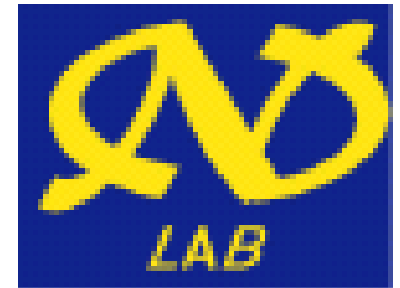


Belle実験における レプトンフレーバーを破る タウレプトンの崩壊の探索



名古屋大学
宮崎由之
Belle collaboration

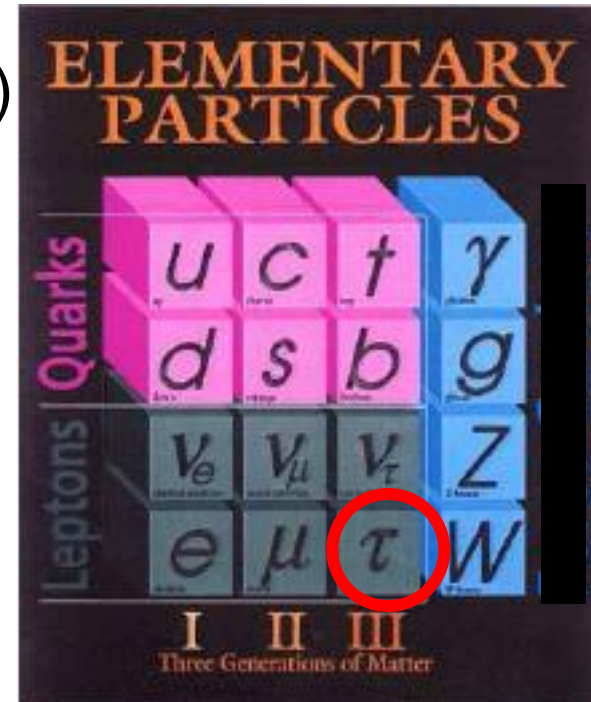


イントロダクション

荷電レプトンのレプトンフレーバーの破れ

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、
大きなレプトンフレーバーの破れを予言している

⇒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

- 質量が大きいため、新しい物理の感度が強い
- 様々な崩壊が可能のため、多くのモデルが検証可能

τ レプトンにおけるレプトンフレーバーの探索は重要

➡ Belle実験は τ レプトンの物理を行うのに最適

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



1000 fb⁻¹のデータ

世界最高統計の
~9x10⁸以上の τ 対を取得

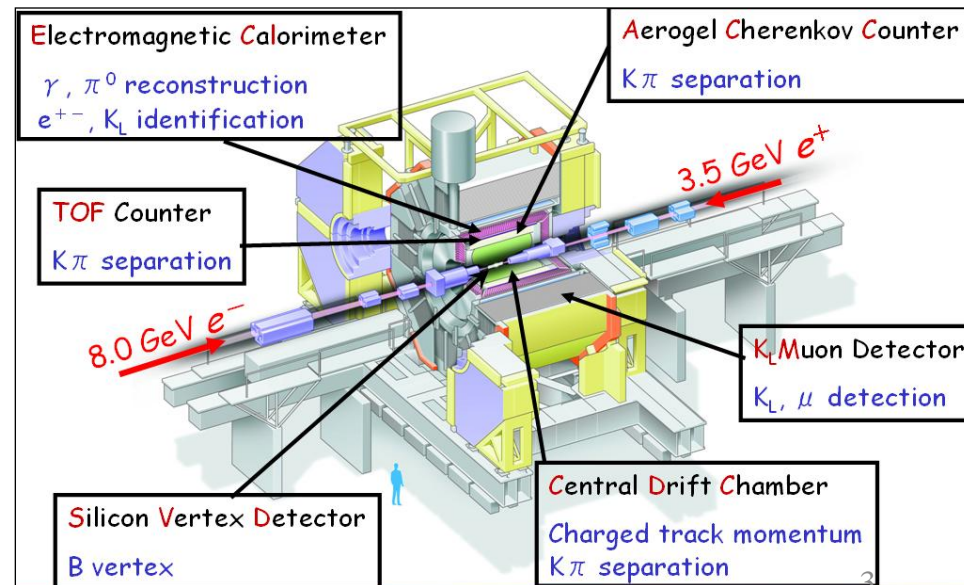
Belle検出器: 多目的検出器

レプトンIDが重要

e/ μ ID eff. : 90%

μ fake rate : 1~2%

e fake rate : 0.1 %



今年度の結果

Publication

- $\tau \rightarrow lhh'$ (昨年度報告済み)
(PLB 682, 355 (2010))

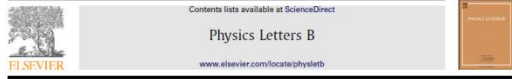
二本の論文を投稿済み

- $\tau \rightarrow lK^0s, lK^0sK^0s$ (arXiv::1003.1183 [hep-ex])
- $\tau \rightarrow 3\text{leptons}$ (arXiv::1001.3221 [hep-ex])

 本日のメインの話

毎年毎年、確実に更新

Author's personal copy



Search for lepton flavor and lepton number violating τ decays into a lepton and two charged mesons

Belle Collaboration

Y. Miyazaki^{1*}, H. Aihara², K. Arinstein^{3,26}, V. Aulchenko^{3,26}, T. Aushev^{1,6}, A.M. Bakich²⁰, V. Balagura², E. Barberio²⁷, A. Bay¹, G. Belous¹, V. Bhardwaj¹, M. Bischofberger⁴, A. Bondar^{2,26}, M. Bracko²⁴, T.E. Browder⁵, P. Chang²⁸, A. Chen¹, B.G. Chorn²⁹, L.S. Cho²⁹, Y. Choi²⁰, J. Datsena^{1,30}, M. Dash³¹, W. Dungenl³², S. Eidelman³³, D. Epifanov^{3,26}, M. Feindt³, N. Gabyshev^{3,26}, A. Garmash^{3,26}, P. Goldenzeig¹, H. Ha³⁴, J. Haba³⁵, K. Hara³⁶, Y. Hasegawa³⁷, K. Hayasaka³⁸, H. Hayashi³⁹, Y. Hori⁴⁰, Y. Hoshi²⁰, W.-S. Hou²⁰, H.J. Hyun¹, T. Iijima⁴¹, K. Inami⁴², R. Itoh⁴³, M. Iwasaki⁴⁴, T. Julius⁴⁵, D.H. Kah⁴⁶, J.H. Kang⁴⁷, H. Kawai⁴⁸, T. Kawasaki⁴⁹, H.O. Kim⁵⁰, J.H. Kim⁵¹, S.K. Kim⁵², Y.I. Kim⁵³, Y.J. Kim⁵⁴, B.K. Ko⁵, S. Korpar⁵⁵, P. Krizan⁵⁶, P. Krokovny⁵⁷, R. Kumar⁵⁸, T. Kumita⁵⁹, A. Kuzmin⁶⁰, Y.-J. Kwon⁶¹, S.-H. Kyeong²⁰, S.-H. Lee²⁰, T. Lesiak^{62,63}, J. Liu⁶⁴, C. Liu⁶⁵, D. Liventsev⁶⁶, R. Louvot⁴, A. Matyja⁶⁷, S.-M. Oh²⁰, K. Miyabayashi⁶⁸, H. Miyatake⁶⁹, T. Nagamine⁷⁰, Y. Nagasaka¹, E. Nakano²⁰, M. Nakao⁷¹, S. Nishida⁷², K. Nishimura⁷³, O. Nitoh⁷⁴, T. Ohshima⁷⁵, S. Okuno⁷⁶, S.L. Olsen⁷⁷, G. Pakhlova⁷⁸, H. Palka⁷⁹, C.W. Park⁸⁰, H. Park⁸¹, H.K. Park⁸², R. Pestotnik⁸³, L.E. Pilimonen⁸⁴, A. Potukov⁸⁵, Y. Sakai⁸⁶, O. Schneider⁸⁷, C. Schwanda⁸⁸, K. Senyo⁸⁹, M. Shapiro⁹⁰, Y. Shebalin⁹¹, J.-G. Shi⁹², B. Shwartz⁹³, A. Sokolov⁹⁴, E. Solovieva⁹⁵, S. Staric⁹⁶, M. Staric⁹⁷, T. Sumiyoshi⁹⁸, G.N. Taylor⁹⁹, Y. Teramoto¹⁰⁰, I. Tikhomirov¹⁰¹, S. Uehara¹⁰², S. Uno¹⁰³, P. Urquijo¹⁰⁴, Y. Usov^{2,26}, G. Varner⁵, A. Vinokurova^{2,26}, C.H. Wang¹⁰⁵, P. Wang¹, Y. Watanabe¹⁰⁶, R. Wedd¹⁰⁷, E. Won⁹, B.D. Yabsley¹⁰⁸, Y. Yamashita¹⁰⁹, Y. Yusa¹¹⁰, Z.P. Zhang¹¹¹, V. Zhilich¹¹², V. Zhulanov¹¹³, T. Zivko¹¹⁴, A. Zupanc¹¹⁵, O. Zuykova^{2,26}

Publication Ihh' (14モード)



LEPTONS

$J = 1$

$\tau \rightarrow BRANCHING RATIOS$

$\tau \rightarrow (\mu^+ K^-) / \Gamma_{total}$	$\tau \rightarrow (e^+ K^-) / \Gamma_{total}$
YOUR DATA	YOUR DATA
$< 3.3 \times 10^{-8}$ (CL = 90%)	$< 3.3 \times 10^{-8}$ (CL = 90%)
10	10
BELL	BELL
671 fb ⁻¹	671 fb ⁻¹
E _{cm} = 10.6 GeV	E _{cm} = 10.6 GeV

3/10/2010 13:17 Page 2

MODE	CL%	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
$< 1.0 \times 10^{-7}$	90	YUSA	06	BELL 158 fb ⁻¹ E _{cm} = 10.6 GeV
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	AUBERT, BE	05D	BABR 221 fb ⁻¹ E _{cm} = 10.6 GeV
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	BLISS	98	CLEO E _{cm} = 10.6 GeV

3/10/2010 13:17 Page 3

MODE	CL%	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	YUSA	06	BELL 158 fb ⁻¹ E _{cm} = 10.6 GeV
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	BLISS	98	CLEO E _{cm} = 10.6 GeV
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	BARTLETT	94	CLEO Repl. by BLISS 98

3/10/2010 13:17 Page 4

MODE	CL%	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	YUSA	06	BELL 158 fb ⁻¹ E _{cm} = 10.6 GeV
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	BLISS	98	CLEO E _{cm} = 10.6 GeV
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	BARTLETT	94	CLEO Repl. by BLISS 98

3/10/2010 13:17 Page 5

MODE	CL%	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	YUSA	06	BELL 158 fb ⁻¹ E _{cm} = 10.6 GeV
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	BLISS	98	CLEO E _{cm} = 10.6 GeV
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	BARTLETT	94	CLEO Repl. by BLISS 98

3/10/2010 13:17 Page 6

MODE	CL%	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	YUSA	06	BELL 158 fb ⁻¹ E _{cm} = 10.6 GeV
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	BLISS	98	CLEO E _{cm} = 10.6 GeV
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	BARTLETT	94	CLEO Repl. by BLISS 98

3/10/2010 13:17 Page 7

MODE	CL%	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	YUSA	06	BELL 158 fb ⁻¹ E _{cm} = 10.6 GeV
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	BLISS	98	CLEO E _{cm} = 10.6 GeV
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	BARTLETT	94	CLEO Repl. by BLISS 98

3/10/2010 13:17 Page 8

MODE	CL%	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	YUSA	06	BELL 158 fb ⁻¹ E _{cm} = 10.6 GeV
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	BLISS	98	CLEO E _{cm} = 10.6 GeV
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	BARTLETT	94	CLEO Repl. by BLISS 98

3/10/2010 13:17 Page 9

MODE	CL%	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	YUSA	06	BELL 158 fb ⁻¹ E _{cm} = 10.6 GeV
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	BLISS	98	CLEO E _{cm} = 10.6 GeV
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	BARTLETT	94	CLEO Repl. by BLISS 98

3/10/2010 13:17 Page 10

MODE	CL%	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	YUSA	06	BELL 158 fb ⁻¹ E _{cm} = 10.6 GeV
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	BLISS	98	CLEO E _{cm} = 10.6 GeV
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	BARTLETT	94	CLEO Repl. by BLISS 98

3/10/2010 13:17 Page 11

MODE	CL%	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	YUSA	06	BELL 158 fb ⁻¹ E _{cm} = 10.6 GeV
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	BLISS	98	CLEO E _{cm} = 10.6 GeV
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	BARTLETT	94	CLEO Repl. by BLISS 98

3/10/2010 13:17 Page 12

MODE	CL%	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	YUSA	06	BELL 158 fb ⁻¹ E _{cm} = 10.6 GeV
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	BLISS	98	CLEO E _{cm} = 10.6 GeV
$< 1.4 \times 10^{-7}$	90	BARTLETT	94	CLEO Repl. by BLISS 98

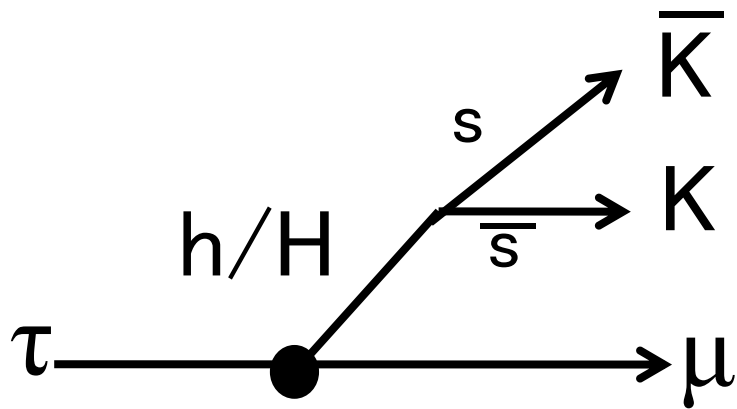
VALUE	CL%	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
$< 3.3 \times 10^{-8}$ (CL = 90%)		$< 2.9 \times 10^{-7}$ (CL = 90%)		OUR 2009 BEST LIMIT
YOUR DATA	90	MIYAZAKI	10	BELL 671 fb ⁻¹ , E _{cm} = 10.6 GeV
$< 4.8 \times 10^{-7}$	90	YUSA	06	BELL 158 fb ⁻¹ E _{cm} = 10.6 GeV
$< 2.9 \times 10^{-7}$	90	AUBERT, BE	05D	BABR 221 fb ⁻¹ E _{cm} = 10.6 GeV
$< 8.2 \times 10^{-6}$	90	BLISS	98	CLEO E _{cm} = 10.6 GeV
$< 7.4 \times 10^{-6}$	90	¹ BARTLETT	94	CLEO Repl. by BLISS 98
$< 3.6 \times 10^{-5}$	90	ALBRECHT	92K	ARG E _{cm} = 10 GeV
$< 3.9 \times 10^{-5}$	90	BOWCOCK	90	CLEO E _{cm} = 10.4-10.9

¹BARTLETT 94 assume phase decay.

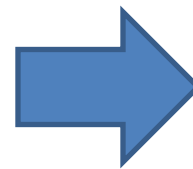
PDG 2010
の原稿

$$\tau \rightarrow IK^0sK^0s, IK^0s$$

$\tau \rightarrow |K^0 s \bar{K}^0 s$ modes



SUSYの質量が大きい時、
Higgsからの寄与が重要



もしスカラーHiggsの場合
($h/H \rightarrow s\bar{s} \rightarrow K^0 \bar{K}^0$ or $K^+ K^-$)

($l\mu\mu$ の場合、 $h/H/A$ が関与)

$$B(\tau \rightarrow \mu K^0 \bar{K}^0) < 3.0 \times 10^{-8} |\delta_{32}|^2 \left(\frac{100}{m_{H^0}(\text{GeV})} \right)^4 \left(\frac{\tan \beta}{60} \right)^6$$

(JHEP0806:079(2008))

Higgs質量が小さく、
 $\tan \beta$ が大きい時に重要

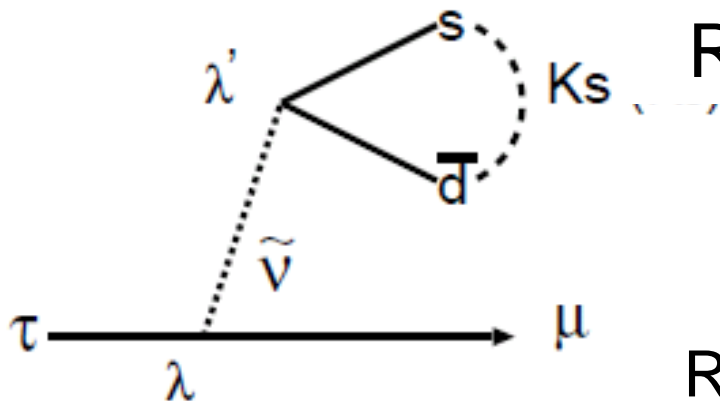


予想される理論値

$$Br(\tau \rightarrow |K^0 \bar{K}^0, l\mu\mu) \leq O(10^{-(7 \sim 8)})$$

$\tau \rightarrow IK^0s$ mode

R-parity violating SUSY modelに感度あり

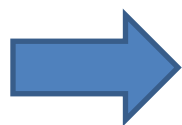


R-parityとは？

SM粒子とSUSY粒子識別する量子数

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

R-parityが破れてると

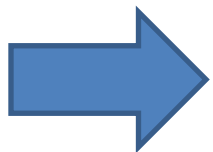


SM粒子から仮想的にSUSY粒子を出して、再びSM粒子に崩壊が可能

Sneutrino exchange

$$B(\tau^- \rightarrow \mu^- K_S^0) = (0.8 \sim 2.4) |\lambda_{i32} \lambda_{ikl}^*|^2 \left(\frac{100 \text{ GeV}}{M_{\tilde{\nu}_{iL}}} \right)^4$$

(arXiv:0909.0042[hep-ph])



Belle実験で得られた大量のタウレプトン対で $\tau \rightarrow IK^0sK^0s$ と IK^0s の探索が重要

以前の結果

$\tau \rightarrow IK^0sK^0s$ mode

$\text{Br}(\tau \rightarrow IK^0sK^0s) < (2.2-3.4) \times 10^{-6} @ 13.9 \text{fb}^{-1}$ CLEO
BelleもBaBarもまだ探索を行っていない

$\tau \rightarrow IK^0s$ mode

Belleにおける前回の結果 (PLB:639, 159, 2006)

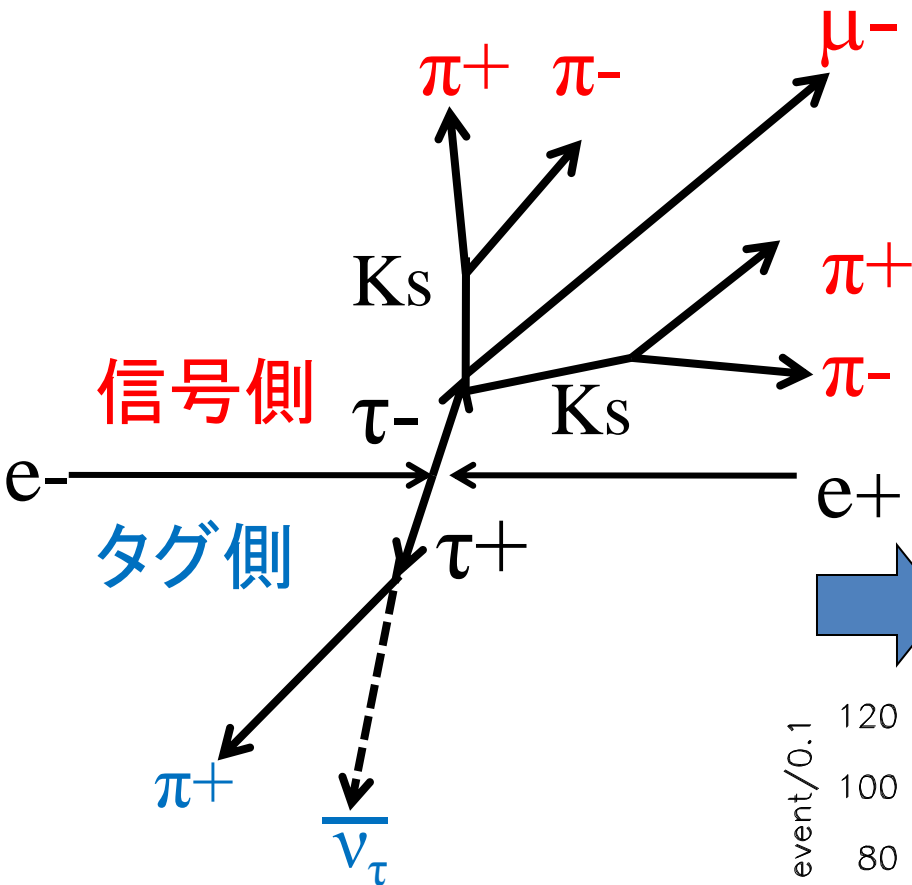
$\text{Br}(\tau \rightarrow IK^0s) < (4.9-5.6) \times 10^{-8} @ 261 \text{fb}^{-1}$

BaBar (PRD97, 012004, 2009)

$\text{Br}(\tau \rightarrow IK^0s) < (3.3-4.0) \times 10^{-8} @ 469 \text{fb}^{-1}$

Belle実験で得られた 671fb^{-1} のタウレプトン対で
 $\tau \rightarrow IK^0sK^0s$ と IK^0s の探索

事象選択



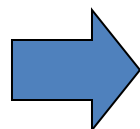
信号側の荷電粒子

$IK^0_s K^0_s$: 5本、 IK^0_s : 3本

⇒ 電子かミュオン

$K^0_s \rightarrow \pi^+ \pi^-$ 崩壊を使用

主な背景事象: $ee \rightarrow q\bar{q}$ (udsc), generic $\tau\tau$
→ レプトンのミス識別による事象

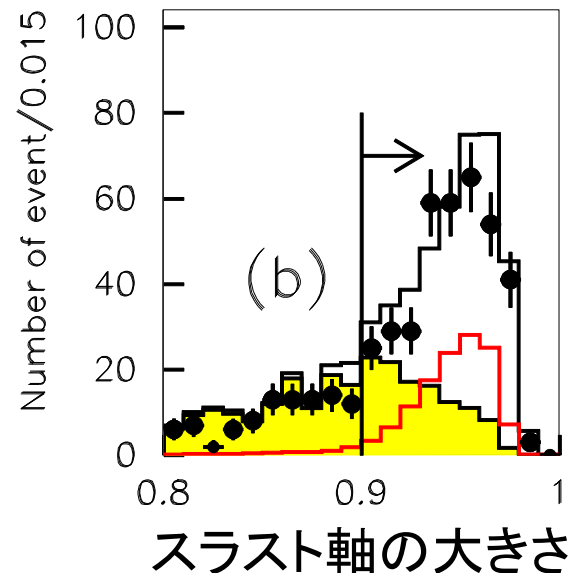
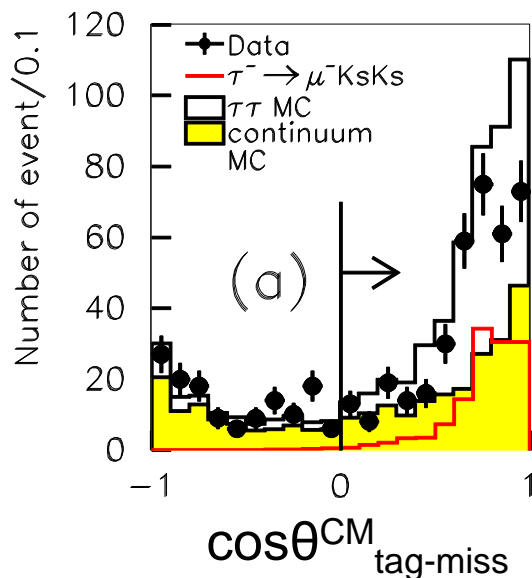


背景事象を効率的に落とすように
事象選択を最適化

タグ側 (τ の全崩壊分岐比~ 85%)
荷電粒子を1本を含む崩壊

⇒ 荷電粒子1本 ($p_T > 0.1 \text{ GeV}/c$)

欠損運動量 ($> 0.4 \text{ GeV}/c$)



解析方法

事象選択後、信号側の粒子を用いて、

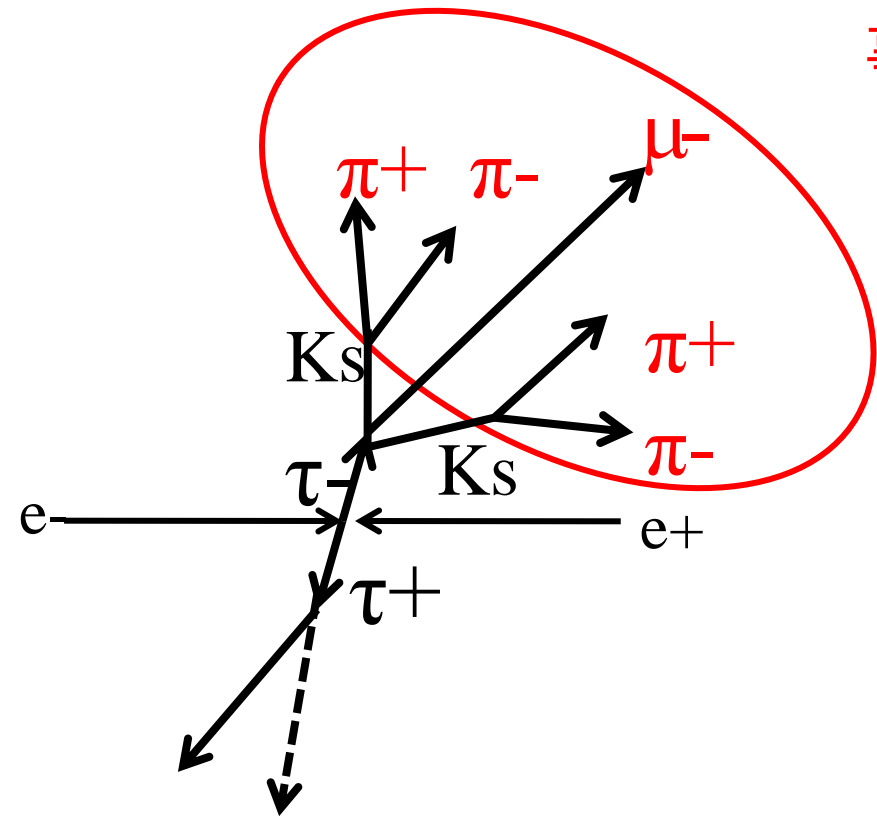
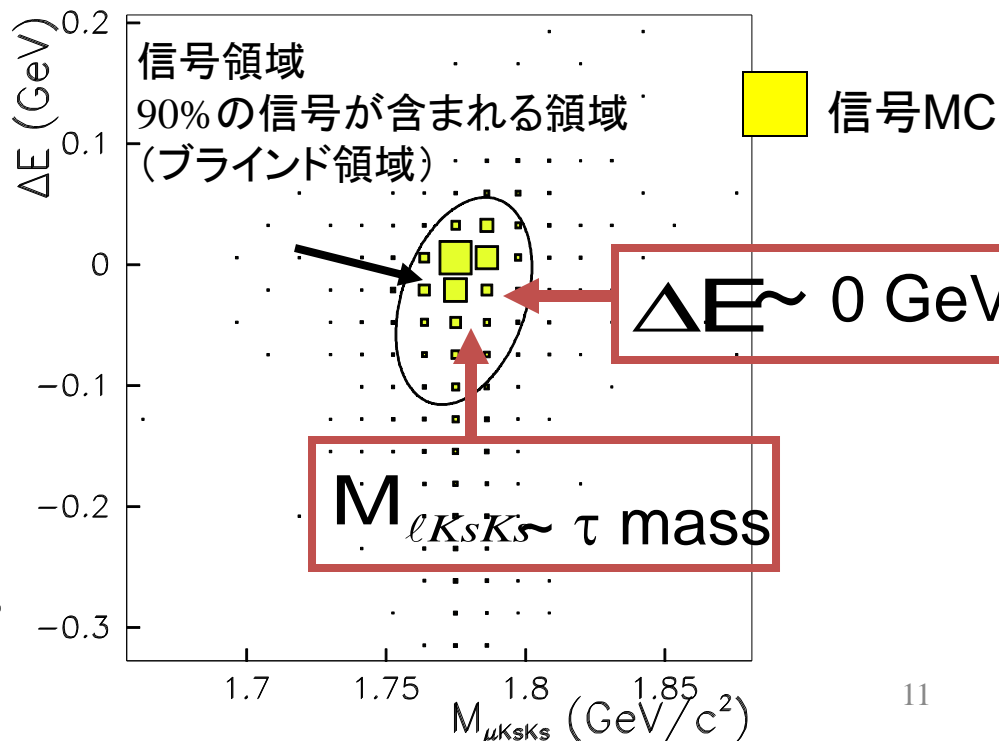
不変質量

$$M_{\ell K_S K_S} = \sqrt{E_{\ell K_S K_S}^2 - p_{\ell K_S K_S}^2}$$

エネルギー

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

を再構成し、2次元分布で評価



解析にバイアスを与えないよう
 ⇒ **ブラインドアナリシス法**を採用
 信号領域をブラインド領域とした。

背景事象の見積もり

主な背景事象:
ハドロンをレプトンと間違える事象

→ サイドバンドのデータを使って、
レプトンのミス識別の比率を求めて、
その比率から背景事象数を見積もる

レプトンのミス識別の比率

予想される背景事象数 =

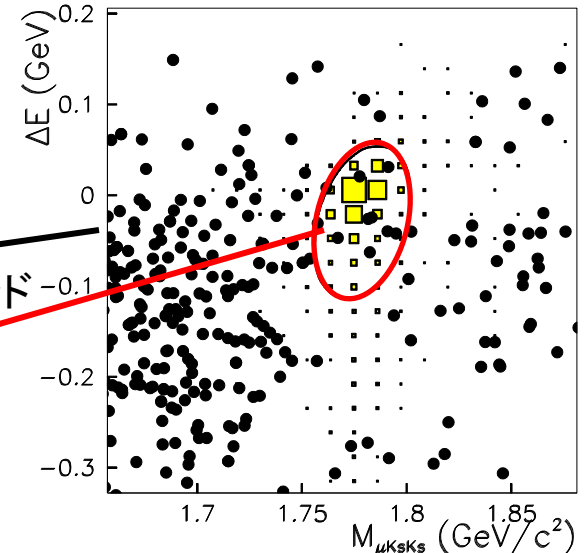
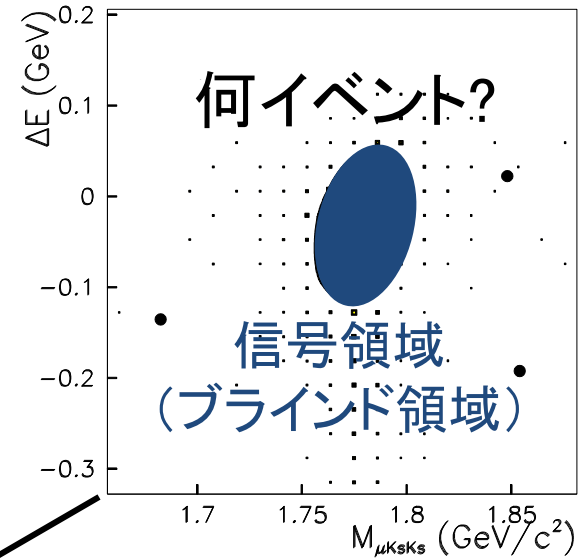
$$\left(\frac{\text{レプトンセレクション}}{\text{ハドロンセレクション}} \right)$$

← サイドバンド

$$\times (\text{ハドロンセレクション})$$

← 信号領域

レプトンセレクション



ハドロンセレクション

IK⁰sK⁰sの結果

Mode	ϵ (%)	N_{BG}	σ_{syst} (%)
$\tau^- \rightarrow e^- K_S^0 K_S^0$	5.82	0.07 ± 0.07	11.2
$\tau^- \rightarrow \mu^- K_S^0 K_S^0$	5.08	0.12 ± 0.08	11.3

信号領域にデータは無し

⇒90%の信頼度で分岐比の制限を設定

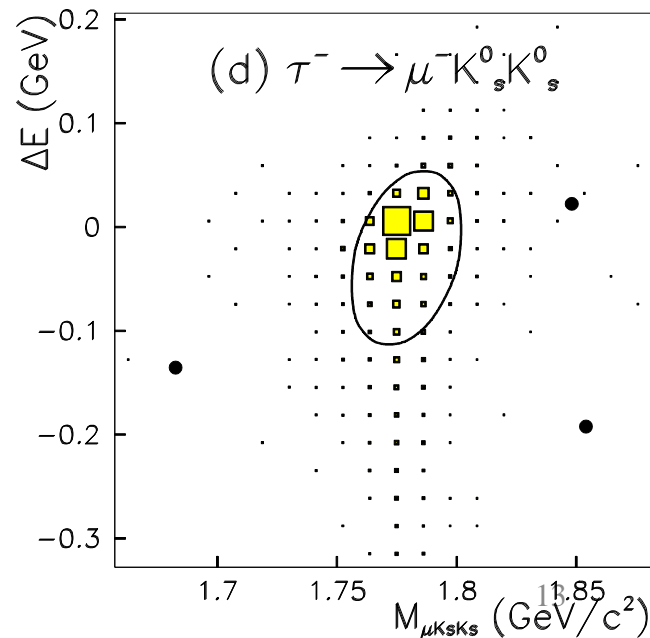
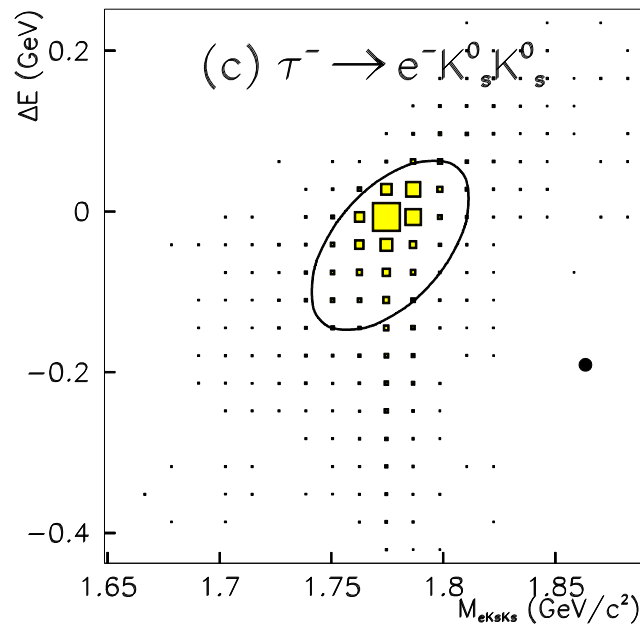
$$\mathcal{B}(\tau^- \rightarrow \ell^- K_S^0 K_S^0) < \frac{s_{90}}{2\epsilon \mathcal{B}(K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-)^2 N_{\tau\tau}}$$

$$\mathcal{B}(\tau^- \rightarrow e^- K_S^0 K_S^0) < 7.1 \times 10^{-8}$$

$$\mathcal{B}(\tau^- \rightarrow \mu^- K_S^0 K_S^0) < 8.0 \times 10^{-8}$$

Preliminary

CLEOの結果から(31-43)倍の向上



IK⁰sの結果

Mode	ϵ (%)	N_{BG}	σ_{syst} (%)
$\tau^- \rightarrow e^- K_S^0$	10.2	0.18 ± 0.18	6.6
$\tau^- \rightarrow \mu^- K_S^0$	10.7	0.35 ± 0.21	6.8

信号領域にデータは無し

⇒90%の信頼度で分岐比の制限を設定

$$B(\tau^- \rightarrow \ell^- K_S^0) < \frac{s_{90}}{2\epsilon B(K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-) N_{\tau\tau}}$$

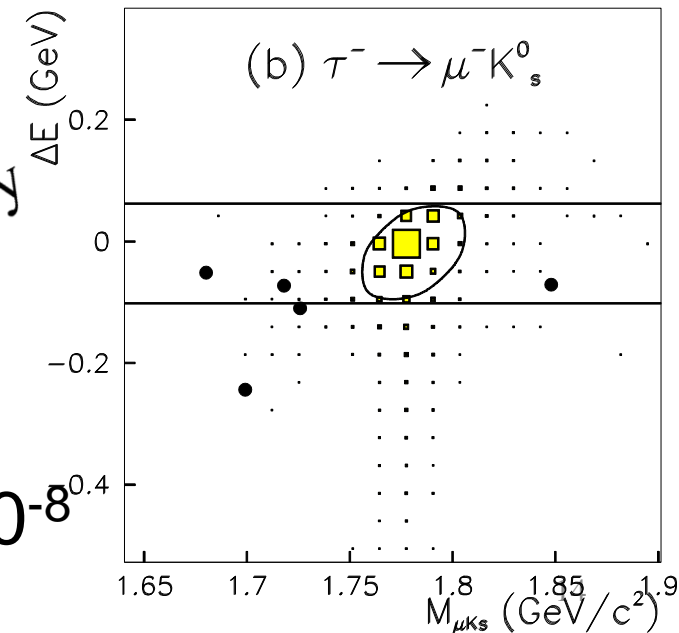
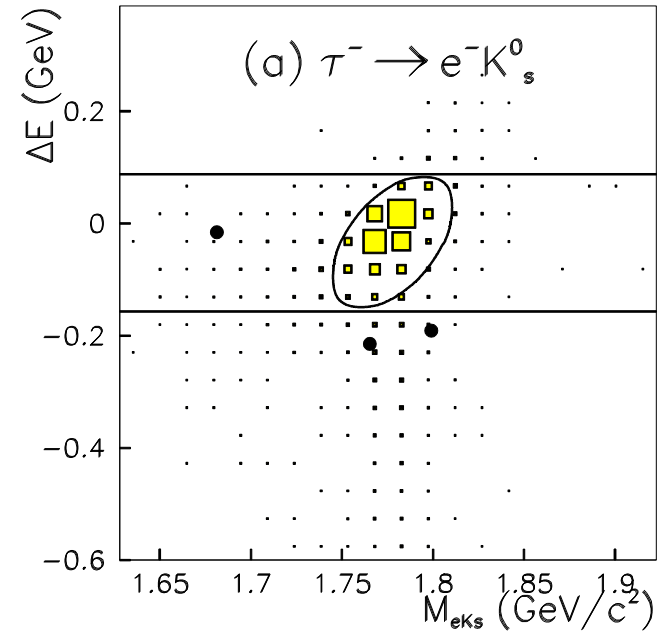
$$B(\tau \rightarrow e K^0_s) < 2.6 \times 10^{-8}$$

$$B(\tau \rightarrow \mu K^0_s) < 2.3 \times 10^{-8}$$

Preliminary

•前回の結果から(2.1-2.2)倍の向上

•最新のBaBarの結果 $< (3.3-4.4) \times 10^{-8}$ より向上

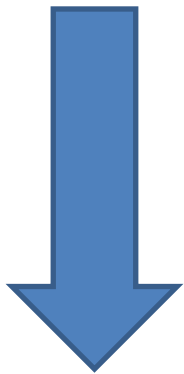
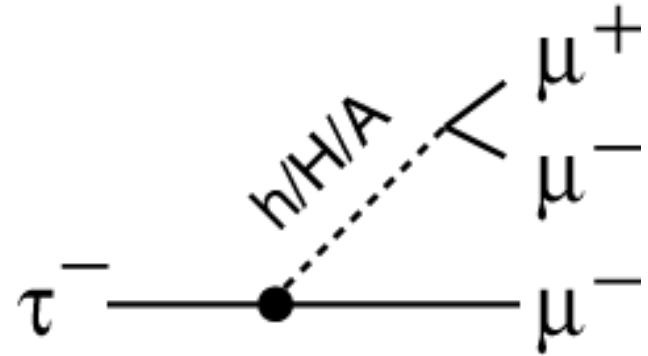


$\tau \rightarrow 3\text{leptons}$

以前の結果

Belleにおける前回の結果

$\text{Br}(\tau \rightarrow 3\ell) < (2.0-4.1) \times 10^{-8} @ 543 \text{fb}^{-1}$
(PLB:660, 154, 2008)



BaBarが2009の夏にupdate

$\text{Br}(\tau \rightarrow 3\text{leptons}) < (1.8-3.3) \times 10^{-8} @ 477 \text{fb}^{-1}$
(preliminary)

Belle実験で得られた 782fb^{-1} のタウレプトン対で
 $\tau \rightarrow 3\text{leptons}$ の探索

1. 4倍の統計の増加

$\tau \rightarrow 3\text{leptons}$ の解析

事象選択はモード毎に背景事象が異なるので、
モード毎に事象選択を決定

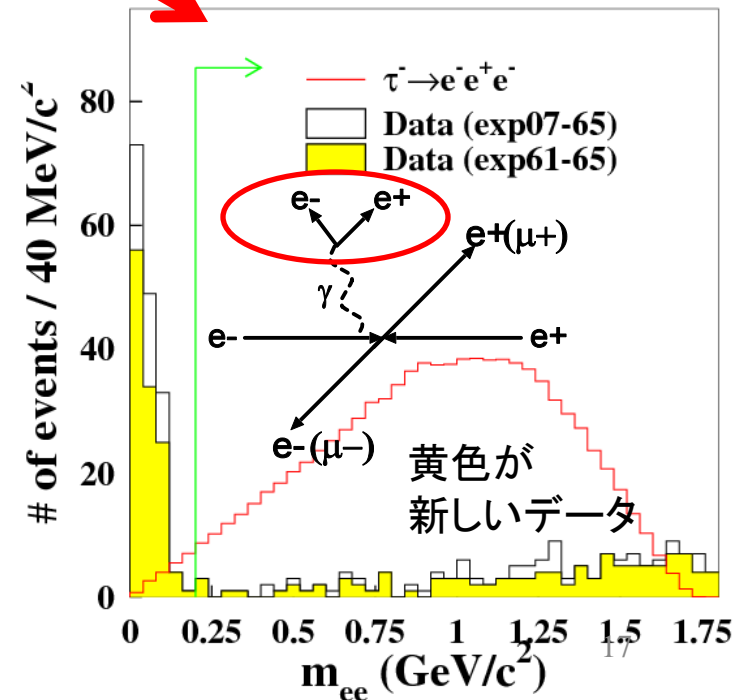
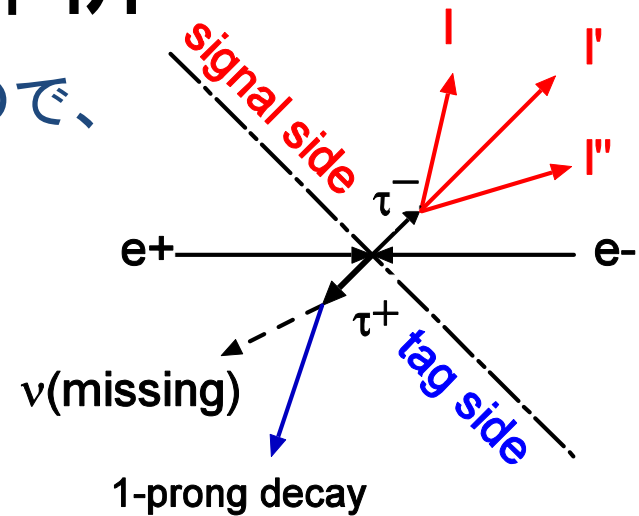
➡ 基本的には前回の解析を
踏襲して行った

新しいデータはtracking findingの向上で
 γ conversion ($\gamma \rightarrow e^+e^-$)が増加

➡ $M_{ee} > 0.2 \text{ GeV}$ if $\cos(\theta_{e\gamma}) > 0.9$ から
➡ $M_{ee} > 0.2 \text{ GeV}$ に変更
⇒ lost 5% eff. only

検出効率 (6.2 - 10.1)%

➡ 前回の解析と同程度の
検出効率を得られた

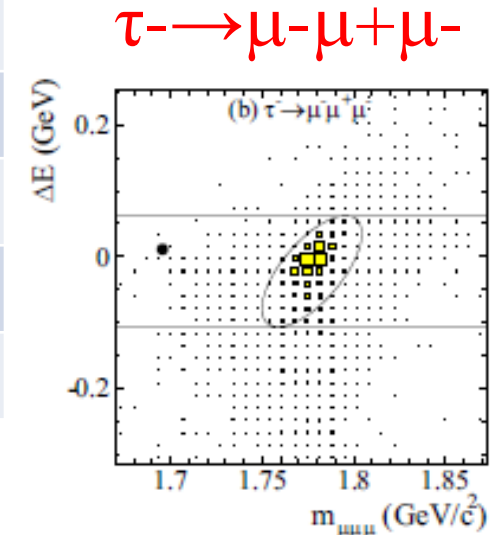
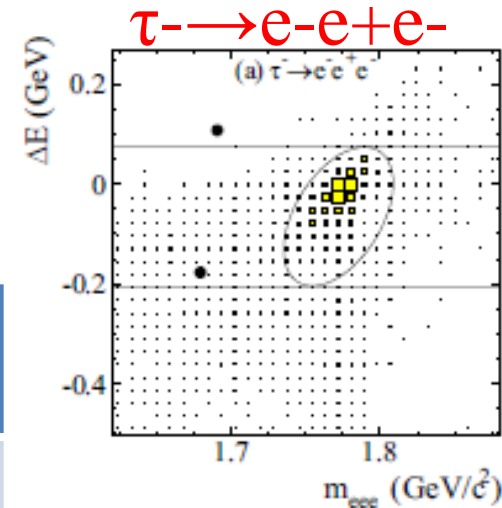


3leptonsの結果

信号領域にデータは無し

⇒ 90%の信頼度で分岐比の上限値を設定

Mode	ϵ (%)	N_{BG}^{EXP}	σ_{syst} (%)	UL ($\times 10^{-8}$)	前回	BaBar
$e^-e^+e^-$	6.0	0.21 \pm 0.15	9.8	2.7	3.6	2.9
$\mu^-\mu^+\mu^-$	7.6	0.13 \pm 0.06	7.4	2.1	3.2	3.3
$e^-\mu^+\mu^-$	6.1	0.10 \pm 0.04	9.5	2.7	4.1	3.2
$\mu^-e^+e^-$	9.3	0.04 \pm 0.04	7.8	1.8	2.7	2.2
$\mu^-e^+\mu^-$	10.1	0.02 \pm 0.02	7.6	1.7	2.3	2.6
$e^-\mu^+e^-$	11.5	0.01 \pm 0.01	7.7	1.5	2.0	1.8

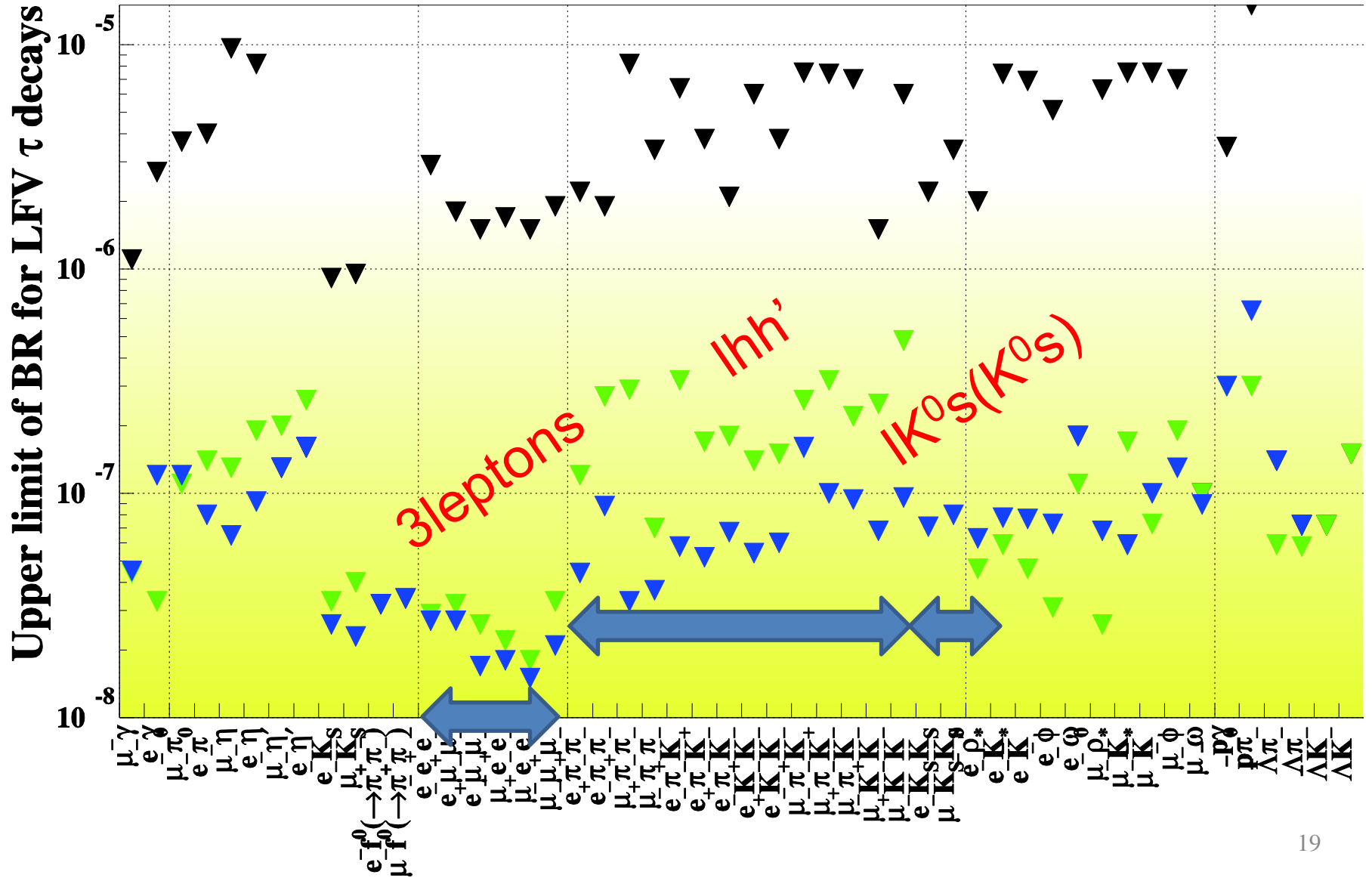


upper limit as $Br(\tau \rightarrow 3\text{leptons}) < (1.5-2.7) \times 10^{-8}$

- ルミノシティの増加に比例して、ULが向上
→ $B(\tau \rightarrow \mu^+e^-e^-)$ は、現在最高の τ のLFVの分岐比の上限値
- BaBarの上限値より良い結果を得る事ができた

現在の上限値

▼ Belle ▼ BaBar ▼ CLEO



まとめ

Belle実験で得られた世界最高統計の τ 対のデータを使用し、
 様々なレプトンフレーバーを破る τ レプトン崩壊事象の
 探索を行った。



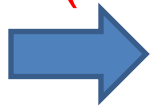
モード毎に事象選択を最適化する事で
 背景事象を十分に抑制($\sim O(0.1)$)に成功

信号は観測されず、90%の信頼度で
 分岐比の上限を設定

$$B(\tau \rightarrow l K^0_s K^0_s) < (7.1-8.0) \times 10^{-8}$$

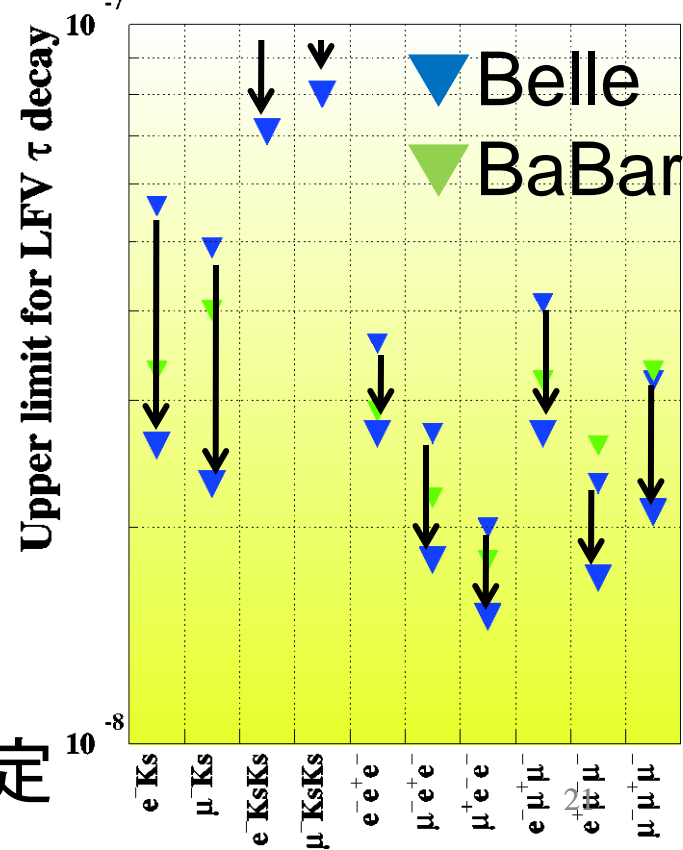
$$B(\tau \rightarrow l K^0_s) < (2.3-2.6) \times 10^{-8}$$

$$B(\tau \rightarrow 3 \text{ leptons}) < (1.5-2.7) \times 10^{-8}$$



すでにPLBに投稿済み

Preliminary

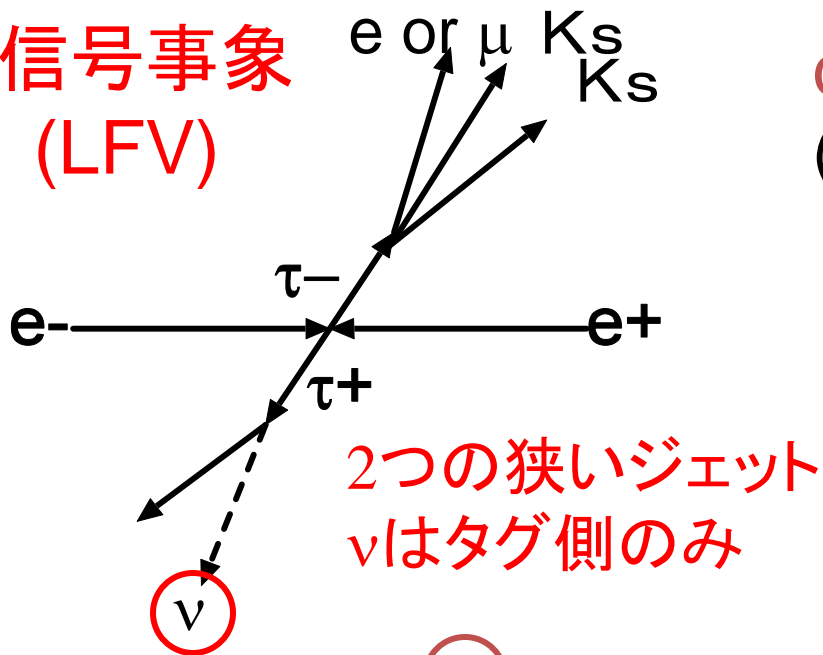


来年度はフルデータを使用し、
 最終的なLFV探索の結果を出す予定

バックアップ

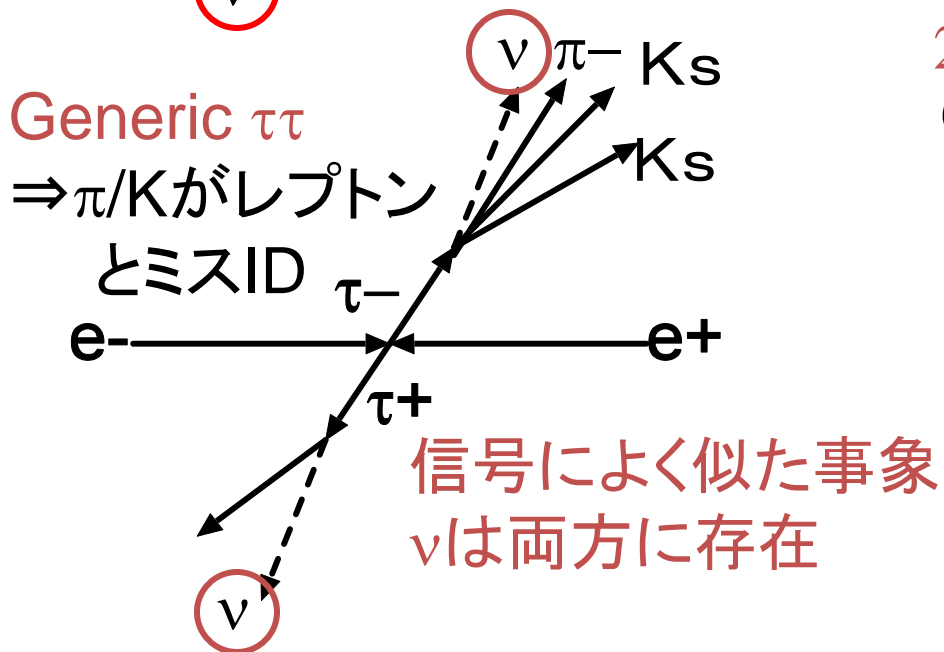
信号事象と背景事象

信号事象
(LFV)



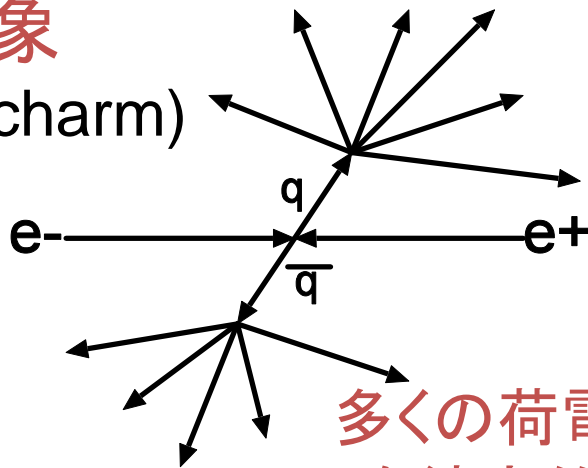
2つの狭いジェット
 ν はタグ側のみ

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



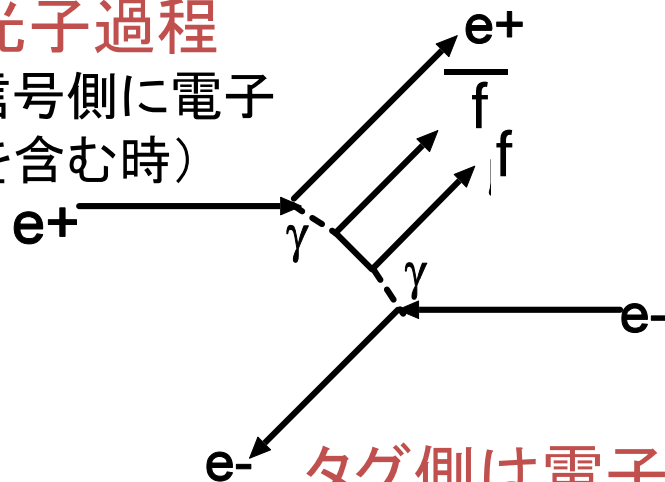
信号によく似た事象
 ν は両方に存在

$q\bar{q}$ 事象
(uds, charm)



多くの荷電粒子や
 γ を統一的に生成

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

SUSY+Seesaw Model

Approx. formulae for LFV semilep. τ decays

Valid at large $\tan\beta$ and MI: agreement with full results within a factor of 2

$$\text{BR}(\tau \rightarrow \mu\eta)_{H_{\text{approx}}} = 1.2 \times 10^{-7} |\delta_{32}|^2 \left(\frac{100}{m_{A^0}(\text{GeV})}\right)^4 \left(\frac{\tan\beta}{60}\right)^6 \sim \frac{1}{7} \times \text{BR}_{\text{Sher PRD66(2002)57301}}$$

$$\text{BR}(\tau \rightarrow \mu\eta')_{H_{\text{approx}}} = 1.5 \times 10^{-7} |\delta_{32}|^2 \left(\frac{100}{m_{A^0}(\text{GeV})}\right)^4 \left(\frac{\tan\beta}{60}\right)^6 \sim 100 \times \text{BR}_{\text{Brignole-Rossi NPB701(04)}}$$

$$\text{BR}(\tau \rightarrow \mu\pi)_{H_{\text{approx}}} = 3.6 \times 10^{-10} |\delta_{32}|^2 \left(\frac{100}{m_{A^0}(\text{GeV})}\right)^4 \left(\frac{\tan\beta}{60}\right)^6 \sim \text{BR}_{\text{Brignole-Rossi}}$$

$$\text{BR}(\tau \rightarrow \mu\pi^0\pi^0)_{H_{\text{approx}}} = 1.3 \times 10^{-10} |\delta_{32}|^2 \left(\frac{100}{m_{H^0}(\text{GeV})}\right)^4 \left(\frac{\tan\beta}{60}\right)^6$$

$$\text{BR}(\tau \rightarrow \mu\pi^+\pi^-)_{H_{\text{approx}}} = 2.6 \times 10^{-10} |\delta_{32}|^2 \left(\frac{100}{m_{H^0}(\text{GeV})}\right)^4 \left(\frac{\tan\beta}{60}\right)^6$$

$$\text{BR}(\tau \rightarrow \mu K^+K^-)_{H_{\text{approx}}} = 2.8 \times 10^{-8} |\delta_{32}|^2 \left(\frac{100}{m_{H^0}(\text{GeV})}\right)^4 \left(\frac{\tan\beta}{60}\right)^6 \sim \frac{1}{50} \times \text{BR}_{\text{Chen-Geng PRD74(2006)}}$$

$$\text{BR}(\tau \rightarrow \mu K^0\bar{K}^0)_{H_{\text{approx}}} = 3.0 \times 10^{-8} |\delta_{32}|^2 \left(\frac{100}{m_{H^0}(\text{GeV})}\right)^4 \left(\frac{\tan\beta}{60}\right)^6$$

$$\text{BR}(\tau \rightarrow \mu\pi^+\pi^-)_{\gamma_{\text{approx}}} = 3.7 \times 10^{-5} |\delta_{32}|^2 \left(\frac{100}{M_{\text{SUSY}}(\text{GeV})}\right)^4 \left(\frac{\tan\beta}{60}\right)^2 \quad \text{dominant for all } M_{\text{SUSY}}$$

$$\text{BR}(\tau \rightarrow \mu K^+K^-)_{\gamma_{\text{approx}}} = 3.0 \times 10^{-6} |\delta_{32}|^2 \left(\frac{100}{M_{\text{SUSY}}(\text{GeV})}\right)^4 \left(\frac{\tan\beta}{60}\right)^2 \quad \text{dominant if } M_{\text{SUSY}} \leq 300 \text{ GeV}$$

$$\text{BR}(\tau \rightarrow \mu K^0\bar{K}^0)_{\gamma_{\text{approx}}} = 1.8 \times 10^{-6} |\delta_{32}|^2 \left(\frac{100}{M_{\text{SUSY}}(\text{GeV})}\right)^4 \left(\frac{\tan\beta}{60}\right)^2 \quad \text{dominant if } M_{\text{SUSY}} \leq 250 \text{ GeV}$$

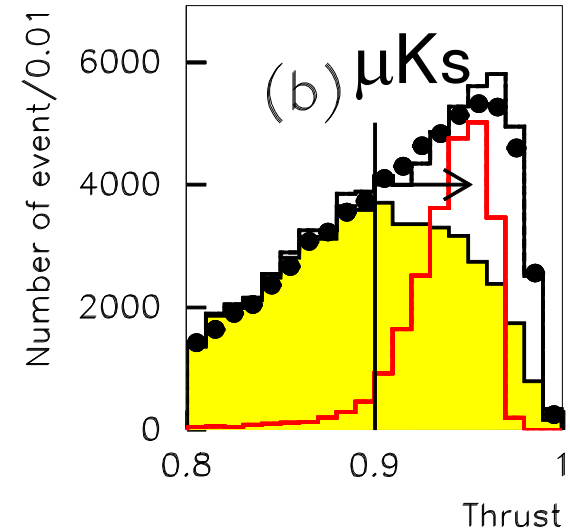
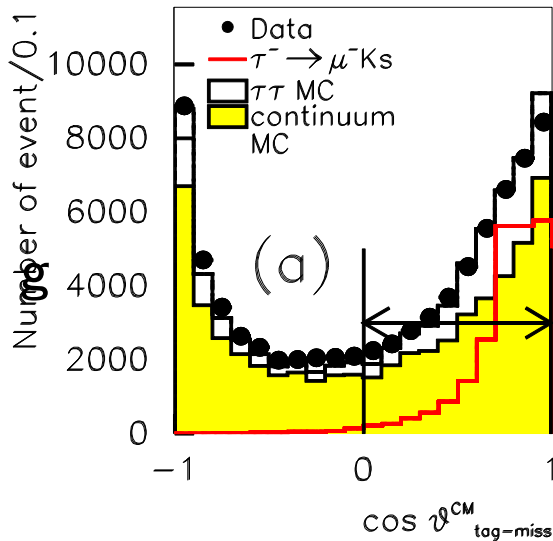
$$\text{Compare to } \text{BR}(\tau \rightarrow \mu\gamma)_{\text{approx}} = 1.5 \times 10^{-2} |\delta_{32}|^2 \left(\frac{100}{M_{\text{SUSY}}(\text{GeV})}\right)^4 \left(\frac{\tan\beta}{60}\right)^2 > \text{semil if } M_{\text{SUSY}} < 1500 \text{ GeV}$$

Slepton mass elements

$$\delta_{32} = \frac{\Delta\tilde{M}_{32}^2}{M_{\text{SUSY}}^2} = -\frac{1}{8\pi^2} \frac{(3M_0^2 + A_0^2)}{M_{\text{SUSY}}^2} (Y_\nu^\dagger L Y_\nu)_{32}$$

事象選択(1)

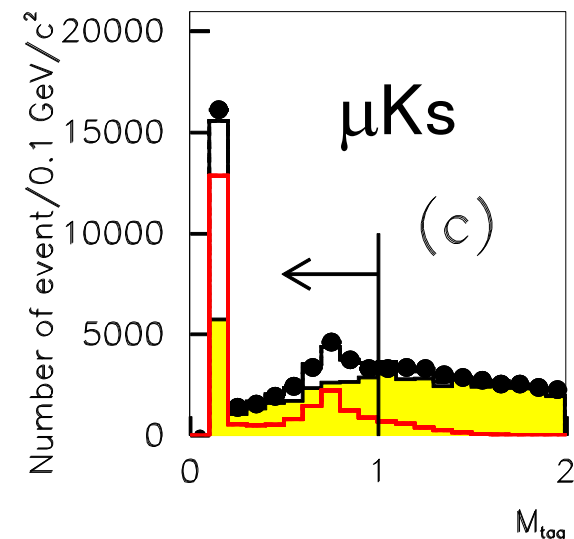
- $(0.99 >) \cos \theta_{\text{miss-tag}} > 0.0$
(for IKs mode only)
- Thrust > 0.9
- tag mass using track and
 $< 1.0 \text{ GeV}$ for IKs
 $< 1.777 \text{ GeV}$ for IKsKs



- # of gamma in tag when tag track is lepton ≤ 1 to reduce $D \rightarrow \ln Ks (\rightarrow p^0 p^0)$ for IKs mode

- Kaon veto in tag when tag lepton is hadron for IKs mode

- apply m^2_{miss} vs. p_{miss} correlation



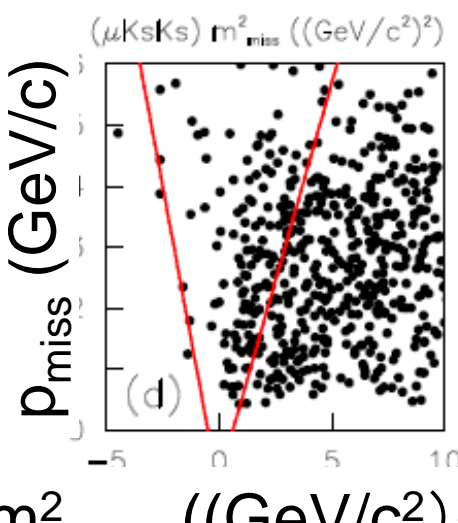
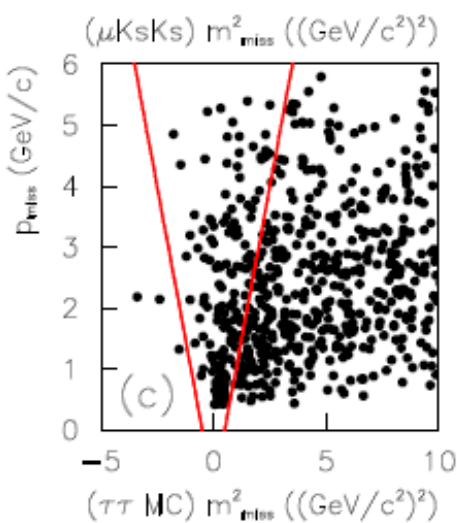
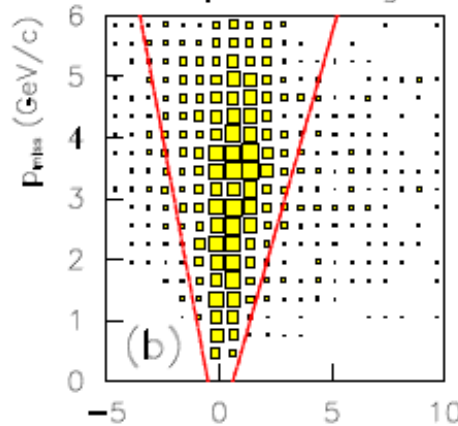
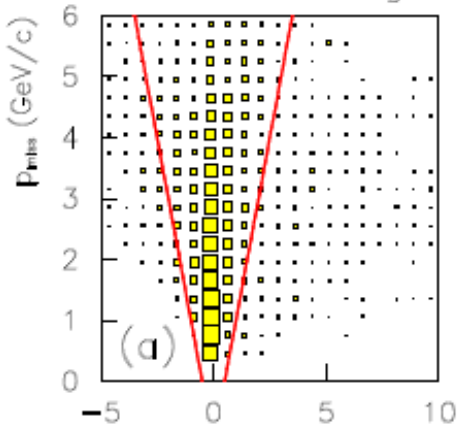
事象選択(2)

背景事象の抑制

$\tau \rightarrow \mu K^0_s K^0_s$

ハドロニックタグ

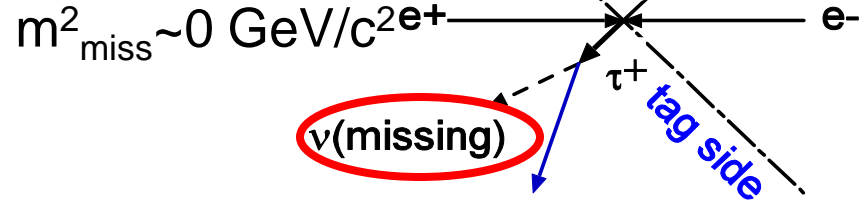
レプトニックタグ



Generic τ

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

信号事象



1-prong decay

さらにタグ側の崩壊モードで場合分け

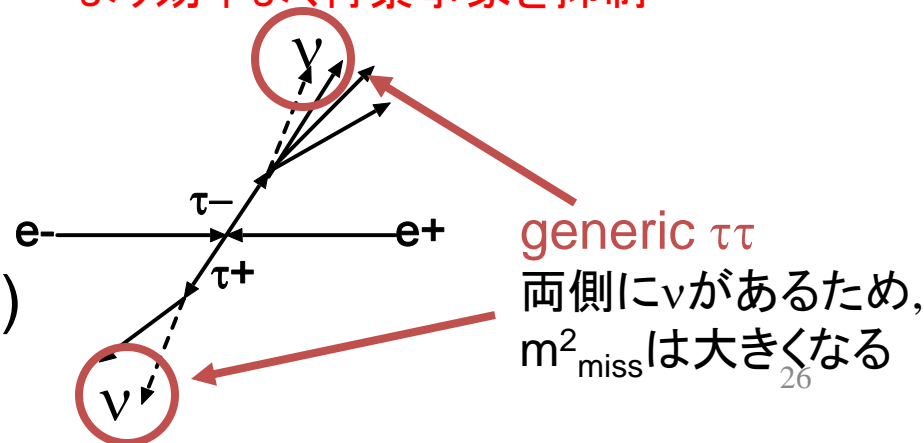
ハドロニック崩壊 ($\tau^- \rightarrow \rho^- \nu, \pi^- \nu$ etc)

\Rightarrow タグ側に1つの ν

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

\Rightarrow タグ側に2つの ν

より効率よく背景事象を抑制



結果のまとめ

Mode	# ^{signalregion} withoutleptonID	# ^{sidebandregion} withoutleptonID	# ^{sidebandregion} withleptonID	expected BG
$\tau \rightarrow eK_S^0$	49	266	1	0.18 ± 0.18
$\tau \rightarrow \mu K_S^0$	24	205	3	0.35 ± 0.21
$\tau \rightarrow eK_S^0 K_S^0$	20	288	1	0.07 ± 0.07
$\tau \rightarrow \mu K_S^0 K_S^0$	10	243	3	0.12 ± 0.08

Mode	ϵ (%)	N_{BG}	σ_{syst} (%)	N_{obs}	s_{90}	\mathcal{B} ($\times 10^{-8}$)
$\tau^- \rightarrow e^- K_S^0$	10.2	0.18 ± 0.18	6.6	0	2.25	2.6
$\tau^- \rightarrow \mu^- K_S^0$	10.7	0.35 ± 0.21	6.8	0	2.10	2.3
$\tau^- \rightarrow e^- K_S^0 K_S^0$	5.82	0.07 ± 0.07	11.2	0	2.44	7.1
$\tau^- \rightarrow \mu^- K_S^0 K_S^0$	5.08	0.12 ± 0.08	11.3	0	2.40	8.0

Status for $\text{Br}(\tau \rightarrow \pi K^0 \bar{K}^0 \nu)$

$$\Gamma(\pi^- K^0 \bar{K}^0 \nu_\tau) / \Gamma_{\text{total}}$$

$$\Gamma_{46} / \Gamma = (2\Gamma_{47} + \Gamma_{48}) / \Gamma$$

Data marked "avg" are highly correlated with data appearing elsewhere in the Listings, and are therefore used for the average given below but not in the overall fits. "f&a" marks results used for the fit and the average.

VALUE (%)	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
-----------	------	-------------	------	---------

0.17 ± 0.04 OUR FIT Error includes scale factor of 1.6.

0.153 ± 0.030 ± 0.016 avg 74 ¹ BARATE 98E ALEP 1991–1995 LEP runs

• • • We do not use the following data for averages, fits, limits, etc. • • •

0.31 ± 0.12 ± 0.04 ² ACCIARRI 95F L3 1991–1993 LEP runs

¹ BARATE 98E obtain this value by adding twice their $B(\pi^- K_S^0 K_S^0 \nu_\tau)$ value to their $B(\pi^- K_S^0 K_L^0 \nu_\tau)$ value.

² ACCIARRI 95F assume $B(\pi^- K_S^0 K_S^0 \nu) = B(\pi^- K_S^0 K_L^0 \nu) = 1/2 B(\pi^- K_S^0 K_L^0 \nu)$.

$$\Gamma(\pi^- K_S^0 K_S^0 \nu_\tau) / \Gamma_{\text{total}}$$

$$\Gamma_{47} / \Gamma$$

Bose-Einstein correlations might make the mixing fraction different than 1/4.

VALUE (units 10^{-4})	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
--------------------------	------	-------------	------	---------

2.4 ± 0.5 OUR FIT

2.4 ± 0.5 OUR AVERAGE

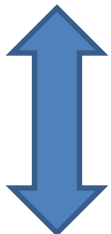
2.6 ± 1.0 ± 0.5 6 BARATE 98E ALEP 1991–1995 LEP runs

2.3 ± 0.5 ± 0.3 42 COAN 96 CLEO $E_{\text{cm}}^{ee} \approx 10.6 \text{ GeV}$

In tauola
 $\text{Br}(\tau \rightarrow \pi K_S K_S \nu)$
 $= 1/4 X$
 $\text{Br}(\tau \rightarrow \pi K^0 \bar{K}^0 \nu)$



$(4.3 \pm 0.1) \times 10^{-4}$

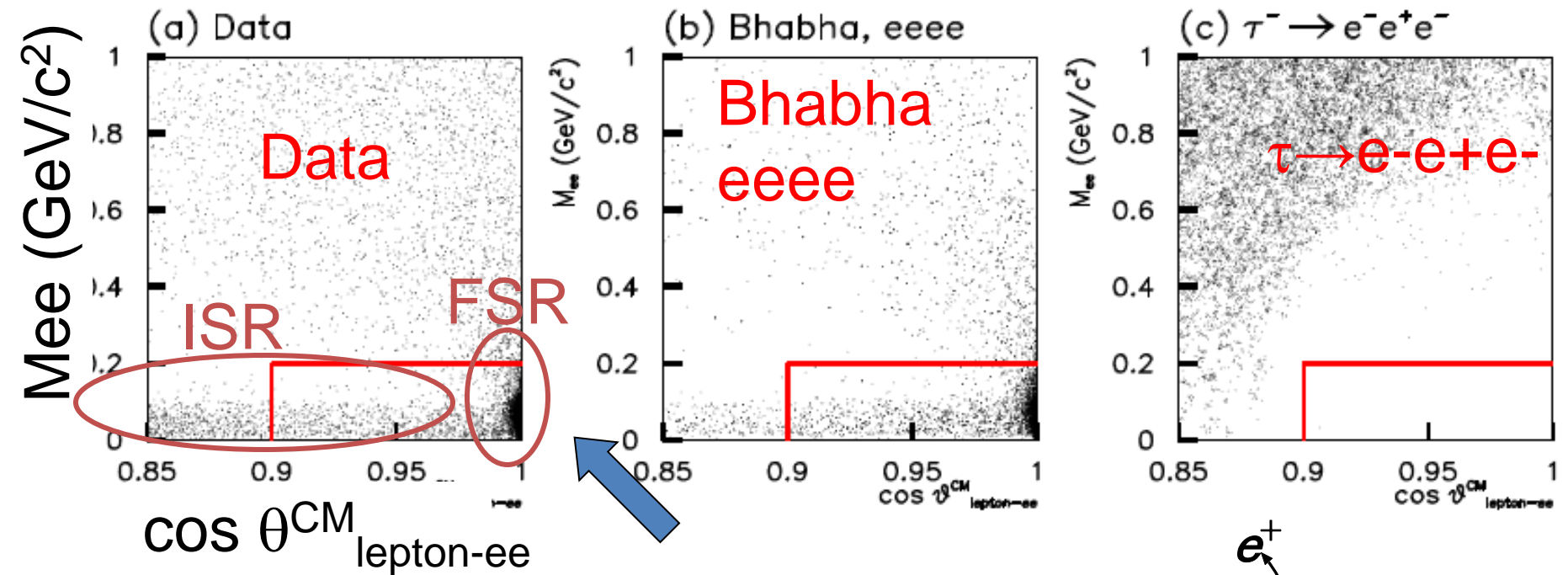


x1.8
 difference



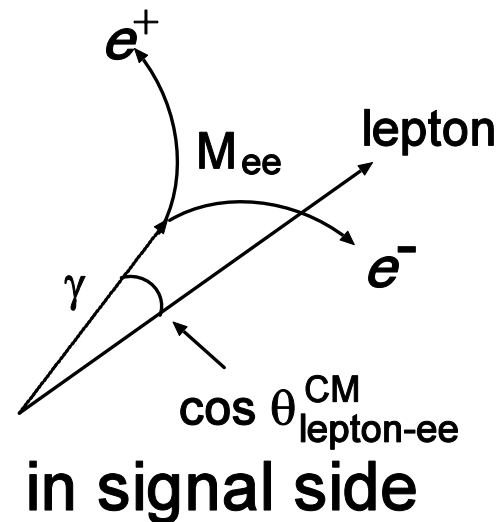
Use it
 for our
 analysis

以前の γ -conversion Veto

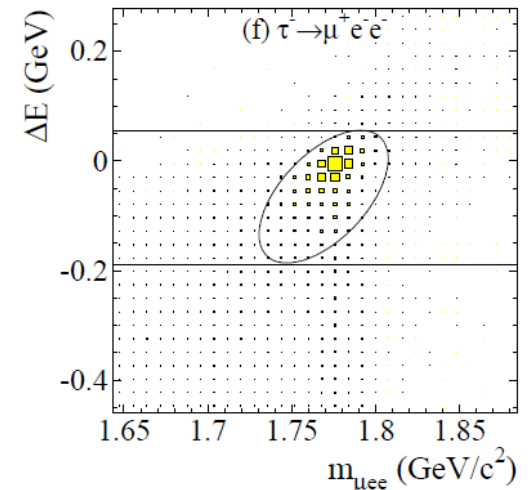
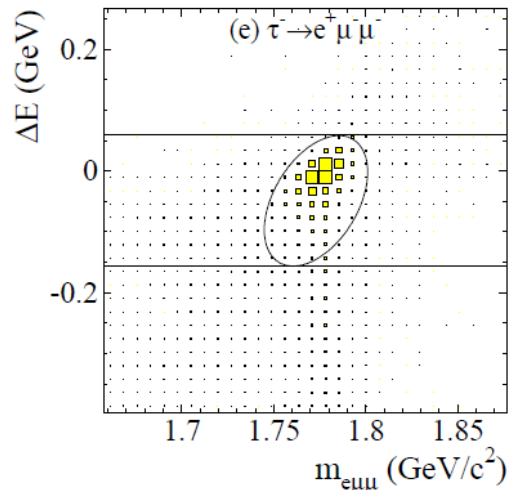
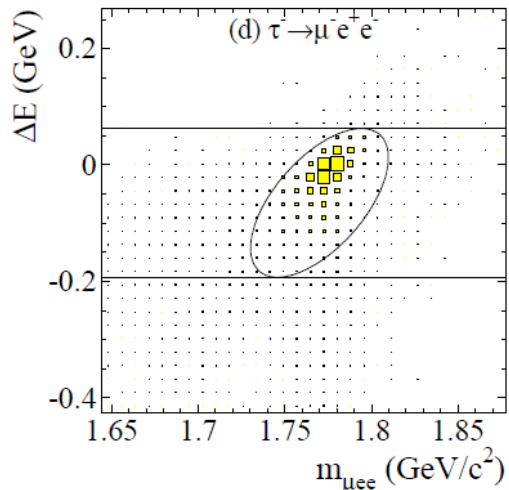
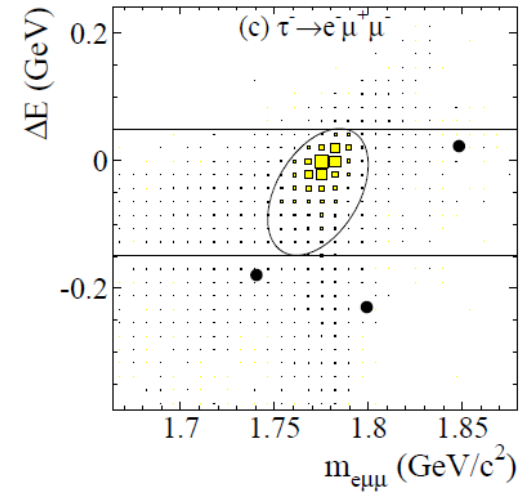
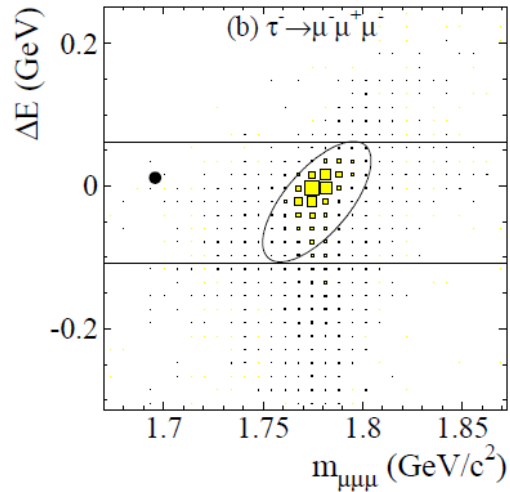
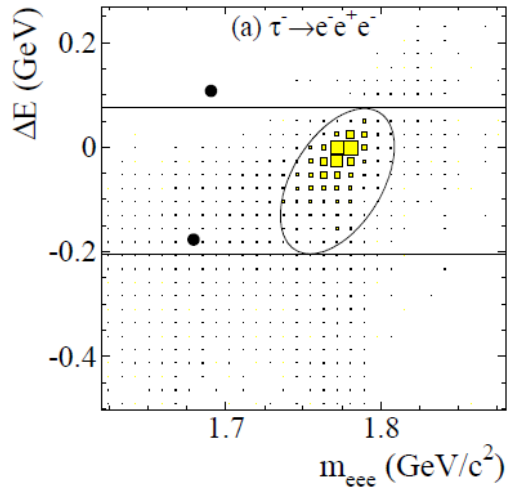


Remove events
with γ conversion

γ conversion veto for
 $\tau \rightarrow e^-e^+e^-$ and $\mu^-e^+e^-$
modes



事象選択後



予想される背景事象数 (0.01-0.21) events