

ILC実験における  
ZH  $\rightarrow$   $llX$ 過程を用いた  
ヒッグス質量の測定精度の評価

2009/03/28

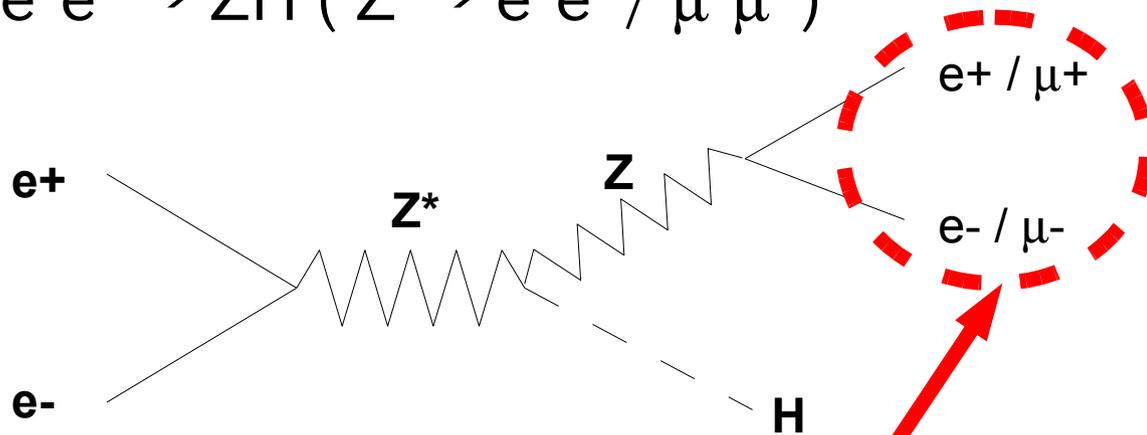
東北大学 伊藤 和俊

他ILDグループ

# ZH → llX過程

- 測定器の最適化のためのベンチマーク・プロセスの一つ

- $e^+e^- \rightarrow ZH (Z \rightarrow e^+e^- / \mu^+\mu^-)$



- Zボソンの崩壊後の2つのレプトンからヒッグス粒子の質量を測定する (Zの反跳質量=ヒッグス粒子の質量)。

- ヒッグス粒子の4元運動量： $P_H = P_{\text{ビーム}} - P_{\text{レプトン1}} - P_{\text{レプトン2}}$

$$P_{\text{ビーム}} = (E_{\text{ビーム}}, 0)$$

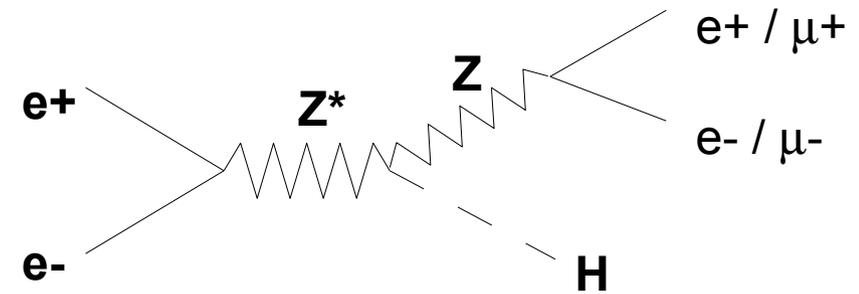
- ヒッグス粒子の崩壊過程に依らず、精密な質量測定が可能。
- 測定器の運動量分解能が重要なパラメータ

## ILDグループのソフトウェア

- 測定器シミュレーション: Mokka (geant4ベース)
- 再構成ツール: Marlin
- SLACのstdhepサンプルを使い、  
Grid上でシミュレーションを行う。
- アジアグループとヨーロッパグループは、  
共通のデータを用いて解析を行っている。
- ソフトウェアグループの解析結果は  
2009年3月末のLOI(Letter Of Intent)に載る。
  - ヒッグス反跳質量 (本講演)
  - ヒッグス崩壊分岐比
  - SUSY、チャージノー・ニュートラリーノ対生成
  - トップ・クォーク対生成
  - タウ対生成

# セットアップ

- シミュレーション・セットアップ
  - ヒッグス粒子 : 120 GeV
  - 重心系エネルギー : 250 GeV
  - 測定器 : **ILD** (磁場:3.5T)
- シグナル事象
  - $e^+e^- \rightarrow ZH \rightarrow e^+e^-H / \mu^+\mu^-H$
- バックグラウンド事象
  - 終状態にレプトンが2つのイベント全てがバックグラウンド
    - $e^+e^- \rightarrow e^+e^- / \mu^+\mu^- / \tau^+\tau^-$
    - $e^+e^- \rightarrow e^+e^- + 2f / \mu^+\mu^- + 2f$ 
      - ( $ee \rightarrow WW, ee \rightarrow ZZ$  など)
    - $\gamma\gamma \rightarrow ee / \mu\mu / \tau\tau$

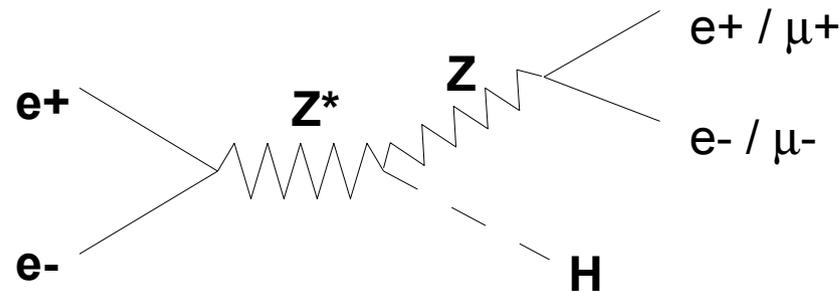


ee $\rightarrow$ ZH $\rightarrow$ eeH	
反応	反応断面積[fb]
eeH(シグナル)	1.11E+01
ee	1.73E+07
$\tau\tau$	1.05E+04
ee + 2f	4.91E+03
$\gamma\gamma \rightarrow ee/\tau\tau$	3.17E+07

ee $\rightarrow$ ZH $\rightarrow$ $\mu\mu$ H	
反応	反応断面積[fb]
$\mu\mu$ H(シグナル)	1.04E+01
$\mu\mu$	1.02E+04
$\tau\tau$	1.05E+04
$\mu\mu + 2f$	1.78E+03
$\gamma\gamma \rightarrow \mu\mu/\tau\tau$	3.17E+07

## 解析手順

- 2本のレプトントラックの不変質量を計算する。
  - レプトントラックが3本以上あった場合…
    - 全ての組み合わせに対し、不変質量を計算する。
    - 得られた不変質量がZボソンの質量に最も近いペアを選択する。
- カットをかけて、バックグラウンドを除去する。
  - 主なカットを本講演で発表する
- 反跳質量の分布をフィットし、ヒッグス粒子の質量を求める。
  - $$P_H = P_{\text{ビーム}} - P_{\text{レプトン1}} - P_{\text{レプトン2}}$$

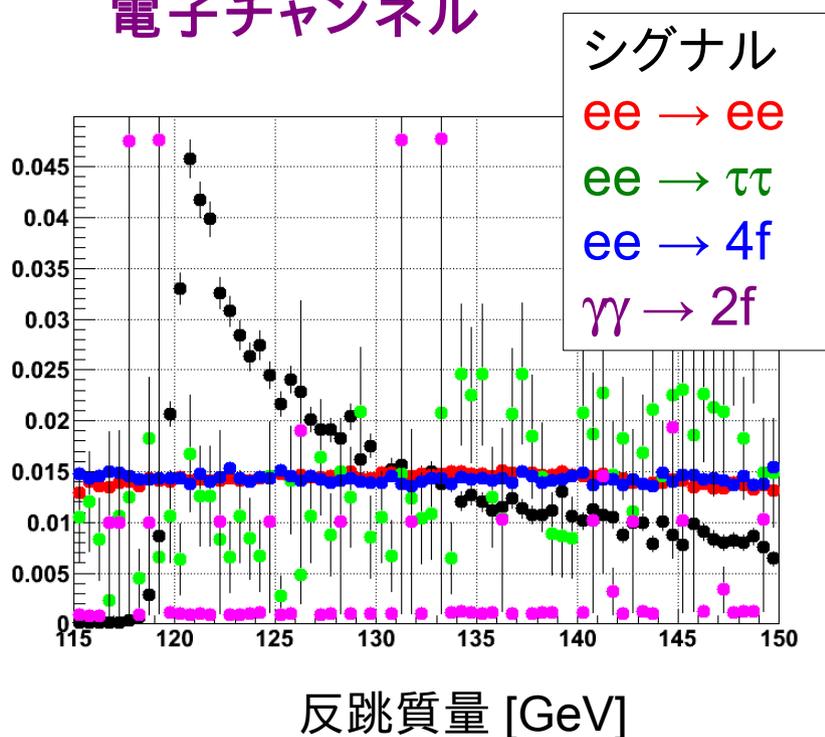


# 反跳質量分布

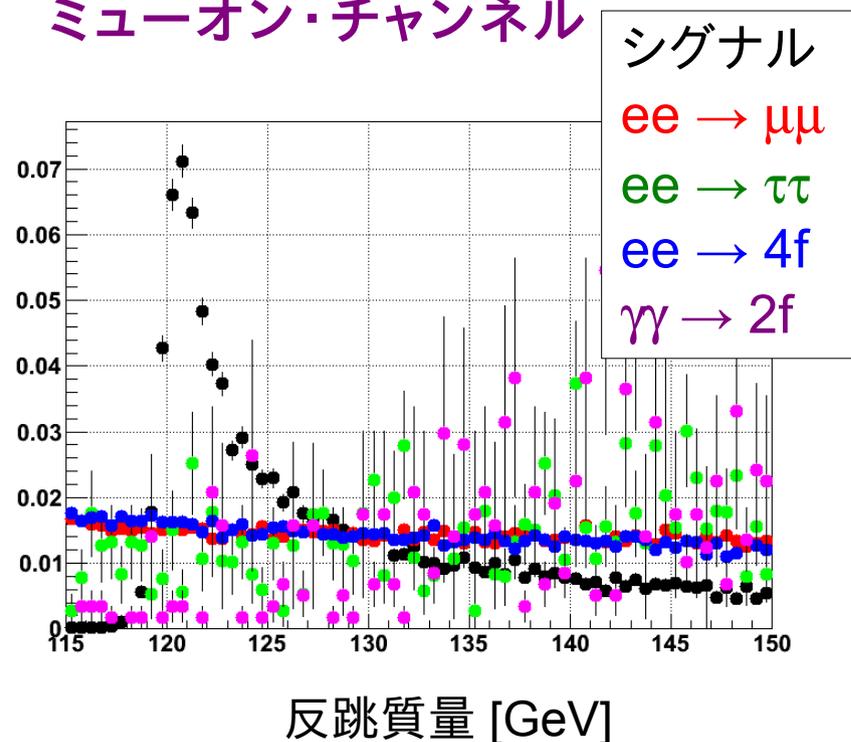
- シグナル事象の反跳質量分布はヒッグス粒子の質量 (120GeV) 付近にピークがある。
- 最終的にフィットする領域 : 115 ~ 150 GeV

ヒストグラムは1に規格化している。

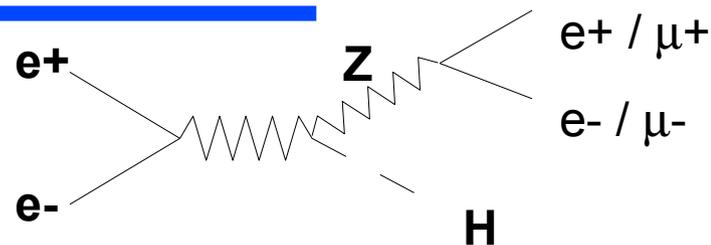
## 電子チャンネル



## ミューオン・チャンネル

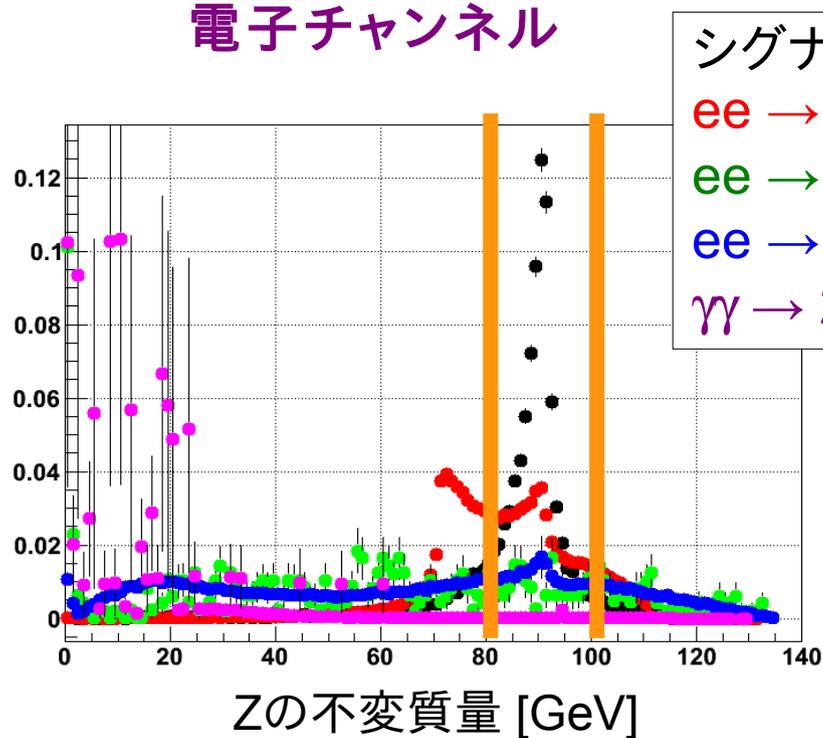


# シグナル事象の選択 I

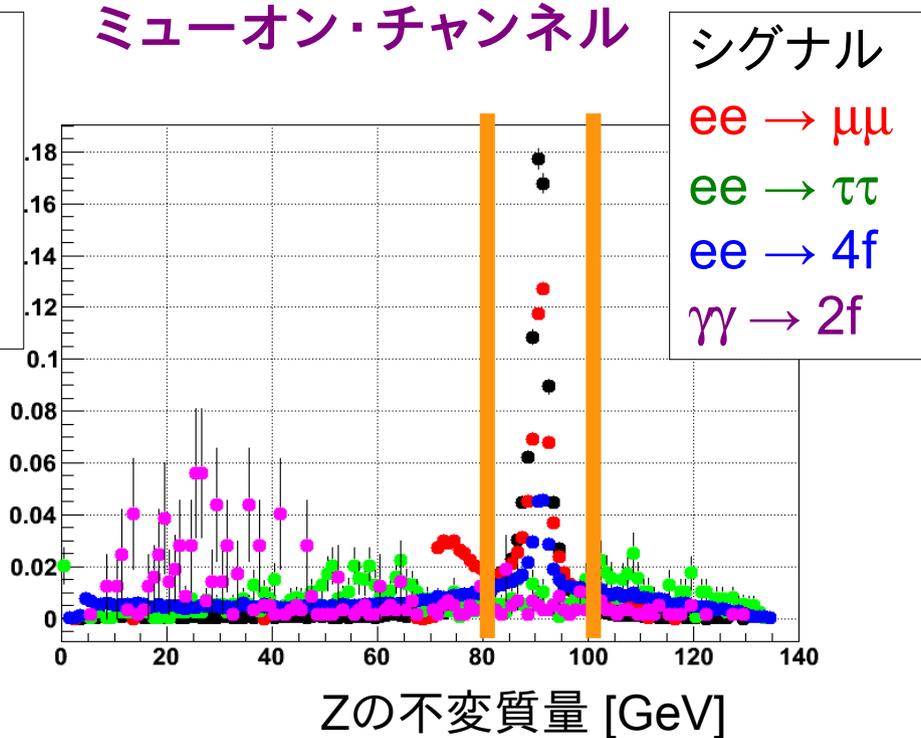


- 2本のレプトン・トラックからZの不変質量を計算した。
- シグナルはZボソンの質量(91 GeV)の位置にピークが見える。
- 80~100 GeVのイベントを選択した。

## 電子チャンネル

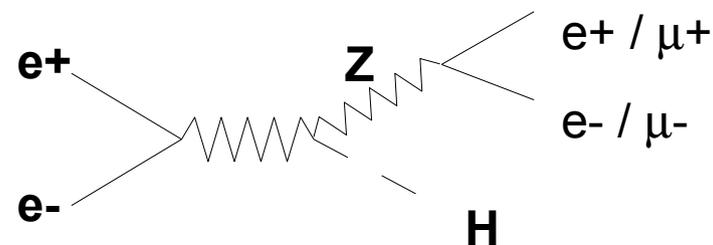


## ミューオン・チャンネル

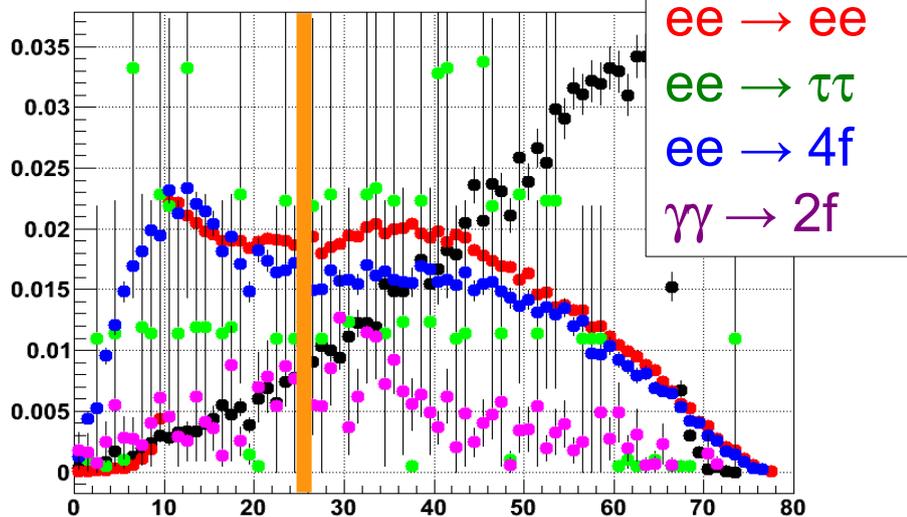


# シグナル事象の選択 II

- 2粒子系の運動量 :  $P^{\text{di-lepton}}$ 
  - $P^{\text{di-lepton}} = P_{\text{レプトン1}} + P_{\text{レプトン2}}$
  - シグナルの場合 : Zボソンの運動量
- $P^{\text{di-lepton}}$  のビーム軸に垂直な成分(横運動量)
  - バックグラウンドは小さい方に分布
  - 25GeV/c 以上を選択

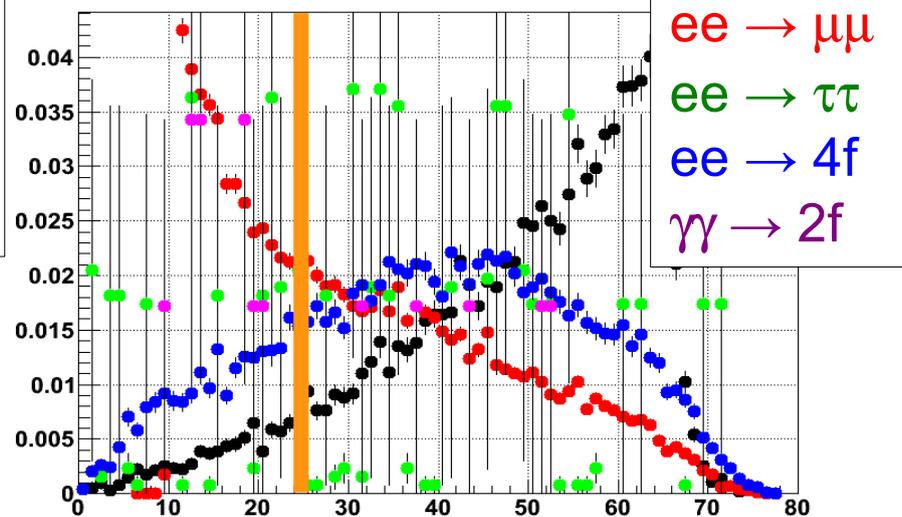


電子チャンネル



2粒子系の横運動量 [GeV/c]

ミューオン・チャンネル

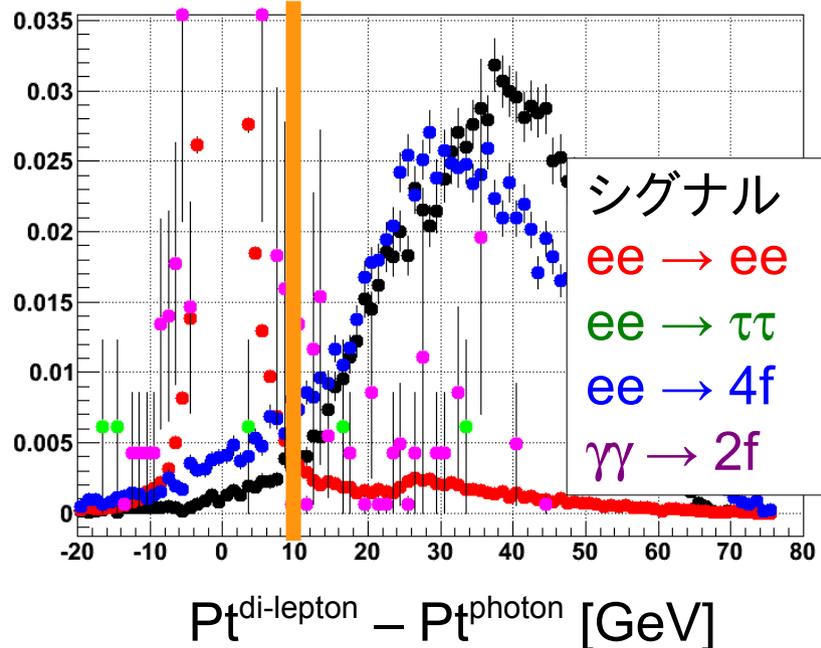


2粒子系の横運動量 [GeV/c]

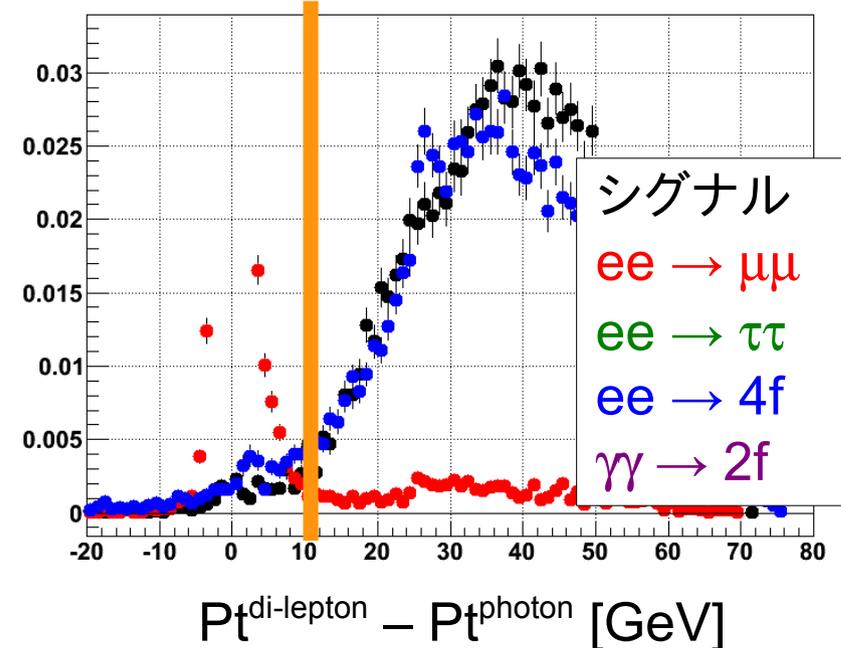
# シグナル選択 III

- レプトン2つの横運動量( $P_t^{\text{di-lepton}}$ )と光子の横運動量( $P_t^{\text{photon}}$ )との差を求めた。
  - $P_t^{\text{di-lepton}} - P_t^{\text{photon}}$
- $ee \rightarrow ee / \mu\mu$  のバックグラウンドは、0付近にピークを持つ。

電子チャンネル



ミューオン・チャンネル



# カット後のイベント数

- シグナル選択効率
  - 電子チャンネル : 23.0%
  - ミューオン・チャンネル : 26.0%

## 250 fb<sup>-1</sup>でのイベント数

電子チャンネル										
	シグナル		バックグラウンド							
	ee → eeH		ee → ee		ee → ττ		ee → 4f		γγ → 2f	
	事象数	選択効率	事象数	選択効率	事象数	選択効率	事象数	選択効率	事象数	選択効率
生成量	2777	100	2.48E+06	100	2.61E+06	100	1.23E+06	100	8.02E+09	100
カット後	637.9	22.97	2.80E+02	0.01	0.00E+00	0	4.43E+03	0.36	0.00E+00	0

ミューオン・チャンネル										
	シグナル		バックグラウンド							
	ee → μμH		ee → μμ		ee → ττ		ee → 4f		γγ → 2f	
	事象数	選択効率								
生成量	2601	100	2.55E+06	100	2.61E+06	100	4.45E+05	100	7.92E+09	100
カット後	676.21	26	1.96E+02	0.01	0	0	3.67E+03	0.83	0.00E+00	0

# シグナル事象のフィット結果

- シグナル事象のフィット関数

$$F(m) = N \underbrace{e^{-Am}}_{\text{補正項}} \int \underbrace{F_H(m+t)}_{\text{ISR,ビームストラールングの効果}} \underbrace{e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}}_{\text{測定器の分解能}} dt$$

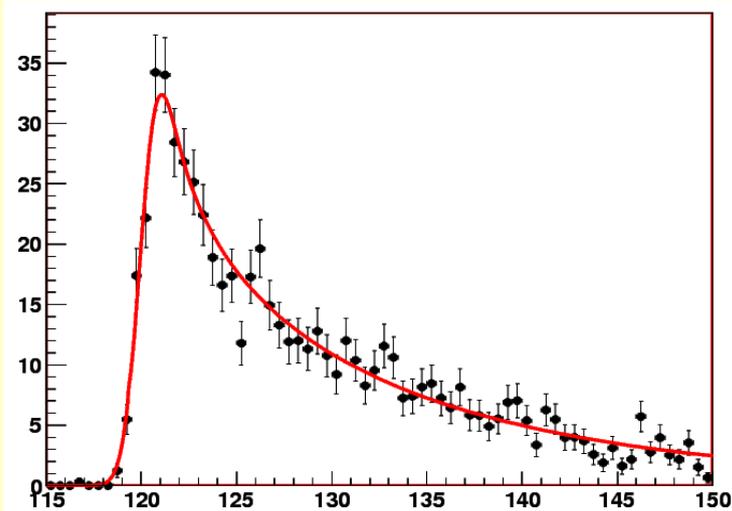
ISR,ビームストラールングの効果

測定器の分解能

$$F_H(m) = \left( \frac{m - M_H}{\sqrt{s} - M_H} \right)^{\beta-1}$$

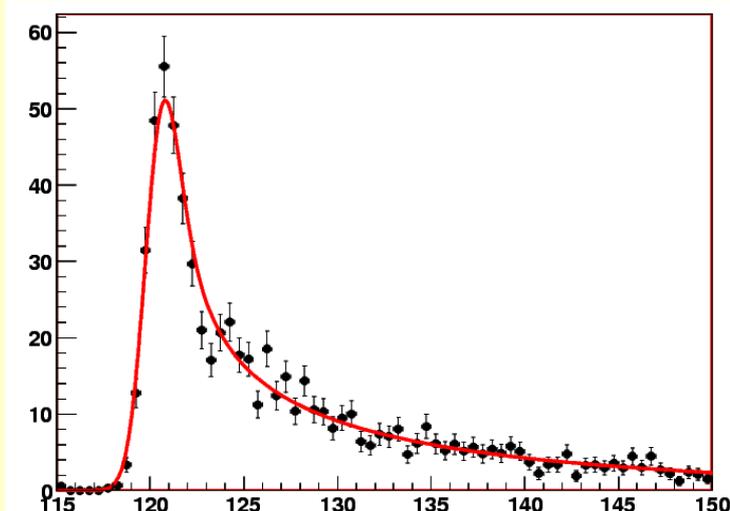
畳み込み

電子チャンネル



反跳質量 [GeV]

ミューオン・チャンネル



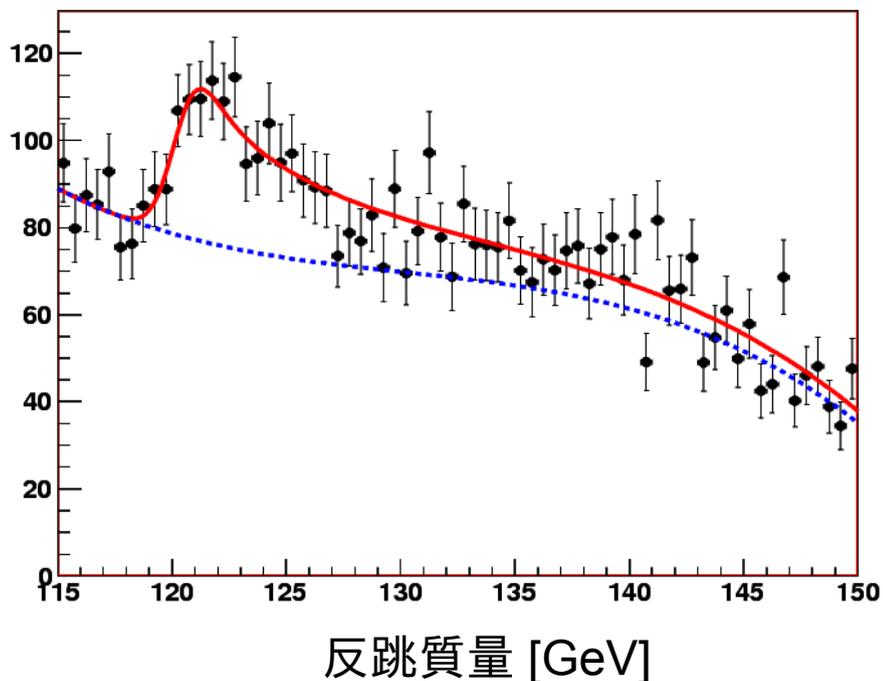
反跳質量 [GeV]

# 測定精度

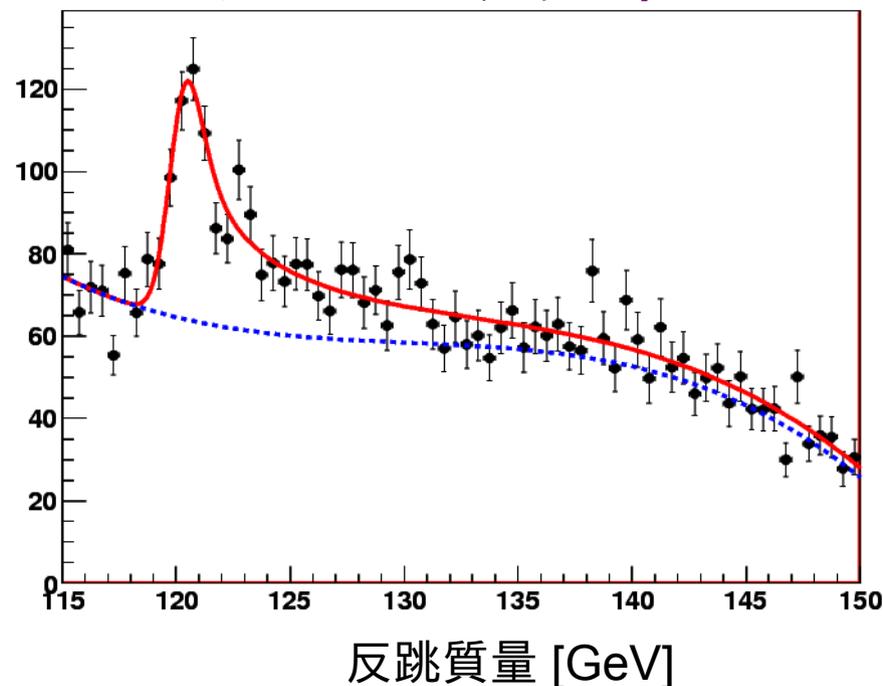
- シグナル+バックグラウンドをフィットした。
- ヒッグス粒子の質量
  - 電子チャンネル :  $120.361 \pm 0.294$  GeV
  - ミュオン・チャンネル :  $120.117 \pm 0.135$  GeV
- 反応断面積
  - 電子チャンネル :  $12.26 \pm 1.91$  fb  $\longleftrightarrow$  11.107 fb (インプット値)
  - ミュオン・チャンネル :  $10.4 \pm 1.22$  fb  $\longleftrightarrow$  10.4026 fb (インプット値)

バックグラウンドは  
3次の多項式でフィット

電子チャンネル

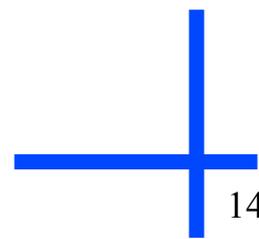
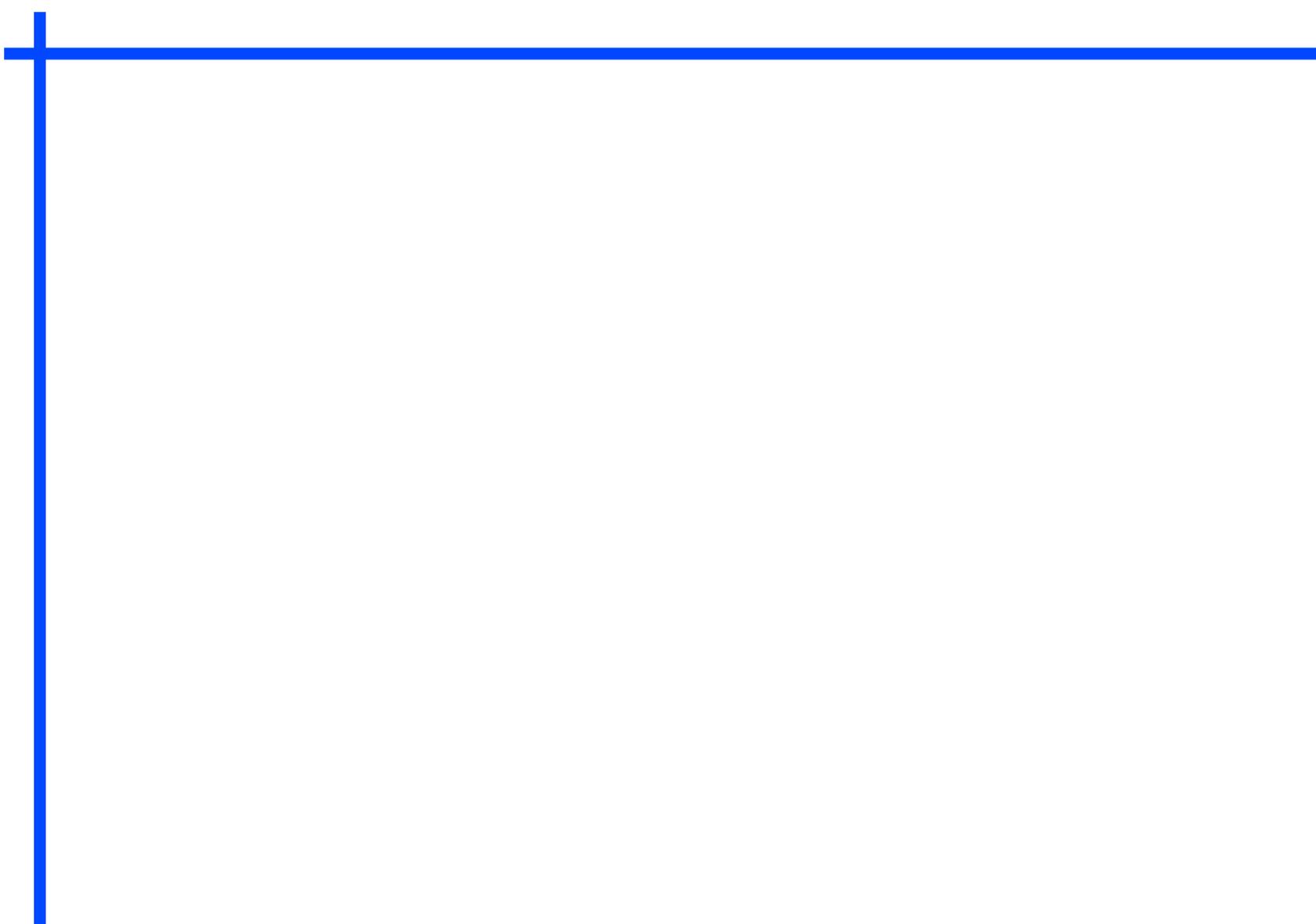


ミュオン・チャンネル



## まとめ

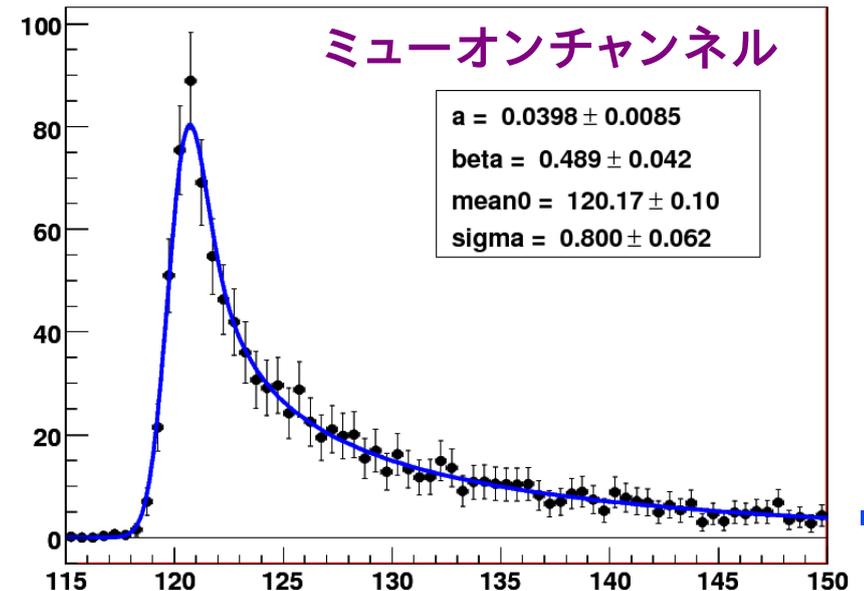
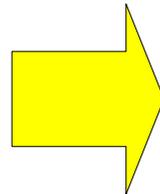
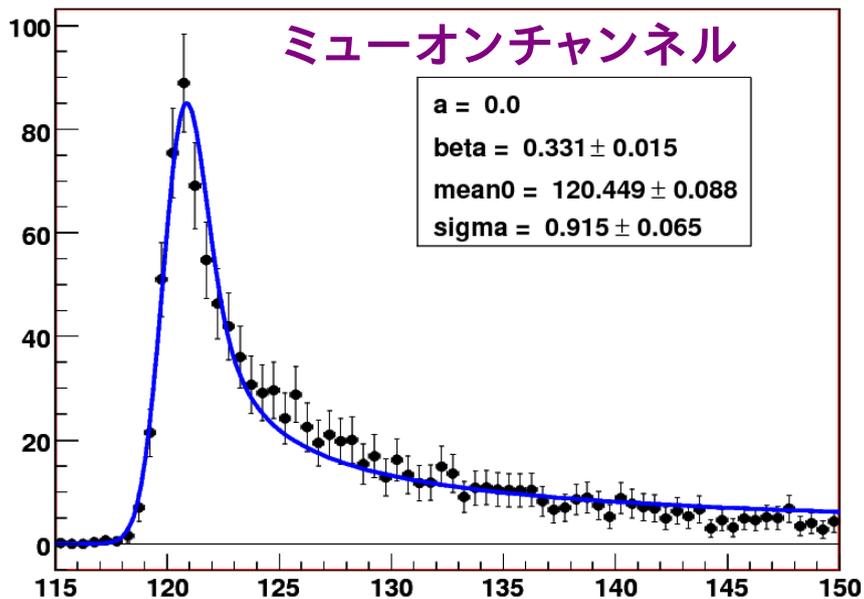
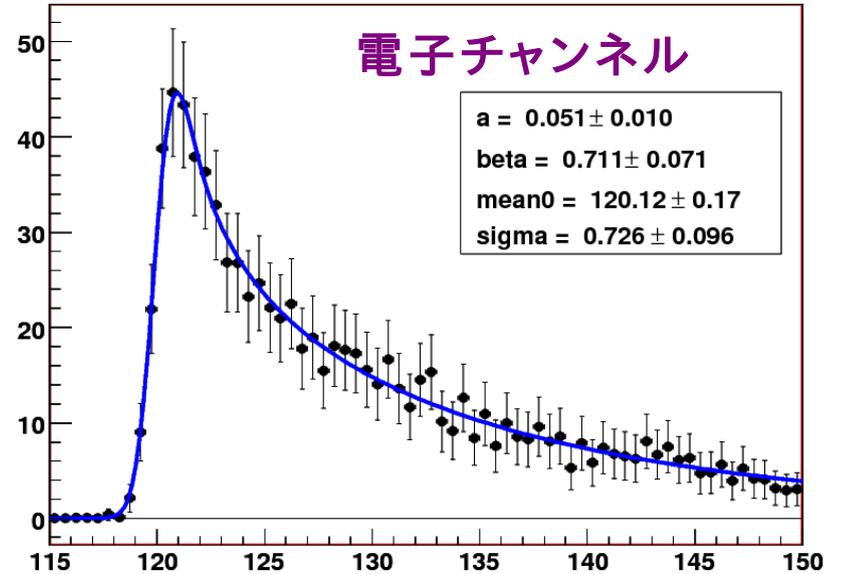
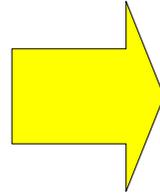
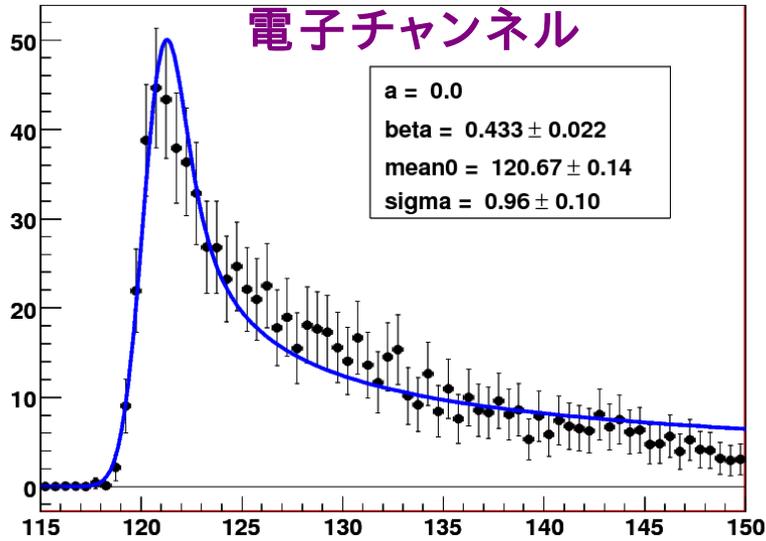
- $ZH \rightarrow \ell\ell X$ 過程では、ヒッグスの崩壊過程を用いずに質量の精密測定が可能である。
- ILD測定器におけるヒッグス質量の測定精度の評価を行った。
- ヒッグス質量の測定精度
  - 電子チャンネル :  $120.361 \pm 0.294 \text{ GeV}$
  - ミューオン・チャンネル :  $120.117 \pm 0.135 \text{ GeV}$
- 反応断面積
  - 電子チャンネル :  $12.26 \pm 1.91 \text{ fb (15.6\%)}$
  - ミューオン・チャンネル :  $10.4 \pm 1.22 \text{ fb (11.7\%)}$



# フィット関数

$$F(m) = N \int F_H(m+t) e^{\frac{-t^2}{2\sigma^2}} dt$$

$$F(m) = N e^{-Am} \int F_H(m+t) e^{\frac{-t^2}{2\sigma^2}} dt$$



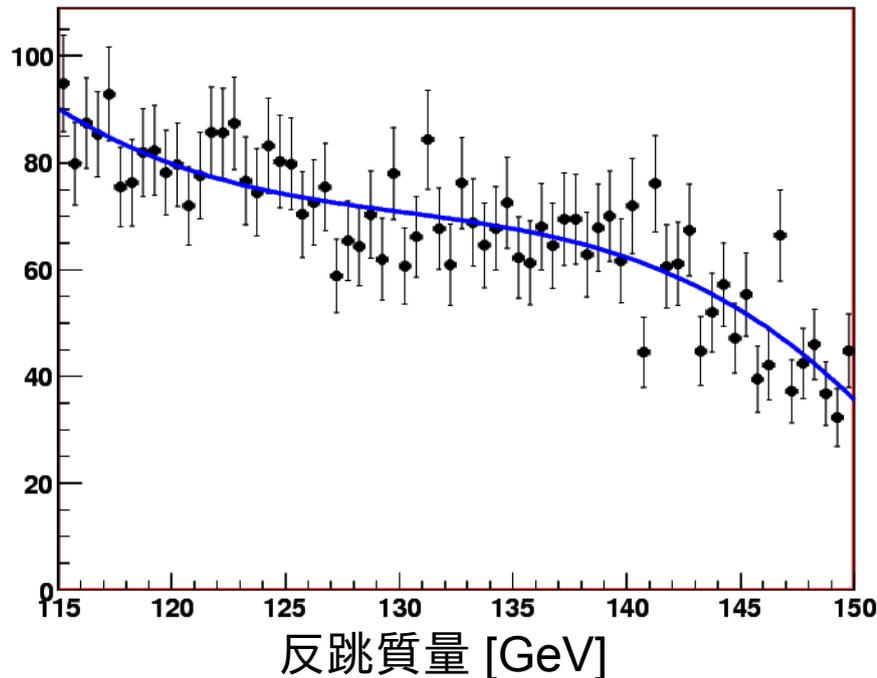
# バックグラウンド事象のフィット関数

- バックグラウンド事象は3次のチェビシェフの多項式でフィット。

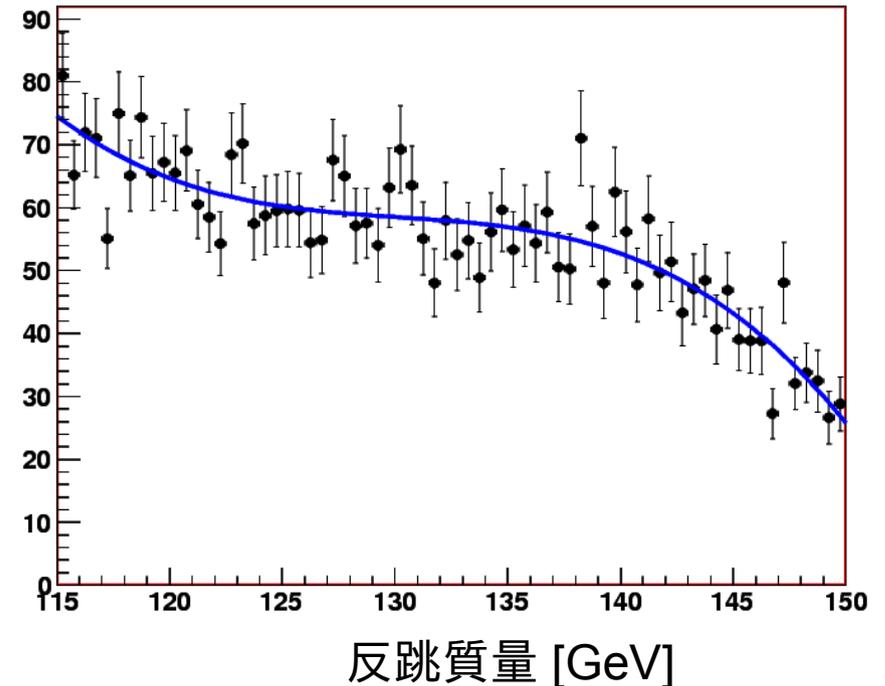
$$F(m) = N(\cdot) + \sum_{i=1,2,3} p_i \cdot T_i(m)$$

$$T_0(m) = m, T_1(m) = 2m^2 - 1, T_2(m) = 5m^2 - 4m, T_3(m) = 2m^3 - 3m$$

電子チャンネル



ミューオン・チャンネル



# Reduction rate

## 電子チャンネル

	生成数	プリカット	レプトンID	Mh	Mz	pt_dl	acop	pt_dl - pt_ph	cosLab	bcalHits	cos
sig	2.8E+03	2.8E+03	2.8E+03	1.9E+03	1.6E+03	1.4E+03	1.3E+03	1.3E+03	7.9E+02	7.9E+02	6.4E+02
ee	2.5E+06	1.7E+05	1.6E+05	9.3E+04	4.5E+04	3.2E+04	2.9E+04	2.1E+03	4.2E+02	4.0E+02	2.8E+02
$\tau\tau$	2.6E+06	2.6E+06	3.2E+05	1.3E+04	2.3E+03	1.4E+03	2.1E+02	1.3E+02	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
4f	1.2E+06	1.2E+06	7.0E+05	9.8E+04	2.3E+04	1.3E+04	1.2E+04	1.1E+04	5.5E+03	5.4E+03	4.4E+03
$\gamma\gamma$	7.9E+09	7.3E+09	9.0E+08	1.1E+07	3.6E+04	7.2E+03	5.0E+03	6.4E+02	5.5E+01	5.5E+01	0.0E+00

## ミューオンチャンネル

	生成数	プリカット	レプトンID	Mh	Mz	pt_dl	acop	pt_dl - pt_ph	cosLab	bcalHits	cos
sig	2.6E+03	2.6E+03	2.2E+03	1.7E+03	1.5E+03	1.4E+03	1.3E+03	1.3E+03	8.1E+02	8.1E+02	6.8E+02
$\mu\mu$	2.6E+06	4.9E+04	3.1E+04	1.9E+04	1.3E+04	7.2E+03	6.2E+03	4.1E+02	2.5E+02	2.3E+02	2.0E+02
$\tau\tau$	2.6E+06	2.6E+06	6.9E+04	1.0E+04	1.5E+03	9.4E+02	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
4f	4.5E+05	4.5E+05	2.3E+05	2.6E+04	9.7E+03	7.5E+03	7.1E+03	6.7E+03	4.3E+03	4.3E+03	3.7E+03
$\gamma\gamma$	7.9E+09	7.3E+09	9.3E+07	1.7E+03	1.7E+02	3.5E+01	8.8E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00