

学位論文 博士（理学）

ベクトル的世代を含む超対称模型における
フレーバー構造が及ぼす
ヒッグス質量と暗黒物質への寄与

2017 年度

慶應義塾大学大学院理工学研究科

西田 有延

主　論　文　要　旨

報告番号	Ⓐ 乙 第 号	氏 名	西田 有延
主論文題目 :			
ベクトル的世代を含む超対称模型における フレーバー構造が及ぼすヒッグス質量と暗黒物質への寄与			
(内容の要旨)			
2012年、欧州原子核機構の大型ハドロン衝突器実験においてヒッグス粒子が発見され、素粒子標準模型が予言した粒子が全て実験的に確認された。ヒッグス粒子は、電子や、陽子を構成するアップクォークやダウングォークに質量を与える、質量の起源を説明する粒子である。ここで、クォークと電子は、水素原子のような物質を構成する素粒子である。標準模型は、他にも多くの実験結果を説明することができるため、大きな成功を収めている模型といえる。			
しかしながら以下で述べるように、標準模型のみでは説明できない観測事実も数多く存在しているため、そのような事実の物理的起源を探ることは素粒子物理学に残された重要な研究の一つである。その中でも超対称性は新たな物理法則の有力候補とされている。超対称性はフェルミオンとボソンの間の対称性であり、新しい自由度を導入するため、暗黒物質の候補が現れる等、興味深い物理現象を提供することが知られている。			
素粒子物理学における最大の謎の一つに、クォークや電子等の素粒子には、量子数は同じだが、質量のみが異なるコピーが存在するといったものがある。このコピーの概念は世代とよばれており、現在のところ実験で観測されているクォークや電子のコピーは共に3世代目までである。なぜ3世代目の素粒子までしか確認されていないのかは未だ謎に包まれたままである。従って、4、5世代目（これらをベクトル的世代と呼ぶ）の存在の可能性を踏まえて世代数の物理的理由を追求することは、今後の素粒子物理学の発展を見据えた、意義のある研究であると思われる。			
本論文ではベクトル的世代を加えた超対称模型を新たに構築し、その中でヒッグス粒子の質量に対し、ベクトル的世代が重要な寄与を担っていることを見る。その時、模型構築において重要な指針となる2つの物理に注目する。ミュー粒子の磁気的性質（磁気能率）と、暗黒物質の残存量である。ミュー粒子の磁気的性質は、標準模型を用いた理論値と実験値のずれが報告されており、新たな物理が示唆されている物理量である。一方で暗黒物質は、現存する星々の形成、ひいては、我々人類の誕生のために必要不可欠な物質であることが知られているが、標準模型には候補が存在しない。			
本論文の議論で重要なのは世代間の質量を通じた状態の混合である。それは世代間の対称性によって支配されており、ヒッグス粒子の質量、ミュー粒子の磁気的性質、暗黒物質の残存量へ大きな寄与を出す。さらに、本模型での暗黒物質の候補は、ベクトル的世代に質量を与える機構と関連付いている。我々は、ヒッグス粒子の質量、ミュー粒子の磁気的性質、暗黒物質の熱的残存量を説明できるパラメータ領域では、ベクトル的世代の素粒子は観測にかられないということを明らかにした。従って、暗黒物質の存在が、素粒子の第3世代までしか実験で確認されていないことを支持していると言える。			

SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School Keio University	Student Identification Number	SURNAME, First name Nishida, Michinobu
Title Flavor Physics, Higgs Boson Mass and Dark Matter in Supersymmetric Model with Vector-like Generations		
Abstract <p>In 2012, the discovery of the Higgs boson at the Large Hadron Collider experiment showed the correctness of the Standard Model of particle physics. The Higgs field gives masses to elementary particles. They include quarks and electron, and constitute matter such as hydrogen atoms. The model has been very successful and describes physics of nature in low energy scales.</p> <p>On the other hand, there remain various phenomena unexplained within the Standard Model, so one of the most important tasks is to explore physical origins of them. To this end, an attractive solution is to introduce supersymmetry into the Standard Model. Supersymmetry is a symmetry between bosons and fermions, and predicts a candidate of dark matter because new degrees of freedom beyond the Standard Model are introduced as a consequence.</p> <p>One of the biggest issues is the origin of a “generation”. There are several types of quarks and leptons which have the same quantum number but different masses. Such a concept is called the “generation”. So far, three generations of quarks and leptons have been experimentally confirmed. However, there are no clear reasons why there are only three generations. Thus, it seems meaningful to explore a possibility of the existence above three generations for the development of elementary particle physics in the future. We focus on fourth and fifth generations and call them vector-like generations.</p> <p>In this thesis, we construct a new supersymmetric model with vector-like generations. In this model, the vector-like generations play important roles to explain the observed Higgs boson mass. Furthermore, we focus on two additional physics: the magnetic property of the muon (magnetic moment) and thermal relic abundance of dark matter. A possible discrepancy between the theoretical predictions and the experimental values of the magnetic property of the muon suggests new physics. Moreover, a candidate of dark matter, which is absent in the Standard Model, is necessary to form galaxies to lead to the emergence of human beings in the Universe.</p> <p>What is important in the discussion of this thesis is mixing states between different generations through masses of quarks and leptons. Those mixing states are governed by a symmetry between generations and give sizable contributions to the Higgs boson mass, the magnetic property of the muon and the dark matter abundance. Further, a candidate of dark matter is related to the origin of heavy masses for vector-like generations. We analyze the current relic abundance of dark matter. We find a parameter region where observables calculated in our model are consistent with the current experiments. Thus, our model would suggest that the presence of dark matter supports the existence of three generations in current experiments.</p>		