

| | |
|---------|---------------|
| 氏名 | 萩原 睦人 |
| 学位の種類 | 博士 (理学) |
| 学位記番号 | 博 甲 第 8459 号 |
| 学位授与年月日 | 平成 30年 3月 23日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第1項該当 |
| 審査研究科 | 数理物質科学研究科 |
| 学位論文題目 | |

Search for charged Higgs bosons decaying into top and bottom quarks in pp collisions at 13 TeV with the ATLAS detector

(重心系エネルギー13TeV の陽子陽子衝突における ATLAS 検出器を用いた tb に崩壊する荷電ヒッグス粒子の探索)

| | | | |
|----|---------|--------|-------|
| 主査 | 筑波大学准教授 | 理学博士 | 原 和彦 |
| 副査 | 筑波大学教授 | 博士(理学) | 受川 史彦 |
| 副査 | 筑波大学教授 | 理学博士 | 三明 康郎 |
| 副査 | 筑波大学准教授 | 博士(理学) | 武内 勇司 |
| 副査 | 筑波大学講師 | 博士(理学) | 佐藤 構二 |

論 文 の 要 旨

本論文は、CERN 研究所 LHC 加速器において、2015 年から 2016 年にわたり ATLAS 実験装置で収集した 36.1/fb の 13TeV 陽子陽子衝突データを用いて、未発見の素粒子である荷電ヒッグス粒子を探索するものである。荷電ヒッグス粒子は、階層性問題を解決するために提案された超対称性理論など標準模型を超える物理の枠組みで提唱されている粒子であり、ヒッグス2重項を2つ要求する最もシンプルな標準模型拡張理論で現れるものである。本論文は、荷電ヒッグス粒子が、トップ・ボトムクォーク(tb)対に崩壊するモードに着目して探索している。終状態には荷電レプトンを1つとジェットを6つ含み、この内ボトムクォーク由来のジェットは4つである。最も大きな背景事象はボトムクォーク発生を伴うトップクォーク対の生成であり、この終状態の粒子は、荷電ヒッグスの tb 崩壊のチャンネルと全く同一になる。そのため、本論文の解析では信号事象を有効に選別し背景事象を有効に除去する必要があるとされている。荷電ヒッグスとトップクォーク対発生の2つのプロセスの運動学的違いを明らかにして信号と背景事象を最も有効に区別するため、ジェットの最大横向き運動量、最も近接したボトムクォークジェット対の不変質量など 13 の物理測定量を用いた機械学習アルゴリズム BDT(boosted decision tree)をこの解析では駆使している。特に荷電ヒッグスの再構成質量に着目した変数を新たに導入することにより、300GeV までの荷電ヒッグス低質量領域での信号感度を向上させている。得られた BDT 出力に対して尤度関数法をもちいて系統誤差を

見積もり、標準模型から予想される背景事象数とデータ数とを比較することで、荷電ヒッグス粒子の生成事象数を評価している。評価の結果、荷電ヒッグス粒子による有意な生成数の超過は確認できず、従って、荷電ヒッグス粒子の生成断面積の上限を設定している。200GeV から2TeV の質量領域において、生成断面積の上限値を95%信頼度で2.9pb から0.04pb と測定している。これは8TeV での衝突データを用いて ATLAS が公表した従来の測定を大きく更新する新しい結果とみなすことができる。またこの結果に基づき、超対称性模型の $\tan\beta - m(H^\pm)$ パラメータ領域に新たな制限を加えている。

審 査 の 要 旨

[批評]

審査は予め論文原稿を受け取り、2月9日の1時間の公开发表および、それに引き続いての1時間半の最終試験を通して行った。荷電ヒッグスの探索は、標準模型を超える新たな物理の枠組みを実験的に探るための鍵ともいえる極めて重要な研究テーマのひとつである。世界最高エネルギーで稼働する LHC 加速器で最も有効な探索が可能な実験とみなせるため、ATLAS 実験として遂行すべき重要な研究テーマである。本論文は荷電ヒッグスが tb に崩壊するモードの内、1つのレプトンと6つのジェットを終状態に含むチャンネルについて丁寧に解析している。ATLAS は8TeV での衝突データを用いて 200GeV から600GeV の質量領域での探索結果を2016年に公表している。本論文は ATLAS が2016年までに収集した 36.1/fb の13TeV での陽子陽子衝突データを解析し、荷電ヒッグスが tb に崩壊するモードの内、2つのレプトンに崩壊するチャンネルの結果と統合することで、従来の荷電ヒッグス生成断面積の上限値を200GeV から2TeV のより広い質量領域で大きく更新することに成功している。ATLAS グループはすでに13TeV の衝突データの一部 14.7/fb を用い、本論文と同質量範囲での解析結果を公表しているが、その解析にも萩原氏は深く貢献しているので、今回の成果は 14.7/fb での成果に加え、統計量を増やした最新結果であることから解析結果の重要性は遜色ないものであり、この研究業績は高く評価できる。現在、学術論文として公表するために ATLAS グループ内で研究結果の最終調整中であり、研究内容に関しての問題点はすべて解決され、出版予定についても順調であると推定できる。

博士論文の体裁について審査員からいくつかの指摘が示された。

- (1) 序論で紹介された超対称性モデル等と研究結果とを比較する考察の部分に関して追記が必要と判断した。具体的には、すでに比較のための図表は用意済みであるので、主として説明のための文章の追加を要求する。
- (2) 機械学習 BDT の信頼性に関する記述に関して丁寧さが十分でない。これは予備審査の段階で指摘され、提出された博士論文には付録として BDT に用いた物理測定量の標準模型モンテカルロ予想分布が示されている。しかしこれらの分布を、特に荷電ヒッグス粒子を含まないが物理量分布として近似比較できるコントロール領域において、測定データを加え標準模型分布と比較することで、BDT に用いた物理量がどの程度正確に理解できているかの検証が可能になる。この指摘に対する論文改訂は必須とは判断されなかった。

博士論文提出期限の2月22日までに(1)の指摘に対する改訂は十分に間に合うことが確認された。

〔最終試験結果〕

平成30年 2月9日、数理物質科学研究科学学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

〔結論〕

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(理学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。