

研究種目：基盤研究 (C)
研究期間：2007～2010
課題番号：19540288
研究課題名 (和文) 非臨界弦を用いた超弦理論の定式化と応用の研究
研究課題名 (英文) Construction of superstring theory with noncritical strings and its applications
研究代表者 福間 将文 (FUKUMA MASAFUMI) 京都大学・大学院理学研究科・准教授 研究者番号：10252529

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：超弦理論・非臨界弦・Yang-Mills 理論・ゲージ理論・ホログラフィー原理・粘弾性体

#### 1. 研究計画の概要

超弦理論は、量子重力を含む統一理論として最有力の候補である。近年、双対性の発見を契機に、弦の非摂動的性質に関する理解が急速に進んだが、残念ながら、実際の物理現象を説明するのに必要な弦の真空の構造の理解には至っていない。その理由はやはり、弦の場の理論といった構成的枠組みが欠けているため、古典極限など何らかのパラメータの極限以外では確かな結果を得にくいからである。本研究は、『開いた弦に対する非臨界弦理論』あるいはその有効理論である『Yang-Mills 理論』を発展させることにより、この『超弦理論の構成的定式化』をめざす。さらに、ホログラフィー原理を足がかりとして、相対論的粘弾性理論を発展させていくことで、超弦理論の有効理論が取りうる形を決定する。

#### 2. 研究の進捗状況

(1) large N Yang-Mills 理論への解析的アプローチ 非臨界弦理論を Yang-Mills 理論を用いて定式化することを目標に、3次元と4次元の Yang-Mills 理論を解析的に調べる方法を進展させた。具体的には、3次元 Yang-Mills 理論におけるゲージ不変な変数の「過不足ない」完全系を同定することに成功し、次に、4次元理論を deconstruction の方法と corner 変数を用いる方法の二通りで解析する方法を提案した。ともに、並行して進めている格子ゲージ理論の数値計算の結果とよく一致している。

(2) 葉層構造保存変形の対称性に基づく粘弾性体の普遍的記述 弾性固体と粘性流体を二つの極限として包含する概念が「粘弾性体」である。従来の粘弾性体の記述法は、分子の配位のみに関するものが中心だったが、これだと記述がどうしても各論的で複雑になる。今回の研究では、塑性変形を記述する力学変数を新たに導入することで、有効理論が極めて単純な形で書き下せることを示した。具体的には、分子の配位と塑性変形をそれぞれ記述する2種類の力学変数を導入し、粘弾性体の運動を世界体積上の場の理論として取り扱った。その際、理論に「葉層構造保存変形 (foliation preserving diffeomorphism)」の対称性が自然に導入されることを示し、さらに、この対称性が、弾性体と粘性流体の二つの極限を自然につなぐと同時に、有効理論が取りうる形をほぼ一意的に決めてしまうことを示した。現在、相対論的な場合への拡張や宇宙論への応用などを進めている。とくに、時空を粘弾性体の一種と捉えることにより、時空のホログラフィー的性質が解明されることを期待している。

#### 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)

現在までの研究により、Yang-Mills 理論の解析的なアプローチに対しては、3次元におけるゲージ不変な変数の過不足のない完全系の同定や4次元理論への応用など、確実な進

歩が得られた。また、物性理論的な興味で始めた粘弾性体の研究も、時空を粘弾性体の一種とみなすことにより、重力のホログラフィー原理の解明に役立つことがわかってきている。これらはいずれも、行列模型の延長線上で非臨界弦理論を進展させることを考えていた当初の計画になかったものであり、予想以上の成果といえる。

#### 4. 今後の研究の推進方策

今後も、Yang-Mills 理論の解析的アプローチをさらに発展させると同時に、相対論的粘弾性体によるホログラフィー原理の解明を行い、量子重力を定式化する上で必要となる手法の開発と原理の解明を進める。また、両者と行列模型との関係を確立する。

#### 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 5 件)

- ① Tatsuo Azeyanagi, Masafumi Fukuma, Hikaru Kawai and Kentaroh Yoshida,  
“Universal description of viscoelasticity with foliation preserving diffeomorphisms”,  
Physics Letters B **681** (2009) 290 (査読有)
- ② Masafumi Fukuma and Ken-Ichi Katayama,  
“Towards (de)constructing 4D Yang-Mills theory”,  
International Journal of Modern Physics A **2208** (2008) 2099 (査読有)
- ③ Masafumi Fukuma, Ken-Ichi Katayama and Takao Suyama,  
“Notes on the Hamiltonian formulation of 3D Yang-Mills theory”,  
Journal of High Energy Physics **0804** (2008) 095 (査読有)

[学会発表] (計 8 件)

- ① Masafumi Fukuma,  
“Universal description of viscoelasticity with foliation preserving diffeomorphisms”,  
Quantum Theory and Symmetries 6,  
2009 年 7 月 22 日, Kentucky 大学(米国)
- ② Masafumi Fukuma,  
“Towards (de)constructing 4D Yang-Mills theory”,  
Progress of String Theory and Quantum Field Theory,  
2007 年 12 月 7 日, 大阪市立大学