

氏 名 鈴木 翔太

学位(専攻分野) 博士(理学)

学位記番号 総研大甲第 1990 号

学位授与の日付 平成 30 年 3 月 23 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 A search for top-antitop resonances in all hadronic mode
using proton-proton collisions at a center-of-mass energy of
13 TeV with the ATLAS detector

論文審査委員 主 査 助教 青木 雅人
教授 佐々木 修
教授 野尻 美保子
教授 花垣 和則
教授 藤井 恵介
准教授 長野 邦浩
准教授 三部 勉
講師 尾高 茂

Summary (Abstract) of doctoral thesis contents

Top quark is the heaviest elementary particle in the Standard Model (SM), and it doesn't form hadrons like other light quarks because its lifetime, roughly 5×10^{-25} seconds, is about a twentieth of the timescale for strong interactions. Therefore, produced top quark immediately decays to a W boson and a bottom quark. However, many new physics models beyond the SM (BSM) predict heavy resonant states of top quark pair, such as spin-1 color singlet vector boson Z' in the topcolor-assisted technicolor model (Z'_{TC}), spin-2 bulk Randall-Sundrum Kaluza-Klein graviton in the Randall-Sundrum model (G_{KK}), spin-1 Kaluza-Klein gluon in the Kaluza-Klein theories (g_{KK}).

This thesis documents a search for heavy resonances decaying to top quark pair in fully-hadronic final state from 36.1 fb^{-1} of proton-proton collision events recorded with the ATLAS detector at the Large Hadron Collider (LHC) running at a center-of-mass energy of 13 TeV.

Use of the fully-hadronic final state in decays of top quark pair has an advantage of its highest branching ratio of $\sim 45\%$. There is another advantage with the resolution of the reconstructed top quark mass because this mode doesn't involve missing neutrinos from W boson decays. While having these advantages the fully-hadronic final state is a challenging mode because of huge production cross section of QCD multijet background events. However, the production cross section of the QCD multijet background steeply drops at higher di-top mass, m_{tt} , region while the ones for possible BSM particles could gradually drop. Therefore, the fully-hadronic final state is suitable for searching for new particles at very high m_{tt} region. Top quark from such high mass resonances is highly boosted and can be reconstructed as a single large-radius jet.

In this analysis, searching for heavy resonance states beyond $m_{tt}=3 \text{ TeV}$ is focused. Top quarks are reconstructed as a large-radius jet having at least 400 GeV transverse momentum. Top quarks are identified using the reconstructed jet mass, m_{jet} , and the jet substructure variable, τ_{32} , which denotes a probability ratio of three prong-like jets compared to two prong-like jets. A top quark jet should contain one bottom quark jet, and two light quark jets from W boson decays, therefore, the τ_{32} variable tends to be three prong-like. Bottom quark inside the large-radius jet is identified by requiring at least one track-jet with displaced vertices from the interaction point.

In order to maximize the signal acceptance several event categories based on m_{jet} , τ_{32} , the number of tagged bottom quarks are defined, and then a statistical combination is performed to extract the final significance of observed events from the expected background events and set limits on production cross section times branching ratio to top quark pair for possible BSM particles.

(別紙様式 2)
(Separate Form 2)

Dominant backgrounds in this search are SM top quark pair events and QCD multijet events. Background events of the SM top quark pair are estimated using Monte Carlo (MC) simulation. Background events of the QCD multijet are estimated from data with help of simulated events. The distribution of m_{tt} for the QCD multijet background is extracted from events where no bottom quarks are identified, and the normalization is determined by a ratio of the number of events in m_{jet} sideband region between events with identifying no bottom quarks and with identifying one or two bottom quarks. A tiny bias by the bottom quark identification is observed in the m_{tt} distributions and is corrected with help of simulated events.

There are two categories of systematics, one is experimental uncertainties associated with the detector response and reconstruction algorithm, and the other is uncertainties on the background modeling. The experimental uncertainties are better measured from large statistics of data, therefore, the uncertainties on the background modeling are pre-dominant in this analysis. Systematic uncertainties on modeling of the SM top quark pair are estimated by comparing alternative simulated events such as different event generator, different parton shower model, different radiation model, and different PDF model. Systematic uncertainties on modeling of the QCD multijet background are estimated from both data and simulated events. Uncertainty on normalization of the QCD multijet background is estimated by checking consistency between several definitions of control regions. Uncertainty on the m_{tt} shape of the QCD multijet background is coming from stability of the m_{tt} shape after the event selection, and the understanding of performance of the bottom quark identification which can bias the m_{tt} shape. Before looking at events in the signal region, the background modeling and corresponding systematic uncertainties are checked using the validation region where events are loosely tagged as top quark pairs, and reasonable agreements between the predictions and data are observed.

The expected limits on the production cross section times branching ratio to top quark pair in the signal region are calculated with respect to several benchmark BSM models such as Z'_{TC} , G_{KK} , and g_{KK} , as mentioned earlier. Extracted expected limits in this analysis are comparable with the ones from analyses using 1-lepton final state that could exclude Z'_{TC} below $m_{Z'_{TC}}=3$ TeV.

Summary of the results of the doctoral thesis screening

スイス・ジュネーブにある CERN 研究所の加速器 LHC では高エネルギーに加速した陽子ビームを正面衝突させることによって、ビッグバン宇宙に限りなく近い状態を再現し、そこに設置されている ATLAS 検出器では、その陽子衝突で生成される事象から、標準理論を超える新しい物理現象の探索を行っている。LHC で生成される粒子のうち、標準理論で予言される素粒子の中で最も重いトップクォークは、標準理論を超えた様々な理論の中で重要な役割が期待されている。現在、世界でトップクォークを生成できる装置は LHC のみであり、トップクォークを使った新物理探索は LHC のみのユニークなものである。

鈴木氏は、LHC で生成されるトップクォーク対に興味を持ち、標準理論を超える新しい粒子がトップクォーク対に崩壊する可能性がある事から、トップクォーク対の共鳴状態の探索を行っている。トップクォークは寿命が短く、ハドロン化する前に W ボソンとボトムクォークに崩壊する。トップクォークの対を再構成するためには、ひとつの衝突事象から W ボソン 2 つとボトムクォークを 2 つ再構成する必要がある。トップクォーク対の再構成は、2 つある W ボソンが崩壊した後のレプトンの数が 0 か 1 か 2 かという三種類で大別する。レプトンの数が多いほど高い純度でトップクォーク対を再構成できるが、小さい崩壊分岐比のため統計的なデメリットが有る。検出が難しいニュートリノの存在も解析を難しくする。レプトンが無い終状態の場合はそれらのデメリットが無いが、膨大な背景事象が問題となる。このため、これまで他の先行研究では、それらデメリットが少ない 1 レプトンのモードがよく使われてきた。鈴木氏は、まずこれらの前提に注目し、0 レプトンのモードで背景事象が多いという前提は TeV スケール新粒子の探索領域ではもはや成り立たず、新物理探索において最も感度を持つ可能性があるとし、このモードを使っての新粒子探索を行うことにした。0 レプトンモードの背景事象として、標準理論のトップクォーク対と、軽いクォークがトップクォーク対として間違っ再構成されてしまうマルチジェット事象を考えた。標準理論のトップクォーク対背景事象はモンテカルロシミュレーションで見積もり、マルチジェット背景事象についてはデータを使って見積もった。それぞれ、モデルの不定制の系統誤差も丁寧に見積もった。0 レプトンモードの利点である崩壊分岐比を最大限利用するため、データを信号への感度ごとにカテゴリー分けし、それらを統計的手法によりコンバインすることにより、目標とする最高の感度を達成した。

鈴木氏は、博士論文のテーマとは別に、トップクォーク対の生成微分断面積の測定も 1 レプトンモードで行っており、その結果は査読付きの国際雑誌論文で掲載された (Eur. Phys. J. C76 (2016) 538)。物理解析以外にも ATLAS のミュオントリガー検出器の運転に携わり、エキスパートの一人としてオンコールシフトや検出器のメンテナンスを行った。また、将来のアップグレード計画にも携わり、エレクトロニクス開発に大きな貢献した。これら ATLAS での貢献が認められ、2017 年にハンガリーで開催された国際会議 QCD@LHC の講演者に ATLAS 実験からの代表の一人として選ばれ、トップクォーク生成に関する研究結果について口頭発表も行なっている。日本物理学会では、検出器関係で 2 回、物理解析関係で 4 回の口頭発表をした。

(別紙様式 3)

(Separate Form 3)

以上より、鈴木氏は研究者としての素質も十分であり、博士論文のテーマである研究も学位論文としてふさわしいものであると認め、合格とした。