

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	上村 尚平
論文題目	D-brane Models and D-brane Instantons in Type IIA Toroidal Orientifolds		
(論文内容の要旨)			
<p>素粒子論の標準模型は現在の高エネルギー実験の結果と無矛盾であり、1TeV程度までの素粒子現象をきわめて正確に記述する。一方、重力を含めた統一理論の有力候補として超弦理論があるが、もし超弦理論が正しいならば、標準模型は超弦理論の低エネルギー有効理論になっているはずである。そこで本博士論文は、Dブレーン模型と呼ばれる手法を用いて、標準模型のような現実的な有効理論を超弦理論から構築することを目指した。とくに、先行研究で知られていたDブレーン模型の問題点、つまり摂動論では標準模型のある種のパラメーターの値が実現しにくい点について、超弦理論の非摂動効果であるDブレーンインスタントンを用いて解決することを試みた。</p> <p>まずトーラス上にコンパクト化されたIIA型超弦理論から標準模型の自由度を再現する模型を構築した。この模型では、開弦のゼロモードとして標準模型粒子が実現され、それ以外の軽いモードは標準模型のゲージ群について自明な表現でしかないようになっている。この模型がゲージ結合定数の観測値を実現するためには、超弦の基本的エネルギースケールは10^{15-16}GeV以上である必要がある。</p> <p>こうしたトーラスコンパクト化では、フレーバー構造に$\Delta(54)$のような大きな非可換離散群の対称性が現れることが知られている。一方で実際に観測されているフレーバー構造にはそのような対称性は陽に見えておらず、何らかの機構で破れている必要があるが、このフレーバー対称性は摂動的なものであるため、非摂動効果で破れると期待できる。そこで、Dブレーンインスタントンによる非摂動効果による対称性の破れ方を系統的に調べた。まず、トーラス上の模型で非摂動的に生成される右巻きニュートリノのマヨラナ質量項を調べ、それがノンゼロの寄与を与える場合は、$\Delta(54)$のうち、離散的な併進対称性に対応するZ_3部分群以外は破れることを明らかにした。ただし単純なトーラス上では、Dブレーンインスタントンが実際にノンゼロのスーパーポテンシャルを生成するかは定かでない。そこで次に、toroidal orbifold上でマヨラナ質量の計算を行い、確かにDブレーンインスタントンが摂動的な離散対称性を破ること示した。またこの場合もZ_2などの部分群が残る場合があることを確認した。</p> <p>レプトンの混合角には近似的にZ_2やZ_3の対称性があることが指摘されており、上の結果はそれに対して超弦理論からの起源を示唆するものである。実際に、簡単な模型ではあるが、上の結果を用いてニュートリノの混合角や質量差の観測値の再現を試み、観測値を実現可能なパラメーター領域が存在することを示した。</p> <p>一方、多くのDブレーン模型ではヒッグス場のミュー項が摂動的に禁止されるが、この項はDブレーンインスタントンによって非摂動的に生成されることが知られている。そこで、実際にその効果をトーラス上で計算し、とくにヒッグス場が複数世代存在する場合に、ミュー項の固有値の間に大きな階層性が自然に現れることを明らかにした。とくに、世代数が6以上であれば、たとえミュー項そのものの大きさがPlanckスケール程度であっても、最低固有値は電弱スケール程度にできることを示した。この結果は、階層性問題の一部であるミュー問題の解決につながる可能性がある。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

1970年代に確立した標準模型は、くりこみ可能な相互作用のみを持ち、量子重力の効果が重要となる高エネルギースケール (Planckスケール: $10^{18\sim 19}$ GeV) まで理論的な破たんが起きないモデルである。もちろん低エネルギースケールとPlanckスケールの中に「標準模型だけでは説明できない物理現象」が存在する可能性はあるが、最近のLHCの精密実験により、標準模型だけでPlanckスケールまでの素粒子現象が説明できてしまう可能性がきわめて高くなっている。Planckスケール近傍からは量子重力の効果が強くなるため、重力も含めた議論をしない限り、さらに高エネルギーの物理を理解することは難しい。そこで、標準模型を有効理論として持つような整合的な量子重力理論を構築する必要があるが、その最有力候補が超弦理論である。

超弦理論はまだ最終的な定式化のない未完成の理論であるが、標準模型によく似た有効理論を与える古典解を大量に持つ。本博士論文は、そうした解を具体的に作り、超弦理論の単純な摂動論では実現しにくい標準模型のパラメーターの値を、超弦理論の非摂動効果として説明しようとしたものである。とくに、超弦理論のDブレーン模型を用い、摂動論の範囲で実現するのが難しい標準模型のパラメーター領域を、Dブレーンインスタントンという非摂動的なオブジェクトの効果として説明することを試みた点に特色がある。こうした、超弦理論の非摂動効果をきちんと取り入れて素粒子現象論を展開することは世界的にまだ十分に行われておらず、研究の方向性として意義のあるものである。

前述の内容の要旨に書いてある通り、博士論文では、まずトーラス上にコンパクト化されたIIA型超弦理論から標準模型の自由度を再現するモデルを構築し、ゲージ結合定数の観測値を実現するためには、ストリングの基本的エネルギースケールが $10^{15\sim 16}$ GeV以上でなければならないことを示した。次に、トーラスコンパクト化の際に出現する $\Delta(54)$ のような大きな非可換で離散的なフレーバー対称性が、Dブレーンインスタントンの効果により破れることを確認した。さらに、この結果を用いてニュートリノの混合角や質量差の観測値の再現を試み、観測値を実現可能なパラメーター領域が存在することを示した。

また、(摂動的には禁止される) ヒッグス場のミュー項がDブレーンインスタントンにより非摂動的に生成されることをトーラス上の具体的計算により確認し、とくに、世代数が6以上であれば、たとえミュー項そのものはPlanckスケール程度の大きさであっても、最低固有値は電弱スケール程度の大きさで実現できることを示した。この結果は、いわゆるミュー問題の解決につながる可能性があり興味深い。

以上のように、本博士論文は、超弦理論を用いて素粒子現象を理解するという方向において一定の進歩を与えるものとなっている。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29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。

要旨公表可能日： 年 月 日以降