

早稲田大学大学院理工学研究科

# 博士論文概要

## 論文題目

Search for Scalar Top Quark Pair-Production in Scenario  
with Violated R-Parity in  $p\bar{p}$  Collisions at  $\sqrt{s} = 1.96$  TeV

1.96 TeV 陽子・反陽子衝突における R パリティの  
破れを伴うスカラー・トップクォークの探索

申請者

小川 貴志

Ogawa Takashi

物理学及应用物理学専攻 素粒子実験研究

2005 年 3 月

素粒子とその相互作用を検証する手段として、高エネルギー粒子同士の衝突に伴う反応を検出し、解析するというアプローチは最も一般的なものの一つである。米国フェルミ国立加速器研究所の陽子・反陽子衝突型加速器テバトロンは重心系エネルギー1.96 TeVを提供する。この研究は、テバトロン加速器に設置されたCDF検出器(Collider Detector at Fermilab)において収集されたデータを用いて、新粒子の探索を行ったものである。

現在素粒子事象を説明する理論として、電磁相互作用と弱い相互作用を統一して記述する電弱理論と、強い相互作用を記述する量子色力学の2つを柱とした標準理論が確立されている。標準理論はこれまでに行われた多くの実験結果を現象的に正しく説明するものの、理論的な不自然さが指摘されており、これを包括する新しいモデルが数多く提唱されている。

そのなかでも、超対称性と呼ばれる新しい対称性を導入したモデルが統一理論への有力な候補として存在する。超対称性とは、素粒子の重要な性質であるスピンに対する対称性で、超対称性理論では、既知のフェルミオン(ボソン)に対応するボソン(フェルミオン)が存在するとする。そして、超対称性を特徴づける量子数として、

$$R_p = (-1)^{3B+L+2S} \quad (B: \text{バリオン数}, L: \text{レプトン数}, S: \text{スピン})$$

によって定義されるRパリティと呼ばれる量子数が導入されている。

標準理論における既知の素粒子は $R_p = +1$ で、スーパーパートナーと呼ばれる超対称性粒子は、 $R_p = -1$ である。超対称粒子の実験的探索は、過去20年以上続けられてきたが、未発見である。その結果、現在では、多くの超対称性粒子は非常に大きい質量を持つと推測されている。しかしながら、標準理論におけるトップクォークは、現在確認されている素粒子の中で最大の質量を持つが、そのスーパーパートナーであるスカラー・トップクォーク(ストップ)は逆に軽い可能性が指摘されている。これは超対称性理論において、ストップクォークの質量行列の非対角成分(標準理論におけるトップクォークの質量に関係している)が大きくなり、比較的小さい質量固有状態の解を持ちうるからである。さらに、超対称性理論において、Rパリティの保存は先験的には要請されないため、この対称性を破るような過程による超対称粒子の探索も近年重要な研究課題となっている。

本研究では、陽子・反陽子衝突によりストップクォークが対生成され、それぞれの粒子がボトムクォークとタウ粒子に崩壊するモードの探索を行った。この崩壊モードはRパリティの非保存が存在すると可能となる。したがって検出される終状態は、ボトムクォークから生ずる2つのジェットと2つのタウ粒子を含む。この終状態を検出する為に、2つのタウ粒子がそれぞれレプトン(電子、ミューオン)とハドロン(孤立した飛跡)へと崩壊する事象を効率よく選び、かつ高速で処理するシステム(レプトンと飛跡によるトリガーシステム)がCDFの第二

期実験より導入された。

このトリガーシステムが有効に機能していることを検証するため、標準理論の枠内でよく理解されているZボソンが2つのタウ粒子に崩壊 ( $Z^0 \rightarrow \tau^+\tau^-$ ) する事象を最初に解析した。本研究では、特にタウ粒子の崩壊から生じた電子とハドロンに崩壊するタウ粒子の特徴である孤立した飛跡を終状態に持つ事象を選び出した。

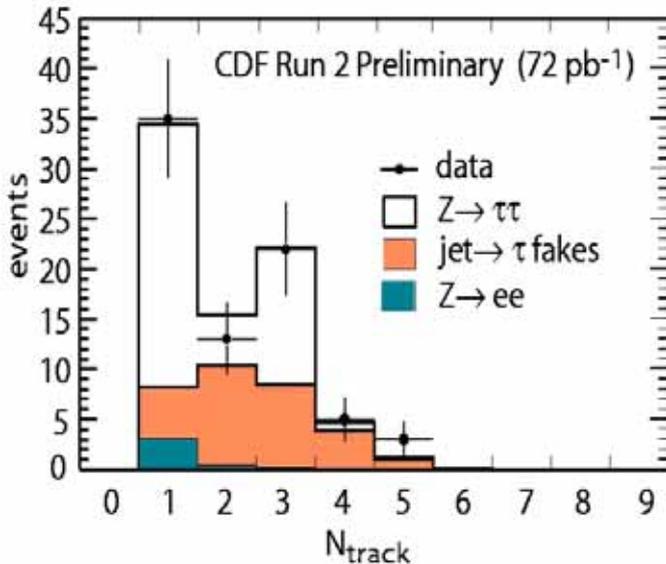


図 ( 1 a )

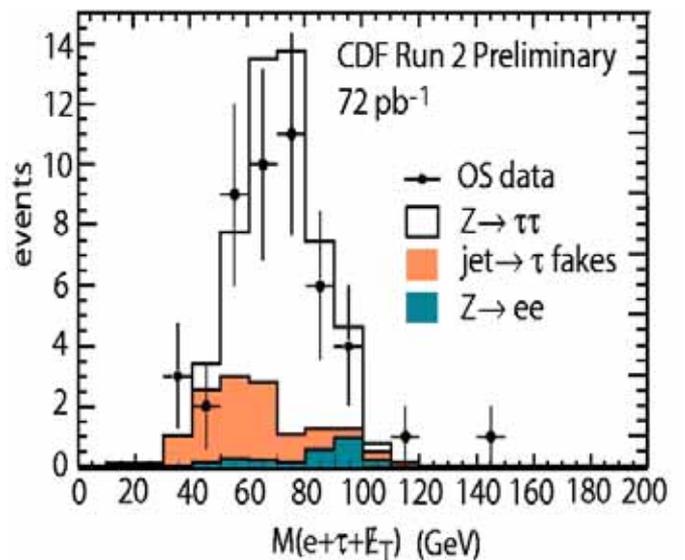
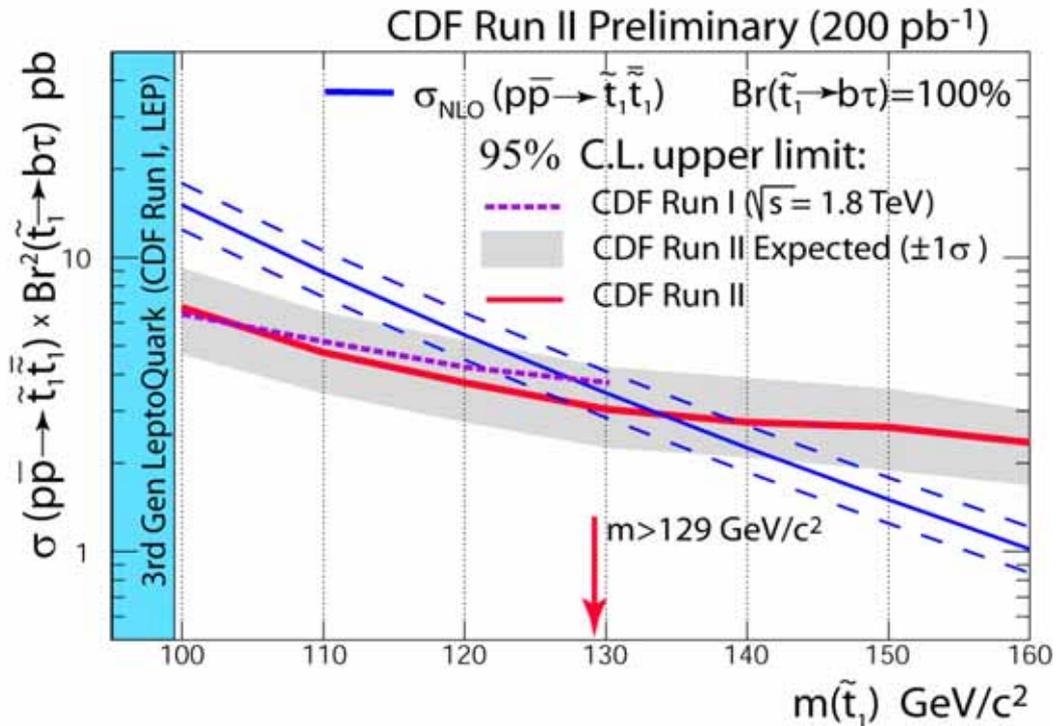


図 ( 1 b )

図 ( 1 a ) はタウ粒子の飛跡数分布である。ハドロンに崩壊するタウ粒子が1つ、もしくは3つの荷電粒子に崩壊するという特徴が、非常によく再現されている。 図 ( 1 b ) は同候補事象における電子・タウ粒子・消失横運動量系の不変質量 ( $M(e+\tau+E_T)$ ) 分布を示しており、Zボソン ( $Z^0 \rightarrow \tau^+\tau^-$ ) による質量ピークが観測できる。

ストップクォークの探索にはCDF検出器が2002年3月から2003年9月まで収集した200 pb<sup>-1</sup>相当(約10兆回の陽子・反陽子衝突)のデータを用い、ストップクォーク対生成の候補としてレプトン(電子・ミュオン)、ハドロンに崩壊したタウ粒子、2つのジェットを持つ事象を選び出した。さらにバックグラウンドを減少させ、シグナルの純度を高める為のトポロジカルな条件を課し、最終的に5事象が残った。標準理論から見積もられるバックグラウンドの事象数にストップクォークが存在する場合に期待される事象数を加えた上で、観測された事象数との比較を行った。その結果、観測された事象数は標準理論の予測値から逸脱していないことが確認された。これにより、ストップクォークがRパリティを破り100%の分岐比でボトムクォークとタウ粒子に崩壊するシナリオにお

いて、図(2)に示される通り95%の信頼度で質量下限値134 GeV/c<sup>2</sup>が与えられた。これは同時に第3世代のスカラー・レプトクォークに対しての制限値でもある。



図(2)

本論文における構成は以下の通りである。第1章を序論とし、第2章において超対称性とストップクォークについての理論的側面を述べる。第3章ではフェルミ研究所の陽子・反陽子衝突型加速器とCDF検出器について概観する。第4章ではレプトンと飛跡によるトリガーシステムについて述べられる。また、このトリガーの利用が可能であると考えられる様々な物理についての議論も行う。第5章において同トリガーシステムにより収集されたデータを用いて、Zボソンがタウ粒子へ崩壊する過程を解析し、これによりCDF実験において初導入されたこのシステムが有効に機能していること示す。第6章では、 $B_{s(d)}^0$ 中間子がミュー粒子へ崩壊する分岐比を測定することを通じて超対称性の間接的探索を解析した結果を論ずる。第7章ではストップクォークの解析について詳述する。収集されたデータとモンテカルロ法により作成されたデータ、事象選択、系統誤差とその評価、バックグラウンド事象とその導出、質量制限値を求める手法等々を説明する。最後に解析結果を報告し本研究をまとめる。

# 研究業績

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
論 文	<ul style="list-style-type: none"> <li>• “ Search for Scalar Leptoquark Pairs Decaying to <math>\nu \nu\text{-bar} qq\text{-bar}</math> in <math>p</math> anti-<math>p</math> Collisions at <math>\sqrt{s} = 1.96</math> TeV ” , FERMILAB-PUB-04-306-E (Phys. Rev. Lett. に掲載予定), CDF Collaboration (D. Acosta <i>et al.</i>)</li> <li>• “ Search for Excited and Exotic Electrons in the <math>e</math> gamma Decay Channel in <math>p</math> anti-<math>p</math> Collisions at <math>\sqrt{s} = 1.96</math> TeV ” , FERMILAB-PUB-04-287-E (Phys. Rev. Lett. に掲載予定), CDF Collaboration (D. Acosta <i>et al.</i>)</li> <li>• “ Search for Anomalous Production of Diphoton Events with Missing Transverse Energy at CDF and Limits on Gauge-Mediated Supersymmetry-Breaking Models ” , FERMILAB-PUB-04-299-E (Phys. Rev. D に掲載予定), CDF Collaboration (D. Acosta <i>et al.</i>)</li> <li>• “ Observation of the Narrow State <math>X(3872) \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-</math> in <math>p\text{-bar} p</math> Collisions at <math>\sqrt{s} = 1.96</math> ” , Phys. Rev. Lett. <b>93</b>, 072001 (2004), CDF Collaboration (D. Acosta <i>et al.</i>)</li> <li>• “ Search for Doubly Charged Higgs Bosons Decaying to Dileptons in <math>p</math> anti-<math>p</math> Collisions at <math>\sqrt{s} = 1.96</math> TeV ” , FERMILAB-PUB-04/112-E (Phys. Rev. Lett. に掲載予定), CDF Collaboration (D. Acosta <i>et al.</i>)</li> <li>• “ Search for <math>B_0(s) \rightarrow \mu^+ \mu^-</math> and <math>B_0(d) \rightarrow \mu^+ \mu^-</math> Decays in <math>pp\text{-bar}</math> Collisions at <math>\sqrt{s} = 1.96</math> TeV ” , Phys. Rev. Lett. <b>93</b>, 032001 (2004), CDF Collaboration (D. Acosta <i>et al.</i>)</li> <li>• “ Selection of tau leptons with the CDF Run 2 trigger system ” , Nuclear Instruments and Method in Physics Research A, Vol.518, pp.609-611 (2004), A.Anastassov <i>et al.</i></li> <li>• “ Search for the flavor-changing neutral current decay <math>D_0 \rightarrow \mu^+ \mu^-</math> in <math>pp\text{-bar}</math> collisions at <math>\sqrt{s} = 1.96</math> TeV ” , Phys. Rev. D <b>68</b>, 091101 (2003), CDF Collaboration (D. Acosta <i>et al.</i>)</li> <li>• “ Making the most of aging scintillator ” , Nuclear Instruments and Method in Physics Research A, Vol.453, pp.245-248 (2000), S.Cabrera <i>et al.</i></li> </ul>

# 研究業績

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
講 演	<ul style="list-style-type: none"> <li>• “ CDF Run II実験におけるRPVストップの探索 ” , 日本物理学会 第 59 回年次大会, 2003 年 4 月</li> <li>• “ CDF Run II 実験におけるタウトリガー ” , Higgs Workshop 広島大学, 2004 年 1 月</li> <li>• “ CDF Run II 実験におけるレプトンと飛跡による(タウ)トリガー ” , 日本物理学会 2003 年秋季大会, 2003 年 9 月</li> <li>• “ Z --&gt; tau tau and R-parity Violating SUSY Search with taus at CDF-II ” , American Physical Society Meeting, 2003 年 4 月</li> <li>• “DLM によるストップクォークの探索法”, 日本物理学会 2001 年秋季大会, 2001 年 9 月</li> <li>• “CDF 実験におけるソフトエレクトロンの同定”, 日本物理学会 第 56 回年次大会, 2001 年 3 月</li> </ul>
著 書	なし
その他	<p>国際会議プロシーディング</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• “ The CDF II Tau Physics Program Triggers, tau ID and Preliminary Results ” , 4<sup>th</sup> International Workshop on Very High Multiplicity Physics, Alushta Crimea, Ukraine, May31-June4 2003 S.Baroiant, M.Chertok, M.Goncharov, T.Kamon, V.Khotilovich, R.Lander, T.Ogawa, C.Pagliarone, F.Ratnikov, A.Safonov, A.Savoy-Navarro, J.R.Smith, E.Vataga, CDF-II Collaboration</li> <li>• “ Selection of Tau Leptons with the CDF Run 2 Trigger System ” , 9<sup>th</sup> Pisa Meeting on Advanced Detectors La Biodola, Isola d Elba, Italy, May25-31, 2003, A.Anastassov, S.Baroiant, M.Chertok, J.Conway, M.Goncharov, D.Jang, T.Kamon, V.Khotilovich, R.Lander, A.Lath, P.Murat, T.Ogawa, C.Pagliarone, G.M.Piacentino, F.Ratnikov, A.Safonov, A.Savoy-Navarro, J.R.Smith, D.Toback, S.Tourneur, E.Vataga, Z.Wan, CDF-II Collaboration</li> </ul>

