

氏名(本籍)	もがみ たけ し 最上武志(岡山県)		
学位の種類	博士(物理学)		
学位記番号	博甲第3385号		
学位授与年月日	平成16年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	物理学研究科		
学位論文題目	Penrose Limits and θ -Expansion of the Green-Schwarz Action (Green-Schwarz作用の θ -展開とPenrose極限)		
主査	筑波大学教授	理学博士	金谷和至
副査	筑波大学教授	理学博士	青木慎也
副査	筑波大学教授	理学博士	石橋延幸
副査	筑波大学助教授	理学博士	吉江友照

論文の内容の要旨

超弦理論は、重力を含む統一理論の有望な候補であるだけでなく、ゲージ理論の非摂動的なダイナミクスを解析する手段として使うことができる。Maldacenaによって提唱されたAdS-CFT対応と呼ばれる対応を使うと、4次元の $N=4$ 超対称ゲージ理論の非摂動的なダイナミクスに関する情報を、反ドゥジッター時空中における超弦理論を解析することによって得ることができる。この対応の様々な一般化が考えられており、様々な曲がった時空中における超弦理論の研究がゲージ理論の研究に対応していると思われる。

このような対応において重要な点は、考えるべき超弦理論はRamond-Ramondセクターに属するボゾンが凝縮した時空中における超弦理論である点である。超弦理論には、Ramond-Ramondセクターに属するものとNS-NSセクターに属するものの2種類のボゾン場が含まれている。ところがこれまで前者の場が凝縮した時空中における超弦理論はあまり考えられてこなかった。その理由は、これまで超弦理論は主にRNS形式と呼ばれる定式化で解析されてきたからである。

超弦理論の定式化にはRNS形式とGreen-Schwarz形式の2種類あり、それぞれ長所短所を持っている。RNS形式は世界面上の超対称性が明白な定式化であり、共変的な量子化が容易であるがRamond-Ramondセクターに属する場を扱うのが難しいという欠点を持つ。一方Green-Schwarz形式は時空の超対称性が明白な定式化であり、Ramond-Ramondセクターに属する場を扱うのは容易であるが共変性を破る光円錐ゲージをとらないと量子化できないという欠点をもつ。従って、ゲージ理論との対応を考えるためにはGreen-Schwarz形式の超弦理論を考えなければならない。

ところが、Green-Schwarz形式における世界面上の作用は一般には非常に複雑になる。というのはGreen-Schwarz形式における作用は超時空のフェルミ座標 θ で展開されており、一般にはこの展開は非常に多くの項を含むからである。しかし、AdS-CFT対応ででてくる特殊な場合についてはこの θ による展開が低い次数で止まることが知られている。特に反ドゥジッター時空からPenrose極限と呼ばれる操作を行って得られるmaximally supersymmetric pp-waveと呼ばれる時空中においては光円錐ゲージにおけるGreen-Schwarz作用が θ について2次になり、容易に量子化できる。

本論文では一般の時空における光円錐ゲージでの Green-Schwarz 作用を調べ、 θ についての展開が低い次数で止まる場合がないかを調べた。ただし、時空としては対応する超重力理論の運動方程式を満たしたものを持ってくる必要があるので、超重力理論の運動方程式を比較の見通しよく書ける超場形式を用い、超場形式と相性のいい超空間における normal coordinate 展開という手法で作用を展開した。この展開にでてくる項の形を調べ、一般にある時空の Penrose 極限として得られる時空においては θ についての展開が低い次数で止まることを見出した。

本論文で得られた結果は次のとおりである。ヘテロ型超弦理論においてはゲージ場が凝縮していないという条件のもとに、ある時空の Penrose 極限として得られる時空においては作用の展開は θ について 2 次で止まることを示した。また、この理論については θ についての展開を一般に時空の場合に 4 次まで行い、ある論文でなされている主張が誤りであることを実際に示した。Type IIB 型超弦理論においては一般にある時空の Penrose 極限として得られる時空においては作用の展開は θ について 2 次で止まることを示した。

審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文では、Green-Schwarz 作用の θ についての展開を調べ、ある時空の Penrose 極限として得られる時空においては（他の付加的な条件のもとに）展開が 2 次で止まることを示した。この結果はこの種の結果のうちでは非常に一般的な結果であり、Ramond-Ramond セクターに属するボゾンが凝縮した時空における超弦理論の研究において非常に有用である。また、この論文で用いられた様々な手法は将来の更なる一般化を考える際にも非常に有用であると考えられる。以上の観点から、本論文は水準の十分高い独創的研究といえる。

よって、著者は博士（物理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。