

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 13/14-17	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 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 IIA 型超重力・超弦理論における N 枚の D0-ブレーンが重なった系と対応すると考えられており、格子理論の数値計算からは重力双対であるブラックホールの物理量が計算できる。本年は、低温領域 $T=0.375-0.5$ の統計量を増やし、ブラックホールの内部エネルギーをゲージ側で精密に測定した。結果として、重力側の解析解との一致(ゲージ重力対応の正しさ)を示唆する結果を得た。

(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 research, we perform a lattice simulation of one dimensional supersymmetric Yang-Mills theory with sixteen supercharges (the BFSS model), which is expected to be dual to N D0-branes in type IIA superstring/supergravity. We examine the duality conjecture by comparing lattice results with analytic solutions of the gravity side. The internal energy 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 temperatures, $T=0.375-0.5$.

研究成果を公開しているホームページアドレス

研究成果の 公表	口頭研究発表 件数	査読つきの 学術論文数	プロシーディング 論文数	その他 (投稿中を含む)
	3	0	0	0

成果の公表リスト（それぞれの枠に番号をつけて記入願います。）

口頭研究発表 Presentations at scientific meetings concerning the program	
1. 筑波大学 セミナー, 2014 年 1 月 24 日 2. 北海道大学 セミナー, 2014 年 2 月 28 日 3. HPCI 戦略プログラム分野 5 「物質と宇宙の起源と構造」全体シンポジウム, 富士ソフト秋葉プラザ 6 階, 2014 年 3 月 4 日	
査読付きの学術論文(雑誌名等には 巻、頁、発表年を記載) (*) 不足する場合には追加願います。 Refereed Journal Articles (name of journal, volume, page, year)	
1	著者名 Author
	タイトル title
	雑誌名 name of journal
	URL
2	著者名
	タイトル
	雑誌名等
	URL
3	著者名
	タイトル
	雑誌名等
	URL
プロシーディング論文(雑誌名等には 巻、頁、発表年を記載) (*) 不足する場合には追加願います。 International Conference Proceedings (name of journal, volume, page, year)	
1.	著者名 Author
	タイトル title
	雑誌名等 name of journal
	URL
2.	著者名
	タイトル
	雑誌名等
	URL
3.	著者名
	タイトル
	雑誌名等
	URL
その他 (学位論文、紀要、投稿中の論文を含む) (著者、タイトル、論文種別、URL を記載) Others (thesis for a degree, bulletin, papers to be published, etc.)	
1. Author, title, sort of article, URL: 2. Author, title, sort of article, URL:	
特記 (本研究に関係した、新聞記事・著作、受賞など) (過去に遡っても構いません。) Special Notes (newspaper article, literary works, awards, etc.)	
1. 2.	

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： scadssoft
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 T13/14-17

高エネルギー加速器研究機構 研究員
加堂大輔
2014年12月1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、この系のゲージ重力対応の検証を目指す。このゲージ理論はIIA型超重力・超弦理論における N 枚の D0-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の物理量が計算できる。本研究では、得られたブラックホールの物理量(内部エネルギーやシュワルツシルド半径など)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

ブラックホールの内部エネルギーはゲージ重力双対性をチェックする上での典型的な物理量である。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

E は次のような解析的な式で与えられる。

$$\frac{1}{N^2} \left(\frac{E}{\lambda^{1/3}} \right) = c_1 \left(\frac{T}{\lambda^{1/3}} \right)^{14/5}, \quad c_1 = \frac{9}{14} \left\{ 4^{13} 15^2 \left(\frac{\pi}{7} \right)^{14} \right\}^{1/5} = 7.41 \dots \quad (1)$$

ここで、 N はカラー自由度、 λ はトフフト結合定数、 T は温度である。係数 c_1 は重力側から解析的に計算され、 $c_1 = 7.41\dots$ 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ブラックホールの内部エネルギーも重力側の解析解 (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、 $N = 14, 32$ 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、 $T=0.375-5.0$ まで変えた計算を実行した。特に、本年は、低温領域 $T=0.375-0.5$ での計算の統計量を増やし、ゲージ重力対応がどの程度成り立つかを調べた。

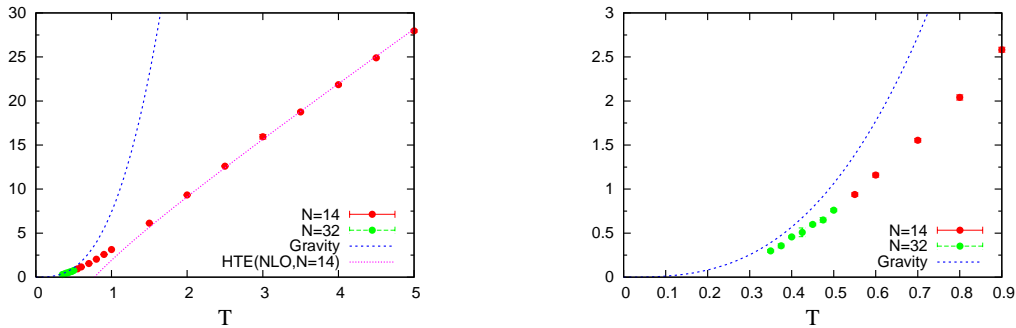


図 1: ブラックホールの内部エネルギー

現在までの計算では、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、さらなる低温領域での計算を行うことで、ゲージ重力対応の精密検証を行う。