

氏 名 山田 美帆

学位(専攻分野) 博士(理学)

学位記番号 総研大甲第 1593 号

学位授与の日付 平成25年3月22日

学位授与の要件 高エネルギー加速器科学研究科 素粒子原子核専攻
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 Measurement of differential cross sections for top quark pair
production in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS
detector

論文審査委員 主 査 講師 神前 純一
教授 海野 義信
教授 徳宿 克夫
教授 野尻 美保子
准教授 藤井 恵介
教授 横山 将志 東京大学

Measurement of differential cross sections for top quark pair production in proton-proton collisions at a center of mass energy of 7 TeV at the Large Hadron Collider (LHC) is studied in the full data sample with the integrated luminosity of 4.7 fb^{-1} accumulated by the ATLAS detector in 2011. Cross sections are measured as a function of the invariant mass and the rapidity of the system of top and anti-top ($t\bar{t}$) pair. Events of top quark pair productions with a single lepton (electron or muon) final state are used in this analysis. The main purpose of the study is the verification of the Standard Model theory by a precise measurement of the production cross section of the heaviest fermion pair in the high center of mass energy collision at the LHC. New physics beyond the Standard Model can also be explored by this study. In some models for new physics, couplings to the third generation fermions are enhanced. These include Kaluza-Klein excitations of graviton, the weak and the strong gauge bosons which couple to top quarks. Such particles can appear as resonances of top and anti-top pair and not in other channels like di-jets or di-leptons due to their small couplings to light fermions. These resonances can be seen as a deviation of measured cross sections as a function of the invariant mass of the top and anti-top from the estimation of the Standard Model. We estimate the signal strength and find that the new physics signal produced with the electro-weak coupling is rather small in our analysis but that with the strong coupling might be feasible. Since precise theoretical calculations in approximate NNLO order of the Standard Model for production cross sections of top quarks are available, it is possible to compare measured cross sections with these calculations to check the consistency of the Standard Model and to observe possible evidence of new physics.

Differential cross section as a function of the mass of the $t\bar{t}$ system has already been measured by experiments at Tevatron at Fermilab, and no evidence of new physics was observed. Since the LHC can provide the highest center of mass energy of collisions and also very high luminosities, the precise measurement of top quark production cross sections and the searches for new physics up to higher mass region become possible.

The semi-leptonic decay channel of W bosons from top quark decays in the final state is used in this study. This channel has a large branching fraction of about 30% with lepton flavors of electron and muon, and good trigger efficiency due to the isolated lepton. In this decay channel, one W boson decays into a charged lepton and a neutrino, and therefore, one isolated high transverse momentum charged lepton and a large missing transverse energy can be observed in the final state. That leptonically decaying W boson can be reconstructed from observed isolated lepton and missing transverse energy without any combinatorial backgrounds. On the other hand, another W boson that decays into a pair of quarks is suffered from additional QCD jet productions in the final states. Furthermore, since we require only one tagged b-jet in the final state, possible fake b-jets

from light quarks can also become a source of background for the reconstruction of hadronically decaying W boson.

Backgrounds from other physics sources are estimated with various methods. Major background sources are W boson production with additional jet productions, QCD multi-jet events with fake leptons and top productions of other categories. In order to avoid uncertainties in the QCD multi-jet productions, backgrounds from the W boson productions and fake lepton events are estimated from real data by using background enriched control samples. Other backgrounds from other top productions and Z boson and di-boson productions are estimated based on the simulated events.

The full reconstruction of the $\bar{t}t$ system is based on a likelihood approach fitting with an emphasis on the non-Gaussian description of the energy resolution of the observed objects (lepton, jets and missing transverse energy) in the final state. Also the Breit-Wigner invariant mass distributions of reconstructed top and W bosons are taken into account in the likelihood fitting of the reconstruction. Due to limited detector resolutions and their imperfect acceptance, physical quantities are usually observed as smeared distributions. Their true distributions are obtained by an “Unfolding Method” that corrects for the detector effects based on the estimation from fully simulated events. During the Unfolding procedure statistical fluctuation of data and relative systematic effects from some sources are also taken into account by repeating pseudo-experiments based on the observed statistics. Thus, from the observed distributions differential cross sections in terms of production variables are obtained.

We find that measured cross sections based on the full data sample of the integrated luminosity of 4.7 fb^{-1} accumulated in 2011 are consistent with the expectation of the Standard Model and no evidence of new physics is observed in this study.

博士論文の審査結果の要旨

山田美帆氏の博士論文は、欧州原子核研究機構（CERN）のLHC加速器で行われている国際共同実験であるATLASグループで行ったトップクォーク対の生成断面積の測定に関する研究についてまとめられたものである。

この研究論文には2011年にLHC加速器で行われた衝突エネルギー7TeVでの陽子-陽子衝突実験でATLAS測定器により採取された 4.7fb^{-1} の蓄積ルミノシティに相当する実験データに基づいて行われたトップクォーク対の生成断面積の測定について書かれている。この実験は、稼働中の加速器では最高の衝突エネルギーで行われたものであり、過去に行われた米国・フェルミ研究所のTevatron加速器での2TeVの衝突エネルギーの陽子-反陽子衝突実験でのトップクォーク対の生成断面積の測定と比較し、高い衝突エネルギーでの実験であり、また標準模型によれば約20倍の生成断面積が期待されると共に、LHC加速器の高ルミノシティの衝突性能のため高統計での測定が期待される。そのため本研究結果は、最高エネルギーで測定されたトップクォーク対の生成断面積の標準模型による予測との比較、またトップクォークに強く結合する可能性のある新しい物理のより広い質量範囲での探索などにおいて重要である。この研究には、実データからのシグナル事象の選択条件、終状態に対しトップクォーク対の生成の過程を想定した likelihood のフィッティングでのトップクォーク対の生成の運動学的状態の再構成、実験結果として得られたトップクォーク対の不変質量とラピディティの分布から unfolding の方法を用いて衝突による生成時の分布を推定する方法、これらの結果に対する系統誤差の推定、得られた分布と標準模型に基づく計算との比較、などの内容について記述されている。そのうち、実データからのシグナル事象の選択条件に終状態の運動学的状態に関するフィッティングを行った際の likelihood の値に関する条件を加えることによりシグナル事象の純度の高い選択が可能であること、また新たな unfolding の方法を採用することにより小統計のデータによらない安定した数値計算結果が得られること、等が本研究で新たに取り入れられた手法であり、その効果としてより信頼度の高い結果が得られる事が認められる。さらに得られた断面積の測定結果が、標準模型に基づく NLO 及び近似的な NNLO の計算と、系統誤差を含めた範囲で合致していることが示され、新しい物理の探索については、採用した実データの統計の範囲ではその徴候が見られないと結論されている。

本研究の結果は、2011年の7TeVデータの解析結果として、ATLASグループによる出版のための作業が進行中であり、2013年夏までに出版される予定である。また日本物理学会の2012年3月「第67回年次大会（関西学院大）」、同じく9月「秋季大会（京都産業大学）」の一般講演において研究結果が山田氏により発表され、2013年3月「第68回年次大会（広島大学）」での発表も予定されている。

以上の結果から判断し、博士の学位論文としてふさわしいものであると認め、合格と評価した。