

スピングラスの基底エネルギーの解析

宮崎 涼二

東京工業大学大学院理工学研究科 物性物理学専攻

磁性体の中に、磁性をもたない不純物を混ぜ合わせたりすると、通常の磁性体とは異なるふるまいを示すようになる。そのような状況を、スピン間の相互作用をランダムにすることでモデル化したものがスピングラスである。相互作用のランダムさが加わることで、強磁性体などのランダムでない系と比較して、物理量の計算は格段に難しくなる。とくに現実の系に対応する有限次元の場合、物理量を解析的に厳密に計算することはほとんどできない。有限次元のスピングラスの相図中で解析的な計算ができる領域は限られていて、西森線と呼ばれる線上のみである。西森線上ならばエネルギーを厳密に計算することができる。だが残りの領域については、解析的には手も足も出ないという状況である。もちろん、すべてを解析的に厳密に計算できるとはとても思えない。数値計算や近似計算は物理を理解する上で欠かせないものである。しかし厳密解は最も信頼できる結果であるとともに、数値計算や近似計算の結果の妥当性を見る上でも重要な役割を果たす。それにもかかわらず、スピングラスにおいては厳密な結果があまりにも少ない。

そのような状況下において、西森線以外でエネルギーを厳密に計算するという野心的かつ画期的な試みを本発表では紹介する。その方法は西森・竹田によって考案されたもので、具体的には2次元正方格子における $p = 1/2$ の $\pm J$ イジング模型の基底エネルギーを考察する。 $\pm J$ イジング模型とは、イジングスピンの相互作用の強さを確率 p で J に、確率 $1 - p$ で $-J$ にする模型である。解析には、レプリカ法、ハミルトニアンのゲージ対称性、および双対変換を利用する。レプリカ法とは、スピングラスのランダムさによる困難を緩和するための方法である。考察する系と同じ系（レプリカ）が複数あるかのように考え、それらをまとめて計算する。またここで用いる双対変換に関する方法は、スピングラスの相図中の三重点の位置を導出するという、西森らによる研究 [1] によるものである。

基底エネルギーの解析は、西森線以外における物理量の厳密な計算の第一歩である。しかし問題がないわけではない。問題は次の二点である。問題の一点目は、最も興味のあるエネルギーを計算するためにはレプリカ数が負という奇妙な場合を考えなくてはならないことである。そしてもう一点は、素性のよくわからない関数を導入しなくてはならないことである。とくに後者は、双対変換の通常の利用法では解決できない問題を解決しようとしたがために生じている。したがってこの問題の解決は、双対変換による相転移点の決定法の拡張の可能性すら秘めている。本発表では、どういう場合には厳密な計算が可能で、どういう場合にはこれらの問題が表面化するかについて言及する。また問題を解決するための今後の展望についても述べる。

参考文献

- [1] H. Nishimori, J. Stat. Phys. **126**, 977 (2007).