



TOHOKU  
UNIVERSITY



# Belle II $K_S$ finder の開発

Flavor Workshop 2015

Oct. 06 (Tue)

東北大学 猪塚昌大

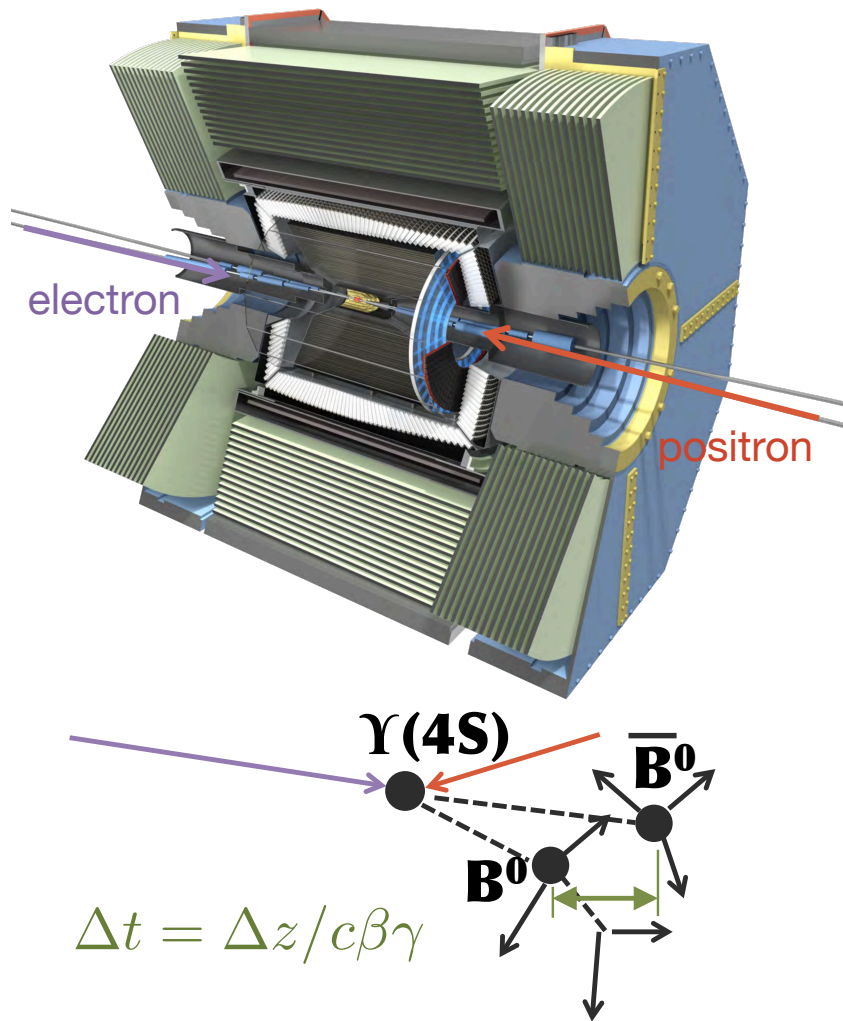
# 内容

Belle II 実験での $K_S$ 再構成・選別の方法を紹介し、現在の性能の測定結果を説明する。

## 目次

- ❖ Belle II 実験
- ❖  $K_S$ 中間子
- ❖  $K_S \rightarrow \pi^+\pi^-$ の再構成
- ❖  $K_S$  finder
  - ❖ 識別変数
- ❖ 再構成のefficiency
  - ❖ 運動量依存性
- ❖  $K_S$  finderの性能
- ❖ まとめと今後

# Belle II 実験



- KEKの大型円形加速器
- 7 GeV 電子・4 GeV 陽電子を衝突させてB中間子対を生成
- 衝突領域を囲う各検出器がBから崩壊した粒子を測定
- Belleを高ルミノシティ・高精度化
- 崩壊位置などの精密測定によって新物理を探索
- 2018年～ Physics Run

# $K_S$ 中間子

- $K^0, \bar{K}^0$ から成る2つの質量固有状態のうち、 $CP \sim +1$ であるもの

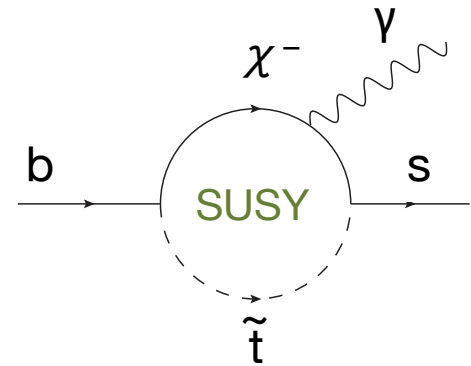
$$|K_S^0\rangle \propto (1 + \epsilon) |K^0\rangle + (1 - \epsilon) |\bar{K}^0\rangle$$

- $CP = +1$ である $2\pi$ へ崩壊

- $\pi^0\pi^0 : \pi^+\pi^- = 1 : 2$
- $c\tau = 2.68 \text{ cm/s}$
- $K_L$ は $3\pi$ へ崩壊 ←  $CP = -1$

- 新物理による**CP破れ**などの効果の観測が期待されている

- $B \rightarrow \phi K_S, K_S\pi^0\gamma, K_SK_SK_S \dots$



できるだけ多くの $K_S$ を正しく捕捉することが新物理探索に重要

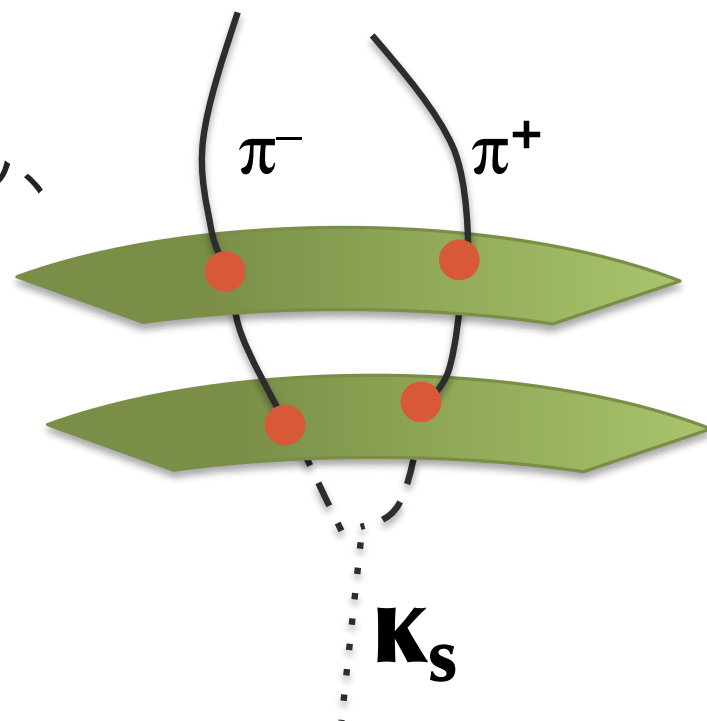
# $K_S \rightarrow \pi^+ \pi^-$ の再構成

荷電粒子の軌跡から、 $K_S \rightarrow \pi^+ \pi^-$ イベントを見つける

- 軌跡を正負のものから1本ずつ組み合わせる
- 2本を重ねて崩壊点位置を求める
- 軌跡の粒子を $\pi$ と仮定して崩壊点でのエネルギーを計算し、2粒子の4元運動量の和をとり $K_S$ 候補の4元運動量を計算する

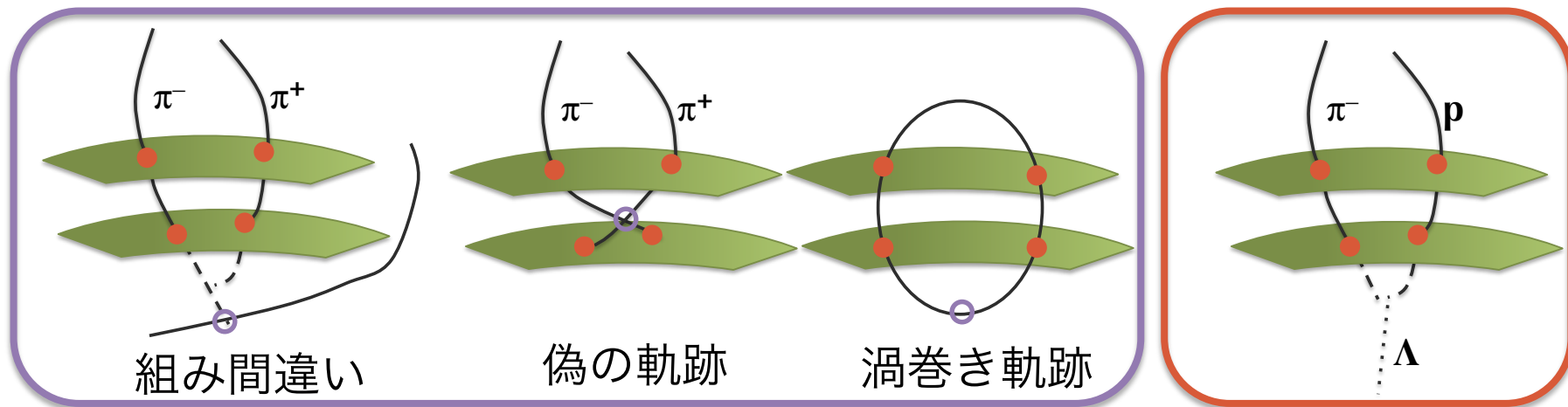
$$E_{1,2} = \sqrt{m_{\pi}^2 + p_{1,2}^2}$$

$$p_{K_S}^{\mu} = p_1^{\mu} + p_2^{\mu}$$



# K<sub>S</sub> finder

- K<sub>S</sub> finderは、再構成したK<sub>S</sub>候補がどれくらい本物 (signal) らしいかを計算し、カットするツール
- ① V<sup>0</sup>でないBGを除去
  - V<sup>0</sup>粒子 = 2つの荷電粒子に崩壊する中性粒子
  - 崩壊粒子の軌跡がVの形状をしている
- ② V<sup>0</sup>のBGを除去
  - $\Lambda \rightarrow p\pi$
  - $\gamma \rightarrow ee$  : 少ないので考えない



# Belle $K_S$ finder

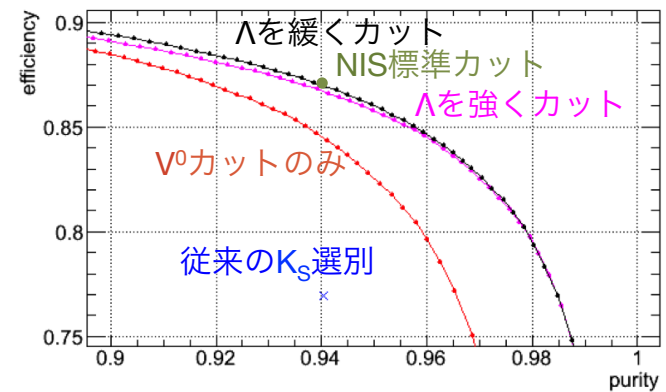
- signalである確率は、**多変数解析**を使って求める
  - signalサンプルとBGサンプルで分布の異なる変数を使い、トレーニングして得た分布を $K_S$ 候補に利用する

- Belle NIS  $K_S$  finderは

□ non- $V^0$ の分離に**13変数**

□  $\Lambda$ の分離に**7変数** を用いて、

高品質な選別を達成した



H. Nakano: BelleNote #1253 より

Belle IIではNISに基づいた方法で選別

- 選別性能を評価し、改善できる点を見つけることが目標

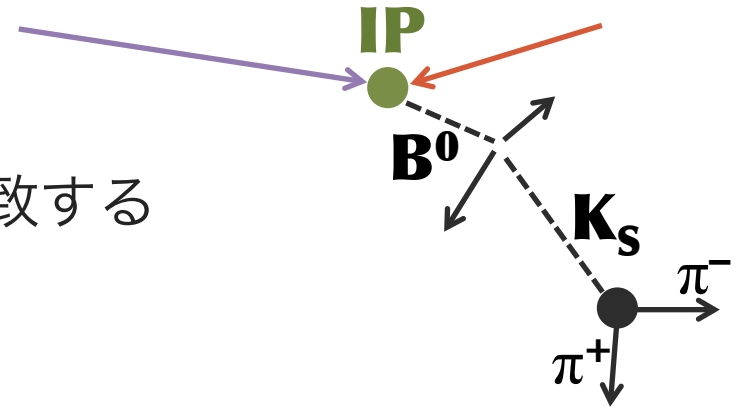
# $V^0$ / non- $V^0$ 識別 ( $V^0$ -like)

## ● $V^0$ の特徴

- 1点で2粒子に崩壊
- 崩壊点がIPから離れる
- $\pi\pi$ の運動量が飛んできた方向と一致する

## ● 識別変数 13個

- $\pi\pi$ 生成点のz方向の距離
- $K_S$ の飛距離
- $K_S$ の崩壊位置-運動量間の角度
- lab系での $K_S$ 運動量
- impact parameterのmin/max
- $K_S$ 系での崩壊角度
- SVDヒット数
- CDCヒット数(軸/ステレオ方向)





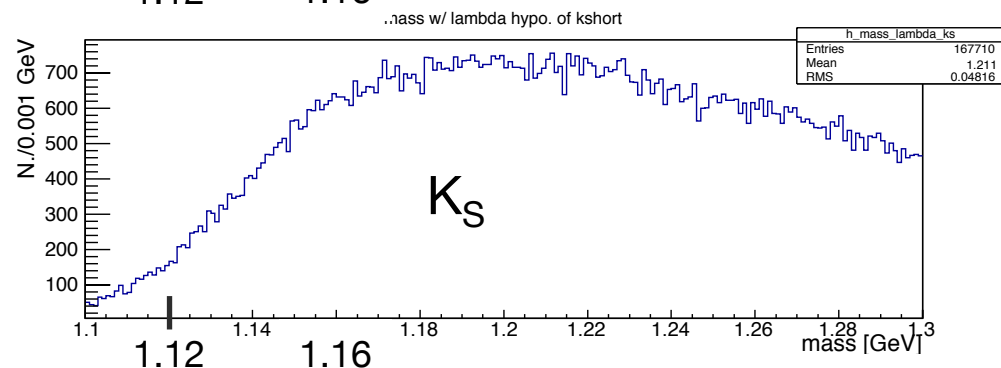
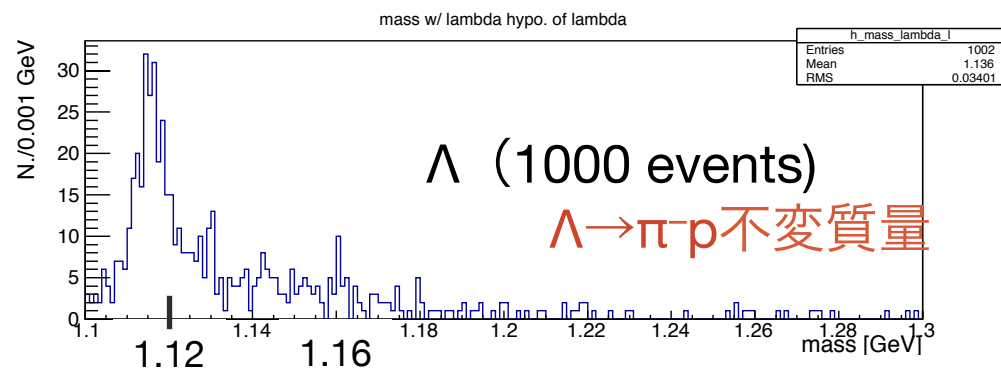
# $K_S / \Lambda$ 識別 (non- $\Lambda$ )

## ● $\Lambda$ の特徴

- $\pi$ と $p$ に崩壊
- 不変質量は1.116 GeVにピークをもつ

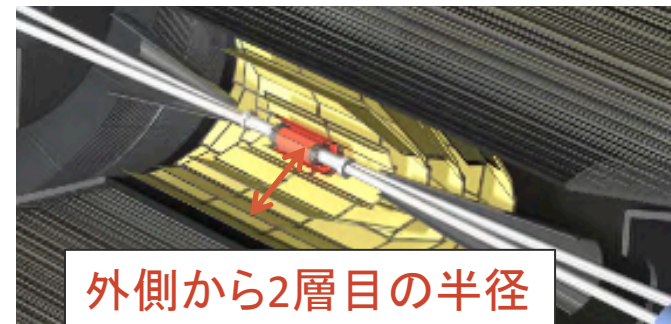
## ● 識別変数 7個

- $\pi$ ,  $p$ 粒子識別
- $\Lambda$ 不変質量
- $\pi^+$ ,  $\pi^-$ の運動量/方向



# 再構成のefficiency

- $K_S$ の多くはIPから離れて崩壊するため、VXDの外側で崩壊するなど、十分なVXDヒット数を得られないことがある
- しかし、Belle IIのVXDはBelleより空間が増し、内側で崩壊する（崩壊点分解能の良い） $K_S$ が約30%増える
- BBから発生した $K_S$ がどれだけの割合で再構成されるのかを、モンテカルロ(MC)サンプルを使って見積もった



外側から2層目の半径  
6 cm → 11.5 cm

- $$\text{efficiency} = \frac{\text{再構成した } K_S \text{ の数}}{\text{生成した } K_S \rightarrow \pi^+ \pi^- \text{ の数}}$$

# 再構成のefficiency

- MCサンプル generic  $B^0\bar{B}^0$  (ビームBG無し)  
630,000イベントを使った
- 崩壊後の粒子を調べ、 $\pi^+\pi^-$ へ崩壊したものだけを数えた
- カット：不変質量が $497.614 \pm 20$  MeV 以内

MC truthの内訳

崩壊後	事象数
$\pi^+\pi^-$	62.54%
$\pi^0\pi^0$	30.58%
その他	7.92%

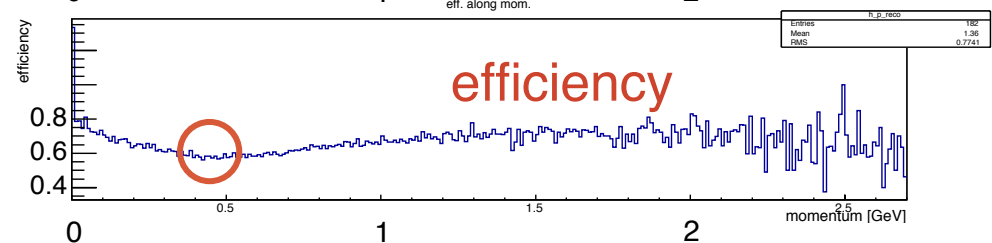
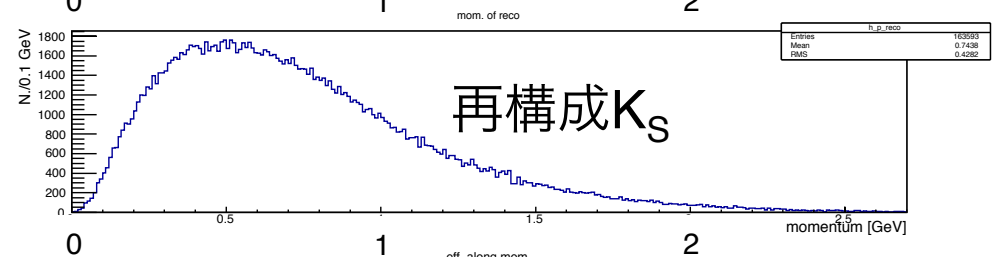
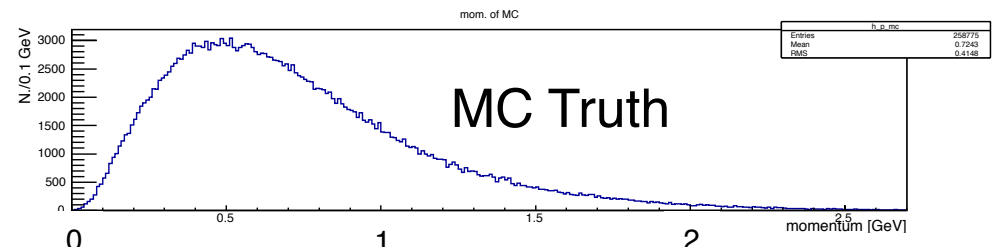
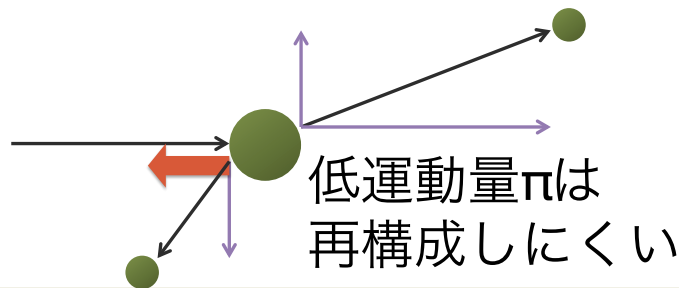
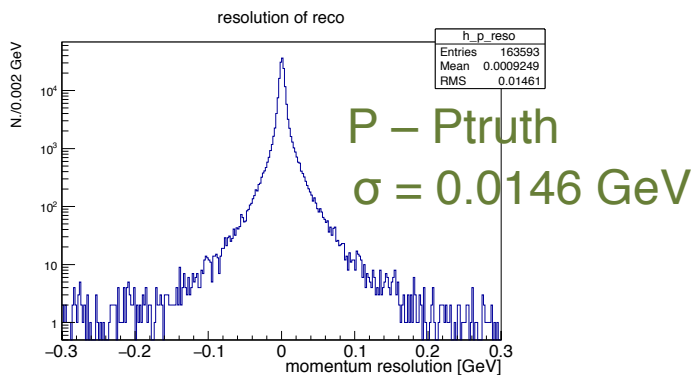
## 結果

- 生成 $K_S$  413783個中  $K_S \rightarrow \pi^+\pi^-$  258775個  
(62.54%)
- 再構成 $K_S$  1119315個中 signal 163593個
- **efficiency = 63.22%**

# 運動量依存性

$K_S$ の運動量によって、崩壊位置の分布が変わり、再構成効率が異なる

- MCでの運動量 $P_{\text{truth}}$ を用いて、各運動量におけるefficiencyを調べた



# Belle II $K_S$ finderの性能

- 基本的な方法はBelle NISと同じ
  - 判別値  $V^0$ -like / non- $\Lambda$  をそれぞれ0~1の範囲で出力
  - 解析ツール NeuroBayes→FastBDT
  - 識別変数 SVD/CDC Hitが未導入
- signal/BGのeff.を2次元プロットで見て、性能を確認した
- S/B efficiency = 
$$\frac{\text{選別したS/B } K_S \text{ の数}}{\text{再構成したS/B } K_S \text{ の数}}$$

# Belle II $K_S$ finderの性能

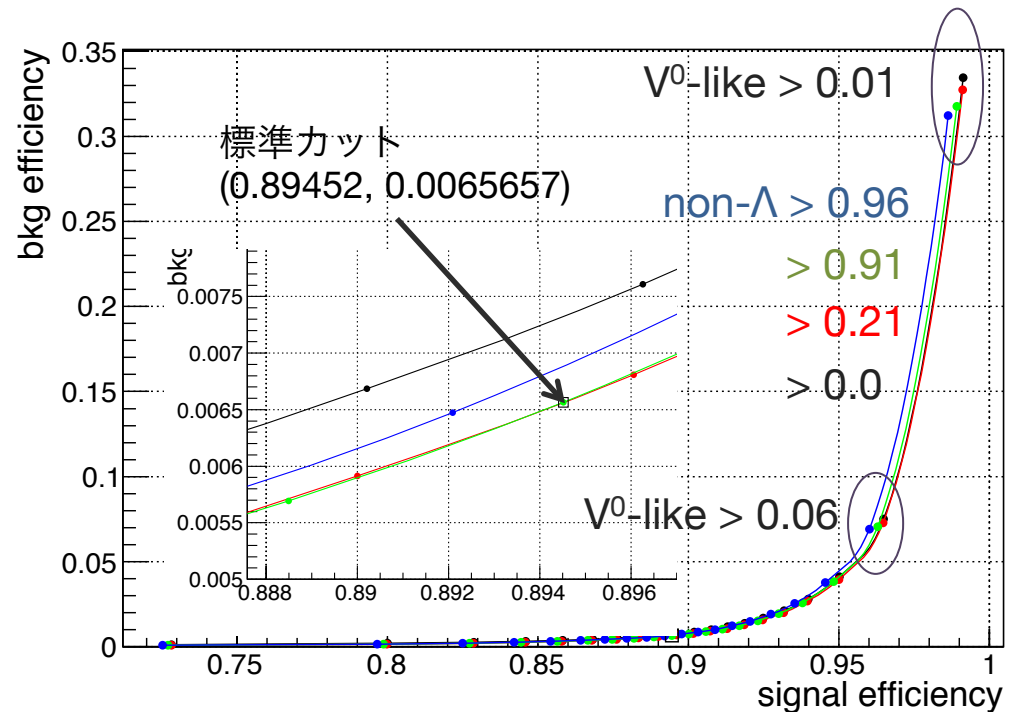
$K_S$  finderが設定しているカット

$V^0$ -like  $> 0.51$ , non- $\Lambda > 0.91$  で性能を評価

- signalの89.45%を保ちながら、BGを0.66%に抑制
- 再構成と合わせた  
signal eff. = 56.55%
- generic  $B^0B^0$ でのpurity  
= 94.98%

閾値によるeff.の変化を  
調べた

- $V^0$ -likeによってBGが  
大きく削減



# まとめと今後の展望

## $K_S \rightarrow \pi^+\pi^-$ の再構成効率

- $K_S$ 運動量420 MeV/c付近で低い
- 低運動量軌跡のtracking / 検出効率の改善が、全体の効率向上に効果的
- $K_S$ 飛距離などの変数に対する依存性も調べる

## $K_S$ finder

- 多変数解析を用いることによって、主に $V^0$ -likeによってBGの多くを削減できる
- さらに効率を上げるために、他の識別変数を見つけて導入する





# 解析ソフトウェア

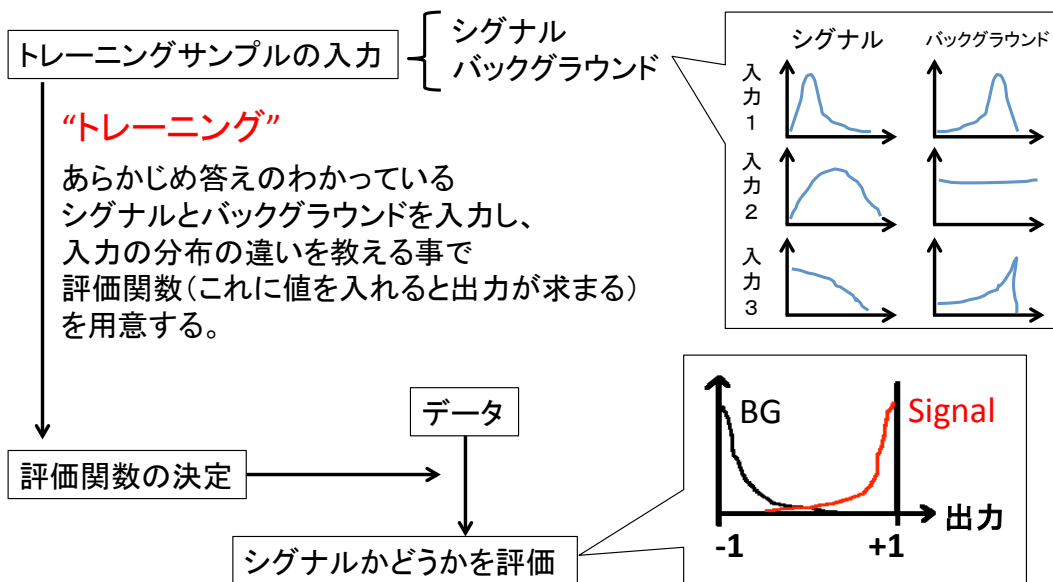
- Belle IIでは、ヒット位置の計算・軌跡の再構成・粒子の再構成・データの入出力といったタスクを、`basf2`という解析ソフトウェアフレームワークで行う
- 各タスクはモジュールとして提供され、それをユーザーが並べて一連の処理を指定する
- 解析の結果は、ファイルに出力してROOTで扱うこともできる

# NeuroBayesによる計算

19

## ニューラルネットの概要

複数の値を入力することで、  
シグナルっぽいかバックグラウンドっぽいかを出力してくれる。



中野さん (東北大) B workshop 2012 スライドより

# z\_dist

