

論文審査の結果の要旨

氏名 田中 宗

ガラス、スピングラスなどの系には、ランダムネスとフラストレーションが存在し、それを反映してダイナミクスに様々な興味深い挙動が現れる。その典型として、遅い緩和がある。田中宗提出の学位請求論文では、フラストレーションを持つランダムネスの無い古典スピン系をいくつか提案し、遅い緩和に代表される、ガラスに類似したダイナミクスを示すことを明らかにした。

本論文は、英文で六章からなる。第一章では、フラストレーション系における遅い緩和や非単調な緩和を中心にレビューし、本研究の動機と論文の構成をまとめている。第二章では、カゴメ格子上の容易軸型異方性を持つ反強磁性体を考察している。カゴメ格子の構成要素となる一つの三角形上の基底状態では、一つのスピンは容易軸方向のどちらかを向き、残りの二つのスピンは容易軸に対して傾く。後者の二つのスピンを容易軸のまわりに任意の角度で回転してもエネルギーは変わらない。全ての三角形について基底状態になっている状態はカゴメ格子全体でも基底状態となる。このとき、容易軸に対して傾いたスピンを線で結ぶと閉じたループを形成する。各ループについて、ループ上のスピンを容易軸のまわりに一斉に回転してもエネルギーは変わらないので、基底状態は無数に縮退している。本論文では、このようなループを風見鶏ループと名付けた。局所的更新に基づく古典モンテカルロ法によるダイナミクスを調べた結果、風見鶏ループの数が二段階で緩和することがわかった。一段階目の緩和は、エネルギーなどの熱力学量の緩和と同時に起きる。しかし、二段階目の緩和はエネルギーの緩和に比べ非常に遅い。

第三章では、飾りスピン・飾りボンドを持つ古典スピン系を考察している。まず、正方格子上の古典 Ising モデルを考える。この系にはフラストレーションがなく、速い緩和を示す。以下では、この正方格子上の Ising モデルにあったスピンをシステムスピンと呼ぶ。次に、2つの隣接するシステムスピンの対それぞれについて、各スピン対とのみ相互作用する飾りスピンをいくつか導入する。飾りスピンとシステムスピンの間の相互作用に適切なフラストレーションを導入すると、飾りスピンを介したシステムスピン間の有効相互作用がゼロになり、平衡状態でのシステムスピンの統計分布に飾りスピンは全く影響を及ぼさない。しかし、システムスピンの状態の更新には飾りスピンの状態の変化も伴うので、ダイナミクスには影響する。本論文では、モンテカルロシミュレーションにより、飾りスピンの導入によって実際に緩和が非常に遅くなることを示した。

第四章では、2つの Ising スピンと、それらと相互作用する飾りスピンからなる簡単な系における非単調緩和を調べている。2つの Ising スピン間の直接相互作用と飾りスピンを介した相互作用の間にフラストレーションがあると、これらの競合により平衡状態でのスピン相関が温度の非単調関数となる。これを反映して、緩和も非単調性を示すことが期待できる。この系では確率的時間発展を与える Liouville 演算子を有限次元の行列として表現できるので、時間発展を厳密に解くことができる。その結果、期待したように非単調な緩和が実際に起きることが明らかになった。

第五章では、本論文での他の研究と多少方向性が異なるが、非整合らせんスピン構造があるときの電子状態を系統的に調べ、電子が局在する条件を明らかにした。また、第六章は全体のまとめにあてられている。

以上のように、本論文ではフラストレーションを持つ新たな古典スピン系のモデルを提案し、ランダムネスを持たないにも関わらず、遅い緩和や非単調緩和などのガラスやスピングラスに見られるのと類似した特徴的なダイナミクスを示すことを明らかにした。本論文で見いだされた遅い緩和は、既知のものと異なる新しいメカニズムによるものであり興味深い。従って、本論文は学位論文として十分な水準にあり博士（理学）の学位授与に値するものであると、審査委員が全員一致で判定した。なお、本論文の内容は宮下精二氏、桂法称氏、永長直人氏との共同研究によって *Progress of Theoretical Physics Supplement*, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, *Journal of Physics: Condensed Matter*, *Journal of Physical Society of Japan*, *Physical Review Letter* の各誌に出版済の論文に基づいている。ただし、論文提出者はこれらの論文の第一著者として主体的に計算および結果の考察を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断される。また、田中宗氏の学位論文とすることに関して各共同研究者の同意承諾書が提出されている。