

24. 2次元量子XYモデル ($S=1/2$) の磁化緩和

金沢大学理学部 高須昌子

京都大学教養部 宮下精二

§1 Introduction

2次元量子XYモデル:

$$H = -J \sum_{\langle ij \rangle} (\sigma_i^x \sigma_j^x + \sigma_i^y \sigma_j^y) \quad (1.1)$$

但し和は最近接ボンド

の平衡系の性質に関しては、 $T=0$ で長距離秩序が存在することが、厳密に確かめられている。[1] 私達は、このモデルの基底状態での対称性を調べるために、磁化過程を求める。

例えば、長距離相互作用XYモデル[2]、

$$H = -\frac{J}{N} \left\{ \left(\sum \sigma_i^x \right)^2 + \left(\sum \sigma_i^y \right)^2 \right\} \quad (1.2)$$

において、スピン数 N が有限のときは、

$$|G\rangle = \left(\sum \sigma_i^- \right)^{\frac{N}{2}} F(z) \quad (1.3)$$

$$\text{但し } F(z) = |\uparrow \cdots \uparrow\rangle \quad (1.4)$$

と表示。

のような x , y 方向に等方的な状態 $|G\rangle$ が基底状態となっている。しかし、 x 方向にのみ長距離秩序がある状態:

$$|G_x\rangle = \sum_i |i\rangle \quad (1.5)$$

但し、和は z 表示での全ての状態の和

を考えると、 N が有限の時は、 $|G_x\rangle$ は励起状態であるが、 $N \rightarrow \infty$ で $|G\rangle$ と $|G_x\rangle$ は縮退することがわかっている。[2] つまり、 $N \rightarrow \infty$ において、この量子系は無限小の磁場をかけることによって、対称性のある状態から、対称性の破れた状態へ移ることが可能である。

一方、古典系では、例えば、Fig. 1は、3次元XYモデルであるが、ベクトル・スピンの xy 平面内を回転していて、対称性の破れた状態となっている。

私達は、短距離相互作用の量子系である(1.1)が、どちらのタイプになっているかを知るため、次の章で説明するようなシミュレーションを行った。

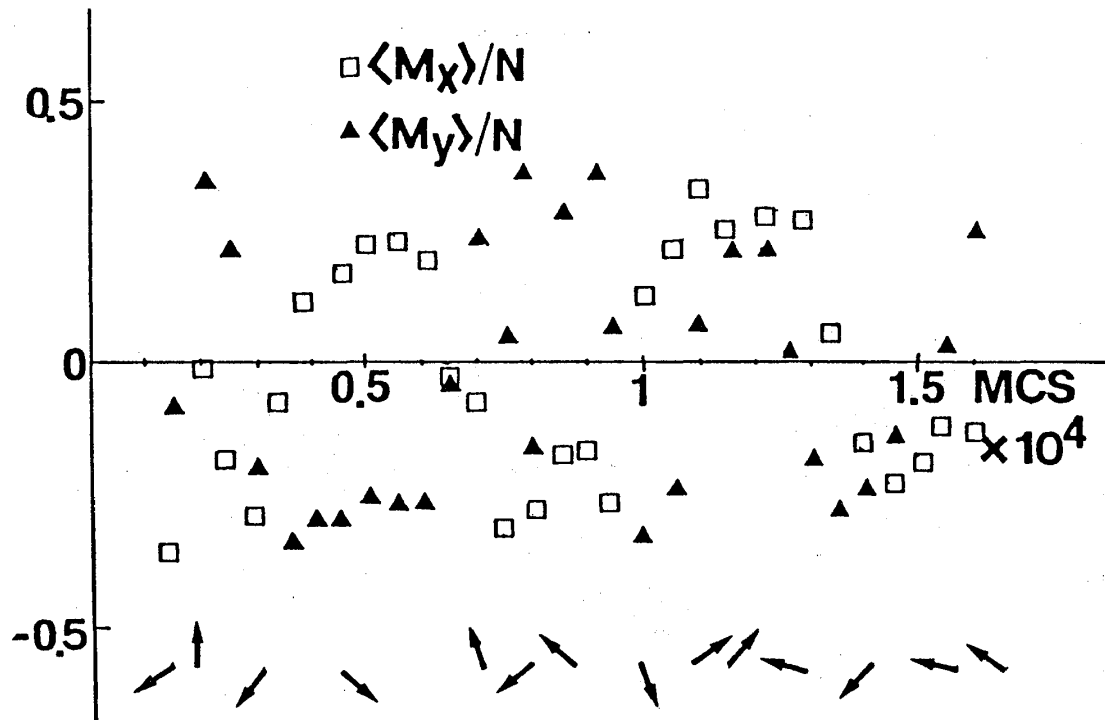


Fig. 1 3次元強磁性古典的XY模型の磁化の時間変化
($N = 12 \times 12 \times 12$, $T = 0.3$)

§2 モンテカルロ法

物理量の本当の時間変化をシミュレーションで測定することは困難であるので、平衡系のシミュレーション[3,4]で用いたダイナミクスによってスピンを動かし、この時の1モンテカルロステップ(MCS)を時間の単位と考える。実際の時間との関係は明らかではないが、§1で述べたような緩和に関しては、この方法でも大体の傾向をつかめると考える。

緩和を見る物理量としては、 $\langle M_x^2 \rangle$ は、長距離秩序との関連で興味深い量であるが、平衡値の正確な値がわかっているわけではないので、 $\langle M_x \rangle$ に関して、緩和を議論する。以下の結果は $t=0$ で全スピンをx方向にそろえておいて、 $t>0$ での緩和を調べる。サンプルを1000個用意し、同じ初期状態から、違う乱数で緩和させ、平均をとる。

§3 結果と考察

緩和の温度依存性をFig. 2に示した。このモデルは、 $kT/J=3.0 \sim 3.5$ 付近で、古典系に類似なKT転移が見られる。相転移点付近の詳細な解析はここでは行わないが、大体の傾向をFig. 2に見ることができる。高温側の $kT/J=5.0$ では、 $\langle M_x \rangle$ は、指数関数的に非常に速く減衰する。低温側では、高温側に較べて遅い緩和であり、温度が下がるにつれて、べきに近い緩和になる。

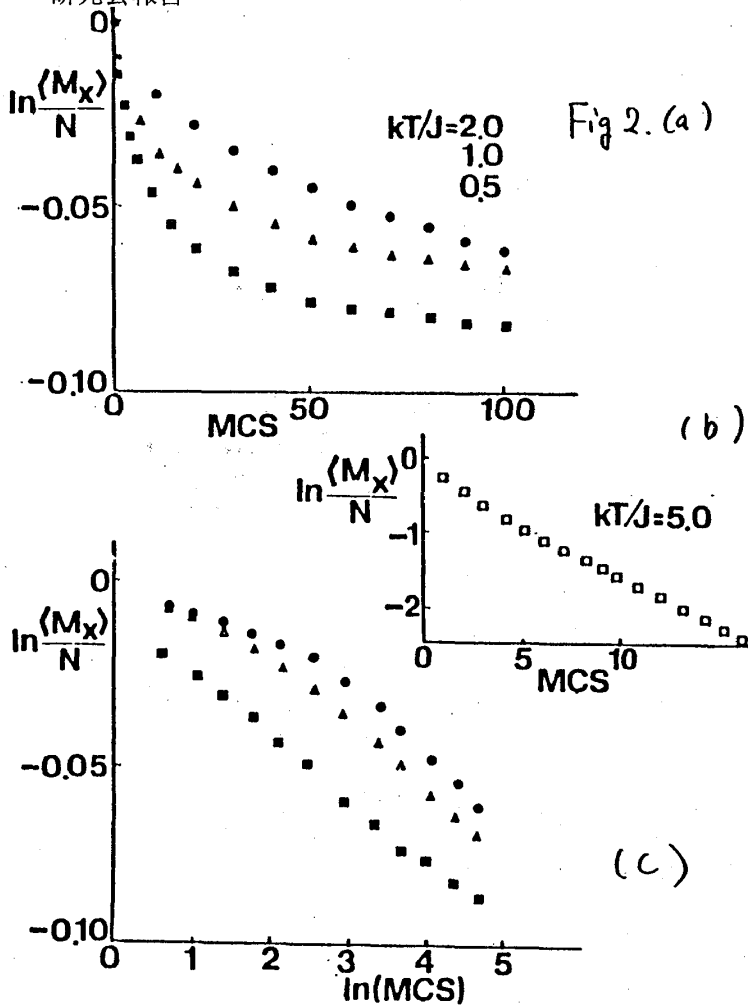
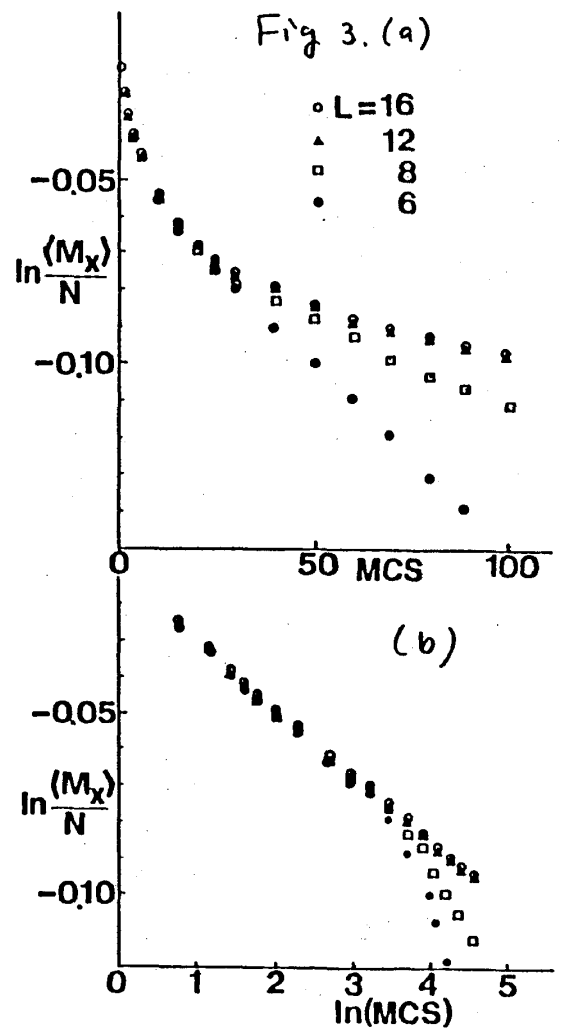


Fig. 2
磁化緩和の温度依存性
($L=16, n=20, \text{SAMP}=1000$)

Fig. 3
磁化緩和の格子サイズ依存性



緩和の lattice size 依存性を Fig. 3 に示した。本来、トロッタ数に関する外挿を行わなければならないが、ここでは、簡単のため、 $n = 8$ に固定して、各格子サイズのデータを比較する。温度は $kT/J = 1.0$ である。格子サイズが小さい時、($L = 6, 8$)、緩和は非常に速い指数的減衰であり、格子サイズを大きくすると、緩和はゆっくりとした power decay に変わる。つまり、格子サイズが大きくなると、古典的なゆっくりとした緩和となる。

§ 4 まとめ

以上、2次元強磁性量子XY模型に関して、モンテカルロ・フリップで定義されるダイナミックスの下での緩和について、主に低温での結果を報告した。格子を大きくするにつれ、古典系での緩和の性質がみられるようになる事がわかった。今後の課題としては、 T_c 付近での緩和を古典系の場合と比較する予定である。

参考文献

- [1] T. Kennedy, E. Lieb, B. Shastri, Phys. Rev. Lett, 61 (1988) 2582
K. Kubo, T. Kishi, Phys. Rev. Lett. 61 (1988) 2585
H. Nishimori, Y. Ozeki, Y. Tomita, J. Phys. Soc. Jpn, 58 (1989) 82
- [2] M. Suzuki, S. Miyashita, Can. J. Phys. 56 (1978) 902
S. Miyashita, unpublished.
- [3] M. Takasu, S. Miyashita, M. Suzuki, Springer Series in Solid State Physics, 74 (1987) 104
- [4] M. Takasu, S. Miyashita, M. Suzuki, Y. Kanada, Proceeding of International Conference of Magnetism (1988)