



TOHOKU  
UNIVERSITY



# ILCにおけるトップクォーク 対生成閾値領域の研究

@ILCなつのがっしゅく

堀口朋裕 (東北大学)

石川明正、清裕一郎<sup>1</sup>、末原大幹、隅野行成、藤井恵介<sup>2</sup>、山本均  
東北大，<sup>1</sup>順天堂大，<sup>2</sup>KEK

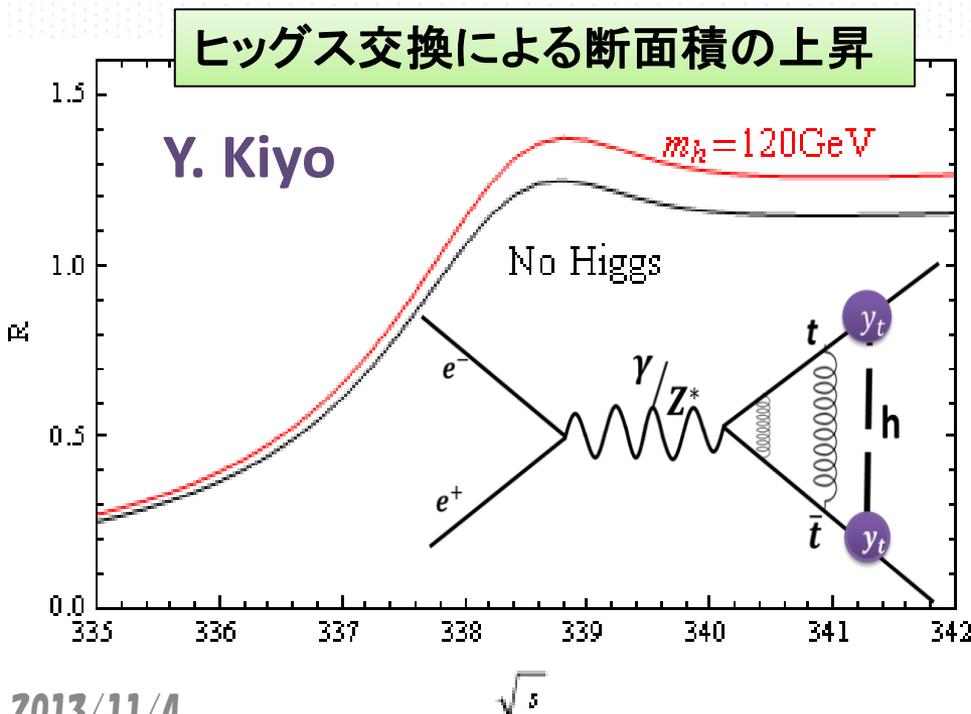
# 導入

# 全断面積測定と質量、崩壊幅、トップ湯川結合

$$\sigma_{tt} = f(\sqrt{s}, m_t, \Gamma_t, \alpha_s, m_h, y_t)$$

閾値スキャンをして断面積を測定しフィットすることで  
基本パラメータの精密測定が可能になる!!

◎閾値付近では potential subtracted(PS) mass\*\* という強い相互作用との相関が小さい質量が定義可能 \*\* [arXiv:hep-ph/9804241](https://arxiv.org/abs/hep-ph/9804241)



ヒッグスがトップ対の間を交換することで断面積が

$$9 \pm 4 \%$$

上昇する。

断面積を精密測定し500GeVの前に**トップ湯川結合**の測定を試みる

# ターゲット

質量

{ Pole mass  
 $\overline{MS}$  mass  
Potential subtracted mass

崩壊幅

トップ湯川結合

(強い相互作用の結合定数)

トップ対共鳴状態でのQCD波動関数

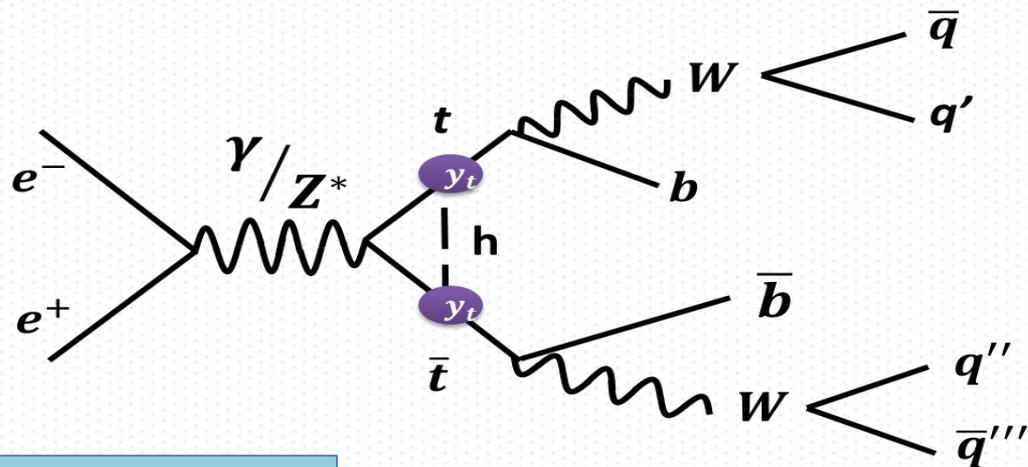
ILCができるころには格子QCDの計算が進んでいるはず!!

# シミュレーション

# 信号事象と背景事象

## 信号事象

$$ee \rightarrow t\bar{t} \rightarrow bbWW (\rightarrow bbqq'q''q''')$$



## 崩壊分岐比

6-Jet	45%
4j1l1v	44%
2j2l2v	11%

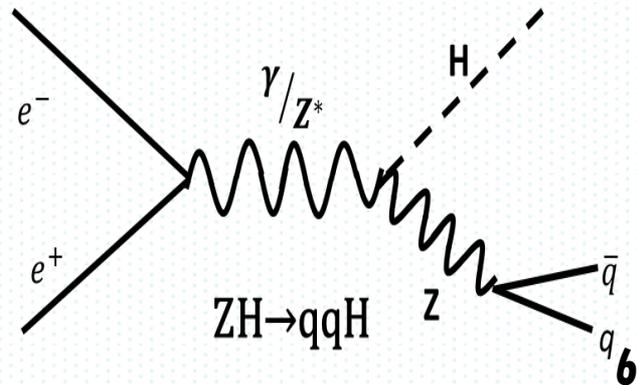
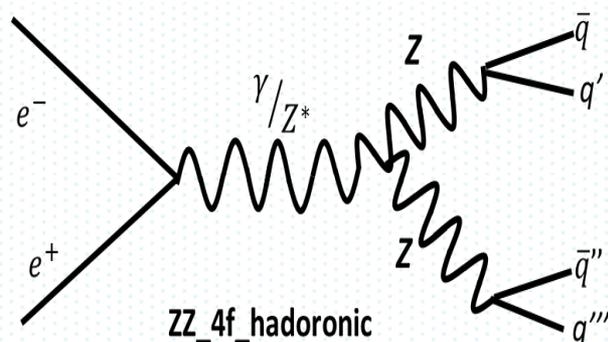
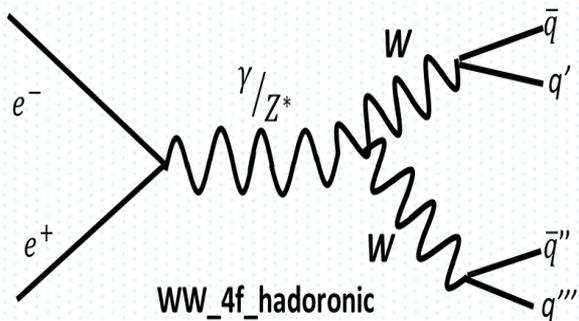
## 背景事象

$$ee \rightarrow WW (\rightarrow qq'q''q''') \quad q = (u, d, s, c, b)$$

$$\rightarrow ZZ (\rightarrow q\bar{q}q'\bar{q}')$$

$$\rightarrow ZH (\rightarrow qqH)$$

将来的に  $tbW, WWZ, ZZZ$  を追加



# シミュレーション

トップの質量(pole mass)	174 GeV
重心系エネルギー( $E_{cm}$ ) ( <i>threshold scan</i> )	<u>340 - 350 GeV (every 1 GeV)</u>
<i>偏極率</i> (pol)	<u><math>(e^-, e^+) = (-0.8, +0.3)</math></u> <u><math>(+0.8, -0.3)</math></u>
積分ミノシティ	10 fb <sup>-1</sup> (各 $E_{cm}$ & pol) <small>運転スケジュール未定のため現段階ではこれでやります</small>
トップジェネレーター	Physsim (LO ,no higgs exchange, on ISR/beamstrahlung)
検出器シミュレーション	ILD_01_v05 ( <b>DBD ver.</b> )

# 再構成

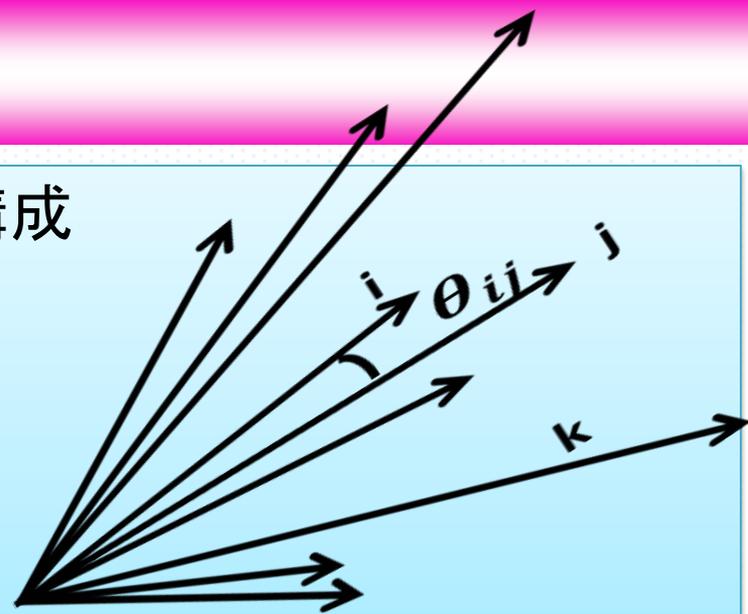
◎Durham algorismで粒子群をjetに再構成

○Y値の最小化

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

Yが最小になるijを見つけ出し一つにまとめる

$p_1 p_2 \dots p_i p_j p_k \dots p_{n-1} p_n$   $\longrightarrow$   $p_1 p_2 \dots p_{i'} p_k \dots p_{n-2} p_{n-1}$



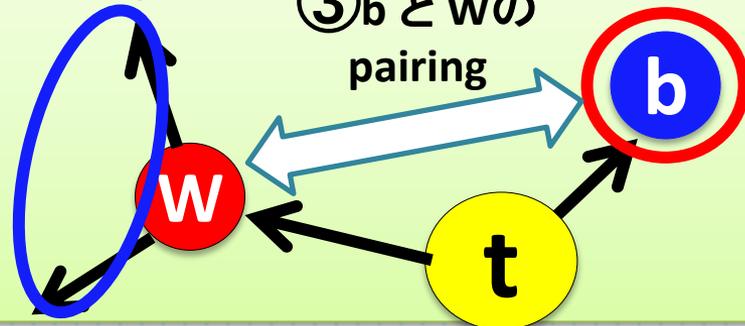
## ◎トップの再構成

- ① LCFIPusによってbらしいJetを2つ選ぶ
- ② 残りのJet 4本でWを再構成
- ③ bとWを組み合わせトップを再構成
- ④  $\chi^2$ により最適化

### ②Wの再構成

### ③bとWの pairing

### ①b-tag



$$\textcircled{4} \chi^2 = \frac{(m_{2j} - Mw_1)^2}{\sigma_w^2} + \frac{(m_{2j} - Mw_2)^2}{\sigma_w^2} + \frac{(m_{3j} - Mt_1)^2}{\sigma_t^2} + \frac{(m_{3j} - Mt_2)^2}{\sigma_t^2}$$

# 解析

# イベント選別

有意度が最大になるようにカットをかける。

- WW
  - ZZ
  - 4-Jets
  - 2-Jets
  - その他有効なカット
- ① b-tag ⇒ Wはbに崩壊できないので排除する
  - ② thrust cut ⇒ イベント形状によって見分ける
  - ③ 孤立レプトン排除 ⇒ 孤立レプトンのIDをして0を要求
  - ④ Visible energy cut ⇒ 検出できるエネルギー。ニュートリノが出るイベントは小さくなる
  - ⑤ Y value ⇒ Durham アルゴリズムで再構成した時のY値
  - ⑥ Missing Pt ⇒ transvers 方向に失った運動量
  - ⑦ PFOの数 ⇒ PFO(Particle Flow Object)の数

# カットテーブル @350GeV 左巻き

Luminosity = 10 fb<sup>-1</sup>, 偏極 e(-80%)p(+30%)

信号



背景事象

$$\text{有意度; } S = \frac{\text{signal}}{\sqrt{\text{signal} + \text{background}}}$$

Ecm=350(GeV)	tt6j	tt4j+1l	tt2j+2l	WW	ZZ	ZH	$S_{6j}$
Generated	3288	3167	763	65328	6008	1389	11.6
btag1 > 0.1 btag2 > 0.1	3136	3004	725	7567	2832	982	23.2
Thrust<0.84	3090	2882	645	867	917	815	32.2
Evis>310 GeV	3063	1194	37	434	573	577	39.9
# of lepton = 0	3021	399	3	429	571	571	42.8
y45 > 0.0012 y56 > 0.0007	2956	331	2	174	176	193	47.8
misspt<38 GeV	2942	160	0	173	175	192	48.7
# of pfos<95	2917	137	0	115	143	170	49.4

断面積の統計誤差:  $1/49.4 = 2.0\%$

# カットテーブル @350GeV 右巻き

Luminosity = 10 fb<sup>-1</sup>, 偏極 e(+80%)p(-30%)

信号



背景事象

$$\text{有意度; } S = \frac{\text{signal}}{\sqrt{\text{signal} + \text{background}}}$$

Ecm=350(GeV)	tt6j	tt4j+1l	tt2j+2l	WW	ZZ	ZH	$S_{6j}$
Generated	1572	1515	365	4326	2773	937	14.7
btag1 > 0.065 btag2 > 0.065	1546	1483	355	1181	1591	720	18.7
Thrust < 0.84	1522	1425	318	141	424	594	22.9
Evis > 305 GeV	1514	687	24	73	267	438	27.6
# of lepton = 0	1495	224	2	72	265	431	29.9
y45 > 0.0014 y56 > 0.0006	1472	189	1	30	89	161	33.4
misspt < 38 GeV	1465	89	0	30	88	160	34.2
# of pfos < 95	1453	74	0	18	66	140	34.7

断面積の統計誤差:  $1/34.7 = 2.9\%$

# トップ湯川

# トップ湯川結合の統計エラー見積もり

全てのエネルギーのイベントを足しあげ有意度を計算し、トップ湯川の統計エラーを見積もった。

$$\sigma \propto |\mathcal{M}|^2 = |\mathcal{M}_{no\ higgs\ exchange} + y_t^2 \mathcal{M}_{higgs\ exchange}|^2$$
$$(|\mathcal{M}_{no\ higgs\ exchange}|^2 \gg |y_t^2 \mathcal{M}_{higgs\ exchange}|^2)$$
$$\frac{\delta y_t}{y_t} \sim \frac{109 \times \frac{1}{2} \times \frac{\delta \sigma}{\sigma}}{9}$$

統計エラー	左巻き	右巻き	Combined
断面積	0.83%	1.2%	
トップ湯川	5.0%	7.1%	4.2%

4-Jetの解析が終わりcombinedすれば3%になると期待!!

# トップの質量と崩壊幅

# 断面積のフィット①

## ①ビーム効果を考える

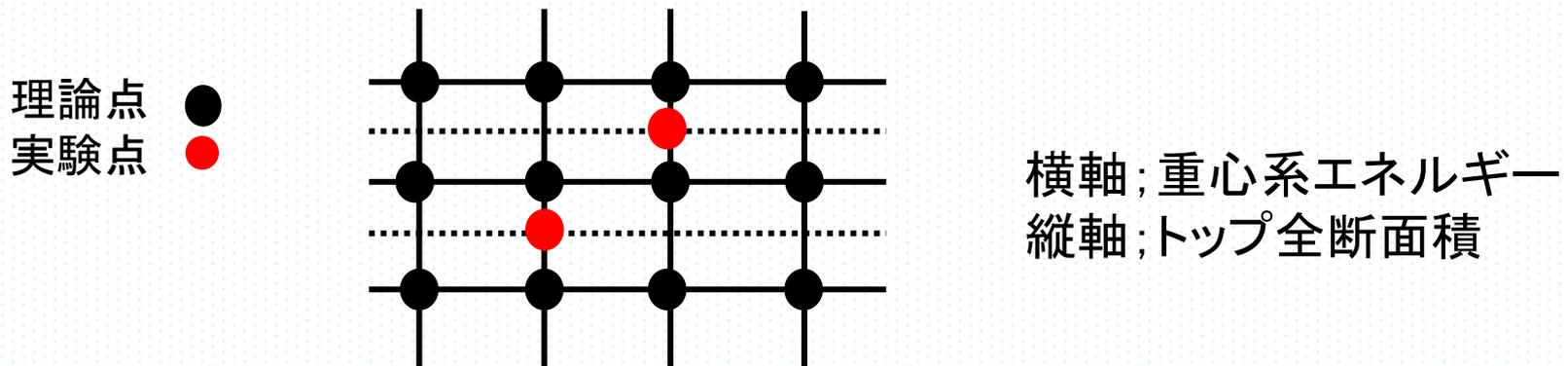
閾値付近の物理ではビーム効果を考慮しなければいけない



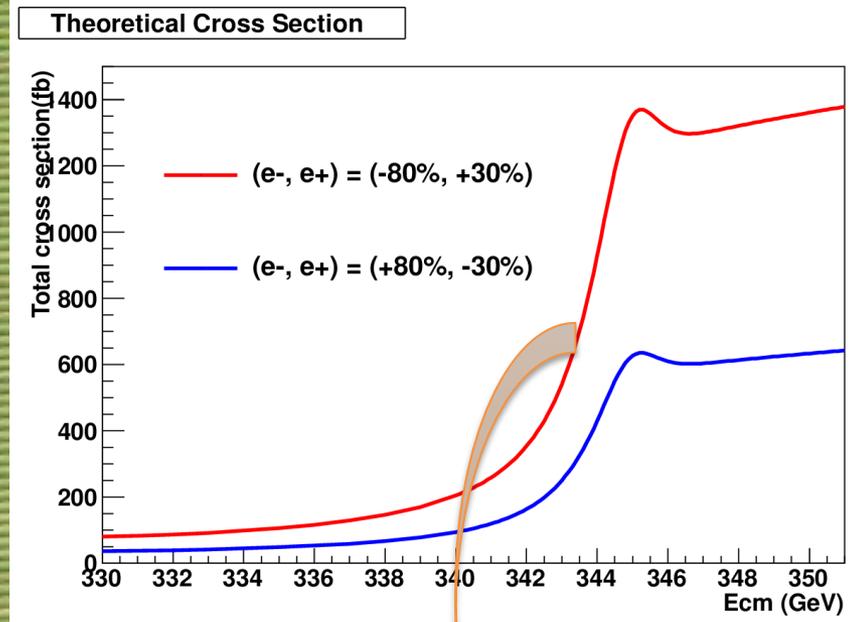
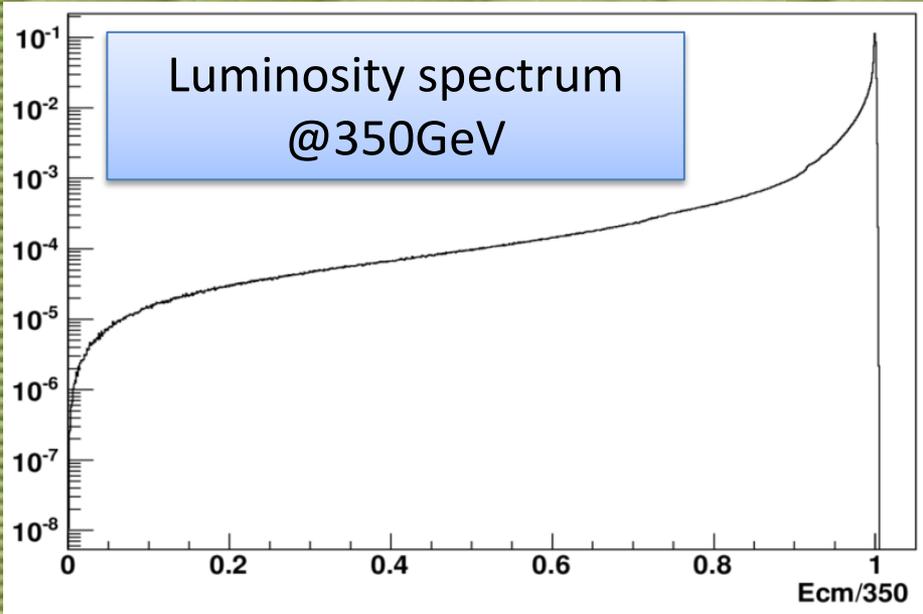
トップクォークができるかできないかという**死活問題**  
(ここでは60%くらいに減る)

## ②断面積のフィット

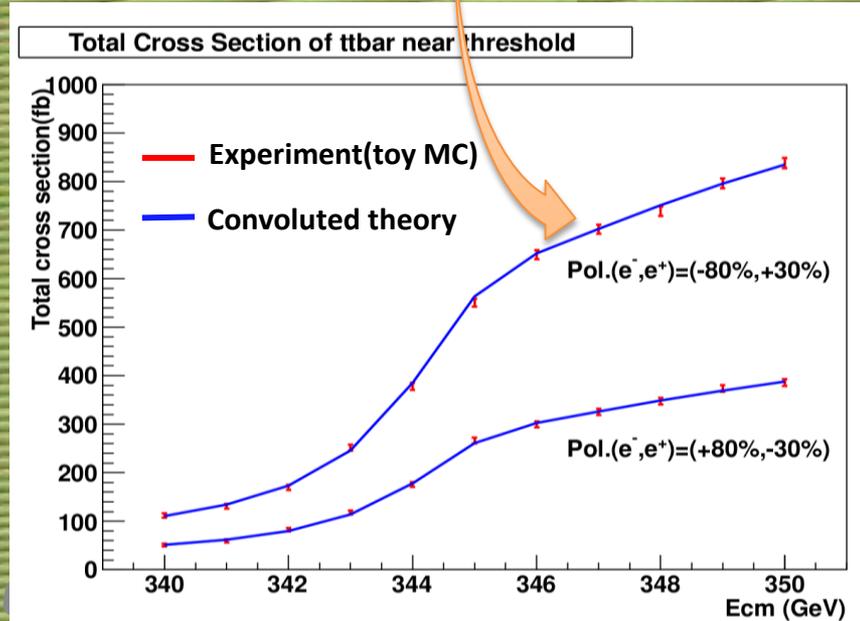
PS質量(171~173GeV)、崩壊幅(0.9~1.9GeV)、 $E_{cm}$ (330~351GeV)をフリーパラメータとして約250万点の理論値のテーブルを作り、実験値と比較しフィットする。



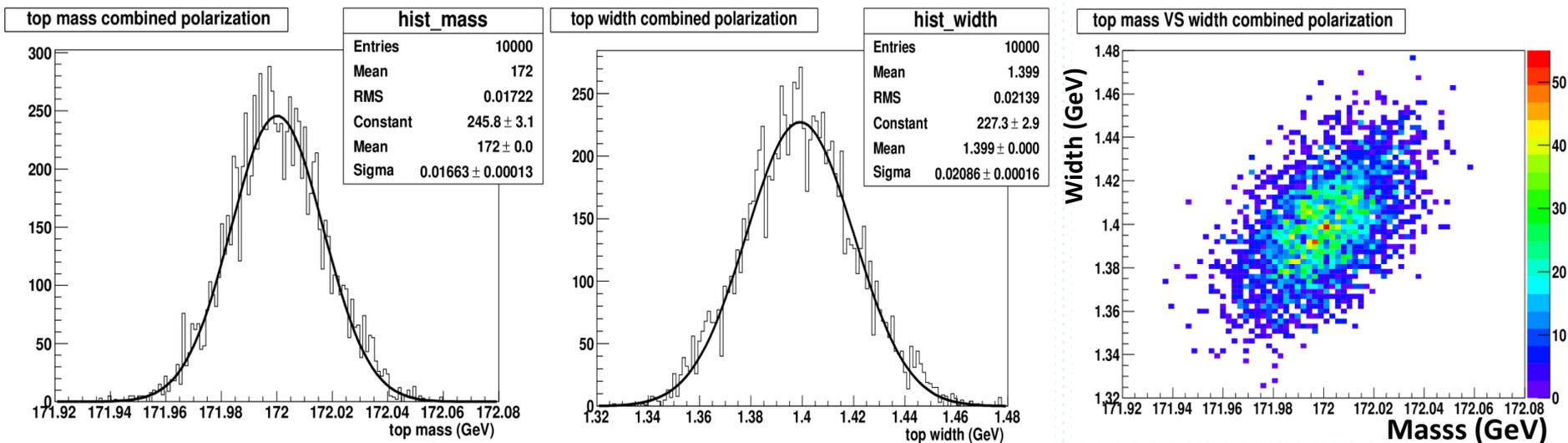
# 断面積のフィット②



ルミノシテイスpekトラムを取り出して理論計算を畳み込む。それとtoyMCで振った実験値をフィットさせる。



# フィット結果



**PS Mass(GeV)**

**Width(GeV)**

Left( $110\text{fb}^{-1}$ )

$172.000 \pm 0.021$

$1.400 \pm 0.025$

Right( $110\text{fb}^{-1}$ )

$172.000 \pm 0.030$

$1.399 \pm 0.037$

Left ( $110\text{fb}^{-1}$ ) + Right( $110\text{fb}^{-1}$ )

$172.000 \pm 0.017$

$1.399 \pm 0.021$

◎ From PS mass to  $\overline{MS}$  mass  $\overline{MS}\text{mass} \sim M_{\text{PS}} - \frac{4}{3\pi} (M_{\text{PS}} - 20)\alpha_s + \dots$

$\alpha_s(\text{Mz})$

PDG  $0.1184 \pm 0.0007$  (0.6%)

Future?  $0.1184 \pm 0.00012$  (0.1%)

$\overline{MS}\text{mass}(\text{GeV})$

$163.80 \pm 0.016(\text{stat}) \pm 0.054(\alpha_s) \pm \dots$

$163.80 \pm 0.016(\text{stat}) \pm 0.009(\alpha_s) \pm \dots$

# まとめと今後

## <まとめ>

- トップが6-Jetが終状態の事象を信号とみなし、ILCが実現した際のトップ湯川結合の統計エラーとトップの質量、崩壊幅の測定精度を見積もった。
- トップ湯川結合の統計誤差: 4.2%
- PS massの精度: 17 MeV
- $\overline{MS}$  mass の精度: 16 MeV (stat) + 54 MeV ( $\alpha_s$ )
  - $\alpha_s$ の系統誤差が0.1%に減れば54 → 9 MeV
- 崩壊幅の測定精度: 21 MeV

## <今後>

- Snowmassのwhite paper用documentを書く(遅くてごめんなさい)
- 4-jets + 1-l のstudy を開始し統計量を2倍にする
- トップ湯川結合の見積もり
- 前後非対称度の測定