OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Theoretical studies on baryogenesis, neutrino mass, and dark matter in extended Higgs models
Author(s)	榎本, 一輝
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/87815
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　　名　（　　榎本　一輝　　）	
論文題名	Theoretical studies on baryogenesis, neutrino mass, and dark matter in extended Higgs models （拡張ヒッグス模型におけるバリオン数生成、ニュートリノ質量、暗黒物質に関する理論的研究）

論文内容の要旨

素粒子標準模型は様々な実験事実を説明することに成功した理論であるが、バリオン数非対称性、ニュートリノ振動、暗黒物質の存在などの現象を説明することができない。したがって、標準模型を超える新物理の存在は疑いようがない。標準模型では最小のヒッグスセクターが採用されているが、これは原理なく仮定されているため、標準模型を超えた新物理では最小でないヒッグスセクターが実現されている可能性が考えられる。このような観点から、拡張ヒッグスセクターを含む様々な新物理模型が研究されてきた。その中のいくつかでは、拡張されたヒッグスセクターが標準模型で説明できない未解明現象の起源となっている。例えば、バリオン数非対称性はCP対称性の破れを伴う拡張されたヒッグスポテンシャルによる電弱バリオン数生成によって説明できる。また、ニュートリノ振動の起源であるニュートリノの質量は新しいスカラーボソンの量子効果によって生成される可能性がある。さらに、新しいスカラーボソンが電気的に中性で安定であれば、暗黒物質の候補となりうる。このような新物理模型は電弱スケールからTeVスケールの物理であり、今後数十年の間に実験によって徹底的に検証されることが期待されている。したがって、未解明現象の起源となる拡張ヒッグスセクターを含んだ新物理模型を検討し、それらを将来実験でどのように検証するかを調べることは、現在の素粒子物理学において非常に興味深く重要な研究である。本博士論文では、この理念に基づいた我々の研究を２つ議論する。

まず、ヒッグス二重項を二つ含む模型における電弱バリオジェネシスを考える。この模型では拡張されたヒッグスポテンシャルによって強い１次の電弱相転移を起こすことが可能であり、またCPを破る位相を湯川結合とヒッグスポテンシャルに含むため、電弱バリオン数生成によってバリオン数非対称性を説明できる可能性がある。我々は、CPを破る位相の負の相関によって電子の電気双極子モーメントの測定からの厳しい制限を避けることができるパラメータ領域に着目し、観測されたバリオン数を再現することが可能であるかを調べた。結果として、我々はバリオン数非対称性を説明することができるいくつかのベンチマークシナリオを発見した。これらのシナリオは将来の加速器実験、フレーバー実験、重力波観測実験などを用いて多角的に検証することが可能である。

次に、観測されたバリオンの非対称性に加えて、ニュートリノ質量の起源と暗黒物質の存在も同時に説明できるTeVスケールの新物理模型を議論する。この模型は、先に議論した模型の拡張となっており、新しく課したZ_2対称性において奇パリティを持った粒子を導入する。これらの新粒子の量子効果によってニュートリノのマヨラナ質量が生成される。また、Z_2対称性によって、奇パリティを持った最も軽い粒子が暗黒物質の候補となる。我々はこの模型が３つの問題を全て同時に説明することが可能であるか調べた。結果として、現在の実験的制限を回避しながら全ての問題を同時に説明できるベンチマークシナリオを発見した。このシナリオは将来の加速器実験、フレーバー実験、電気双極子モーメントの測定、暗黒物質の直接探索、レプトンフレーバーの破れの探索、重力波観測実験など様々な実験を用いて多角的に検証されることが期待される。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名	（　榎本　一輝　）	
論文審査担当者	（職）	氏　名
	主査　教授	兼村　晋哉
	副査　教授	大野木　哲也
	副査　准教授	佐藤　亮介
	副査　准教授	南條　創
	副査　助教	田中　実

論文審査の結果の要旨

博士論文「Theoretical studies on baryogenesis, neutrino mass, and dark matter in extended Higgs models」（拡張ヒッグス模型におけるバリオン数生成、ニュートリノ質量、暗黒物質に関する理論的研究）の論文審査結果の要旨は次のとおりである。

榎本一輝氏は、素粒子物理学と宇宙物理学における未解決の重要問題である「宇宙バリオン数生成問題」、「ニュートリノ質量問題」、「暗黒物質問題」を説明する新理論を研究し、以下に述べるように独創的で重要な成果を得た。

まず、現在の宇宙におけるバリオン数の残存量を説明するためには、素粒子の理論が、サハロフの３条件と呼ばれる条件を満たす必要があることが知られている。その条件の一つとして CP 対称性の破れが要請される。標準理論では CP の破れとして小林益川位相があるが、バリオン数生成には十分でない。榎本氏は標準理論を拡張してヒッグス場が２種類存在するという物理仮説を立て、この理論に現れる大きな CP の破れの複合効果が電気双極子モーメント(EDM)実験の最新結果の厳しい制限を満足し得るという先行研究の結果を応用し、さらにサハロフの 3 条件の他の２つを満足するためにスファレロン遷移によるバリオン数を変える相互作用と電弱相転移が強い一次相転移であることを要求し、この理論に基づいたバリオン数生成の理論計算を世界で初めて行った。そしてこれまでに加速器実験や EDM 実験で得られているデータを全て満足しつつ観測されたバリオン数が説明できることを示した。また、その物理仮説に基づく模型の理論予想を研究し、将来の加速器実験などで検証できることを明らかにした。この成果は欧州の科学雑誌 Journal of High Energy Physics から出版されている。

次に榎本氏は、この研究を拡張して、ニュートリノ微小質量が暗黒物質粒子の高次摂動効果で説明される物理模型に注目し、その理論のバリオン数生成を研究した。この模型は先行研究によって１３年前に提唱されていたが、当時は CP の破れの効果等は取り入れておらず、バリオン数については電弱相転移の条件のみ考慮されていた。榎本氏はこの理論が現在の実験データに抵触せず、棄却されていないことを確認した上で、宇宙バリオン数を説明できることを独自に示し、上記未解決３問題を説明する TeV 領域の物理理論の構築に成功した。本研究成果は現在学術論文として出版準備中である。

榎本氏の研究は、今後の電弱バリオン数生成の理論の構築に大きな波及効果を与える独創的な成果であり、博士（理学）の学位論文として十分価値のあるものと認める。