

# ILC 実験におけるヒッグス崩壊分岐比 の測定精度の評価

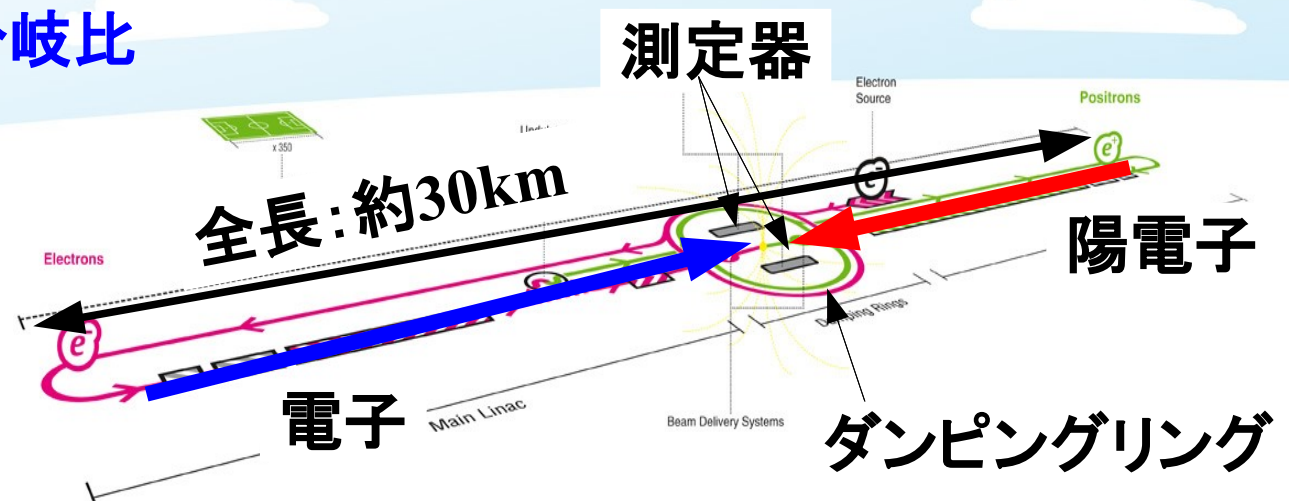
## 目次

2009年9月12日  
東北大理 吉田幸平  
他 ILD グループ

- ILC
- ILD 測定器
- ヒッグス崩壊分岐比
- 解析
- まとめ

# ILC(国際線形加速器)

- 電子・陽電子衝突型加速器
- 重心系エネルギー: **500 GeV**
- 積分ルミノシティ(4年間): **500 fb<sup>-1</sup>**
- 測定器案: **ILD**、SiD、4th
- 期待される物理
  - ヒッグス粒子の精密測定
    - 質量, **崩壊分岐比**
  - 超対称性粒子
  - 余剰次元

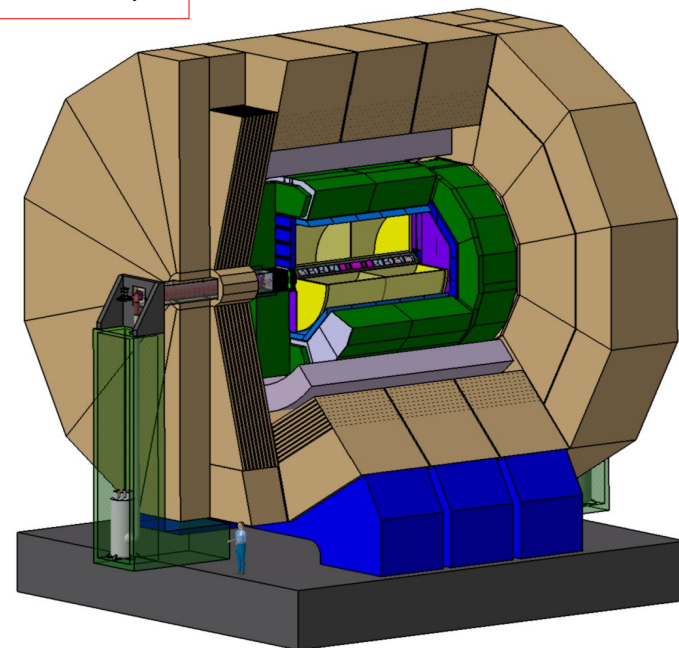


# ILD 測定器

- 2007年 GLD(日本)とLDC(ヨーロッパ)が統合→ILD
- 2008年9月 現在の測定器モデルが決定
- 2009年4月 LOI(Letter Of Intent)を作成
  - 物理モード、測定器のパフォーマンス

## ILD 測定器の外観とパラメータ

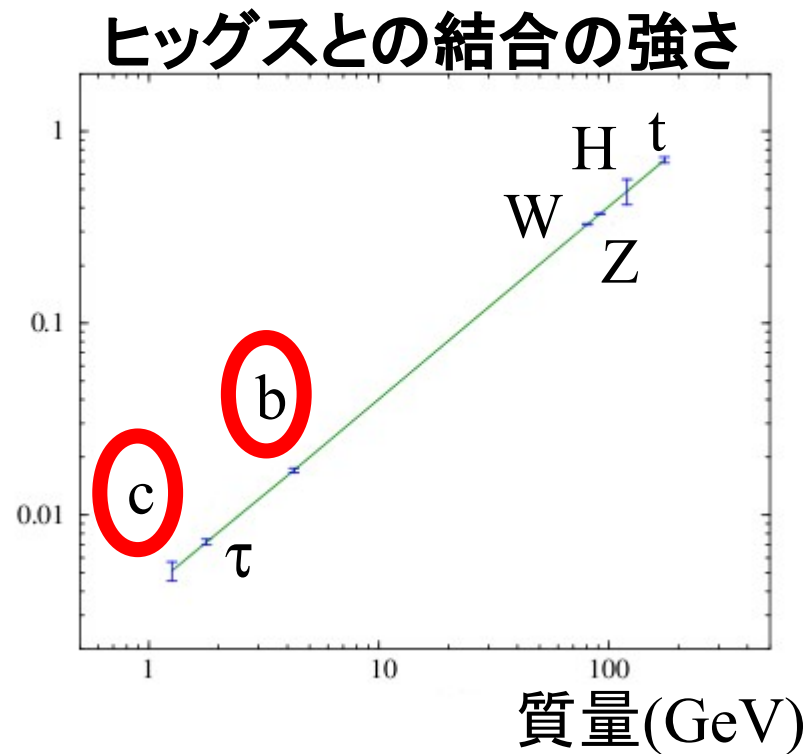
		GLD	LDC	ILD
崩壊点検出器	1層目の内径[cm]	1.75	1.4	1.6
TPC	外径[cm]	197.8	151.1	173.9
ソレノイド	磁場[T]	3	4	3.5
電磁カロリメータ	内径[cm]	210.0	161.0	184.7



# 本研究の動機

ILC での重要な目的の一つにヒッグス機構の検証がある

- ヒッグス機構
  - (ヒッグスとの結合の強さ) $\propto$ (質量)

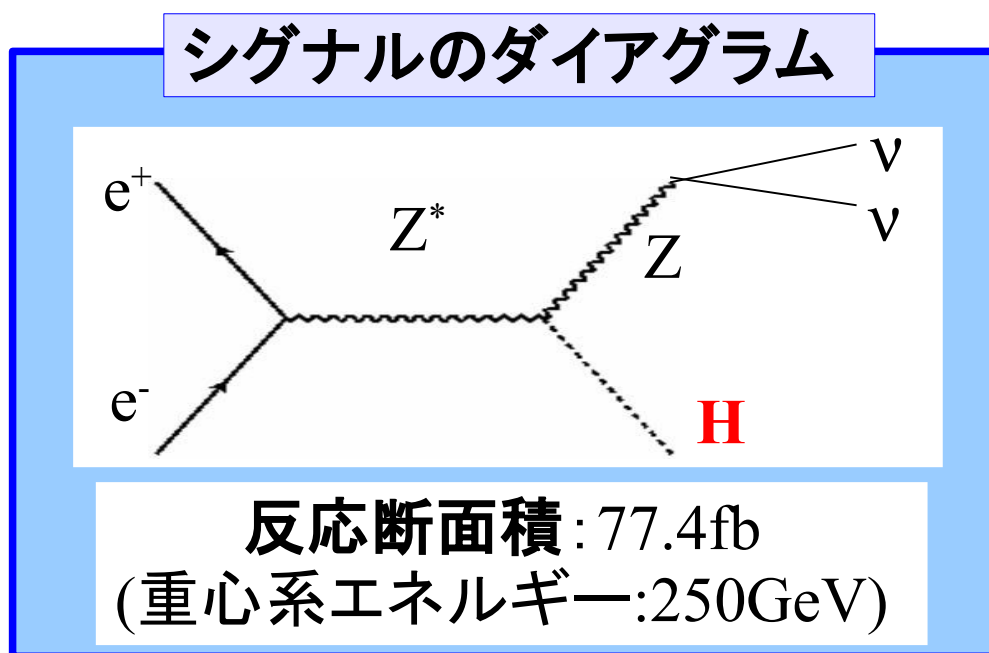


ヒッグス機構の検証には精密なヒッグス崩壊分岐比の測定が要求される<sub>4</sub>

→本研究では $H \rightarrow bb, cc$  の崩壊分岐比の測定精度を評価する

# ヒッグス生成過程

ZH 生成過程を用いヒッグス崩壊分岐比の測定精度を評価する。



ヒッグス崩壊分岐比	
bb	65.7%
WW	15.0%
$\tau\tau$	8.0%
gg	5.5%
cc	3.6%

( $M_H$  : 120 GeV)

- ヒッグスからのジェットペア( $H \rightarrow bb, cc$ )を観測する
- $Z \rightarrow \nu\bar{\nu}$  は観測できない

→シグナルは2ジェット

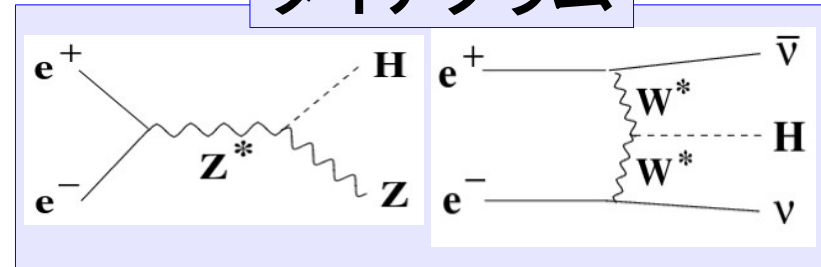
# シミュレーション

重心系エネルギー: 250 GeV, ルミノシティ: 250 fb<sup>-1</sup>  
 ビーム偏極: 電子(-80%), 陽電子(+30%)

- シグナル: 終状態が2ジェット

$\nu_e \nu_e H$	$\nu_\mu \nu_\mu H$	$\nu_\tau \nu_\tau H$	Total
9,086	5,138	5,135	19,360

## ダイアグラム



- バックグラウンド: 終状態が4フェルミオン

$\nu\nu ll$	$\nu lqq$	$qqqq$	$\nu\nu qq$	$llqq$	$llll$	Total
1,113,014	4,114,190	4,048,386	149,979	393,817	762,973	10,582,360

2フェルミオン終状態イベントは含まない(質量欠損カットで落ちる)

- シミュレーションソフトウェア
  - 測定器シミュレーション: Mokka
  - 再構成ツール: Marlin

# 解析概要

1. 2ジェットとして再構成する

2. バックグラウンド除去

- 質量欠損カット
- 運動量カット(縦運動量、横運動量、最大運動量)
- 荷電トラック数カット
- Y値カット( $Y_{\text{最小2ジェット}}$ 、 $Y_{\text{最大2ジェット}}$ )
- 2ジェット質量カット

3. ヒッグスの崩壊分岐比を求める

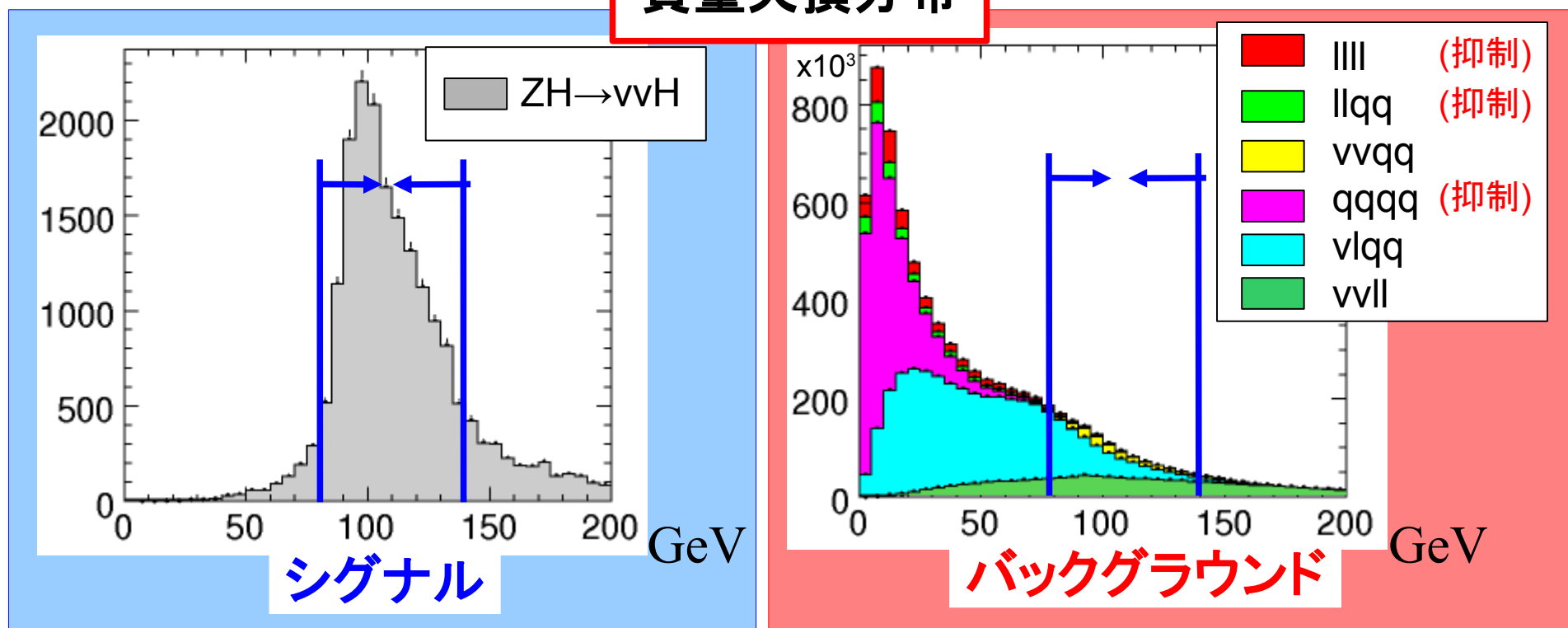
- テンプレートフィット

# 質量欠損カット

2ジェットとして再構成して、そこから質量欠損を求めた

- $Z \rightarrow \nu\nu$  イベントを選ぶためのカット
- $80 \text{ GeV} < \text{質量欠損} < 140 \text{ GeV}$  を選択する

## 質量欠損分布



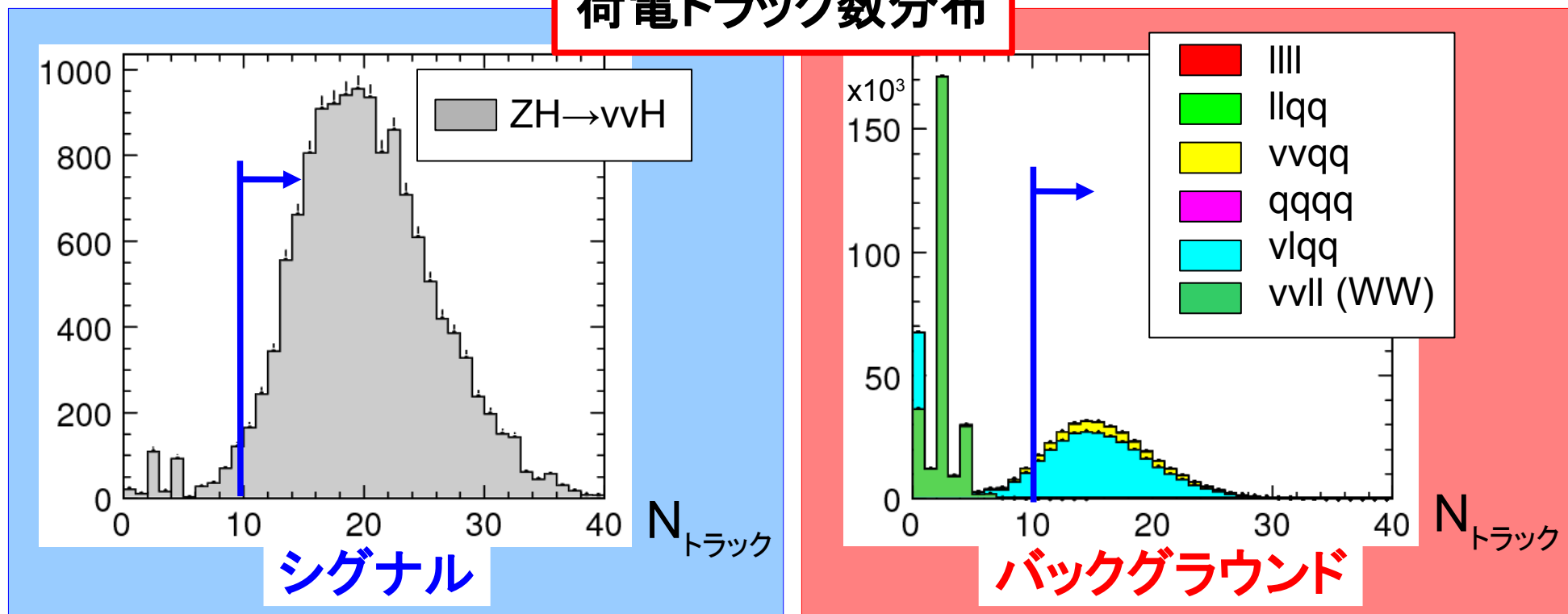
llllとllqq、qqqq イベントが抑制された



# 荷電トラック数カット

- WW( $W \rightarrow \nu l$ ) イベントを除くためのカット
- 荷電トラック数  $> 10$  を選択する

## 荷電トラック数分布



WW( $W \rightarrow \nu l$ ) イベントが抑制された

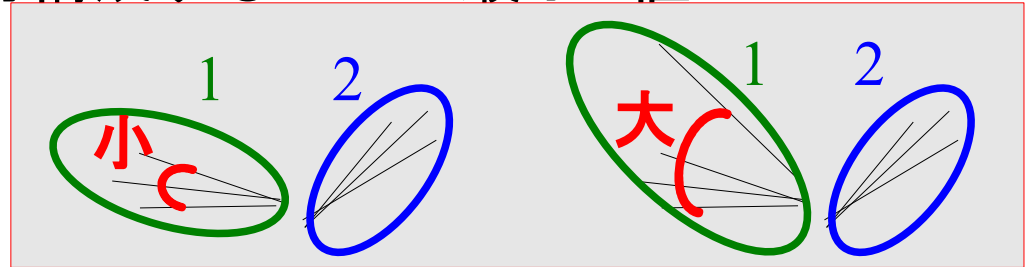
カット後は $\tau\nu\tau qq$  イベントが主なバックグラウンドになった

# Y<sub>最小2ジェット</sub> カット

- $\tau\nu\tau qq$  イベントを除くために  $Y_{\text{最小2ジェット}} < 0.02$  を選択

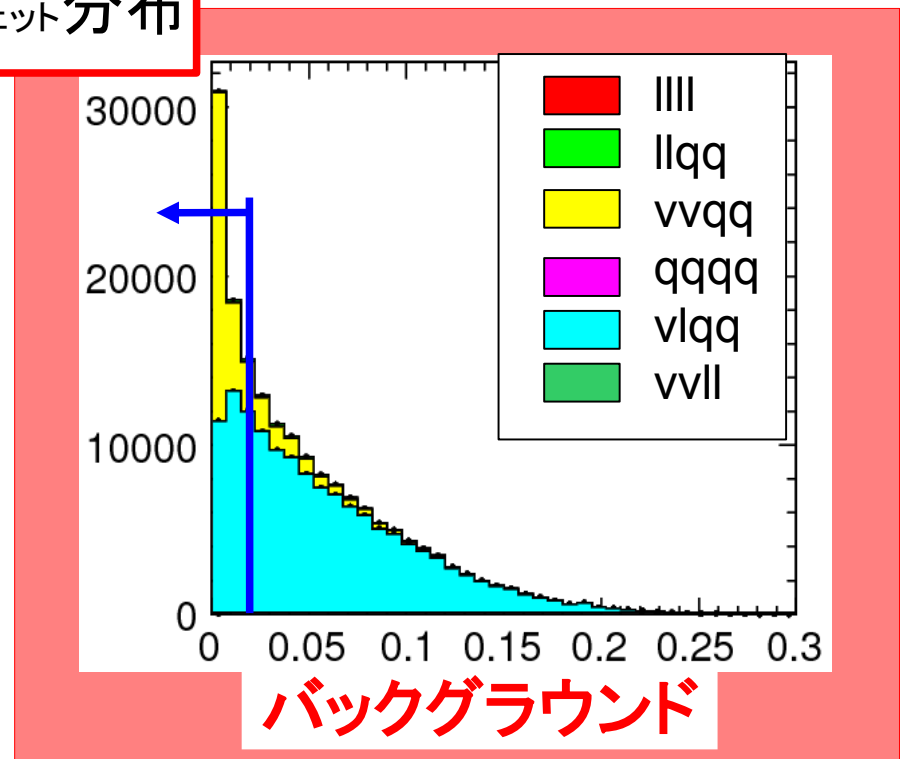
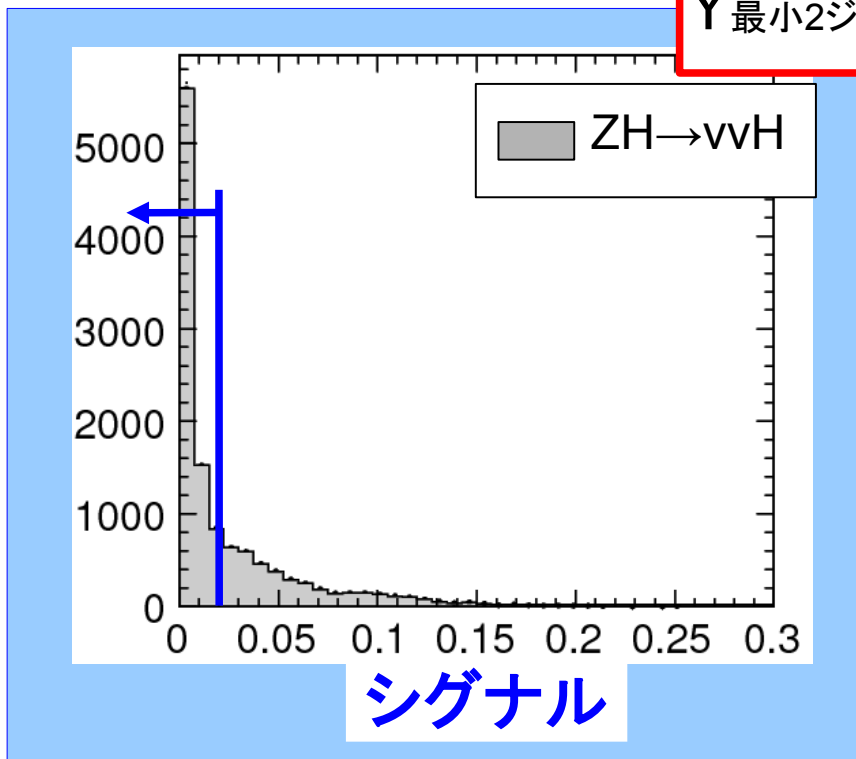
–  $Y_{\text{最小2ジェット}}$ : 2ジェットとして再構成するための最小Y値

$$Y \equiv \frac{2E_i E_j (1 - \cos\theta_{ij})}{E_{vis}^2}$$



- 3ジェットを2ジェットとして再構成するとY値は大きくなる ↑

## Y<sub>最小2ジェット</sub> 分布



# Reduction table

	カットなし	質量欠損	縦運動量	横運動量	荷電トラック数	最大運動量	Y最小2ジェット	Y最大2ジェット	2ジェット質量	効率
ZH→vvbb	13062	11662	10408	10136	9852	9063	6717	6434	5810	44.48%
ZH→vvcc	707	643	574	561	533	466	333	318	306	43.22%
ZH→vvH	19360	15637	13900	13501	12768	11674	7711	7384	6672	34.46%
$\nu_e e q q$	1460797 →	80931	67135	61437	25966	5088	961	851	448	0.03%
$\nu_\mu \mu q q$	1327332 →	92360	75143	61715	52355	10540	2747	2288	888	0.07%
$\nu_\tau \tau q q$	1326061	386690	268190	200443	176370	123045 →	29135	24979	10131	0.76%
vvqq	149979	124843	85774	49745	43229	35942	26713	21653 →	3345	2.23%
その他	6318190	491631	337800	266307 →	2676	2001	370	335	226	0.00%

バックグラウンドを十分に落とせている

# ヒッグス崩壊分岐比の計算

H→bb の崩壊分岐比に対するH→cc の崩壊分岐比の割合を求める

- $$\frac{BR(H \rightarrow cc)}{BR(H \rightarrow bb)} = \frac{r_{cc}/\epsilon_{cc}}{r_{bb}/\epsilon_{bb}}$$

- $\epsilon_{cc}, \epsilon_{bb}$  は選択効率 ( $\epsilon_{cc} : 0.432, \epsilon_{bb} : 0.445$ ) ← Reduction tableより
- $r_{cc}, r_{bb}$  はバックグラウンド除去後の  $ZH \rightarrow \nu\nu H$  イベントに対する  $ZH \rightarrow \nu\nu cc, \nu\nu bb$  イベントの割合

→ テンプレートフィットにより、 $r_{cc}, r_{bb}$  を求める

# テンプレートフィット

- 3D ヒストグラム使用(b,c,bc らしさ)
  - $ZH \rightarrow vvcc, vvbb$  の割合  $r_{cc}, r_{bb}$  を求める

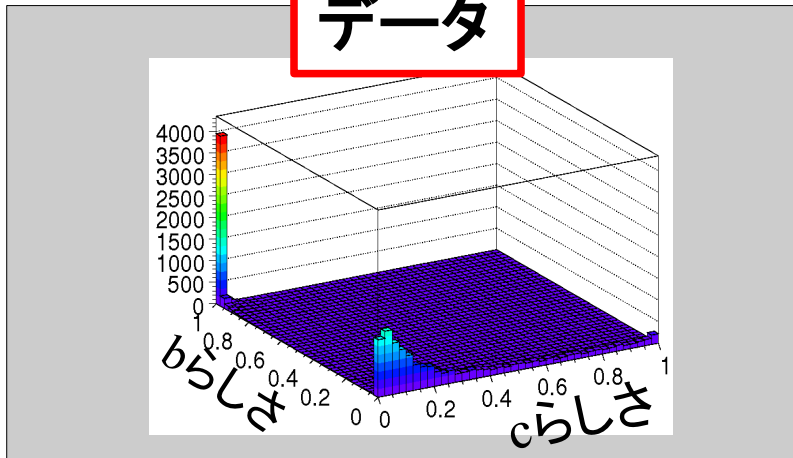
b,c,bc らしさ

- フレーバータグ
  - ニューラルネットを使用
  - $Z \rightarrow qq$  イベントでトレーニング
  - bc タグはトレーニングでのバックグラウンドがb のみのc タグ

→テンプレートサンプルを作成した

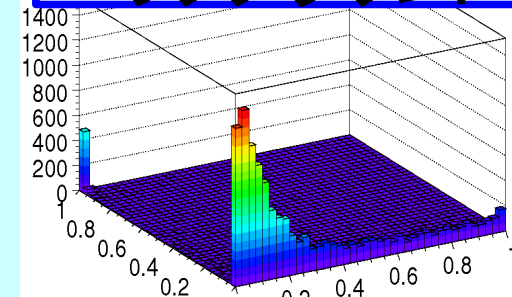
# テンプレートサンプル

データ

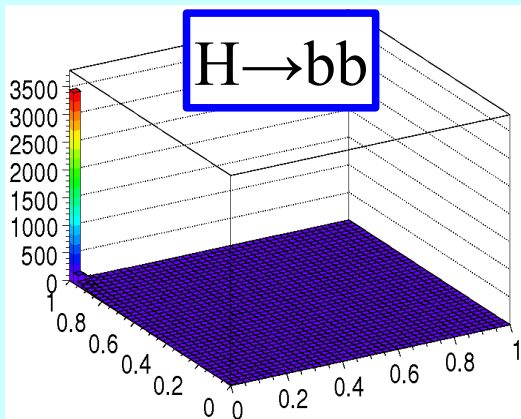


テンプレートサンプル

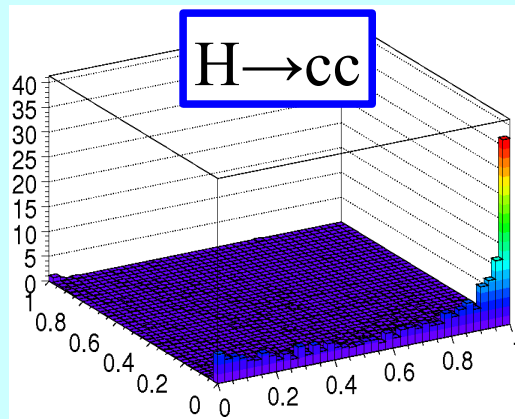
バックグラウンド



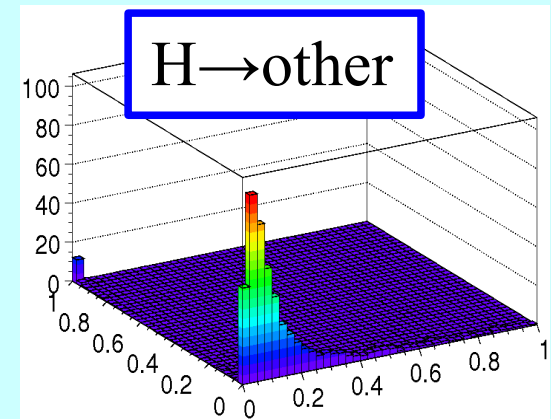
$H \rightarrow bb$



$H \rightarrow cc$



$H \rightarrow \text{other}$



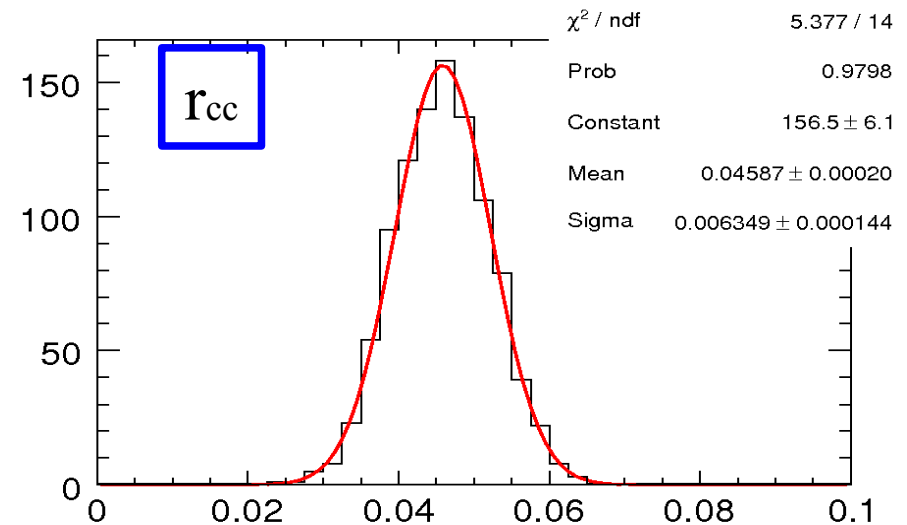
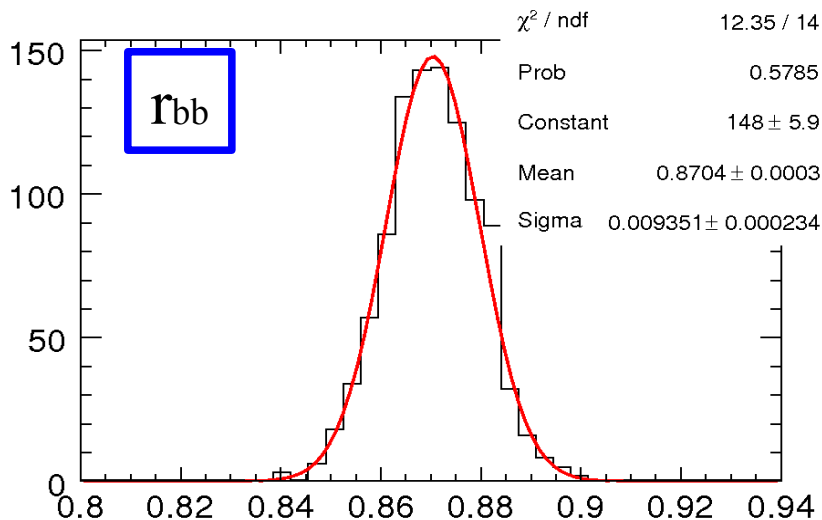
※図は2D ヒストグラム

- テンプレートサンプル:  $H \rightarrow bb$ ,  $cc$ , other、SM バックグラウンド
  - $H \rightarrow \text{other}$  イベントは主に  $H \rightarrow gg/WW$  イベント

# フィット結果

データの3D ヒストグラムをポアソン統計で振って1000回の試行実験を行った。

- $r_{bb} : 0.87 \pm 0.01$  (真 $r_{bb} : 0.871$ )
  - $r_{cc} : 0.046 \pm 0.009$  (真 $r_{cc} : 0.0431$ )
  - フィット結果は真値と一致する
- $\text{Br}(H \rightarrow cc) / \text{Br}(H \rightarrow bb) = 0.054 \pm 0.007$  (真値 : 0.0541)
    - $\text{BR}(H \rightarrow cc)$  の測定精度 : 13.7%
    - $\text{BR}(H \rightarrow bb)$  の測定精度 : 1.1%



# まとめ

- ヒッグス崩壊分岐比の測定はヒッグス機構の検証に重要である。
- $ZH \rightarrow \nu\nu H$  生成過程を用いてヒッグス崩壊分岐比の測定精度を評価した
  - シミュレーション条件
    - 測定器モデル: ILD
    - 重心系エネルギー: 250 GeV
    - ルミノシティ:  $250 \text{ fb}^{-1}$
  - 解析方法
    - バックグラウンド除去
    - テンプレートフィット
  - 結果
    - $\Delta\text{Br}(H \rightarrow cc)$ : 13.7%
    - $\Delta\text{Br}(H \rightarrow bb)$ : 1.1%

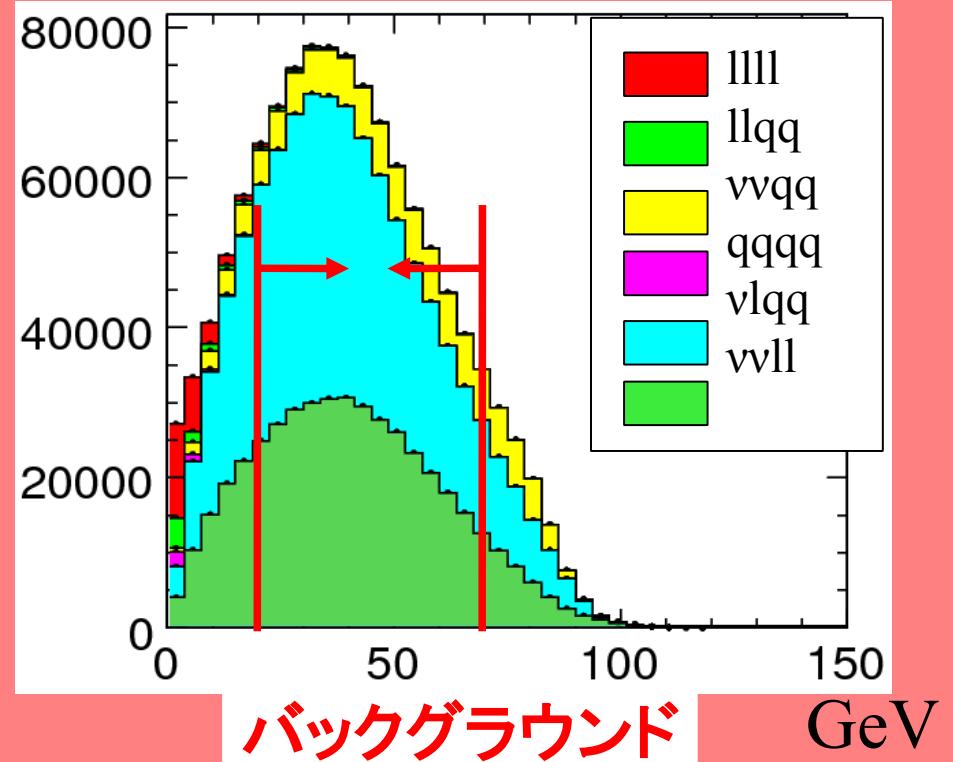
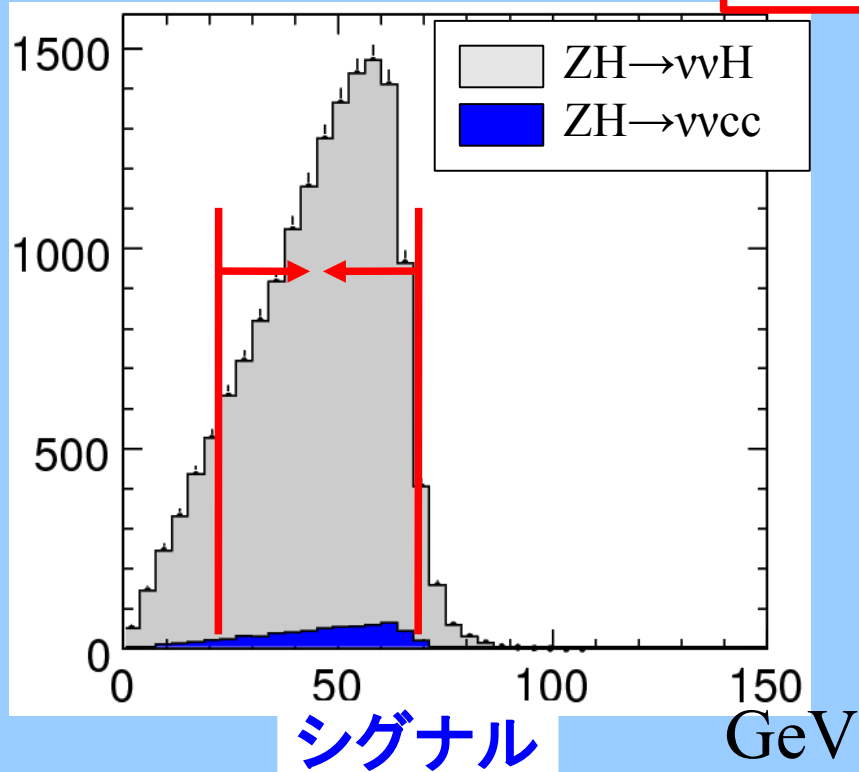




# 縦運動量カット

20 GeV < 縦運動量 < 70 GeV

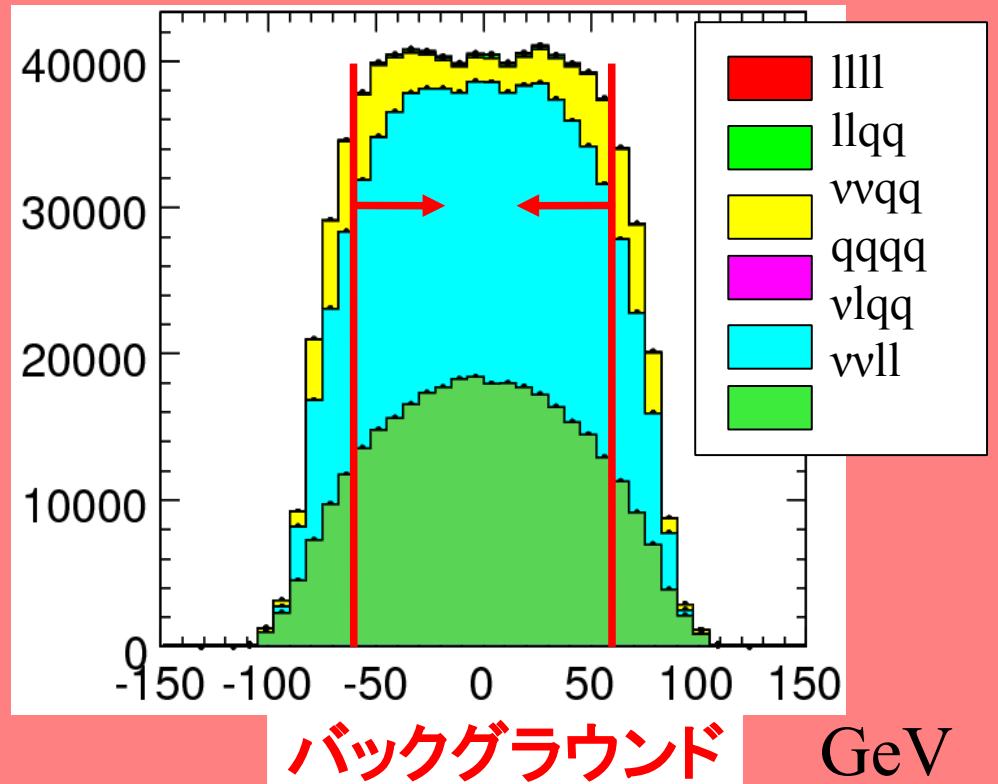
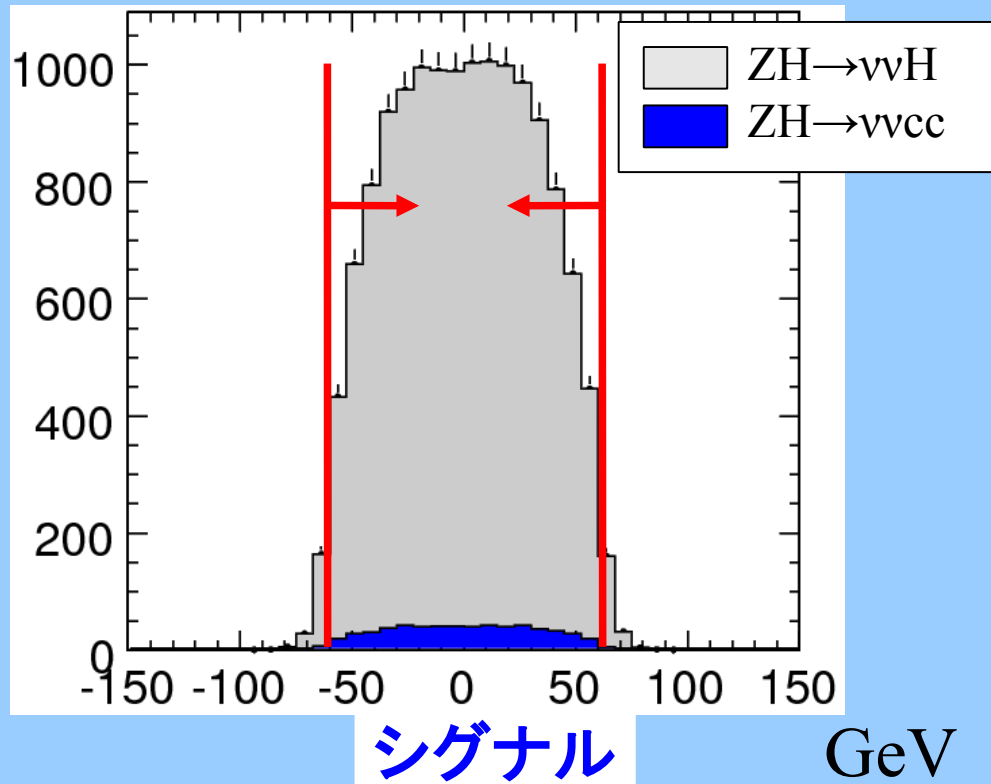
## 縦運動量分布



# 横運動量カット

$-60 \text{ GeV} < \text{横運動量} < 60 \text{ GeV}$

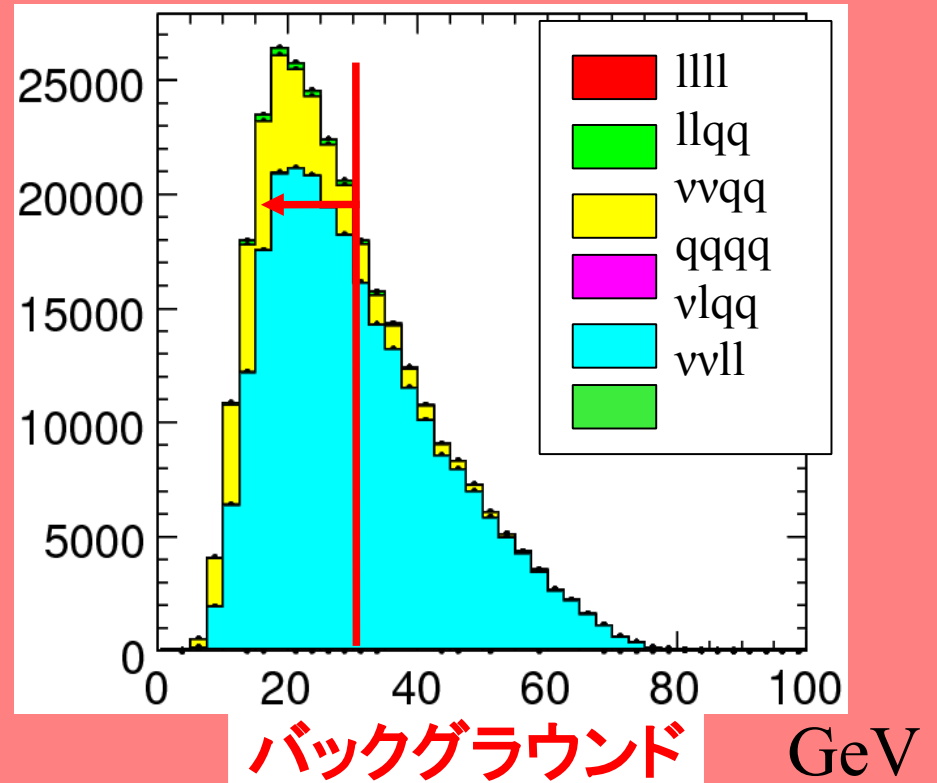
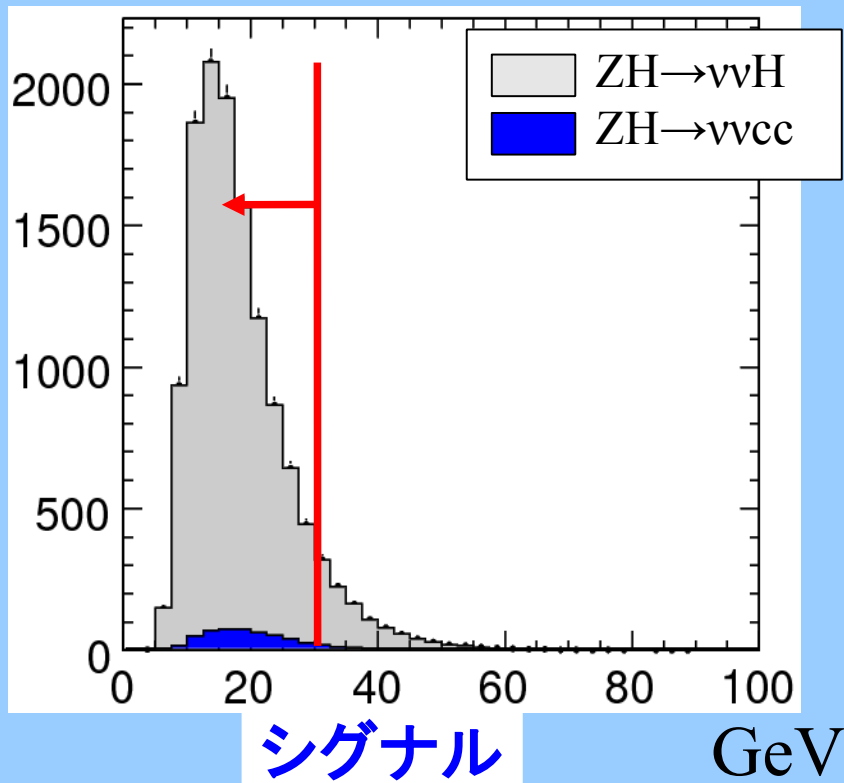
## 横運動量分布



# 最大運動量カット

最大運動量  $< 30$  GeV

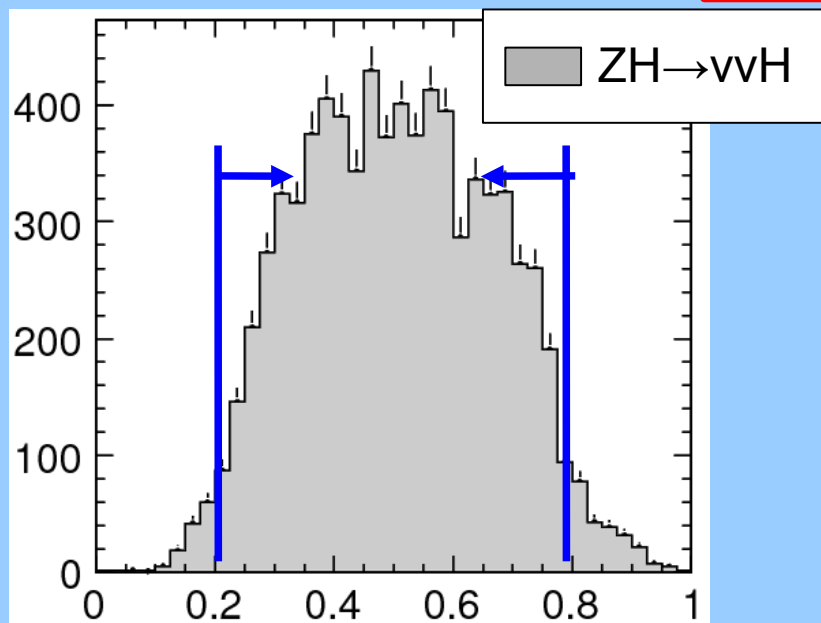
## 最大運動量分布



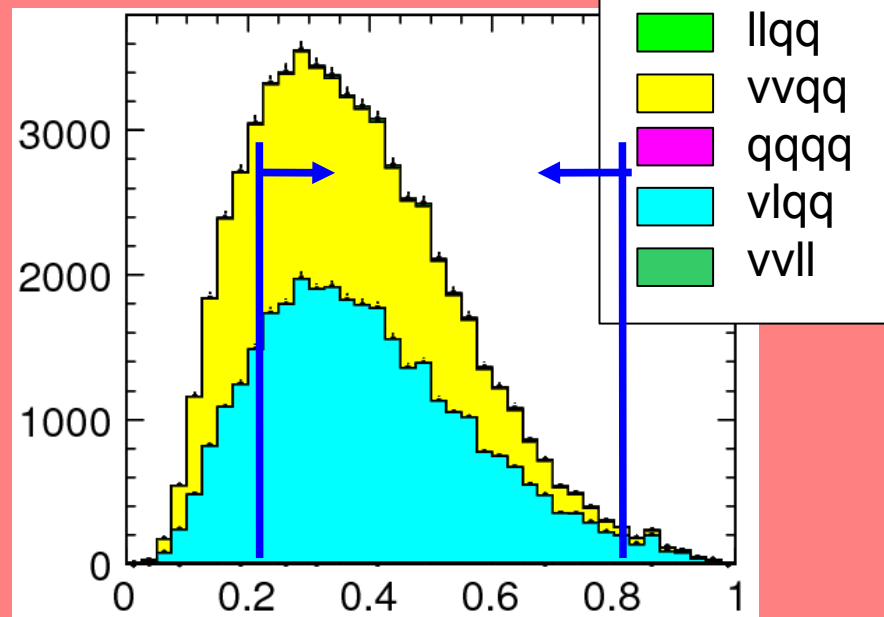
# Y<sub>最大2ジェット</sub>カット

- さらに $\tau\nu\tau qq$ イベントを除くために  $0.2 < Y_{\text{最大2ジェット}} < 0.8$  を選択
  - $Y_{\text{最大2ジェット}}$ : 2ジェットとして再構成するための最大Y値
- ヒッグスはWやZより質量が大きいため $\beta$ が小さい
- シグナルは $\beta$ が小さいため $Y_{\text{最大2ジェット}}$ 値が大きくなる

## Y<sub>最大2ジェット</sub>分布



シグナル

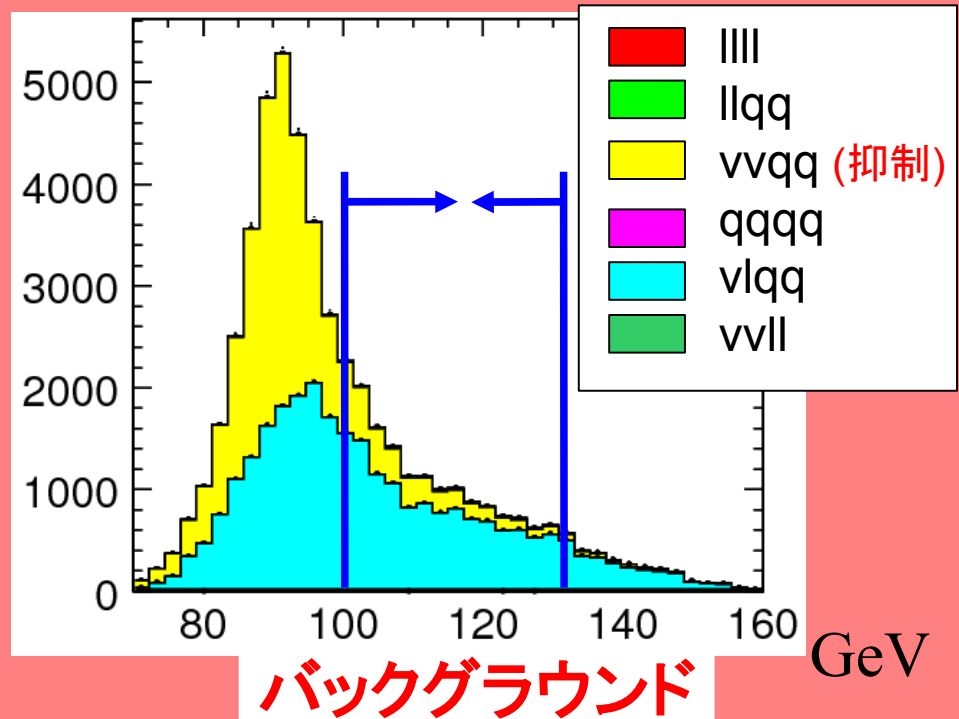
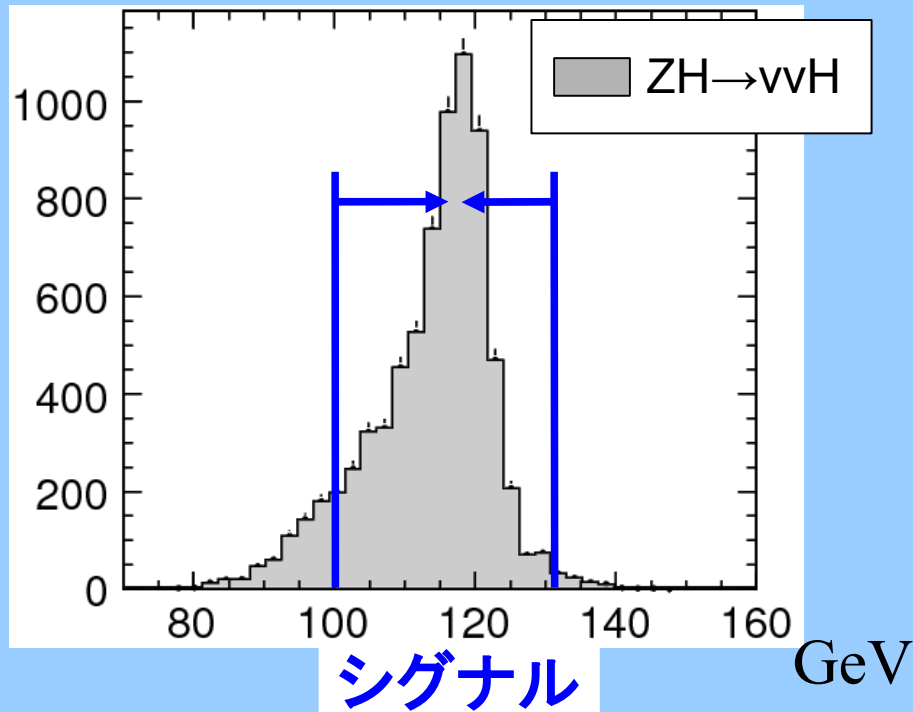


バックグラウンド

# 2ジェット質量カット

- $ZZ \rightarrow \nu\nu qq$  イベントを除くためのカット
- $100 \text{ GeV} < 2\text{ジェット質量} < 130 \text{ GeV}$  を選択

## 2ジェット質量分布



$ZZ \rightarrow \nu\nu qq$  イベントが抑制された

# テンプレートフィット

- 3Dヒストグラム使用(b,c,bcらしさ)
  - $ZH \rightarrow vvcc, vvbb$ の割合 $r_{cc}, r_{bb}$ を求める

b,c,bcらしさ

**定義**

$$X\text{らしさ} = \frac{X_1 \cdot X_2}{X_1 \cdot X_2 + (1 - X_1) \cdot (1 - X_2)}$$

$X=b,c,bc$

$X_{1,2}$ : 2つのジェットのうち1つのXクォークらしさ

b,c,bcクォークらしさ

- フレーバータグ
- ニューラルネットを使用
- $Z \rightarrow qq$  イベントでトレーニング
  - bcタグはトレーニングでのバックグラウンドがbクォークのみのcタグ