

| | |
|--------------|---|
| Title | Measurement of the top quark pair production cross section with $\sqrt{s} = 7$ TeV of pp collisions at LHC with b-tagging in the dilepton final state with the ATLAS detector |
| Author(s) | Hirose, Minoru |
| Citation | |
| Issue Date | |
| Text Version | ETD |
| URL | https://doi.org/10.18910/26158 |
| DOI | 10.18910/26158 |
| rights | |
| Note | |

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

論文内容の要旨

[題 名] Measurement of the top quark pair production cross section with $\sqrt{s} = 7$ TeV of pp collisions at LHC with b-tagging in the dilepton final state with the ATLAS detector (LHC-ATLAS 実験における dilepton 終状態及び b-tagging を用いた重心系エネルギー 7 TeV の陽子-陽子衝突におけるトップクォーク対生成断面積の測定)

学位申請者 廣瀬 稔

- 研究背景・目的

トップクォークは現在知られている最も重い素粒子である。他のクォークと比較して、次に重いボトムクォークより約 40 倍、一番軽いアップクォークより約 10 万倍も重い質量を持つ。他のクォークより飛び抜けて重いという性質から、トップクォークは素粒子物理学において様々な点で重要な役割を果たす。具体的な例として、トップクォークは素粒子理論の計算において重要な輻射補正に対し非常に大きな寄与を生む。また、トップクォークは、他のクォークよりも生成および崩壊過程に新しい物理の寄与が入りやすいと考えられているためよい実験的プローブとなる。よって、トップクォークの性質を出来る限り精密に測定し、理解する事は素粒子物理の発展のために必要不可欠である。この論文ではトップクォークの最も基本的な性質の一つである対生成断面積 ($\sigma_{t\bar{t}}$) の測定について述べる。測定は LHC-ATLAS 実験において重心系エネルギー 7 TeV の陽子-陽子衝突データを用いて行った。

- 測定原理

測定はトップクォーク対生成事象のうち、トップクォークの崩壊物である 2 つの W ボソンがどちらもレプトンに崩壊したダイレプトン ($t\bar{t} \rightarrow l\nu b l \nu b$) の終状態を用いた。この終状態は 2 つの荷電レプトン、ニュートリノによる大きな横方向消失運動量、2 つのボトムクォークジェットを含む。同様の終状態を持つ他の物理過程は素粒子標準理論の中では非常に稀であり、高い信号対背景事象比を期待出来る。この測定では背景事象による精度の悪化を抑えるため、ボトムクォーク同定を行う事により更に信号事象の割合を高めた。最終的に、事象選別により集めた $t\bar{t}$ 候補の事象の数 (N_{obs})、その中に含まれる背景事象の数 (N_{BG})、トップクォーク対事象の選別効率 (A)、積分ルミノシティ (\mathcal{L}) を用いて、 $\sigma_{t\bar{t}} = (N_{\text{obs}} - N_{\text{BG}})/A \cdot \mathcal{L}$ の関係から生成断面積を求める。

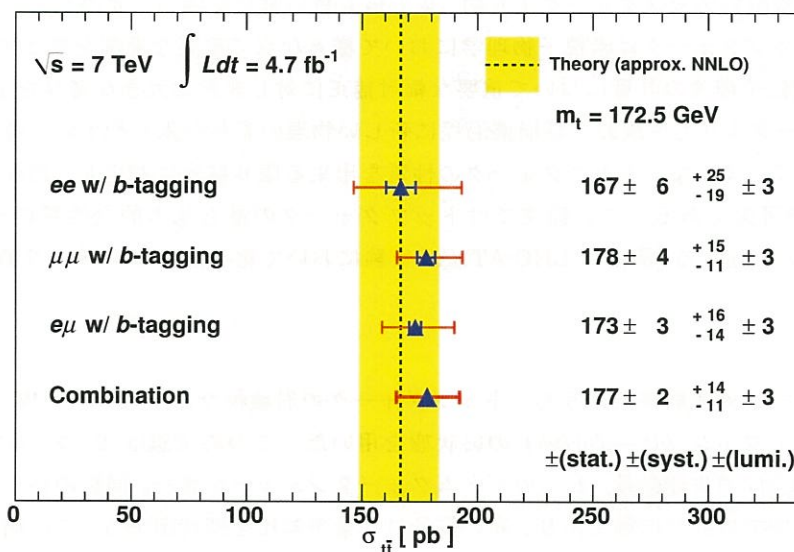
- 生成断面積測定

本測定は 2011 年に取得された全データである 4.7 fb^{-1} の統計量を用いた。このデータ量では統計誤差は無視出来るほど小さくなり、断面積の測定精度は系統誤差によって決まる。前節で述べたようにこの測定では高い信号対背景事象比が期待されているため、背景事象数の推定の不定性が断面積測定の精度に与える影響は小さい。また、積分ルミノシティは十分高い精度で測られているため、測定精度に対する影響は小さい。よって、トップクォーク対事象の選別効率の推定に対する不定性が主な系統誤差に寄与すると予想される。本測定では、この推定に対し大きな不定性を生むと考えられるボトムクォーク同定の効率測定に新しい方法を用い、選別効率推定の不定性を減らすことを試みた。

ボトムクォーク同定効率の測定を行う為には素性の良いボトムクォークのサンプルが必要である。トップクォークは崩壊粒子にほぼ 100% ボトムクォークを含むため、効率測定の為のボトムクォーク源として用いるのに都合がよい。この解析ではトップクォーク対生成事象のシングルレプトン終状態 ($t\bar{t} \rightarrow qqbl\nu b$) をボトムクォーク源として利用した。この事象を用いることは以下に述べるふたつの利点がある。一つは、断面積測定に用いる

サンプルとは独立なボトムクォークを用意出来る点である。これにより、実データを用いて効率測定を行う事によるいかなるバイアスも断面積測定に入らないようにすることが出来る。もう一つは、ボトムクォークの運動量、飛来方向などに対して同定効率を補正する必要がない点である。本来、ボトムクォーク同定効率はボトムクォークの運動量等に依存するため、効率測定を行うボトムクォークのサンプルと、ボトムクォーク同定を用いるサンプルが違う場合、それを補正する必要がある。しかし、シングルレプトンおよびダイレプトン終状態に含まれるボトムクォークはいずれも対生成されたトップクォーク由来のものであるため、全く同じ運動量、飛来方向分布を持つ。よって、運動量依存性等を補正する必要が無く、測定をより信頼性の高いものにすることが出来る。シングルレプトン終状態を用い、最終的に 9 % の精度でボトムクォーク同定効率を測定した。ここで得た同定効率は、その他の方法で測られたものと無矛盾であり、また同程度の精度であった。

上記で測定した同定効率を適応し、断面積測定のためのデータ解析を進めた。タウレプトンは粒子同定が難しいためこの解析では省き、 ee 、 $\mu\mu$ 、 $e\mu$ という 3 つの終状態を用い、断面積の測定を行った。各終状態におけるトップクォーク事象の候補は 960 (ee)、2613 ($\mu\mu$)、4813 ($e\mu$) イベント観測され、以下の図で示す生成断面積を得た。各終状態で得られた値は互いによく一致している事が分かった。また、この図には全ての終状態を合わせて得られた値も示している。その結果は $\sigma_{t\bar{t}} = 177 \pm 2(\text{stat.})_{-11}^{+14}(\text{syst.}) \pm 3(\text{lumi.}) \text{ pb}$ と、標準模型を用いた Next-to-Next-to-Leading Order の予言する $\sigma_{t\bar{t}}^{\text{Theory}} = 166.8_{-17.8}^{+16.5} \text{ pb}$ と非常に良く一致する。



考察

本測定により重心系エネルギー 7 TeV におけるトップクォークの対生成断面積は標準模型によって矛盾無く記述出来る事が分かった。ボトムクォーク同定等の実験的な不定性を抑える事が出来たため、事象選別効率を見積もる為に用いたトップクォーク対生成事象の理論的モデルの不定性による寄与が相対的に大きくなった。例として、トップクォーク生成に関わったパートン以外のソフトな QCD 相互作用に大きな不定性がある。更なる高精度の測定を行う為には、このモデルを正しく理解することが必要である。測定結果の中心値は標準模型を用いた計算の不定性内に十分ふくまれるため、今後測定精度がどれだけ上がっても新しい物理の寄与を発見する事が出来ない。よって、理論計算を改善し、予言の不定性を減らす事も重要である。

結論

重心系エネルギー 7 TeV におけるトップクォーク対生成断面積の測定を ATLAS 検出器を用いて得られた 4.7 fb^{-1} の陽子-陽子衝突データを用いて行った。本測定ではダイレプトン終状態およびボトムクォーク同定を行い非常に純度の高いトップクォーク対を用い高精度の測定を行う初の試みである。また、トップクォークを用いたボトムクォーク同定効率の測定方法を確立した。最終的に約 8 % という ATLAS 実験におけるダイレプトン終状態を用いた断面積測定では最高精度の測定を達成した。測定結果は予言値と無矛盾であり、標準模型、特に pQCD が重心系エネルギー 7 TeV において機能するということが分かった。

論文審査の結果の要旨及び担当者

| 氏 名 (廣 瀬 穰) | | | |
|--|-----|-----|------|
| | (職) | 氏 名 | |
| 論文審査担当者 | 主 査 | 教授 | 山中 卓 |
| | 副 査 | 教授 | 岸本忠史 |
| | 副 査 | 教授 | 窪田高弘 |
| | 副 査 | 准教授 | 花垣和則 |
| | 副 査 | 准教授 | 青木正治 |
| 論文審査の結果の要旨 | | | |
| <p>廣瀬君は、重心エネルギー7TeVの陽子・陽子衝突における、トップクォーク・反トップクォークの対の生成断面積の測定を行った。この研究の目的は、世界最高エネルギーでの量子色力学の正しさの検証と、トップクォークの質量の間接測定である。ヨーロッパのCERN研究所のLHC加速器を用いたATLAS実験で4.7fb^{-1}の衝突分のデータを収集し、解析した。データ解析では、生成されたトップクォーク対のトップクォークがいずれも、bクォークとWボゾンに崩壊し、Wボゾンが荷電レプトンとニュートリノに崩壊する事象を選択した。この種類の事象は、背景事象が少なく、系統誤差が少ないという利点がある。また、bクォークの入ったジェット(多数の粒子の束)を同定する効率も、同様の事象を用いて実験的に求め、系統誤差を抑えた。この手法は廣瀬君独自のものである。その他の系統誤差も綿密に調べた。</p> <p>この結果、重心エネルギー7TeVでのトップクォーク対の生成断面積を$177\pm 2(\text{stat.})+14/-11(\text{syst.})\pm 3(\text{lumi.})\text{pb}$と求めた。この結果は高次補正まで加えた理論計算と一致し、摂動論的色量子力学がこのエネルギーにおいても正しいことを示した。また、この生成断面積を元にトップクォークの質量を$167-170\pm 5\text{GeV}/c^2$と求めた。これらの結果により、量子色力学とトップクォークの質量について新たな知見を与えた。</p> <p>廣瀬君の研究成果は、既に学術論文: G. Aad <i>et al.</i> [ATLAS Collaboration] "Measurement of the cross section for top-quark pair production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7\text{ TeV}$ with the ATLAS detector using final states with two high-pt leptons" JHEP <u>05</u>, 059 (2012)で発表している。</p> <p>よって、本論文は博士(理学)の学位論文として十分価値あるものと認める。</p> | | | |