

博士論文の要旨及び審査結果の要旨		
氏名	HEO Yongtae	
学位	博士 (理学)	
学位記番号	新大院博 (理) 第 474 号	
学位授与の日付	令和 4 年 3 月 23 日	
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当	
博士論文名	モジュラー対称性を持つレプトンフレーバー模型	
論文審査委員	主査	教授・浅賀 岳彦
	副査	教授・早坂 圭司
	副査	教授・小池 裕司
	副査	准教授・江尻 信司
	副査	准教授・中野 博章
<p>博士論文の要旨</p> <p>振動実験により指摘されたニュートリノの質量の存在は、現在の素粒子物理学において最大の課題の一つである。素粒子反応をほぼ正確に記述する標準模型ではニュートリノは質量を持たないため、新しい理論が要求されている。しかも、観測からその質量の大きさは他の素粒子に比べ圧倒的に小さく、さらに 3 世代のニュートリノ間の混合パターンはクォークと異なり大きいことが判明している。本博士論文では、新しい素粒子右巻きニュートリノと新規のフレーバー対称性の導入によるこれらの問題解決を目指した。</p> <p>右巻きニュートリノは、シーソー機構を通じて、観測された極微のニュートリノ質量を自然に説明する。さらに、世代間の入れ替え対称性であるフレーバー対称性は、ニュートリノを含めたフェルミオンの質量階層性や混合パターンを記述することができる。特に、幾何学と関連付いた離散的フレーバー対称性は、ニュートリノの質量・混合の観測値を見事に説明できるため、魅力的な対称性である。近年、この対称性の起源として、高次元理論を 4 次元にトーラスコンパクト化した際に生じるモジュラー対称性に注目が集まっている。なぜなら、この対称性により質量項が制限され、観測値を数少ないパラメータで説明ができる高い予言能力を持つためである。一方、この対称性は、運動項を制限できないため、各素粒子の場の規格化の際、付加的な世代間混合を生じさせ、理論の予言能力が失われる可能性が指摘された。具体的には、超重力理論におけるケーラーポテンシャルによる付加的な混合である。</p> <p>本博士論文では、この問題を回避する模型を提唱した。この模型の大きな特徴は、コンパクト化したトーラスを指定するモジュラスの虚部が大きい点である。モジュラー対称性を持つこれまでの模型では、この値が 1 と同程度であった。本論文では、虚部が非常に大きい場合、模型に Z_3 の離散的対称性が残り、運動項を制限し、付加的な混合を禁止できることに着目した。この場合、現実的なニュートリノ質量や混合が再現できないため、新たなゲージ重項を導入し、その真空期待値により Z_3 対称性を破ることで、見事に質量階層性や混合パターンが説明できた。さらに新たに導入したゲージ重項は、右巻きニュートリノのマヨラナ質量項とヒッグス場の μ 項の起源を説明するなど、魅力的な特徴を持つ。</p>		

さらに本論文では、実験・観測によるモデルの検証についても議論した。振動実験で測定されているニュートリノ混合角と質量二乗差を用いると、このモデルはレプトンセクターの CP 対称性の破れの構造、さらにはニュートリノ質量の絶対値を限定的な領域に予言することを示した。特に、CP 対称性の破れの度合いを示すディラック位相とマヨラナ位相に対して、高い予言能力を持つ。これらは今後の加速器ニュートリノ実験での絶好の検証対象である。また、ニュートリノ質量の絶対値の値が予言されるため、宇宙背景輻射による質量和の観測による検証も可能となる。さらに、ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊に対する予言能力も持ち、予言値は今後の探索計画での感度領域に含まれ、近い将来の検証に期待がかかる。

審査結果の要旨

上記のように、本研究は、標準モデルの抱えるニュートリノ質量の問題を解決すると共に、観測から判明した質量階層性や世代間混合を説明する素粒子モデルを提唱した。このモデルでは、高次元理論の余剰次元をトーラスコンパクト化する際に生じるモジュラー対称性をフレーバー対称性とした。特に、世界で初めて、モジュラスの虚部を大きくして観測値を説明するモデルを提唱した。さらに、モデルの検証可能性も検討し、レプトンセクターの CP 対称性の破れの構造、さらにはニュートリノ質量の絶対値の予言値を導出した。これらの予言は、今後の加速器ニュートリノ実験、宇宙背景輻射の精密観測、そしてニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊探索実験において近い将来の検証に期待がかかる。よって、素粒子物理学の理論分野だけでなく実験分野に対しても重要な寄与を与えた。

なお、本研究結果は、査読付き学術雑誌である **Physics Letters B** に掲載されており、物理学コースの基準を満たしている。

よって、本論文は博士（理学）の博士論文として十分であると認定した。