

# ILCにおけるHiggs Recoil Massの測定

Tohoku University M1  
Shun Watanuki

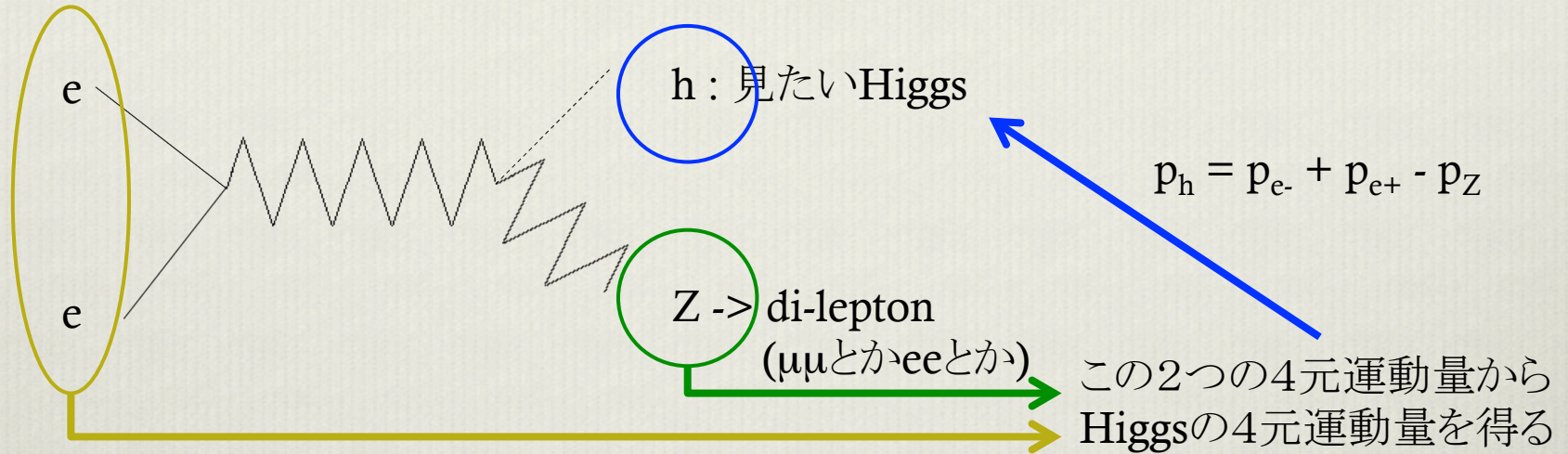


# モチベーション

- ❖ Higgsに関して重要な物理量はいくつかあるが…
  - Mass
  - ZhのTotal Cross Section
- ❖ ここではILCの250GeVの衝突におけるHiggs生成イベント  $e^+e^- \rightarrow Zh$  においてZのrecoilを見ることで、この2つの精度をシミュレーションするのが目的
- ❖ ここでは  $ee \rightarrow Zh \rightarrow \mu\mu h$  のイベントを探す



# Recoilって？



衝突で生成されたHiggsが見たい

直接見つける

× Higgsの崩壊モデル??

Recoil(反跳)で見つける

○ Z -> di-leptonを見つけよう  
ここでは $\mu\mu$ および $ee$ を見る



# 解析の各種前提

- ❖ DBDサンプル :  $M_h = 125\text{GeV}$ であるサンプルを使用
- ❖ 積分ミノシティ :  $L = 250\text{ fb}^{-1}$   
ILCの250GeVでの実験は、数年で250fb<sup>-1</sup>まで統計数を溜める予定
- ❖ スピン偏極 :  $P(e^-, e^+) = (-0.8, +0.3)$
- ❖ バックグラウンド
  - $\mu\mu X$ チャンネル :  $\mu\mu, \mu\mu\nu\nu, \mu\mu ff$
  - $ee X$ チャンネル :  $ee, ee\nu\nu, ee ff$



# 解析の流れ ( $\mu\mu X$ )

1. ミューオンがふたつ出てくるようなイベントを見つける  
➡ セレクション p6
2. 解析に必要な物理量を計算する  
➡ 計算する上での注意点 p7
3. 2で得た値にCutをかけてBG ( $\mu\mu$ ,  $\mu\mu\nu\nu$ ,  $\mu\mu ff$ )を落とす  
➡ カット p8~11
4. Recoil Massの分布をFitting  
➡ フィット p12
5. 吟味  
➡ 結果 p13, 14



# Selection

## ❖ $Z \rightarrow \mu\mu$ を見つける場合

- $p_{\text{track}} > 15 \text{ GeV}$
  - $E_{\text{ecal}} / E_{\text{total}} < 0.5$
  - $E_{\text{total}} / p_{\text{track}} < 0.3$
- } ミューオンはカロリメータでエネルギーをほとんど落とさない

## ❖ $Z \rightarrow ee$ を見つける場合(Bremsstrahlungの影響で $\mu\mu$ Xよりも汚い)

- $p_{\text{track}} > 15 \text{ GeV}$
  - $E_{\text{ecal}} / E_{\text{total}} > 0.6$
  - $E_{\text{total}} / p_{\text{track}} > 0.9$
- } 電子はよく落とす

## ❖ どちらのチャンネルにも共通 (Quality Cut)

- $\delta p / p^2 < 2.5 \times 10^{-5} + 8 \times 10^{-4} / p_{\text{track}} \quad (|\cos\theta| < 0.78)$
  - $\delta p / p^2 < 5 \times 10^{-4} \quad (|\cos\theta| > 0.78)$
- } 下限を設ける  
=クオリティの  
高いトラック



# 計算する上での注意点

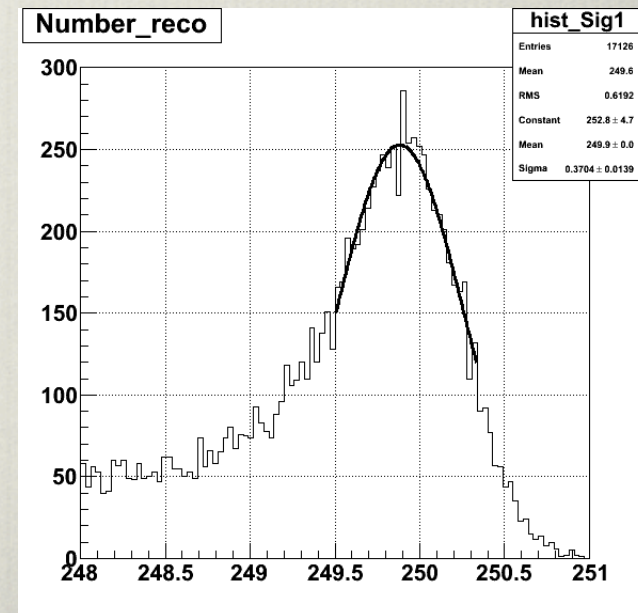
首尾よくレプトンを見つけても、単純にbeam energyを足して不変質量を見たのではまずい。具体的には何を考慮すべきか？

## ❖ Crossing angle

ILCでは電子・陽電子を、厳密には正面衝突させてはおらず、若干角度をつけている。これを考慮し、**レプトンの運動量のx成分に補正が必要**

## ❖ Beam spread

電子と陽電子は、正確に250GeVで衝突する訳ではなく、beam spreadの結果、 $E_{CM}$ がわずかにふらつく。右図は $\mu\mu h$ サンプルのMC情報から、 $\mu\mu h$ のエネルギーの和の分布をガウス関数でフィットしたもの。この結果から、 **$E_{CM} = 249.89\text{GeV}$** を使った。





# カット(1/4)

BGとなるのは主に $ll$ 、 $ll\nu\nu$ 、 $lff$ イベントから来るdi-lepton。こいつらを削るために、以下の7つのカットを使った

- ❖  $p_{Tdl} = |p_{Tl+} + p_{Tl-}| > 20 \text{ GeV}$   
これは横運動量、つまりdi-leptonの運動量の和のうち、beam軸に垂直な成分に下限を設けている  
 $\therefore ee \rightarrow \mu\mu$ などの2fermionイベントにおけるdi-leptonはback-to-backに飛ぶため、 $p_{Tdl}$ は小さくなるはず



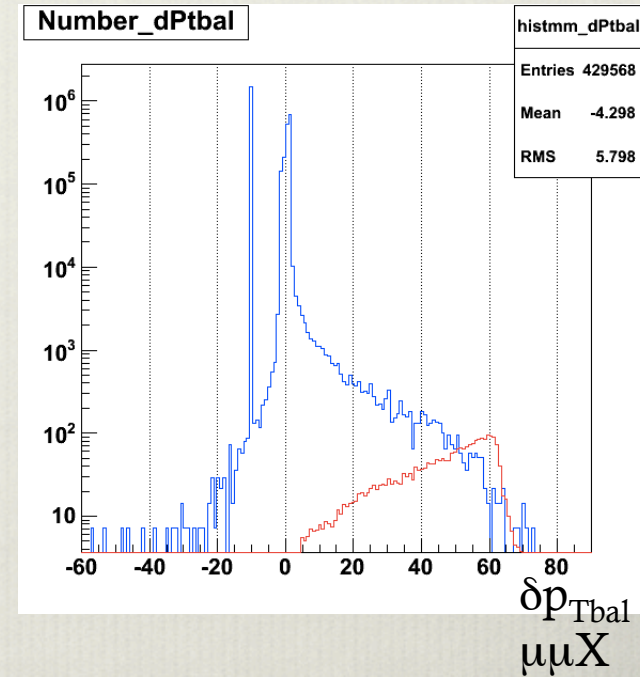
di-leptonがback-to-backに飛ぶBGイベントでは $p_{Tdl}$ は0に近い値を持つ

- ❖  $80 < M_{dl} < 100$   
di-lepton mass、すなわちdi-leptonの不変質量がZボソンの質量91.2GeVに近いという条件
- ❖  $0.2 < \text{acop} < 3.0 \text{ [rad.]}$   
acop : Acoplanarityの略で、di-leptonの方位角 $\phi$ の差、すなわち  $\text{acop} = \phi_{l+} - \phi_{l-}$  である。やはりback-to-backに飛ぶ $ee \rightarrow ll$ イベントに効くカット



# カット(2/4)

- ❖  $\delta p_{Tbal} > 10 \text{ GeV}$   
 $\delta p_{Tbal} = p_{Tdl} - p_{T\gamma}$  (ISR光子)  
 ISRにより  $ee \rightarrow ll$  イベントが大きな  $p_T$  を持ってしまうケースを想定したカット。  
 このBGではふたつの  $p_T$  に正の相関があるため、 $\delta p_{Tbal}$  が小さくなる(右図)



- ❖  $|\cos\theta_{\text{missing}}| < 0.99$   
 出てきた粒子の4元運動量をすべて足した際、 $ee \rightarrow ll\gamma$ などのイベントはbeam軸に平行な成分の非対称性のために、 $|\cos\theta_{\text{missing}}|$  が1に近い値を持つので、このカットを導入

- ❖  $115 < M_{\text{recoil}} < 150$   
 ZのrecoilにHiggsが現れるのがシグナルなので、反跳質量  $M_{\text{recoil}}$  はHiggsのmassに近い値でなければならない。多くのBGに効く



# カット(3/4)

## ❖ Likelihood

シグナルとBGとで分布の違いがさほど見られないパラメータも存在する。そんなとき、複数のパラメータからシグナルっぽさBGっぽさを計算し、Likelihood Functionとしてカットをかけると効率がいい。ここではTMVAを用いて $f_L$ を計算した

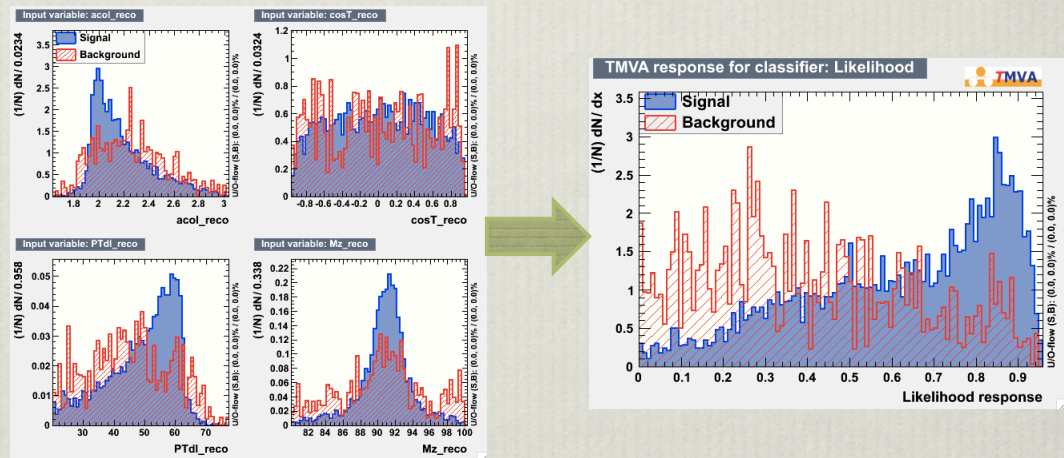
➤  $acol = \cos^{-1}(\mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{p}_1 / |\mathbf{p}_1| |\mathbf{p}_1|)$

➤  $\cos\theta_{d1}$

➤  $p_{Td1}$

➤  $M_{d1}$

➔  $f_L = f_S / f_S + f_B$   
 $> 0.4$





# カット(4/4)

## ❖ Cut Table

	signal		background	
no cut	2603		3.7M	
good $\mu$	2411	92.59%	1.4M	37.45%
$p_{Tdl}$	2252	86.49%	250927	6.75%
$M_{dl}$	2077	79.79%	129695	3.49%
acoplanarity	1941	74.54%	118103	3.18%
$\delta P_{Tbal}$	1893	72.71%	33961	0.91%
$ \cos\theta_{missing} $	1882	72.27%	33094	0.89%
$M_{recoil}$	1859	71.39%	5312	0.14%
Likelihood	1453	55.82%	2265	0.06%

※実はもう少し増えます



# フィット

いよいよ得られたRecoil Massの分布をフィットする

❖ シグナルの形？

$M_{\text{Higgs}} = 125\text{GeV}$ だが、もちろん $\delta(M_{\text{recoil}} - 125)$ の形で得られる訳ではなく、以下の影響により特定の形の幅を持つ

➤ Detector resolution

検出器というフィルターの影響でmassの分布がぼやける。この影響は**ガウス関数**として表される

➤ Beam spectrum

$\gamma$ の放射などの影響で、recoil massの分布にはテールが見られる。この影響は**指数関数**として表される

❖ つまりシグナルは、ガウス関数が指数関数でなまったような形の分布になる。そこで、**GPET**(Gaussian Peak with Exponential Tail)を用いてフィットする

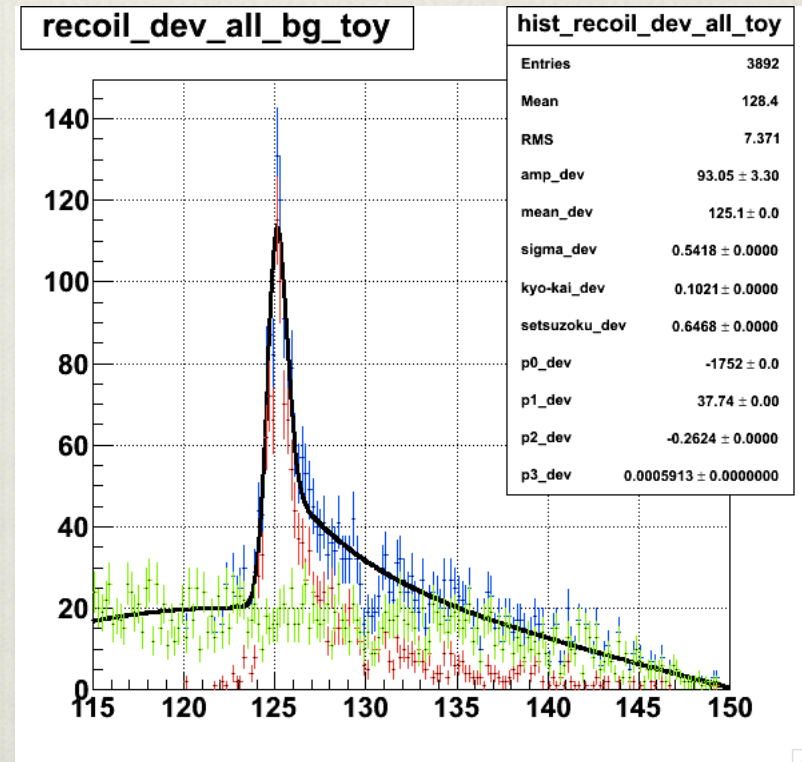


# 結果(1/2)

❖ フィット結果は右図。ここで、BGは統計数が足りない為に三次関数でフィットしたものにToy MCをふっ  
ている。

- ガウス関数 + pol3 ( $x < k$ )
- ガウス関数 × 指数関数 + pol3 ( $x > k$ )

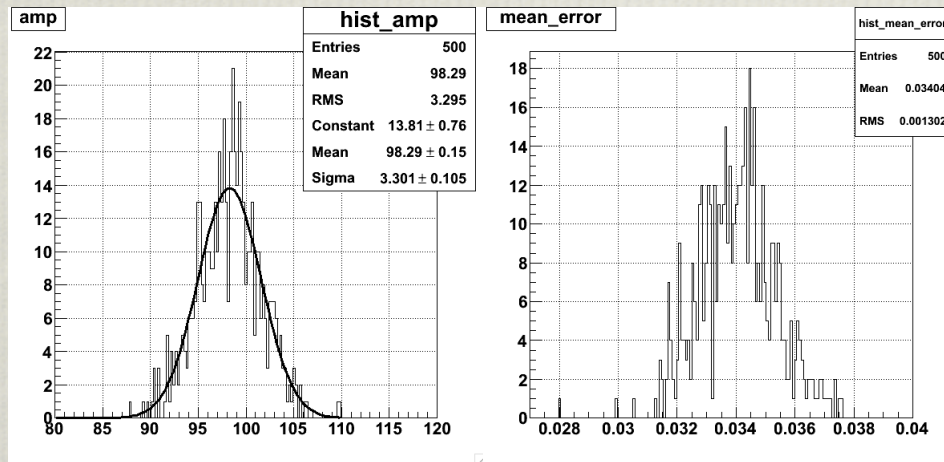
❖ 赤がシグナル Toy MC  
緑がBG Toy MC  
青がそれらの和





# 結果(2/2)

- ❖ amp error :  $\pm 3.4\%$   
total cross sectionの精度に対応
- ❖ mean error :  $\pm 0.034$  [GeV]  
recoil massの精度に対応  
※より正しくはdetector resolutionおよびbeam spreadから、分布の真の形を知る必要がある





# 今後の予定

- ❖ フィットで得られたmeanの、 $M_h$ からのずれ( $\sim 2\sigma$ )を是正
  - $E_{CM}$ を固定し、ZをMC情報から得てRecoil Massを測定
    - ➡ beam spreadの効果を見る
  - $E_{CM}$ をMCから得、Zを再構成してRecoil Massを測定
    - ➡ Detector resolutionを見る
- ❖ eeXチャンネルで同様の解析を行う
  - $\mu\mu X$ チャンネルに加え、再構成の際にbremsstrahlungの足し上げが必要になる



