

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） Origin of space-time through 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

研究分野：数物系科学

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：素粒子（理論）

### 1. 研究計画の概要

超弦理論は、時空構造に付いて新たな視点を提供する。超弦理論は、最小長さの導入により、場の揺らぎによる紫外発散を含まないが、この事実は時空自体が最小単位から構成されている事を強く示唆する。弦理論が紫外発散を含まない理論である事を明白に示す定式化として行列模型は魅力的であり、時空と物質を行列自由度から導出する可能性を与える。本研究は、弦理論の基本的な定式化から、行列模型を用いた時空・物質の導出機構に関する研究を推進する。

### 2. 研究の進捗状況

超弦理論の行列模型による基本的な定式化の妥当性の研究、行列模型から時・物質の導出機構に関する研究は、非可換時空との関連性を中心に順調に進展している。IIB 行列模型を非可換平面解の周りで展開すると2次元非可換ゲージ理論が得られる。この解のモジュライを超弦自由度と同定し、超弦理論の摂動論を再現した。フェアリンデ等の行列弦理論との類似点と相違点を明らかにした。格子QCDにおけるカイラルフェルミオンの定式化手法を非可換ゲージ理論に応用して、カイラルな物質場を導出することに成功した。超弦理論の統一的理解のために有効なM理論の2つの異なる有効理論について、弦理論極限におけるこれ等の等価性を明らかにした。ブラックホール熱力学の統計力学的理解に関しては、ゲージ・重力対応による理解が進んでいる。行列量子力学の超対称性を尊重した数値シミュレーションを開発した成果として、この対応の検証が、行大きく進展している。ゲージ・重力対応は、ゲージ理論の強

結合・ラージN極限で成立すると予想されている。有限結合定数の場合は、双対な重力理論において高次項の補正を考慮する必要がある。数値的検証は、強結合領域のみならず、有限結合定数補正を含めて、ゲージ・重力対応の成立を強くサポートする。行列量子力学を用いて4次元ゲージ理論のラージN極限を研究する手法を研究し、その有効性を明らかにした。

時空がホライズンを持つ場合、ホーキング輻射、アンルー効果、インフレーションに伴う時空の揺らぎ生成等量子論的に興味深い現象が起こると考えられているが、それらの現象を非平衡物理学との密接な関連性を用いて研究している。

### 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)

弦理論の基本的な定式化については、IIB型行列模型における基本弦自由度の同定とその相互作用について、2次元非可換ブレーンを用いて理解を深めた。また重力子と結合する頂点演算子を用いて行列模型における4次元的重力の出現機構を研究した。M理論におけるブレーンの有効理論を研究し、2つの異なる定式化の関係を明らかにした。行列模型を用いて非可換時空上の場の理論を構成し、カイラルなフェルミ粒子の出現機構や場の理論の非摂動論的性質を明らかにした。弦理論の特徴として開弦と閉弦の双対性がある。開弦と閉弦の低エネルギーモードは、ゲージ粒子と重力子なので、ゲージ/重力対応とも呼ばれる。行列量子力学を用いて、ゲージ理論と重力理論の双対性について数値

的な検証を行った。ラージ  $N$ ・強結合極限において双対性を検証したのみならず、有限結合定数における補正まで含めた検証を行った。アンルー効果、インフレーションに伴う時空の揺らぎ生成等に関する研究を、非平衡物理学の手法を用いて推進した。

#### 4. 今後の研究の推進方策

弦理論の基本的な定式化については、頂点演算子の相関関数を近年の厳密な計算手法の進展を応用して推進する。 $N=2$  超対称理論において、ゲージ理論とリュービル理論及び行列模型の関係の理解を深める。非可換時空上の場の理論について、トポロジーやカイラルマターに関する理解を深める。ゲージ/重力対応の検証を高次元ゲージ理論等に拡張する。行列自由度から時空と物質を導出する原型である江口・川合模型について最近の進展を踏まえて、研究を推進する。時間の起源や宇宙項について理解を深めるために、非平衡物理学との関連性について研究する。

#### 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 27 件)

- ①String coupling and interactions in type IIB matrix model.  
Yoshihisa Kitazawa, Satoshi Nagaoka,  
Phys. Rev. D79:106002, 2009. 査読有
- ② $N=4$  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
- ③Construction 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
- ④Higher 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
- ⑤Scaling 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
- ⑥Monte Carlo studies of supersymmetric matrix quantum mechanics with sixteen supercharges at finite temperature.

- Konstantinos N. Anagnostopoulos,  
Masanori Hanada, Jun Nishimura, Shingo Takeuchi,  
Phys. Rev. Lett. 100:021601, 2008. 査読有
- ⑦ 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 40 件)

- ①磯暁、アンルー効果、日本物理学会 2010 年年次大会、招待講演、2010 年 3 月 23 日、岡山大学
- ②北澤良久、2010 年、3 月 13 日 KEK 理論研究会、招待講演、Quantum Field Theory in de Sitter Space
- ③西村淳、2009 年、9 月 28 日-10 月 2 日 国際ワークショップ  
"Numerical Approaches to AdS/CFT, Large  $N$  and Gravity"、組織委員、招待講演  
Imperial College、ロンドン、イギリス
- ④西村淳、2009 年 9 月 10 日-13 日 日本物理学会 2009 年秋季大会、招待講演  
甲南大学岡本キャンパス  
「超弦理論の数値シミュレーション」
- ⑤西村淳、2009 年 7 月 26 日-31 日 LATTICE2009、招待講演  
中国、北京大学  
"Non-lattice simulation of supersymmetric gauge theories as a probe to quantum black holes and strings"