

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K17690

研究課題名(和文) トップクォークをプローブに探索する新しい素粒子物理

研究課題名(英文) Search for new physics beyond the standard model with top quark

研究代表者

川出 健太郎 (Kawade, Kentaro)

神戸大学・先端融合研究環・特命助教

研究者番号：90749243

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究はトップクォークをプローブとした新物理の兆候の探索を目標とした研究である。トップクォーク対の荷電非対称度の測定による探索を目標に研究を行い、a) 2レプトン終状態に着目した事象選別の最適化、b) トップクォーク運動学再構成手法の最適化、c) アンフォールド法による分解能補正の最適化、d) 新物理への感度の見積もりを行った。

現在2レプトンでの物理解析はおおむね完了したが、異なる終状態を用いた解析との共同結果(コンビネーション)を得るためと、2017年末までのデータも含めるために、解析の見直しを行っている。2018年の9月の国際会議にて1レプトンとの共同結果の公表を目指している。

研究成果の概要(英文)：This research project focuses on a search of the signature from the beyond the standard model in particle physics by using top quarks as a probe. I'm especially focusing on top quark charge asymmetry which sensitive to various new physics models. I have achieved following results; 1) Optimization of the event selection criteria in two leptonic final state, 2) Study for the top quark kinematic reconstruction and its optimization, 3) Optimization study of the unfolding technique for better performance, 4) Study for the analysis sensitivity for several benchmark models. The analysis with two lepton final state was almost done at the end of year 2017, but to publish a combined results with the same analysis with different final state, and to include latest data set taken in 2017, I'm still continue this analysis and plan to public this results in September 2018.

研究分野：素粒子実験

キーワード：トップクォーク 新物理探索

### 1. 研究開始当初の背景

この研究を計画した2015年は、ちょうどLHC第2試験運転(Run 2)が始まった年であった。このRun 2では13 TeVという新しい重心系エネルギーでのデータ測定を行う。13 TeVとエネルギーが上がることで、LHC初期運転(Run 1)と比べて、図1のように各過程の生成断面積が飛躍的に増加するため、新物理の探索を行うまたとない機会である。

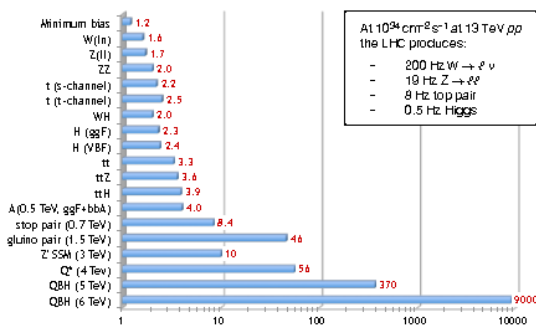


図1：各過程における断面積の相対的な増加幅 ( $_{13\text{TeV}} / _{8\text{TeV}}$ )

従って、本格的にデータが貯まる2016年から研究を開始し、そのデータを用いて、未知の物理を探索するという前提で本研究計画を考案した。特に高い崩壊分岐比でトップクォーク対に崩壊する未知の粒子は、様々な素粒子標準理論を超える模型によってその存在が示唆されており、新物理の信号を観測しうる有力な可能性であったため、トップクォークを用いた探索を思案した。

この当時すでに先行研究であるテバトロン実験により、トップクォーク対の荷電非対称度を測定で、標準理論で予想される値からの大きなずれを観測していた。一方でLHCでは、大きな荷電非対称度は精度の面もあり有意な観測はされていない状態であった。このためLHCでは更なる測定が期待されており、13 TeVに増強したことで、より精密な探索が期待できると期待が高まっていた。

### 2. 研究の目的

本研究では、Run 2のデータを用いて、新物理事象の探索を目的とする研究で、特にトップクォークを含む信号に絞った探索を目的にした研究である。これは、LHC実験でこれまで新物理のいかなる兆候も見つかっていない背景を踏まえて、新粒子はレプトンなどの単純なものには崩壊せず、より重たい質量をもつトップクォークを含む崩壊が支配的であるとする模型に説得力があると感じたためである。例えばテクニカラー模型などで予言する重いZ'ボソンは、レプトンには結合せず、トップクォークのみに強く結合する粒子である。またトップクォークは既知の粒子としてはきわめて重たいという性

質を持つため、上記のZ'以外でも様々な新粒子との密接な関係が示唆されるため、この信号を使った探索はLHCで重要な意味合いを持つ。

本研究の具体的な目的は、トップクォーク対の荷電非対称度と呼ばれる値を測定し、標準理論からの逸脱を探ることである。例えば、新物理により荷電非対称度は、図2のような

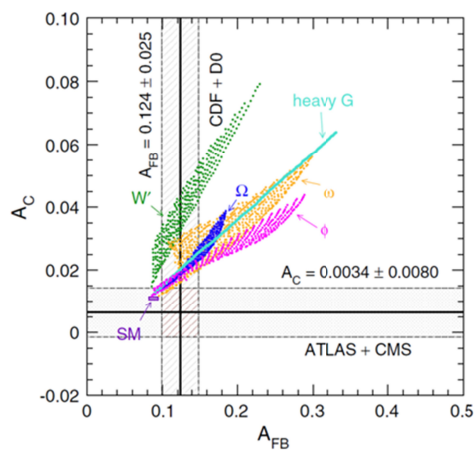


図2：横軸はテバトロンでの実験結果、縦軸はLHC実験のRun 1解析の結果を示す。SMは標準理論による予言地であり、各色の領域は各々の新物理によって許される領域である。

影響を受けるため、この観測から何らかの新物理発見につながる可能性がことを期待している。

一方で、LHCは陽子・反陽子コライダーであったテバトロンとは異なり、陽子・陽子コライダーであるため、生じる荷電非対称度が著しく小さい。従っていかに小さな非対称度を測定するかを研究することもこの計画の目的である。

### 3. 研究の方法

実験データからトップクォーク対事象を高純度で選択し、トップクォーク及び反トップクォークの力学変数を精度よく再構成し、非対称度を測る。

上記の達成のために以下の研究を実施する。

#### (1) 事象選別の最適化

LHCでは膨大な背景事象から、より純度を高く、きれいな信号を選び出す必要がある。本研究では、高運動量のレプトンを2つもつ信号(ダイレプトン事象と呼ぶ)を選び、さらにボトムクォーク由来のジェットを持つことを要求することで高い信号純度を達成した。また終状態のレプトン対はトップクォーク対の崩壊過程で生じたものであるために荷電非対称度を引き継いでいる。かつレプトンの4元運動量は精度よく再構成できるためトップクォーク対の荷電非対称度とは別

の量を同時に測定できる。

#### (2) 力学変数の再構成

ダイレプトン事象では、荷電レプトンとともに中性レプトン・ニュートリノも生じてしまう。これは検出不可能な粒子であるために、トップクォーク対の力学変数を再構成するのが困難にする。本計画では、KL Fitter 法、<sup>2</sup>法、Neutrino Weighting 法など様々な方法を試し、また最適化するなどの研究を行う。また、より精度よく再構成できたことを事象選別に要求することでさらに感度を向上できないかを検証する。

#### (3) 分解能の焼きなまし法の研究

データ解析で再構成した、力学変数は有限の分解能の効果で鈍ってしまい、理論計算との直接比較をすることができない。この解決のためにアンフォールド法と呼ばれる手法を用いるが、本測定のような小さな非対称を測る測定に適用する際は、バイアスの排除が難しい。従って本研究では、異なるアンフォールド手法を試し、その最適化を行ったうえで最も適した手法を選ぶ。

#### (4) 新物理への感度の確認

解析における人為的なバイアスを避けるために、本研究はブラインドポリシーの元、実データは用いず、モンテカルロシミュレーションによって最終的に得られる感度を見積もったうえで解析を進める。このために、新物理に寄与を考慮したシミュレーションを作成し、それに対して解析を適用することでどの新物理に感度があるかを定量的に評価する。

### 4. 研究成果

3. で上げた(1)~(4)までの研究に関する進捗は以下の通りである。

(1) に関して：ダイレプトン終状態にボトムクォークジェットを要求した時点ですでにS/N比は90%以上と優秀であったが、感度の向上のため、ボトムクォークジェットの本数でのカテゴリ分けの導入、および(2)で研究した再構成がうまくいっている事象のみを選択することで信号純度をさらに高めることに成功した。また背景事象では、フェイクイベントと呼ばれる成分が支配的であり、かつモンテカルロシミュレーションによる予言が難しいので、実データを用いて推定する方法を研究した。

(2) に関して：Neutrino Weighting 法を用いるともっともよい精度を、短い計算時間で達成できることを示した。KL Fitter 法、<sup>2</sup>法も同等の性能が得られるが、より短い計算時間で求まる Neutrino Weighting 法を採用した。

(3) に関して：Iterative Bayesian アンフォールド法などを用いると、結果が収束せず真値の推定ができないことを突き止めた。

しかし Fully Bayesian アンフォールド法と呼ばれる手法を応用することで、真値の推定が精度よくできることを突き止めた。図3は、シミュレーションで非対称度を持つ信号サンプルを計算し、それに対して解析を能はめることで、どの程度正しく非対称度を定められるかを明らかにした。このテストを線形性試験と呼ぶ。横軸に仮定した真の非対称度、縦軸に実際に解析をあてはめて実際に得ら

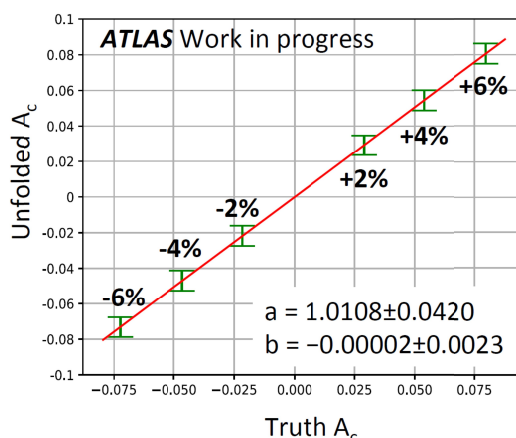


図3：-6%~6%の範囲での線形性試験の結果。横軸が仮定した真値、縦軸は実際に得られた値。

れた非対称度をプロットした。このときに、重要なのは、分解能や事象束経数を加味して、ビン区切りをしたうえで、最適な応答行列を作ることでバイアスの少ない手法に到達できることを明らかにした。

結果として、-6%~+6%までの領域によって非常に良い線形性が得られることが分かった。

(4) に関して：ベンチマークとして、(3)で用いるずれた非対称度をもった分布を計算するために、PROTOS と呼ばれるシミュレーションコードを用いて自らベンチマークモデルを作成した。このとき、アクシグルーオンと呼ばれる新粒子とトップクォーク対との結合の強さを手で変えることで非対称をコントロールすることができる。これを(3)の手法で用いて評価を行った。

(1)~(4)を達成し、ダイレプトン終状態での解析はおおむね順調に進んだ。これらの成果は、2017年秋の日本物理学会で報告を行った。最終的な結果は、異なる終状態であるセミレプトン終状態で行った解析との結合で出す予定であり、そのための仕上げが現在も続いている。また、2017年にも13TeVでのデータ測定が順調に進んだため、このデータを加えてより感度を向上させるために解析を再度やり直している。最終的な結果は2018年9月に行われる国際学会にて公表する予定で進んでいる。

5. 主な発表論文等  
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

藏重 久弥 (Kurashige Hisaya)

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 1件)

木戸 将吾, 川出 健太郎, 山崎 祐司, 藏重 久弥

LHC-ATLAS 実験 Run-2 におけるダイレプトン終状態を用いたトップクォーク対荷電非対称の測定

本物理学会 2017 年秋季大会

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況 (計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川出 健太郎 (Kawade Kentaro)

神戸大学 先端融合研究環 特命助教

研究者番号：90749243

(2) 研究分担者

なし ( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

なし ( )

研究者番号：

(4) 研究協力者

木戸 将吾 (Kido Shogo)

山崎 祐司 (Yamazaki Yuji)