

# エンタングルメントと一次元量子スピン系の基底状態

基礎物理学講座 物性基礎物理学 41417125 尾古 昌崇

エンタングルメントは量子系において特有な非局所的相関であり、量子情報や量子計算の分野で重要な役割を担っている。近年では物性分野、特に量子スピン系において多くの研究が進められてきており、その系の性質や相転移などとの関連も議論されるようになった [1]。

本研究ではエンタングルメントの度合を表す量として、これらの研究で良く使われる”フォン・ノイマンエントロピー”  $S_b = -\text{Tr}(\rho_{\text{red}} \log_2 \rho_{\text{red}})$  [2] ( $\rho$  は縮約密度行列) を導入し、次のようなハミルトニアンで記述される次近接相互作用のある  $S=1/2$  一次元 XXZ 量子スピン系において、エンタングルメントがどのような挙動を示すかを調べた:

$$\begin{aligned} \hat{H}/J = & \sum_i^N [(\hat{S}_i^x \hat{S}_{i+1}^x + \hat{S}_i^y \hat{S}_{i+1}^y + \Delta \hat{S}_i^z \hat{S}_{i+1}^z) \\ & + J_3(\hat{S}_i^x \hat{S}_{i+2}^x + \hat{S}_i^y \hat{S}_{i+2}^y + \Delta \hat{S}_i^z \hat{S}_{i+2}^z)], \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $\Delta$  は異方性パラメータ、 $J_3$  は次近接相互作用パラメータである。

このモデルは  $J_3, \Delta$  の値によって古典的な Néel 相, 量子的な Spin Fluid 相, Dimer 相という3つの相が確認されている [3]。それらの相での基底状態と第一励起状態のエンタングルメントエントロピーの  $J_3, \Delta$  依存性を、有限個のリングの厳密対角化によって調べ、各相との関係を考察した。この計算によれば、どの相においても各々の第一励起状態のエントロピーが基底状態のエントロピーに漸近する。特に Néel-Dimer 間の相転移点は励起状態のエントロピーの交点を外挿することで見積もることができることが確認された。本論文ではそれらのエントロピーの振舞いから量子相転移や基底状態の特徴とエンタングルメントとの関係について議論する。

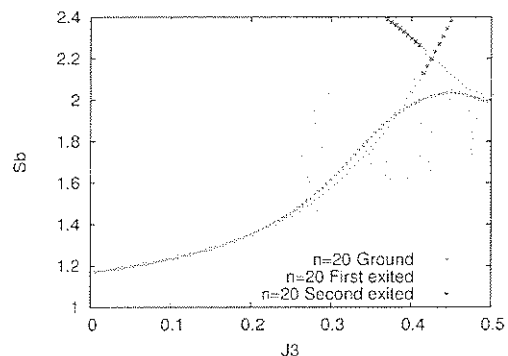


図 1: 基底状態と励起状態のエンタングルメントエントロピー ( $\Delta = 5$ )

## 参考文献

- [1] Y. Chen, P. Zanardi, Z. D. Wang, and F. C. Zhang, quant-ph/0407228(2004)
- [2] V. Vedral, M. B. Plenio, M. A. Rippin, and P. L. Knight, Phys. Rev. Lett. **78**, 2275 (1997)
- [3] K. Nomura and K. Okamoto, J. Phys. Soc. Jpn. **62**, 1123 (1993)