

# 修士論文概要 (2022 年度)

大阪大学大学院理学研究科物理学専攻 原子核理論研究室

# 格子 QCD 数値計算を用いた重クォーク QCD 臨界点の有限サイズスケーリング 解析の高精細化

芦川 涼 原子核理論研究室 (物理学専攻)

クォークやグルーオンの動力学を記述する量子色力学 (QCD) が記述する物質は、有限温度において相転移を起こすことが知られている。クォーク数密度がゼロの場合、この相転移はクロスオーバーである。しかしクォーク質量が現実よりも重い領域あるいは軽い領域では、相転移の次数が一次になることが知られている。しかし、臨界クォーク質量の定量的な値は分かっていない。また、一次相転移とクロスオーバーの境界に現れる臨界点は 3 次元イジング模型と同じ  $Z_2$  普遍類に属すると考えられているが、これに関する数値的検証は発展途上である。

本研究では、格子 QCD 数値計算を用いて重クォーク領域の臨界点の解析を行う。先行研究では比較的格子間隔の粗い  $N_t = 4$  で解析が行われたが、本研究ではより格子間隔の小さい  $N_t = 6$  で解析を、大きな空間体積を確保したまま行う。また、ホッピングパラメーター展開と再重みづけ法を用いた効率的な数値解析を実現する。ポリヤコフープを秩序変数とみなしたビンダーキュムラント解析を行った場合、 $Z_2$  の有限サイズスケーリングの結果をわずかに再現しないことを示す。そこで、秩序変数を改良した解析を行い、スケーリングの成立を調べる。

# AdS/CFT 対応を用いた遅延グリーン関数の非一意性に関する理論的解析

柳川 耀平 原子核理論研究室（物理学専攻）

量子重力理論、ひいてはその先にある自然界の4つの力を統一する理論の有力候補として超弦理論が注目されている。超弦理論の最も注目すべき特徴にホログラフィック原理と呼ばれる双対性がある。AdS/CFT 対応はホログラフィック原理の具体例の1つである。AdS/CFT 対応によると、5次元の AdS 時空における量子重力理論とその境界時空上にある4次元時空の共形場理論が等価であることが主張される。この主張はブラックホール時空の解析を行うことで、双対な有限温度量子系の強結合領域を解析することが可能であることを示唆する。

近年、この対応を用いた研究において有限温度量子系の遅延グリーン関数が持つ新たな普遍的性質が明らかとなった。この性質は Pole-Skipping 現象 (PS) と呼ばれる。PS とは、松原周波数と特定の複素数の運動量で遅延グリーン関数が一意に決まらないことを意味する。発見当初、PS が発現した周波数と複素数の運動量が量子カオスと関連することが知られていたため、量子系の持つカオス性が遅延グリーン関数の非一意性に反映されることが期待されていた。しかしその後の研究で、PS は様々な遅延グリーン関数が持つ普遍的な性質であり、さらには量子カオスとは関連がないと考えられる周波数、運動量でも起こるありふれた現象であることがわかった。いまだに量子カオスを示す正の松原周波数かつバタフライ速度に関連する運動量で発現する PS はエネルギー密度遅延グリーン関数だけであるが、その繋がりも解明されていない。

そこで本修士論文では PS について明らかとなっていないことの中で特に量子カオスと PS の関連性について理解を深めることを目的として、主に [1], [2], [3], [4] の PS 解析のレビューを行った。具体的には、外場の運動方程式のホライズン近傍における内向き解の非一意性を解析する。この解析の結果、様々な遅延グリーン関数が PS を発現すること、及び遅延グリーン関数の持つ非一意性に関する数式的な定義を得た。最後に得られた結果を用いて PS と量子カオスとのつながりについて一定の考察を行った。

## 参考文献

- [1] M. Blake, R. A. Davison, S. Grozdanov, H. Liu, Many-body chaos and energy dynamics in holography, JHEP 10 (2018) 035. [arXiv:1809.01169](#).
- [2] M. Blake, R. A. Davison, D. Vegh, Horizon constraints on holographic Green's functions, JHEP 01 (2020) 077. [arXiv:1904.12883](#).
- [3] N. Ceplak, K. Ramdial, D. Vegh, Fermionic pole-skipping in holography, JHEP 07 (2020) 203. [arXiv:1910.02975](#).
- [4] N. Ceplak, D. Vegh, Pole-skipping and Rarita-Schwinger fields, Phys. Rev. D 103 (10) (2021) 106009. [arXiv:2101.01490](#).