

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2007～2010

課題番号：19340066

研究課題名(和文) 超弦理論による時空の起源の研究

研究課題名(英文) Study of emergence of space-time in superstring theory

研究代表者

北澤 良久 (KITAZAWA YOSHIHISA)

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・教授

研究者番号：10195258

研究成果の概要(和文)：行列模型の基礎的な検証の一貫として、2次元非可換背景場中で超弦自由度を同定し、頂点演算子を構成し摂動論を再現した。10次元ブラックホールと双対な超対称行列模型の研究において、ホーキングが予言したエントロピーの面積則などのゲージ/重力対応を検証する大きな成果を得た。ブラックホールからのホーキング輻射をホライズンでの量子アノマリーを通して普遍的に理解することに成功した。また de Sitter 時空における粒子生成の問題をボルツマン方程式を用いて研究し、ユニタリティーと整合する描像を得た。このように、本研究は大きな成果をあげてきたが、特筆すべきこととして、非平衡系物理等、この研究を通してさらに幅広い分野の研究とつながりを持つに至ったことが挙げられる。

研究成果の概要(英文)：Matrix models are very promising tools to investigate the microscopic structure of space-time. We have reproduced perturbative string theory from matrix models in 2 dimensional non-commutative space-time. We have confirmed the gauge/gravity duality in 10 dimensional black-hole and dual matrix quantum mechanics. We have universally understood the Hawking radiation from quantum anomaly at the Horizon. In de Sitter space-time with cosmological horizon, we have investigated the particle production effects in interacting field theory. We have shown the result is consistent with unitarity. We have thus obtained these important results. The most remarkable point is that we have uncovered connections with wider research fields such as non-equilibrium physics.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
2008年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2009年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2010年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
総計	13,900,000	4,170,000	18,070,000

研究分野：素粒子論

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：行列模型, ゲージ/重力対応, 量子アノマリー, de Sitter 時空

1. 研究開始当初の背景

超弦理論の非摂動論的研究から、時空の起源を行列模型を用いて研究する可能性が明らかとなった。弦理論の非摂動論的自由度とし

て、D ブレーンの重要性が認識された。D ブレーンの有効理論として、行列模型及びゲージ理論が同定された。特に KEK グループによる超対称行列模型によって、弦理論の本質的

課題である、時空生成機構及び時空の4次元性等の非摂動論的理解の可能性が開かれた。またゲージ/重力対応を通じて、ブラックホールの微視的構造を行列模型によって研究する可能性が開けた。具体的には、超対称行列量子力学の有限温度自由エネルギーを計算する事によって、10次元ブラックホールのエントロピーを微視的に計算する可能性が明らかになった。また現象の普遍性を理解するために、場の理論を用いて、ホライズンを持つブラックホールやde Sitter宇宙の量子効果を研究する事は重要である。本研究はこのような本質的問題の理解を目指した。

2. 研究の目的

時空の起源を行列模型を用いて明らかにすること。行列模型の基礎的な検証の一貫として、2次元非可換背景場中で超弦自由度を同定し、頂点演算子を構成し摂動論を再現する。またゲージ/重力対応を通じて、ブラックホールの微視的構造を行列模型によって研究すること。

また現象の普遍性を理解するために、場の理論を用いて、ホライズンを持つブラックホールやde Sitter宇宙の量子効果を研究する。具体的にはブラックホールからのホーキング輻射をホライズンでの量子アノマリーを通して普遍的に理解すること。de Sitter時空における粒子生成の問題をボルツマン方程式を用いて研究し、ユニタリティーとの整合性を研究すること。

3. 研究の方法

超対称行列模型を非摂動論的に研究する。非可換時空の様な古典解の周りで理論を展開して、その有効理論を研究する。また行列模型は、数値的な研究が可能であり、コンピュータシミュレーションによって、時空の4次元性の問題や、ブラックホールのエントロピーの微視的解釈の問題を解明する。

更に現象の普遍性を理解するために、場の理論を用いて、ホライズンを持つブラックホールやde Sitter宇宙の量子効果を研究する。

4. 研究成果

行列模型の基礎的な検証の一貫として、2次元非可換背景場中で超弦自由度を同定し、頂点演算子を構成し摂動論を再現した。10次元ブラックホールと双対な超対称行列模型の研究において、ホーキングが予言したエントロピーの面積則などのゲージ/重力対応を検証する大きな成果を得た。具体的には、有限温度の超対称行列量子力学模型を、研究し、系の自由エネルギーを求めた。ゲージ/重力対応によれば、それは双対な10次元ブラックホールのエントロピーを与える。この

対応をホーキングが予言したエントロピーの面積則の検証を通じて行った。更に弦理論におけるアインシュタイン重力に対する高次項の補正効果を検証し、行列模型が弦理論と整合する結果を与える事を示した。

ブラックホールからのホーキング輻射をホライズンでの量子アノマリーを通して普遍的に理解することに成功した。ブラックホールのホライズン近傍の物理は、2次元場的場の理論で有効に記述される。ブラックホールからのホーキング輻射は、2次元場の理論における量子アノマリーを通じて説明可能であり、この事実は、ホーキング輻射の普遍性を示す。

またde Sitter時空における粒子生成の問題をボルツマン方程式を用いて研究し、ユニタリティーと整合する描像を得た。非平衡系の研究手法として、ボルツマン方程式は有用である。場の理論的な第一原理からのボルツマン方程式の導出は、場の理論における恒等式を考え、その恒等式を局所展開して得られる。この手法をde Sitter時空における相互作用による粒子生成の問題野研究に適用した。相互作用によって、粒子のスペクトラルは変化するが、1粒子状態と連続スペクトラルの重みの和は、1に保たれ、ユニタリティーと整合する描像を得た。

特筆すべきこととして、非平衡系物理等、この研究を通してさらに幅広い分野の研究とつながりを持つに至ったことが挙げられる。

5. 主な発表論文等

(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 26 件)

1. Boltzmann equation in de Sitter space. Hiroyuki Kitamoto, Yoshihisa Kitazawa, Nucl. Phys. B839:552-579, 2010, 査読有
2. Monte Carlo studies of Matrix theory correlation functions. Masanori Hanada, Jun Nishimura, Yasuhiro Sekino, Tamiaki Yoneya, Phys. Rev. Lett. 104:151601, 2010, 査読有
3. Vertex operators of Type IIB matrix model via calculation of disk amplitudes. Yoshihisa Kitazawa, Toshikazu Negi, Nucl. Phys. B817:76-116, 2009, 査読有
4. String coupling and interactions in type IIB matrix model. Yoshihisa Kitazawa, Satoshi Nagaoka, Phys. Rev. D79:106002, 2009, 査読有
5. N=4 Supersymmetric Yang-Mills on S**3 in Plane Wave Matrix Model at Finite

- Temperature. Yoshihisa Kitazawa, Koichiro Matsumoto, Phys. Rev. D79:065003, 2009, 査読有
6. Construction of a topological charge on fuzzy $S^{*2} \times S^{*2}$ via Ginsparg–Wilson relation. Hajime Aoki, Yoshiko Hirayama, Satoshi Iso, Phys. Rev. D80:125006, 2009, 査読有
 7. Generalized Conformal Symmetry and Recovery of $SO(8)$ in Multiple $M2$ and $D2$ Branes. Yoshinori Honma, Satoshi Iso, Yoske Sumitomo, Hiroshi Umetsu, Sen Zhang, Nucl. Phys. B816:256–277, 2009, 査読有
 8. Dominance of a single topological sector in gauge theory on non-commutative geometry. Hajime Aoki, Jun Nishimura, Yoshiaki Susaki, JHEP 0909:084, 2009, 査読有
 9. Testing a novel large- N reduction for $N=4$ super Yang–Mills theory on $R \times S^{*3}$. Goro Ishiki, Sang–Woo Kim, Jun Nishimura, Asato Tsuchiya, JHEP 0909:029, 2009, 査読有
 10. Higher derivative corrections to black hole thermodynamics from supersymmetric matrix quantum mechanics. Masanori Hanada, Yoshifumi Hyakutake, Jun Nishimura, Shingo Takeuchi, Phys. Rev. Lett. 102:191602, 2009, 査読有
 11. Schwarzschild radius from Monte Carlo calculation of the Wilson loop in supersymmetric matrix quantum mechanics. Masanori Hanada, Akitsugu Miwa, Jun Nishimura, Shingo Takeuchi, Phys. Rev. Lett. 102:181602, 2009, 査読有
 12. 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, Phys. Rev. Lett. 102:111601, 2009, 査読有
 13. Finite-matrix formulation of gauge theories on a non-commutative torus with twisted boundary conditions. Hajime Aoki, Jun Nishimura, Yoshiaki Susaki, JHEP 0904:055, 2009, 査読有
 14. Superstring vertex operators in type IIB matrix model. Yoshihisa Kitazawa, Satoshi Nagaoka, Phys. Rev. D77:126016, 2008, 査読有
 15. Green–Schwarz superstring from type IIB matrix model. Yoshihisa Kitazawa, Satoshi Nagaoka, Phys. Rev. D77:026009, 2008, 査読有
 16. Scaling limit of $N=6$ superconformal Chern–Simons theories and Lorentzian Bagger–Lambert theories. Yoshinori Honma, Satoshi Iso, Yoske Sumitomo, Sen Zhang, Phys. Rev. D78:105011, 2008, 査読有
 17. Janus field theories from multiple $M2$ branes. Yoshinori Honma, Satoshi Iso, Yoske Sumitomo, Sen Zhang, Phys. Rev. D78:025027, 2008, 査読有
 18. Hawking radiation via higher-spin gauge anomalies. Satoshi Iso, Takeshi Morita, Hiroshi Umetsu, Phys. Rev. D77:045007, 2008, 査読有
 19. Higher-spin gauge and trace anomalies in two-dimensional backgrounds. Satoshi Iso, Takeshi Morita, Hiroshi Umetsu, Nucl. Phys. B799:60–79, 2008, 査読有
 20. Effective Actions of IIB Matrix Model on S^{*3} . Hiromichi Kaneko, Yoshihisa Kitazawa, Koichiro Matsumoto, Phys. Rev. D76:084024, 2007, 査読有
 21. Graviton propagators in supergravity and noncommutative gauge theory. Yoshihisa Kitazawa, Satoshi Nagaoka, Phys. Rev. D75:046007, 2007, 査読有
 22. Fluxes of higher-spin currents and Hawking radiations from charged black holes. Satoshi Iso, Takeshi Morita, Hiroshi Umetsu, Phys. Rev. D76:064015, 2007, 査読有
 23. Higher-spin Currents and Thermal Flux from Hawking Radiation. Satoshi Iso, Takeshi Morita, Hiroshi Umetsu, Phys. Rev. D75:124004, 2007, 査読有
 24. Quantum Anomalies at Horizon and Hawking Radiations in Myers–Perry Black Holes. Satoshi Iso, Takeshi Morita, Hiroshi Umetsu, JHEP 0704:068, 2007, 査読有
 25. On the Ginsparg–Wilson Dirac operator in the monopole backgrounds on the fuzzy 2-sphere. Hajime Aoki, Satoshi Iso, Toshiharu Maeda, Phys. Rev. D75:085021, 2007, 査読有
 26. Non-lattice simulation for supersymmetric gauge theories in one dimension. Masanori Hanada, Jun Nishimura, Shingo Takeuchi, Phys. Rev. Lett. 99:161602, 2007, 査読有

[学会発表] (計 3 件)

1. 招待講演：ダークエネルギー問題再考：素粒子論的側面、北澤良久、日本物理学会 2010 年秋期大会、九州工業大学, 2010 年 9 月 11 日～14 日
2. 招待講演：アンルー効果、磯 暁、日本物理学会 2010 年年次大会、岡山大学, 2010 年 3 月 20 日～23 日
3. 招待講演：Non-lattice simulation of supersymmetric gauge theories as a probe to quantum black holes and strings, Jun Nishimura, Lattice 2009, Beijin Univ, July 26-31, 2009.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北澤良久 (KITAZAWA YOSHIHISA)

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・教授
研究者番号：10195258

(2) 研究分担者

磯 暁 (ISO SATOSHI)

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・教授
研究者番号：20242092

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

(3) 連携研究者

なし