

レプトンフレーバーを破る タウレプトン崩壊事象の探索



名古屋大学
宮崎由之



イントロダクション

イントロダクション(1)

レプトンフレーバー (電子数、ミュー数、タウ数)

⇒標準模型では保存する(ようにできている)

ニュートリノ振動が発見により、

⇒ニュートリノのレプトンフレーバーは破れている。

荷電レプトンでは

ニュートリノ振動を考慮しても $\text{Br}(\tau \rightarrow l \gamma) < O(10^{-50})$

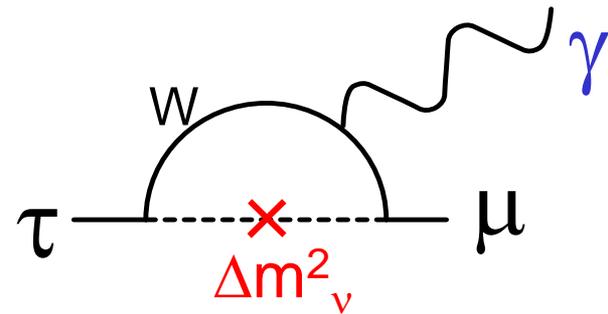
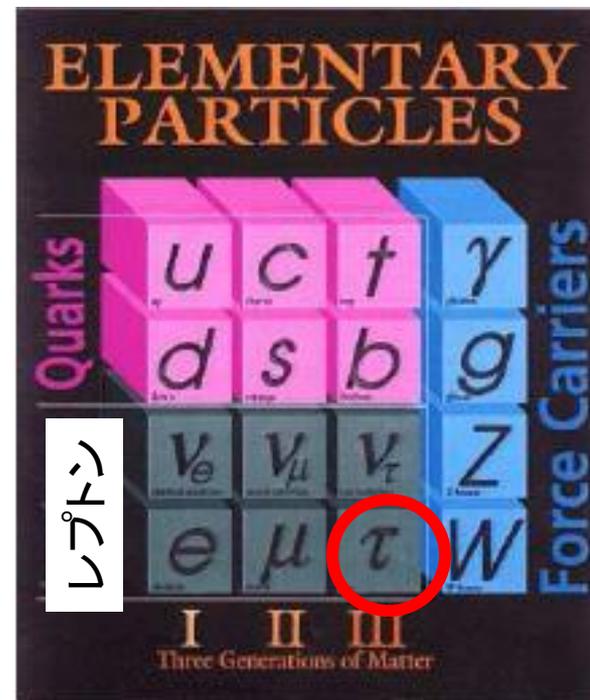
⇒今の実験では観測不可能



標準模型を超える多くの新しい物理では、

レプトンフレーバーの破れ(LFV)を予言している

⇒もし観測できれば、新しい物理の存在の証明



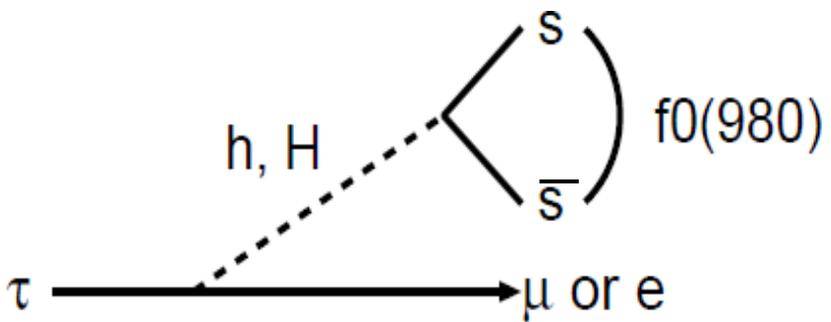
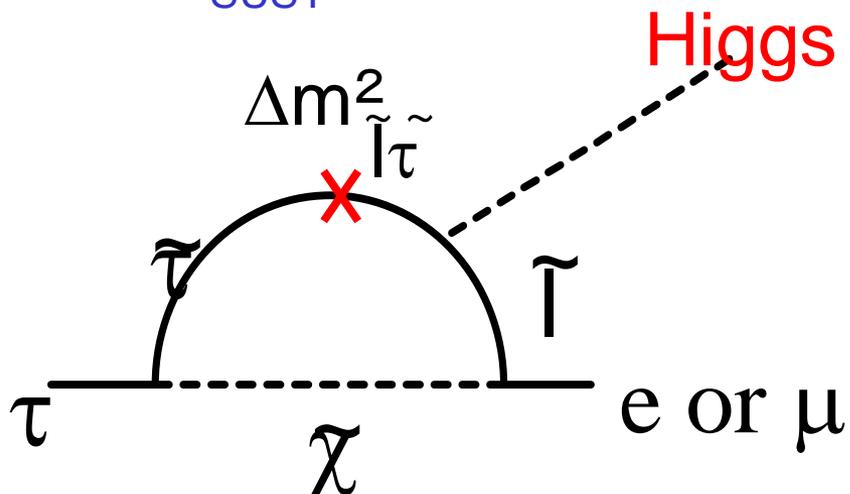
荷電レプトンの中で τ レプトンに注目

質量が大きい粒子のため、新しい物理の感度が強い

イントロダクション(2)

$\tau \rightarrow l + \text{Higgs}$

➡ Higgsが軽く、
 M_{SUSY} が重い時に重要



擬スカラーHiggs(A)の時は
 \Rightarrow 終状態に擬スカラーメソン
 ($A \rightarrow s\bar{s} \rightarrow \eta, \eta'$)

$$(6.5-16) \times 10^{-8} < \text{Br}(\tau \rightarrow l P^0) \\ @ 40 \text{ fb}^{-1} \text{ (PLB648,341(2007))}$$

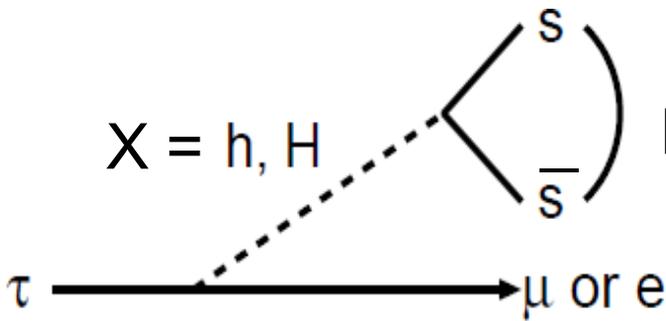
スカラーHiggs(h,H)の時は
 \Rightarrow 終状態にスカラーメソン or $K\bar{K}$
 ($h/H \rightarrow s\bar{s} \rightarrow f_0(980) \text{ or } K\bar{K}$)

$$\text{Br}(\tau \rightarrow \mu f_0(980)) : \text{Br}(\tau \rightarrow \mu\mu\mu) : \text{Br}(\tau \rightarrow \mu\eta) \\ = 1.3 : 0.54 : 1$$

(C.H.Chen et.al, Phys.Rev.D74:035010,2006)

イントロダクション (3)

$$\tau \rightarrow l + X$$



予想される理論値

$$\text{Br}(\tau \rightarrow l f_0(980)) \sim \text{Br}(\tau \rightarrow l K+K-)$$

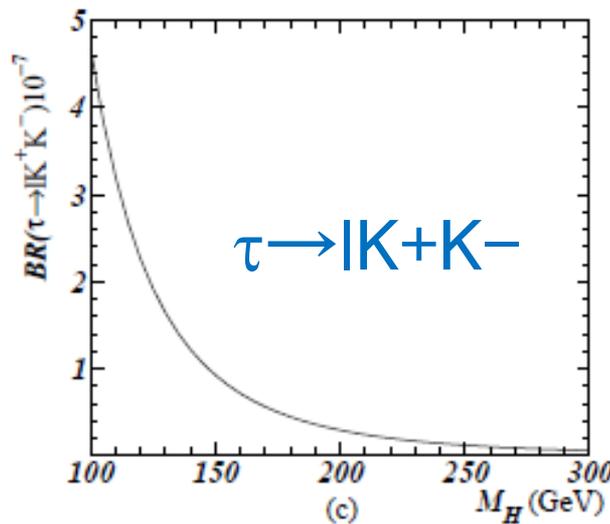
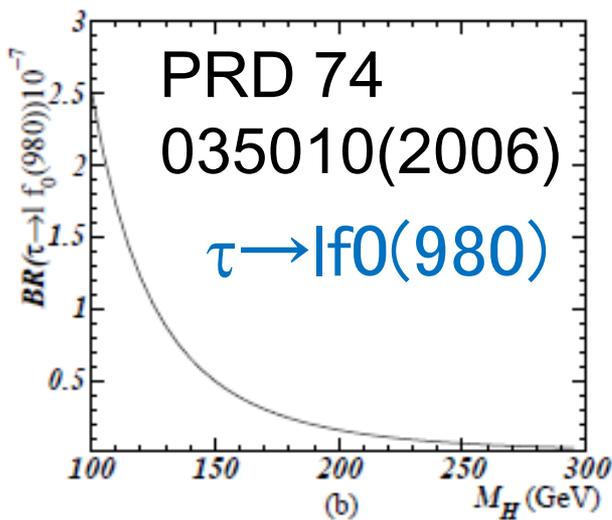
$$\leq O(10^{-7})$$



Xが γ の場合、

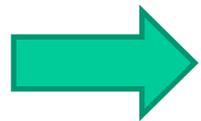
$$\text{Br}(\tau \rightarrow l \pi+\pi-) \gg \text{Br}(\tau \rightarrow l K+K-)$$

Belle実験で得られた大量の
タウレプトン対を使い、探索可能



イントロダクション(4)

- $\tau \rightarrow l f_0(980)$



探索は行われていなく、
今回が最初の探索

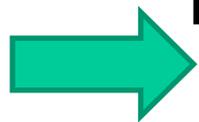
- $\tau \rightarrow l h h'$ ($h, h' = \pi \pm$ or $K \pm$)

LFV($\tau \rightarrow l h^+ h'^-$)だけでなく、Lepton Number Violation ($\tau \rightarrow l^+ h^- h'^+$)も解析
(全部で14モード)

以前の解析

$$\text{Br} < (1.6-8.0) \times 10^{-7} @ \text{Belle } 158 \text{fb}^{-1}$$

$$\text{Br} < (0.7-4.8) \times 10^{-7} @ \text{BaBar } 221 \text{fb}^{-1}$$



ルミノシティを671 fb^{-1} を増加

X4@Belle and X3@BaBar

解析方法

KEKB加速器とBelle検出器

KEKB加速器 (Bファクトリー)

電子: 8 GeV、陽電子: 3.5 GeV

⇒ 重心系エネルギー: 10.58 GeV

$\sigma(\text{BB}) \sim 1.1 \text{ nb}$, $\sigma(\tau\tau) \sim 0.9 \text{ nb}$

⇒ Bファクトリーは同時に
 τ ファクトリー

蓄積ルミノシティ: $> 770 \text{ fb}^{-1}$

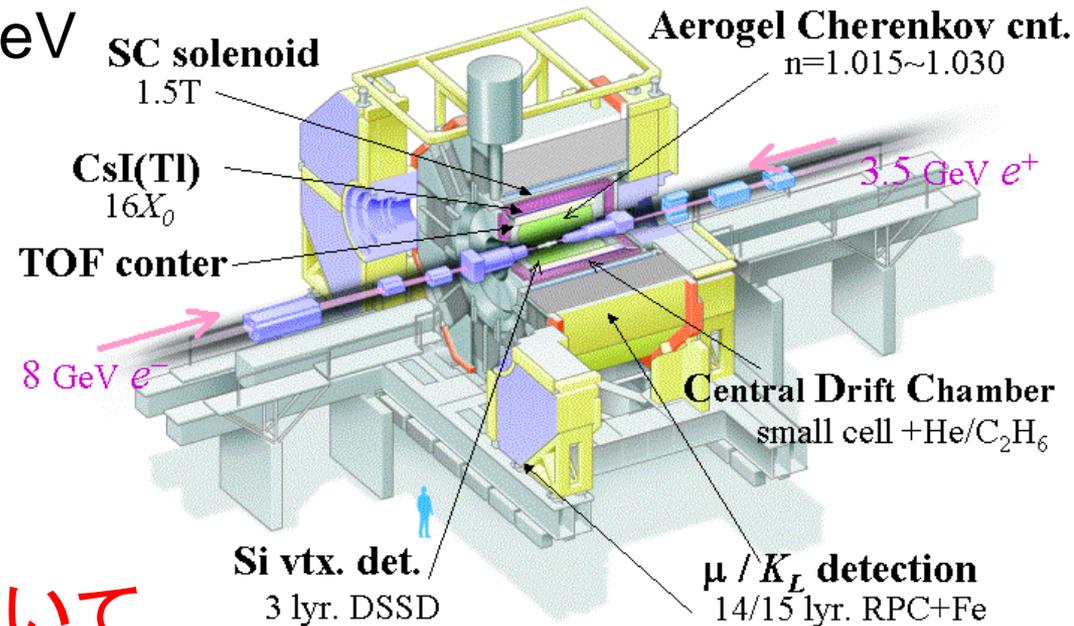
671 fb^{-1} 以上のデータを用いて

τ 対からのLFVの探索

～ 6×10^8 以上の τ 対を使用

➡ $\text{Br} \sim \mathcal{O}(10^{-8})$ まで探索可能

Belle検出器



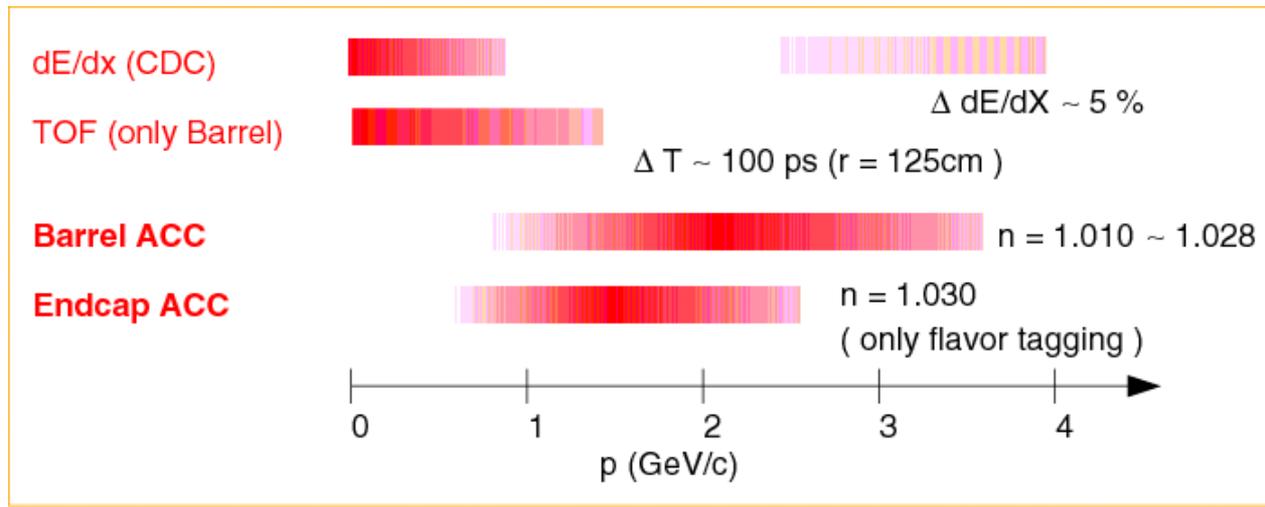
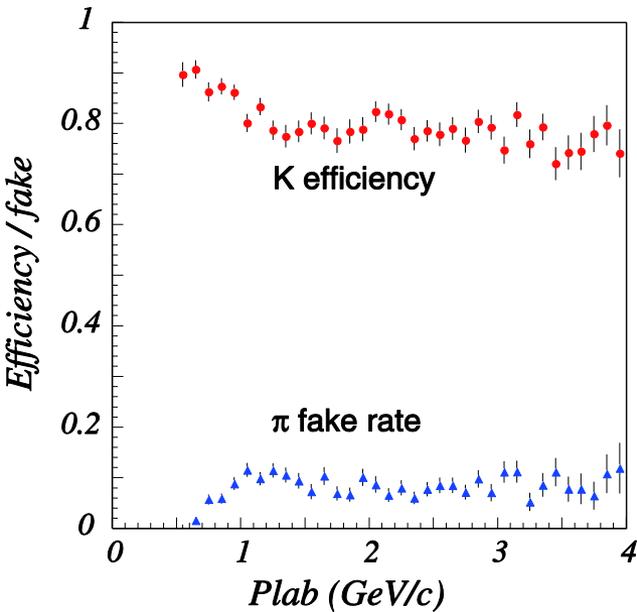
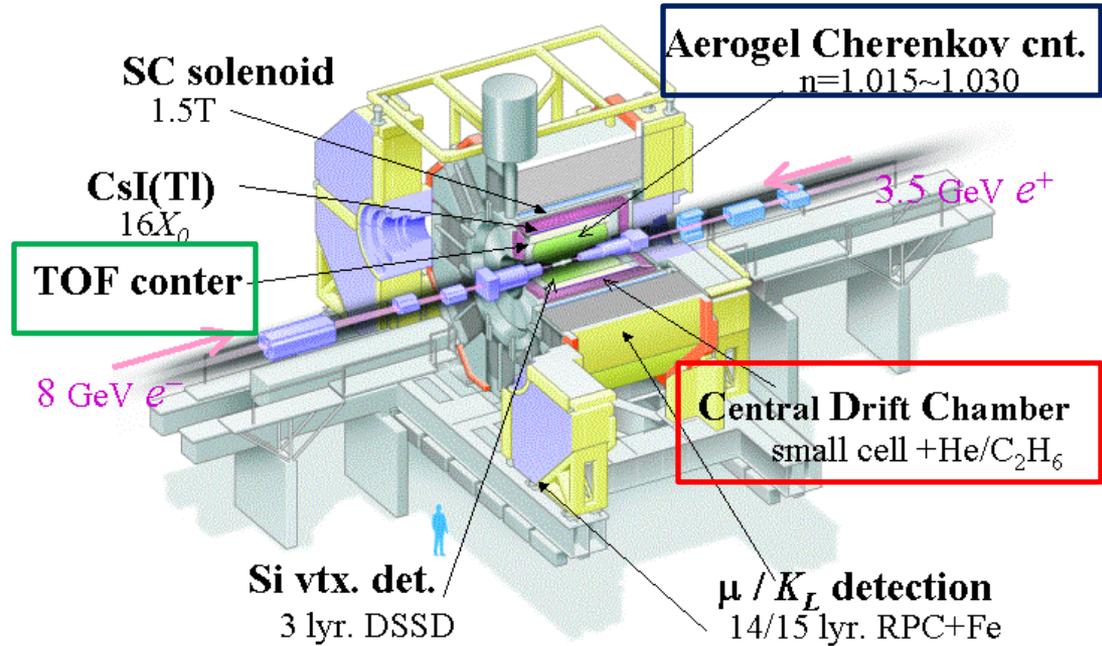
レプトンID eff. : 90%
 μ fake rate : 1~2%
e fake rate : 0.1 %

K/ π 識別

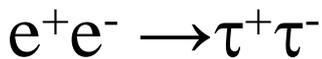
K/ π 識別が重要

CDC(dE/dx), ACC,
TOFの情報を使い
Likelihoodで識別

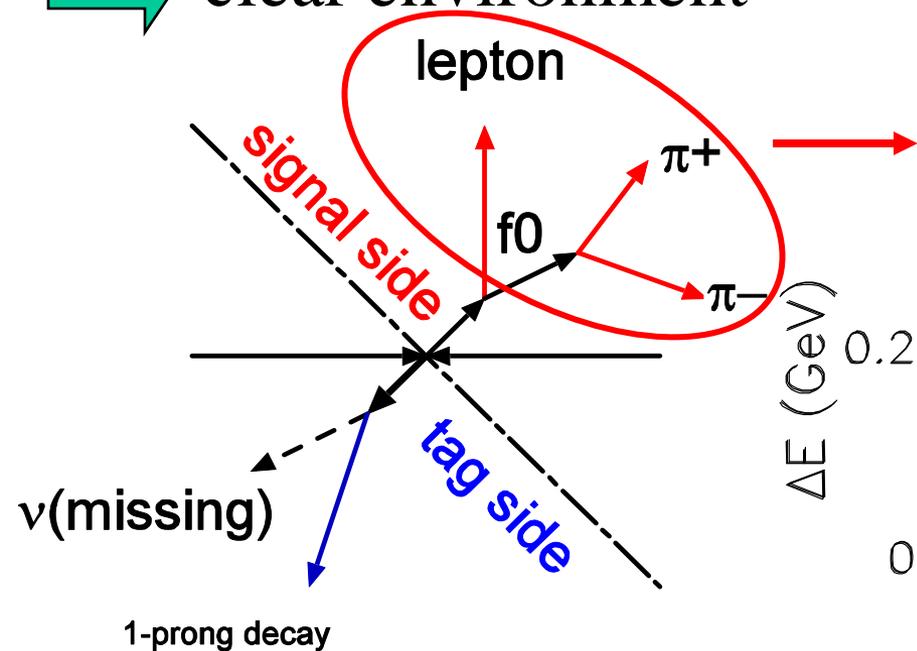
Belle Detector



解析方法



clear environment



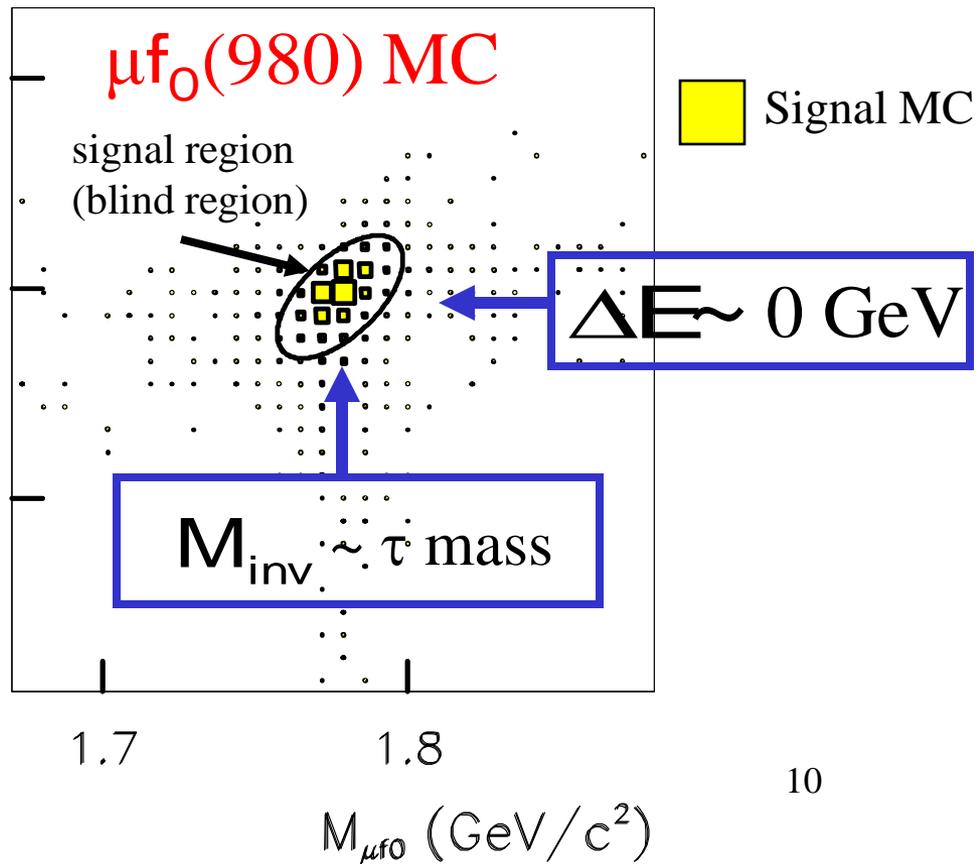
信号識別

$$M_{\text{inv}} = \sqrt{E_{\text{signal}}^2 - p_{\text{signal}}^2}$$

$$\Delta E = E_{\text{signal}}^{\text{CM}} - E_{\text{beam}}^{\text{CM}}$$

ΔE (GeV)

-0.2

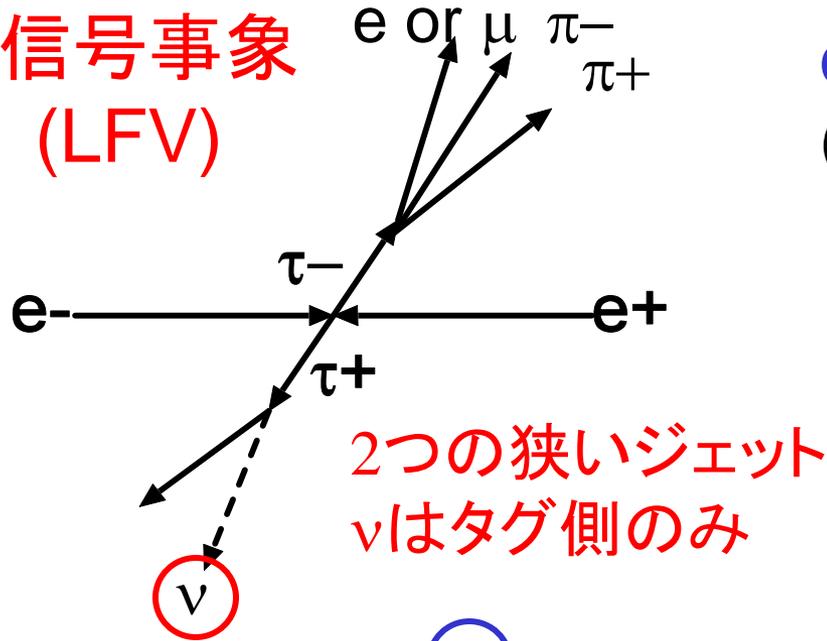


ブラインド解析を実行

サイドバンドのデータを使い、
背景事象数を推定

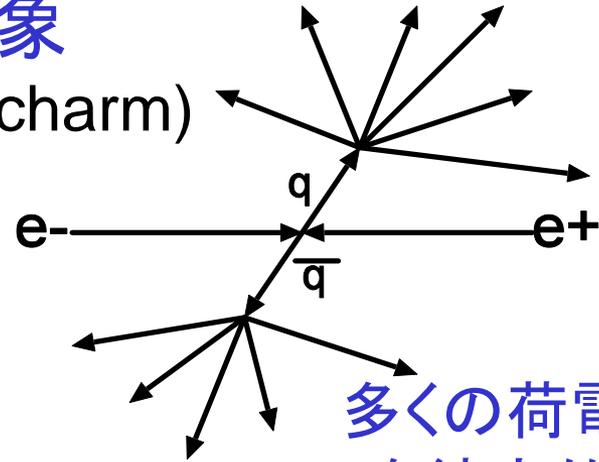
信号事象と背景事象

信号事象
(LFV)



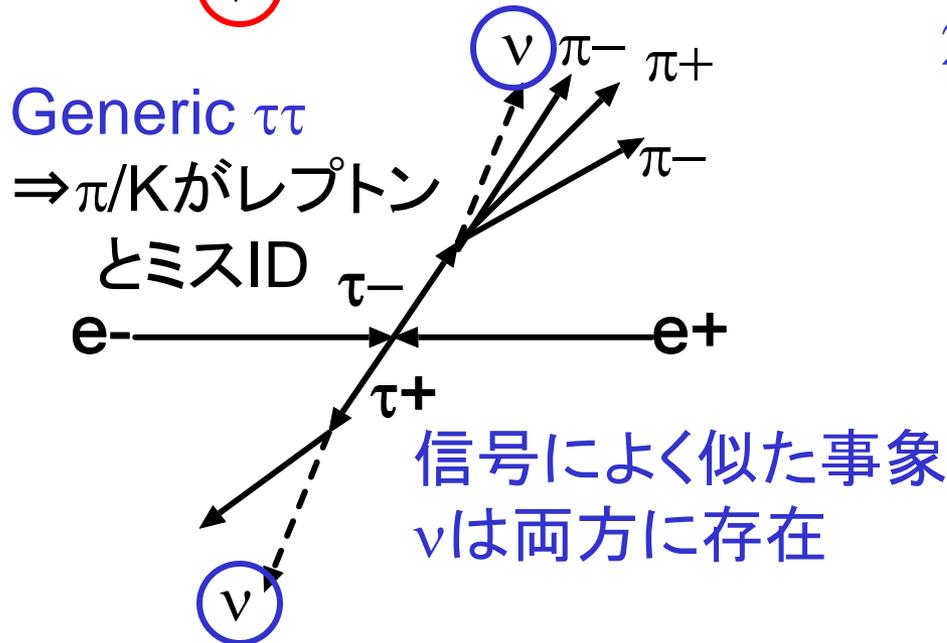
2つの狭いジェット
 ν はタグ側のみ

$q\bar{q}$ 事象
(uds, charm)



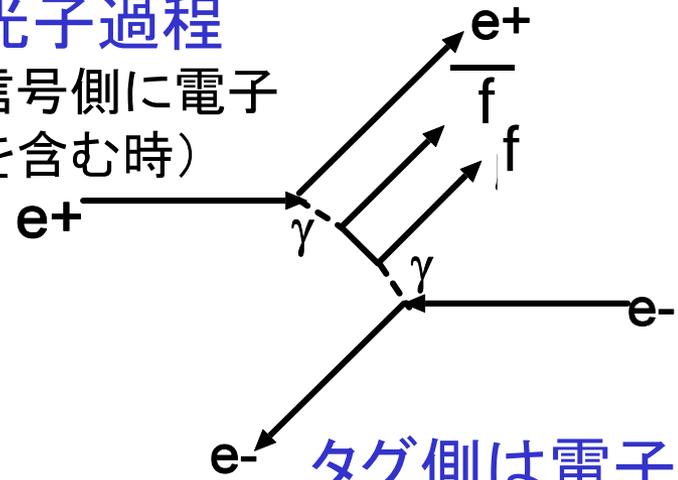
多くの荷電粒子や
 γ を統一的に生成

Generic $\tau\tau$
 $\Rightarrow \pi/K$ がレプトン
とミスID



信号によく似た事象
 ν は両方に存在

2光子過程
(信号側に電子
を含む時)



タグ側は電子を含む
 p_T バランスが小さい

解析結果

$$\tau \rightarrow |f_0(980)\rangle$$

$$\tau \rightarrow |hh\rangle$$

$\tau \rightarrow f_0(980) (1)$

Data: 671 fb^{-1}
 $\Rightarrow 6.17 \times 10^8 \tau$ -pairs

lepton (e or μ)

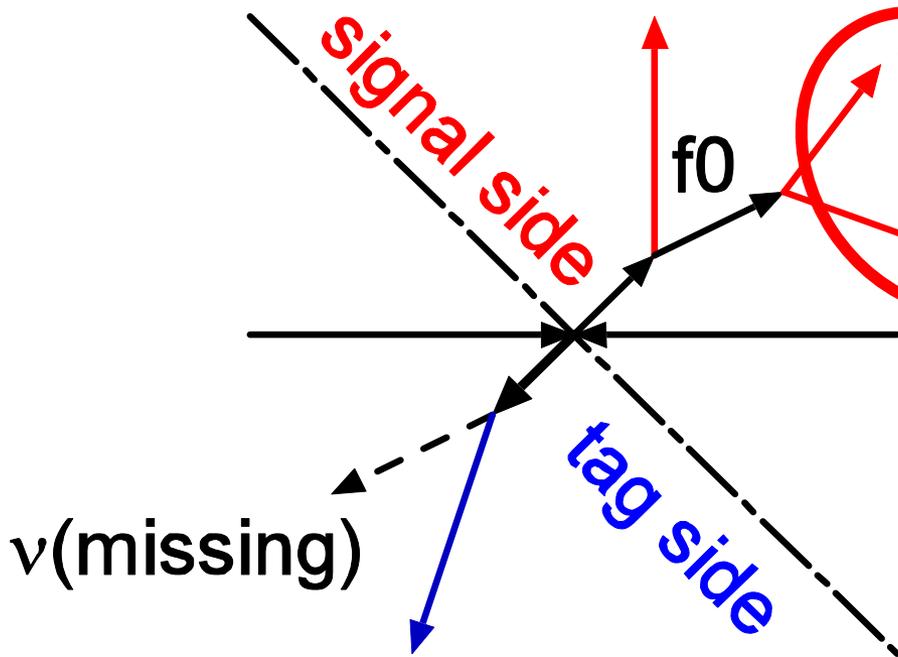
信号側

荷電粒子が3本を含む

\Rightarrow 電子かミューオン ($> 0.8 \text{ GeV}/c$)

π^+, π^- ($p_T > 0.1 \text{ GeV}/c$)

γ ($E > 0.1 \text{ GeV}$) は0本



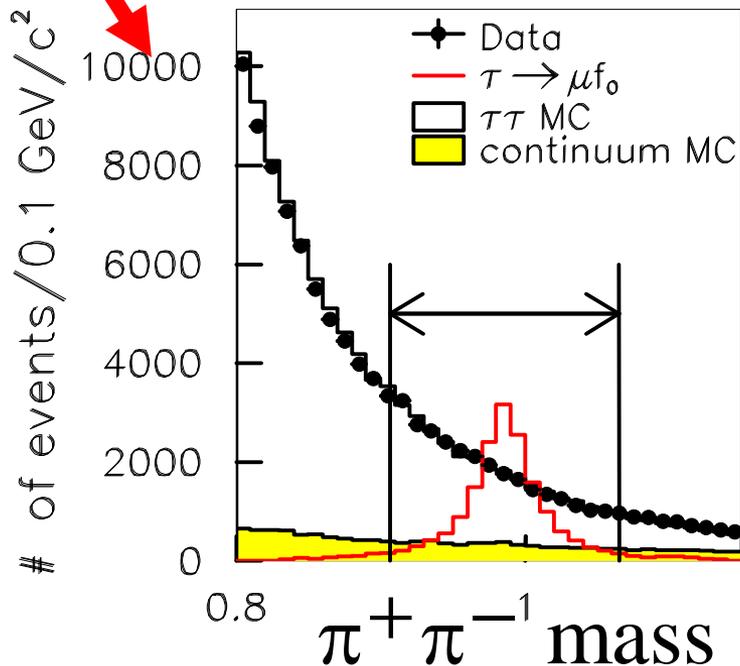
1-prong decay

タグ側 (τ の全崩壊分岐比 $\sim 85\%$)
 荷電粒子を1本を含む崩壊を選択

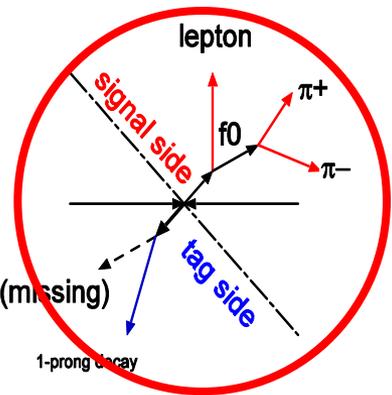
\Rightarrow 荷電粒子1本 ($p_T > 0.1 \text{ GeV}/c$),

欠損運動量 ($> 0.8 \text{ GeV}/c$), $\geq 0 \gamma$ ($E > 0.1 \text{ GeV}$)

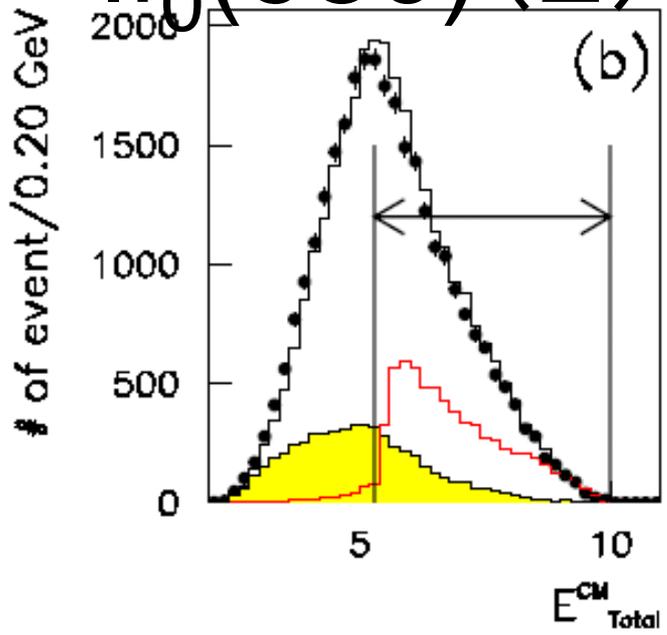
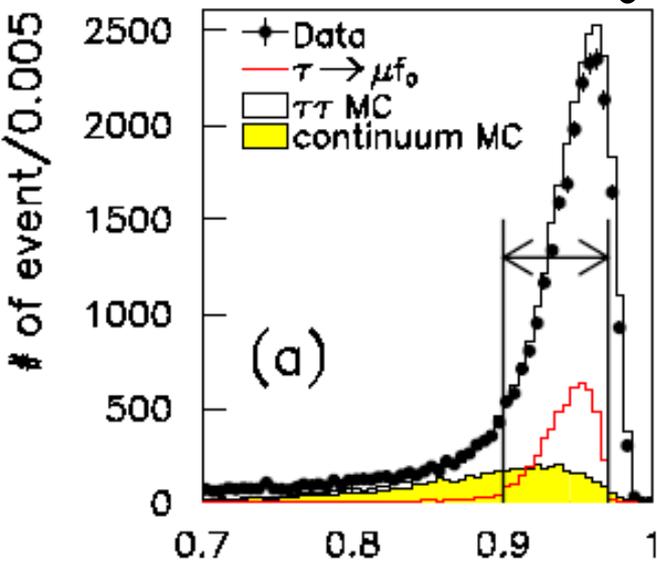
Fit $m_{\pi\pi}$ dist. by gaussian func.
 $\Rightarrow \pm 4\sigma$ 領域を選択



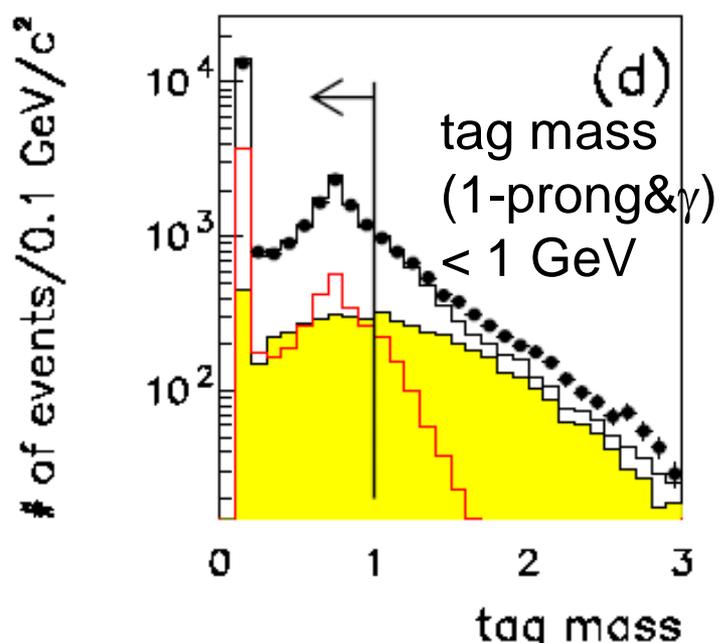
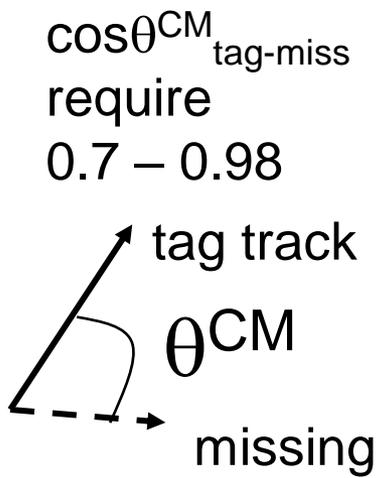
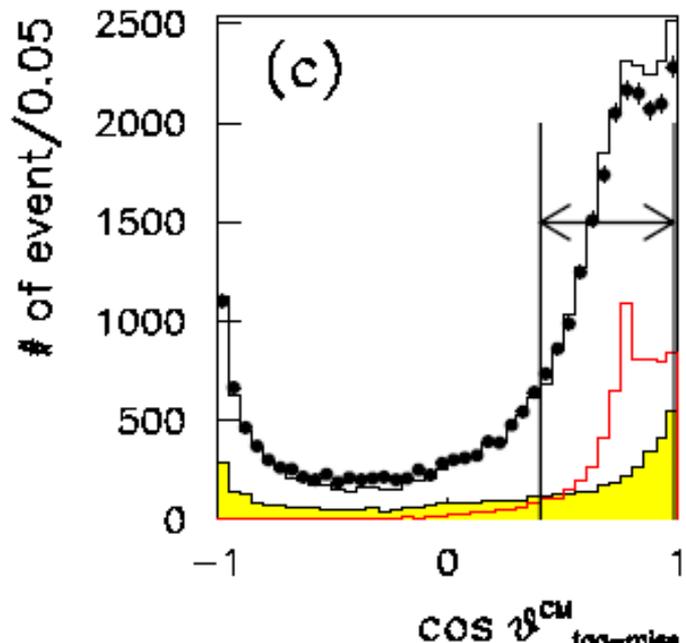
$\tau \rightarrow f_0(980) (2)$



Energy sum with all tracks and γ at CM system
5.29 - 10.0 GeV



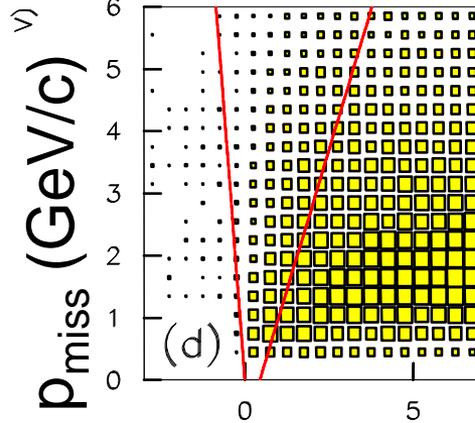
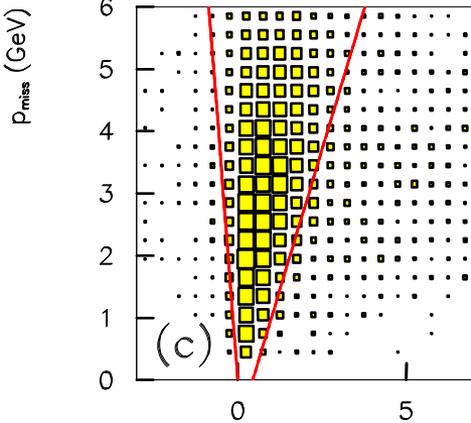
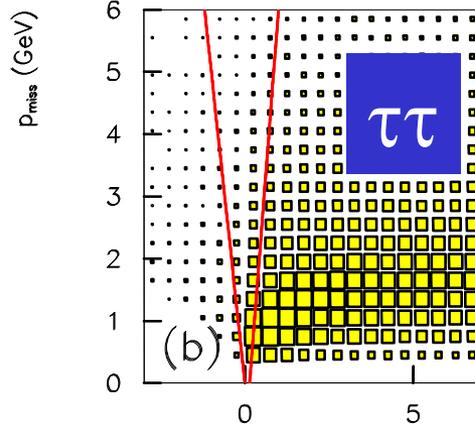
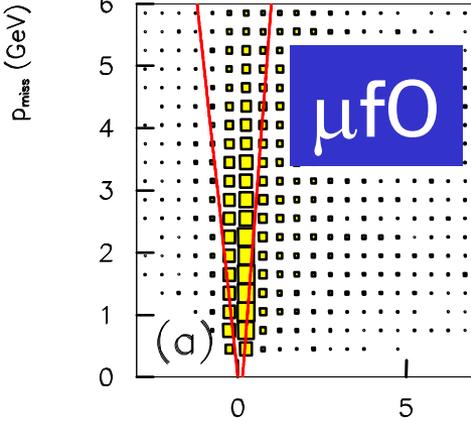
Thrust using all tracks and γ at CM



$\tau \rightarrow f_0(980) (3)$

タグ側がハドロニック崩壊

欠損運動量 (p_{miss}) と欠損質量 (m_{miss}^2) の
 相関などを利用



(μf_0 MC) m_{miss}^2 ((GeV/c²)²)

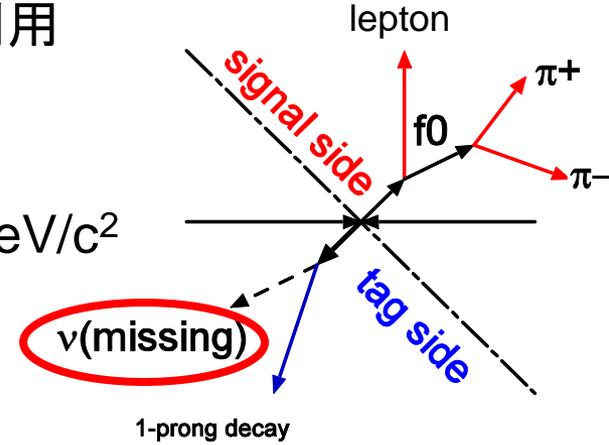
($\tau\tau$ MC) m_{miss}^2 ((GeV/c²)²)

m_{miss}^2 ((GeV/c²)²)

タグ側がレプトニック崩壊

信号事象

$m_{\text{miss}}^2 \sim 0 \text{ GeV}/c^2$



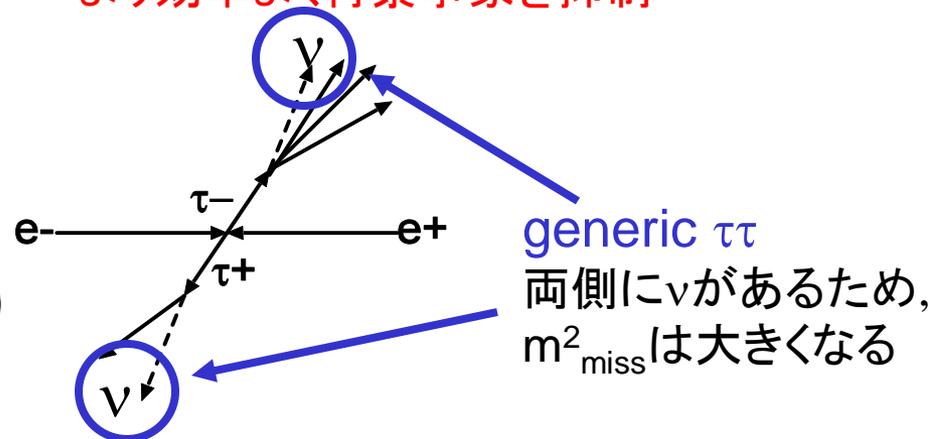
さらにタグ側の崩壊モードで場合分け
 ハドロニック崩壊 ($\tau^- \rightarrow \rho^- \nu, \pi^- \nu$ etc)

⇒ タグ側に1つの ν

レプトニック崩壊 ($\tau^- \rightarrow e^- \nu \nu, \mu^- \nu \nu$)

⇒ タグ側に2つの ν

より効率よく背景事象を抑制



$\tau \rightarrow f_0(980) (4)$

検出効率 予想される背景事象数

$\mu_{f0} : 6.02\% \quad 0.11 \pm 0.08 \text{ events}$ 信号領域に残ったデータ
 $e_{f0} : 5.80\% \quad 0.10 \pm 0.07 \text{ events}$ \Rightarrow 信号は両モードとも観測されず

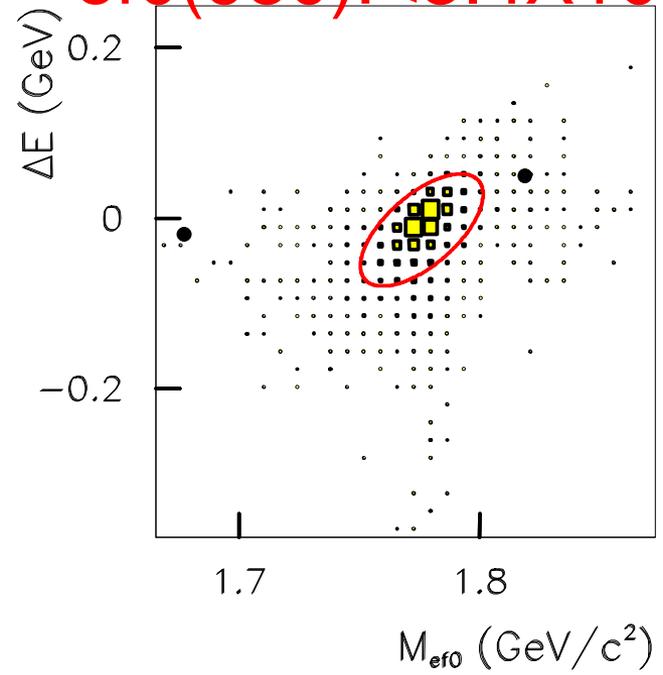
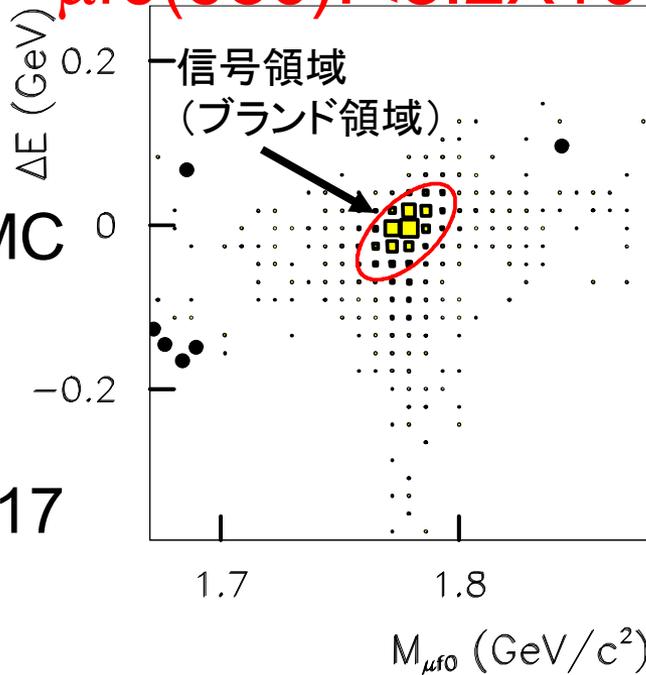
90% C.L. の上限値で分岐比を設定

$$\text{Br}(\tau \rightarrow f_0(980)) \times \text{Br}(f_0(980) \rightarrow \pi^+ \pi^-) < \frac{S_{90}}{2N_{\tau\tau} \times \text{Eff.}}$$

$\mu_{f0}(980) : < 3.2 \times 10^{-8}$

$e_{f0}(980) : < 3.4 \times 10^{-8}$

● data
 ■ signal MC



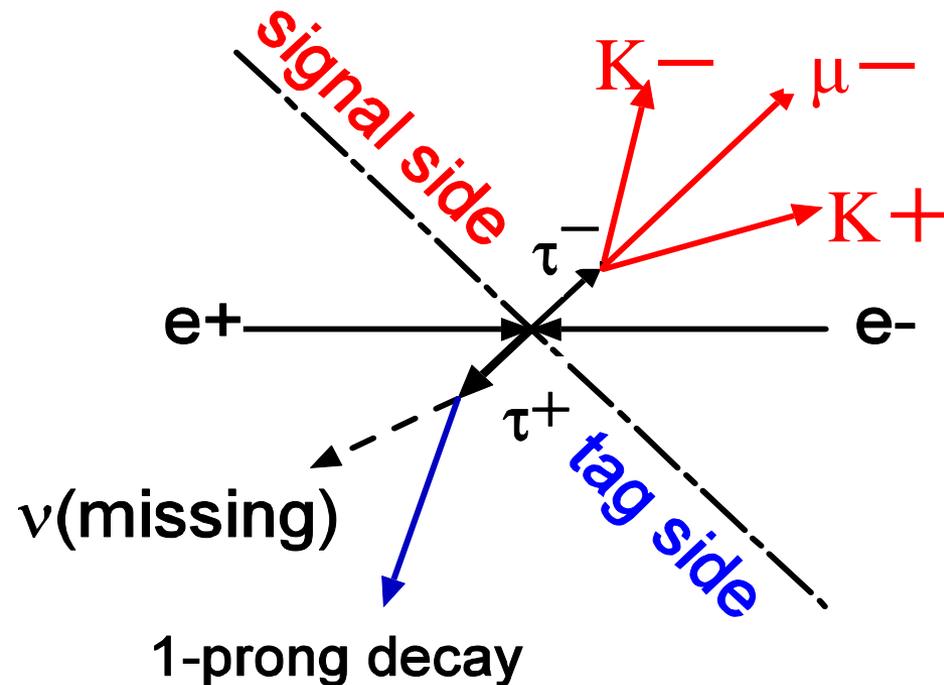
PLB672, 317
 (2009)

$\tau \rightarrow h h' (1)$

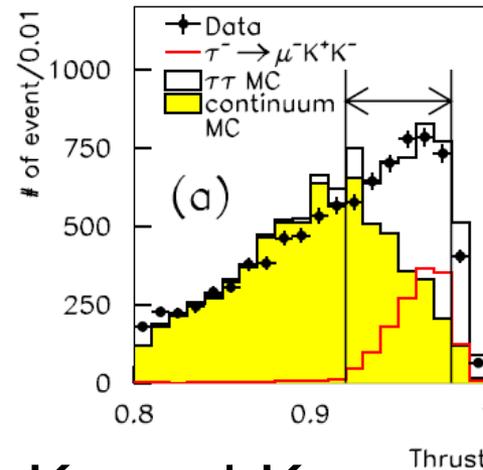
事象選択：基本は $f_0(980)$ と一緒に

➡ 背景事象の増加のため、事象選択をきつくした

For h/h' ($p_T > 0.1 \text{ GeV}/c$)
 $\Rightarrow L(K/\pi) > 0.8 / < 0.4$ for K/π



• p_{lepton} & Thrust
 \Rightarrow 事象ごとに決定



- K_S and K_L veto
- K^- -veto for tag-side in $\mu K \pi$ modes
- e^- -veto for tag-side in ehh modes

$\tau \rightarrow l h h'$ (2)

● $\tau \rightarrow \mu h h'$

Expected BG: (0.1-1.3) events

→ Main BG generic $\tau\tau$ and qq

Eff. (2.1-3.8)%



選別後の信号領域

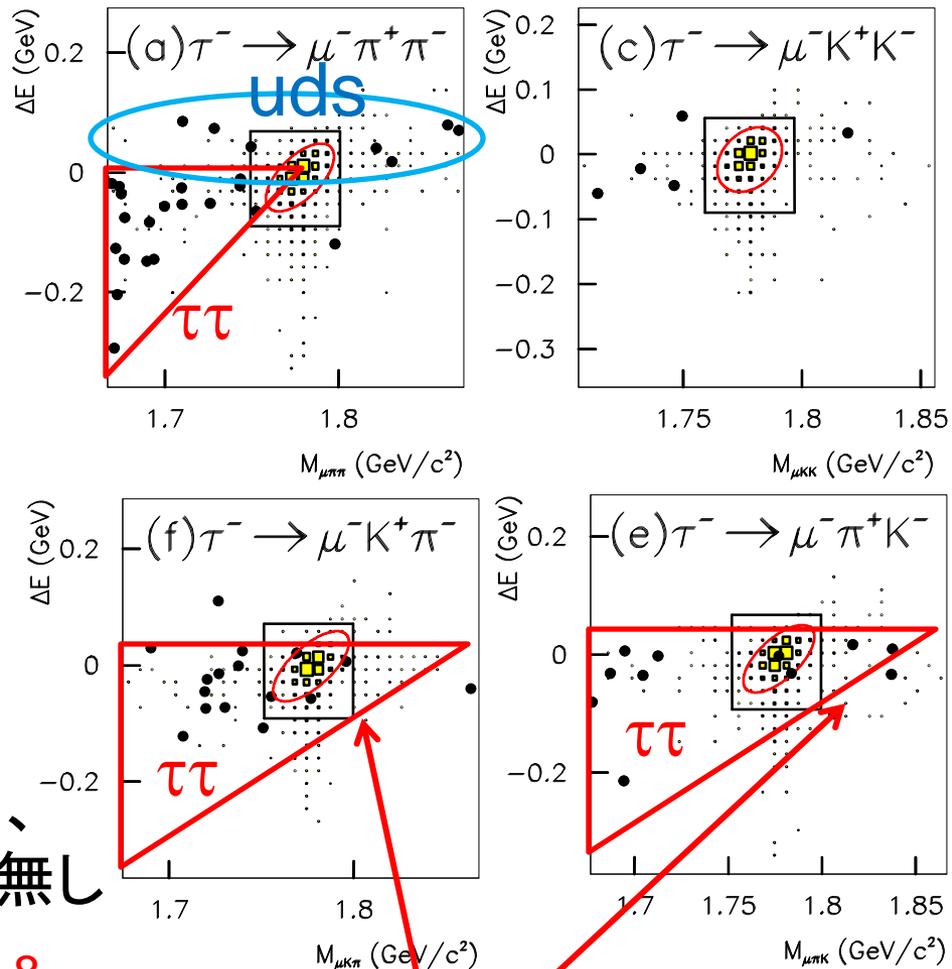
- 2 events for $\mu\text{-}\pi\text{+}K\text{-}$
- 1 event for $\mu\text{-}K\text{+}\pi\text{-}$, $\mu\text{-}\pi\text{+}K\text{-}$
- 0 event for other modes

→ 予想される背景事象にくらべて、
観測された信号数は優位性は無し

$$\text{Br}(\tau \rightarrow \mu h h') < (3.4 \sim 15) \times 10^{-8}$$

(preliminary)

⇒ PDGより(1.8~8.5)倍向上



$\tau \rightarrow 3\pi\nu$ において、
 π をKと誤認識したため、
 M_{τ} 以上にシフト

$\tau \rightarrow l h h'$ (3)

● $\tau \rightarrow e h h'$

Expected BG: (0.0-0.6) events

→ Main BG two-photon events

Eff. (2.8-4.0)%



選別後の信号領域

• 1 event for $e^+\pi^-\pi^-$

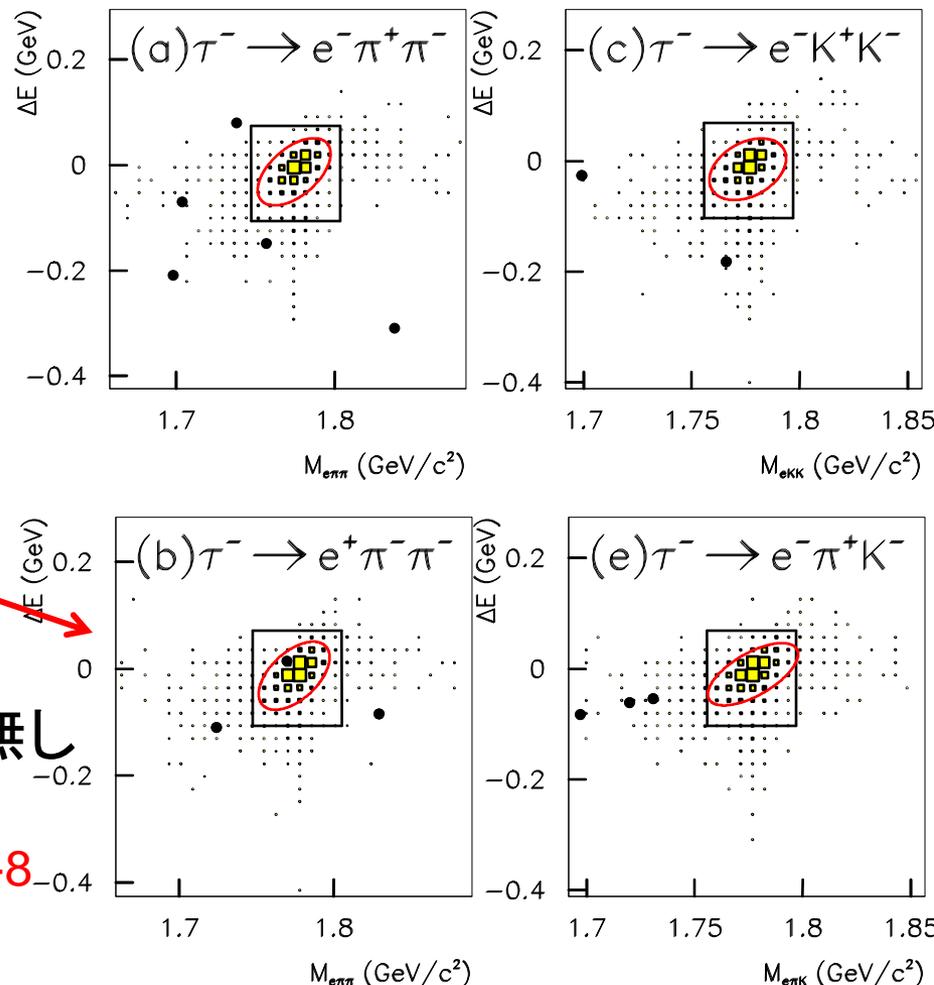
• 0 event for other modes

→ 予想される背景事象にくらべて、
観測された信号数は優位性は無し

$Br(\tau \rightarrow e h h') < (4.4 \sim 8.7) \times 10^{-8}$

(preliminary)

⇒ PDGより(2.5~5.6)倍向上



まとめ

まとめ

Belle実験で得られた 6×10^8 の τ レプトン対のデータを使用し、
レプトンフレーバーを破る τ レプトン崩壊事象の探索



事象選択を最適化する事により
背景事象を十分に抑制に成功

$$* \text{Br}(\tau \rightarrow f_0(980)) \times \text{Br}(f_0(980) \rightarrow \pi^+ \pi^-) \\ < (3.2 \sim 3.4) \times 10^{-8} \text{ @ } 671 \text{ fb}^{-1}$$

⇒ 初めての探索 (PLB 672,317(2009))

$$* \text{Br}(\tau \rightarrow e h h') < (4.4 \sim 8.7) \times 10^{-8} \text{ @ } 671 \text{ fb}^{-1}$$

$$* \text{Br}(\tau \rightarrow \mu h h') < (3.4 \sim 15) \times 10^{-8} \text{ @ } 671 \text{ fb}^{-1}$$

⇒ (1.8 ~ 8.5) 倍向上

論文を準備中

preliminary