

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 : 仁科加速器研究センター 初田量子ハドロン物理学研究室

## 1. 本課題の研究の背景、目的

AdS/CFT 対応 (Maldacena, 1997) をはじめとするゲージ重力双対性は、素粒子の基礎理論であ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。双対性予想を用いると、ブラックホールの情報喪失問題の理解や超弦理論の非摂動的な定義が得られる可能性、さらに、量子色力学、超伝導、超流動の理論を重力側からホログラフィックに記述し解析的に扱おうとする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待ったなしの状況になってきた。

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。そこで本研究では、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超対称理論に適用し、AdS/CFT 対応とその低次元版や有限温度版の双対性予想を数値的に検証することを目指している。申請者は、日本の格子分野においてこの領域の研究を先駆的に実施し、2015 年度の格子場理論の国際学会 LATTICE2015 の基調講演において、本研究に関する講演も行ってきた。

## 2. 具体的な利用内容、計算方法

本研究では、最大超対称な 2 次元超対称ヤンミルズ理論におけるゲージ重力双対性を格子計算により検証する。本研究の前段階の研究で、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)。

本年は、作成したコードを用いて、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)。

## 3. 結果

ブラックストリングの熱力学量のうち、内部エネルギーと圧力の差は作用の期待値で与えられ、数値的に高い精度で求めることができる。この量をゲージ側重力側双方で評価し、双対性予想を検証した。

重力側では、ラーゼ 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

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

という解析的な式で与えられる。

格子ゲージ理論を用いたゲージ側の数値計算の結果を図に示した。計算結果 (緑と赤の点; 格子サイズの違う 2 点) は、低温領域で青の点線で示した重力側の予想 (1) 式を再現している。このことから、ゲージ理論から期待された通りのブラックホールの熱力学的性質が再現されることが確認できた。

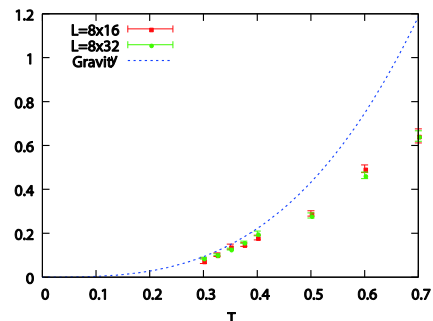


図 : ブラックストリングの熱力学量の温度依存性

## 4. まとめ

本年度の計算結果から、2 次元 SYM とブラックストリング間の双対性の定性的な証拠が得られた。

## 5. 今後の計画・展望

2 次元系でも定量的なレベルでの双対性の検証には更なる計算が必要なこと、さらに AdS/CFT 対応の検証を進める点が未解決な問題としてあげられる。研究対象とした 2 次元 SYM は AdS/CFT のゲージ側である 4 次元  $N=4$  SYM を低次元化した理論である。次年度以降は、2 次元系における更なる解析を進め、その場合の双対性予想を定量的に検証し、4 次元の AdS/CFT 対応の数値的

検証に向かう足場を固める.

平成 27 年度 利用研究成果リスト

**【国際会議などの予稿集、proceeding】**

[1] “Recent progress in lattice supersymmetry -- from lattice gauge theory to black hole”,  
加堂大輔, 第 33 回格子場理論国際学会 (LATTICE2015) のプロシーディング

**【国際会議、学会などでの口頭発表】**

[1] “Recent progress in lattice supersymmetry -- from lattice gauge theory to black hole”,  
加堂大輔, 第 33 回格子場理論国際学会 (LATTICE2015) の基調講演, 神戸, 2015 年 7 月

**【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] “Toward further development of lattice field theory - from lattice gauge theory to black hole physics”,  
加堂大輔, 慶應大学セミナー, 2015 年 11 月