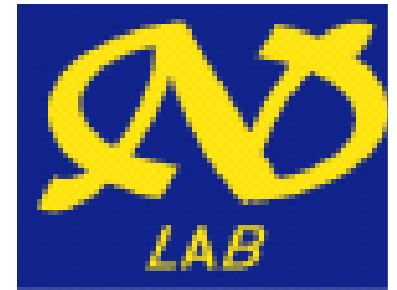


# レプトンフレーバーを破る タウレプトン崩壊事象の探索



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 $\text{Br}(\tau \rightarrow l \gamma) < O(10^{-50})$

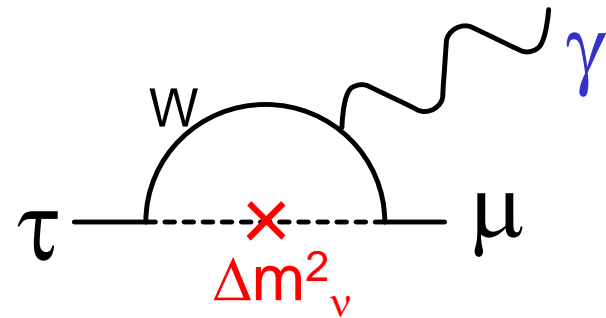
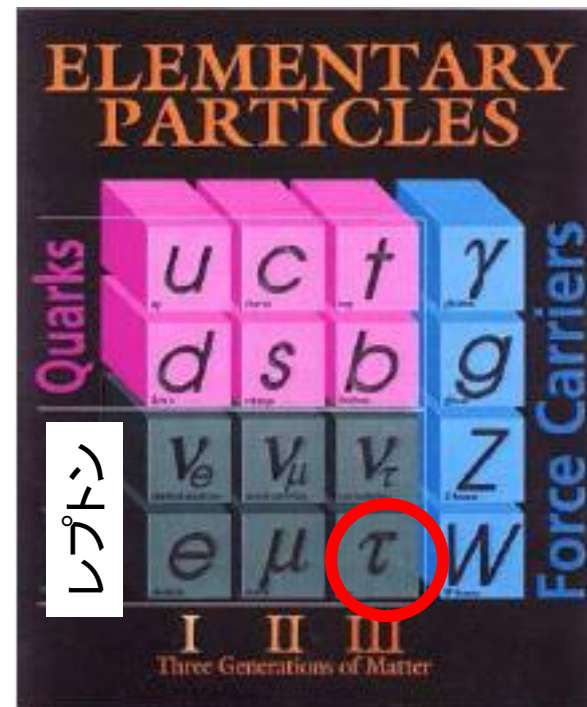
⇒今の実験では観測不可能



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



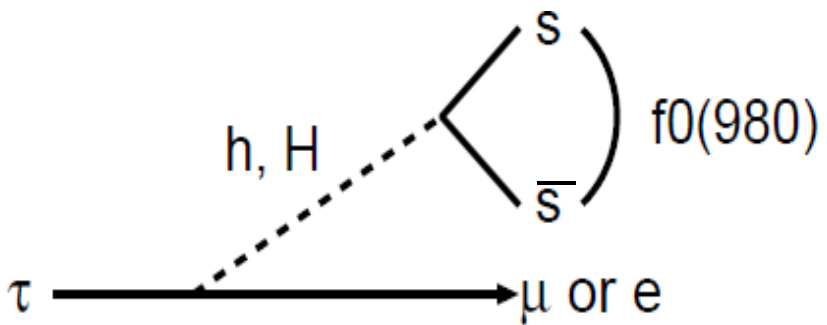
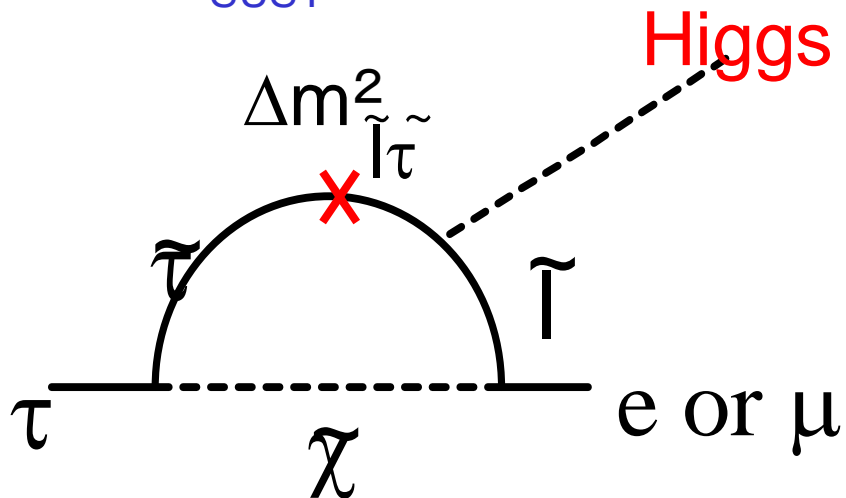
荷電レプトンの中で $\tau$ レプトンに注目

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、  
 $M_{\text{SUSY}}$ 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  
 ( $A \rightarrow s\bar{s} \rightarrow \eta, \eta'$ )

$$(6.5-16) \times 10^{-8} < \text{Br}(\tau \rightarrow l P^0) \\
 @ 40 \text{ fb}^{-1} \quad (\text{PLB}648, 341(2007))$$

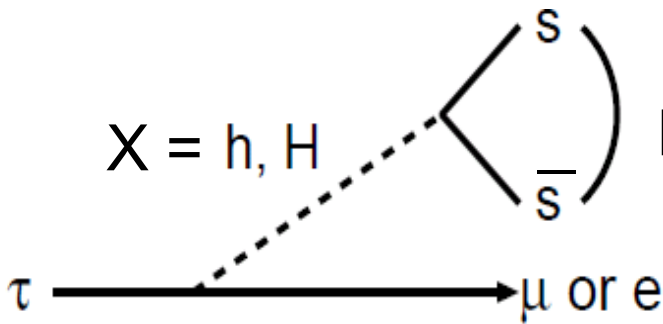
スカラーHiggs(h,H)の時は  
 $\Rightarrow$  終状態にスカラーメソン or  $K\bar{K}$   
 ( $h/H \rightarrow s\bar{s} \rightarrow f_0(980) \text{ or } K\bar{K}$ )

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

(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

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

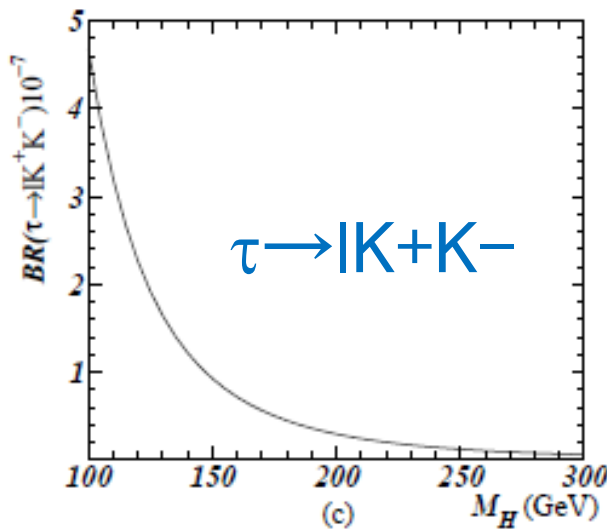
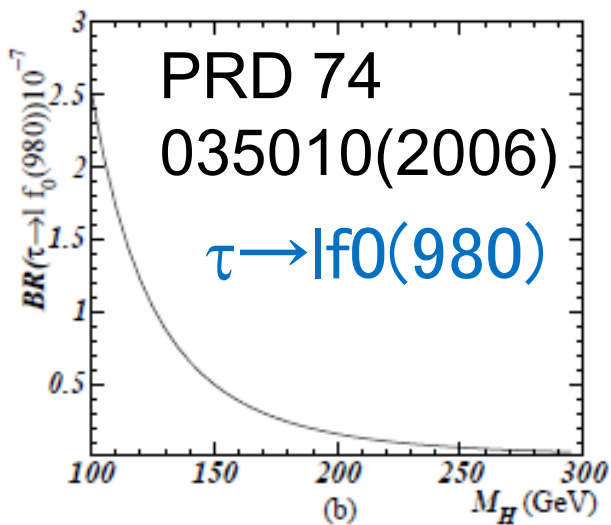
$$\leq O(10^{-7})$$



Xが $\gamma$ の場合、

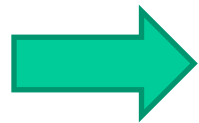
$$\text{Br}(\tau \rightarrow l \pi^+ \pi^-) \gg \text{Br}(\tau \rightarrow l K^+ K^-)$$

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

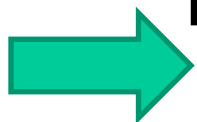
- $\tau \rightarrow l h h'$  ( $h, h' = \pi \pm$  or  $K \pm$ )

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  $\text{fb}^{-1}$ 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  
 $\tau$ ファクトリー

蓄積ルミノシティ:  $> 770 \text{ fb}^{-1}$

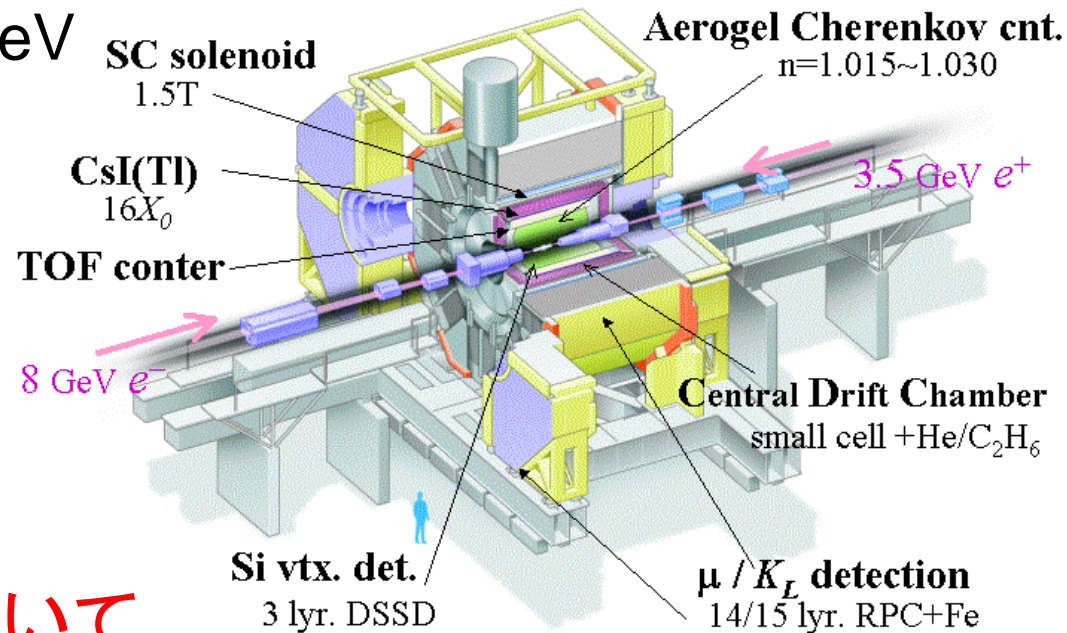
671  $\text{fb}^{-1}$ 以上のデータを用いて

$\tau$ 対からのLFVの探索

～ $6 \times 10^8$ 以上の $\tau$ 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%  
 $\mu$  fake rate : 1~2%  
e fake rate : 0.1 %

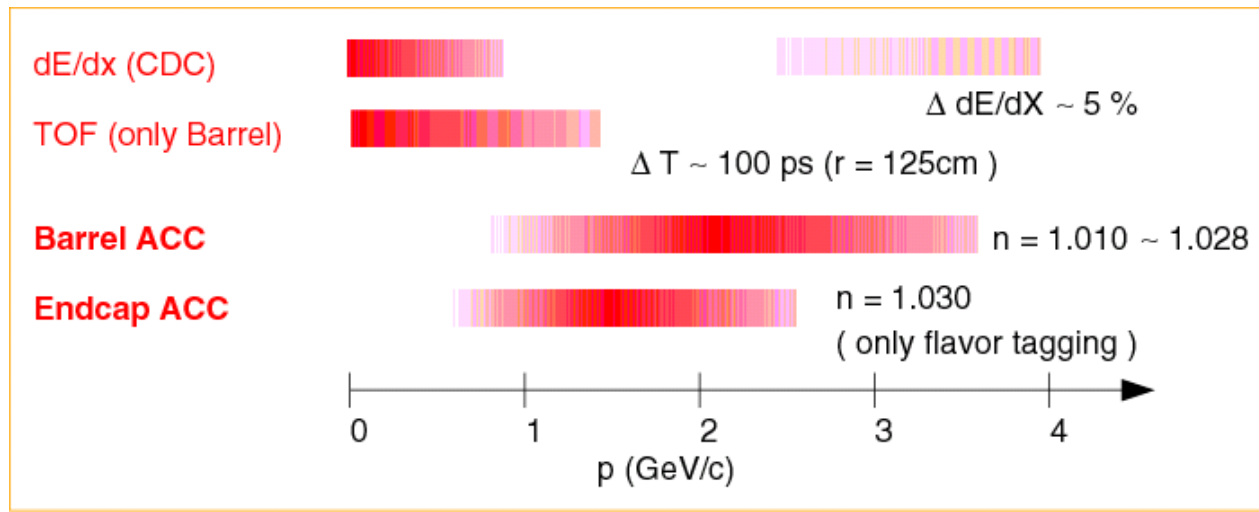
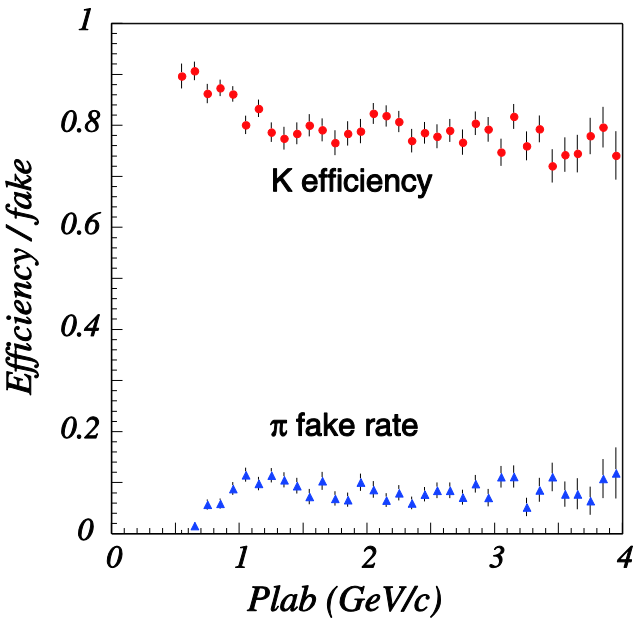
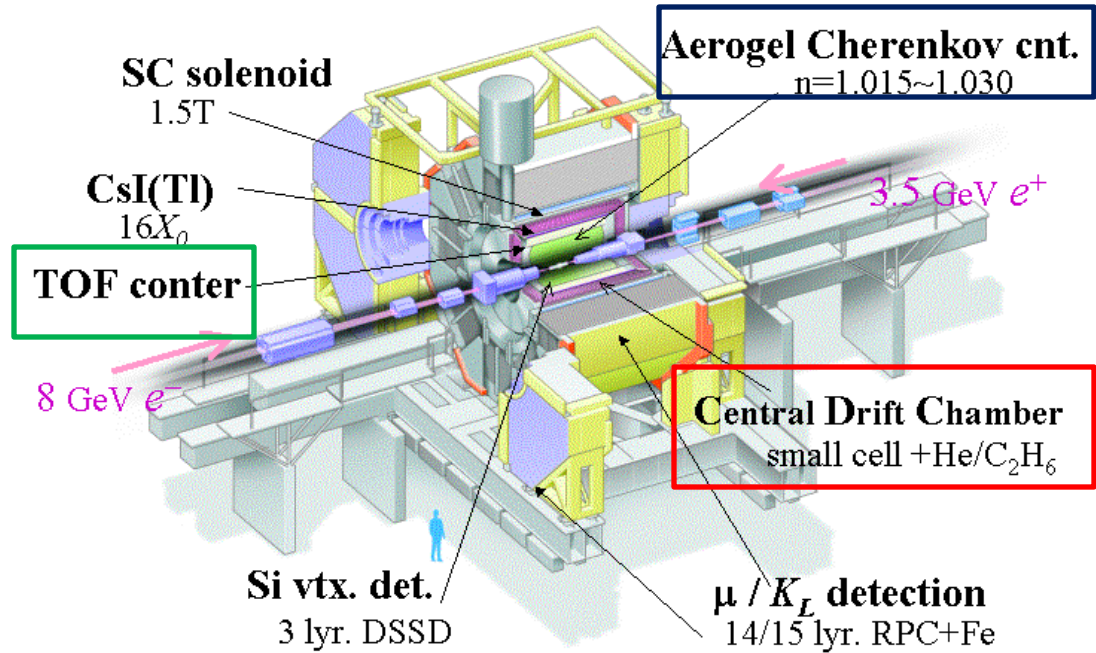


# K/ $\pi$ 識別

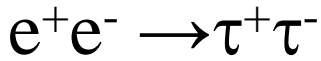
K/ $\pi$  識別が重要

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

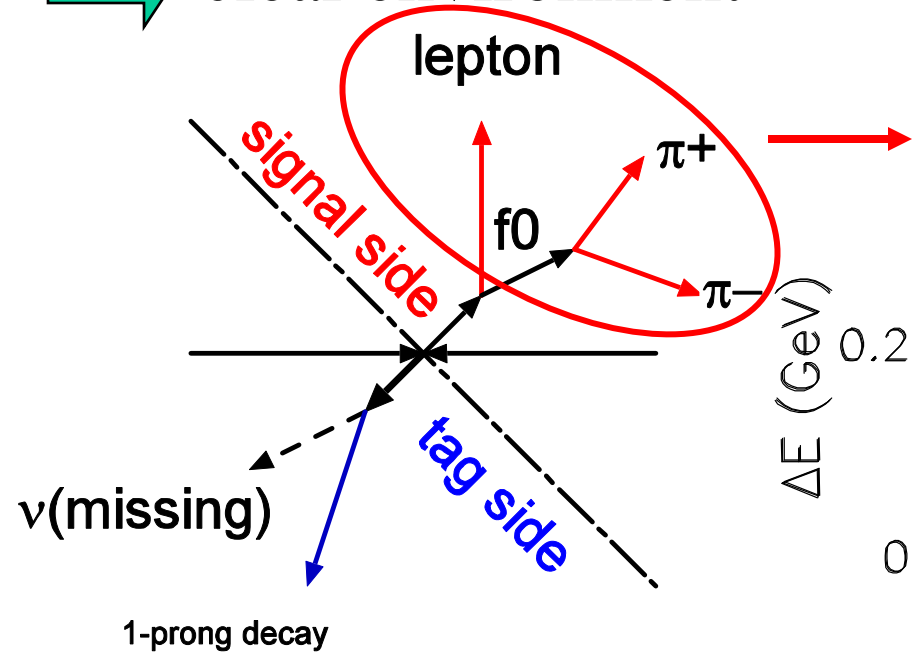
## Belle Detector



# 解析方法



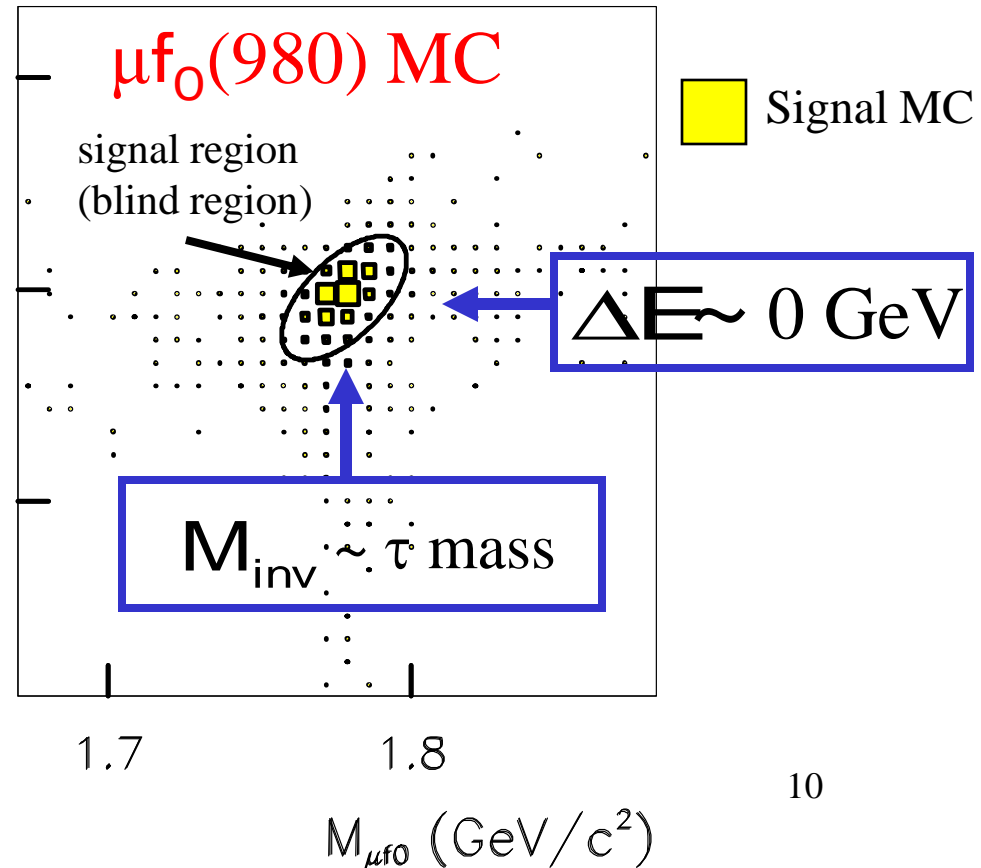
clear environment



信号識別

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

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

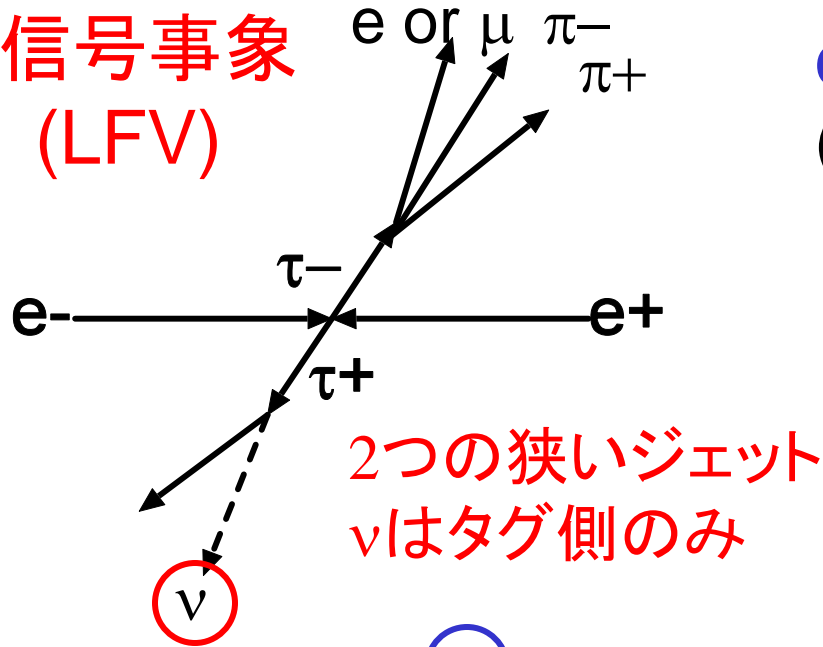


ブラインド解析を実行

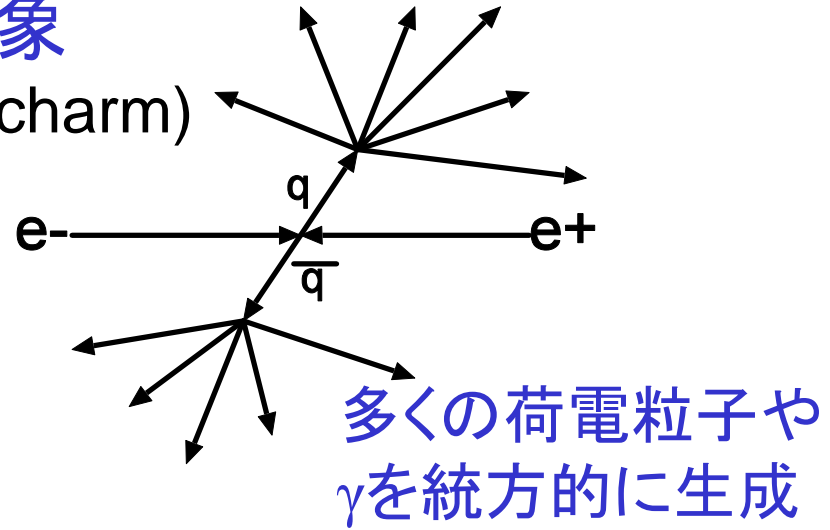
サイドバンドのデータを使い、  
背景事象数を推定

# 信号事象と背景事象

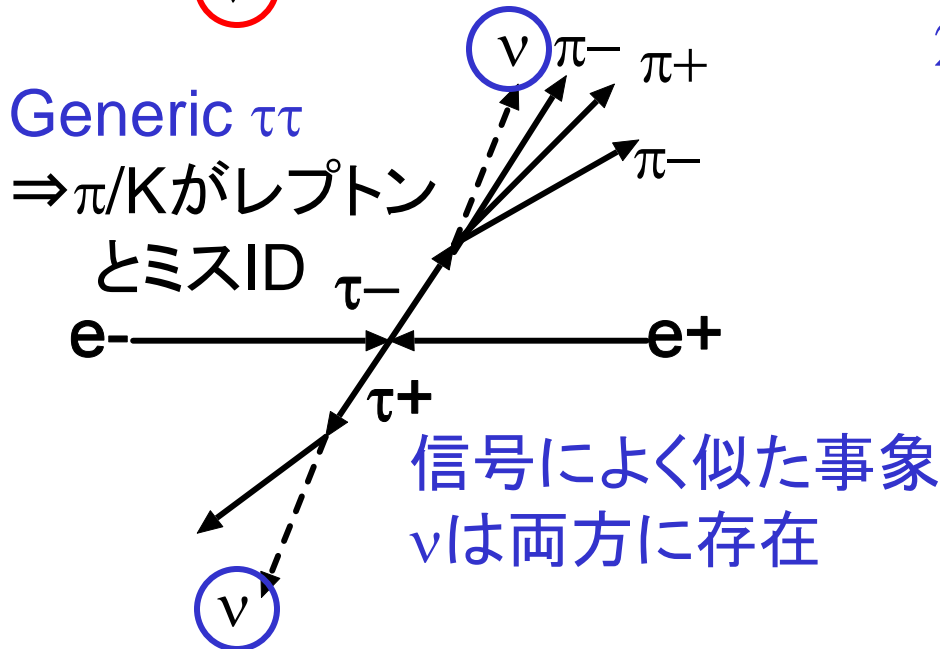
信号事象  
(LFV)



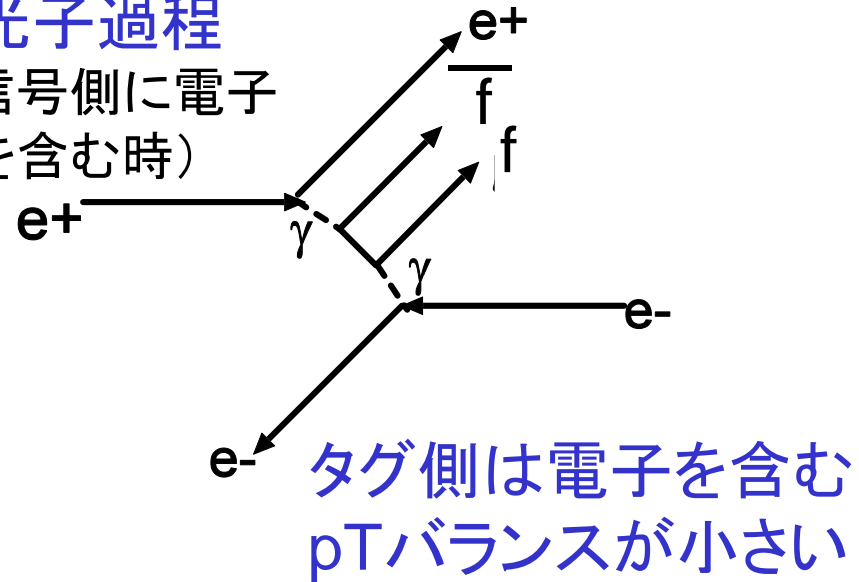
$q\bar{q}$ 事象  
(uds, charm)



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



2光子過程  
(信号側に電子  
を含む時)



# 解析結果

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

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

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

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

lepton (e or  $\mu$ )

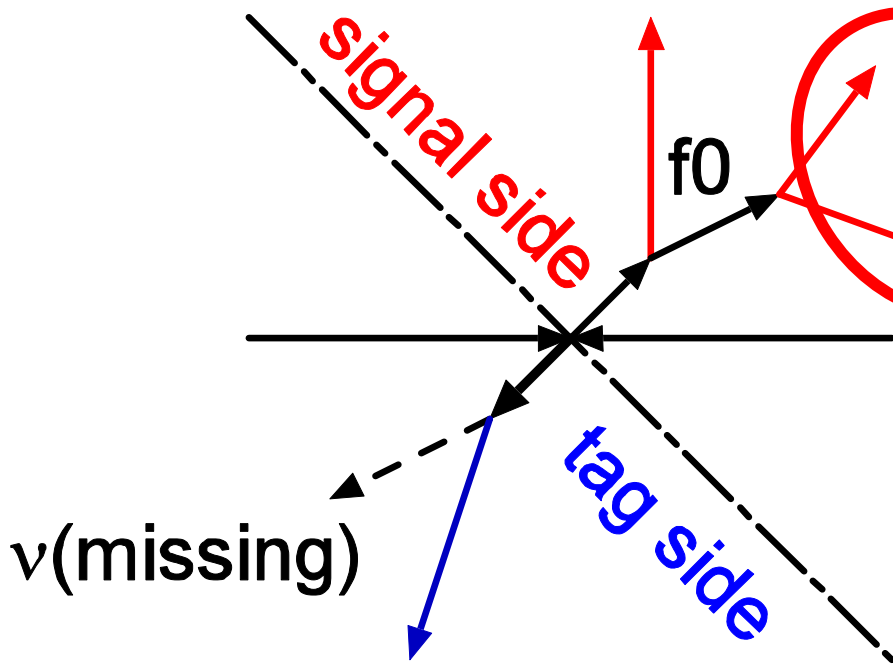
信号側

荷電粒子が3本を含む

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

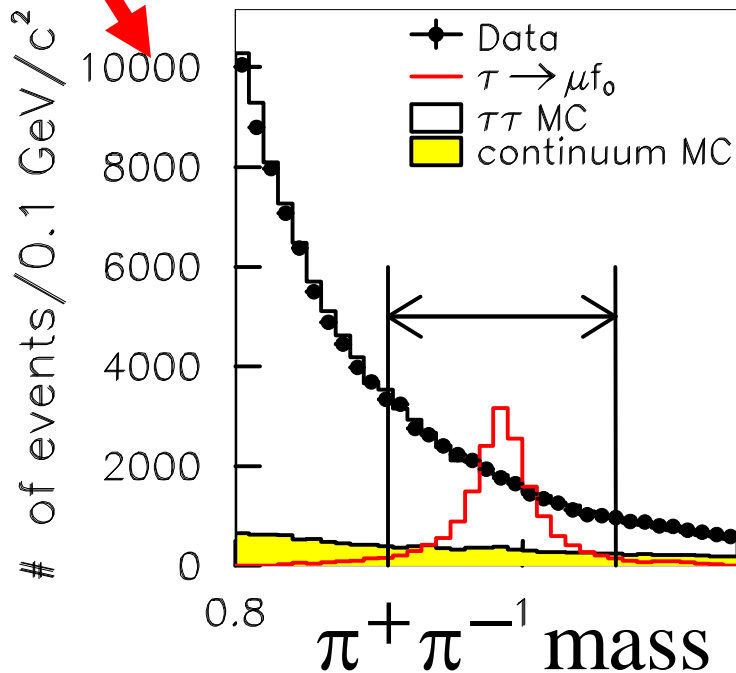
$\pi^+, \pi^-$  ( $p_T > 0.1 \text{ GeV}/c$ )

$\gamma$  ( $E > 0.1 \text{ GeV}$ ) は0本



Fit  $m_{\pi\pi}$  dist. by gaussian func.

$\Rightarrow \pm 4\sigma$  領域を選択



1-prong decay

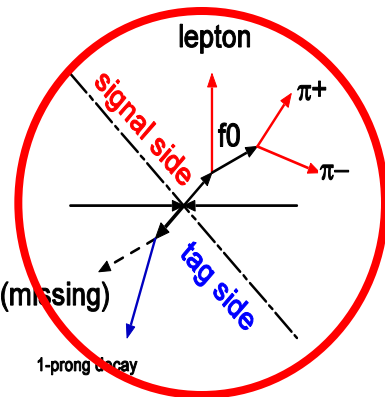
タグ側 ( $\tau$  の全崩壊分岐比  $\sim 85\%$ )

荷電粒子を1本を含む崩壊を選択

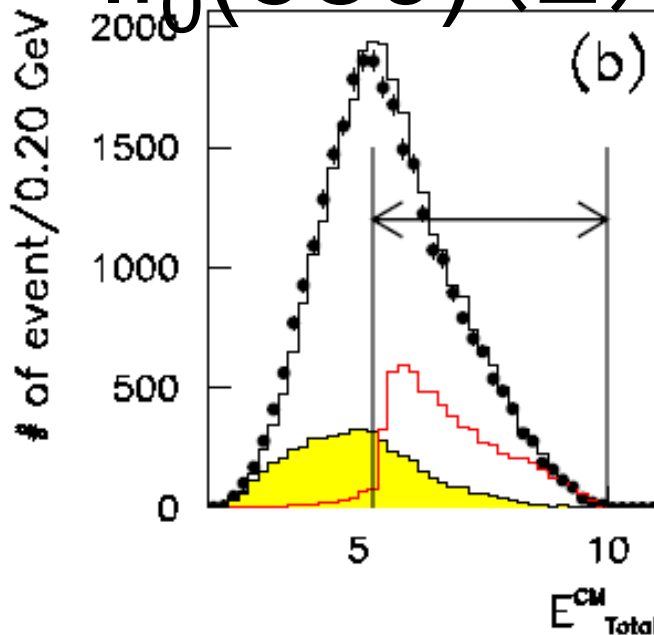
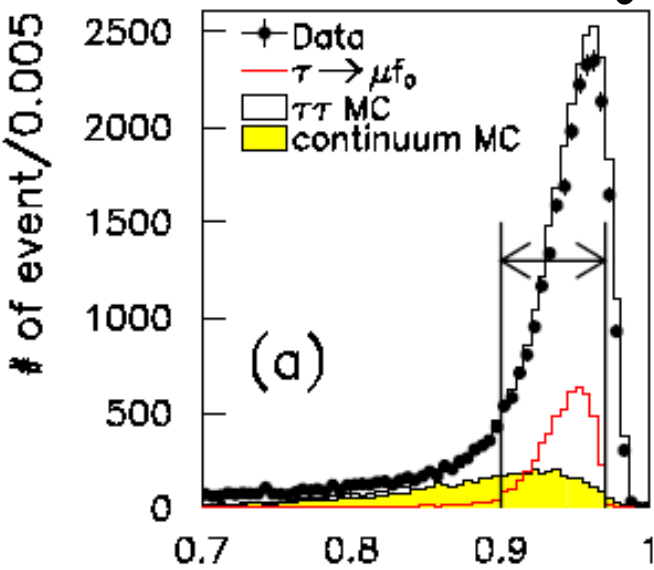
$\Rightarrow$  荷電粒子1本 ( $p_T > 0.1 \text{ GeV}/c$ ),

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

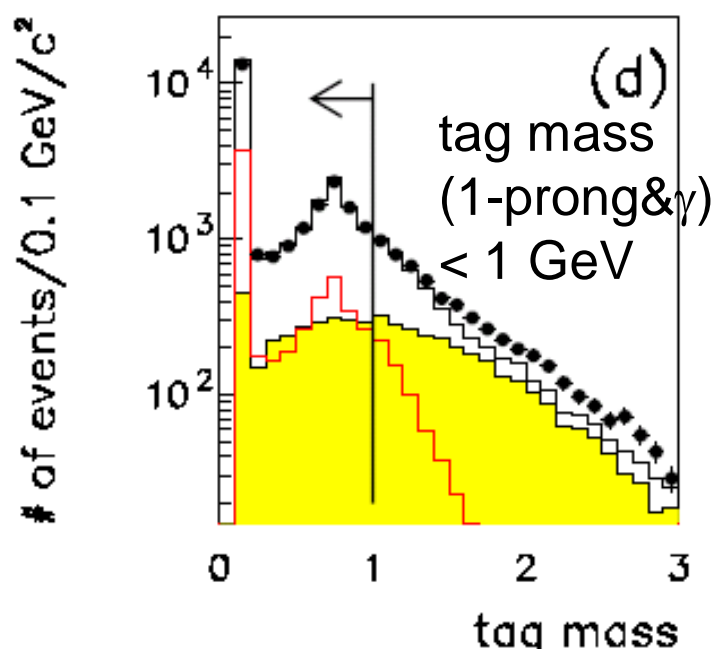
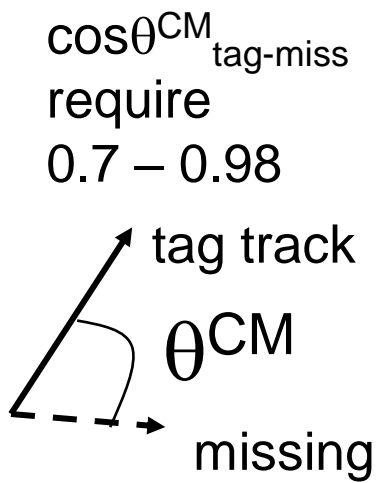
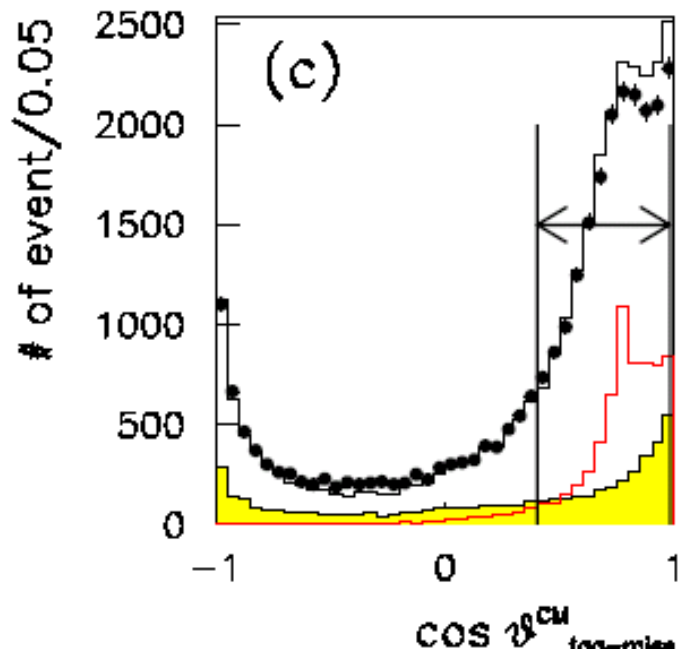
# $\tau \rightarrow f_0(980) (2)$



Energy sum with all tracks and  $\gamma$  at CM system  
5.29 - 10.0 GeV



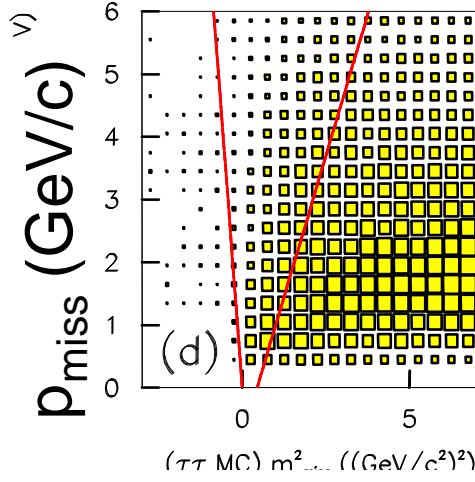
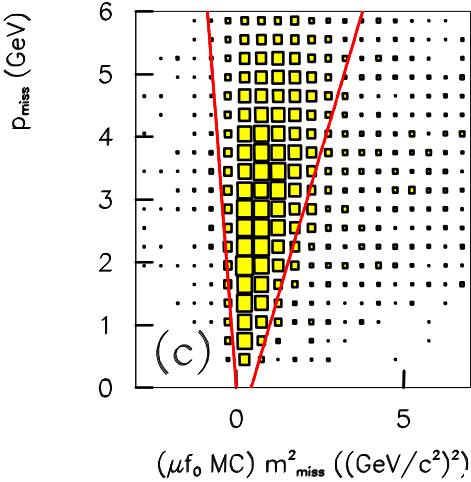
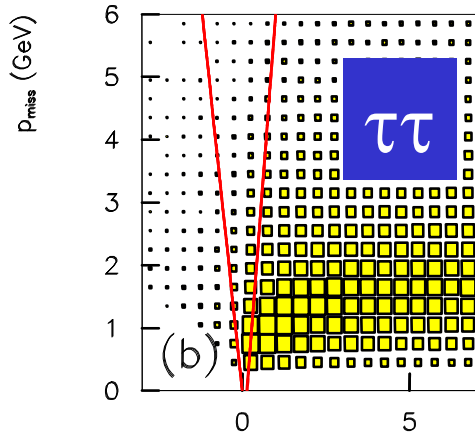
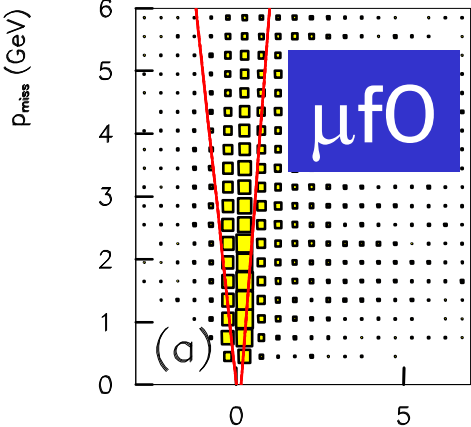
Thrust using all tracks and  $\gamma$  at CM



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

タグ側がハドロニック崩壊

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

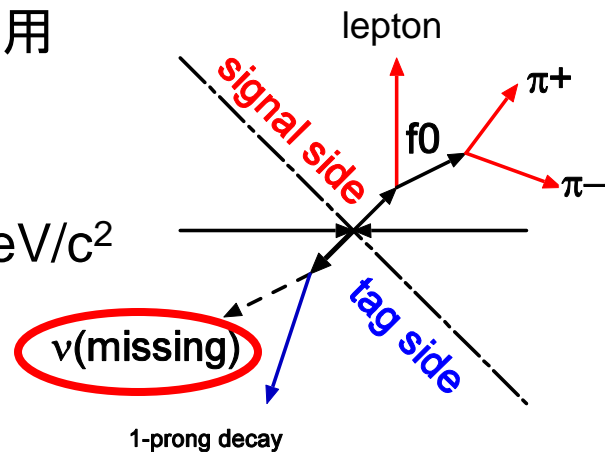


$m_{\text{miss}}^2 ((\text{GeV}/c^2)^2)$

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

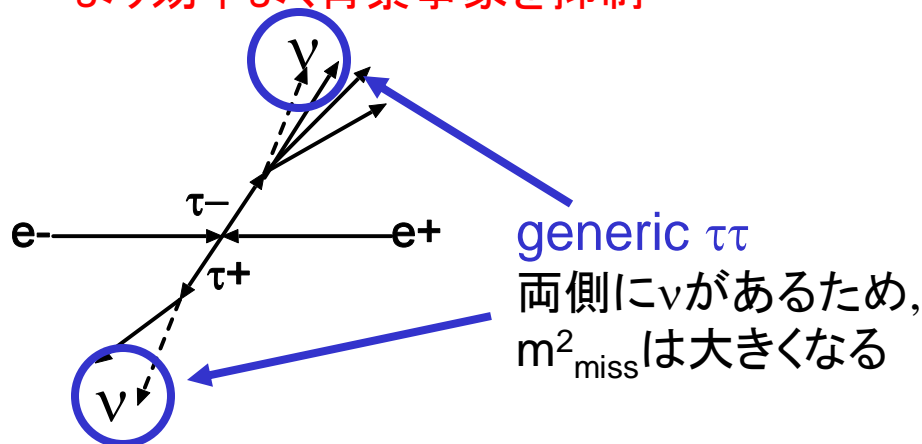
ハドロニック崩壊 ( $\tau^- \rightarrow \rho^- \nu, \pi^- \nu$  etc)

⇒ タグ側に1つの  $\nu$

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

⇒ タグ側に2つの  $\nu$

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

$\mu_{f_0} : 6.02\% \quad 0.11 \pm 0.08 \text{ events}$  信号領域に残ったデータ  
 $e_{f_0} : 5.80\% \quad 0.10 \pm 0.07 \text{ events}$   $\Rightarrow$  信号は両モードとも観測されず

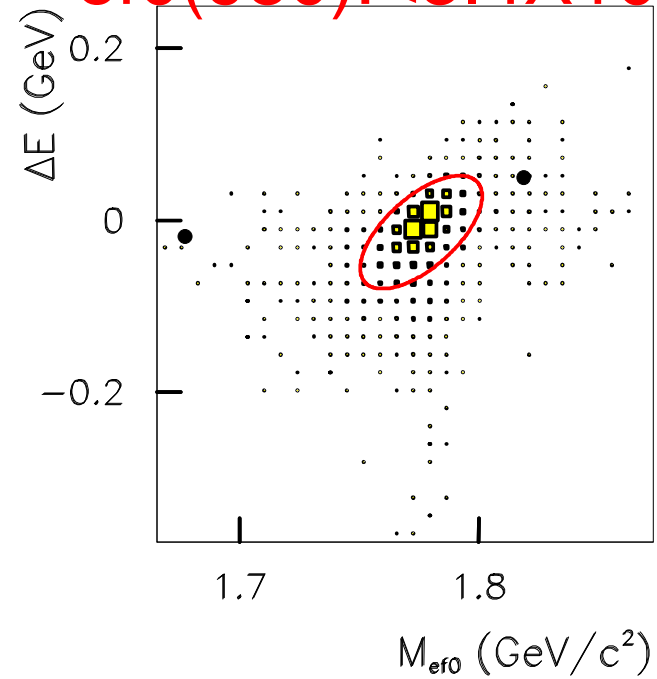
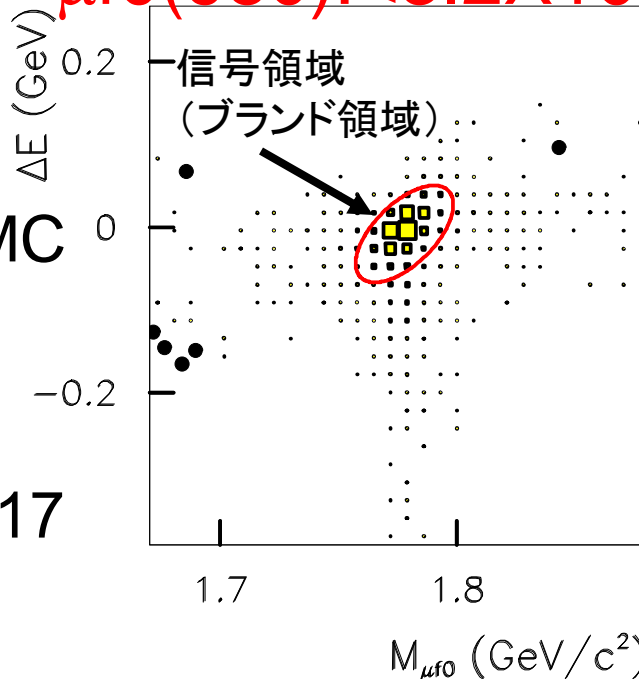
90% C.L. の上限値で分岐比を設定

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

$\mu_{f_0}(980) : < 3.2 \times 10^{-8}$

$e_{f_0}(980) : < 3.4 \times 10^{-8}$

● data  
 ■ signal MC



PLB672, 317  
 (2009)

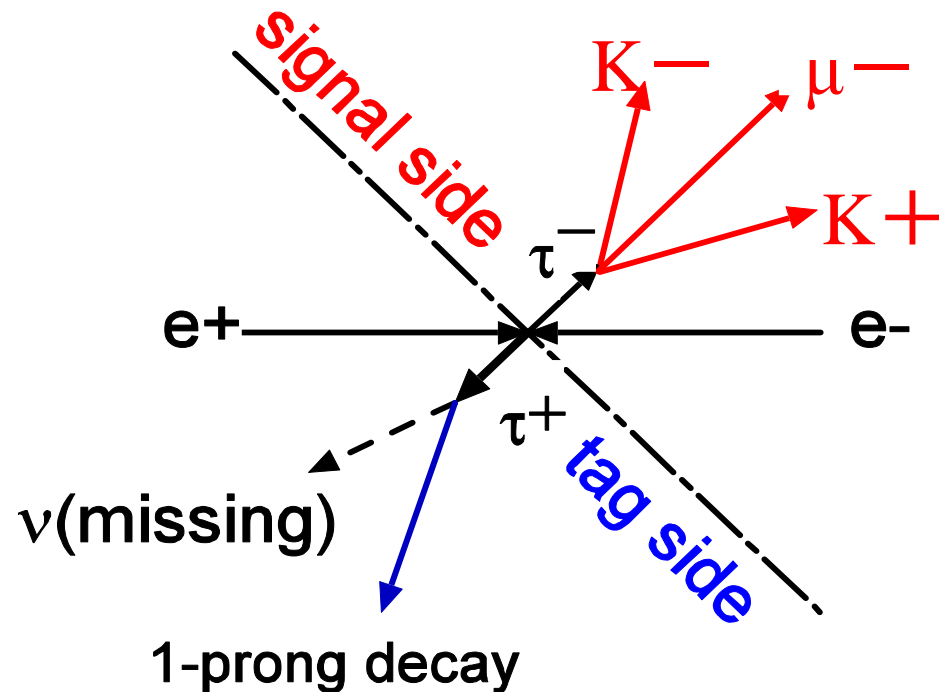


# $\tau \rightarrow h h' (1)$

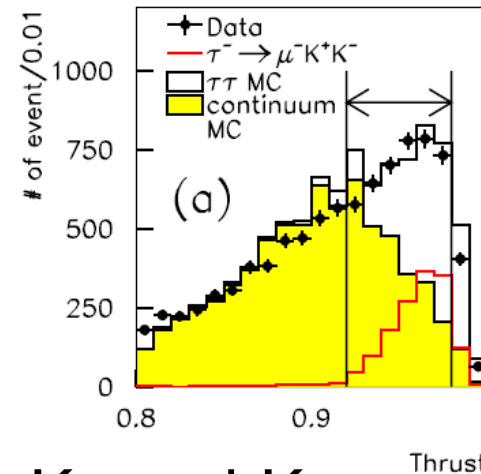
事象選択：基本は $f_0(980)$ と一緒に

➡ 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  $K/\pi$



•  $p_{\text{lepton}}$  & 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

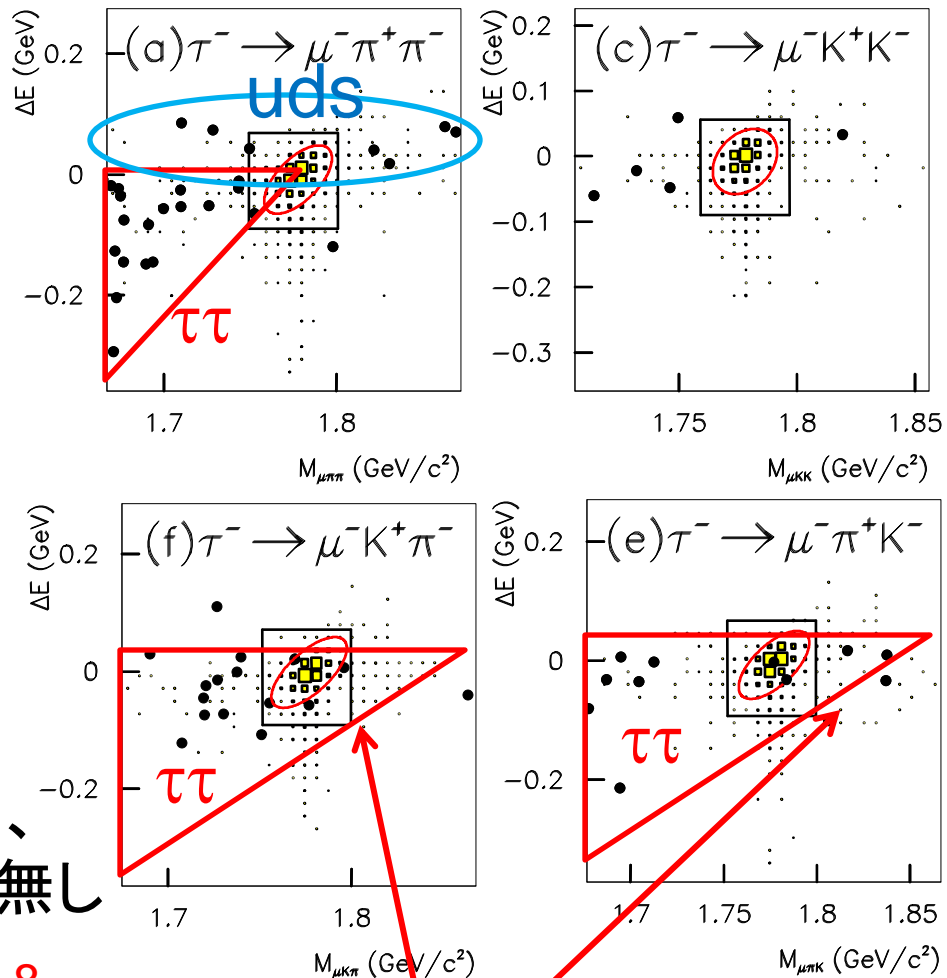
- 2 events for  $\mu\text{-}\pi\text{+}K\text{-}$
- 1 event for  $\mu\text{-}K\text{+}\pi\text{-}$ ,  $\mu\text{-}\pi\text{+}K\text{-}$
- 0 event for other modes

→ 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、  
 $\pi$ を $K$ と誤認識したため、  
 $M_{\tau}$ 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  $e^+\pi^-\pi^-$

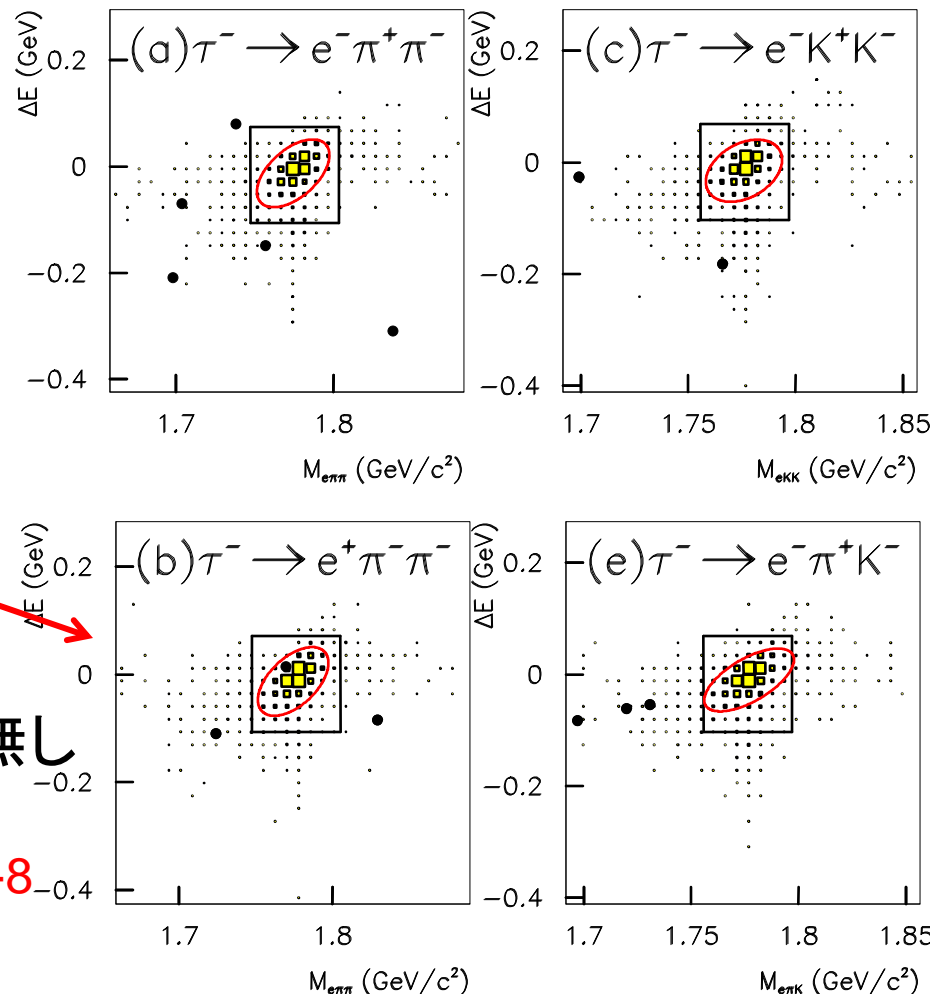
• 0 event for other modes

→ 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 $6 \times 10^8$ の $\tau$ 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 $\tau$ 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

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

⇒ 初めての探索 (PLB 672,317(2009))

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

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

⇒ (1.8 ~ 8.5) 倍向上

論文を準備中

preliminary