

課題名 (タイトル) :

格子計算によるブラックホールの量子論的性質の解明

利用者氏名 : 加堂大輔

所属 : 初田量子ハドロン物理学研究室

1. 本課題の研究の背景

ブラックホールや重力の量子論的な性質の理解において、AdS/CFT 対応 (Maldacena, 1997) をはじめとするゲージ重力双対性が果たす役割は大きい。ゲージ重力双対性とは、素粒子の運動を記述するゲージ場の量子論と超弦理論を背景とする重力理論が等価であるという予想である。この予想を用いると、ブラックホールの情報喪失問題の理解、超弦理論の非摂動的な定義、さらに、量子色力学、超伝導、超流動の重力理論によるホログラフィックな記述など、様々な魅力的な試みが可能になる。これらの試みの多くは双対性が正しいとする立場に立ち、その応用が広がるにつれ、論理の根本である双対性の検証が重要な課題となっている。

これまで双対性予想の検証は、局所化の方法などを用いて限られた超対称な物理量に対して行われてきた。しかしながら、一般的な物理量や有限温度の場合では、もはやそのような解析法は使えない。そこで本研究は、量子色力学 (QCD) を解析する道具として発展してきた格子ゲージ理論を使って、AdS/CFT 対応やその低次元版あるいは有限温度版の双対性予想の数値的な検証を目指している。

2. 具体的な利用内容、計算方法

前年度までの研究で、2次元の格子超対称ヤンミルズ理論の計算プログラムの開発を行い、数値計算から格子作用が正しい連続極限を持つことを示した (Kadoh and Giguere, JHEP 2015)。また、Hokusai で数値計算を実行し、重力双対なブラックストリングの熱力学量 (内部エネルギー、圧力) の準備段階の計算を行った。得られた計算結果は、ゲージ重力双対性の正しさを定性的に示唆するものである (加堂, LATTICE2015 の基調講演)。

本年は、前年までの統計量を 4 倍に拡充して、2次元の超対称ヤンミルズ理論とブラックストリングの間の双対性予想を高精度で検証する研究を行った。

3. 結果

ブラックストリングの内部エネルギー密度と圧力の差をゲージ理論側の数値計算で求め、それを重力理論側の解析計算と比較することで、双対性がどの程度成り立つかを明らかにする。

重力側では、ラージ N 極限の低温側において、 N^2 で規格化された内部エネルギー密度 e と圧力 p の差は

$$e - p = c T^3, \quad c = 3.12 \dots \quad (1)$$

で与えられる。

数値計算で得られたゲージ側の数値計算の結果を図に示した。計算結果 (青と赤の点) は、低温領域で黒点線で示した重力側の予想 (1) 式を再現している。前年より、統計量を拡充した効果で、低温側ではっきりと重力側の予測を再現し、双対性予想が定量的レベルで成り立つことがわかった。

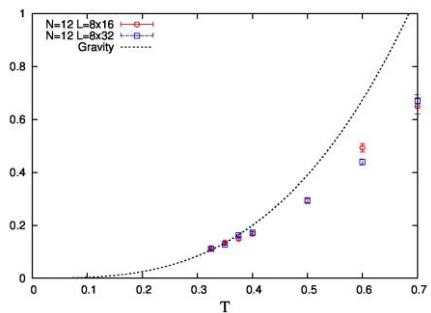


図 : 内部エネルギーと圧力の差の温度依存性

4. まとめ

ゲージ理論の内部エネルギー密度と圧力の差を数値的に求め、2次元超対称ヤンミルズ理論とブラックストリング間の双対性を示す定量的レベルの証拠を得た。

5. 今後の計画・展望

2次元での検証をさらに進めるためには、内部エネルギーと圧力の差でなく、それぞれを単独に取り出して、重力側と比較し双対性を検証することが次の重要なステップである。また今後、2次元の格子超対称ヤンミルズ理論の計算から、4次元の AdS/CFT 対応の数値的検証へ向かう。

平成 28 年度 利用研究成果リスト

【国際会議などの予稿集、proceeding】

- [1] “Precision test of the gauge/gravity duality in two-dimensional $N=(8,8)$ SYM”,
加堂大輔, 第 34 回格子場理論国際学会 (LATTICE2016) のプロシーディング .

【国際会議、学会などでの口頭発表】

- [1] D. Kadoh, “Precision test of the gauge/gravity duality in two-dimensional $N=(8,8)$ SYM”,
加堂大輔, 第 34 回格子場理論国際学会 (LATTICE2016) の口頭発表、2016 年 7 月、英国サウサンプトン.

【その他（プレスリリース、学術会議以外の一般向けの講演など）】

- [1] 集中講義 「格子超対称性の進展」、加堂大輔、Advanced Summer School on Lattice Gauge Theories、
2016 年 9 月 12 日
- [2] 集中講義 「格子超対称性について」、加堂大輔、第一回愛媛大学研究室合宿、2016 年 10 月 28 日-30 日