

# E14実験におけるバックグラウンド事象 に関する研究

## Contents

- $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ 探索実験 (E14実験) の紹介
- $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ 探索実験 (E14実験) における  
信号の同定方法
- E14実験におけるバックグラウンド事象
- 各バックグラウンド事象の特徴
- summary

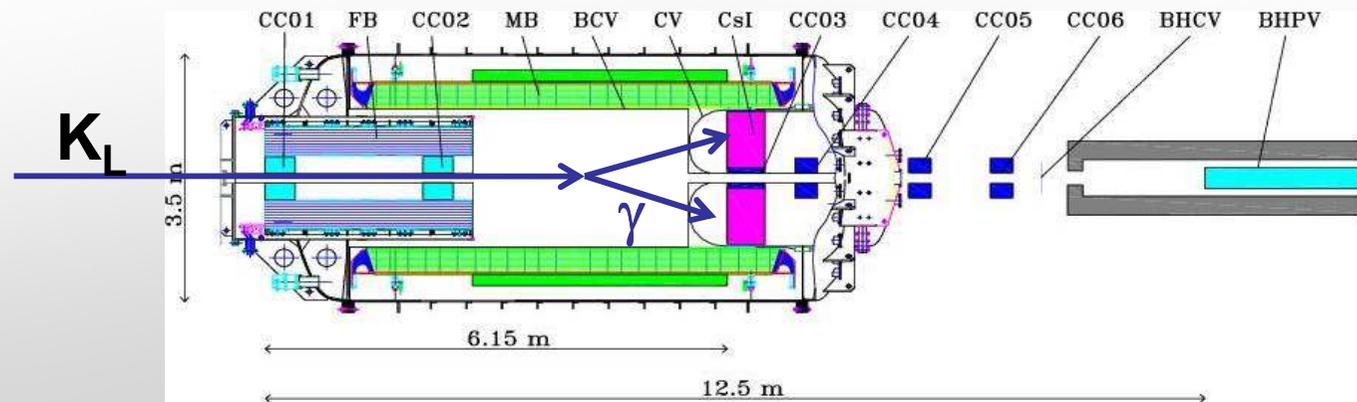
京都大

塩見公志 笹尾登 野村正  
南條創 隅田土詞 森井秀樹  
臼杵亨 河崎直樹 増田孝彦

2008/03/26 物理学会@近畿大学

# E14実験の検出器

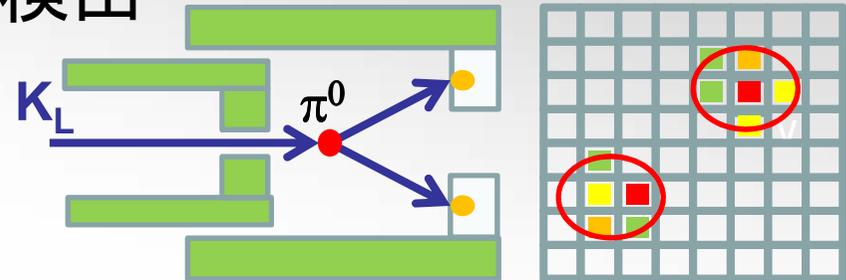
- ✿  $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$  シグナルの条件
  - ✿ 「 $\pi^0$ からの $2\gamma$ 以外は何もない」
- ✿ 検出器と $K_L$ ビームラインの特徴
  - ✿  $\gamma$ 線の位置とエネルギーを検出するための電磁カロリメーター (CsI結晶を使用)
  - ✿ 崩壊領域を $4\pi$ 囲むveto検出 (CsIカロリメーター以外はveto検出器として使用)
  - ✿ 非常に細く絞ったビーム



# 事象の再構成

❄ CsIカロリメーターで $\gamma$ 線を検出

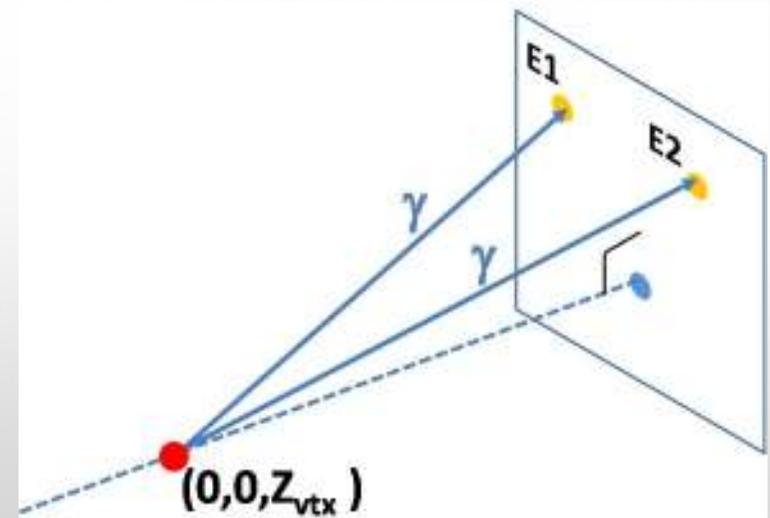
❄ 2つの $\gamma$ のエネルギーと位置を測定



❄  $\pi^0 (K_L)$  の崩壊点を再構成

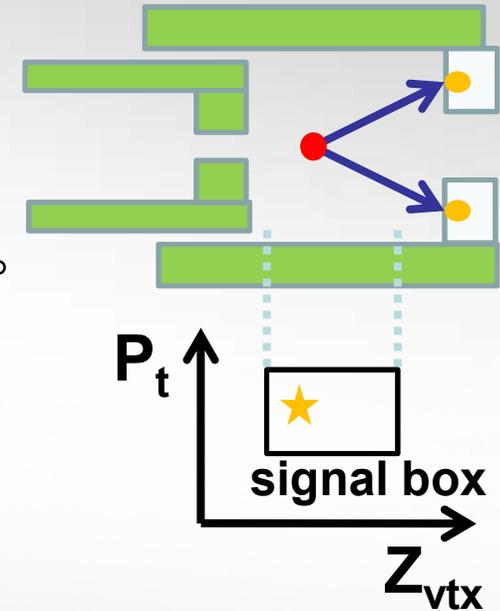
❄ 崩壊点をビーム軸上と仮定

❄ 2 $\gamma$ の不変質量が $\pi^0$ の質量となる点を $\pi^0$ の崩壊点 $Z_{\text{vtx}}$ とする。

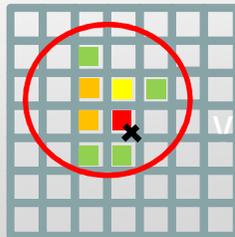


# 信号の同定

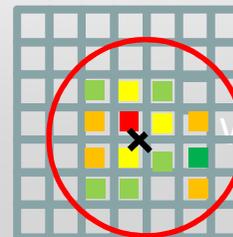
- ❁ 他に何も粒子がないことを確認 (veto)
- ❁ シグナルらしさの確認 (運動学的カット)
  - ❁ 再構成された $\pi^0$ の横運動量 $P_t$ が高いことを要求。
    - ❁  $K_L \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  ( $P_t < 133\text{MeV}$ ) などに有効
  - ❁ 再構成された $z$ が崩壊領域内であることを要求
    - ❁ 崩壊点がveto検出器に囲まれていることを確認
- ❁  $\gamma$ 線らしさの確認 (cluster shape cut)
  - ❁ 中性子によるハドロンクラスターの排除
  - ❁ fusionクラスターの排除



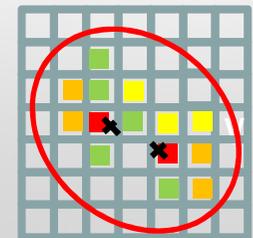
$\gamma$ クラスター



ハドロンクラスター  
横方向に広がりを  
持つ →



fusionクラスター  
二つ目の構造  
を持つ →



# バックグラウンド事象

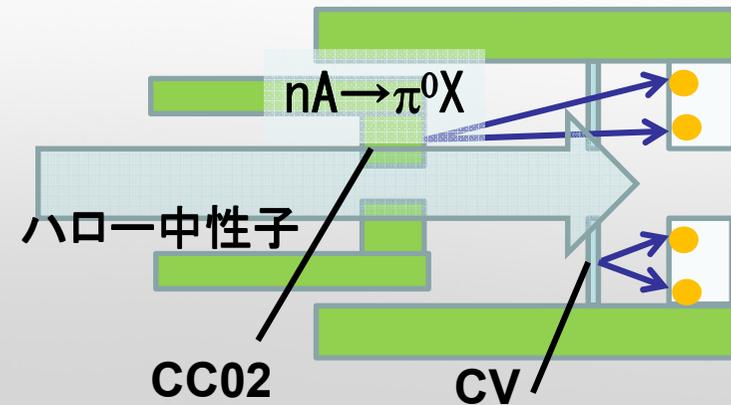
## ❄️ K中間子起源のバックグラウンド

- ❄️  $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$  (2つの $\gamma$ 線を検出ミス)
- ❄️  $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$  (2つの荷電粒子を検出ミス)
- ❄️ 他 ( $K_L \rightarrow \pi^- e^+ \nu$  など)

	分岐比
$K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$	$8.7 \times 10^{-4}$
$K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$	0.125
$K_L \rightarrow \pi^- e^+ \nu$	0.20
$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$	$2.8 \times 10^{-11}$

## ❄️ ハロー中性子起源のバックグラウンド

- ❄️ ハロー中性子が検出器と相互作用し、  
 $\pi^0 (\rightarrow 2\gamma)$ 、 $\eta (\rightarrow 2\gamma \text{ 40\%})$  を生成。
- ❄️  $\gamma$ 線のエネルギーを間違える  
 $\rightarrow Z_{\text{vtx}}$  が signal boxの中に入る
- ❄️ 生成場所 CC02、CV
- ❄️ CC02, CV- $\pi^0$ , CV- $\eta$



# Signal / Background Summary

❁ 3 snowmass years

		# of event
Signal	$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$	<b><math>2.7 \pm 0.05</math></b>
KL BG	$K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$	$1.7 \pm 0.1$
	$K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$	$0.08 \pm 0.04$
	$K_L \rightarrow \pi^- e^+ \nu$	$0.02 \pm 0.001$
Hal on BG	$CV - \pi^0$	0.08
	$CV - \eta$	<b>0.3</b>

# $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$ バックグラウンド

## ❄ 3つの種類に分類

### ❄ even event

❄ 正しい組み合わせ

❄ 1つの $\pi^0$ から2つの $\gamma$

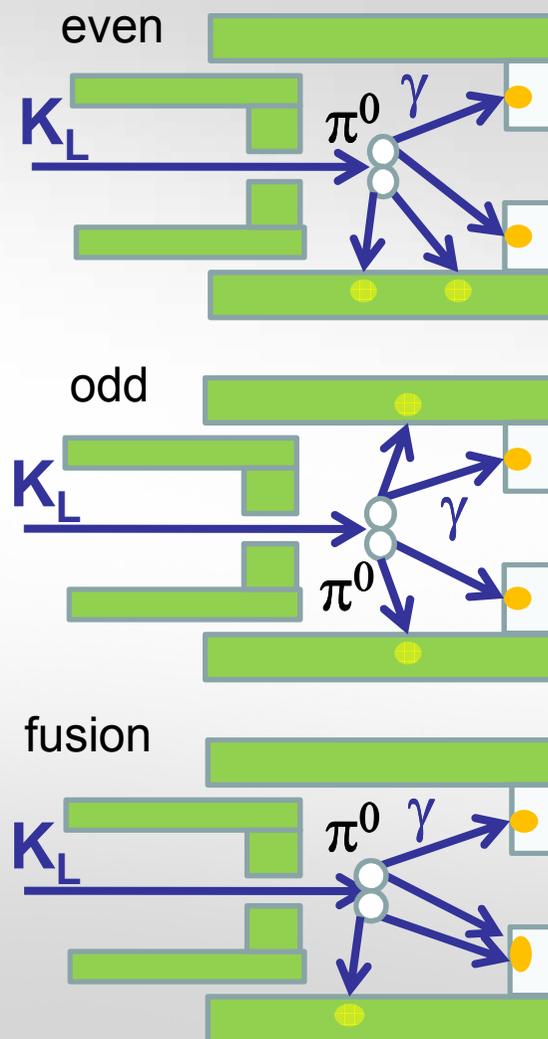
### ❄ odd event

❄ 間違った組み合わせ

❄ 2つの $\pi^0$ から1つずつの $\gamma$

### ❄ fusion event

❄ fusionクラスターと  
普通のクラスターで2クラスター



# $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$ even BG

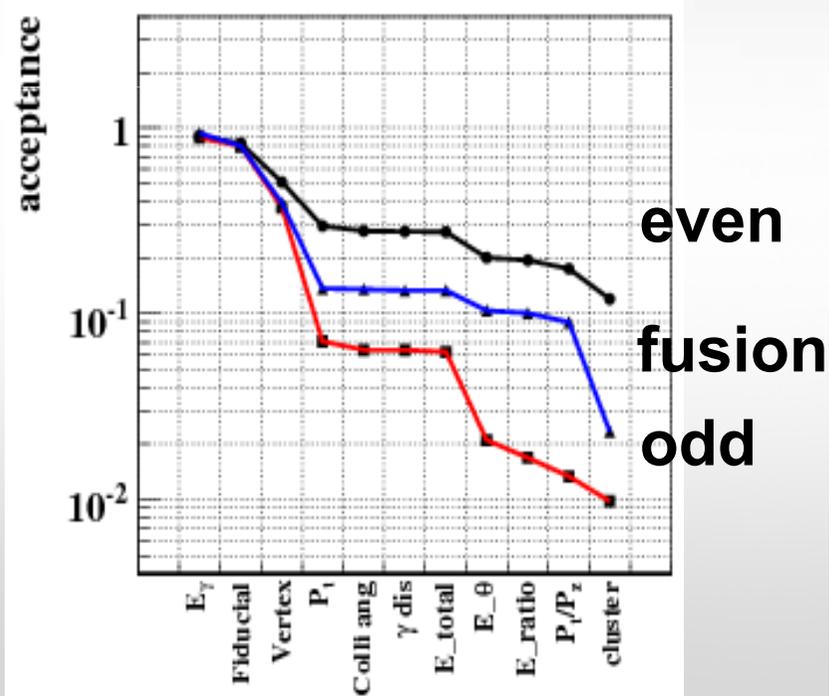
## ❄ even event

- ❄ 正しい組み合わせ。
- ❄  $Z_{\text{vtx}}$ 、 $P_t$  分布がシグナルと似てる
  - ❄ 運動力学的カットが効きにくい。
- ❄ 余分な $\gamma$ 線2個 $\rightarrow$ vetoしやすい

$K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$  even BG: 1.2

Keys: Veto検出器の光子検出能力

横軸 運動力学的カットの名前



# $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$ odd BG

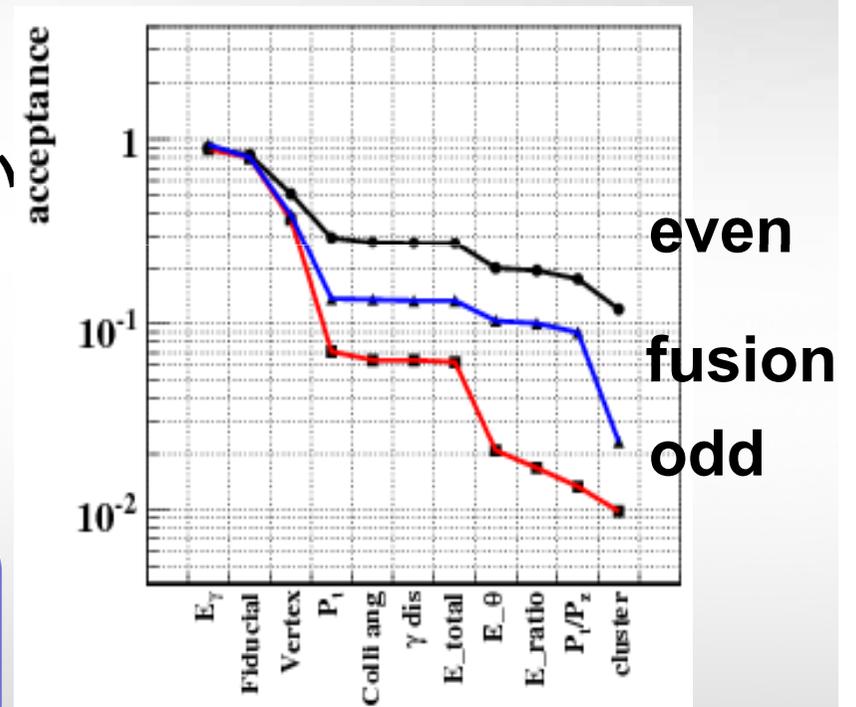
## ❄ odd event

- ❄ 間違った組み合わせ。
- ❄ 運動力学的カットが有効。
- ❄ 余分な $\gamma$ 線2個 $\rightarrow$ vetoしやすい

$K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$  odd BG: 0.01

Keys: 運動力学的カット  
Veto検出器の光子検出能力

横軸 運動力学的カットの名前



# $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$ fusion BG

## ❄ fusion event

### ❄ fusion クラスタ

❄ クラスタの形状を歪ませる。

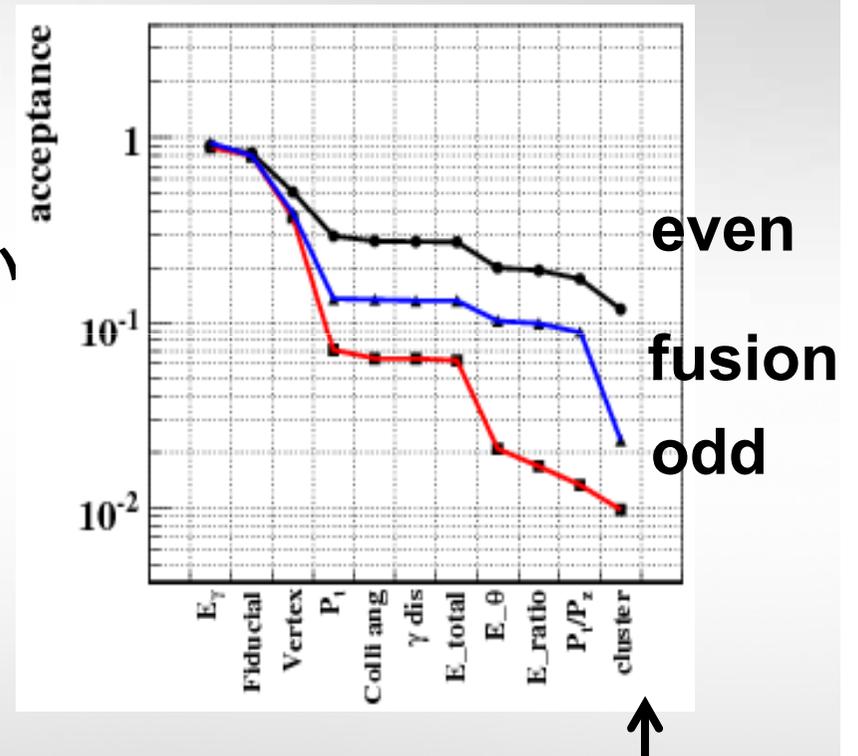
❄ cluster shape cut が有効

❄ 余分な  $\gamma$  線 1 個  $\rightarrow$  veto しにくい

$K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$  fusion BG: 0.5

Keys: cluster shape cut

横軸 運動力学的カットの名前



Cluster shape cut

# $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$ BGのまとめ

---

$K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$ even BG	: 1.2
$K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$ odd BG	: 0.01
$K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$ fusion BG	: 0.5
all	: 1.7



各バックグラウンドともに  
良く抑えられている。

**Signal : 2.7**

✿ Even event

Keys: Veto検出器の  
光子検出能力

✿ Fusion event

Keys: cluster shape cut

# CV- $\eta$ バックグラウンド

✱ ハロー中性子が $\eta$ を生成

✱ 生成点 CV

✱  $\text{Br}(\eta \rightarrow 2\gamma) = 0.4$

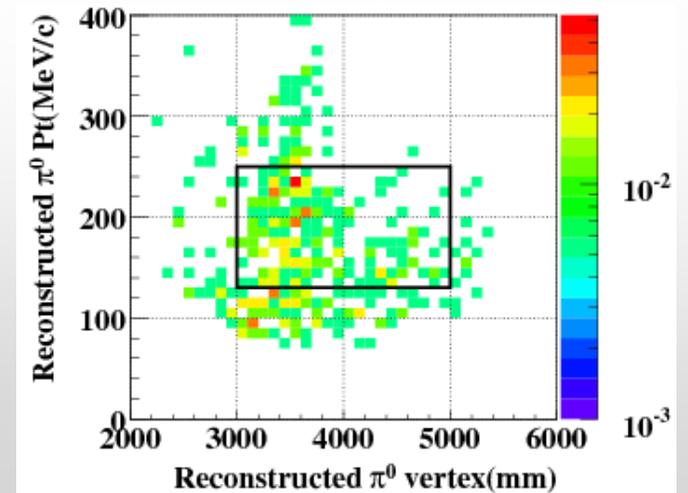
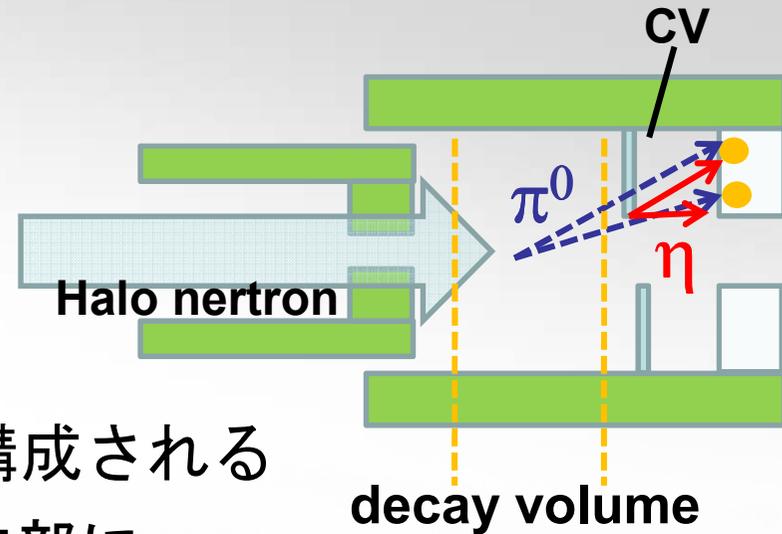
✱  $M_\eta \doteq 4 \times M_\pi$

✱  $Z_{\text{vtx}}$  は $\eta$ の生成点より上流で再構成される

→これらの事象はsignal boxの内部に入り込む恐れがある。

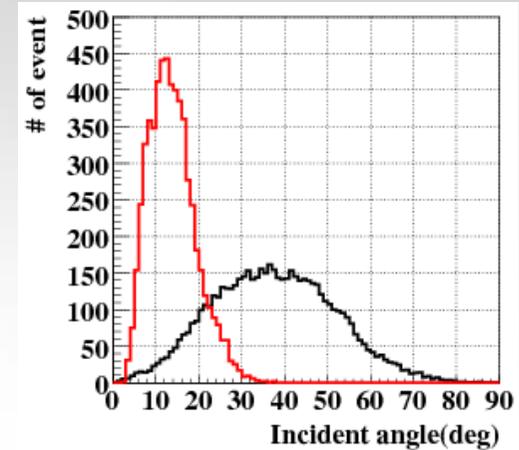
✱  $Z_{\text{vtx}} - P_t$  分布

✱  $\eta$  BGはsignal boxの中に広く分布している

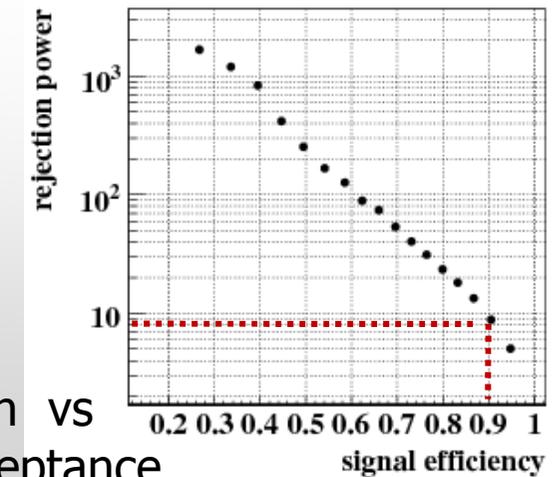


# CV- $\eta$ BGに対するカット

- ✿ 入射角度分布
  - ✿ signalと $\eta$  BGで異なった分布をしている
- ✿ 効果的なカットの導入
  - ✿  $\gamma$ 線の入射角度とクラスターの形状には相関がある
    - クラスターの形状によるカット、Artificial Neural Net (ANN)の導入
    - signal efficiency 90%に対し、CV- $\eta$  BGを10分の1に抑えることが可能



signal (red) と $\eta$  (black)の真の入射角度分布



ANN : BG Rejection VS  
signal acceptance

CV- $\eta$  BG  
0.3

Keys: "cluster shape cut"

# Summary

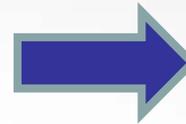
## ❁ E14実験におけるバックグラウンド事象

### ❁ K中間子起源のバックグラウンド

❁  $K_L \rightarrow 2\pi^0$ ,  $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ ,  $K_L \rightarrow \pi^- e^+ \nu$

### ❁ ハロー中性子バックグラウンド

❁  $CCO2$ ,  $CV-\pi^0$ ,  $CV-\eta$



各BG事象の特徴  
を理解

## ❁ バックグラウンド事象削減のKey Point

### ❁ $K_L \rightarrow 2\pi^0$ even event

❁ Veto検出器の光子検出能力

### ❁ $K_L \rightarrow 2\pi^0$ fusion event

❁ Cluster shape cut

### ❁ $CV-\eta$ バックグラウンド

❁ Cluster shape cut



特徴を生かした  
Cutの開発

## ❁ TO do

❁ 各バックグラウンド事象に対するさらなる詳細な研究

# $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 探索実験

## ☀ $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊の物理

### ☀ Standard model

☀  $A(K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}) \propto V_{td} - V_{td}^* = 2 \text{Im}(V_{td}) \propto \eta$

☀  $\text{Br}(K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}) = (2.8 \pm 0.4) \times 10^{-11}$

☀ 理論的不定性が小さい(1-2%)

### ☀ Beyond standard model

☀ 新粒子の寄与を受けると分岐比が変わる。

## ☀ E14実験

☀ 茨城県東海村に建設中の  
大強度陽子加速器(J-PARC)で行われる。

### ☀ 2011年開始予定

☀ Step1 世界初のeventの観測

☀ Step2  $\eta$ の精密測定(10%以下)

