

研究の要旨

所属・職名 富山大学大学院理工学教育部 (博士課程)
新エネルギー科学専攻・3年
氏名 松井 俊憲

研究課題：ニュートリノ質量、暗黒物質、バリオン数非対称性を同時に説明する
ヒッグスインフレーションのシナリオとその検証方法に関する理論的研究

素粒子標準理論はゲージ原理と電弱対称性の自発的破れの二本柱から構成される。1980年代の相互作用を記述するゲージ粒子の発見と2012年の質量生成を担うヒッグス粒子の発見により、素粒子の振る舞いを記述する最も成功した理論として実証された。ヒッグス粒子は、現在確認されている唯一のスカラー粒子であり、ヒッグス機構により素粒子の質量起源を説明するために理論に導入されている。素粒子標準理論ではヒッグス粒子が1個だけの最小なヒッグスセクターが採用されているが、これを保証する原理はなく、ヒッグス粒子の役割や本質、ヒッグスセクターの構造に関しては未知である。

一方で、現在確立された素粒子標準理論の枠内では説明できない諸現象（ニュートリノ振動、暗黒物質の存在、宇宙最初期のインフレーション、宇宙の物質・反物質非対称性等）が確認されており、これら諸現象は新物理理論で説明されなければならない。

- ・ 素粒子標準理論ではニュートリノは質量がゼロであるが、ニュートリノ振動実験によって微少質量の存在が確認された。その質量の起源は、新たに右巻きニュートリノを導入することで説明できることがわかっている。
- ・ 一方で、素粒子標準理論の構成粒子では説明できない暗黒物質と呼ばれる正体が未知の物質の存在が確認されている。もし暗黒物質が素粒子であるなら、WIMPと呼ばれる電気的中性で弱く相互作用する安定な粒子で説明されることがわかっており、これも新粒子を導入した新物理学の枠組みで説明される必要がある。
- ・ さらに、現在確立した標準宇宙論では平坦性問題と地平線問題という不自然さを抱えている。これは未知の粒子インフラトンで説明される宇宙最初期のインフレーションの現象が起こっていたことを仮定すると解決できることが知られている。
- ・ また、現在我々の宇宙は物質優勢であるが、この宇宙の物質・反物質非対称性の起源を説明する理論は未だ確立されていない。これはサハロフが提唱した3つの必要条件を満たすことで理論的に説明することができ、いくつかのシナリオが提案されている。

新物理理論はヒッグス粒子を複数含む拡張されたヒッグスセクターで説明される可能性があり、そのような理論は加速器実験で検証できるテラスケールのエネルギー領域で説

明できる。ヒッグス物理と関係する上述の諸現象を同時に説明する新物理理論の研究を通して、電弱対称性の自発的破れの本質に迫ることができる。

本研究の目的は、ヒッグスの物理に着目し、拡張されたヒッグス理論のダイナミクスで、ニュートリノ質量の起源、暗黒物質の正体、宇宙最初期のインフレーション、宇宙の物質・反物質非対称性を説明する**新物理理論を構築し、検証可能性の研究を行うこと**である。

この目的を達成するために、ヒッグス物理が、素粒子標準理論を超えた新物理を示唆する現象と関係するという視点で、「ヒッグス粒子の役割」と「ヒッグス粒子の本質」、「ヒッグスセクターの構造」という3つの観点から研究を行った。

A. ヒッグス粒子の役割の研究

宇宙最初期にインフレーション現象を引き起こすために導入される新しいスカラー粒子「インフラトン」の役割を、同じスカラー粒子であるヒッグス粒子が担う可能性に注目し、ヒッグス粒子が電弱対称性の自発的破れとインフレーションの両方の役割を担っている可能性を研究した。本研究では、拡張されたヒッグスセクターの枠組みで、インフレーション、ニュートリノ微小質量、暗黒物質を同時に説明する理論を研究し、新粒子の質量スペクトルに特有の現象論的予言を見出す。

B. 電弱対称性の自発的破れの背後のダイナミクスの研究

電弱対称性の自発的破れの背後のダイナミクスの本質を理解するために、超対称性理論を研究する。超対称性の概念を導入したシナリオは、そのダイナミクスによってヒッグス粒子は根源的なスカラー粒子であることが動機づけられており、ヒッグス質量が二次発散することで知られる階層性問題を解決する理論の有力な候補となっている。本研究では、超対称性の最もシンプルな最小超対称標準理論(MSSM)を研究し、ヒッグス粒子の崩壊分岐比を数値計算によって求め、次世代加速器である国際リニアコライダー(ILC)でのMSSMの付加的ヒッグス粒子の間接的発見領域を示す。

C. 電弱相転移の物理で探るヒッグスセクターの構造の研究

ヒッグス粒子の存在が確認され、ゲージ相互作用と湯川相互作用の測定によって、素粒子標準理論で理論的に予言されていたヒッグス機構と質量生成機構が実験で検証された。しかし、電弱対称性の自発的破れを説明するヒッグスポテンシャルの詳細はまだ理解されておらず、ヒッグスセクターの構造は未知である。宇宙の物質・反物質非対称性を解決する電弱バリオン数生成のシナリオでは、電弱対称性の自発的破れでの強い一次相転移が要求され、素粒子標準理論を超えた新物理理論で説明されなければならない。このようなシナリオは、ヒッグス三点結合の素粒子標準理論からのズレが顕著となることが予言され、ILCでのヒッグス三点結合の測定で検証できることが知られている。さらに本研究では、加速器実験での検証に加えて、電弱相転移起源の重力波を観測することが、ヒッグスセクターの構造を探る新たな方法として期待できることを示す。