

# ILC実験におけるヒッグス崩壊分岐比の 測定精度の評価

2009/3/28

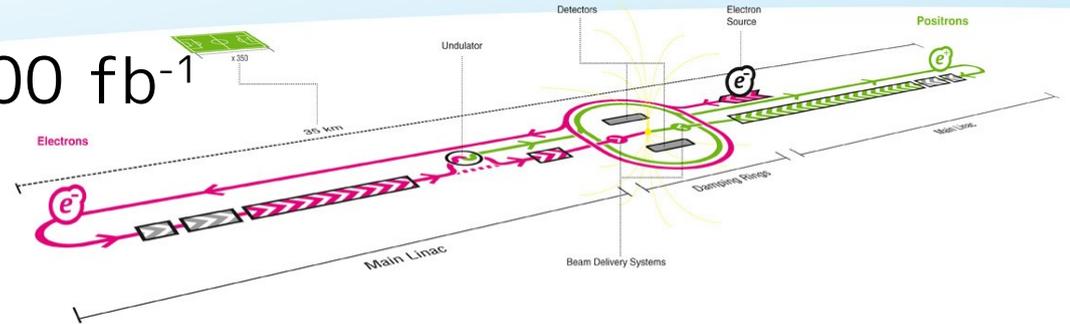
東北大学 吉田 幸平、他 ILDグループ

## 目次

- ILC(国際線形加速器)
- ILD測定器
- 研究内容
- まとめ

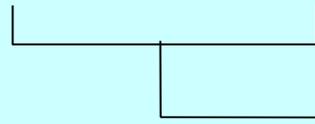
# ILC(国際線形加速器)

- 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>
- ヒッグス粒子の精密測定
  - 質量, 崩壊分岐比



## 測定器案

GLD(日本)、LDC(ヨーロッパ)、SiD(北米)、4th(北米)



ILD(日本、ヨーロッパ)

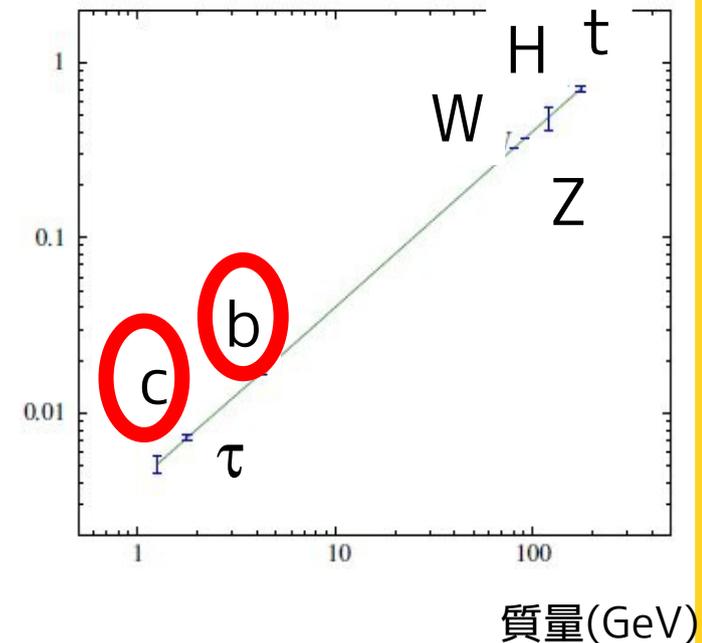
- 2007年 GLDとLDCが統合してILDができた
- 2008年9月 現在の測定器モデルが決定
- 2009年4月 LOI(Letter Of Intent)を作成
  - 物理モード、測定器のパフォーマンス

# ヒッグス崩壊分岐比測定

## 目的：ヒッグス機構の検証

- ヒッグス機構では  
(ヒッグスとの結合の強さ) $\propto$ (質量)
- ヒッグスの崩壊分岐比を測定することでヒッグス機構を検証する。

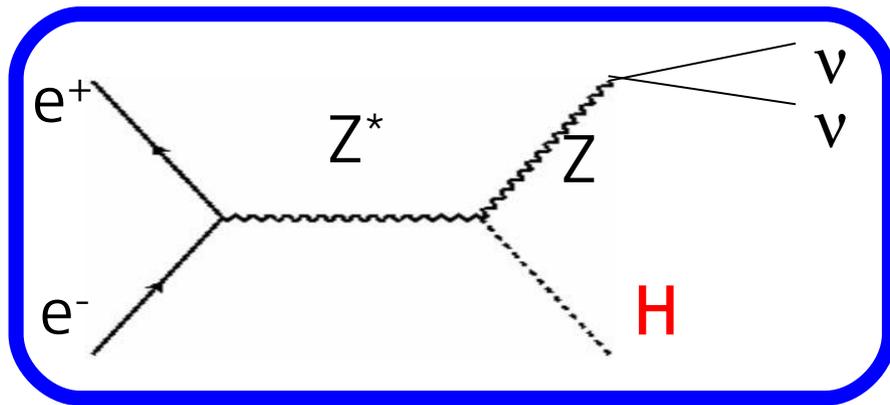
ヒッグスとの結合



本研究はLOIの物理モードの一つである $ZH \rightarrow \nu\nu bb, cc$ である。  
ヒッグス粒子の $bb, cc$ ペアへ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生成過程を用いて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%

- ヒッグスからのジェットペアを観測する。 ( $M_H: 120 \text{ GeV}$ )
- $Z \rightarrow \nu\bar{\nu}$ 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

➤バックグラウンド: 終状態が4フェルミオン

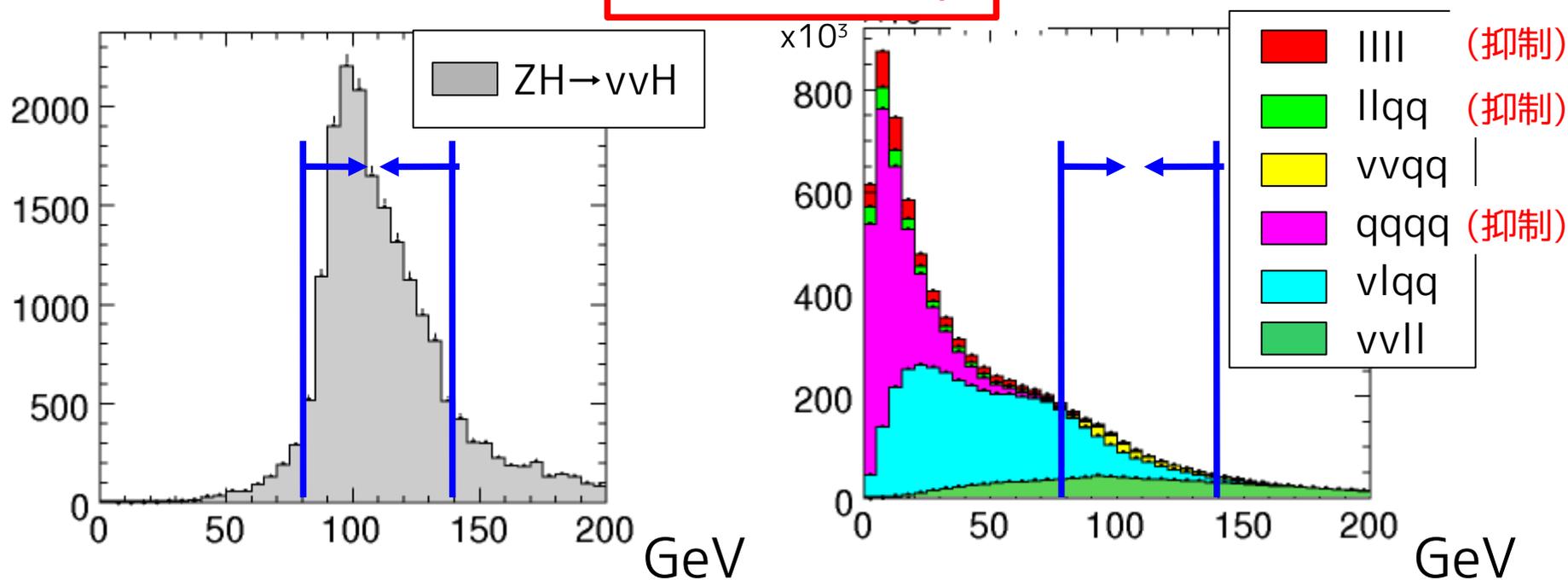
$\nu\nu ll$	$\nu lqq$	$qqqq$	$\nu\nu qq$	$llqq$	$llll$	Total
1,113,014	4,114,190	4,048,386	149,979	393,817	762,973	10,582,360

2フェルミオンは含まない(消失質量カットで落ちる)

# 消失質量カット

- 2 ジェットとして再構成して、そこから消失質量を求めた
- Z- $\rightarrow$ vv イベントを選ぶためのカット
- 80 GeV < 消失質量 < 140 GeV を選択する

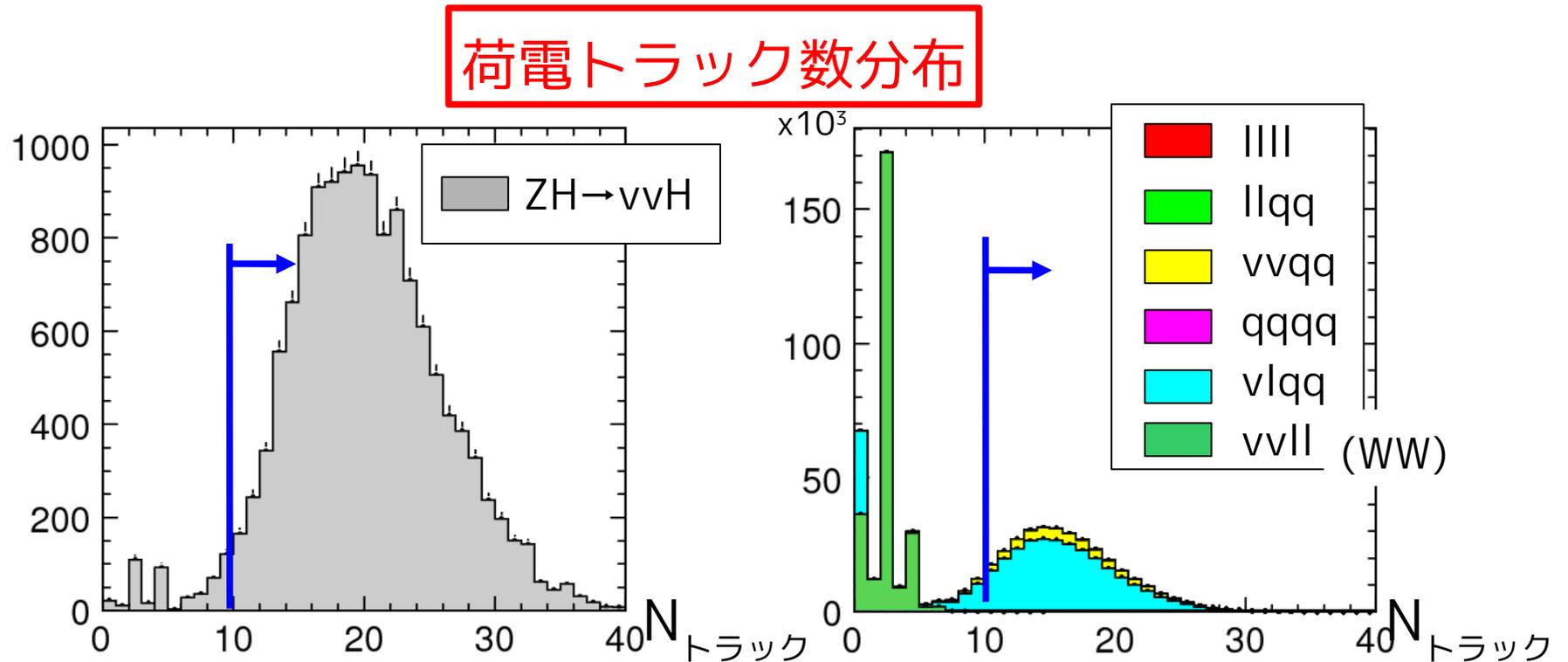
消失質量分布



llll と llqq, qqqq の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。



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。

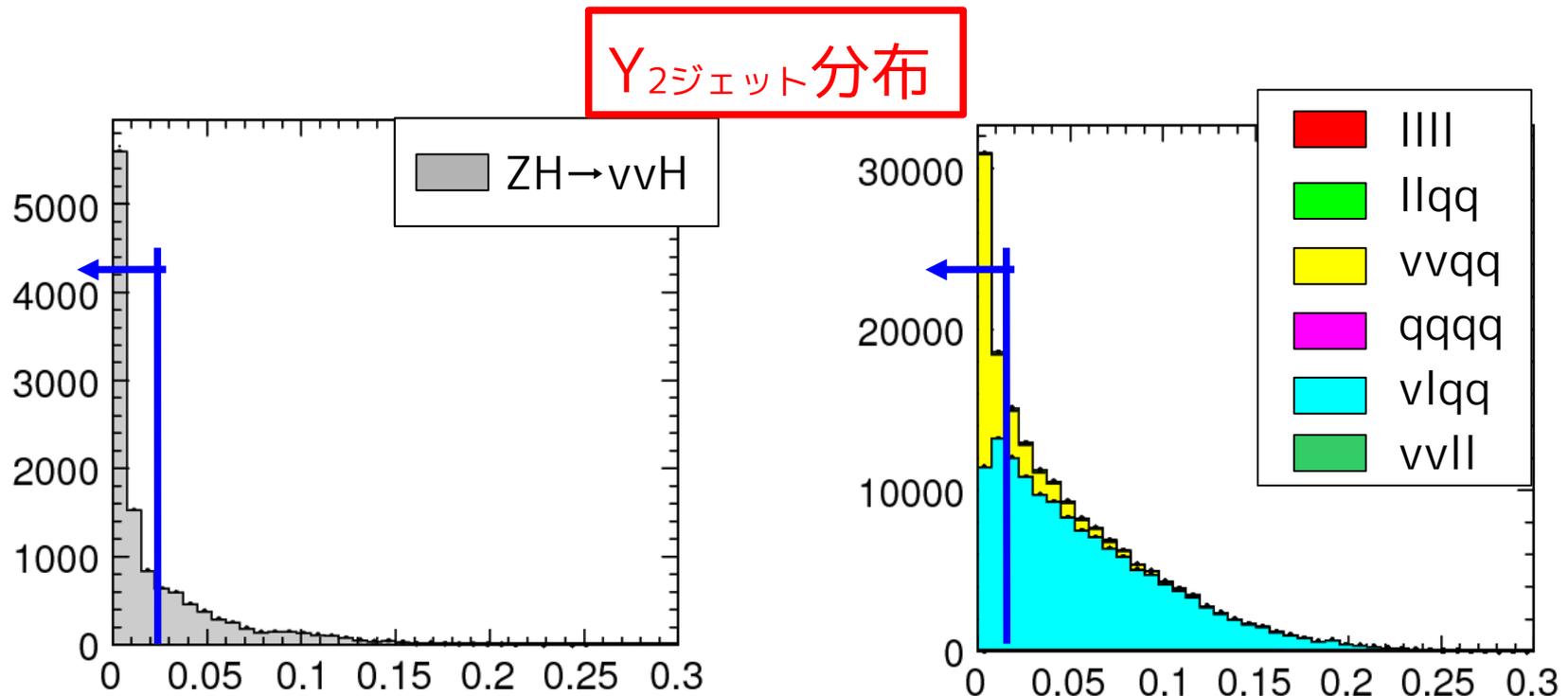
# Y<sub>2</sub>ジェットカット

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

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

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

▶ 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

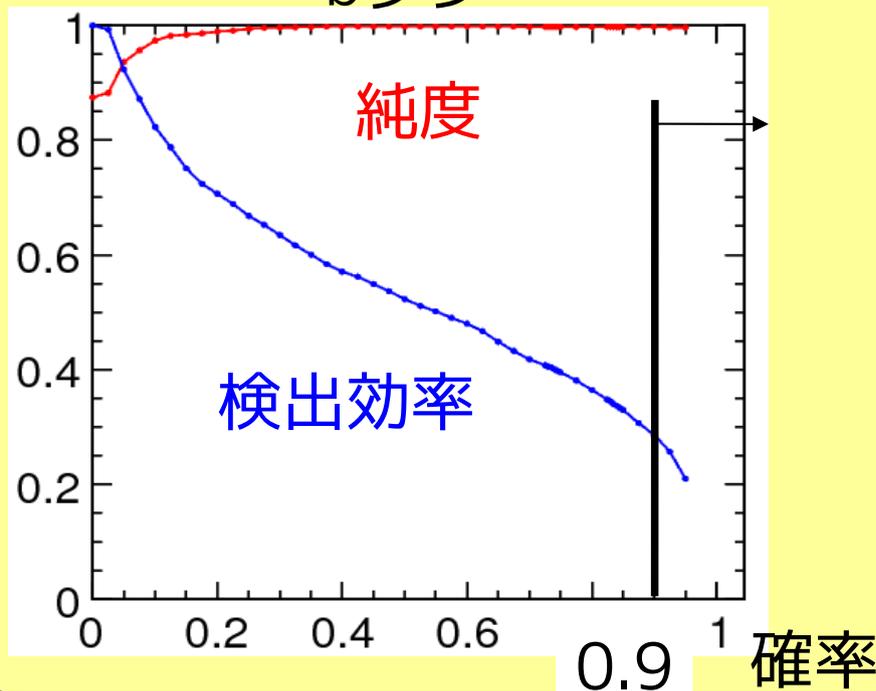


# b,cフレーバータグ

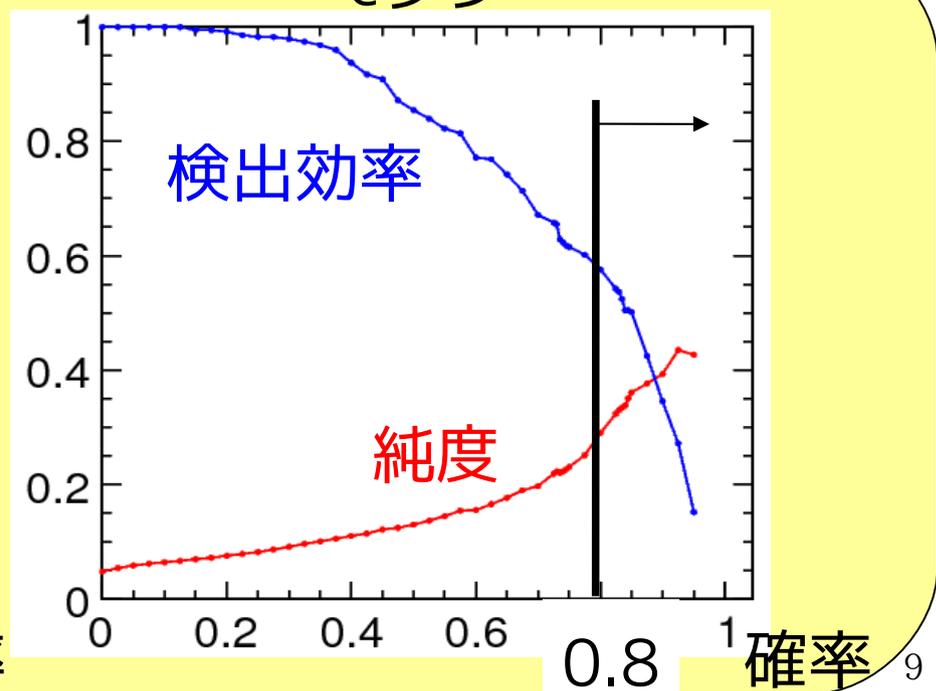
- ▶ ニューラルネットワークでトレーニング
  - 重心系エネルギー: 91.2 GeV
  - $e^+e^- \rightarrow Z \rightarrow qq$  ( $q=u,d,s,c,b$ )

ZHイベントのカット後の純度と検出効率( $H \rightarrow bb, cc$ )

bタグ



cタグ



# Reduction Summary

	カットなし	消失質量	横運動量	縦運動量	$N_{荷電トラック}$	最大運動量	最小 $Y_{2ジェット}$	最大 $Y_{2ジェット}$	bタグ	cタグ
ZH	19360	15684	13918	13534	12859	11849	7689	7335	1843	691
H->bb	13179	11843	10498	10226	9931	9158	6744	6417	1838	
H->cc	675	608	557	547	531	469	354	348		200
$\nu_e e q q$	1460797	80931	67135	61437	25966	5088	961	851	0	84
$\nu_\mu \mu q q$	1327332	92360	75143	61715	52355	10540	2747	2288	0	314
$\nu_\tau \tau q q$	1326061	386690	268190	200443	176370	123045	29135	24979	0	4919
$\nu \nu q q$	149979	124843	85774	49745	43229	35942	26713	21653	1634	2718
other	6318190	491631	337800	266307	2676	2001	370	335	27	63

$$P_{bb} = \frac{N_{H \rightarrow bb}^{cut後}}{N_{ZH}^{cut後}} = \frac{1838}{1843} = 0.997$$

$$\varepsilon_{bb} = \frac{N_{H \rightarrow bb}^{cut後}}{N_{H \rightarrow bb}} = \frac{1838}{13179} = 0.139$$

$$P_{cc} = \frac{N_{H \rightarrow cc}^{cut後}}{N_{ZH}^{cut後}} = \frac{200}{691} = 0.289$$

$$\varepsilon_{cc} = \frac{N_{H \rightarrow cc}^{cut後}}{N_{H \rightarrow cc}} = \frac{200}{675} = 0.296$$

# フィッティング結果

➤ ZHイベントの数をフィットから見積もった。

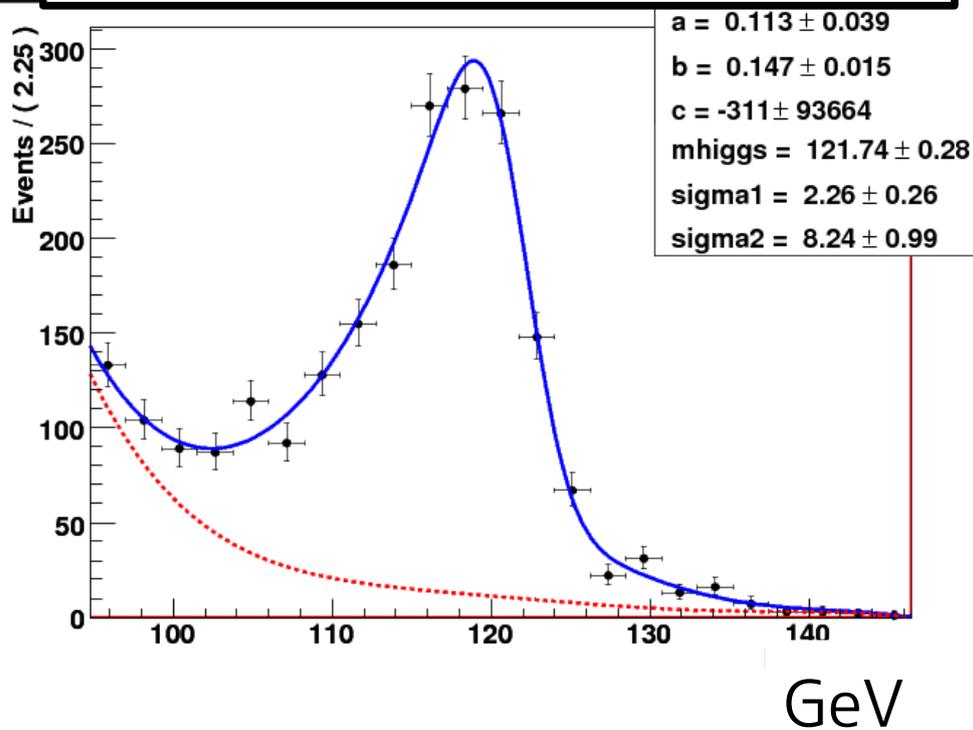
$$N_{ZH}^{\text{fit}} = 1713.5 \pm 60.6 \text{ (bタグ)}$$

$$N_{ZH}^{\text{fit}} = 624.7 \pm 87.5 \text{ (cタグ)}$$

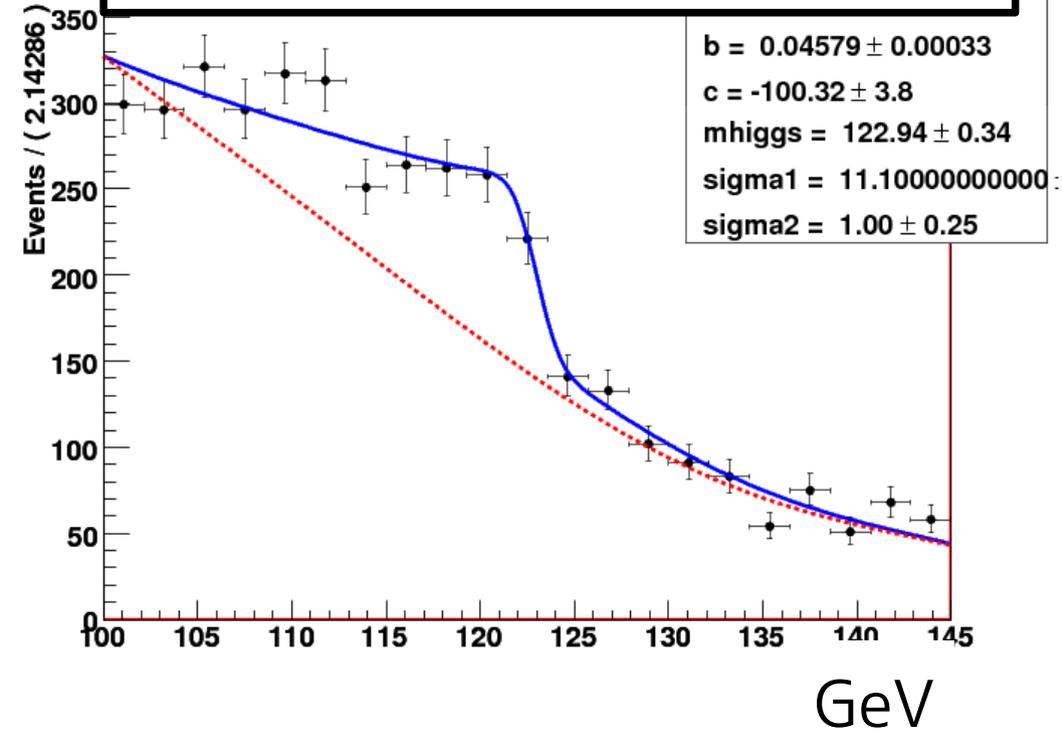
—: ZH+4fバックグラウンド  
--: 4fバックグラウンド

ヒッグス質量分布(2ジェットの不変質量)

bタグでのフィッティング結果



cタグでのフィッティング結果



# 崩壊分岐比の計算と精度

崩壊分岐比は  $Br(H \rightarrow ff) = \frac{N_{H \rightarrow ff}}{N_{ZH}}$  ( $f=b,c$ )で求められる。

ここで、 $N_{H \rightarrow ff} = \frac{P_{ff} \times N_{ZH}^{fit}}{\epsilon_{ff}}$  である。

したがって、

$$Br(H \rightarrow ff) = \frac{P_{ff} \times N_{ZH}^{fit}}{\epsilon_{ff} \times N_{ZH}}$$

測定精度は統計誤差だけ考慮して、

$$\frac{\Delta Br(H \rightarrow ff)}{Br(H \rightarrow ff)} = \frac{\Delta N_{ZH}^{fit}}{N_{ZH}^{fit}}$$

で求まる。

$$N_{ZH}^{fit} = 1713.5, \Delta N_{ZH}^{fit} = 60.6 \longrightarrow \frac{\Delta Br(H \rightarrow bb)}{Br(H \rightarrow bb)} = 3.5 \%$$

$$N_{ZH}^{fit} = 624.7, \Delta N_{ZH}^{fit} = 87.5 \longrightarrow \frac{\Delta Br(H \rightarrow cc)}{Br(H \rightarrow cc)} = 14.0 \%$$

# まとめ

- ILCにおけるヒッグス崩壊分岐比の測定精度を評価した。
  - 重心系エネルギー: 250 GeV
  - ルミノシティ: 250 fb<sup>-1</sup>
  - 結果
    - $\Delta\text{Br}(H \rightarrow bb)/\text{Br}(H \rightarrow bb)$  : 3.5%
    - $\Delta\text{Br}(H \rightarrow cc)/\text{Br}(H \rightarrow cc)$  : 14.0%



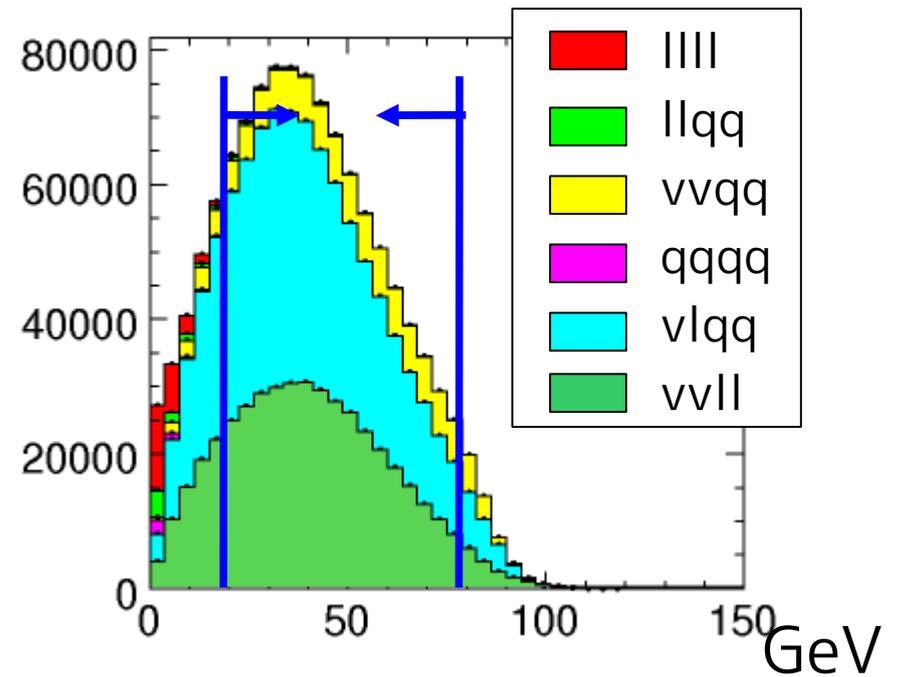
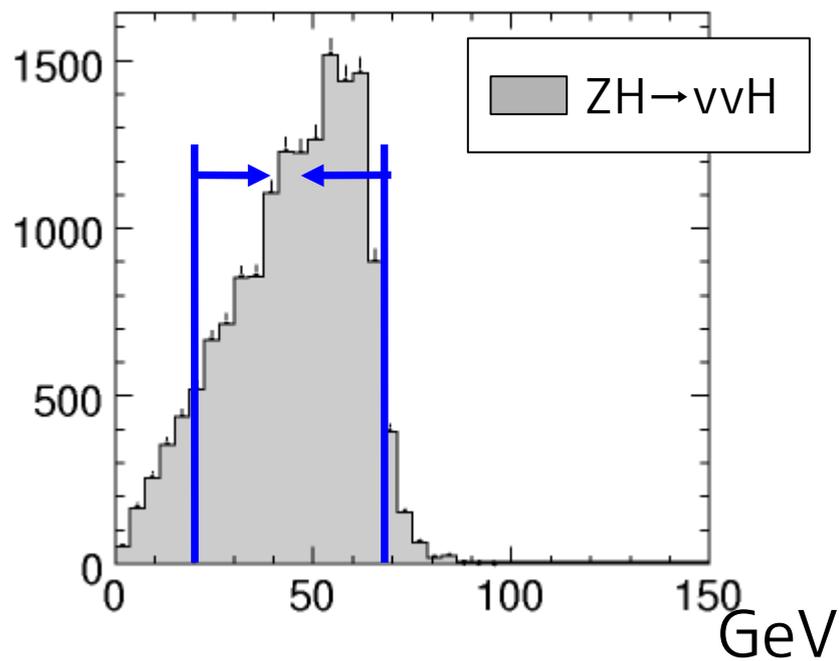
# 解析手順

- ① 2ジェットとして再構成
  - ② バックグラウンド除去
  - ③ シグナルで $H \rightarrow bb, cc$ を選択
  - ④ ヒッグス質量分布をフィット
  - ⑤ 崩壊分岐比の測定精度を見積もる
- 消失質量カット
  - 運動量カット(縦、横)
  - 荷電トラック数カット
  - 最大運動量カット
  - $y$ -valueカット( $Y_+, Y_-$ )
  - $b$ タグ,  $c$ タグ

# $P_T$ cut

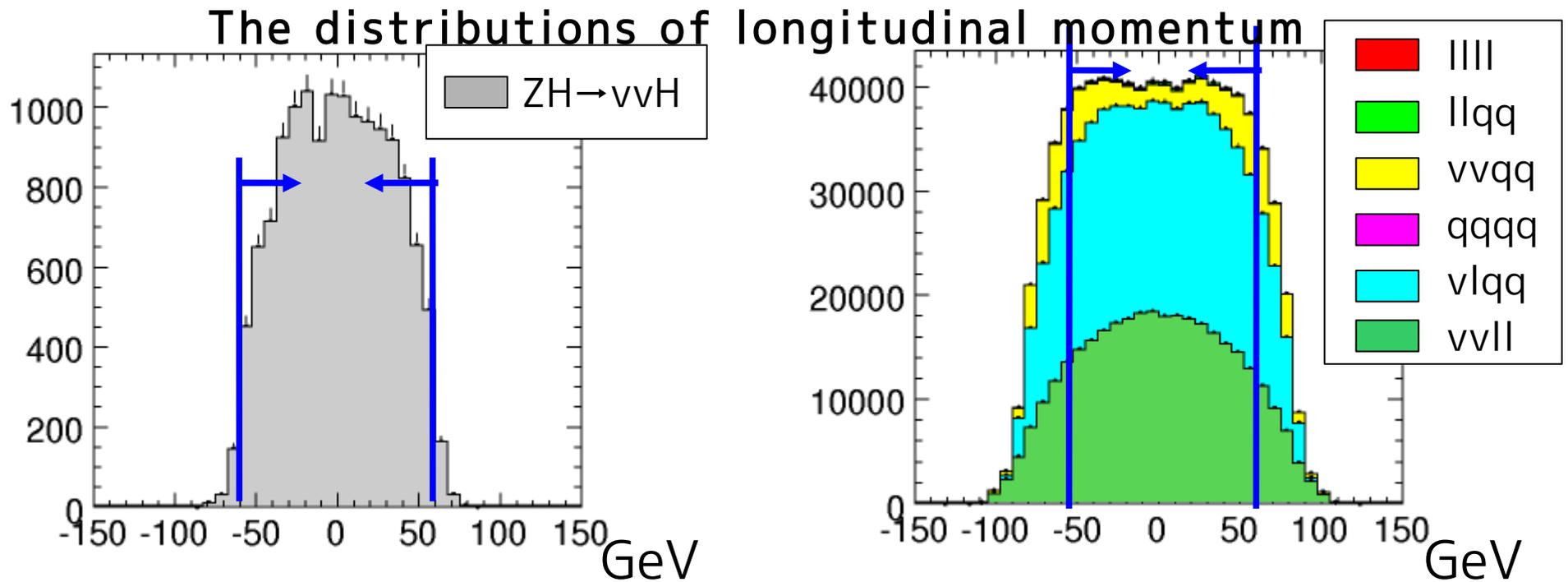
$$20 \text{ GeV} < P_T < 70 \text{ GeV}$$

The distributions of transverse momentum



# $P_L$ cut

$$-60 \text{ GeV} < P_L < 60 \text{ GeV}$$

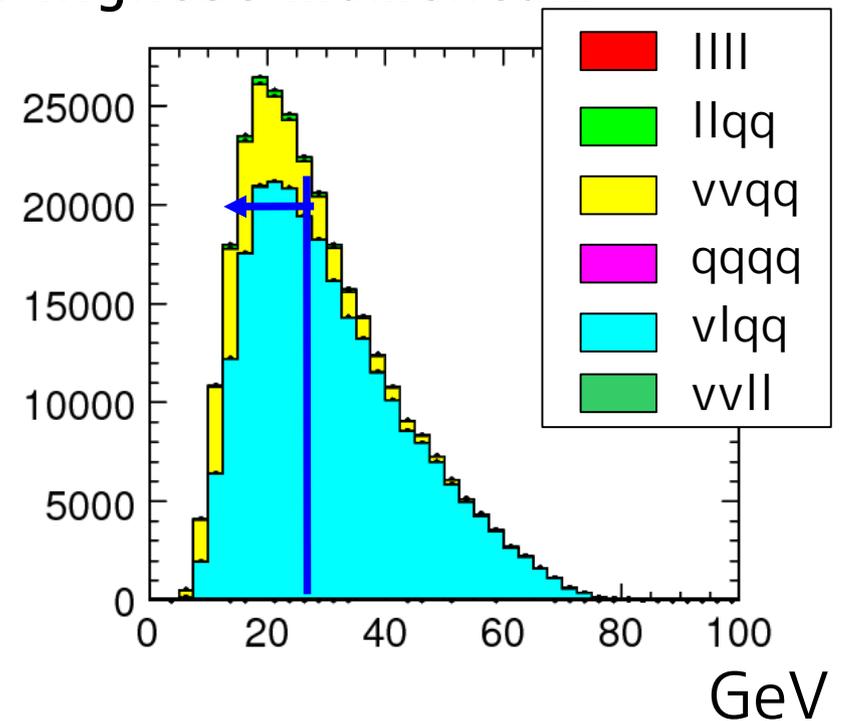
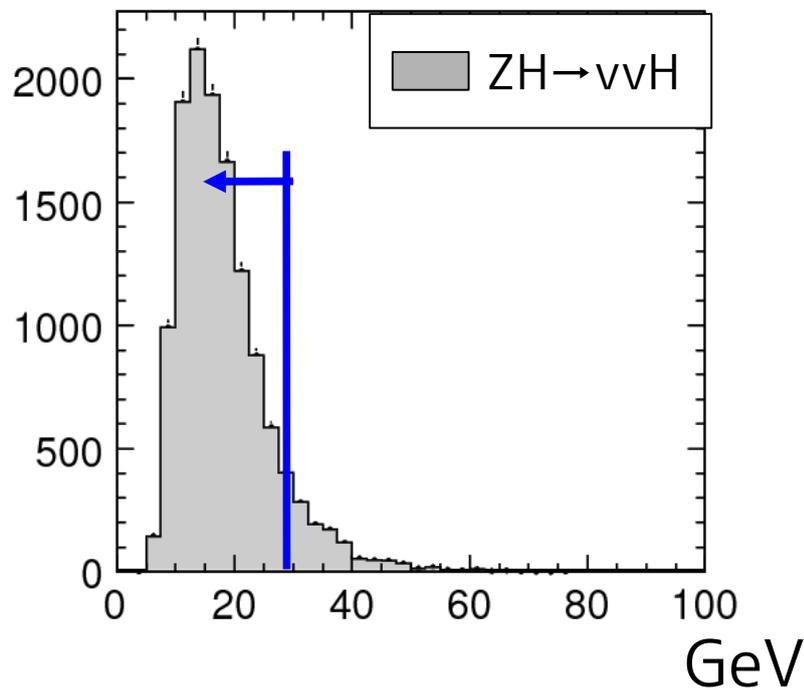


# Momentum<sup>max</sup> cut

Momentum<sup>max</sup> is the highest momentum.

$$\text{Momentum}^{\text{max}} < 30\text{GeV}$$

The distributions of the highest momentum



# YMinusカット

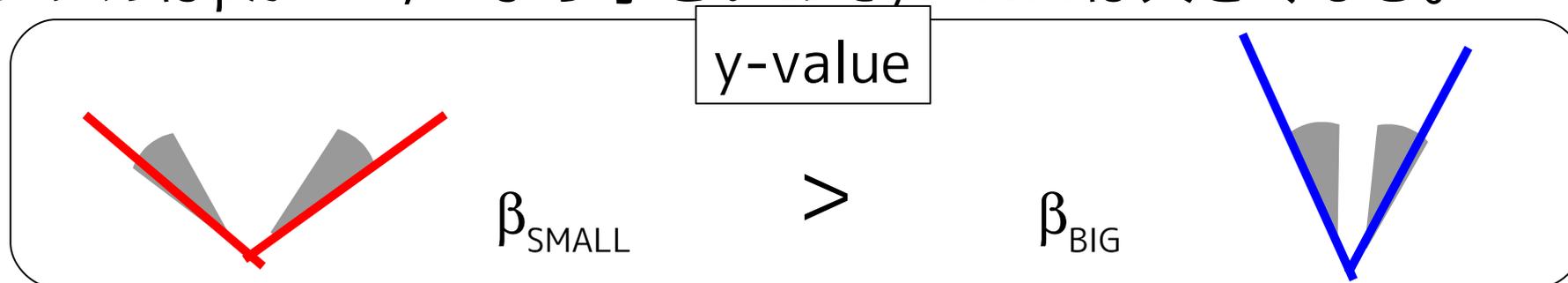
$$yvalue: \frac{2 E_i E_j (1 - \cos \theta_{ij})}{E_{vis}^2}$$

➤ さらに  $\nu_\tau qq$  を除くために  $0.2 < Yminus < 0.8$

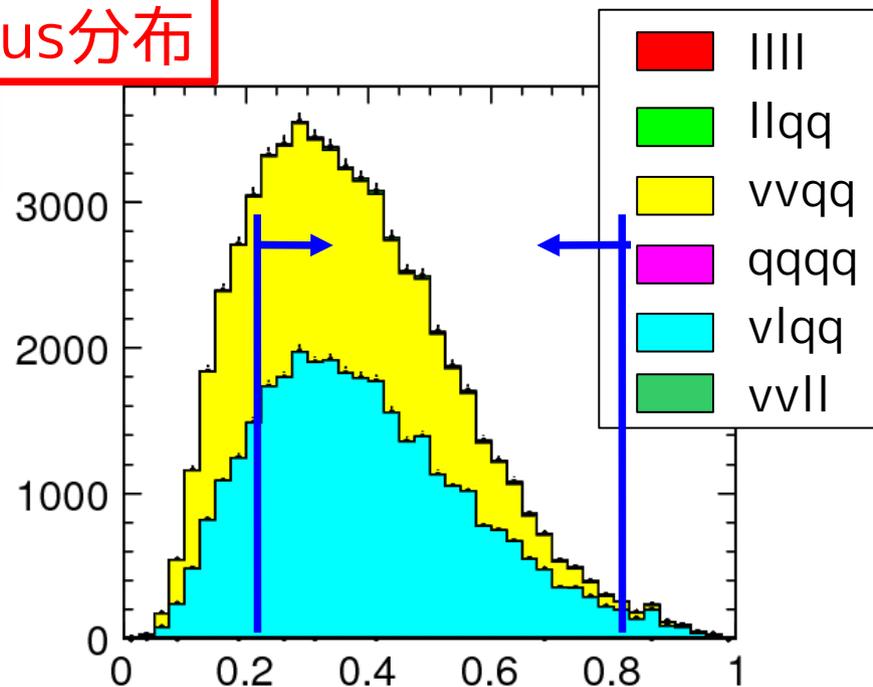
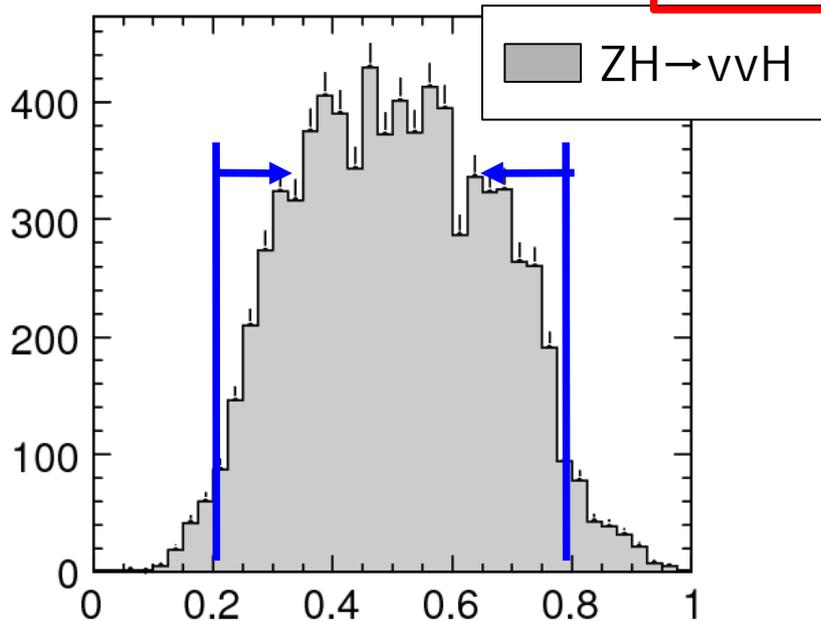
YMinus: 1(2-1)ジェットとして再構成するためのy-value

➤ ヒッグスはW,Zより質量が重いので、崩壊後のジェットの $\beta$ は小さい。

➤ シグナルは $\beta$ がWW,ZZより小さいのでy-valueは大きくなる。

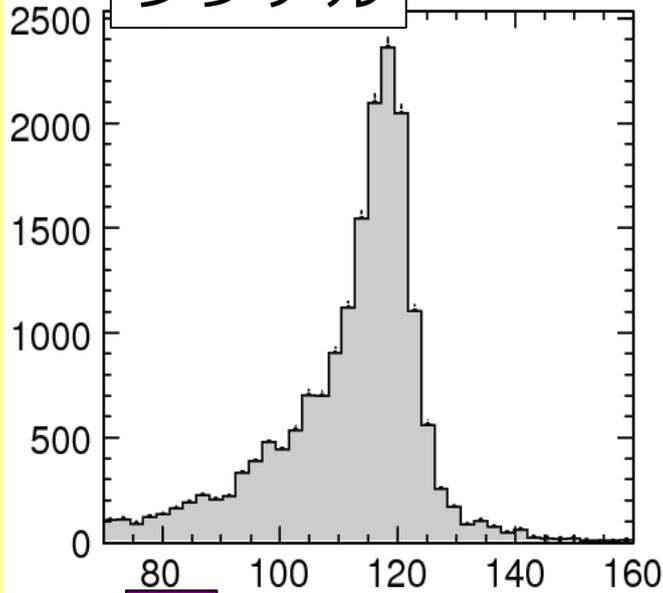


## YMinus分布

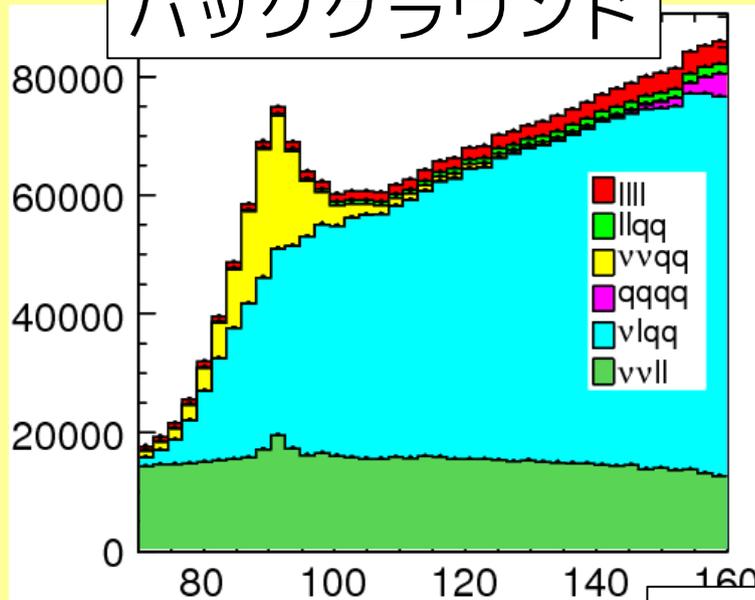


# ヒッグス質量分布

シグナル



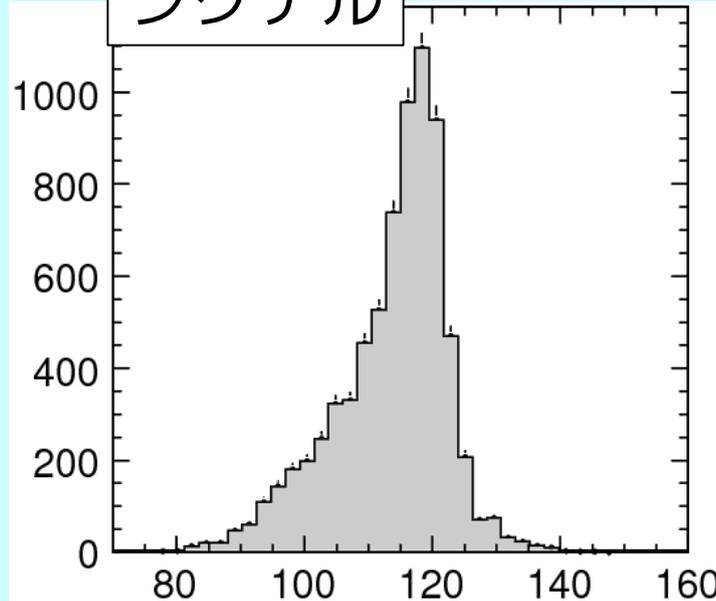
バックグラウンド



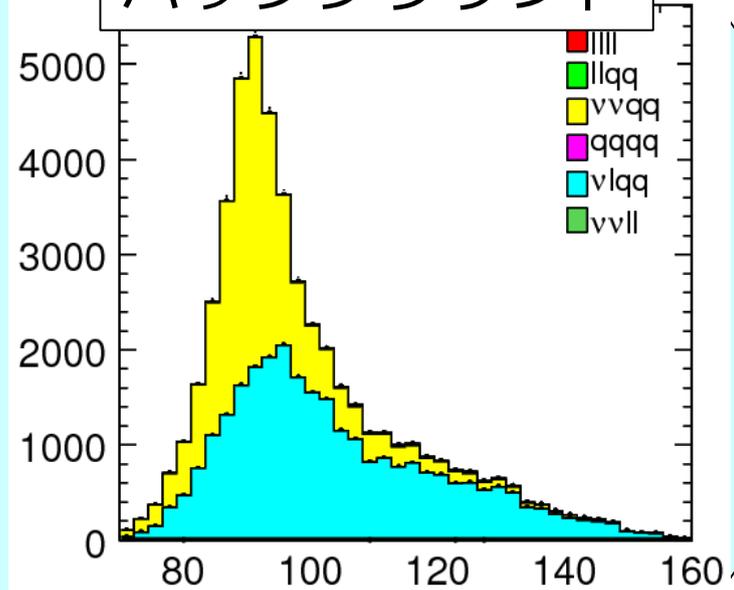
単位: GeV

カット前

シグナル



バックグラウンド

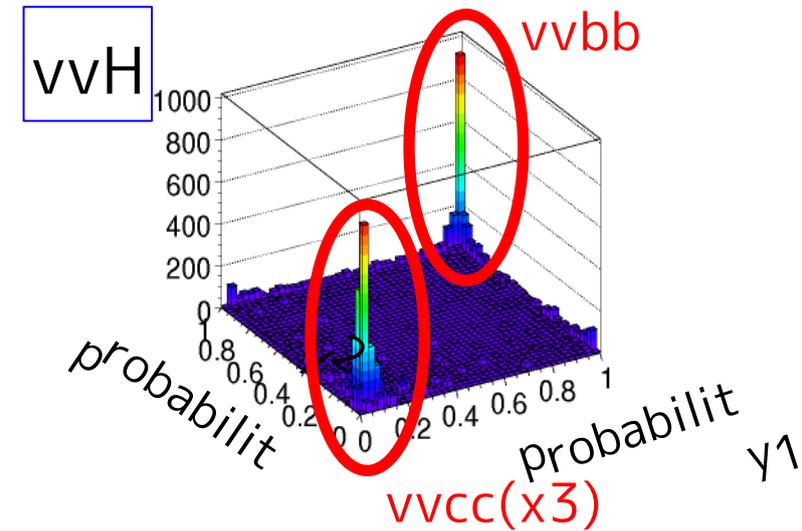
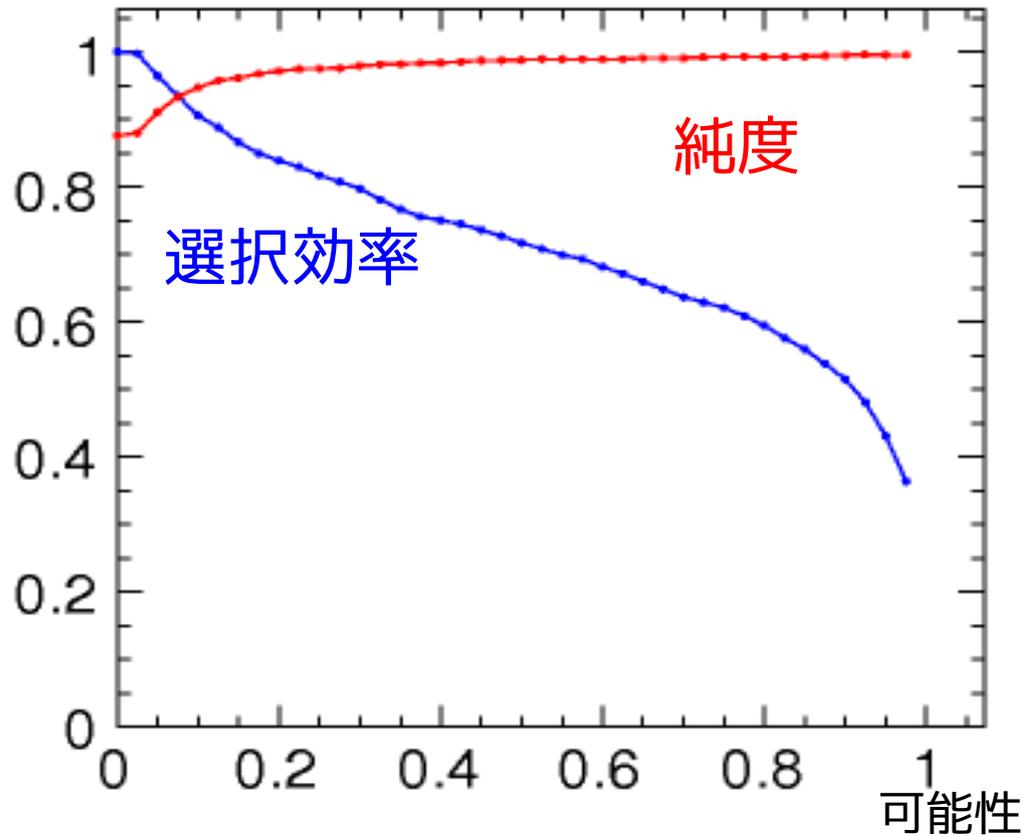


カット後

- カット後の主B.G.は  $vvqq$  と  $v_\tau\tau qq$
- 次は  $b, c$  タグ

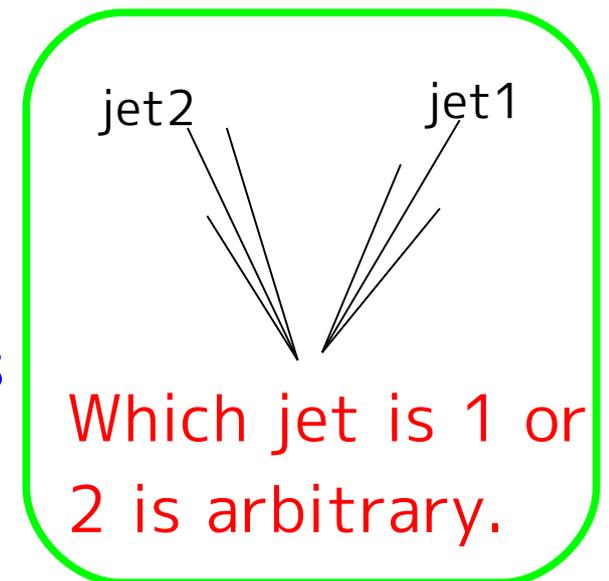
# bタグによる bbサンプルの用意

セレクションカット後の一つのジェットでの  
ZHに対するH→bbの**選択効率**と**純度**



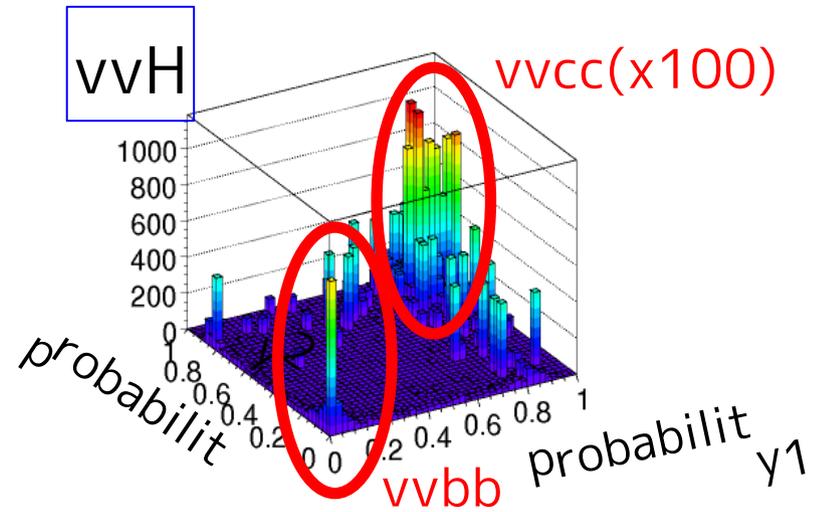
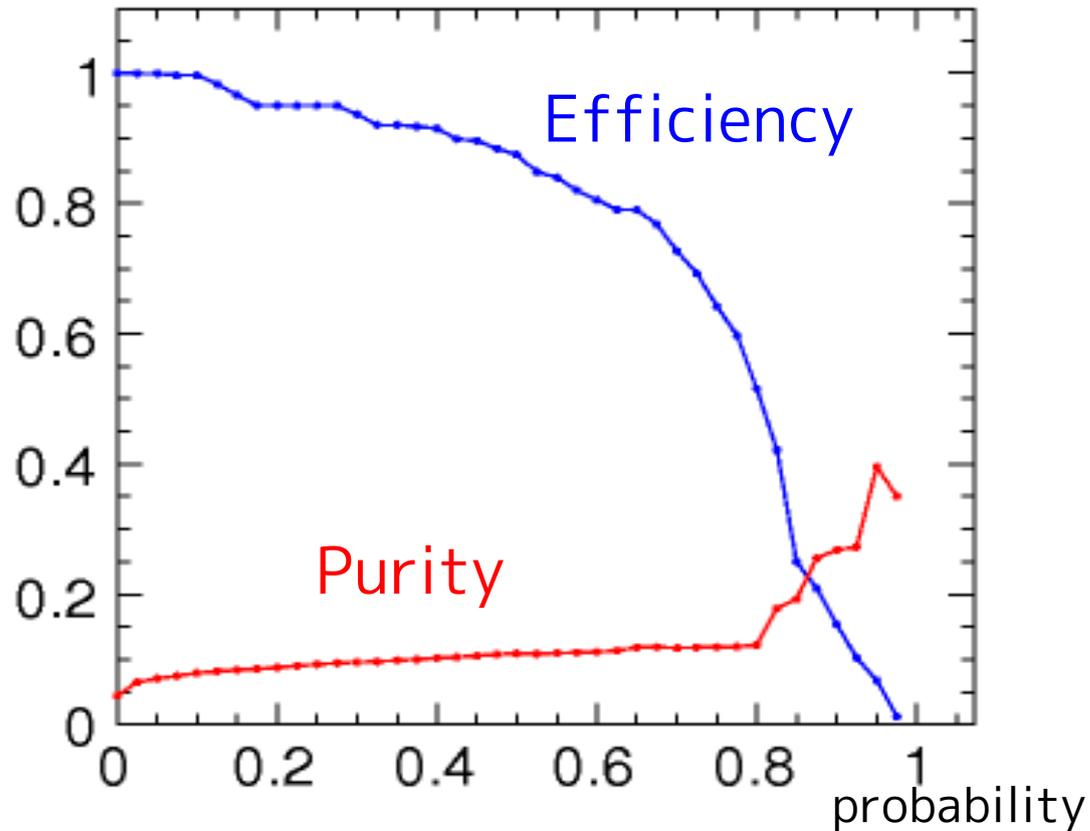
We applied b-tagging after the selection cuts  
with b-prob1 >0.9 & b-prob2>0.9

$$\frac{N_{vvbb}}{N_{vvH}} : 0.997$$



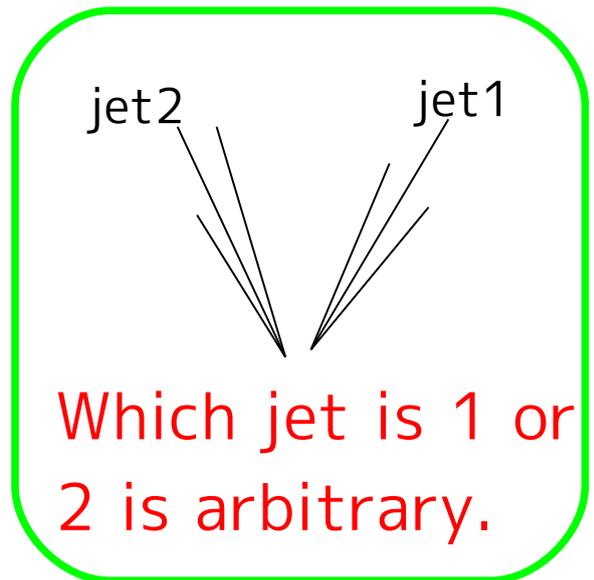
# Preparation of cc-sample with bc-tag

Efficiency and Purity of H->cc in ZH  
for one jet after selection cuts



We applied bc-tagging after the selection cuts  
with bc-prob1 >0.75 OR bc-prob2>0.75

$$\frac{N_{vvcc}}{N_{vvH}} : 0.11$$



# フィット関数

シグナル

$$F(m) = N \int_{-m}^{M_H - m} dt (e^{B(m+t)} + C) \left( e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} + A e^{-\frac{t^2}{2\sigma_1^2}} \right)$$

バックグラウンド

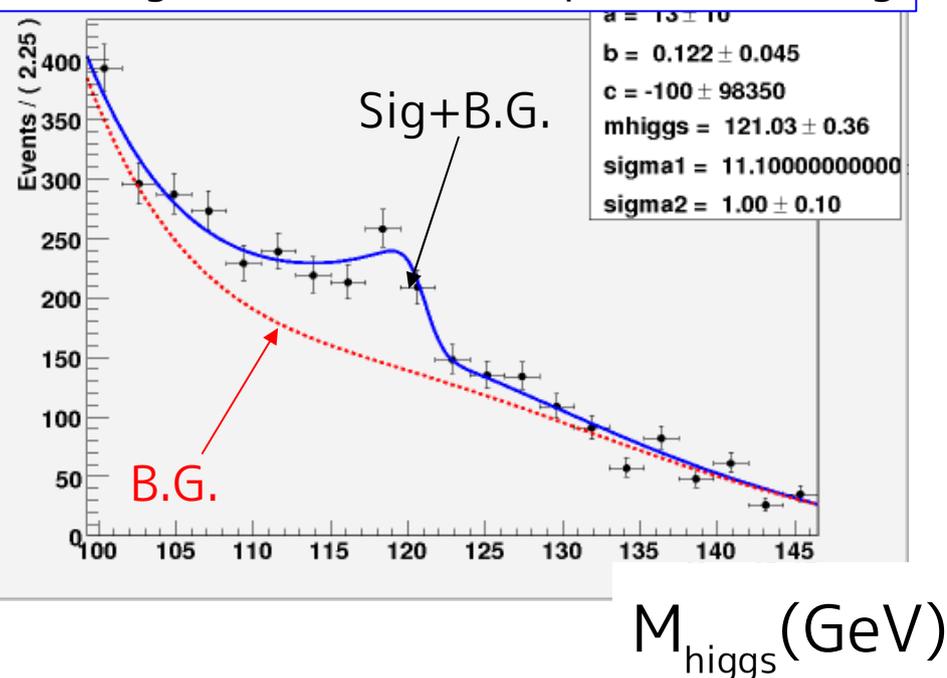
$$G(m) = N(1 + Am + B(2m^2 - 1) + C(4m^3 - 3m) + D(8m^4 - 8m^2 + 1) + E(16m^5 - 20m^3 + 5m))$$

# Measurement accuracy of BR

➤  $\Delta N_{vvH}^{fit}$  and  $N_{vvH}^{fit}$  in cc-sample, bb-sample is estimated by fitting Sig+B.G.

- $\Delta N_{vvH}^{fit}$ : statistical error of  $N_{vvH}^{fit}$

Fitting result in cc-sample with c-tag



b-tagging

$$N_{vvH}^{fit} : 1792.5$$

$$\Delta N_{vvH}^{fit} : 90.8$$

c-tagging

$$N_{vvH}^{fit} : 604$$

$$\Delta N_{vvH}^{fit} : 195.2$$

bc-tagging

$$N_{vvH}^{fit} : 2494$$

$$\Delta N_{vvH}^{fit} : 402.4$$

# Measurement accuracy of BR

- The measurement accuracy of branching ratio of  $H \rightarrow bb$ ,  $H \rightarrow cc$  are estimated by fitting result.

$$N'_{VVCC} = p N_{VVH}^{fit}$$

$$p: \frac{N_{VVCC}}{N_{VVH}}$$

Measurement accuracy

$$\frac{\Delta N'_{VVCC}}{N'_{VVCC}} = \frac{\sqrt{N_{VVH}^{fit^2} \sigma_p^2 + p^2 \Delta N_{VVH}^{fit^2}}}{p N_{VVH}^{fit}}$$

ignored in this study

$$\frac{\Delta N'_{VVbb}}{N'_{VVbb}} = 5.1\% \text{ (b-tag)}$$

$$\begin{aligned} \frac{\Delta N'_{VVCC}}{N'_{VVCC}} &= 32.3\% \text{ (c-tag)} \\ &= 16.1\% \text{ (bc-tag)} \end{aligned}$$

# 解析手順

- ① 2ジェットとして再構成する。
- ② バックグラウンドを除去する。
  - 消失質量カット
  - 運動量カット(縦、横)
  - レプトン数カット
  - 最大運動量カット
  - y-valueカット(YPlus, YMinus)
- ③ シグナル( $ee \rightarrow ZH$ )で $H \rightarrow bb$ ,  $cc$ を選択する。
  - bタグで $H \rightarrow bb$ を選択
  - cタグで $H \rightarrow cc$ を選択
- ④ ヒッグスの質量分布をフィットする。
- ⑤ フィット結果から崩壊分岐比の測定精度を見積もる。