Background Field Equations in the String Theory and Higher Dimensional Cosmology

Tabuse, Masayoshi

(Degree)
博士（学術）
(Date of Degree)
1988-03-31
(Date of Publication)
2014-02-28
(Resource Type)
doctoral thesis
(Report Number)
甲0759
(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1000759

〔16〕

氏名・(本籍)	**田伏正佳**（和歌山県）
学位の種類	学術博士
学位記番号	学博い第119号
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
学位授与の日付	昭和63年3月31日
学位論文題目	Background Field Equations in the String Theory and Higher Dimensional Cosmology **（ストリング理論における背景場方程式と高次元宇宙論）**
審査委員	主査 教授 位田正邦 教授 永井旺二郎　教授 小早川惠三 教授 麦林布道

論文内容の要旨

ストリング理論とは，素粒子として点粒子でなく一次元的に広がったひも又は弦(ストリング)をもとにした理論である。この理論には，ゼロ質量のベクトル場と2階対称テンソル場が含まれており，低エネルギー極限で，それらがYang-Millsゲージ場及び重力場として相互作用するので，現在，重力を含んだ統一理論の最有力候補として考えられ，盛んに研究されている。

しかし，ストリング理論は高次元（超弦理論は10次元，ボゾニック・ストリング理論は26次元）においてのみ矛盾なく定式化されるので，有効4次元理論を得るためには，余分な空間を観測されないぐらい小さな空間にコンパクト化しなくてはいけない。このコンパクト化の問題を解決するには，一般に曲がった背景場（重力場など）中でのストリング理論を考える必要がある。

背景場中のストリングは非線形シグマ模型で記述できるので，矛盾なくストリング理論を量子化するためには，対応するシグマ模型がWeylのスケール変換のもとで不変でなくてはいけない。そして，このWeyl不変性の条件から逆に背景場を制限する方程式が得られ，この方程式はストリングの有効作用から導かれる背景場の運動方程式であると思われている。

さらに最近，ストリングのループ効果（量子効果）によって，この方程式が変わることが示された。

一方，場の理論の観点から言えば，ストリングの1点振幅がゼロになる条件が，真空解の条件，即ち，背景場の運動方程式を与える。従って，ストリングのループ効果も含めて，シグマ模型のWeyl不変性から得られる方程式は，1点振幅がゼロになる条件式と同じであると思うのが自然で

ある。しかし，このことははっきりとは示されていない。

この論文では，Polyakovの経路積分法を使って，閉ボゾニック・ストリングの１点振幅を１ループまで計算し，それがゼロになる条件式がWeyl不変の条件式と同じであることを示した。

次に，ストリングの１ループ補正を含んだ背景場の方程式をもとに，高次元宇宙論を議論し，余分なコンパクト空間が広がっていかない解があることを調べた。

第２章では，閉ボゾニック・ストリングのPolyakov経路積分法による量子化をレビューした。

時間発展において点粒子が世界線を描くのに対し，ストリングは２次元の世界面を描く。ストリングの作用は，

(1)世界面上のパラメータの付け替え（２次元の一般座標変換）

(2)世界面上の計量のWeylスケール変換

(3)時空間のPoincaré変換

のもとで不変である。Polyakovの経路積分法では，世界面の計量とストリングの時空間の座標について積分することになるが，この量子化において一般にWeyl不変性はこわれる。これを量子異常（アノマリー）と言う。ストリングの量子化において，(1)〜(3)の不変性が保たれなければならないので，Weylアノマリーを相殺する必要があるが，それは時空が26次元（超弦理論では，10次元）の時のみ満たされる。この次元を臨界次元と言う。

N点振幅を計算するには，オンシェル粒子状態に対するバーテックス演算子を定義しなくてはいけない。バーテックス演算子も(1)〜(3)のもとで不変でなくてはいけないということから，それぞれの質量準位に対し，バーテックス演算子の形が決まる。N点振幅は，N個のその様なバーテックス演算子を経路積分すれば求まる。

第３章では，非線形シグマ模型のWeylアノマリーについて考察した。先に述べたように，背景場中のストリング理論が矛盾なく量子化されるためには，対応するシグマ模型がWeyl不変でなくてはいけない。シグマ模型のWeyl不変の条件は，２次元のエネルギー運動量テンソルのトレースが，ゼロになることである。そして，このトレースは，シグマ模型のくりこみ群β－関数で表され，それが，背景場によっていることから，Weyl不変性を要求することで，背景場のとれる配位を制限する方程式が得られた。また，この方程式はストリングの有効作用から導かれる運動方程式と同じであることを見出した。

第４章では，Weyl不変性に対するストリング・ループの影響を議論した。Weylアノマリーは局所的な性質によるものなので，世界面の位相にはよらないように思えるが，最近moduliパラメータの積分における発散が，Weyl不変性をこわすということが指摘された。従って，背景場方程式はストリング・ループの影響を受けることになる。その結果重力場の方程式には，１ループ補正としてストリングの真空エネルギーが現れる。

第３，４章では，シグマ模型のWeyl不変性から背景場の方程式を出した。第５章では，ストリングの１点振幅から背景場の運動方程式を導き出した。

ストリングのツリー・レベルで，１点振幅がゼロになる背景場の解があるとする。そのとき，

一般に１ループの１点振幅はゼロではない。この意味は，ツリー・レベルの背景場の解は本当の真空解ではなく，１ループ・レベルまでの１点振幅の和がゼロになるように解を変えなくてはいけない。このようにして，Polyakovの経路積分法を使って閉ボゾニック・ストリングの１点振幅を１ループまで計算し，１ループ補正のある重力背景場の運動方程式を求め，それがWeyl不変の条件から得られる方程式と同じになることを示した。

第６章では，ストリングの１ループ補正を含んだ重力場の方程式をもとに，余分な空間がトーラスにコンパクト化している場合の高次元宇宙論を議論した。第４，５章で得た重力場の運動方程式には，１ループ補正として，ストリングの真空エネルギーがあり，そのエネルギーは閉ボゾン弦がコンパクト空間に巻き付いている状態のエネルギーを含んでいるので，従来のKaluza-Klein宇宙論（Einstein方程式をもとにした高次元宇宙論）とは違った宇宙発展が予想される。実際，この閉ボゾン弦の巻き付き効果により，余分なコンパクト空間が広がらずに小さくとどまるような宇宙発展の解があることを見出した。

論文では，ストリングの１点振幅を１ループまでしか調べなかったが，さらに高いループまで調べ，それがゼロになる条件式がWeyl不変の条件から得られる式と同じになるかを見る必要があるだろう。また，背景場として，ディラトン場を入れた場合も考える必要があるし，他のストリング理論で考えてみることも今後の課題だろう。

論文審査の結果の要旨

素粒子を，質点の代わりに１次元的に拡がった弦（ストリング）と考えるのが弦理論である。この理論は重力場とYang-Millsゲージ場を含み，すべての相互作用に対する統一理論として最も有望視されている。

弦理論が矛盾なしに量子化できるのは，26または10次元の時であり，現実の４次元時空へは余分な空間のコンパクト化によって移行すると考えられている。この問題は，曲がった背景場の中での非線形シグマ模型としてとらえることができるが，量子化のためにはそれがWeylのスケール変換で不変でなければならない。この条件から背景場に対する方程式が得られるが，それは背景場の運動方程式と思える。所で，場の理論では，背景場の運動方程式は弦の１点振幅がゼロという条件で与えられる。こうして，弦のループ効果（量子効果）も含めて，２つの方法で得られる方程式は同じものであるということが期待される。

本論文の主要な結果は，弦の１ループ効果まで含めて上の期待が正しいことを示した点と，それを高次元宇宙論に適用して余分な空間が小さく留まるような解があることを見出した点である。

まず第２章では，Polyakovの経路積分法により閉ボソン弦の量子化をまとめている。古典的作用が持っていたWeyl不変性は量子化によって一般に破れてしまうが，上記の特別の次元（臨界次元）の場合に限って不変性が回復し，量子化は矛盾を含まない。N点振幅は，外線粒子に対応する

N個のバーテックス演算子の積の期待値として求められる。

第3章で，シグマ模型のWeyl不変性をくりこみ群βー関数で表し，それから背景場に対する方程式を得るが，それは弦理論の有効作用から導かれる運動方程式と同じものである。第4章では背景場方程式に対する弦ループの影響を考察する。これは，moduliパラメーターの積分での発散がWeyl不変性をこわすために生じる。背景場として重力場を取ると，その方程式には1ループ補正として弦の真空エネルギーが現れる。ついで第5章では，閉ボソン弦の1点振幅を1ループ段階まで求め，それから得られる背景場方程式が，上にのべたWeyl不変性の条件からのものと一致することを示している。

第6章では，1ループ補正を含む重力方程式を基に，余分な空間がトーラスにコンパクト化している26次元宇宙理論を考察し，閉ボソン弦の巻付き効果のために余分な空間が膨張していかないような解があることを見出した。Einstein方程式による従来の高次元宇宙論では，コンパクト空間の曲率がその膨張を妨げるが，この章で考えた機構では，曲率のかわりに弦の巻付き効果が同じ役割を果たしている。

以上のように本論文は，弦理論での背景場方程式を，ループ効果も含めて検討することによってその物理的意味を明らかにし，さらに高次元宇宙論に適用して興味ある知見を得た点で，素粒子物理学と宇宙論に寄与するところが大きい。よって論文提出者田伏正佳は，学術博士の学位を得る資格があると認める。