスピングラスの磁場中における計算は過去にまったくなされておらず、

今回初めて磁場中の秩序化現象の解析を行なった。その結果、磁場中においても、零磁場と同様の RSB を伴うカイラルガラス転移が有限温度で起こり、スピンの磁場に垂直な成分は同時に秩序化しないことをはじめて示した。また、カイラルガラス相は磁場に対してかなり安定であることもわかった。

最後に、実験との対応で一番興味深い弱い異方性のある場合の 3 次元ハイゼンベルグスピングラスの磁場中での秩序化現象に関する研究を行なった。その結果、スピン・カイラリティともに有限温度での純粋な RSB 相転移が存在することがわかり、特にカイラリティに関して有限温度で 2 次相転移が起こっている強い証拠を得た。3 次元スピングラス模型（特にイジング系）の磁場中相転移の存在に関して論争が未だ行なわれているのに対して、今回得られた結果は特に注目すべきものである。更に、磁場-温度面相図を描くと、低磁場領域で転移温度が磁場の印加とともに急激に低下する de Almeida-Thouless (AT) 線的な振舞いをし、高磁場側では転移温度が磁場を印加してもほとんど変化しない Gabay-Toulouse (GT) 線的な振舞いが見られ、現実の異方性の弱いハイゼンベルグ型スピングラス物質の相図に非常に近い振舞いを示す事もわかった。

論文審査の結果の要旨

スピングラスはランダムネスとフラストレーションで特徴付けられるランダム磁性体である。その磁気秩序化現象は、所謂「コンプレックス系」の秩序化の典型例として、理論実験の両面からこれまで活発に研究が展開されてきた。ハイゼンベルグスピングラスは、磁氣的に等方的なハイゼンベルグ型の交換相互作用を有するスピングラス物質を指し、希薄磁性合金スピングラス（カノニカルスピングラス）を含む大多数のスピングラスはこのタイプのものである。精力的な研究にもかかわらず、スピングラスの磁気秩序の本質については未だ十分な理解が得られておらず、幾つかの点で未解決の問題が残されている。その中で、実験的なスピングラス転移を説明するための理論として提唱され、近年注目されている説に「カイラリティ仮説」がある。これは、カイラリティというスピン配置の右・左を表す離散的な物理量が、隠れた秩序変数としてスピングラス転移で重要な役割を担っているとするシナリオである。

このような状況下で、今川大輔君は、大規模熱平衡モンテカルロシミュレーションを駆使することにより、主として磁場中におけるハイゼンベルグスピングラスモデルの秩序化の諸性質を、スピン、カイラリティ双方を直接観測することにより、数値的に詳細に調べた。磁場下のハイゼンベルグスピングラスのシミュレーションについては、様々の理由によりこれまで例がなく、世界的にも初めての計算である。等方的な場合、および弱いランダムな磁気異方性を有するより現実的な場合の双方を解析した。その結果、ハイゼンベルグスピングラスは磁場中でも 1 ステップ的なレプリカ対称性の破れ (RSB) を伴った熱力学的相転移を示すという重要な結果を得た。磁気異方性がある系では、カイラリティの秩序化は同時にスピンの秩序化も伴う。弱い磁場下では転移温度が一旦急激に低下するが、強い磁場下では転移温度はほとんど磁場強度によらず、スピングラス秩序相は磁場に関して頑強であるという結果を得た。これら磁気相図に関する結果は、最近のカノニカルスピングラスに関する実験結果と調和的である。シミュレーションの諸結果はカイラリティ仮説の予言と良い一致を示し、カイラリティ仮説を強く支持するものとなった。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。