



Title	Theoretical studies on extended Higgs sectors towards future precision measurements
Author(s)	愛甲, 将司
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/87813
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (愛 甲 将 司)

論文題名

Theoretical studies on extended Higgs sectors towards future precision measurements
(将来精密測定に向けた拡張ヒッグスセクターの理論的研究)

論文内容の要旨

本論文では、拡張ヒッグス模型について、2012年に発見されたヒッグス粒子の物理、第二第三のヒッグス粒子の物理、およびヒッグスセクターの大局的対称性の三つの観点から理論的研究を行った。

2012年にヒッグス粒子が発見されたことで、素粒子の標準理論(SM)が一応の完成に至った。しかし、宇宙の物質・反物質の非対称性、暗黒物質、ニュートリノの微小質量など、SMでは説明できない諸現象が存在する。これらの問題を解決するために、SMは拡張されなければならない。

一方、ヒッグス粒子が発見されたにもかかわらず、その性質を決める理論のヒッグスセクターの全貌は未だ明らかになっていない。ヒッグスセクターの構造を決める原理は知られておらず、ヒッグス二重項場をひとつだけ導入したSMの単純なヒッグスセクターは暫定的な仮定にすぎない。加えて、SMでは説明できない諸現象を解決する新物理の理論模型では、拡張されたヒッグスセクターがしばしば導入される。将来実験によって、ヒッグスセクターを詳細に検証し、その構造を決定することで、新物理の方向性を決定することができる。

発見されたヒッグス粒子は新物理解明の鍵であり、その詳細な研究は、現在および将来の高エネルギー物理における重要なテーマの一つである。日本で計画されている国際線形加速器(ILC)をはじめとする将来の電子陽電子加速器では、中性の弱ゲージボソンを伴うヒッグス粒子の生成過程の散乱断面積を数パーセントの精度で測ることができる。本研究では様々な拡張ヒッグス模型において、このヒッグス生成過程を、高次補正を取り入れて系統的に解析した。その結果、SMの予言からのずれのパターンを解析することで、様々な拡張ヒッグス模型を識別できることを明らかにした。

第二第三のヒッグス粒子の直接探索は、拡張ヒッグスセクターを検証する有力な手段であり、現在の大型ハドロン衝突型加速器(LHC) 実験および高輝度アップグレード(HL-LHC)における重要なテーマの一つである。本研究では、これらの新しいヒッグス粒子の直接探索と、発見されたヒッグス粒子の精密測定による間接的検証が相補的な役割を果たすことを示した。発見されたヒッグス粒子の結合がSMの予言からずれている場合、新しいヒッグス粒子が発見されたヒッグス粒子へと崩壊する過程は、HL-LHCにおける直接探索で非常に有用である。一方で、ILCにおいて、発見されたヒッグス粒子の結合にずれが測定されれば、理論のユニタリー性などに基づいて、新しいヒッグス粒子の質量スケールに上限が与えられる。直接探索と間接探索は相補的であり、その相乗効果により拡張ヒッグス模型を幅広く検証することができる。また、発見されたヒッグス粒子の結合におけるずれの大きさに応じて、新しいヒッグス粒子の崩壊パターンが大きく変化することに着目し、新しいヒッグス粒子を直接探索する上で高次補正を含めることが重要であることを本研究で示した。

ヒッグスセクターの構造は、これまでの様々な実験データと関連している。本研究では、現在の実験データを高エネルギースケールにおけるヒッグスポテンシャルの対局的対称性の帰結として説明できる新しいシナリオを構築した。このシナリオでは、新しいヒッグス粒子の質量スペクトルと発見されたヒッグス粒子の結合定数に特徴的な予測があり、これらの理論的予言はHL-LHCやILCなどの将来実験によって検証できる。

本研究の成果は、将来実験による拡張ヒッグス模型の多角的な検証を可能にし、ヒッグスセクターの構造決定から新物理の方向性を絞り込むことに貢献するものである。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (愛甲 将司)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教授 兼村 晋哉
	副 査	教授 大野木 哲也
	副 査	教授 青木 正治
	副 査	准教授 山口 哲
	副 査	助教 柳生 慶

論文審査の結果の要旨

博士論文「Theoretical studies on extended Higgs sectors towards future precision measurements」(将来精密測定に向けた拡張ヒッグスセクターの理論的研究)の論文審査結果の要旨は次のとおりである。

愛甲将司氏は、将来加速器実験でのヒッグス粒子の生成・崩壊過程の精密測定を見据え、様々な拡張されたヒッグスモデルにおけるヒッグス粒子の高精度計算を系統的に実施した。電弱対称性の自発的破れの機構を解明することから、素粒子標準理論を超える新物理の方向性を明らかにするための理論的研究を多数行い、以下に述べる独創的で重要な成果を得た。成果はすでに複数の学術論文として出版されている。

ヒッグス粒子は 2012 年に発見され、他の素粒子との結合定数が概ね標準理論の予想と一致していることが確認されている。しかし標準理論で仮定されているヒッグスセクターは理論的根拠に乏しく、真のヒッグスセクターについては様々な可能性が残されている。特に標準理論が抱えている階層性問題や、標準理論を超える諸現象として知られる暗黒物質、宇宙バリオン数生成問題、ニュートリノ微小質量問題は、新理論の枠組みの必要性を強く示唆しており、その場合標準理論の脆弱部分であるヒッグスセクターに兆候が現れると期待される。将来精密測定に向けて標準理論からのずれが検出される可能性を探求することは極めて重要である。

愛甲氏は一連の拡張ヒッグスモデルのくりこみ理論を整備し、これらのモデルに関してヒッグス粒子の生成崩壊現象に対する量子補正を系統的に研究した。特に計画中の電子陽電子線形加速器(ILC)でヒッグス粒子(h)が Z ボソンを随伴して生成される過程の高次摂動計算を実施し、ヒッグス粒子の各種崩壊分岐比に対する高精度計算と併せて、ヒッグス粒子の崩壊モードごとに新物理効果による標準理論予想からのずれを世界で初めて研究した。また拡張ヒッグスモデルで予言される荷電ヒッグス粒子(H[±])や CP 奇量子数を持つヒッグス粒子 (A) 等の新種粒子の崩壊現象について独自の計算スキームで量子補正を包括的に計算した。さらに将来の高輝度 LHC における H[±]や A の直接探索実験と、計画中の ILC における h の精密測定を通じた間接検証実験による相乗効果を研究し、ヒッグスセクターと新物理の探求に向けた重要な理論的成果を得た。