

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 露木 孝尚
 学位 博士 (理学)
 学位記番号 新大院博 (理) 第 415 号
 学位授与の日付 平成 28 年 9 月 20 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 **Theoretical Constraints on Right-Handed Neutrinos**
 (右巻きニュートリノへの理論的制限)

論文審査委員 主査 准教授・浅賀 岳彦
 副査 教授・大原 謙一
 副査 教授・小池 裕司
 副査 准教授・中野 博章
 副査 准教授・江尻 信司

博士論文の要旨

素粒子物理の基礎理論である標準模型は、ゲージ対称性に基づく量子場の理論として定式化されている。2012 年の Higgs 粒子の発見により、標準模型の予言する素粒子はすべて実験的に発見された。この模型は、エネルギーが 100 GeV 程度以下の素粒子反応をよく記述する成功した模型である。しかし、標準模型と矛盾する実験観測事実も報告されている。最も重要な問題の一つが、2015 年ノーベル物理学賞の対象となった、ニュートリノ質量の問題である。これまでに様々なニュートリノ振動実験からニュートリノは極微な質量を持つことが判明している。標準模型では、ニュートリノ質量はゼロと予言されており、明らかな矛盾点となっている。そこで、これまでに様々なニュートリノ質量獲得機構が提唱されてきた。

最も有力なニュートリノ質量獲得機構が、新しい素粒子右巻きニュートリノを導入したシーソー機構である。この機構では、右巻きニュートリノが電弱対称性の破れのスケールと無関係なマヨラナ質量を持つことにより、他のフェルミオンより極端に軽いニュートリノ質量が自然に説明できる。さらに、この粒子の崩壊や振動現象を通じ、宇宙物質創成機構も同時に実現可能となる。また、その質量が keV スケールと軽く長寿命の場合、右巻きニュートリノは宇宙暗黒物質の役割も果たすことができる。このように、右巻きニュートリノは素粒子物理および宇宙物理で広く議論されている魅力的な新粒子である。

本博士論文では、この右巻きニュートリノの性質を決定する混合の大きさに対する理論的な制限を 2 つ導き出している。この制限は、シーソー機構のみを仮定して導出されており、標準模型の様々な拡張模型に適用可能な一般的な制限である。1 つの制限は、混合に対する下限である。これは、シーソー機構からニュートリノ質量の観測値を説明する為に要求される制限である。先行研究では、大まかな議論に基づき同様の下限が提示されてきた。本論文では、数学的に厳密に成立する下限を求めている。もう一つの制限は、混合に

対する上限である。これは、右巻きニュートリノの湯川相互作用の摂動性を保証する為に要求される制限である。特に、右巻きニュートリノの質量間に階層性がある場合、この制限が厳しくなることが示された。これら二つの制限は、最も軽い右巻きニュートリノに対する制限であり、今後の右巻きニュートリノ探索に対する大きなインパクトを与えている。

さらに、本論文では、得られた混合に対する制限の示唆する物理的帰結に対しても考察が加えられている。特に、上記の混合の上限は、地上実験で到達できない高エネルギーの素粒子現象を探る手がかりを与えることが示された。その理由は、混合の上限が第二世代以上の重い右巻きニュートリノの質量に依存するからである。一例として、今後の実験で、質量が 10 GeV 、混合が $|\theta|^2 = 10^{-5}$ の右巻きニュートリノが発見されると、混合の上限から、第二世代の右巻きニュートリノの質量は 10^9 GeV 以下でなければならない。つまり、 10 GeV の物理から、 10^9 GeV の物理が制限される。さらにこの制限は、宇宙物理に対して重要な帰結を与える。つまり、宇宙物質生成機構として最有力視されているレプトジェネシスでは質量が 10^9 GeV 以上の右巻きニュートリノが要求されるため、この生成機構は働かないことが判明する。このように、本博士論文で得られた混合の制限は、幅広い物理現象に重要な影響を与えることを示した。

審査結果の要旨

本論文では、素粒子物理の標準模型が抱えるニュートリノ質量の問題を解決するため、新しい素粒子右巻きニュートリノについての理論的研究が行われた。特に、ニュートリノ質量の極微性を自然に説明するシーソー機構が働く場合について研究が進められた。

露木氏は、右巻きニュートリノが引き起こす素粒子現象、宇宙物理現象を多角的に検討した。具体的には、右巻きニュートリノが宇宙暗黒物質となり、さらには宇宙物質生成機構を同時に説明する模型の提唱。右巻きニュートリノが引き起こすレプトン数の破れを検証する手法の提示。大統一理論が予言するボトムクォークとタウ粒子の湯川結合定数の実現。など様々な右巻きニュートリノの現象を研究した。

さらに、右巻きニュートリノに対する理論的制限を提唱した。特に、この粒子の混合に対する下限と上限を求めた。下限については、今後の探索実験の目標を定量的に示した点が高く評価される。さらに、上限については、これまででない画期的な制限であり、その物理的な意義も大きい。論文に示されているとおり、今後の加速実験で右巻きニュートリノが発見された場合、この上限を考慮すると、宇宙初期の高エネルギー状態でおこる物質生成機構を大きく制限することになる。地上実験では直接検証できない物理現象が探索できる点が本研究成果の最も重要な帰結といえる。

以上より、本論文により導かれた結論は、ニュートリノ分野だけでなく、幅広い物理分野に対して重要な意義を持つと判断される。素粒子理論だけでなく、今後の加速器実験計画に対しても重要なインパクトを与えた。さらに、初期宇宙物理に対する示唆も重要である。

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。