

# Entanglement Entropies of Non-Equilibrium Finite-Spin Systems

中川 弘一

星薬科大学 物理学研究室

K. N., Prog. Theor. Exp. Phys. **2015** (2015), 021A01

# 内容

イントロ

ハミルトニアン

通常 of 密度行列

散逸を伴う非平衡系

通常 of エンタングルメント・エントロピーとコンカレンス

拡張された密度行列

“拡張された” エンタングルメント・エントロピー  
(結果)

結論

## イントロ (ショートスピーチ)

熱場ダイナミクス (TFD) によって量子論的エンタングルメントを解析する, 新たな方法が

Y. Hashizume and M. Suzuki, *Physica A* **392**  
(2013), 3518.

によって考案された.

この TFD を用いた, 量子論的エンタングルメントの取扱い方法により, 二重 Hilbert 空間上において拡張された密度行列が定式化された.

$$|s\rangle := |s_A, s_B\rangle \implies |s, \tilde{s}\rangle := |s_A, s_B\rangle |\tilde{s}_A, \tilde{s}_B\rangle$$

このとき、TFDのチルダ状態が初期状態のトレーサーとなり、エンタングルメント状態を分類しやすくすることが分かる。

その結果、二重 Hilbert 空間上において拡張された密度行列は、熱的、古典論的な揺らぎの部分と量子論的なエンタングルメントの部分に分けることができる。つまり、有限温度における量子論的なエンタングルメントの寄与を単独で取り出すことができる。

また、上記の Ref. H. & S. では、この TFD による方法が、平衡系だけではなく非平衡系へも適用可能であることが指摘されている。(M. Suzuki, “The general representation theorem of TFD”)

上記の Ref. H. & S. では，平衡系および非平衡系でのスピンの間のエンタングルメントの例で拡張された密度行列の計算をおこなっているが，それらに基づく，“拡張された”エンタングルメント・エントロピーは具体的に計算されていなかった。

そこで，今回の研究では，TFDに基づき，非平衡スピン系の“拡張された”エンタングルメント・エントロピーを，散逸をとりいれて，具体的に計算し，通常のエンタングルメント・エントロピーやコンカレンス等と比較してみた。

結果としては、非平衡スピン系の“拡張された”エンタングルメント・エントロピーを熱的、古典論的な揺らぎの部分と量子論的なエンタングルメントの部分に分けることができ、量子論的なエンタングルメントの寄与を単独で取り出すことができた。それぞれの部分の時間発展は複雑な関数になっており、あるパラメータを固定した数値シミュレーションとして示した。