氏名	大橋圭介（おおはしけいすけ）
学位(専攻分野)	博士（理学）
学位記番号	理博第2590号
学位授与の日付	平成15年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	理学研究科物理学・宇宙物理学専攻
学位論文題目	Five Dimensional Conformal Supergravity and Brane Worlds （5次元共形超重力理論とブレーンワールド）
論文調査委員	（主査）教授 九後太一　教授 川合光　助教授 畑浩之

論文内容の要旨

超弦理論の発展を契機として，近年，我々の世界は10次元時空内に浮かぶ4次元の膜なのではないかと考えられるようになってきた。この「ブレーンワールドシナリオ」と呼ばれる考え方に基づいて，現在，多くの研究者によって素粒子論や宇宙論における様々な問題が再考され活発に研究されている。このシナリオで研究を進めるためには，重力しかも超対称性を持った理論体系が必要となってきている。

申請者はブレーンワールドシナリオにおける研究の基礎的な道具立てとして，S^1/Z_2 オービフォルドにコンパクト化された5次元時空（二枚の境界ブレーンとその間に挟まれた5次元バルク時空）における超重力理論構成のための超共形テンソル算法を与えた。

テンソル算法（tensor calculus）とは，1）超対称多重項の，超対称変換等の超共形ゲージ変換のもとでの変換則，2）ある超対称多重項からその他の超対称多重項への埋め込み公式，3）超共形ゲージ変換のもとで不変な作用公式，の総体のことである。この算法を用いて様々な状況の系に対して，超共形ゲージ不変な off-shell 形式の作用を書き下すことができる。ここで off-shell 形式とは，運動方程式を使うことなくゲージ変換の代数が閉じるよう補助場を含んだ形式のことである。この性質のおかげで様々なゲージ不変な作用，特に5次元のバルク時空における作用と，4次元ブレーン上の作用とを単純に加えるだけで，目的の作用を構成することができる。申請者は，5次元時空に7つの超対称多重項（Weyl 多重項，ベクトル多重項，ハイパー多重項，線形多重項，非線形多重項，大テンソル多重項，テンソルゲージ多重項）が存在することを示し，また具体的な5次元のゲージ不変な作用として，ベクトル多重項とハイパー多重項とが超重力に相互作用する一般的な系の作用を具体的に書き下した。

申請者は，更に，5次元バルク時空の場と4次元の境界ブレーン上に局在する場との相互作用を超共形ゲージ不変に構成する一般的な方法を与えた。先ず申請者は，5次元の超共形多重項が4次元のブレーン上で，4次元の超共形多重項にどのように同定されるかを明らかにした。特に，ブレーン上での4次元の Weyl 多重項が，5次元バルクの Weyl 多重項のどの成分からどう誘起されるのかを明確にした。この同定に基づき，既に知られている4次元の超共形不変作用の公式を適用することによって，ブレーンワールドシナリオに必要な5次元バルクの超重力 Weyl 多重項と4次元の境界ブレーン上の物質場との一般の不変作用を書き下すことができる，ということを明らかにした。

この S^1/Z_2 オービフオルド上の超共形テンソル算法を用いれば，5次元の超重力が5次元や4次元の物質場と相互作用するどんな系も簡単に書き下すことができる。申請者は，一例として，この算法を用いて Randall-Sundrum シナリオの超対称化された模型の具体的な構成を議論している。

Randall と Sundrum は，5次元の重力理論に負の宇宙項を加えれば，重力が4次元の膜上に局在することを示し，またこの系が現象論における階層性の問題の解決に有用であることを示した。このシナリオの超対称化は，on-shell 形式では既に幾つかのグループによりなされており，$U(1)_R$ 対称性のゲージ化の仕方により二種類の方法があることが示されてい

た。$U(1)_R$ の結合「定数」が4次元の膜の両側で符号が変わるように採る方法と，変えないという方法である。申請者は，これらの二種類の方法をoff-shell形式の方法で再現し，より一般の系に拡張できることを明らかにした。特に前者の方法は，Randall-Sundrumシナリオにおいて，4次元時空の平坦性を保証するための，5次元の宇宙項と4次元の膜の張力の間のfine-tuningが，超対称性の要求で自動的に満たされるので，重要である。この場合は，しかし，奇の Z_2 パリティを持つ結合「定数」を実現せねばならず，off-shell形式では簡単には扱えなかったが，申請者はこれを異なった Z_2 パリティを持つ二つのベクトル多重項のスカラー成分の比として再現できることを発見した。

論文審査の結果の要旨

超弦理論の近年における最も重要な認識は，D-braneやOrientifold planeと言った高次元膜の存在である。これは，我々の4次元世界が実は，より高次元時空中での4次元（空間3次元＋時間1次元）膜であるという新しい可能性を示唆する。この「ブレーンワールドシナリオ」とも呼ばれる新しい考え方に基づけば，素粒子の統一理論や宇宙論における様々な問題を新たに再考することが必要で，多くの研究者に現在活発に研究されている。

このシナリオをまじめに研究するためには，先ず初めに，余分な次元が1次元の場合の5次元超重力理論を構成する一般的な方法や，余分な次元が例えば S^1/Z_2 オービフォルドにコンパクト化した場合に5次元バルクの場と4次元境界ブレーン上の物質場との超対称な相互作用の形を一般的に与えるアルゴリズムを明らかにする必要がある。

申請者は，先ず，5次元バルクの一般的な物質場やブレーンが存在するような種々な状況に適用できる5次元超重力理論構成のための超共形テンソル算法を初めて与えた。超共形対称性には，通常の超重力対称性以外に，dilatationや共形超対称性等の余分な対称性があり，これらの余分なゲージ対称性の自由度を用いれば，Einstein-Hilbert項やRarita-Schwinger項を，物質場との混合を解いて正準化することが，これら余分なゲージの固定条件の適切な選択として，非常に簡単に行える。このような意味において申請者の与えた算法は極めて強力で有用なものである。さらに申請者は，5次元時空に7つの超対称多重項（Weyl多重項，ベクトル多重項，ハイパー多重項，線形多重項，非線形多重項，大テンソル多重項，テンソルゲージ多重項）が存在することを示し，また具体的な5次元のゲージ不変な作用として，ベクトル多重項とハイパー多重項とが超重力に相互作用する系の作用を具体的に書き下している。

次に申請者は，5次元バルク時空の場と4次元の境界ブレーン上に局在する場との相互作用を超共形ゲージ不変に構成する一般的な方法を与えた。先ず申請者は，5次元の超共形多重項が4次元のブレーン上で，4次元の超共形多重項にどのように同定されるかを明らかにした。特に，ブレーン上での4次元のWeyl多重項が，5次元バルクのWeyl多重項のどの成分からどう誘起されるのかを明確にした。この同定に基づき，既に知られている4次元の超共形不変作用の公式を適用することによって，ブレーンワールドシナリオに必要な5次元バルクの超重力Weyl多重項と4次元の境界ブレーン上の物質場との一般の不変作用を書き下すことができる，ということを明らかにした。

この S^1/Z_2 オービフォルド上の超共形テンソル算法を用いれば，5次元の超重力が5次元や4次元の物質場と相互作用するどんな系も簡単に書き下すことができる。申請者は，一例として，この算法を用いてRandall-Sundrumシナリオの超対称化された模型の具体的な構成を議論している。このシナリオの超対称化は，on-shell形式では既に幾つかのグループによりなされており，$U(1)_R$ 対称性のゲージ化の仕方により二種類の方法があることが示されていた。$U(1)_R$ の結合「定数」が4次元の膜の両側で符号が変わるように採る方法と，変えないという方法である。申請者は，これらの二種類の方法をoff-shell形式の方法で再現し，より一般の系に拡張できることを明らかにした。特に前者の方法は，Randall-Sundrumシナリオにおいて，4次元時空の平坦性を保証するための，5次元の宇宙項と4次元の膜の張力の間のfine-tuningが，超対称性の要求で自動的に満たされるので，重要である。この場合は，しかし，奇の Z_2 パリティを持つ結合「定数」を実現せねばならず，off-shell形式では簡単には扱えなかったが，申請者はこれを異なった Z_2 パリティを持つ二つのベクトル多重項のスカラー成分の比として再現することに成功した。

以上のように申請者の論文は，ブレーンワールドシナリオの研究にとって基本的な道具となる5次元 S^1/Z_2 オービフォルド上の超共形テンソル算法を初めて与えた，オリジナルで重要な業績である。よって，本申請論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。

主論文および参考論文に報告されている研究業績を中心として，これに関連した研究分野について口頭試問した結果，合格と認めた。