

学位審査報告書

（ふりがな） 氏名	おおき ひろし 大木 洋
学位（専攻分野）	博士（理学）
学位記番号	理博第 号
学位授与の日付	平成 年 月 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） Chiral four dimensional field theory from superstring and higher dimensional super Yang-Mills theory （超弦理論及び高次元ゲージ理論から導出される 4次元カイラル場の理論の研究）	
論文調査委員	（主査） 小林 達夫 准教授 植松 恒夫 教授 國廣 悌二 教授

理学研究科

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	大木 洋
論文題目	Chiral four dimensional field theory from superstring and higher dimensional super Yang-Mills theory		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、超弦理論及びその低エネルギー有効理論である高次元超対称ヤン-ミルズ理論から得られる四次元の有効場の理論の性質を、低エネルギーで実現される非可換ゲージ群、およびその表現、物質場の世代数やフレーバー構造、超対称性の有無やその破れなどの真空構造から調べ、素粒子現象論との関連を一般的に議論したものである。</p> <p>素粒子の標準模型には、重力相互作用が取り入れられていないことや、パラメータが多数存在することなど不満足な点が多く、標準模型を超えた基本的な理論が存在していると考えられている。その最も有力な候補は超弦理論であり、余剰次元をコンパクト化することで得られる四次元場の理論の研究が行われている。このような高次元時空から導出される理論には、一般に高い超対称性が残され、カイラルな場の理論を得ることが難しい。しかし、非自明な境界を持つコンパクト化や内部空間に広がったゲージフラックスが存在する真空解は、超弦理論との整合性を満たし、かつカイラルなゲージ理論を与える事が知られており、その有効理論を調べる事が重要である。上述のように、そのような背景時空における有効場の解を解析的に求め、低エネルギー理論のスペクトラムやパラメータを計算するといった解析が成されている。</p> <p>このような場の理論を用いた解析は、フレーバーの構造を支配する湯川結合が計算できるという点においても、他の現象論的模型と異なる利点であり、湯川結合に限らず一般の高次相互作用項を求める場合にも有効である。実際フレーバー構造を理解するという意味では一般の相互作用項も含めて議論されるため重要となる。場の理論による解析を行った結果、高次の相互作用項も解析的に求められ、その表式が三点結合の組み合わせで表せることが分かり、この性質は超弦理論での計算結果と合致している。これより、場の理論の計算からある種のモジュライ変数の対応を与えることで超弦理論の結果を再現することが明らかにされた。また基本的な構造が三点結合で支配されるという性質に着目することで、フレーバーの持つ対称性が背景幾何と真空解の性質から一般的に理解出来ることを示し、その背後に非可換な離散群構造が見出される可能性があることを示した。また、このような離散的対称性とその破れの機構をアノマリーの観点からも議論している。</p> <p>こうした理論的進展を現象論に応用することが可能であり、特に近年精力的に研究されている離散的フレーバー対称性を持った現象論的模型との関連が挙げられている。実際、レプトンにおける大きな混合角の構造と、クォークの持つ大きな質量階層性はフレーバー構造の大きな特徴であるが、それらは上述の機構による対称性の高いフレーバー離散群の性質と波動関数解の局在化機構の二つによって説明することが出来る可能性を示した。さらに、この機構は大統一理論に拡張された理論から容易に説明されることを明らかにし、新しい現象論的シナリオを提唱した。</p> <p>また重力の相互作用は、超重重力理論に拡張することで取り入れることが可能となる。本論分では、ゲージフラックスを含めた真空の安定性と超対称性の破れ、および重力を媒介した超対称性の破れの項も評価し、その一般的な帰結と現象論的側面への応用も議論されている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

素粒子論において、標準模型を超えた物理の候補の探求は極めて重要な課題であり、近年活発に研究されている。特に、超弦理論は重力理論と整合する極めて有力な基本理論の候補であると考えられている。標準模型の大きな問題であるフレーバー構造の起源は、超弦理論などの基本的な理論から決定されるべきであり、超弦理論やその有効理論から得られる4次元場の理論の研究が重要である。そのような理論には、低エネルギーにおける超対称性が残される可能性があり、電弱スケールとプランクスケールの階層性問題を解決する。また大統一ゲージ群を含むことで、標準模型に含まれるゲージ群、物質場、およびヒッグス粒子を自然に導出する可能性を持つ。

本論文では、超対称性を保つ高次元ヤン-ミルズ理論からカイラル場を導出する機構として、非自明な境界を持つコンパクト空間やゲージフラックスを背景場に持つ4次元の真空解を考察し、低エネルギーで残されるゲージ群やその表現、および波動関数解の構成法、低エネルギー有効定数の計算方法を一般的に論じ、それを具体的な模型に応用するという解析が行われている。本論文中に示されているように、場の理論の解析を用いた有効理論の低エネルギー定数の計算結果は、本来弦理論計算で得られる性質がそのまま反映されるため、超弦理論を用いた解析と対応するだけでなく、より広範な真空解にも応用できる手法であることを意味する。また、その解析を物質場の波動関数解との関連に着目することで、低エネルギー領域においても様々な非可換離散対称性が動的に残される可能性を指摘した。こうした理論的進展を様々な現象論に応用することが可能であり、特に離散的フレーバー対称性を持った現象論的模型との関連性を、場の理論から指摘したことは重要な成果である。

また、上記の機構を様々な背景幾何上に拡張した研究についても提示され、具体的なオービフォールド空間や twist されたトーラス上での波動関数解や低エネルギー理論の離散的対称性の有無を系統的に調べる事に成功している。これらの研究は、近年精力的に研究され始めた高次元ゲージ理論の局所的な模型構築へも応用される可能性を持つと共に、これらの機構を大統一理論にまで拡張することで、より自然な形で現実的なフレーバー構造を導出する機構を与えた。これは、低エネルギー領域での現象論的模型構築に対する新しい視点を提唱しており、今後このようなシナリオを応用するなど現象論的な発展が期待される。

以上のように、本学位申請者は高次元ゲージ理論における低エネルギー有効理論の構築と素粒子標準模型との関連について議論した。超弦理論と場の理論を用いた理論研究から、その有効理論のより深い理解と解析を与えた。また素粒子現象論への応用に関する議論を対称性を用いた新しい観点から展開した。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成22年1月13日論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。