

量子 Ghatak-Sherrington 模型の相転移

長内 淳樹

東京工業大学大学院理工学研究科 物性物理学専攻

量子揺らぎを加えた Ghatak-Sherrington(GS) 模型の相転移について議論する。GS 模型はスピンの大きさ S が 1 のスピングラス模型であり、一次転移と二次転移を含む相図が得られる [1]。そのハミルトニアンは以下のように与えられる。

$$H = - \sum_{i>j} J_{ij} S_i^z S_j^z + D \sum_{i=1}^n (S_i^z)^2.$$

ここで、 $i < j$ で表された和は全てのスピン対について取り、全スピン数を N とする。 S_i^z は $0, \pm 1$ の 3 値を取る。ハミルトニアンの第一項目は交換相互作用を表し、 J_{ij} は平均が 0、分散が J^2/N の Gauss 分布で与えられる。第二項目は結晶場を表す。 $D \rightarrow -\infty$ では $S^z = \pm 1$ が有意となるため、Sherrington-Kirkpatrick(SK) 模型と等価となる。一方で、 D の値を大きくすると、 $S^z = 0$ なる状態が分配関数に寄与するようになる。よって、GS 模型は一般化された SK 模型と言うことも出来る。

良く知られるように、一次転移が起きる転移点直上では、複数の状態の共存状態が実現している。また、それらの状態間にはポテンシャル障壁が存在することも一次転移の大きな特徴と言える。古典的な相転移の描像では、熱揺らぎがポテンシャル障壁を越える遷移を引き起こし相転移が起きる。特に低温領域に注目すると、熱揺らぎの効果は小さいため、このような機構による相転移は起きにくくなる。一方で、低温では量子揺らぎが有意となるため、ポテンシャル障壁を透過する遷移が可能となる。そこで、本研究では量子揺らぎを加えた GS 模型を解析することで、一次転移に対して量子効果がどのような影響を及ぼすかを調べた。

量子 GS 模型の解析にあたり、分配関数の経路積分表示およびレプリカ法を用いた。経路積分を用いると、 d 次元量子系は $(d+1)$ 次元古典系にマップすることが出来る。加えられた 1 次元は量子揺らぎに由来するもので、秩序変数の虚時間依存性として現れる。相図を描くために、まず静的近似という秩序変数の虚時間依存性を無視する近似を用いて解析を行った。量子 SK 模型の場合は、低温領域で静的近似が悪い近似となることが多くの先行研究によって指摘されている。それは秩序変数の虚時間依存性が、低温において重要な役割を果たすことを意味する。本研究では、高橋によって考案された量子 SK 模型における静的近似の改良法 [2] を GS 模型に拡張して解析を行った。静的近似による相図と改良したものとを比較した結果、 $S = 1$ の場合は結晶場 D が大きな領域で静的近似がよい近似となっていることが明らかとなった。本講演ではその詳細について報告する。

参考文献

- [1] S. K. Ghatak and D. Sherrington, J. Phys. C **10** (1977) 3149.
- [2] K. Takahashi, Phys. Rev. B **78** (2007) 184422.