

平成 30 年 5 月 30 日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2017

課題番号：25400283

研究課題名(和文) 高次元超重力理論に基づく余剰次元模型の研究

研究課題名(英文) Researches on extra-dimensional models based on higher-dimensional supergravities

研究代表者

阪村 豊 (Sakamura, Yutaka)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・研究機関講師

研究者番号：90525552

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では高次元超重力理論に基づく余剰次元模型の構築を念頭に置き、主に5次元及び6次元超重力理論に関する研究を行った。

5次元超重力理論に関しては、量子効果の影響によりプランク長よりはるかに大きな余剰次元を自然に実現できるシナリオ等を提唱した。

6次元超重力理論に関しては、様々なコンパクト化に対応した4次元有効理論の系統的な導出方法の開発を目指し、6次元作用を4次元 $N=1$ 超場を用いて記述することに成功した。これは $N=1$ 超対称性を保つあらゆるコンパクト化に対して適用でき、様々な模型の解析に有用である。

研究成果の概要(英文)：I have done mainly researches on five- and six-dimensional supergravities, aiming to the construction of extra-dimensional models based on higher-dimensional supergravities. On five dimensional theories, we proposed a novel scenario in which a large extra dimension whose size is much larger than the Planck length is naturally realized due to the quantum effect. On six-dimensional case, we made an attempt to develop a systematic method of deriving four-dimensional effective theories from six-dimensional supergravity with various compactifications. As a first step for our purpose, we made a success of completing the $N=1$ superfield description of six-dimensional supergravity action. This result can be applied to any compactifications that preserve $N=1$ supersymmetry, and thus it is quite useful to analyze various extra-dimensional models.

研究分野：素粒子論

キーワード：余剰次元 超対称性 高次元理論 超重力理論

1. 研究開始当初の背景

(1)素粒子論における標準理論は実験的に多くの成功を収めているが、ニュートリノの質量の起源や暗黒物質の欠如など未だ完全な理論とは言えない。また理論的観点からも最終理論と考えるには多くの問題点を内包しており、標準理論を超える物理の存在は疑う余地のないものと考えられている。

(2)そのような新物理の候補として超対称模型や余剰次元模型が考えられている。これらは量子重力を含む究極理論の有力候補である超弦理論からも予言されており、理論的・現象論的双方の観点から興味深い研究対象である。

(3)これらの模型に基づく現象論を議論する場合、余剰次元空間の幾何の情報が必要になる。その情報を適切に扱うには重力を含めた高次元超重力理論の枠組みで議論する必要がある。更に、このような理論は超弦理論の有効理論としても現れ、その性質を解明することは様々な観点から重要である。

2. 研究の目的

(1)高次元超重力理論に基づく余剰次元模型を構築し、余剰次元がコンパクト化された場合にその4次元有効理論を求め、実験的事実と照らし合わせることで、余剰次元空間の情報を引き出すことを目標とした。

(2)実際の模型構築では超対称性の数や余剰次元の幾何、ブレーンの種類、数、配位など様々なバリエーションがあり得る。これら全てを統一的に扱える見通しの良い記述方法があれば、効率的に解析することが可能になる。特に4次元有効理論が現象論的に興味深いN=1超対称性を持つ場合に注目した。このような状況を見通し良く議論するために、高次元理論を始めからN=1超対称性が明らかかなように記述する方法の開発を目指した。

(3)また、高次元超重力理論から4次元有効理論を導出する系統的な方法を開発することも多くの模型を効率良く議論するために有益である。そのような方法の開発も本研究の目的の1つである。

3. 研究の方法

(1)まず、最も解析の容易な5次元超重力理論に基づく余剰次元模型に着目し、4次元有効理論に現れる余剰次元空間の幾何の痕跡を同定する。その結果を用いて、実験結果から高次元時空の情報を引き出す方法を模索する。特にN=1超対称性がコンパクト化の過程で保たれる場合に着目し、N=1超対称性の構造が顕になるようにN=1超場形式を用いた超重力理論の作用の記述を用いて解析する。

(2)5次元で得られた結果を参考にして、より高次元の超重力理論について段階的に調べていく。一般に高次元になるほど余剰次元空間の構造が複雑になり、解析も難しくなる。本研究では段階的に次元を上げることによ

り、それまでの研究成果や経験を活用できるため着実な成果が期待できるという利点がある。例えば6次元理論の場合は5次元の場合と異なり、余剰次元空間に背景磁場を導入することができる。そのような磁場がある場合、4次元有効理論に現れるゼロモードの数を増やすことが出来るため、クォークやレプトンの世代構造の実現にも使え、現象論的に興味深い模型を構築することが可能になる。また、余剰次元空間中に局在する3次元空間的に広がった3ブレーンについても高次元になるほど様々な配位が可能となるため、より系統的な解析方法が重要になってくる。こういった観点から本研究では系統的な解析方法の開発に重点を置いた。

4. 研究成果

(1)5次元超重力理論の4次元N=1超場による記述を基に余剰次元がオービフォルドにコンパクト化されている場合に量子効果により誘起される項を計算した。その結果に基づき、5次元プランク長に比べて指数関数的に大きな余剰次元を自然に実現するシナリオを提唱した。これは標準理論の抱える階層性問題を解決する1つの可能性を示すものである。

(2)トーラスを可換離散群で割ったオービフォルドにコンパクト化された6次元ゲージ理論において、6次元ゲージ場の余剰次元成分を電弱対称性を破るヒッグス場と同定する「ゲージヒッグス統合模型」を考え、現象論的模型が満たすべき条件からゲージ群とその表現、及び可換離散群に対する制限を導いた。この成果は、6次元ゲージ理論に基づく現実的なゲージヒッグス統合模型を構築する際に重要な指針を与えるものである。

(3)6次元ゲージヒッグス統合模型において余剰次元に背景磁場を導入した場合の有効理論を求めた。一般に背景磁場によりゼロモードの波動関数は余剰次元空間中で局在化するという性質がある。この性質を用いて現実的な湯川結合定数を実現できる可能性について調べ、背景磁場のみではその実現は難しいことを明らかにした。

(4)トーラスにコンパクト化された6次元理論において余剰次元空間に局在する3ブレーン上に質量項を導入した場合、4次元有効理論の質量スペクトルがどのように変化するのかを調べた。その結果、5次元の場合と比べて4次元スペクトルに与える局在化した質量項の影響は小さいことが判明した。この成果により、現実的な模型構築を行う際に余剰なゼロモードを局在質量項を導入することによって有効理論から取り除く際には注意が必要であることが分かった。

(5)6元超重力理論の作用を4次元N=1超場を用いて記述することを試みた。5次元の場合と異なり、6次元には自己(反)双対なテンソル場が存在する為に重力を無視する極限ではテンソル多重項はある拘束条件に従

う。この事実が6次元理論の超場による記述を複雑にしている。そこでまず、重力を含まない大域的理論の作用を超場で表すことを試み、その結果に重力超多重項に対応する超場を種々の対称性と矛盾のないように挿入するという手法を採った。得られた6次元作用は $N=1$ 超対称性を保つ様々なコンパクト化を統一的に扱うことが出来、今後の模型構築を見通し良く行うことを可能にする。また、4次元有効理論の系統的な導出方法の開発においても、重要な足掛かりとなる。

5. 主な発表論文等

(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 10 件)

Hiroyuki Abe, Shuntaro Aoki, Yutaka Sakamura, 'Full diffeomorphism and Lorentz invariance in 4D $N=1$ superfield description of 6D SUGRA', JHEP, 査読有, Vol.11, 2017 年, 146 (DOI:10.1007/JHEP11(2017)146)

Yutaka Sakamura, 'Spectrum in the presence of brane-localized mass on torus extra dimensions', JHEP, 査読有, Vol.10, 2016 年, 083 (DOI:10.1007/JHEP10(2016)083)

Yoshio Matsumoto, Yutaka Sakamura, 'Yukawa couplings in 6D gauge-Higgs unification on T^2/Z_N with magnetic fluxes', PTEP, 査読有, Vol.5, 2016 年, 053B06 (DOI:10.1093/ptep/ptw058)

Hiroyuki Abe, Yutaka Sakamura, Yusuke Yamada, 'N=1 superfield description of six-dimensional supergravity', JHEP, 査読有, Vol.10, 2015 年, 181 (DOI:10.1007/JHEP10(2015)181)

Hiroyuki Abe, Yutaka Sakamura, Yusuke Yamada, 'Massive vector multiplet inflation with Dirac-Born-Infeld type action', Physical Review D, 査読有, Vol.91, 2015 年, 125042 (DOI:10.1103/PhysRevD.91.125042)

Hiroyuki Abe, Yutaka Sakamura, Yusuke Yamada, 'N=1 superfield description of vector-tensor couplings in six-dimensions', JHEP, 査読有, Vol.04, 2015 年, 035 (DOI:10.1007/JHEP04(2015)035)

Yoshio Matsumoto, Yutaka Sakamura, '6D gauge-Higgs unification on T^2/Z_N with custodial symmetry', JHEP, 査読有, Vol.08, 2014 年, 175 (DOI:10.1007/JHEP08(2014)175)

Yutaka Sakamura, Yusuke Yamada, 'Natural realization of a large extra dimension in 5D supersymmetric

theory', PTEP, 査読有, Vol.9, 2014 年, 093B02 (DOI:10.1093/ptep/ptu114)

Yutaka Sakamura, Yusuke Yamada, 'Impacts of non-geometric moduli on effective theory of 5D supergravity', JHEP, 査読有, Vol.11, 2013 年, 090, Erratum: JHEP Vol.01, 2014 年, 181 (DOI:10.1007/JHEP11(2013)090, 10.1007/JHEP01(2014)181)

Yutaka Sakamura, 'One-loop Kaehler potential in 5D gauged supergravity with generic prepotential', Nuclear Physics B, 査読有, Vol.873, 2013 年, 165, Erratum: Nuclear Physics B, Vol.873, 2013 年, 728 (DOI:10.1016/j.nuclphysb.2013.04.013, 10.1016/j.nuclphysb.2013.05.006)

[学会発表](計 9 件)

阪村 豊, 「コンパクト化された6次元超重力理論の4次元有効理論」, 日本物理学会 2017 年秋季大会、宇都宮大学峰キャンパス(栃木県宇都宮市) 2017 年 9 月 15 日

阪村 豊, 「4次元 $N=1$ 超場を用いた6次元超重力理論の記述と4次元有効理論の導出」, 日本物理学会第72回年次大会、大阪大学豊中キャンパス(大阪府豊中市) 2017 年 3 月 20 日

Yutaka Sakamura, 'Spectrum and mode functions in the presence of a brane-localized mass in six dimensions', SUSY2016, メルボルン(オーストラリア) 2016 年 7 月 5 日

阪村 豊, 「6次元ゲージヒッグス統合模型における湯川結合定数の実現」, 日本物理学会第71回年次大会、東北学院大学泉キャンパス(宮城県仙台市) 2016 年 3 月 20 日

阪村 豊, 「6次元超重力理論の $N=1$ 超場による記述と4次元有効理論」, 日本物理学会 2015 年秋季大会、大阪市立大学杉本キャンパス(大阪府大阪市) 2015 年 9 月 28 日

阪村 豊, 「高次元 SUGRA の4次元 $N=1$ 超場による記述」, GExPheno 2014 in Miyazaki (招待講演)、ANA ホリデー・イン リゾート宮崎(宮崎県宮崎市)、2014 年 11 月 4 日

阪村 豊, 「6次元超重力理論の4次元 $N=1$ 超場形式による記述」, 日本物理学会 2014 年秋季大会、佐賀大学本庄キャンパス(佐賀県佐賀市) 2014 年 9 月 21 日

Yutaka Sakamura, '6D Gauge-Higgs unification with custodial symmetry', SUSY2014, マンチェスター(イギリス) 2014 年 7 月 25 日

阪村 豊, 「複数のヒッグス二重項を持つゲージヒッグス統合模型」, 日本物理学会

2013 年秋季大会、高知大学朝倉キャンパス（高知県高知市） 2013 年 9 月 21 日

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

阪村 豊（SAKAMURA, Yutaka）
大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・研究機関講師
研究者番号：90525552

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()