

フラストレートした2次元量子スピン系の 非線形シグマモデルによる研究

名古屋大学大学院 理学研究科 紀藤 吉哉

豊田工業大学 工学部 高野 健一¹

名古屋大学大学院 理学研究科 大野 義章²

三重大学 工学部 佐野 和博³

$S = \frac{1}{2}$ 反強磁性ハイゼンベルグ ($\frac{1}{2}$ -AFH) モデルは磁性を記述するモデルとして歴史的に長く支持されている。高温超伝導体の母物質である La_2CuO_4 は、反強磁性の長距離秩序を有する2次元モット絶縁体であるが、中性子散乱実験における相関関数の温度、波数依存性が、正方格子 $\frac{1}{2}$ -AFH モデルで記述できると考えられており、このモデルに対する研究が集中的に行なわれた。さらに最近になって、 CaV_4O_9 やスピン梯子系のように低温極限まで磁気秩序を示さず、スピン励起にギャップを有する物質が発見されており、どのような機構によりスピングャップを生ずるのか興味を持たれている。

本研究では、フラストレーションを含む正方格子 $\frac{1}{2}$ -AFH モデルにおいて、基底状態の秩序領域とスピングャップを持つ無秩序領域を調べた。フラストレーションの効果は、最近接交換相互作用 J_1 に次近接 J_2 を加えることにより取り入れる。このモデルは古典的には、 $J_2/J_1 > \frac{1}{2}$ に対してはネール秩序、 $J_2/J_1 > \frac{1}{2}$ に対してはコリニア秩序を持ち、全パラメータ領域が秩序状態になっている。

相図を求める方法として、 $\frac{1}{2}$ -AFH モデルを非線形シグマモデルに変換する方法が試みられてきた。フラストレーションがない場合には、磁化率や相関関数の温度依存性が量子モンテカルロ法とよく一致する結果が得られている [1]。フラストレーションがある場合は、ネール側 ($J_2/J_1 < \frac{1}{2}$) の相

¹E-mail: takano@toyota-ti.ac.jp

²E-mail: c42545a@nucc.cc.nagoya-u.ac.jp

³E-mail: sano@phen.mie-u.ac.jp

図は文献 [2] で調べられており、 $J_2/J_1 > 0.22$ で無秩序状態となることが主張されている。一方、著者らの知る限りでは、コリニア側 ($J_2/J_1 > \frac{1}{2}$) の相図を調べたものはない。また、これまでに用いられた方法では、非線形シグマモデルに変換する際に自由度を保持していないという問題点がある。

本研究では、幾つかのサイトのスピンを 1 つにまとめるというブロック化の方法により、自由度を保持したままで非線形シグマモデルへの変換を可能とした。1 次元量子スピン系の場合には、2 つのスピンを組にして変換するブロック化の方法が知られており、結合交替のある場合にも適用できる非線形シグマモデルが導かれている [3]。最近では、より大きなブロックを用いることによって、任意の周期をもつ 1 次元混合スピン系に対しても非線形シグマモデルが導出されている [4]。これらを参考にして、2 次元系のブロックとして、ネール側では 4 サイト、コリニア側では 2 サイトのものを採用した。分配関数を経路積分表示して、ブロックごとに変数変換を行い、非線形シグマモデルを導出した。このとき、トポロジカル・タームが現れないことがわかった。

得られた非線形シグマモデルに繰り込み群の結果 [1] を適用して、 J_2/J_1 を変化させた時の相図を求めた。それによると $J_2/J_1 < 0.32$ ではネール秩序、 $J_2/J_1 > 0.55$ ではコリニア秩序、その間は無秩序状態である。この結果は、線形スピン波理論の無秩序状態の領域 (0.38~0.50[5]) やシュウインガーボゾン法のそれ (0.52~0.57[6], 0.53~0.64[7]) とは異なっている。しかし、ネール秩序がなくなる点 ($J_2/J_1=0.32$) は最近の量子モンテカルロ法の結果 [8] とコンシステントである。

参考文献

- [1] S. Chakravarty, B. I. Halperin and D. Nelson, Phys. Rev. Lett. **60** (1988) 1057; Phys. Rev. **B39** (1989) 234.
- [2] T. Einarsson and H. Johannesson, Phys. Rev. **B43** (1991) 5867.
- [3] I. Affleck, Nucl. Phys. B **257** (1985) 397; **265** (1986) 409.
- [4] K. Takano, to be published in Phys. Rev. Lett.
- [5] P. Chandra and B. Doucot, Phys. Rev. **B38** (1988), 9335.

- [6] F. Mila and T. M. Rice, *Physica* **C157** (1989), 561.
- [7] L. O. Manuel, A. E. Trumper and H. A. Ceccatto, *Phys. Rev.* **B57** (1998), 8348.
- [8] S. Sorella, *Phys. Rev. Lett.* **80** (1998), 4558.