

研究責任者名 Name	加堂 大輔 KADOH Daisuke	所属機関 Affiliation	高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所
受理番号 Proposal No.	大型 14/15-14	研究課題名 Program title	格子計算を用いたゲージ重力対応の検証

研究を終了しましたので、下記の通り報告します。

成果の概要

Abstract

(和文)

最近、素粒子論分野において、ゲージ重力対応に関する研究が爆発的な進化と発展を遂げている。ゲージ重力対応とは、素粒子標準模型の土台となったゲージ理論とブラックホールのような重力の物理が同等の内容を持つという予想である。しかし、ゲージ重力対応は、その最も有名な例である AdS/CFT 対応の場合でさえも、定理ではなく予想である。その”予想”の正しさを検証することは素粒子物理学に課せられた重要な命題となっている。

本研究では、16 個の超対称チャージを持つ 1+1 次元超対称ヤンミルズ理論の数値シミュレーションを行い、この系におけるゲージ重力対応について調べた。このゲージ理論は IIB 型超重力・超弦理論における N 枚の D1-ブレーンが重なった系と対応すると考えられており、格子計算から重力双対であるブラックホール(ストリング)の物理量が計算できる。本年は、N=8, 12 かつ広範囲な温度領域で、ブラックストリングの内部エネルギーと圧力の差を測定し、重力側の解析解との定性的な一致を示す結果を得た。

(英文)

Gauge/gravity duality has become one of the most exciting topics in particle physics. If it is correct, physical quantities in strongly coupled gauge theory can be solved exactly from the gravity side, and conversely, unknown properties of string theory can be understood from the gauge theory side. Despite such virtues, it is however a conjecture, and giving some kind of rigorous proof is still an important subject.

In this study, we perform a lattice simulation of 1+1 dimensional supersymmetric Yang-Mills theory with sixteen supercharges (matrix string theory), which is expected to be dual to N D1-branes in type IIB superstring/supergravity. We examine the duality conjecture by comparing lattice results with analytic solutions of the gravity side. The internal energy minus pressure obtained by the simulation is compared with high temperature expansion at high temperatures, on the other hand, it is getting close to the analytic solution of the gravity side at low temperature.

研究成果を公開しているホームページアドレス

事務局にて使用	論文 査読有	論文 査読無	講義・発表	招待講演	その他
	0	0	0	0	0

平成24年度後期KEK大型シミュレーション実施報告書

研究グループ： scadsft
研究課題名： 格子計算を用いたゲージ重力対応の検証
課題番号： 大型 T14/15-14

高エネルギー加速器研究機構 研究員
加堂大輔
2015年12月21日

1 研究組織

研究責任者 加堂大輔 (かどうだいすけ)
高エネルギー加速器研究機構 研究員

2 研究目標

最近、素粒子論分野において、ゲージ重力対応に関する研究が爆発的な進化と発展を遂げている。ゲージ重力対応とは、素粒子標準模型の土台となったゲージ理論とブラックホールのような重力の物理が同等の内容を持つという主張である。この主張を一旦信じれば、QCD(強い相互作用の理論)や超伝導、超流動の物理を、重力側から理解することができる。また、逆に、重力の量子論である超弦理論をゲージ側から調べることも可能である。このような魅力的な性質にも関わらず、ゲージ重力対応は、その最も有名な例である AdS/CFT 対応の場合でさえも、定理ではなく予想である。その”予想”の正しさを検証することは素粒子物理学に課せられた重要な命題となっている。

本研究では、16個の超対称チャージを持つ1+1次元超対称 $SU(N)$ ヤンミルズ理論の数値シミュレーションを行い、その系におけるゲージ重力対応の検証を目指す。ターゲットとするゲージ理論はIIB型超重力・超弦理論におけるN枚のD1-ブレーンが重なった系と対応すると考えられており、格子超対称ゲージ理論の数値計算で重力双対であるブラックホール(ストリング)の物理量が計算できる。本研究では、得られたブラックストリングの物理量(内部エネルギーや圧力、エンタングルメントエントロピーなど)を重力側の解析解と比較することで、この系のゲージ重力対応の検証を目指す。

3 研究成果

ブラックホールの熱力学量はゲージ重力双対性をチェックするときに重要な指標となる。重力側では、ラージ N 極限の低温側において、内部エネルギー密度 e と圧力 p の差は次のような解析的な式で与えられる。

$$\frac{\epsilon - p}{N^2} = cT^3, \quad c = \frac{2^4 \pi^{5/2}}{3^4} = 3.12 \dots \quad (1)$$

ただし、トフト結合定数を λ として $\lambda = 1$ の単位系を取っている。ここで、 N はカラー自由度、 T は温度である。係数 c は重力側から解析的に計算され、 $c = 3.12 \dots$ である。もし、ゲージ重力対応が正しければ、ゲージ理論側で計算された内部エネルギーと圧力の差も重力側の解析解 (1) 式を再現すると期待される。

我々は、低温領域で非摂動となるゲージ側で、格子理論 (杉野の格子作用) を用いた数値シミュレーションを行った。 N については、 $N = 8, 12$ のような十分大きな N を採用し、(無次元化された) 温度 T は、 $T=0.3$ まで複数点の温度で計算を実行した。

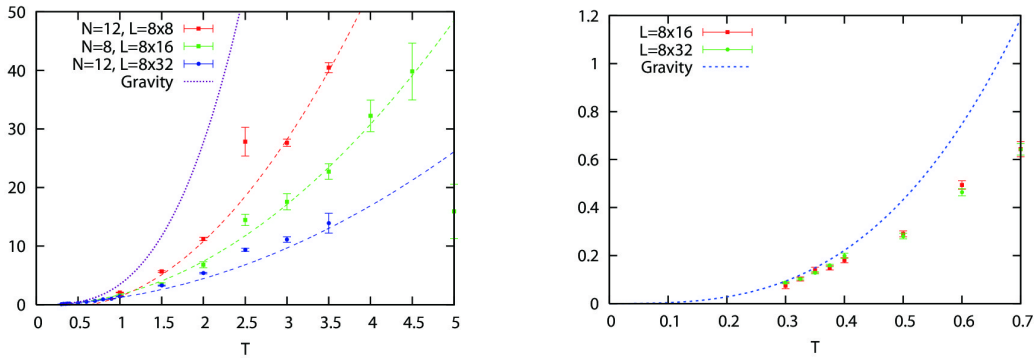


図 1: ブラックストリングの内部エネルギーと圧力の差

現在までの計算では、図 1 の左図に示した通り、高温領域においてゲージ理論の高温展開の結果 (色を変えた三つの点線) を再現することが見て取れた。また、図 1 の右図のように、格子の結果は実線で表した重力側の予測 (1) 式に滑らかに近づいていくさまが見て取れた。これは、ゲージ重力対応の正しさを強く示唆する結果である。今後は、さらに統計量を増やすことで結果を確定し、ゲージ重力対応の精密検証を行う。