

機関番号：13901

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009 年 ～ 2010 年

課題番号：21740178

研究課題名 (和文)

Belle 実験におけるタウレプトンを用いた新しい物理の探索

研究課題名 (英文)

Search for new physics from tau lepton at Belle experiment

研究代表者

宮崎 由之 (MIYAZAKI YOSHIYUKI)

名古屋大学・理学研究科・特任助教

研究者番号：50377959

研究成果の概要 (和文)：

荷電レプトンの崩壊において、レプトンフレーバーは素粒子の標準模型では保存するが、多くの新しい物理では、大きなレプトンフレーバーを破る崩壊が预言されている。今回、Belle 実験で得られた大量のタウレプトン対を用いて、様々なレプトンフレーバーを破る崩壊の探索を行った。残念ながら、まだ信号は観測されていないが、崩壊分岐比の上限値として、 10^{-8} を得る事に成功した。

研究成果の概要 (英文)：

Lepton flavor violation (LFV) in charged lepton decays is forbidden in the Standard Model while many extension of SM predict LFV with branching fraction as high as 10^{-8} . We search for various lepton-flavor-violating tau decays using a large data sample accumulated with the Belle detector at KEKB collider. We obtain 90% confidence level upper limits on the branching fractions in order of 10^{-8} .

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合 計
2009 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2010 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総 計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：素粒子物理学

科研費の分科・細目：なし

キーワード：タウレプトン、Belle 実験

1. 研究開始当初の背景

レプトンフレーバーは素粒子の標準模型では保存するようにできているが、実際にはニュートリノ振動の観測によって、ニュートリノにおけるレプトンフレーバーは破れている事はわかっている。荷電レプトンにおけるレプトンフレーバーの破れの崩壊は、図 1 に示すようにニュートリノ振動を考慮した崩壊が考えられるが、その崩壊分岐比は 10^{-54} 以下のため、現在の実験ではその観測は不可能を思われる。

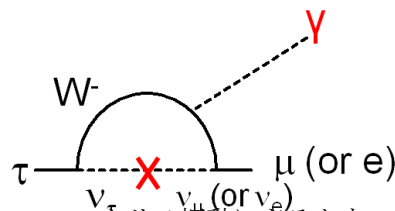


図 1：ニュートリノ振動によるタウレプトンのレプトンフレーバーを破る崩壊

しかし、超対称性理論や余剰次元など多くの標準模型を超える新しい物理では、荷電レ

プトンにおいて、大きなレプトンフレーバーを破る崩壊分岐比を持つと予言されている。特に荷電レプトンの中でも、タウレプトンは荷電レプトンの中でも、終状態に唯一メソンに崩壊できるレプトンであり、他のレプトンに比べて、質量が重いので、超対称性粒子やヒッグス粒子などの標準模型を超える新しい物理に大きな感度がある。例えば、図2に示すように超対称性粒子のレプトン、スカラーレプトンの混合によって、レプトンフレーバーを破る崩壊が起こると考えられる。タウレプトンの場合、いろいろな崩壊モードが可能なため、様々な新しい物理の検証が可能である。よって、タウレプトンを用いたレプトンフレーバーを破る崩壊の探索は、新しい物理において重要である。

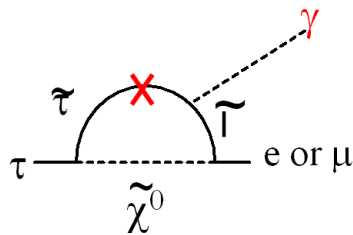


図2：超対称性理論の粒子によるレプトンフレーバーを破る崩壊

現在、タウレプトンを含め、荷電レプトンからの様々なレプトンフレーバーを破る探索が行われているが、残念ながら、まだ観測されていない状況である。

2. 研究の目的

茨城県つくば市にある高エネルギー加速器研究機構で行われている KEKB 加速器を用いた国際協力実験 Belle 実験で得られた世界一の高統計のタウレプトン対のデータを用いて、レプトンフレーバーを破るタウレプトンの崩壊の探索を行う。以前の解析では、その崩壊分岐比の制限は 10^{-7} から 10^{-8} 程度である。以前行った解析に比べて、蓄積されたデータの統計量が以前と比べて数倍以上増えており、さらに精度良く探索を行うことができ、 10^{-8} の精度で探索が行えると期待できる。この値は理論が予言する分岐比に近づいており、その観測が大きく期待される。もし観測されない場合、分岐比の上限値を与え、その結果から新しい物理の理解に大きな情報を与えると期待される。

今回の探索では、終状態に

- (1)レプトン($l = e$ もしくは μ)と一つ K^0_s メソン (lK^0_s),
- (2)レプトン($l = e$ もしくは μ)二つの K^0_s メソン ($lK^0_s K^0_s$),

- (3)3つのレプトン (III),
 - (4)一つのレプトンと二つの荷電擬スカラーメソン ($h, h' = \pi^\pm$ or $K^\pm$) (lhh'),
 - (5)一つのレプトンとベクターメソン (IV⁰)
- となる崩壊について、解析を行った。

3. 研究の方法

図3に示すように、探索する信号事象は電子・陽電子衝突から、タウレプトンが対生成され、一方のタウレプトンは(タグ側)は荷電粒子を一本を含む標準模型における一般的な崩壊であり、他方のタウレプトンは(信号側)レプトンフレーバーを破る崩壊となる。信号事象の大きな特徴として、タグ側のみにニュートリノが存在するため、欠損運動量はタグ側報告に向いているなどがある。

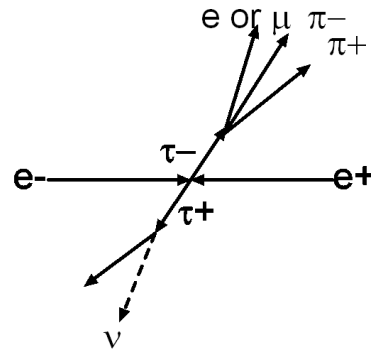


図3:Belle 実験におけるタウレプトン対からのレプトンフレーバーを破る崩壊の信号事象の例

これらの探索において、大きな背景事象として、通常の標準模型によるタウレプトン崩壊や continuum 事象 ($e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$ ($q=u, d, s, c$)) によるハドロンのレプトンと誤認識する事象であり、電子を含む終状態では特に二光子過程や Bhabha 事象なども大きな背景事象となる。今回の探索では、それぞれの終状態毎に背景事象が異なるため、モンテカルロシミュレーションやデータを用いて、背景事象に関する詳しい研究を行い、その背景事象の詳しい組成や力学的な特性を理解し、それらの情報を用いて、それぞれの終状態のモード毎において事象選択を最適化し、解析を行った。

例えば、背景事象の一つとして、 eV_0, ehh' モードでは、 $\tau^- \rightarrow h \pi^0 (\rightarrow \gamma\gamma) \nu_\tau$ 崩壊から、一つの γ が $\gamma \rightarrow e^+e^-$ 転換を起こす事によって、このうち、一つの電子がハドロンを誤認識する事象が大きく残る。この背景事象を落とすため、電子の質量を仮定した電子とハドロンからの不変質量を用いて、 $\gamma \rightarrow e^+e^-$ 転換を再構成し、その背景事象の抑制に成功した。(図4)。また、代表

的な運動力学な事象選択として、欠損運動量と欠損質量の相関を用いた事象選択がある。図5に示すように、信号の場合は、ニュートリノがタグ側にしかないため、ニュートリノの再構成できるが、背景事象の場合では、例えば通常の $\tau\tau$ 崩壊の場合、信号側、タグ側と両方にニュートリノが存在するため、信号とは大きく異なる分布になり、その情報を用いて、効率的に背景事象を抑制する事に成功した。このように、事象選択において、様々な方法で行った。

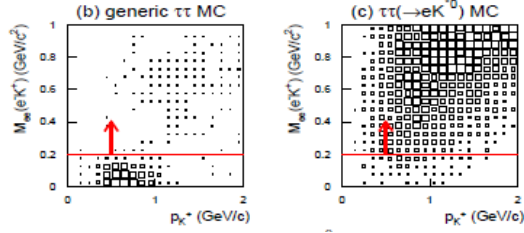


図4: $\tau\tau$ 対生成と信号のモンテカルロシミュレーションによる eK^0 モードにおける電子の質量を仮定した電子とハドロンからの不変質量とそのハドロンの運動量との相関図

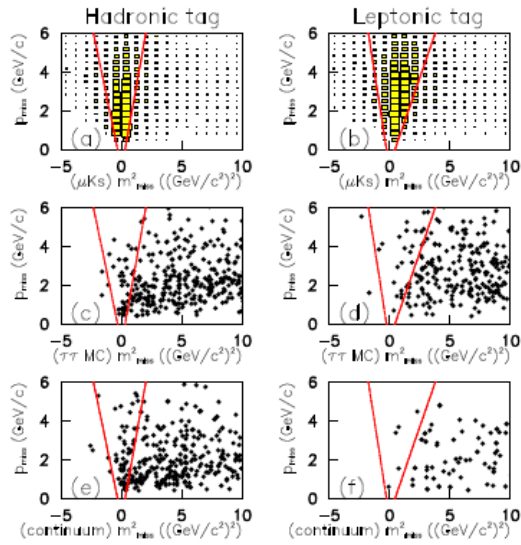


図5: μK^0 モードにおける欠損質量と欠損運動量の相関(上から信号、 $\tau\tau$ 対生成、continuum)のモンテカルロシミュレーションの結果を示す)

事象選択を行った後、最終的な信号の評価として、信号側の粒子を用いて、不変質量 (M) と再構成した重心系のエネルギーからビームのエネルギーの差 (ΔE) の二変数を使って、最終的な信号事象の評価を行う。もし、信号が存在する場合、不変質量はタウレプトンの質量となり、 ΔE は 0 GeV 付近に分布することになる。また、信号領域付近の背景事象の

数は信号領域周りのデータを用いて、見積もりを行った。最終的な崩壊分岐比は、以下の式を用いて行う。

$$Br(\tau \rightarrow L F V \text{ 崩壊}) = \left(\frac{\text{観測された事象数} - \text{背景事象の数}}{\text{生成された } \tau \text{ の崩壊数} \times \text{信号検出効率}} \right)$$

もし、有意な信号数(観測された事象数-背景事象数)が観測されない場合、90%の信頼度における崩壊分岐比の上限値を設定することにした。

4. 研究成果

今回の解析では、信号の検出効率を大きく保ちながら、信号領域における背景事象を1事象以下と十分に抑制する事に成功した。図6, 7において、いくつかの最終結果の図を示す。残念ながら、今回の解析では、すべてのモードにおいて、信号事象は観測できなかったため、それぞれのモードの分岐比の上限値を以下のように設定した。

- (1) $Br(\tau \rightarrow l K^0_s) < (2.3 - 2.6) \times 10^{-8}$,
- (2) $Br(\tau \rightarrow l K^0_s K^0_s) < (7.1 - 8.0) \times 10^{-8}$
- (3) $Br(\tau \rightarrow 3l) < (1.5 - 2.7) \times 10^{-8}$
- (4) $Br(\tau \rightarrow l h h') < (2.0 - 8.4) \times 10^{-8}$
- (5) $Br(\tau \rightarrow l V^0) < (2.0 - 8.4) \times 10^{-8}$

これらの結果は、以前の解析に行った解析と比べて、統計の増加以上の向上である。これは検出効率の向上や背景事象の十分な抑制に成功によるものである。

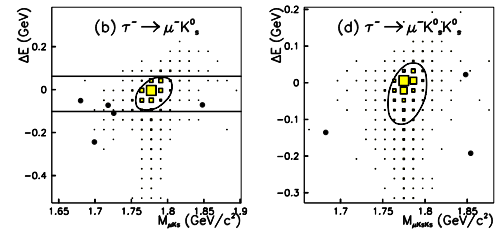


図6: タウレプトンから終状態にミュー粒子と $K^0_s(K^0_s K^0_s)$ を含むレプトンフレーバーを破る崩壊における不変質量と ΔE の二次元分布

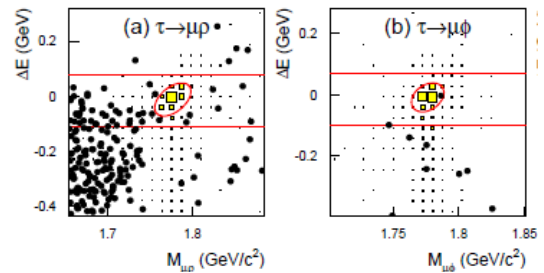


図7: タウレプトンから終状態にミュー粒子とベクターメソンを含むレプトンフレーバーを破る崩壊における不変質量と ΔE の二次元分布

現在までに行われていた Belle 実験を含むタウレプトンからレプトンフレーバーを破る崩壊の上限値のまとめを図 8 に示す。今回の結果では、以前の探索実験であった CLEO 実験に比べて、約二桁近くの向上を得ることができた。これは、解析において、検出効率を以前の解析から保ったまま、効率良く背景事象の抑制に成功した事によるものである。

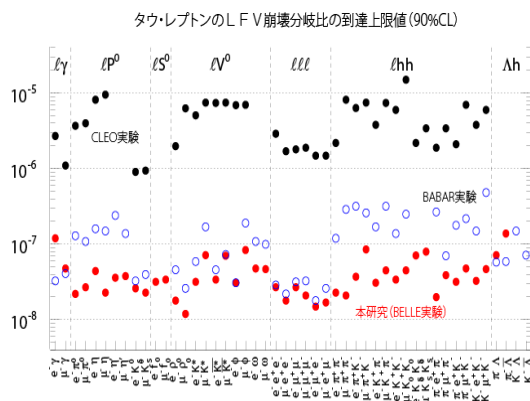


図 8：レプトンフレーバーを破るタウレプトン崩壊の崩壊分岐比の上限値のまとめ

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 6 件)

1. Y. Miyazaki, et. al. (Belle collaboration), Phys. Lett. B699, 251-259 (2011) “Search for Lepton-Flavor-Violating τ Decays into a Lepton and a Vector Meson” (査読有) (143 人中、1 番目) .
2. Y. Miyazaki, “Search for Lepton Flavor Violating tau Decays at B-factories” PoS FPCP2011 047 (2010)
3. K. Hayasaka, K. Inami, Y. Miyazaki et al. (Belle collaboration), “Updated Search for Lepton Flavor Violating tau Decays into Three Leptons with 710 Million Produced $\tau^+\tau^-$ Pairs”, Phys. Lett. B687, 139 (2010), (査読有) (135 人中、3 番目)
4. Y. Miyazaki et al. (Belle collaboration), “Search for Lepton Flavor Violating τ Decays into lK^0 s and lK^0sK^0s ”, Phys. Lett. B692, 4 (2010), (査読有) (131 人中、1 番目) .
5. Y. Miyazaki, “Search for Lepton Flavor Violation at B-factories” PoS HEP-EPS2009 263 (2009)

6. Y. Miyazaki, et al. (Belle collaboration), “Search for Lepton Flavor Violating τ Decays into one Lepton and Two Charged Mesons”, Phys. Lett. B682, 355 (2009) (査読有) (130 人中、1 番目)

〔学会発表〕(計 5 件)

1. 宮崎由之 ”Belle 実験におけるタウレプトンからレプトンフレーバーを破る崩壊 $\tau \rightarrow l h h'$ の探索”, 日本物理学会 2010 年次大会, 2011/3/25-28 新潟大学
2. 宮崎由之 ”Belle 実験におけるタウレプトンからレプトンフレーバーを破る崩壊の探索”, 日本物理学会 2010 秋期大会, 2010/9/11-14 九州工業大学
3. Y. Miyazaki, “Lepton Flavor Violation at B Factories”, Flavor Physics and CV Violation 2010 2010/5/25-29, Torino, Italy
4. 宮崎由之 ”Belle 実験におけるレプトンフレーバーを破るタウレプトン崩壊 $\tau \rightarrow l K^0s, l K^0s K^0s$ の探索”, 日本物理学会 2009 秋期大会, 2009/9/10-13. 甲南大学
5. Y. Miyazaki, “Search for Lepton Flavor Violation in τ Decays at Belle Experiment”, 2009 Europhysics Conference on High Energy Physics: HEP 2009 (EPS-HEP 2009) 2009/7/16-22, Krakow, Poland

〔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

宮崎 由之 (MIYAZAKI YOSHIYUKI)

名古屋大学・理学研究科・特任助教

研究者番号：50377959

(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：