

自己評価報告書

平成23年5月13日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2012

課題番号：20540286

研究課題名 (和文) ゲージ/重力対応の直接検証及びそれに基づく時空構造の研究

研究課題名 (英文) Direct confirmation of the gauge/gravity correspondence and its application to the studies of the space-time structure

研究代表者

西村 淳 (NISHIMURA JUN)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授

研究者番号：90273218

研究分野：素粒子理論

科研費の分科・細目：物理学 素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：超弦理論、行列模型、ゲージ理論、超対称性、ブラックホール

1. 研究計画の概要

(1) ゲージ理論と重力理論の間に成り立つと予想される双対性を、第一原理に基づいて検証する。

(2) ブラックホールの持つ熱力学的性質を、弦理論の立場から微視的に理解する。

(3) 弦理論において、10次元の時空がコンパクト化する力学的なメカニズムを明らかにする。

2. 研究の進捗状況

(1) 「ゲージ/重力対応」の典型的な例として、有限温度における超対称量子力学(1次元のゲージ理論)と10次元のブラックホールの間の双対性を研究した。特にゲージ理論の強結合領域における振る舞いが、古典的なブラックホールによって記述される事が予想されている。ゲージ理論側の計算は、大変難しいと考えられてきたが、我々は、最近開発した新しいシミュレーション法を応用することにより、多くの成果を得た。

① ゲージ理論側でWilsonループや相関関数を計算することにより、重力側での計算結果が再現されることを数値的に示した。また、内部エネルギーの計算から、ブラックホールの持つ熱力学的性質を、弦理論の立場から再現できることを数値的に示した。

② ラージNリダクションの考え方をを用いることにより、これらの研究を4次元の超共形ゲージ理論に拡張できることを、弱結合領域において具体的な確認した。さらに強結合領域において、ウィルソンループや相関関数を

計算し、ゲージ/重力対応に基づく予言を支持する結果を得た。

(2) 我々は、超弦理論が予言する10次元の時空から、我々の住む4次元時空が力学的に生成する機構に関する研究を行った。特に、超弦理論の一つの定式化として提唱されている行列模型に対してガウス展開法を適用し、行列模型から現れる時空が有限の広がりを持っていること、又その時空の次元に依らず、一定の体積を持ち、潰れた方向が決まった広がりを持つことを明らかにした。

又、このような結果を数値シミュレーションにより検証するためには、「符号問題」と呼ばれる技術的な困難を克服しなければならない。我々は、そのために有用な方法として、「因子化法」という方法を確立し、単純化した模型において、その有用性を確認した。

3. 現在までの達成度

① 当初の計画以上に進展している。

(理由)

発表論文のうち4本がPhysical Review Letters誌に掲載されたことは、期待以上の快挙と言える。また、これまで困難と思われた「符号問題」を克服する方法が確立できたことも、期待以上の進展である。

4. 今後の研究の推進方策

(1) 第一原理に基づく「ゲージ/重力対応」の精密検証

これまでの研究ではNが無限大の極限における数々の予言の検証に成功したが、今後は引き続き、1/Nの効果はゲージ側と重力側で対応するかどうかを、明らかにする。さらに、

これまでの研究を 3 次元の場合に拡張し、Skenderis らの主張する宇宙論との関係を検証する。

(2) IKKT 模型での時空の力学的生成

IKKT 模型はタイプ IIB 超弦理論を非摂動的に記述する模型と考えられており、10 次元の時空から 4 次元の時空が生成する機構を理解できると考えられる。これまでの研究では、ガウス展開法を用いた計算により、 $S_0(10)$ 対称性が $S_0(4)$ まで自発的に破れることが示唆されている。この結論をシミュレーションに基づいて検証する。但し、IKKT 模型のシミュレーションでは、フェルミオン行列式の位相の取り扱いが困難である為、これまで難しいと考えられてきた。この問題を克服する為、「因子化法」と呼ばれる新しい手法を開発することに昨年度、成功した。今後この方法を用いることにより、IKKT 模型の数値シミュレーションを行い、上に述べた問題に明確な結論を与える。

(3) 初期宇宙の研究

IKKT 模型においては、時間をユークリッド化して虚時間にする定式化が用いられているが、我々は時間を実時間として扱う定式化を考え、対応する模型の力学的性質をシミュレーションにより明らかにする。特に行列模型を用いて初期宇宙が記述できるかどうかを明らかにする。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 13 件)

(1) “General approach to the sign problem: Factorization method with multiple observables”, K. N. Anagnostopoulos, Takehiro Azuma, Jun Nishimura, 査読有 Physical Review D 83, 054504, 2011.

(2) “Monte Carlo studies of Matrix theory correlation functions” Masanori Hanada, Jun Nishimura, Yasuhiro Sekino, Tamiaki Yoneya, 査読有 Phys. Rev. Lett. 104, 151601, 2010.

(3) “Higher derivative corrections to black hole thermodynamics from supersymmetric matrix quantum mechanics” Masanori Hanada, Yoshifumi Hyakutake, Jun Nishimura, Shingo Takeuchi, 査読有, Phys. Rev. Lett. 102, 191602, 2009.

(4) “Schwarzschild radius from Monte Carlo calculation of the Wilson loop in

supersymmetric matrix quantum mechanics” Masanori Hanada, Akitsugu Miwa, Jun Nishimura, Shingo Takeuchi, 査読有 Phys. Rev. Lett. 102, 181602, 2009.

(5) “Deconfinement phase transition in $N=4$ super Yang-Mills theory on $R \times S^3$ from supersymmetric matrix quantum mechanics” Goro Ishiki, Sang-Woo Kim, Jun Nishimura, Asato Tsuchiya, 査読有 Phys. Rev. Lett. 102, 111601, 2009.

[学会発表] (計 14 件)

(1) Jun Nishimura, “Large- N reduction and supersymmetry”, 招待講演、MCFP workshop on Large- N gauge theories, 2010 年 5 月 13 日-15 日、メリーランド大学、College Park、アメリカ

(2) Jun Nishimura, “Does 4d space-time emerge dynamically from the IKKT matrix model?” 招待講演、国際ワークショップ “Numerical Approaches to AdS/CFT, Large N and Gravity”, 2009 年 9 月 28 日-10 月 2 日、Imperial College、ロンドン、イギリス

(3) 西村 淳, 「超弦理論の数値シミュレーション」、招待講演、日本物理学会 2009 年秋季大会、2009 年 9 月 10 日-13 日、甲南大学 岡本キャンパス

(4) J. Nishimura, “Non-lattice simulation of supersymmetric gauge theories as a probe to quantum black holes and strings”, 招待講演、LATTICE2009, 2009 年 7 月 26 日-31 日、北京大学、中国

(5) Jun Nishimura, “Simulating Quantum Black Holes and Quantum Universe”, 招待講演、2008 年 9 月 12 日-16 日、IPMU focus week “Quantum Black Holes”、東京大学 数物連携宇宙研究機構 (IPMU)

[図書] (計 1 件)

小玉英雄ほか、サイエンス社、別冊数理科学 2008 年 10 月号「量子重力理論ー 広がる多彩な最前線 ー」、2008 年、56-61 ページ
西村 淳 「超弦理論の数値シミュレーション」

[その他]

ホームページ

<http://research.kek.jp/people/jnishi/>