

$\tau^- \rightarrow K^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$ 崩壊における CP対称性の破れの探索

奈良女子大学大学院 人間文化研究科
物理科学専攻 高エネルギー物理学研究室
中牧 理絵

目次

- はじめに
- 実験装置
- 事象選別
- $\tau^- \rightarrow K^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$ 崩壊の不変質量分布
- CP非対称度の解析
- まとめ

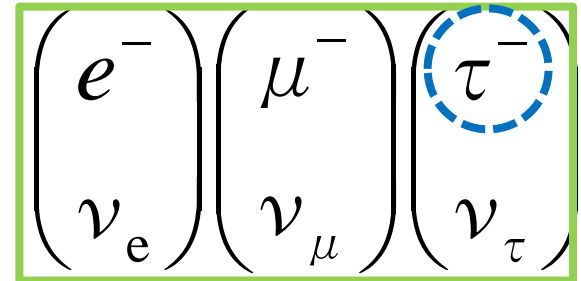
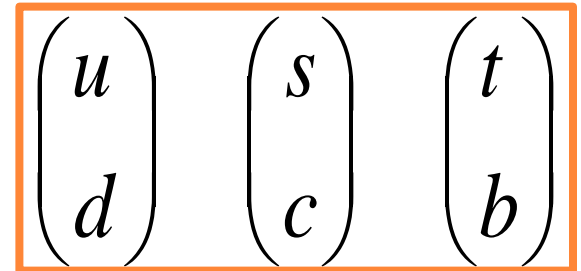
※以降特に断らない限り、
 $\tau^- \rightarrow K^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$ 、 K^- 、 π^- などの表記は
荷電共役 $\tau^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^- \nu_\tau$ 、 K^+ 、 π^+ を含む

はじめに


τ レプトン

- 電子の約3500倍の質量を持つ最も重いレプトン ($M_\tau = 1.77\text{GeV}$)
- tクォークやbクォークと共に第3世代に属する
- 質量が重いので、レプトンの中で唯一、ハドロン崩壊が可能

クォーク



レプトン

- 
- 標準理論を越える物理を探る上で、高い感度を持つプローブとして機能する。
 - 今回は τ レプトンの崩壊における**CP対称性の破れ**の探索について報告する。

CP変換について

- Cは荷電共役変換(Charge Conjugation: 粒子を反粒子に反転)、Pはパリティ変換(Parity: 空間反転)を意味しており、CPはこれらの演算子の積である。

$$\begin{aligned} \text{C変換: } C|\pi^+\rangle &= |\pi^-\rangle & \text{P変換: } \mathbf{x} &\rightarrow -\mathbf{x}, \mathbf{p} \rightarrow -\mathbf{p} \\ C|\pi^-\rangle &= |\pi^+\rangle \end{aligned}$$

- 強い相互作用と電磁相互作用ではCP対称性が成り立っているが、弱い相互作用ではこの対称性が破れていることが実験的に K^0 中間子と、B中間子の系で観測されている。
- これらの中間子系におけるCP対称性の破れの起源は、小林・益川の理論(3世代のクォークのミキシング行列に存在する複素位相)で説明されている。



レプトン系のCP対称性破れ

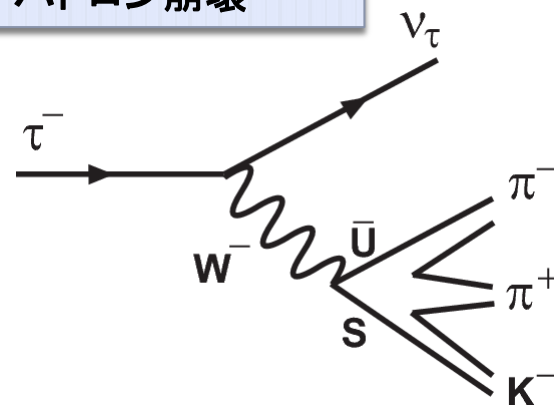
- 標準理論では、レプトン系のCP対称性破れ(CPV)は存在しない。



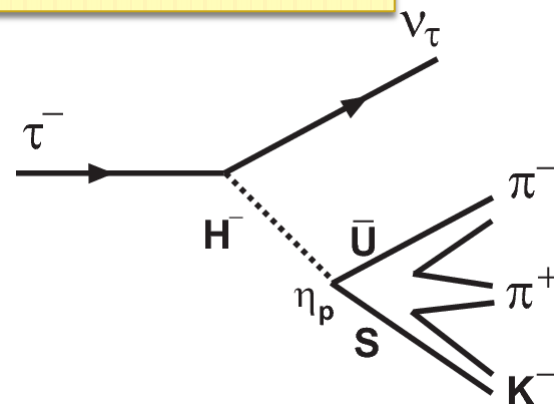
もしレプトン系でのCPVを観測したら新しい物理(NP)の発見につながる。

- レプトン系のCPVを起こすモデルの例として、非標準的な荷電ヒッグスボソン H^- の寄与が考えられる。
- 終状態にK中間子を含むモードに注目するのは、sクォークの方がu、dクォークより重く、ヒッグスとの結合力が強いので、探索感度が高いためである。

W⁻ボソンを媒介する
ハドロン崩壊



ヒッグスボソンを媒介する
ハドロン崩壊

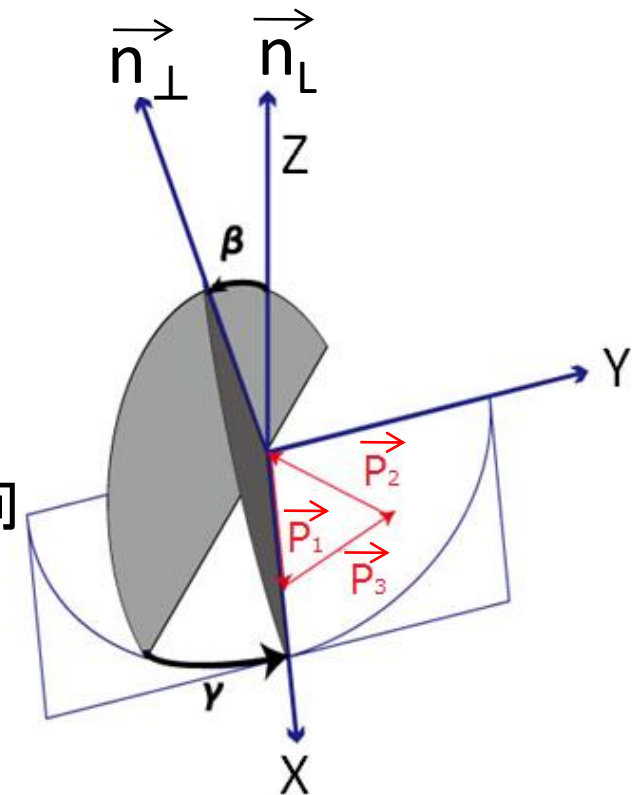


$\tau^- \rightarrow K^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$ でのCP対称性の破れ

- $\tau^- \rightarrow K^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$ と $\tau^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^- \nu_\tau$ で崩壊の様子が異なること。
- CPVは τ^- と τ^+ の間での角分布の違いとして現れることが期待される。

崩壊の角度の定義

- $\tau^- \rightarrow K^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$ 崩壊の $K^- \pi^- \pi^+$ の静止系において、それぞれの運動量を $K^- (\vec{p}_1)$ 、 $\pi^- (\vec{p}_2)$ 、 $\pi^+ (\vec{p}_3)$ とする。
- \vec{n}_L : 実験室系で見た $K^- \pi^- \pi^+$ 系の方向
- \vec{n}_\perp : 3個の粒子が作る平面に垂直な方向
- $\cos\beta$: \vec{n}_\perp と \vec{n}_L の内積
- γ : 方位角



$\tau^- \rightarrow K^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$ でのハドロン構造因子

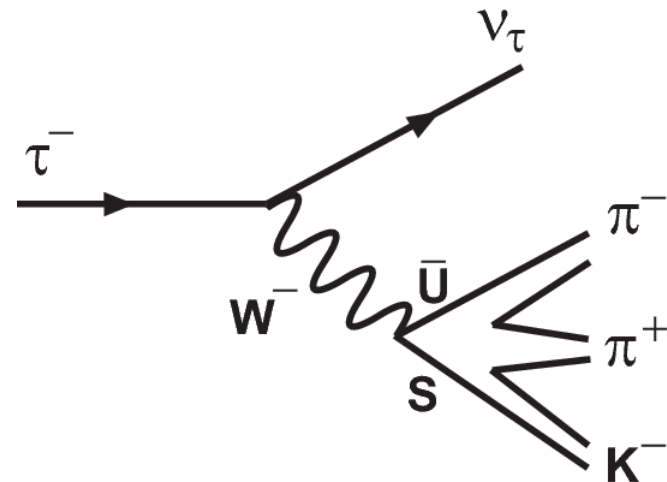
- 一般に τ 粒子の三体へのハドロン崩壊は、4つのハドロン構造因子 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 を用いて表現できる。

$$\begin{aligned}
 J^\mu &\equiv \langle K^-(p_1) \pi^-(p_2) \pi^+(p_3) | \bar{s} \gamma^\mu (1 - \gamma^5) u | 0 \rangle \\
 &= [F_1(s_1, s_2, Q^2)(p_1 - p_3)^\nu + F_2(s_1, s_2, Q^2)(p_2 - p_3)^\nu] T^{\mu\nu} \\
 &\quad + iF_3(s_1, s_2, Q^2) \epsilon^{\mu\nu\rho\sigma} p_{1\nu} p_{2\rho} p_{3\sigma} + \textcircled{F_4}(s_1, s_2, Q^2) Q^\mu
 \end{aligned}$$

F_1, F_2 : $J^P = 1^-$ のベクター
 F_3 : $J^P = 1^+$ の軸ベクター
 F_4 : $J^P = 0^+$ の擬スカラー

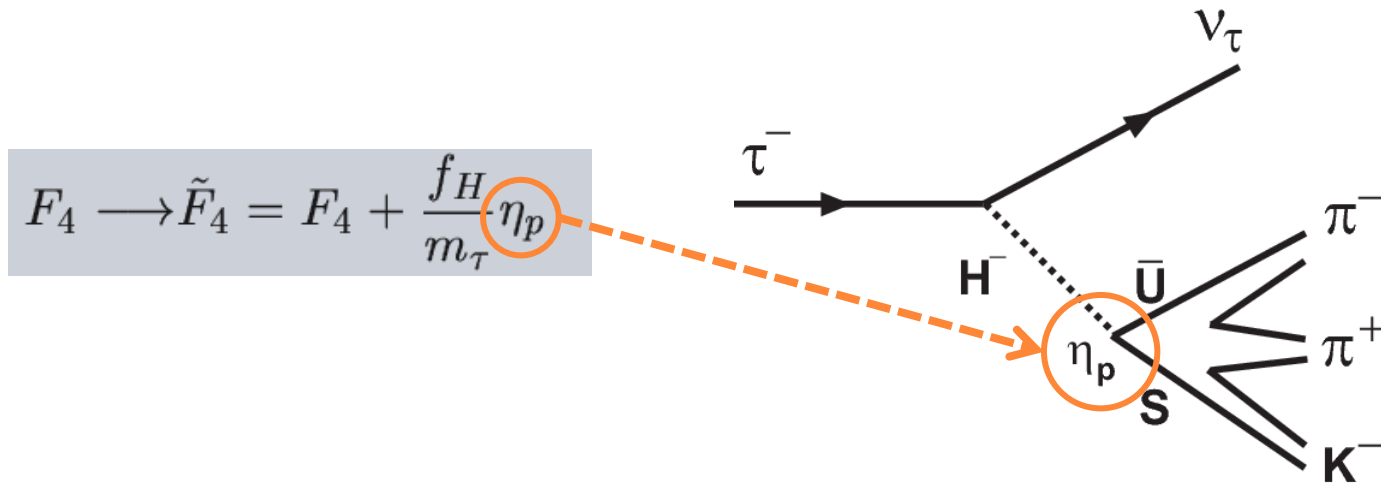
$$\begin{aligned}
 Q^2 &= M(K^- \pi^- \pi^+)^2 \\
 s_1 &= M(\pi^- \pi^+)^2 \\
 s_2 &= M(K^- \pi^+)^2
 \end{aligned}$$

$$\tau^- \rightarrow K^-(p_1) \pi^-(p_2) \pi^+(p_3) \nu_\tau$$



NPの効果

- NPの効果は、ハドロン構造因子 F_4 の項を以下のように置き換えることで取り入れられる。



- η_p は複素数の結合定数で、 τ^- と τ^+ で $\eta_p \rightarrow \eta_p^*$ に変換される。

➡ NPにおけるCP対称性の破れの原因となる。

観測量に関する微分崩壊幅

$$\frac{d\Gamma(\tau^+)}{dQ^2 ds_1 ds_2 d\gamma d \cos \beta d \cos \theta} = \frac{G_F^2 \sin^2 \theta_c (m_\tau^2 - Q^2)^2}{512(2\pi)^6 m_\tau^3 Q^2} \times \left\{ \left[\frac{2}{3} K_1 + K_2 + \frac{1}{3} \bar{K}_1 (3 \cos^2 \beta - 1)/2 \right] (|B_1|^2 + |B_2|^2) \right. \\ + \left[\frac{2}{3} K_1 + K_2 - \frac{2}{3} \bar{K}_1 (3 \cos^2 \beta - 1)/2 \right] |B_3|^2 + K_2 |B_4|^2 \\ - \frac{1}{2} \bar{K}_1 \sin^2 \beta \cos 2\gamma (|B_1|^2 - |B_2|^2) + \bar{K}_1 \sin^2 \beta \sin 2\gamma \operatorname{Re}(B_1 B_2^*) \\ + 2\bar{K}_3 \sin \beta \sin \gamma \operatorname{Re}(B_1 B_3^*) - 2\bar{K}_2 \sin \beta \cos \gamma \operatorname{Re}(B_1 B_4^*) \\ + 2\bar{K}_3 \sin \beta \cos \gamma \operatorname{Re}(B_2 B_3^*) + 2\bar{K}_2 \sin \beta \sin \gamma \operatorname{Re}(B_2 B_4^*) \\ + 2\bar{K}_3 \cos \beta \operatorname{Im}(B_1 B_2^*) + \bar{K}_1 \sin 2\beta \cos \gamma \operatorname{Im}(B_1 B_3^*) \\ \left. - \bar{K}_1 \sin 2\beta \sin \gamma \operatorname{Im}(B_2 B_3^*) - 2\bar{K}_2 \cos \beta \operatorname{Im}(B_3 B_4^*) \right\}$$

6つの観測量
 $Q^2 = M(K^- \pi^- \pi^+)^2$
 $s_1 = M(\pi^- \pi^+)^2$
 $s_2 = M(K^- \pi^+)^2$
 $\cos \beta$ 、 γ 、 $\cos \theta$
 がある

- 微分崩壊幅はCP変換に対して偶(Even)な項と奇(odd)な項の和で表される。
- oddな項は3つあり、 τ^- と τ^+ の場合に項の符号が反転する。
- oddな項はそれぞれ崩壊角度 $\sin \beta \cos \gamma$ 、 $\sin \beta \sin \gamma$ 、 $\cos \beta$ に依存性がある。

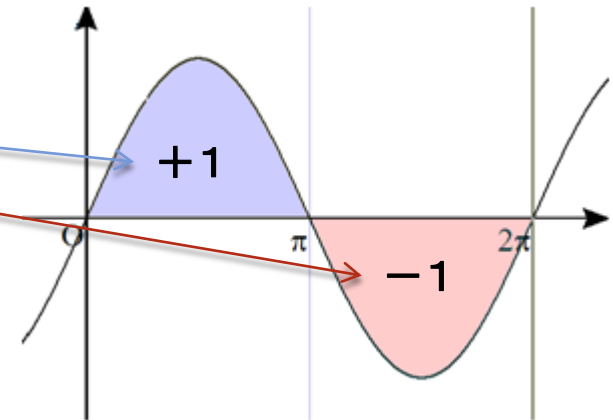
これらの項を抜き出すことが、CPVの観測の為に重要

CP非対称度 $A_{CP}^{(i)}$ の定義

$$A_{CP}^{(i)} \equiv \frac{1}{\Gamma + \bar{\Gamma}} \int \left[\left(\frac{d\Gamma}{dQ^2 ds_1 ds_2 d\gamma d \cos \beta d \cos \theta} g^{(i)}(\gamma, \beta) \right)_{\tau^-} - \left(\frac{d\Gamma}{dQ^2 ds_1 ds_2 d\gamma d \cos \beta d \cos \theta} g^{(i)}(\gamma, \beta) \right)_{\tau^+} \right] \times dQ^2 ds_1 ds_2 d\gamma d \cos \beta d \cos \theta$$

- τ^- と τ^+ の微分崩壊幅の差として定義
- 重み関数 $g^{(i)}(\gamma, \beta)$: CP変換に対してoddな項を抜き出す役割

i	$A_{CP}^{(i)}$	$f_i(\gamma, \beta)$	$g^{(i)}(\gamma, \beta)$
1	$A_{CP}^{(1)}$	$\sin\beta\sin\gamma$	+1 : $0 \leq \gamma < \pi, 0 \leq \beta < \pi$ -1 : $\pi \leq \gamma < 2\pi, 0 \leq \beta < \pi$
2	$A_{CP}^{(2)}$	$\sin\beta\cos\gamma$	+1 : $0 \leq \gamma < \pi/2, 3\pi/2 \leq \gamma < \pi, 0 \leq \beta < \pi$ -1 : $\pi/2 \leq \gamma < 3\pi/2, 0 \leq \beta < \pi$
3	$A_{CP}^{(3)}$	$\cos\beta$	+1 : $0 \leq \beta < \pi/2$ -1 : $\pi/2 \leq \beta < \pi$



- 以下、3つのCP非対称度 $A_{CP}^{(1)}$ 、 $A_{CP}^{(2)}$ 、 $A_{CP}^{(3)}$ を測定した結果について報告する。

実験装置

KEKB加速器

非対称エネルギー
電子・陽電子衝突型加速器

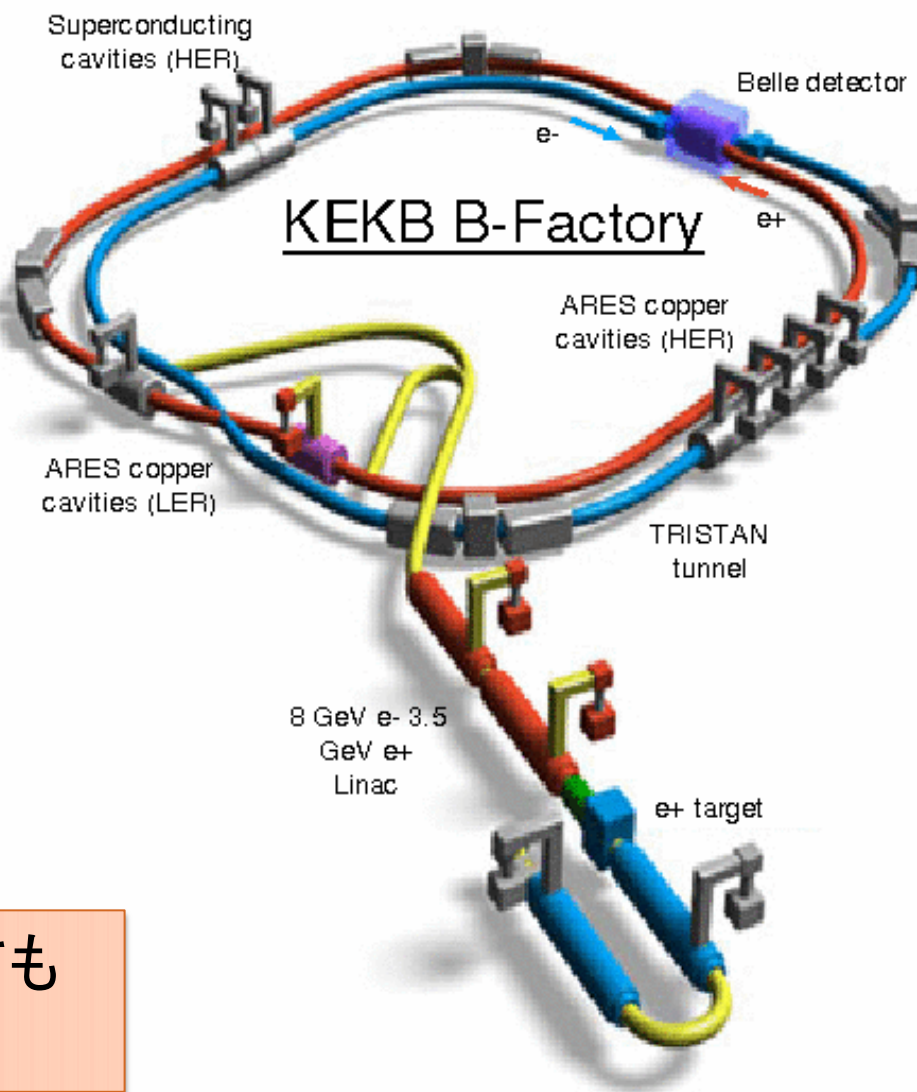
e^- : 8.0 GeV

e^+ : 3.5 GeV

重心系のエネルギー : 10.58 GeV

- B中間子を大量に生成し、研究するのに理想的な設計
- B中間子とほぼ同数の τ 粒子も生成

τ ファクトリーとしても
重要

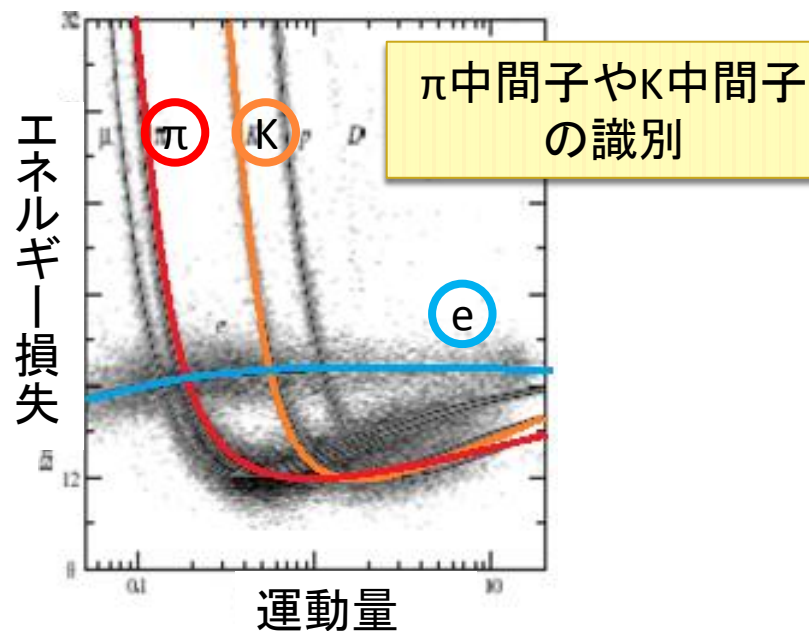
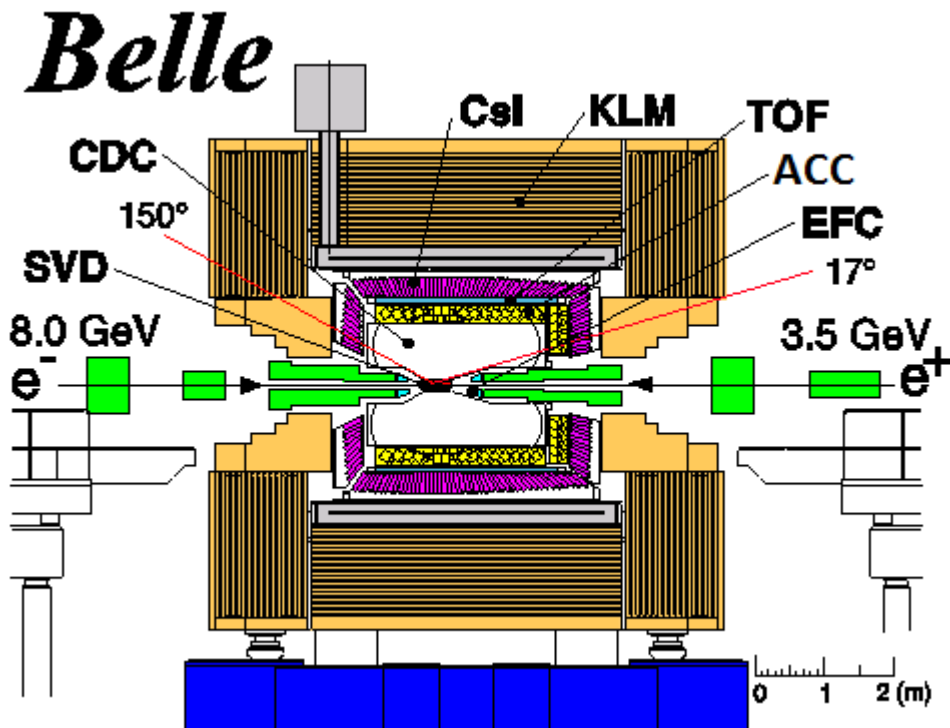


実験装置

Belle検出器

生成された粒子を検出するために複数の装置で構成されている

- SVD: 粒子崩壊点の測定
- CDC: 荷電粒子の飛跡や運動量の測定
- ACC: K^\pm と π^\pm の識別
- TOF: 荷電粒子の飛行時間を測定
- ECL: 電子や光子のエネルギー測定
- KLM: K_L 、 μ 粒子の検出



事象選別

- 今回使ったデータ量72.2/fb(全体の10分の1)
- $e^+e^- \rightarrow \tau^+\tau^-$ 事象選別: バックグラウンドには μ 対生成、 $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$ 生成、バーバースカattering、二光子過程など

→ τ の崩壊の特徴として終状態の荷電粒子の数が少ないことが挙げられる
荷電飛跡が4本存在する事象を選んだ

- 運動量が最も高い荷電飛跡を事象軸とし、 e^+e^- の重心系で2つの半球に分ける。

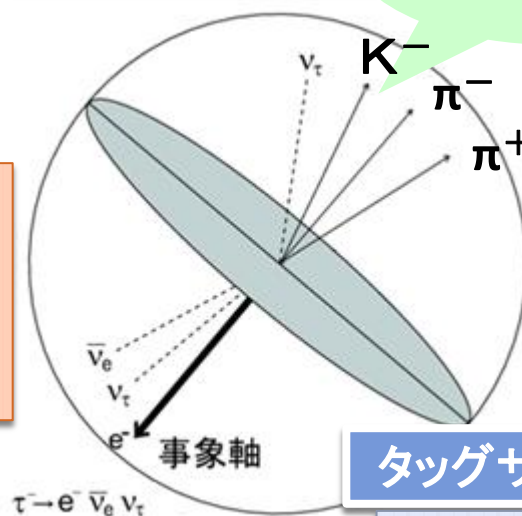
シグナルサイド
荷電飛跡が3本

信号事象:
 $\tau^- \rightarrow K^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$

- τ 崩壊から来る主なバックグラウンド

- $\tau^- \rightarrow \pi^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$
- $\tau^- \rightarrow K^- \pi^- \pi^+ \pi^0 \nu_\tau$
- $\tau^- \rightarrow K^- K_S \nu_\tau$

✓ K、 π 荷電粒子ID
✓ γ 、 π^0 の veto
✓ K_S の veto

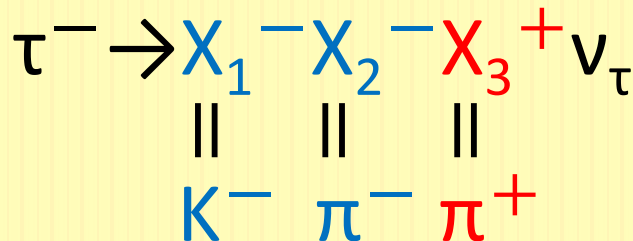


タッグサイド

荷電飛跡が1本

終状態の荷電粒子の識別

- π/K の区別をCDCから得られるエネルギー損失(dE/dx)、TOFおよびACCの情報を用いる。
- これらの情報から π らしさを表す関数 $P(\pi/K)$ を準備した。
- 本解析では $\pi: P(\pi/K) \geq 0.6$
 $K: P(\pi/K) < 0.1$ で π と K を識別した。
- 終状態の3本の荷電粒子それぞれが π/K に識別されていることを要求した。

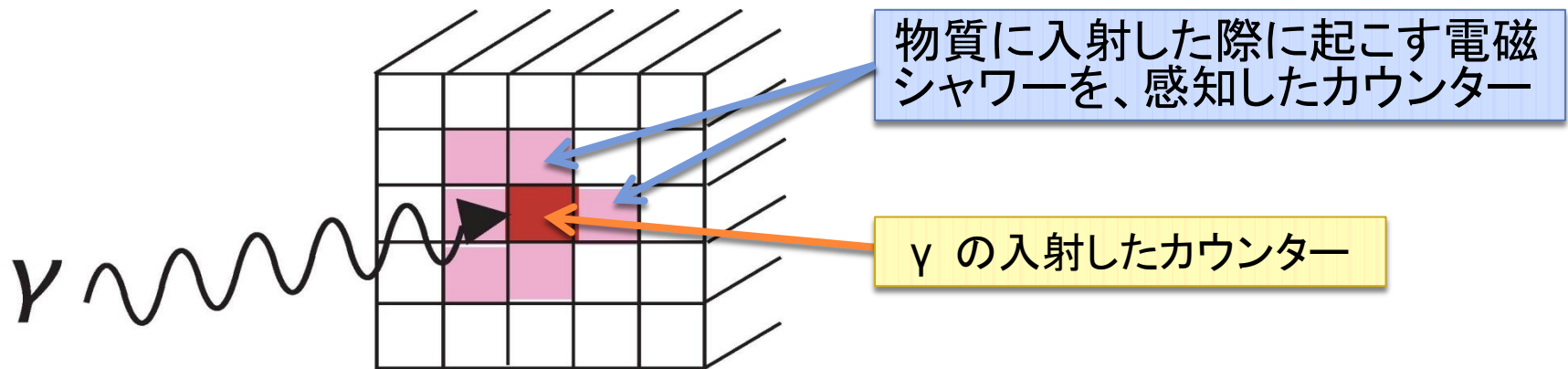


π^0 を含むバックグラウンドの除去

- π^0 を含む崩壊の特徴： γ の存在

➡ π^0 は99%の確率で2つの γ に崩壊する

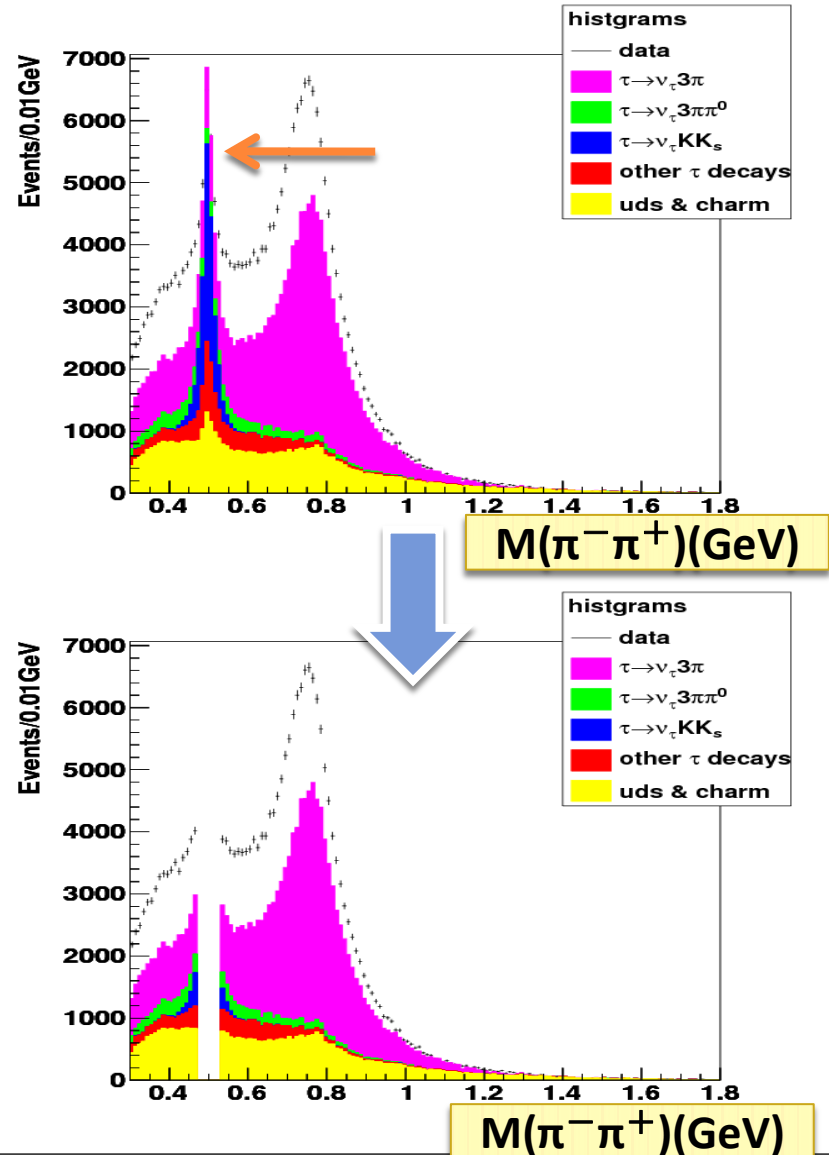
- これらの γ のエネルギーはECLカウンターでのエネルギー損失により測定可能。



荷電粒子が3本で、それ以外に π^0 が存在しない事象を選別するため、0.2GeV以上のエネルギーを持つ γ (光子)が存在する事象は、候補から除いた

K_S を含むバックグラウンドの除去

- K_S は69.2%の確率で $\pi^+\pi^-$ に崩壊するため、その一部がバックグラウンドに含まれる。
- 右上の図からわかるように、0.5GeV付近に $\tau^- \rightarrow K^- K_S \nu_\tau$ バックグラウンドによる K_S のピークが残っている。
- これを除くために、 $470 < M(\pi^+\pi^-) < 530$ (MeV)の範囲の全事象を除く。



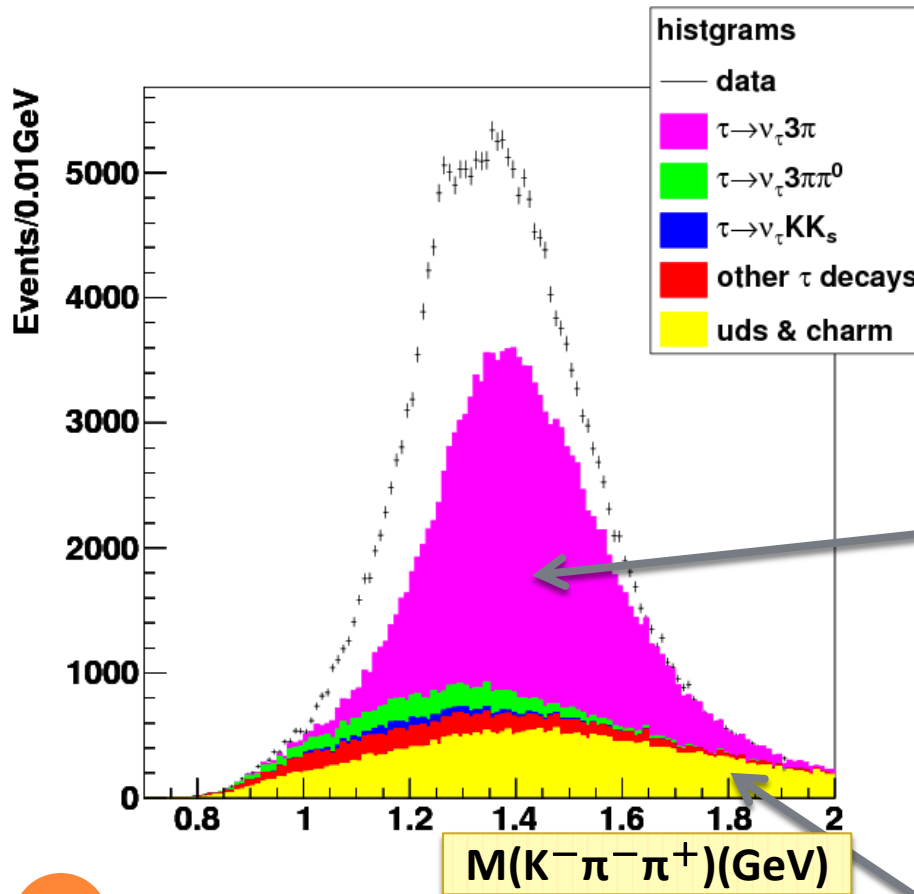
選択された $\tau^- \rightarrow K^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$ 事象

$\tau^- \rightarrow K^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$ 崩壊の候補数

235,504事象

[$\tau^- \rightarrow K^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$:118,418事象
 $\tau^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^- \nu_\tau$:117,086事象]

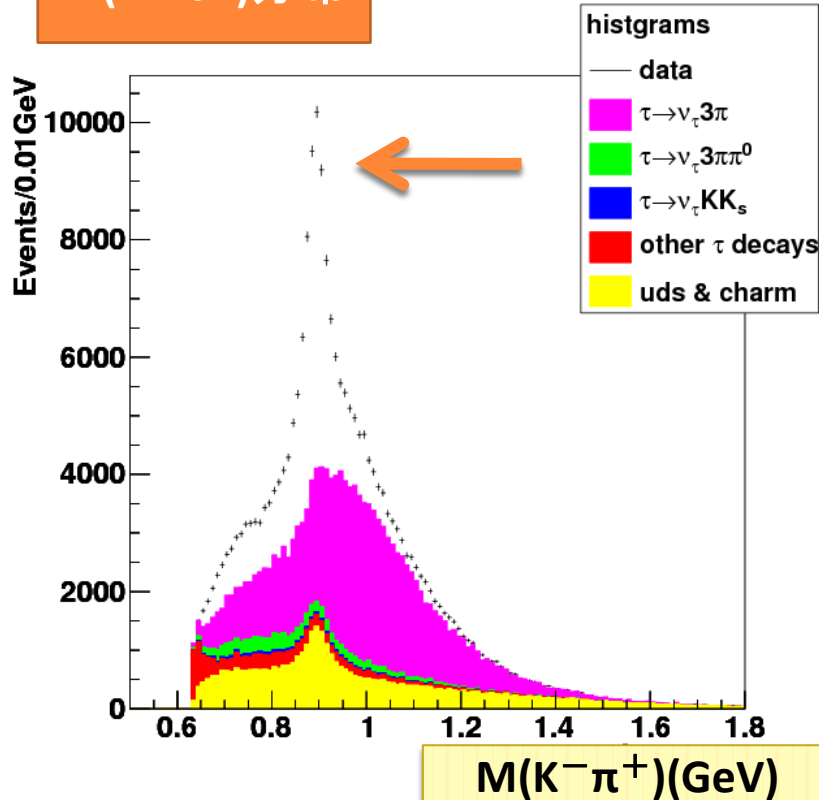
- 選択したサンプル中に含まれるバックグラウンドの割合



崩壊モード	割合
$\tau^- \rightarrow \pi^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$	43.0%
$\tau^- \rightarrow \pi^- \pi^- \pi^+ \pi^0 \nu_\tau$	3.80%
$\tau^- \rightarrow K^- K_S \nu_\tau$	0.83%
$\tau^- \rightarrow K^- \pi^- \pi^+ \pi^0 \nu_\tau$	2.21%
$\tau^- \rightarrow K^- K^+ \pi^- \nu_\tau$	2.60%
$e^+ e^- \rightarrow q\bar{q}\nu_e$ ($q=u, d, s, c$)	19.0%

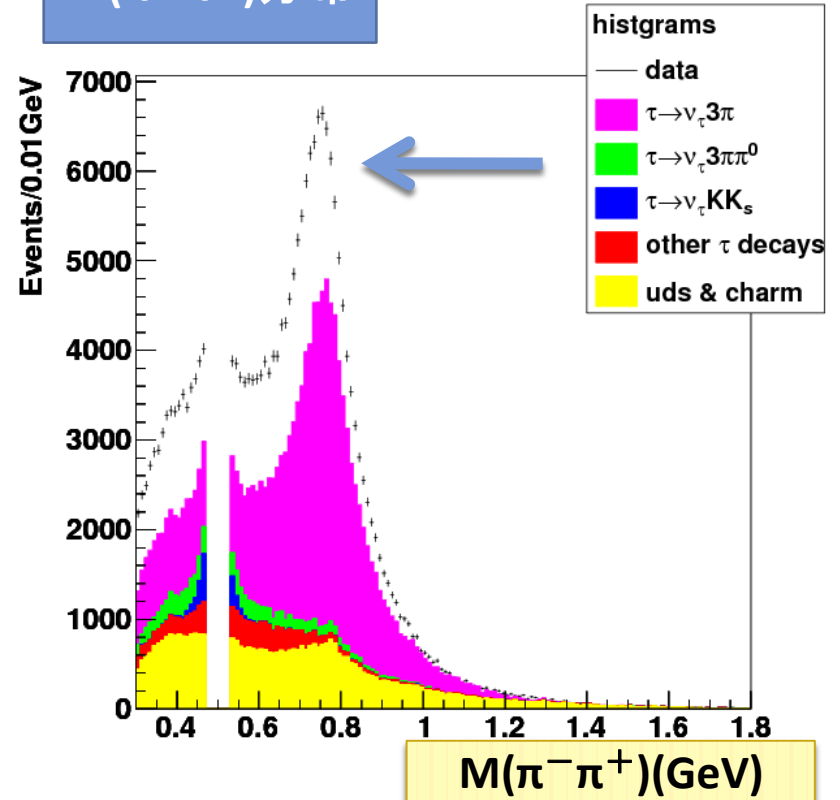
$\tau^- \rightarrow K^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$ 崩壊における $K^- \pi^+$ と $\pi^- \pi^+$ の不変質量分布

$M(K^- \pi^+)$ 分布



890 MeV 付近に $K^*(892)$ 共鳴によるピークが見える

$M(\pi^- \pi^+)$ 分布



770 MeV 付近に $\rho(770)$ 共鳴のピークが見える

CP非対称度 $A_{CP}^{(i)}$ の測定

- CP非対称度の定義

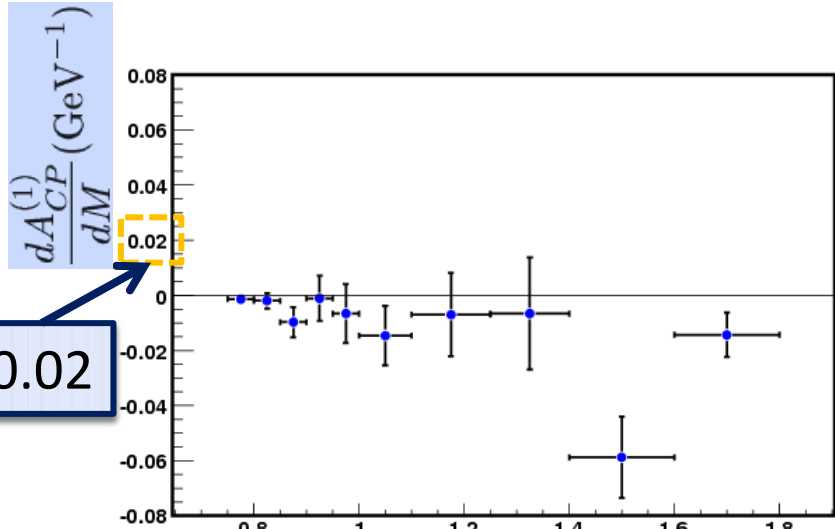
$$A_{CP}^{(i)} \equiv \frac{1}{\Gamma + \bar{\Gamma}} \int \left[\left(\frac{d\Gamma}{dQ^2 ds_1 ds_2 d\gamma d \cos \beta d \cos \theta} g^{(i)}(\gamma, \beta) \right)_{\tau^-} - \left(\frac{d\Gamma}{dQ^2 ds_1 ds_2 d\gamma d \cos \beta d \cos \theta} g^{(i)}(\gamma, \beta) \right)_{\tau^+} \right] \times dQ^2 ds_1 ds_2 d\gamma d \cos \beta d \cos \theta$$

- 非対称度 $A_{CP}^{(i)}$ を質量の関数として測定した

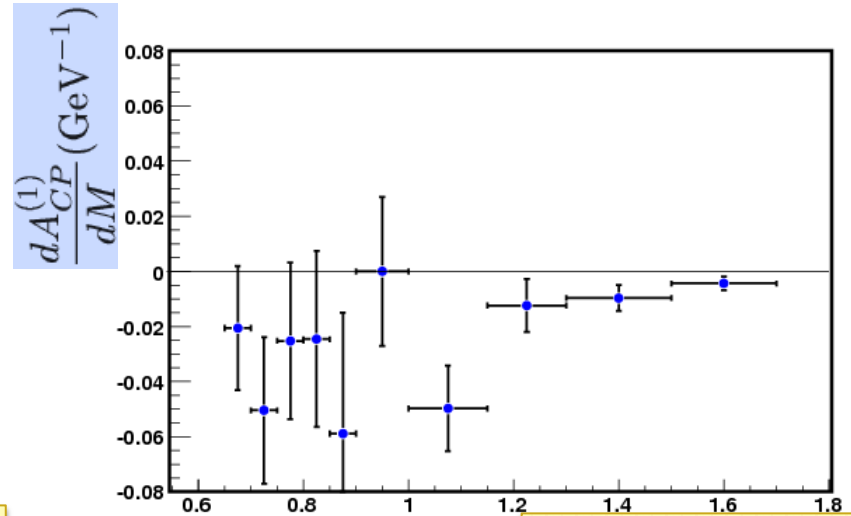
$$\frac{dA_{CP}^{(i)}}{dM} = \frac{1}{(N_{\tau^-} + N_{\tau^+})(1 - \eta_{bg})\Delta M} \left[\left(\sum_j g^{(i)} \right)_{\tau^-} - \left(\sum_j g^{(i)} \right)_{\tau^+} \right]$$

- $g^{(i)}$ を各質量ごとに足し合わせて τ^+ と τ^- の間の差をとっている。
- N_{τ^-} : $\tau^- \rightarrow K^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$ の事象数、 N_{τ^+} : $\tau^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^- \nu_\tau$ の事象数である。
- η_{bg} はバックグラウンドの割合で、 $\eta_{bg} = 0.67$ である
- ΔM はヒストグラムの質量のビンの幅
- 質量としては $M(K^- \pi^- \pi^+)$ 、 $M(K^- \pi^+)$ 、 $M(\pi^- \pi^+)$ の3種類について測定を行った。
- 非対称度 $A_{CP}^{(1)}$ 、 $A_{CP}^{(2)}$ 、 $A_{CP}^{(3)}$ の3種類を測定した。

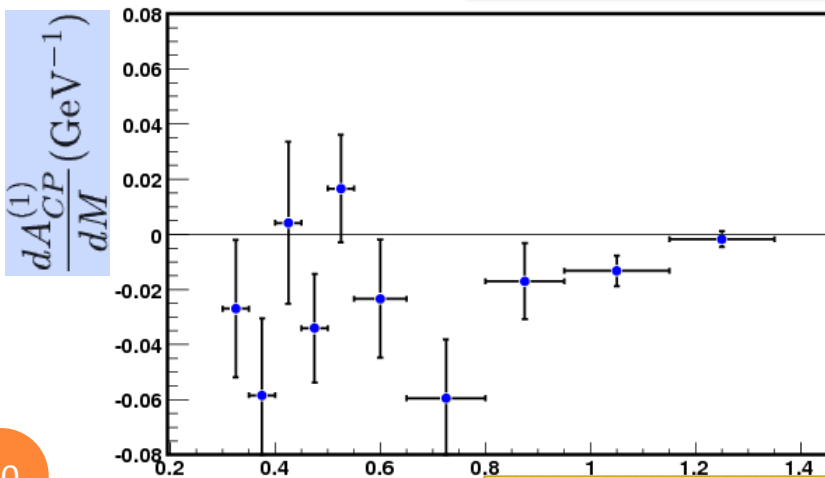
CP非対称度 $A_{CP}^{(1)}$: $\sin\beta\sin\gamma$



$M(K^- \pi^- \pi^+) (\text{GeV})$



$M(K^- \pi^+) (\text{GeV})$

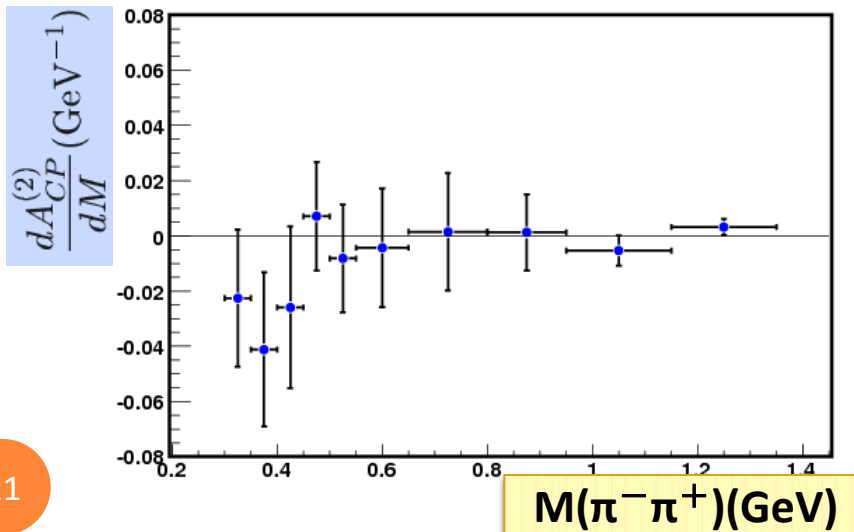
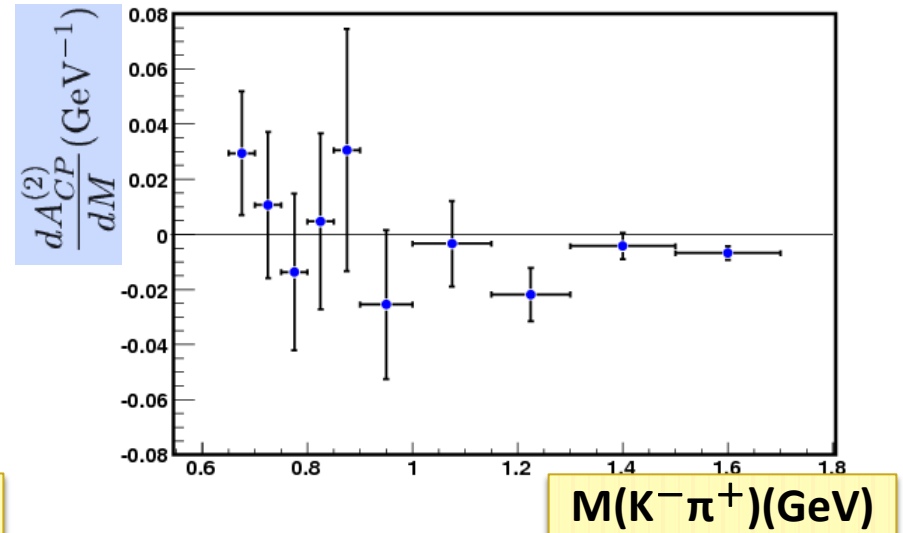
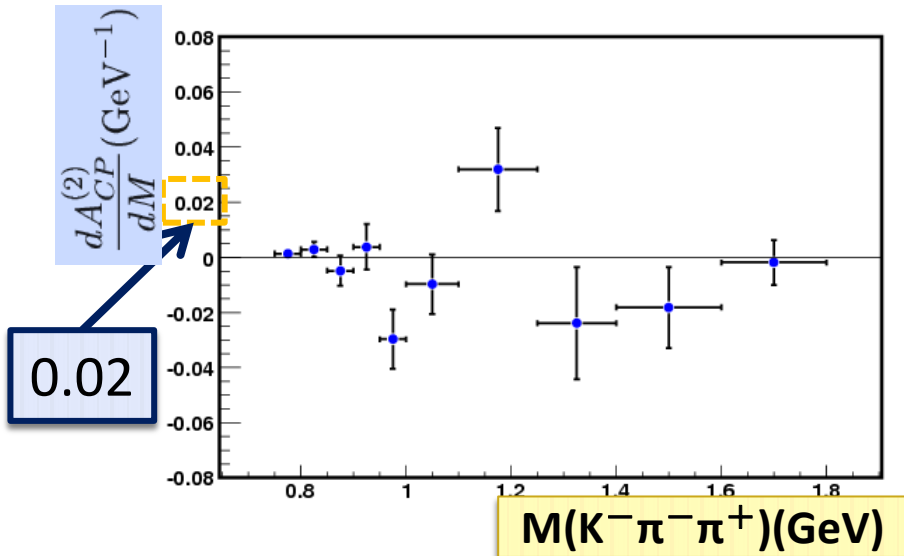


$M(\pi^- \pi^+) (\text{GeV})$

$M(K^- \pi^- \pi^+)$ の 1.5 GeV 付近および、 $M(K^- \pi^+)$ の 1.1 GeV 付近にそれぞれ 1.5 σ ほどのずれが見られる。

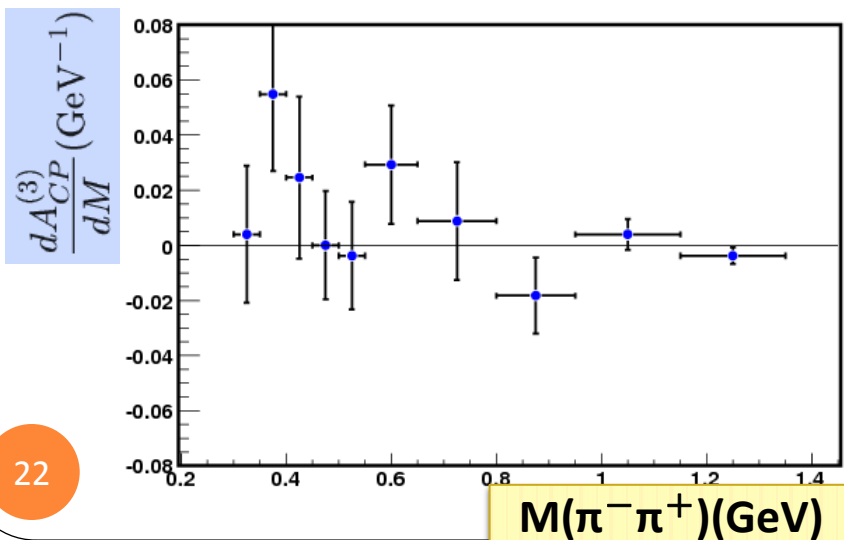
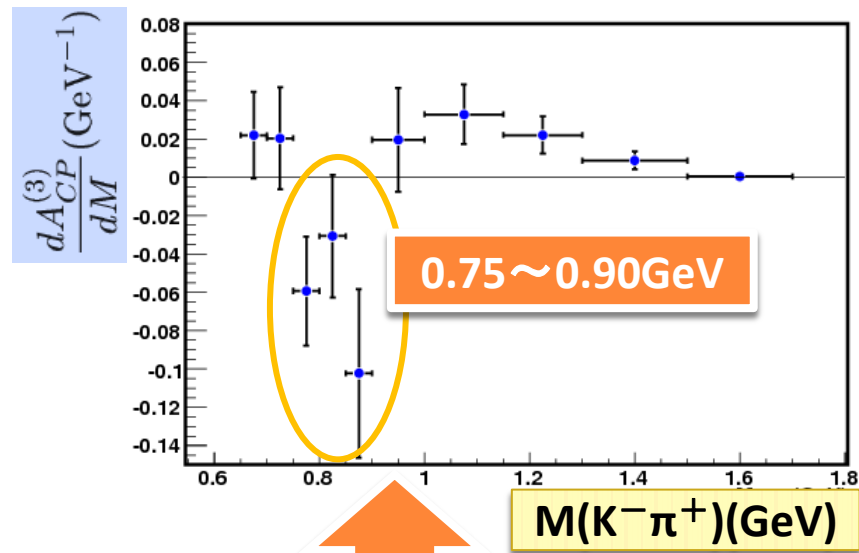
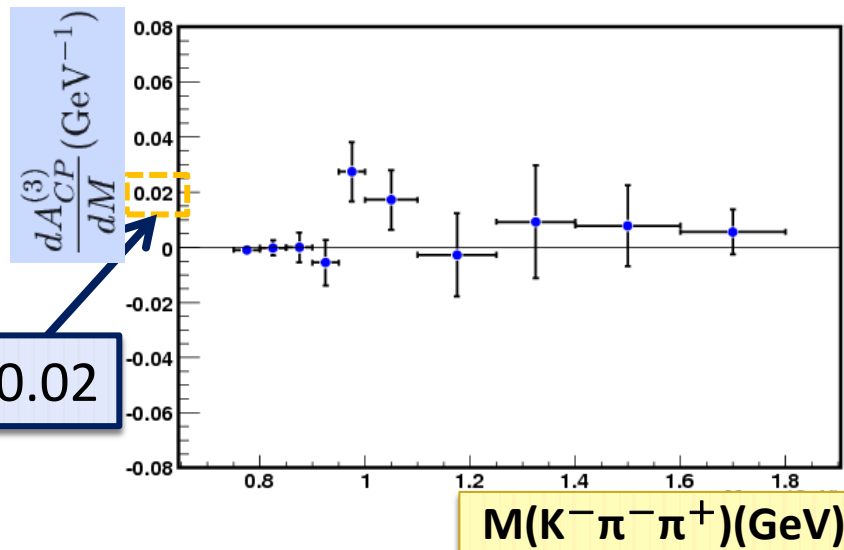
それ以外の領域は統計の範囲内でゼロと一致している。

CP非対称度 $A_{CP}^{(2)}$: $\sin\beta\cos\gamma$



$M(K^- \pi^- \pi^+)$ の 1.2 GeV 付近および、 $M(K^- \pi^+)$ の 1.2 GeV 付近にそれぞれ 1σ ほどのずれが見られる。

それ以外の領域は統計の範囲内でゼロと一致している。

CP非対称度 $A_{CP}^{(3)}$: $\cos\beta$ 

$K^*(892)$ 共鳴付近でゼロからずれたCP非対称性が観測されている。

0.75 ~ 0.90 GeVの3つのビンをまとめた $A_{CP}^{(3)}$ の値は

$$A_{CP}^{(3)} = -0.064 \pm 0.020 (\text{Stat})$$

でゼロからの変位は 3.1σ である。

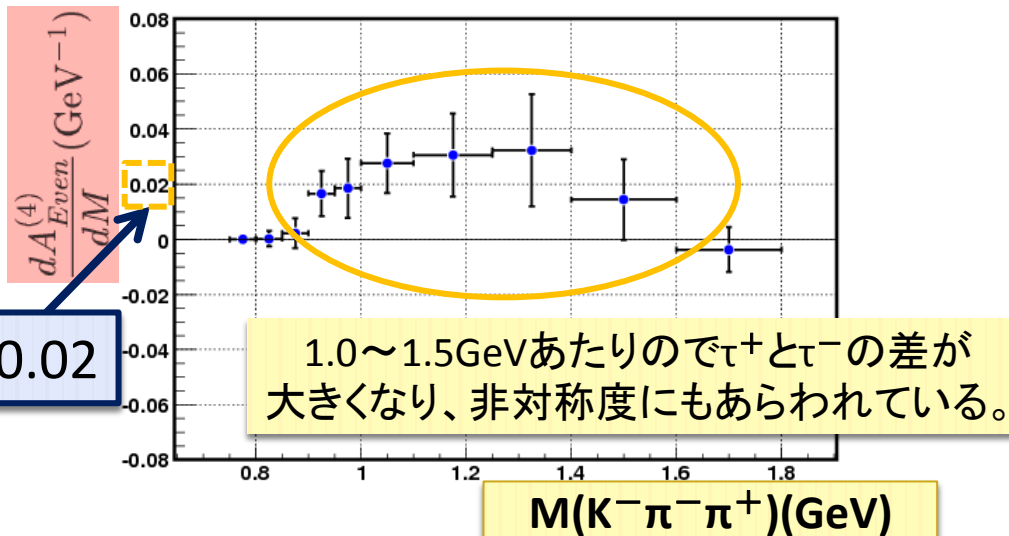
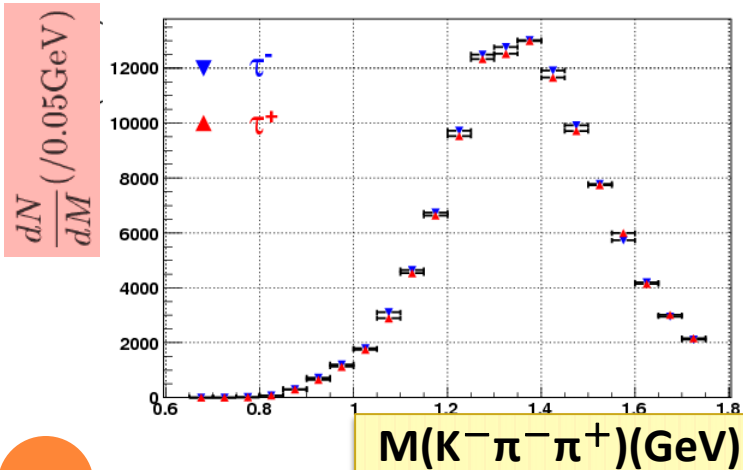
バイアスのチェック: CP-Evenの項では？

- CP変換に対して偶(Even)の変換性を持つ観測量では、非対称性がないはず。
- そのために質量分布に関する非対称度 $A_{\text{even}}^{(4)}$ を定義

$$\frac{dA_{\text{Even}}^{(4)}}{dM} = \left(\frac{dN}{dM} \Big|_{\tau^-} - \frac{dN}{dM} \Big|_{\tau^+} \right) \frac{1}{N_{\tau^-} + N_{\tau^+}}$$

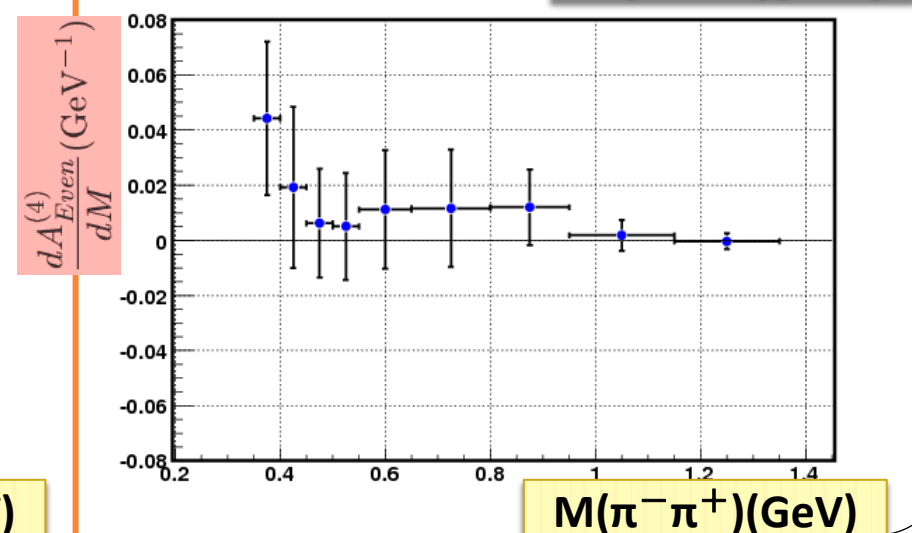
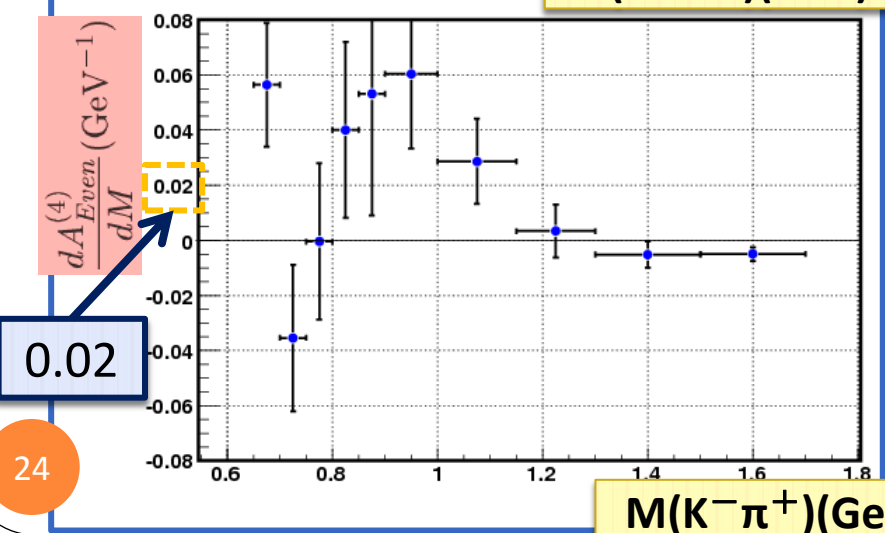
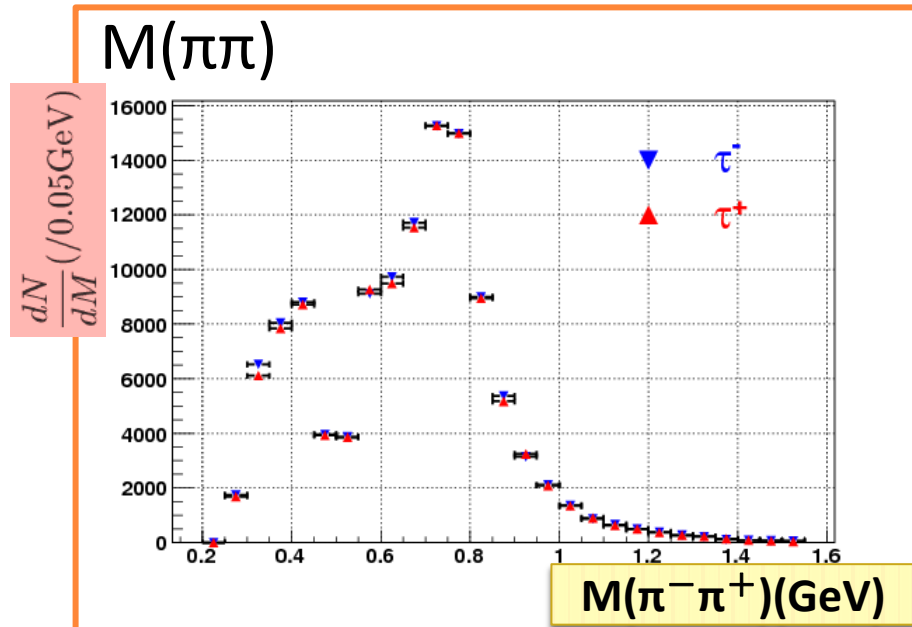
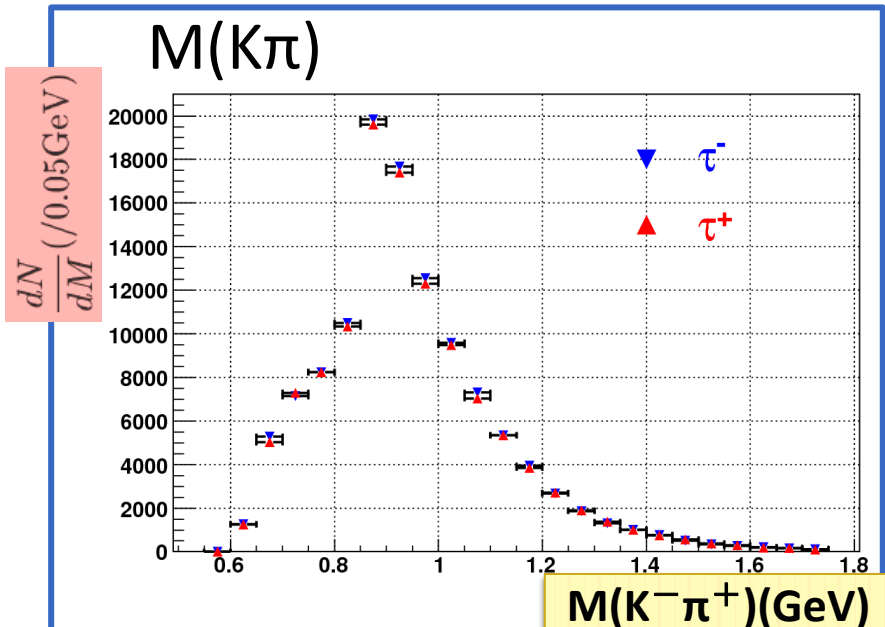
$$= \frac{1}{(N_{\tau^-} + N_{\tau^+})(1 - \eta_{bg})\Delta M} \left[\left(\sum_j^i 1 \right)_{\tau^-} - \left(\sum_j^i 1 \right)_{\tau^+} \right]$$

N_{τ^-} : $\tau^- \rightarrow K^- \pi^- \pi^+ \nu_{\tau}$ の事象数
 N_{τ^+} : $\tau^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^- \nu_{\tau}$ の事象数
 ΔM : ヒストグラムのビンの幅



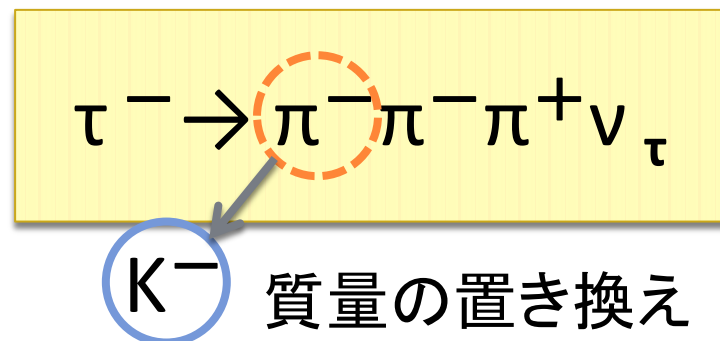
バイアスのチェック(続き)

$$\tau^- \rightarrow K^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$$



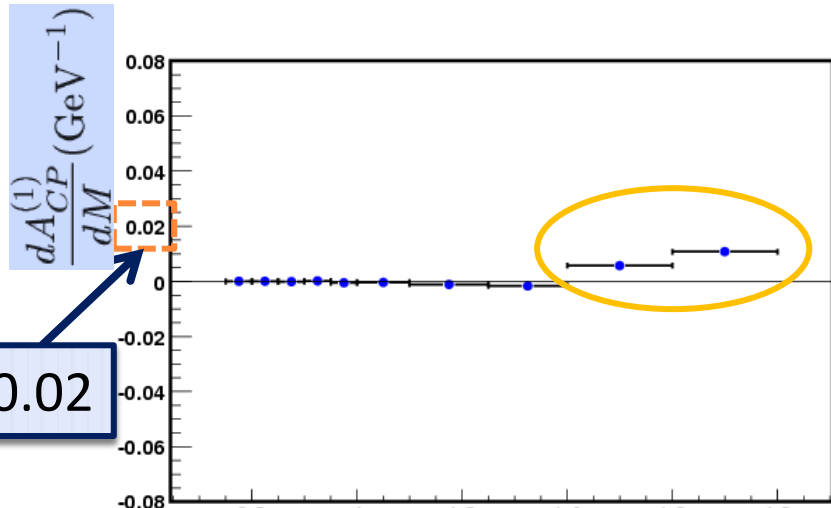
バックグラウンド事象のCP非対称性

- 信号事象である $\tau^- \rightarrow K^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$ に対する最も大きなバックグラウンドは $\tau^- \rightarrow \pi^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$ である。
- $\tau^- \rightarrow \pi^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$ は3本の荷電粒子が全て π と識別されている事象として選別し、2,233,492事象を得た。
- この数は信号事象の約10倍である
- 以下、 $\tau^- \rightarrow \pi^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$ に対するCP非対称度 $A_{CP}^{(1)}$ 、 $A_{CP}^{(2)}$ 、 $A_{CP}^{(3)}$ と $A_{Even}^{(4)}$ を質量の関数として示す。
- 尚、 $\tau^- \rightarrow \pi^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$ の π を K の質量と仮定して、不変質量を計算している。

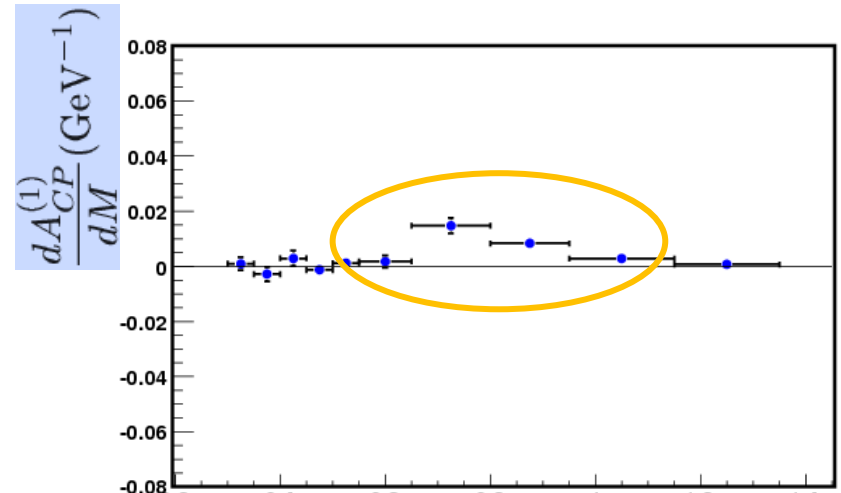


バックグラウンドのチェック:

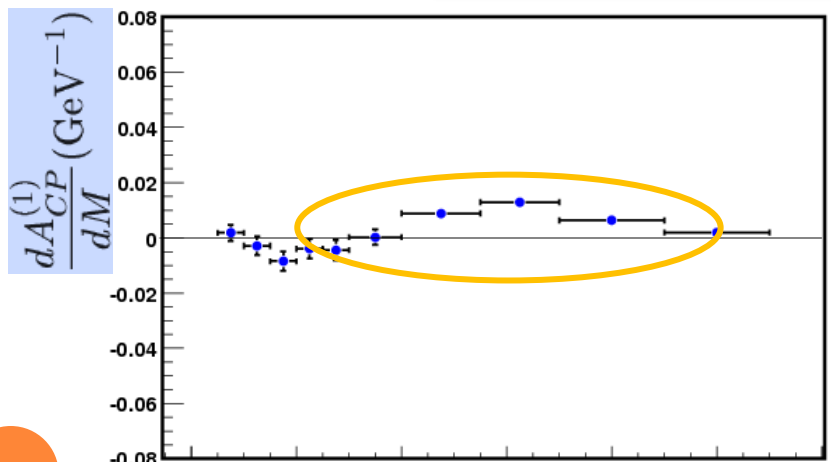
$\tau^- \rightarrow \pi^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$ における $A_{CP}^{(1)}$: $\sin\beta\sin\gamma$



$M(K^- \pi^- \pi^+)(\text{GeV})$



$M(K^- \pi^+)(\text{GeV})$



$M(\pi^- \pi^+)(\text{GeV})$

明らかにゼロからのずれが見られる。
可能性として・・・



CP対称性の破れ?

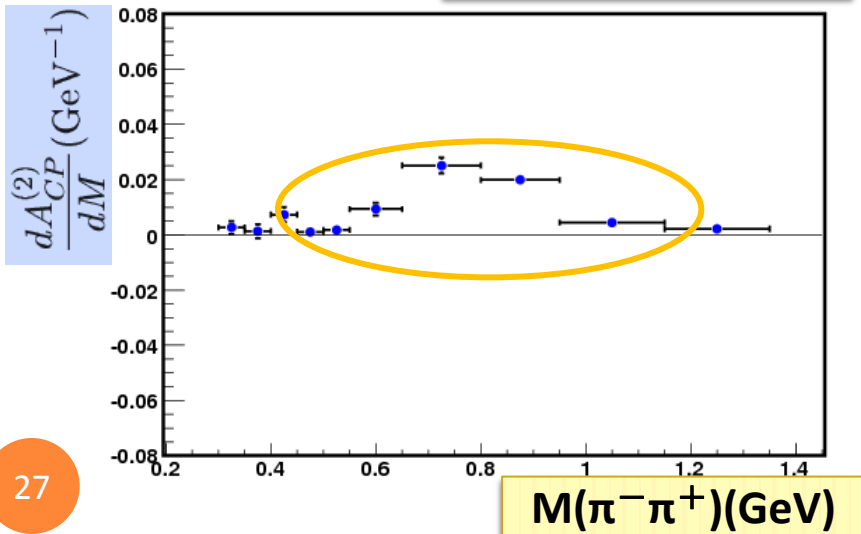
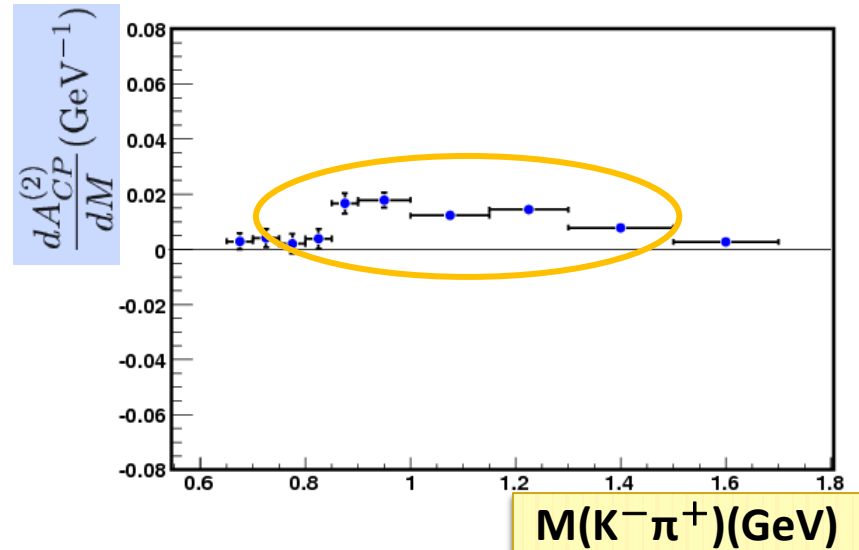
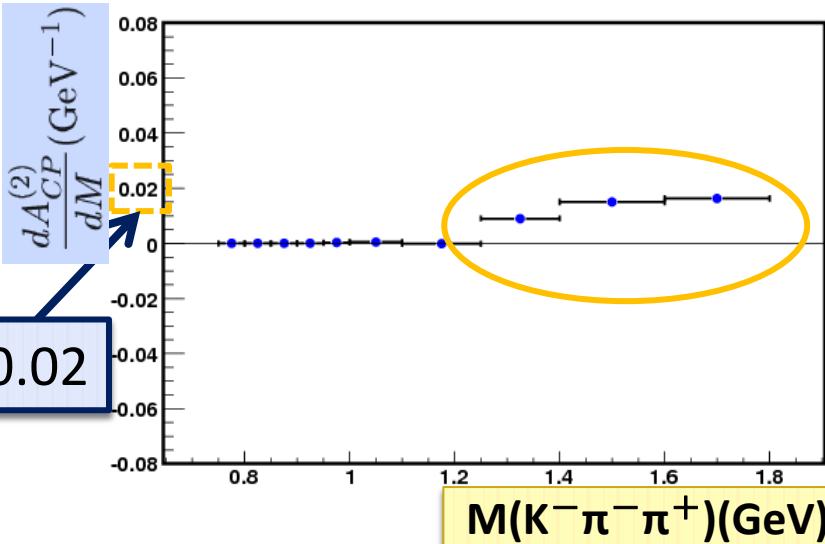


検出器からのバイアス?

検出器のバイアス: プラス電荷とマイナス電荷の粒子検出効率の違い

バックグラウンドのチェック

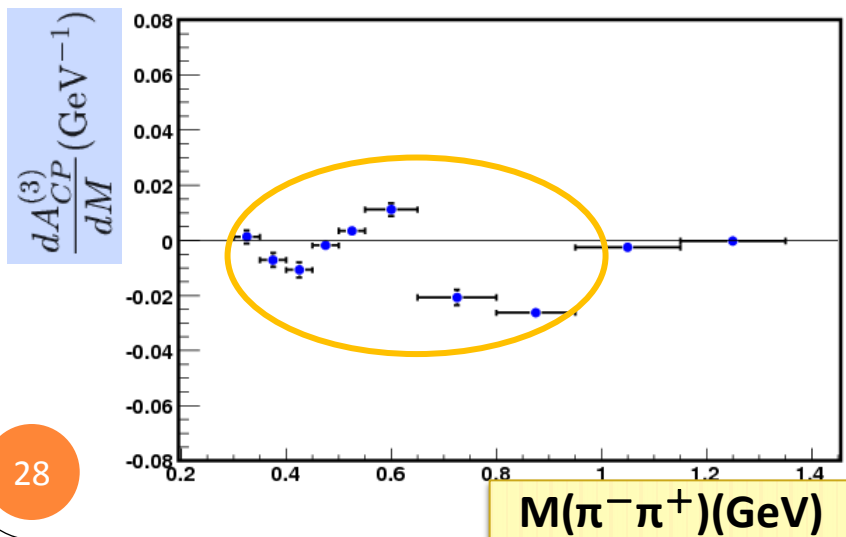
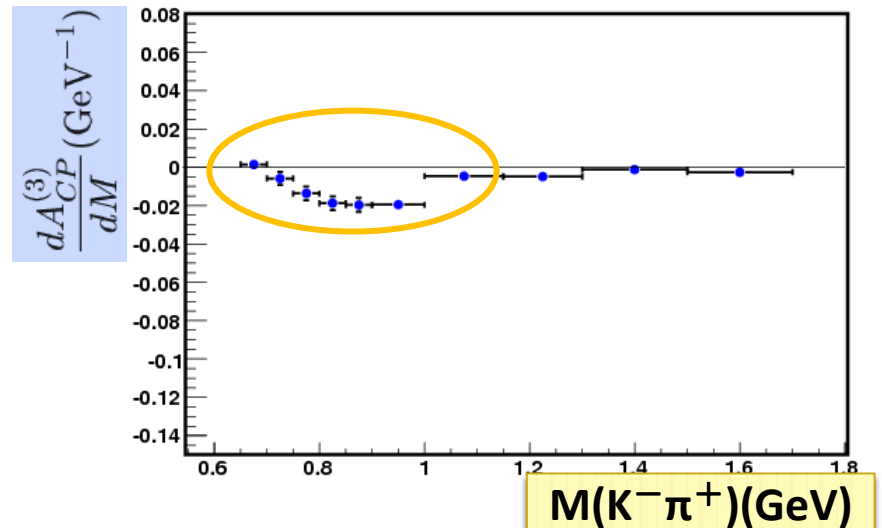
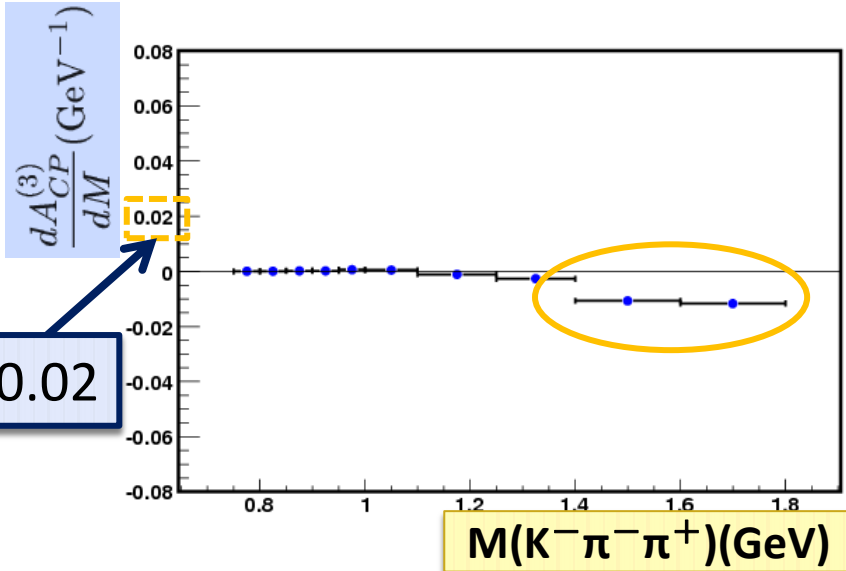
$\tau^- \rightarrow \pi^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$ における $A_{CP}^{(2)}$: $\sin\beta\cos\gamma$



$M(K^- \pi^- \pi^+)$ の 1.3 ~ 1.7 GeV 付近、
 $M(K^- \pi^+)$ の 0.9 ~ 1.4 GeV 付近および
 $M(\pi^- \pi^+)$ の 0.6 ~ 1.0 GeV 付近に
 それぞれゼロからのずれがみられる。

バックグラウンドのチェック

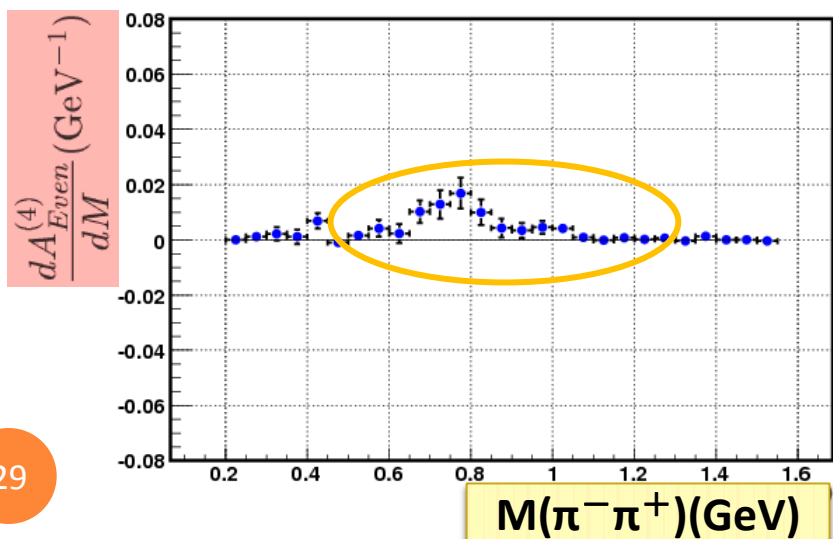
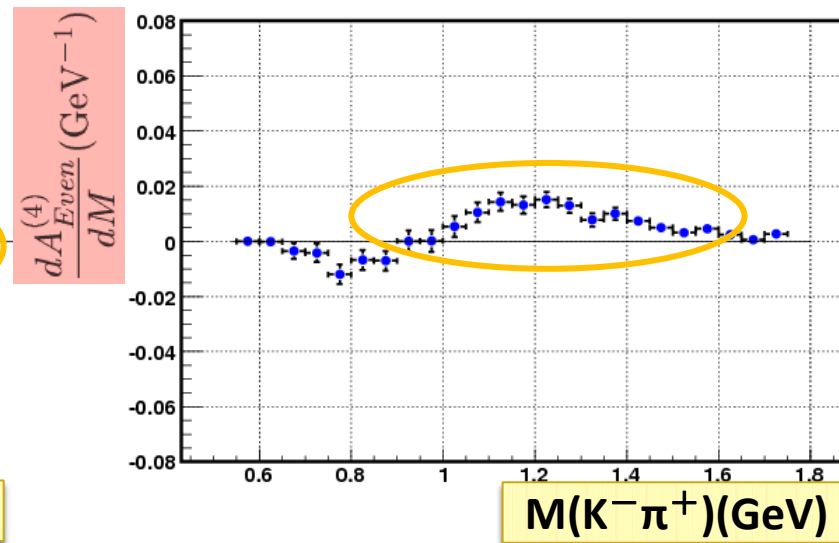
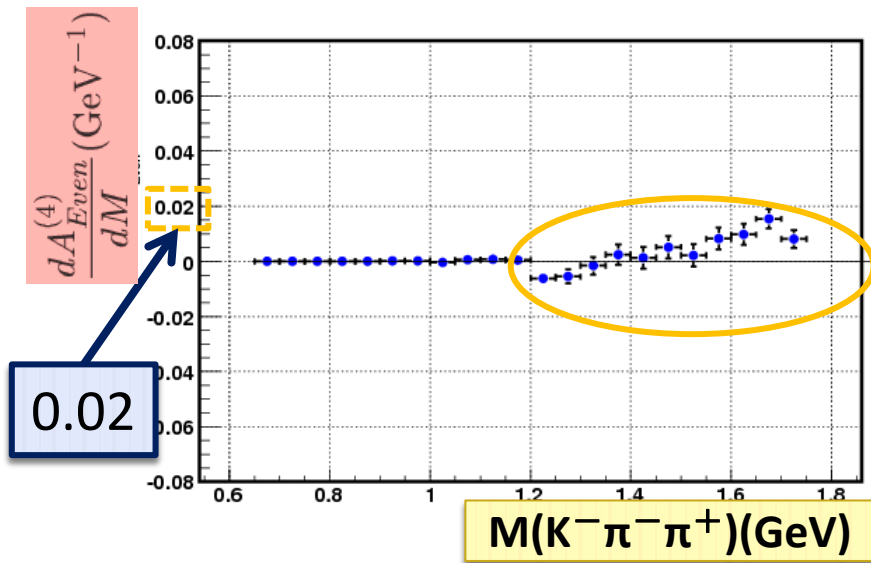
$\tau^- \rightarrow \pi^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$ における $A_{CP}^{(3)} : \cos\beta$



$M(K^- \pi^- \pi^+)$ の 1.5 ~ 1.7 GeV 付近、
 $M(K^- \pi^+)$ の 0.7 ~ 1.2 GeV 付近および
 $M(\pi^- \pi^+)$ の 0.4 ~ 1.0 GeV 付近にそれぞれゼロからのずれがみられる。

$\tau^- \rightarrow \pi^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$ における

$A_{\text{Even}}^{(4)}$: 質量分布の差



CP変換に対して偶(Even)の量である質量分布の差 $A_{\text{Even}}^{(4)}$ にもそれぞれゼロからのずれがみられる。



測定器による非対称性の影響が残っていると考えられる。

まとめ

2000年から2002年にまで収集したデータ: 72.2/fb
 $\tau^- \rightarrow K^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$ の候補: 235,000事象

- $\tau^- \rightarrow K^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$ 崩壊におけるCP対称性の破れをBelleの72.2/fbのデータを用いて初めて研究した。
- CP非対称度を測定するために、崩壊角度分布を測定し、イベントに適切な重みをつけて3種類のCP非対称な観測量を求めた。
- その結果、 $\cos\beta$ に関するCP非対称度($A_{CP}^{(3)}$)にゼロから 3.1σ 離れている兆候が観測された。
- しかし物理的な起源のCP対称性の破れでは見えないはずの、 τ^+ と τ^- の質量分布の差にも有為な構造が見えていた。(特に $\tau^- \rightarrow \pi^- \pi^- \pi^+ \nu_\tau$)
→ 検出器の検出効率の影響が残っている。

【課題】

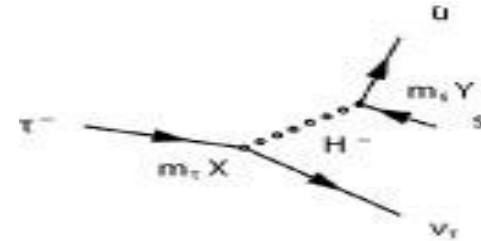
- ✓ 既知の検出器の検出効率の違いを補正する
- ✓ 他のCP変換に対して偶(Even)の量を調べ、バイアスのチェックを厳密に行なう
- ✓ 全てのBelleのデータ(現在の10倍)を用いる

レプトン系でのCPVについてオーダー 10^{-3} の感度で検証が可能。

Backup

$$\eta_p \cong \frac{m_\tau m_s}{M_{H^\pm}^2} X^* Z$$

結合定数



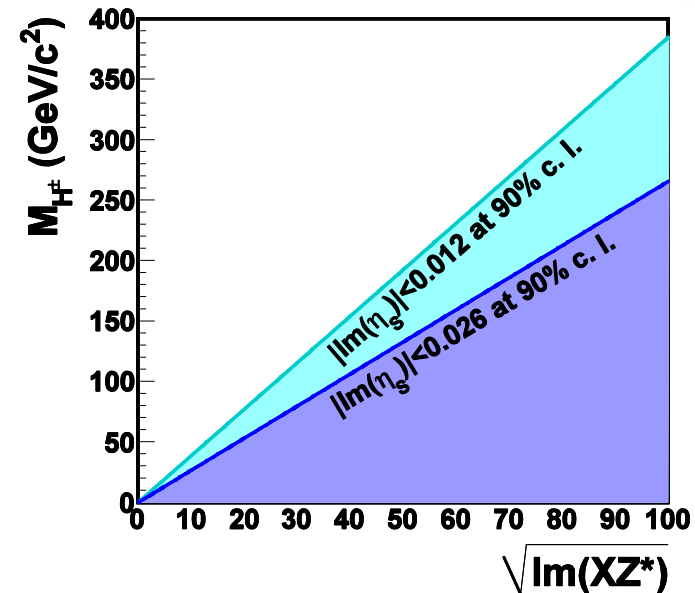
M_{H^\pm} : mass of lightest charged Higgs in MHDM

Z : complex coupling constant btw Higgs and lepton.

X : complex coupling constant btw Higgs and down-type quark

- 結果 ($|\text{Im}(\eta_s)| < 0.026$)

$$|\text{Im}(XZ^*)| \leq 0.15 \frac{M_H^2}{(1\text{GeV})^2}$$



Backup

mode	X_1	X_2	X_{op}	条件	事象数
1	π^-	π^-	π^+	$P_1(\pi/K) \geq 0.6$ 、 $P_2(\pi/K) \geq 0.6$ 、 $P_3(\pi/K) \geq 0.6$	2,372,534
2	K^-	π^-	π^+	$P_1(\pi/K) < 0.1$ 、 $P_2(\pi/K) \geq 0.6$ 、 $P_3(\pi/K) \geq 0.6$	178,464
3	π^-	K^-	π^+	$P_1(\pi/K) \geq 0.6$ 、 $P_2(\pi/K) < 0.1$ 、 $P_3(\pi/K) \geq 0.6$	87,434
4	π^-	π^-	K^+	$P_1(\pi/K) \geq 0.6$ 、 $P_2(\pi/K) \geq 0.6$ 、 $P_3(\pi/K) < 0.1$	107,890
5	K^-	K^-	π^+	$P_1(\pi/K) < 0.1$ 、 $P_2(\pi/K) < 0.1$ 、 $P_3(\pi/K) \geq 0.6$	10,275
6	K^-	π^-	K^+	$P_1(\pi/K) < 0.1$ 、 $P_2(\pi/K) \geq 0.6$ 、 $P_3(\pi/K) < 0.1$	36,794
7	π^-	K^-	K^+	$P_1(\pi/K) \geq 0.6$ 、 $P_2(\pi/K) < 0.1$ 、 $P_3(\pi/K) < 0.1$	14,285
8	K^-	K^-	K^+	$P_1(\pi/K) < 0.1$ 、 $P_2(\pi/K) < 0.1$ 、 $P_3(\pi/K) < 0.1$	4,864
9				mode1~8以外すべて	573,755