

平成 22 年 5 月 25 日現在

研究種目：若手研究 (B)  
 研究期間：2008～2009  
 課題番号：20740122  
 研究課題名 (和文)  
     スピン偏極度相関を用いたトップクォーク対生成機構の解明  
 研究課題名 (英文)  
     Study of the top quark pair production mechanism using spin correlations  
 研究代表者  
     武内 勇司 (TAKEUCHI YUJI)  
     筑波大学・大学院数理物質科学研究科・講師  
     研究者番号：00375403

研究成果の概要 (和文)：米国のフェルミ研究所にある陽子・反陽子衝突型加速器テバトロンで行われている CDF 実験によって得られた衝突事象データ中に見つかった 195 個のトップクォーク対生成事象候補を用いて、トップクォークのスピンと反トップクォークのスピン間の偏極度相関を測定し、結果を CDF 実験の WEB ページや物理学会等で発表した。これは、2000 年から始まったテバトロン・RUN II 実験におけるトップクォーク対スピン偏極度相関測定の初の結果であり、トップクォークのスピンを用いたトップクォーク対生成の機構の解明において重要なマイルストーンとなった。

研究成果の概要 (英文)：Using 195 top anti-top pairs found in the collision data taken at the CDF experiment conducted with TEVATRON, proton anti-proton collider at Fermi National Accelerator Laboratory, we performed a measurement of the correlation between the spin polarizations of the top quark and the anti-top quark, and presented the results on a web page of the CDF experiment, at JPS meeting, and so on. This is the first result on measurements of the spin correlations in the top quark pair production since RUN2 experiments at TEVATRON started in 2000, and thus regarded as the important milestone for the study on the top quark pair production mechanism taking advantage of top quark spins.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,900,000	570,000	2,470,000

研究分野：素粒子実験

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：トップクォーク，トップクォーク対生成，スピン偏極度相関，陽子反陽子衝突実験

### 1. 研究開始当初の背景

トップクォークは、標準理論の枠組みの中で予言され、予言された通りの性質を持つ素粒子として 1995 年に発見された。しかしながらその質量が電弱相互作用の自発的対称性の破れ (EWSB) のエネルギースケールと同程度の大きさであり、EWSB の中で何か特別な役割を果たしているという疑問ももたれる。そこで、トップクォークについて更に詳しく調べるためにトップクォークの次の性質に着目した。トップクォークは、他のクォークと違ってハドロン化よりも早く、弱い相互作用による崩壊をする。すなわちトップクォークはクォークの中で唯一「生成時のスピン偏極を直接的に観測できるクォーク」である。この特徴は、トップクォーク生成の際のメカニズムを探る上で非常に有効かつ強力な手段を我々に提供してくれる。しかしながらこの性質が正しいかどうかは、未だに実験的に確立した事実ではない。

### 2. 研究の目的

上に述べたトップクォークは、「生成時のスピン偏極を直接的に観測できるクォーク」であると言う事実を実験的に確かめるために、例えばフェルミ研究所にある陽子・反陽子衝突型加速器テバトロンにおけるトップクォーク対生成を考える。この場合、トップクォークと反トップクォークの偏極度が相関を持つことが知られており、上述の性質が正しければ、このトップクォーク対の偏極度相関はトップクォークの崩壊によって生じた粒子の運動方向の相関として観測可能である。したがって本研究課題の第一の目標として、この「トップクォーク対生成における偏極度相関」を現在フェルミ研究所で行われている陽子・反陽子衝突型加速器テバトロンを用いた CDF 実験で観測することである。この偏極度相関の観測は、上述のトップクォークの「ハドロン化しない」または、「生成時のスピン偏極を直接的に観測できる」という性質の実験的検証となる。

またトップクォーク対におけるスピン偏極度相関の測定は、トップクォーク対の生成機構についての情報も与えてくれる。例えばトップクォーク対生成の頂点に異常項の関与を仮定した場合、その影響はトップクォーク対のスピン偏極度相関に感度良く現れる。

### 3. 研究の方法

フェルミ研究所の陽子・反陽子衝突型加速器テバトロンにおけるトップクォーク対生成の主な寄与であると予想されているクォーク対消滅過程では、ある適当な量子化軸をとるとトップクォークと反トップクォークの偏極度が 100% の相関を持つことが知られている。そして、上述のように、このトップクォーク対の偏極度相関はトップクォークの崩壊によって生じた粒子の運動方向の相関として観測可能である。

トップクォークのスピン偏極の情報をもっと効果的に得るためには、トップクォークの崩壊によってできるダウタイプレプトンを使うのが最も合理的である。したがってスピン偏極度相関の解析には、トップクォーク対がダイレプトン (終状態にレプトンを二つ含む) チャンネルに崩壊する事象を用いる。

テバトロンで行われている実験の一つに CDF 実験があるが、平成 19 年度末までに積算ビーム輝度で 2~3fb<sup>-1</sup> 相当のデータが利用可能である。このデータを解析し、スピン偏極度相関の測定を行う。

フェルミ研究所にある陽子・反陽子衝突型加速器テバトロンにおける CDF 実験によって得られた積分ビーム輝度で 2.8fb<sup>-1</sup> 相当のデータ中で見つかった 195 個のトップクォーク対生成事象候補を用いたトップクォーク・反

### 4. 研究成果

フェルミ研究所にある陽子・反陽子衝突型加速器テバトロンにおける CDF 実験によって得られた積分ビーム輝度で 2.8fb<sup>-1</sup> 相当のデータ中で見つかった 195 個のトップクォーク対生成事象候補を用いたトップクォーク・反

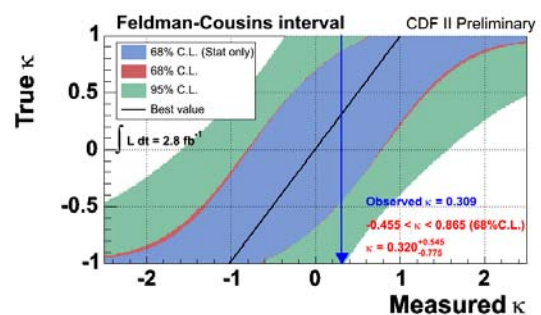


図1 CDF 実験におけるトップクォーク対偏極度相関係数  $\kappa$  の測定結果

トップクォーク対の間のスピン偏極度相関を測定し、標準理論では、0.8 程度と予想される偏極度相関係数  $\kappa$  に対し、測定値  $\kappa = 0.32^{+0.55}_{-0.78}$  という結果を得た (図 1)。

この結果は CDF 実験の WEB ページや物理学会等で発表された。これは、2000 年から始まったテバトロンの実験である CDF および D0 実験双方を通じてラン II におけるスピン偏極度相関測定の初の結果であり、トップクォークのスピンを用いたトップクォーク対生成の機構の解明というテーマにおいて重要なマイルストーンとなった。また、近頃 CDF

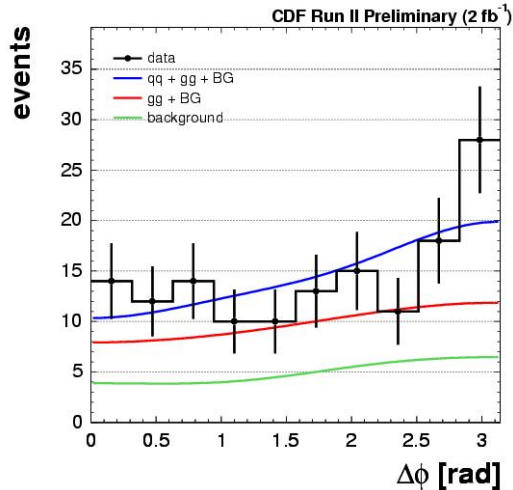


図2 CDF 実験におけるグルーオン融合過程によるトップクォーク対生成の割合の測定結果

実験でトップクォーク対生成事象においてトップクォーク・反トップクォークに予想よりも大きな前後方非対称の存在が示唆されているが、トップクォーク・反トップクォーク対の間のスピン偏極度相関の測定は、この前後方非対称を調べるにあたって別の面からの情報を与えることができる。統計量としては依然として不足しているもののCDF実験において初めてスピン偏極度相関の解析が行われ測定結果が得られたことは非常に高い意義を持つ。

また、トップクォーク・反トップクォーク対の間のスピン偏極度相関の違いを利用して、トップクォーク・反トップクォークの生成が、クォーク・クォーク対消滅から生成されるのかグルーオン融合から生成されるのかの測定を試み、積分ビーム輝度で  $2.0 \text{ fb}^{-1}$  相当のデータからトップクォーク・反トップクォーク対におけるグルーオン融合過程の割合を  $F(\text{gg}) = 0.53^{+0.36}_{-0.38}$  と決定した(図2)。この結果は、先に述べた偏極度相関の応用例として高い意義をもつ。現在はデータの統計量が不十分であるが、今後データ量が増えるにつれて測定精度は改善されることが期待される。また、この測定原理は、欧州原子核研究機構(CERN)のLHC加速器において行われている実験においても有効であると考えられる。

#### 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)

[雑誌論文] (計 84 件)

- ① T. Aaltonen, Y. Takeuchi *et al.*, Measurement of the top quark mass in the dilepton channel using  $m_{T2}$  at CDF,

Physical Review D, 81, 031102-1~9, 2010, 査読有

- ② T. Aaltonen, Y. Takeuchi *et al.*, Measurement of the  $t\bar{t}$  production cross section in  $2 \text{ fb}^{-1}$  of  $p\bar{p}$  collisions at  $\sqrt{s} = 1.96 \text{ TeV}$  using lepton plus jets events with soft muon  $b$  tagging, Physical Review D, 79, 052007-1~25, 2009, 査読有

- ③ T. Aaltonen, Y. Takeuchi *et al.*, Measurement of the top quark mass using the invariant mass of lepton pairs in soft muon  $b$ -tagged events, Physical Review D, 80, 051104-1~9, 2009, 査読有

- ④ T. Aaltonen, Y. Takeuchi *et al.*, Search for Charged Higgs Bosons in Decays of Top Quarks in  $p\bar{p}$  Collisions at  $\sqrt{s} = 1.96 \text{ TeV}$ , Physical Review Letters, 103, 101803-1~7, 2009, 査読有

- ⑤ T. Aaltonen, Y. Takeuchi *et al.*, Observation of Electroweak Single Top Quark Production, Physical Review Letters, 103, 092002-1~8, 2009, 査読有

- ⑥ T. Aaltonen, Y. Takeuchi *et al.*, First Measurement of the  $t\bar{t}$  Differential Cross Section  $d\sigma/dM_{\bar{t}t}$  in  $p\bar{p}$  Collisions at  $\sqrt{s} = 1.96 \text{ TeV}$ , Physical Review Letters, 102, 222003-1~8, 2009, 査読有

- ⑦ T. Aaltonen, Y. Takeuchi *et al.*, First simultaneous measurement of the top quark mass in the lepton+jets and dilepton channels at CDF, Physical Review D, 79, 092005-1~23, 2009, 査読有

- ⑧ T. Aaltonen, Y. Takeuchi *et al.*, Measurement of the  $t\bar{t}$  cross section in  $p\bar{p}$  collisions at  $\sqrt{s} = 1.96 \text{ TeV}$  using dilepton events with a lepton plus track selection, Physical Review D, 79, 112007-1~41, 2009, 査読有

- ⑨ T. Aaltonen, Y. Takeuchi *et al.*, Measurement of the top quark mass at CDF using the “neutrino  $\phi$  weighting” template method on a lepton plus isolated track Sample, Physical Review D, 79, 072005-1~18, 2009, 査読有

- ⑩ T. Aaltonen, Y. Takeuchi *et al.*, Top quark mass measurement in the  $t\bar{t}$  all hadronic channel using a matrix element technique in  $p\bar{p}$  collisions at  $\sqrt{s} = 1.96 \text{ TeV}$ , Physical Review D, 79, 072010-1~28, 2009, 査読有

- ⑪ T. Aaltonen, Y. Takeuchi *et al.*, Top quark mass measurement in the lepton plus jets channel using a modified matrix element method, Physical Review D, 79, 072001-1~23, 2009, 査読有
- ⑫ T. Aaltonen, Y. Takeuchi *et al.*, Measurement of the Top Quark Mass with Dilepton Events Selected Using Neuroevolution at CDF II, Physical Review Letters, 102, 152001-1~8, 2009, 査読有
- ⑬ T. Aaltonen, Y. Takeuchi *et al.*, Measurement of the fraction of  $t\bar{t}$  production via gluon-gluon fusion in  $p\bar{p}$  collisions at  $\sqrt{s}=1.96\text{TeV}$ , Physical Review D, 79, 031101-1~8, 2009, 査読有
- ⑭ T. Aaltonen, Y. Takeuchi *et al.*, Direct Bound on the Total Decay Width of the Top Quark in  $p\bar{p}$  Collisions at  $\sqrt{s}=1.96\text{TeV}$ , Physical Review Letters, 102, 042001-1~7, 2009, 査読有
- ⑮ T. Aaltonen, Y. Takeuchi *et al.*, Measurement of the Single Top Quark Production Cross Section at CDF, Physical Review Letters, 101, 252001-1~8, 2008, 査読有
- ⑯ T. Aaltonen, Y. Takeuchi *et al.*, First measurement of the fraction of top quark pair production through gluon-gluon fusion, Physical Review D, 78, 111101-1~8, 2008, 査読有
- ⑰ T. Aaltonen, Y. Takeuchi *et al.*, Forward-Backward Asymmetry in Top Quark Production in  $p\bar{p}$  Collisions at  $\sqrt{s}=1.96\text{TeV}$ , Physical Review Letters, 101, 202001-1~8, 2008, 査読有
- ⑱ T. Aaltonen, Y. Takeuchi *et al.*, Search for Resonant  $t\bar{t}$  Production in  $p\bar{p}$  Collisions at  $\sqrt{s}=1.96\text{TeV}$ , Physical Review Letters, 100, 231801-1~7, 2008, 査読有

[学会発表] (計3件)

- ① 武内 勇司, Recent Results on Top and Higgs at Tevatron, KEK Theory Meeting on Particle Physics Phenomenology, 2010年2月19日, 高エネルギー加速器研究機構
- ② 武内 勇司, 陽子反陽子衝突型実験でのトップクォーク対生成におけるスピン偏極度相関の測定, 日本物理学会2009年秋季大会, 2009年9月11日, 甲南大学岡本キャンパス

- ③ 武内 勇司, CDF実験の最新結果, 日本物理学会第64回年次大会, 2009年3月28日, 立教大学

[その他]

ホームページ等

- ① <http://www-cdf.fnal.gov/physics/new/top/2009/tprop/spincorr/>
- ② [http://www-cdf.fnal.gov/physics/new/top/2008/tprop/GGvsQQ/ggqq\\_DIL\\_2fb\\_public\\_web.html](http://www-cdf.fnal.gov/physics/new/top/2008/tprop/GGvsQQ/ggqq_DIL_2fb_public_web.html)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

武内 勇司 (TAKEUCHI YUJI)

筑波大学・大学院数理物質科学研究科・講師

研究者番号 : 00375403