

別紙 4

報告番 -	※ 甲 第 号
----------	---------

主 論 文 の 要 旨

論文題目 Search for the dimuon decay of the Higgs boson in 139 fb⁻¹ of pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS detector

(ATLAS 実験における重心系エネルギー 13 TeV の陽子陽子衝突データ 139 fb⁻¹ を用いた μ 粒子対に崩壊するヒッグス粒子の探索)

氏 名 川 口 智 美

論 文 内 容 の 要 旨

素粒子標準模型は現在までの観測事実をよく記述しているが、実験的には未だ確認されていない現象がある。その中でも、2012年に発見されたヒッグス粒子の現象には未観測のものが多く残されている。その一つは、物質を構成する3世代のフェルミオンがヒッグス場との湯川相互作用を通して結合の強さに比例した質量を獲得することである。標準模型では不自然なことに、唯一のヒッグス粒子により、511 keVの電子から172 GeVのトップクォークまで6桁の質量の違いを説明し、世代を区別している。この不自然さを解明し、フェルミオンの質量起源と世代構造の謎に迫るために、全世代のフェルミオンとの湯川結合を測定することが非常に重要である。これまでに第3世代のフェルミオンとの湯川結合は観測されているが、第1世代と第2世代のフェルミオンとの湯川結合は観測されていない。

本論文では、ヒッグス粒子が2つの μ 粒子に崩壊する $H \rightarrow \mu\mu$ 過程の探索について述べる。この崩壊は第2世代のフェルミオンである μ 粒子との湯川結合を含む。また、 μ 粒子の再構成は実験的に容易であるため、第2世代のフェルミオンとの湯川結合探索における最重要ターゲットである。一方で、他の第2世代フェルミオン (c, s) に比べて崩壊率が0.02%と小さく、 $H \rightarrow \mu\mu$ 過程をドレル・ヤン事象由来の膨大な背景事象の中から探索しなければならないことが探索を困難にしている。LHCで2015年から2016年に取得した重心系エネルギー13 TeVのデータ36.1 fb⁻¹を用いた先行研究では、この過程の有意な観測に至っていない。

本研究では、LHCで2015年から2018年に取得した重心系エネルギー13 TeVのデータ

139 fb⁻¹を用いて $H \rightarrow \mu\mu$ 過程の探索を行った。この解析では、 μ 粒子対の不変質量を再構成し、膨大な背景事象の中からヒッグス粒子の質量 125 GeV 付近のピークを探索する。よって、探索感度の向上のためには μ 粒子対の不変質量分解能の向上と背景事象の削減が非常に重要である。不変質量分解能を向上させるために、私は μ 粒子が光子を放射する事象に着目し、終状態放射由来と思われる光子を選別する手法を開発した。得られた光子を不変質量計算に加味することで、不変質量分解能が 2.8%向上し、不変質量 120 GeV から 130 GeV の領域における信号事象の数が 1.4%増加した。また、背景事象を削減するために、ヒッグス粒子生成時に付随するジェットやレプトンの数、運動学的情報を用いた機械学習を使用して、ヒッグス粒子生成事象を 20 個のカテゴリーに分類した。これによって、 $H \rightarrow \mu\mu$ 過程の探索感度が約 20%向上した。また、信号事象数を大きなバイアスなく抽出するために、ドレル・ヤン過程の解析的な分布を基礎とする関数を用いたフィットによって背景事象数を導出した。

本解析の結果、 $H \rightarrow \mu\mu$ 崩壊の兆候を 2σ の統計的有意度で得た。また、標準模型で期待される信号数に対する信号数の測定値（結合強度） 1.2 ± 0.6 を得た。この値は、標準模型と無矛盾であった。これらの結果は、LHC を使用した他の実験の一つである CMS 実験とも無矛盾であり、ヒッグス粒子と μ 粒子の結合強度が第 3 世代フェルミオンの結合強度よりもはるかに小さいことを示唆している。さらに、第 2 世代フェルミオンの質量起源がヒッグス機構の不自然さから生じているようだということを初めて示す結果である。これは、フェルミオンの質量起源と世代構造の謎を解明する上で重要な要素を提供する。

現状、結合強度の測定は統計誤差が支配的である。今後計画されている高輝度 LHC 実験では、さらなるデータ取得によって、第 2 世代フェルミオンの湯川結合は 5σ を超える有意度で検証されることが期待される。だが、高輝度 LHC 実験は、より高いパイルアップ環境下で実験を行うため、データ取得や物理解析が困難になると予想される。そこで、高いパイルアップ環境下においても効率よく高横運動量の μ 粒子を含む事象を瞬時に選別できる μ 粒子飛跡トリガーアルゴリズムを開発した。さらに、この研究において確立した終状態光子の再構成手法は、より高いパイルアップ環境下での将来の実験に役立つと考えられる。