

# 短距離相互作用スピングラス模型における基底状態の一意性について

## [1]要旨

短距離相互作用がランダムに定まっているスピングラス模型の代表的な模型として Edwards-Anderson 模型がよく知られている。相互作用が連続なランダム変数ならば、Edwards-Anderson 模型の基底状態は自明な縮退を除き一意的に定まることが示された。

## [2]本文

交換相互作用が各ボンドで、強磁性または反強磁性となるような、スピングラス模型の統計物理学的な性質は1970年代から物理学者や数学者によって調べられて来ているが、依然として理解できていない困難な問題が残っている。中でもランダムな短距離相互作用を持つ Ising 模型として代表的な模型である Edwards-Anderson (EA) 模型の低温における振る舞いについては、相反する2つの描像に基づいた論争が40年も続いている。その一つの描像では、EA 模型は、スピングラスの平均場模型である Sherrington-Kirkpatrick (SK) 模型と同様に振る舞うとされる。SK 模型では、レプリカ対称性の破れ (Replica Symmetry Breaking (RSB)) と呼ばれる自発的対称性の破れが低温で起こることが知られている。RSB が起こっているとき、2つのレプリカスピンの重なりが任意の値を取る励起状態のエネルギーは確率1で基底エネルギーに無限に近くなる。この描像は RSB 描像と呼ばれ、やはり低温で EA 模型でも RSB が起こっているとされる。RSB 描像によれば、基底エネルギーに無限に近いエネルギーを持つ励起状態が巨視的な数存在することになる。もう一つは、ドロプレット描像と呼ばれ、そこでは、EA 模型でも一様な相互作用を持つ強磁性 Ising 模型と同じように、自明な縮退を除くと基底状態は一意的に存在し、その上のドロプレット状態と呼ばれる低エネルギー励起状態は SK 模型ほどたくさんないとされる。これらの2つの描像がお互いに相いれないことは、はっきりしていて、EA 模型に対してどちらの描像が正しいのかは長い間の論争となっており、どちらが正しいのか未だにはっきりしていない。単純なスピン系における統計物理学の経験によれば、短距離相互作用を持つスピン系はある上臨界次元と呼ばれる次元以上で、対応する平均場模型の臨界現象と同様に振る舞う。このような経験に従えば、EA 模型に対応する平均場模型は SK 模型なので、ある臨界次元以上では、RSB 描像が成り立つと予想される。これらの描像の真偽を確かめるには、EA 模型の基底状態や低エネルギー励起状態の性質を把握することが重要だが、それらの性質はよく分かっていない。

日本大学大学院理工学研究科物理学専攻の統計物理研究室では、ランダムスピン系の模型を、理論的に研究して来ている。最近、ランダムスピン模型の基底状態や低エネルギー励起状態を調べるための技術を開発することによって、糸井千岳氏は交換相互作用が連続変数であれば EA 模型の基底状態は自明な縮退を除くと一意であることを示した。この結果は、EA 模型の低温での振る舞いを明らかにするための第1歩となるはずであり、日本物理学会が発行する英文誌 Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)の2021年3月号に掲載された。

最近接相互作用を持つ EA 模型の任意のスピン配位の関数と最近接スピンの間の連結相関関数は絶対零度で消えてしまうことを導くことができる。この性質により、各最近接スピンの相関関数は絶対零度で1または-1となり、最近接スピンの対は平行または反平行の配位を確率1でとらなければならない。さらに、EA 模型の持っている全体のスピンを反転させる  $Z_2$  対称性を破るために、

例えば原点のスピンを 1 に固定すると、全ての格子点のスピン値がこのように固定したスピン値と最近接スピンの相関関数から定まってしまうことが示される。すなわち、EA 模型の交換相互作用にフラストレーションがあったとしても、各最近接スピンの相関関数の符号は相互作用の符号と異なり、スピン配位を矛盾なく一意に定めることが示される。

本論文においては、相関関数の無限体積極限を取って絶対零度極限を取り、結果が示されるように素朴に書かれているが、厳密には、有限系の場合に正しい結果である。また、励起状態の性質に関する言及もあるがそれに関してはさらなる検討が必要である[1]。

本論文は、これら EA 模型の秩序状態に関する考察を喚起し、低温での振る舞いを明らかにするための重要な問題的提起を与えている。

#### 参考文献

[1] C. Itoi, Errata, submitted to J. Phys. Soc. Jpn.

原論文 (2 月 17 日公開済)

Uniqueness of Ground State in the Edwards-Anderson Spin Glass Model

Chigak Itoi, J. Phys. Soc. Jpn. **90**, 033002(2021).

<情報提供 糸井千岳 (日本大学) >