

# 重力双対を持つ 2 次元共形場理論における分離クエンチ

基礎物理学研究所素粒子論研究室 島地 哲平

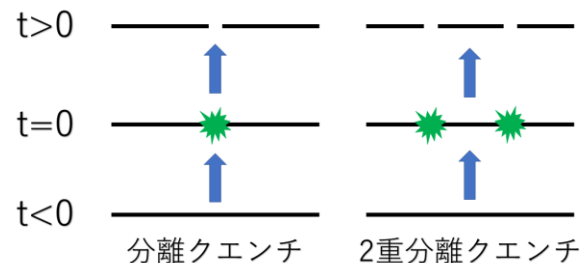
**Abstract** We study the dynamics of entanglement entropy (EE) for excited states in 1+1 dimensional conformal field theory (CFT) which are created by instantaneous splitting local quenches at one or two different points. Especially, we interpret the dynamics of EE in holographic CFT by dual gravity picture.

© 2020 Department of Physics, Kyoto University

近年、実験技術の発展により冷却原子系における熱平衡化が実験で観測され、理論と実験の両方から量子系の非平衡過程への理解が進んでいる。量子系での非平衡過程を理論的に取り扱うことは、エンタングルメントと呼ばれる量子情報理論的な現象により相互作用が弱い場合でさえも容易ではなく、量子情報理論的なアプローチから非平衡過程を理解する理論研究が活発になされている。そこで我々は新たに、強結合でカオス性の強い 1+1 次元共形場理論を①分離クエンチをしたときの②エンタングルメントエントロピー(EE)の時間発展を計算した。

① クエンチとは、ある量子系のハミルトニアンを基底状態を用意して、瞬時にハミルトニアンを変化させることを指す。用意された基底状態はクエンチによって励起状態となり、クエンチ後のハミルトニアンを基底状態へと熱平衡化していく。とくに N 重分離クエンチとは、ある N 点での相互作用を“切る”ことで、瞬時に量子系を N+1 個に分離するクエンチのことであり、[1]では二重井戸型ポテンシャルを用いて 1 次元冷却原子気体を 2 つに分離する実験がなされている。

② エンタングルメントエントロピー(EE)とは注目系とそれ以外の系との量子的なもつれの度合いを測る量であり、これを用いることでエンタングルメントに起因する量子系の非平衡過程を調べることができる。超弦理論から予想された AdS/CFT 対応を用いることで、AdS 時空に双対となるような共形場理論(CFT)での EE を、AdS 時空内の測地線の長さを用いて計算することができる[2]。AdS 時空に双対となる共形場理論は、強結合でカオス性が強い量子系の臨界点での物理を記述する理論であると考えられており、冷却原子系への応用を考える上でも興味深い。



我々は新たに[3][4]で、AdS 時空に双対となる共形場理論の真空に対して分離クエンチと 2 重分離クエンチをしたときの EE の時間発展を、AdS 空間内の測地線の長さを計算することで解析した。その結果、二つの興味深い結果を得た。

一つ目はカオス性の強い非平衡系での EE の振る舞いである。カオス性が強いために、カオス的でない可積分な共形場理論に比べて急速に熱平衡化することが分かった。また、分離した系にまたがるような注目系を考えたときに、可積分な系とは全く異なる振る舞いをする事が分かった。

二つ目は AdS/CFT 対応の検証や応用という理論的側面である。分離した系にまたがるような注目系を考えたときに、EE に対応する測地線が AdS 空間の Poincare 座標で覆える領域の外に出ることが分かった。したがってこのときの EE は時空の大域的なトポロジーに関係しており、AdS/CFT 対応を考える上で興味深い具体例となっている。また、[3][5]では分離クエンチの他に、ある時刻で量子系を接合するクエンチも考えており、そこで用いた解析手法はブラックホール蒸発過程のモデル[5]にも利用されている。

## References

- [1] M. Gring *et al.*, Science 337.6100, 1318–1322 (2012).
- [2] S. Ryu and T. Takayanagi, Phys. Rev. Lett. 96, 181602 (2006).
- [3] T. Shimaji, T. Takayanagi, and Z. Wei, JHEP 03, 165 (2019)
- [4] P. Caputa, T. Numasawa, T. Shimaji, T. Takayanagi, and Z. Wei. JHEP 09, 018 (2019).
- [5] A. Almheiri, R. Mahajan, J. Maldacena, Y. Zhao, arXiv: 1908.10996