

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2010

課題番号：19540284

研究課題名 (和文) 超弦の明白に超対称な量子化法

研究課題名 (英文) Manifestly supersymmetric quantization of superstring

研究代表者

國友 浩 (KUNITOMO HIROSHI)

京都大学・基礎物理学研究所・准教授

研究者番号：20202046

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：素粒子論・超弦理論・超対称性

1. 研究計画の概要

まず、純スピノール(PS)形式あるいはこれを拡張した定式化を詳細に解析し、どの部分が成功しているか、どの部分が修正、変更を必要としているかの分析を進める。

PS形式は拘束付きの変数を用いるため、ローレンツ共変性や超対称性は必ずしも明らかではない。この点を改善するために、新たなゴースト変数を導入することで拘束条件を必要としない定式化が提案されている。また一般の時空へ拡張するには、やはりPS形式の拡張で、局所座標不変なラグランジアンに基づくダブルスピノール(DS)形式が有効であると思われる。当面はこれらの試みについて詳細に解析し、より完全な定式化を構成する足がかりとする。

次に、定式化の有効性を証明するために散乱振幅の計算など具体的な計算をしてみせる必要がある。そのためには超場形式の拡張など、新しい計算手法を開発する必要があるかもしれない。非線り込み定理など一般的な性質の証明を与えることも、具体的な計算手法の開発と共に取り組むべき課題である。

またツイスター変数を用いると、GS形式の量子化の困難の原因であるカップ対称性を、世界面上の超共形対称性に変換することができることが知られており、これはハイブリッド形式の成功とも密接な関連があると思われる。そこでツイスター弦理論についても考察し、ツイスターを用いた超対称性の実現について詳しく解析する。

最終的には新しい定式化を用いた超弦の場の理論を構成し、超弦理論の有限性など、理論として非常に重要な性質の証明など、具体的な解析に役立てる。

2. 研究の進捗状況

DS形式に基づく4, 6次元の超弦理論を半光円錐ゲージで量子化し、これがPS形式と同じスペクトルを与えることを示した。このことはPS形式においては物理的スペクトルの不一致という全く新しい形で臨界次元が現れるということの意味している。また、半光円錐ゲージにおけるローレンツ対称性を詳細に解析し、10次元時空以外ではローレンツアノマリーが存在することを具体的な計算で示した。

DS形式に基づく定式化を、AdS/CFT対応において重要な役割を果たすAdS(5)×S(5)時空を含む商(超)空間の場合に拡張した。その結果として、フェルミオン座標のみならずボソン座標も含めて、全超空間の座標を2倍に増やした定式化が必要であることを明らかにした。この定式化は、DS形式の幾何学的な解釈に際して本質的であると思われる、より一般的な時空への拡張を考える際、非常に重要であると考えられる。

明白に超対称な超弦の定式化が可能であるためには、時空は超対称性が存在するようなものでなくてはならない。従って、どのような時空がキリングスピノルの存在を許すかを調べるのが重要な問題となってくる。これを解析するために、10次元ヘテロ型超重力理論の超対称古典解の分類を試みた。具体的には、時空が(ワープ因子)・AdS(3) × M(7)のような構造を持つ場合について、キリングスピノル方程式を用いてM(7)の持つべき性質を議論した。その結果、超対称性の個数がN=1, 2, 3の場合に、M(7)が各々G2, SU(3), SU(2)構造を持つ事を示し、その振率類を分類した。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

計画の内、DS 形式の分析についてはローレンツ異常の解析や商超空間への拡張など、おおむね順調に進展していると言える。具体的な散乱振幅の計算や、ツイスター弦理論との関連や、超弦の場の理論の構築などについては今だ取りかかれていないが、その代わりに、超重力理論の古典解から、超対称性を許す時空を分類を進めることができたので、全体の達成度としては、おおむね順調と言える。

4. 今後の研究の推進方策

第一に DS 形式の超弦理論について、更に解析を進める。具体的には、

- (1) 商(超)空間の場合に拡張した DS 形式について、PS 形式との等価性や可積分性等に関して詳細に解析し、DS 形式の、幾何学的な意味づけを明らかにする
- (2) (1)の一般的な等価性の証明とも関連して、PS 形式との関係をより一般的に解析する。その際 DS 形式における拘束条件の取り扱いにおいて、より一般的なゲージ条件を考え、PS 形式の非ミニマル定式化との関連を明らかにする。
- (3) 商超空間へ拡張された DS 形式について、(1)(2)で得られた知見を基に、一般の時空に対して拡張する。

第二にこれと平行して、最終的な目標である明白に超対称な超弦の場の理論の構築に向けて、従来の NSR 形式に基づく超弦の場の理論構築の困難と、その克服に関する研究を行う。具体的には、

- (4) NSR 形式に基づく超弦の場の理論構築の困難を克服する方法を探り、明白に超対称な定式化に対する知見を得る。

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 4 件)

- ① H. Kunitomo and S. Mizoguchi, “Lower- dimensional superstrings in the double- spinor formalism”, Progress of Theoretical Physics (査読有), 117, (2007), 765-793.
- ② H. Kunitomo and S. Mizoguchi, “Lorentz anomaly in the semi-light-cone gauge superstrings”, Progress of Theoretical Physics, 査読有, 118, (2007), 559-576.

- ③ H. Kunitomo, “Double-spinor superstrings on coset superspace”, Progress of Theoretical Physics, (査読有), 120, (2008), 1029-1040.

- ④ H. Kunitomo and M. Ohta, “Supersymmetric AdS(3) solutions in heterotic supergravity”, Progress of Theoretical Physics, (査読有), 122, (2009), 631-657.

[学会発表] (計 6 件)

- ① 國友浩、溝口俊弥、 “Lorentz anomaly in the semi-light-cone gauge superstrings”, 日本物理学会第 62 回年次大会、2007 年 9 月 21 日、北海道大学
- ② 太田満久、國友浩、 「超重力理論における超対称 AdS 古典解」、日本物理学会 2008 年秋季大会、2008 年 9 月 20 日、山形大学
- ③ 國友浩、 “Double-spinor superstrings on coset superspaces”, 日本物理学会 2008 年秋季大会、2008 年 9 月 21 日、山形大学
- ④ 高力麻衣子、九後汰一郎、國友浩、村田仁樹、「自然な描像に基づく超対称開弦の場の理論」、日本物理学会第 64 回年次大会、2009 年 3 月 30 日、立教大学
- ⑤ T. Kugo, M. Kohriki, H. Kunitomo and M. Murata, “Gauge fixing problem in superstring field theory, APCTP Focus Program on Current Trends in String Field Theory”, 2009 年 12 月 14 日、Asia Pacific Center for Theoretical Physics (Korea)
- ⑥ 國友浩、 「超弦の場の理論におけるゲージ固定について」、弦理論研究会(2010)、2010 年 1 月 5 日、立教大学