

# ILC におけるヒッグス・電子結合測定のスミュレーション研究

ILCの重心エネルギー125GeV

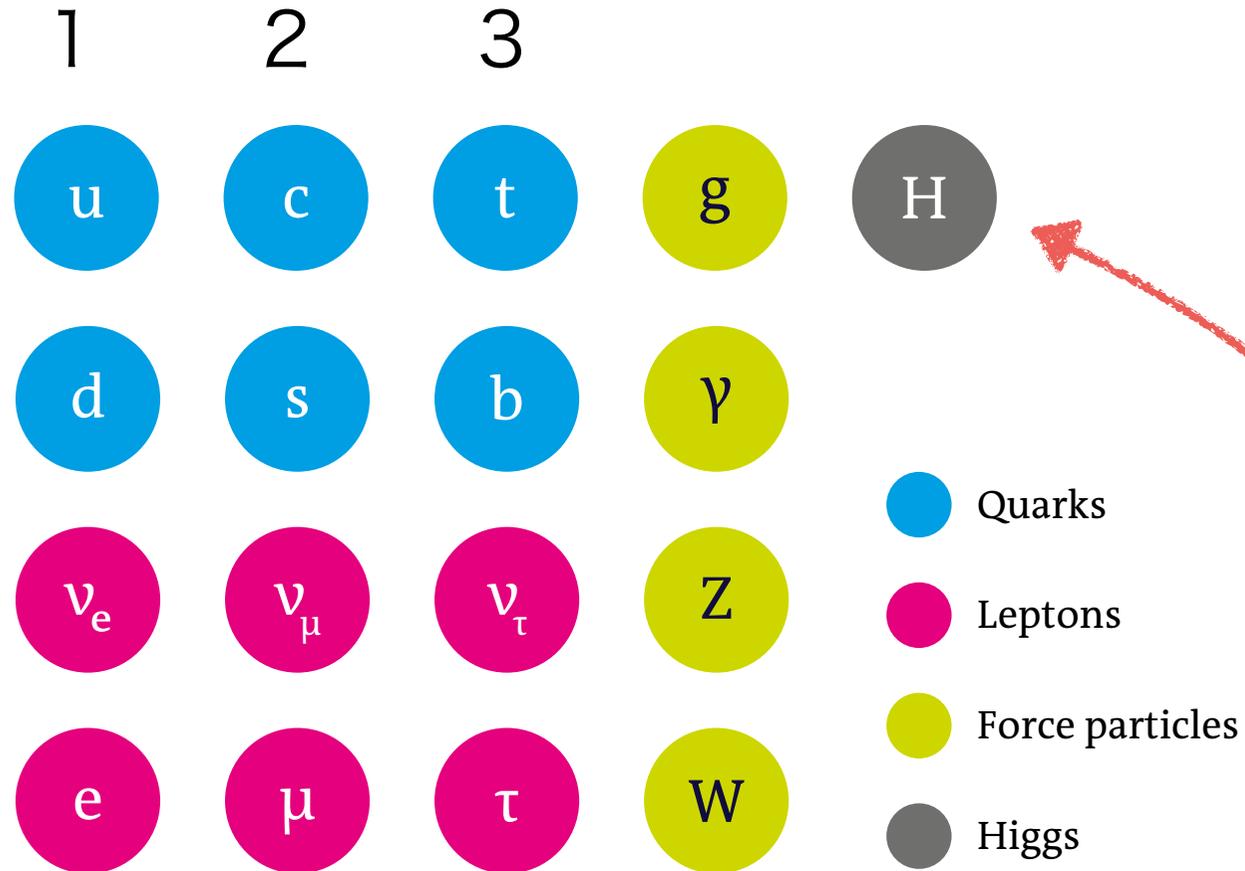
Total Luminosity 30.15pb<sup>(-1)</sup>

ビーム偏極RRまたはLL

Higgsのピークは標準模型通り殆ど見えない $\sigma_{H\rightarrow 0}$ の時

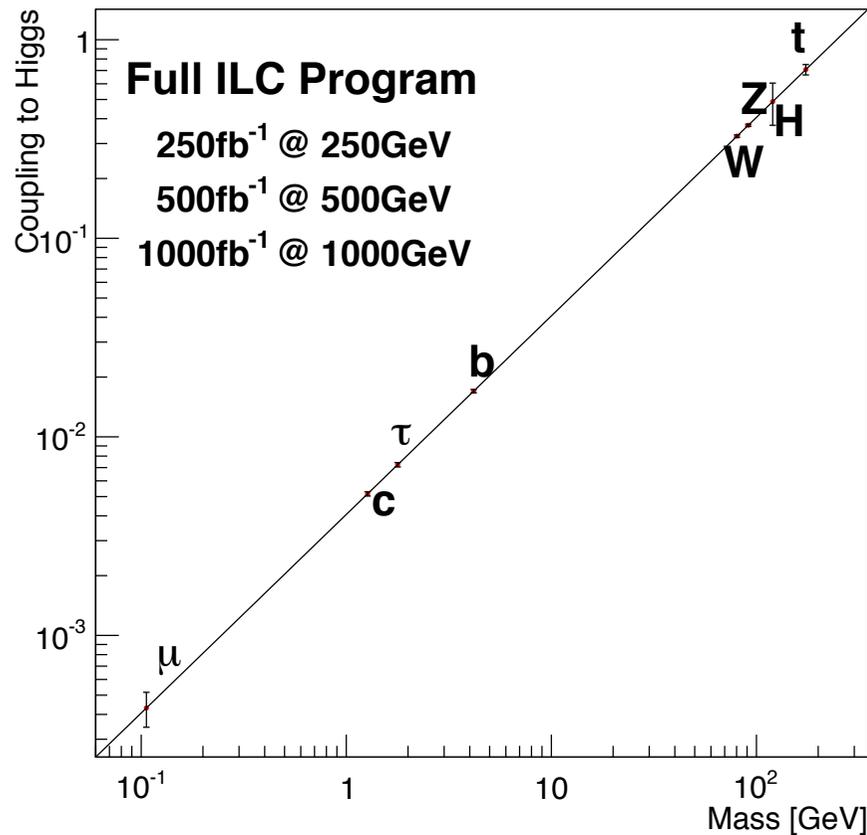
$\Gamma(H\rightarrow ee)$ の90CL=2.34( $\pm 0.016$ )\*10<sup>(-7)</sup>GeV

# 標準模型におけるHiggs



Higgsは、すべての粒子の質量の起源

# Higgsとの結合



Higgs とフェルミオンとの結合は、その粒子の質量に比例する

$$L = \lambda \Phi \bar{\Psi} \Psi$$

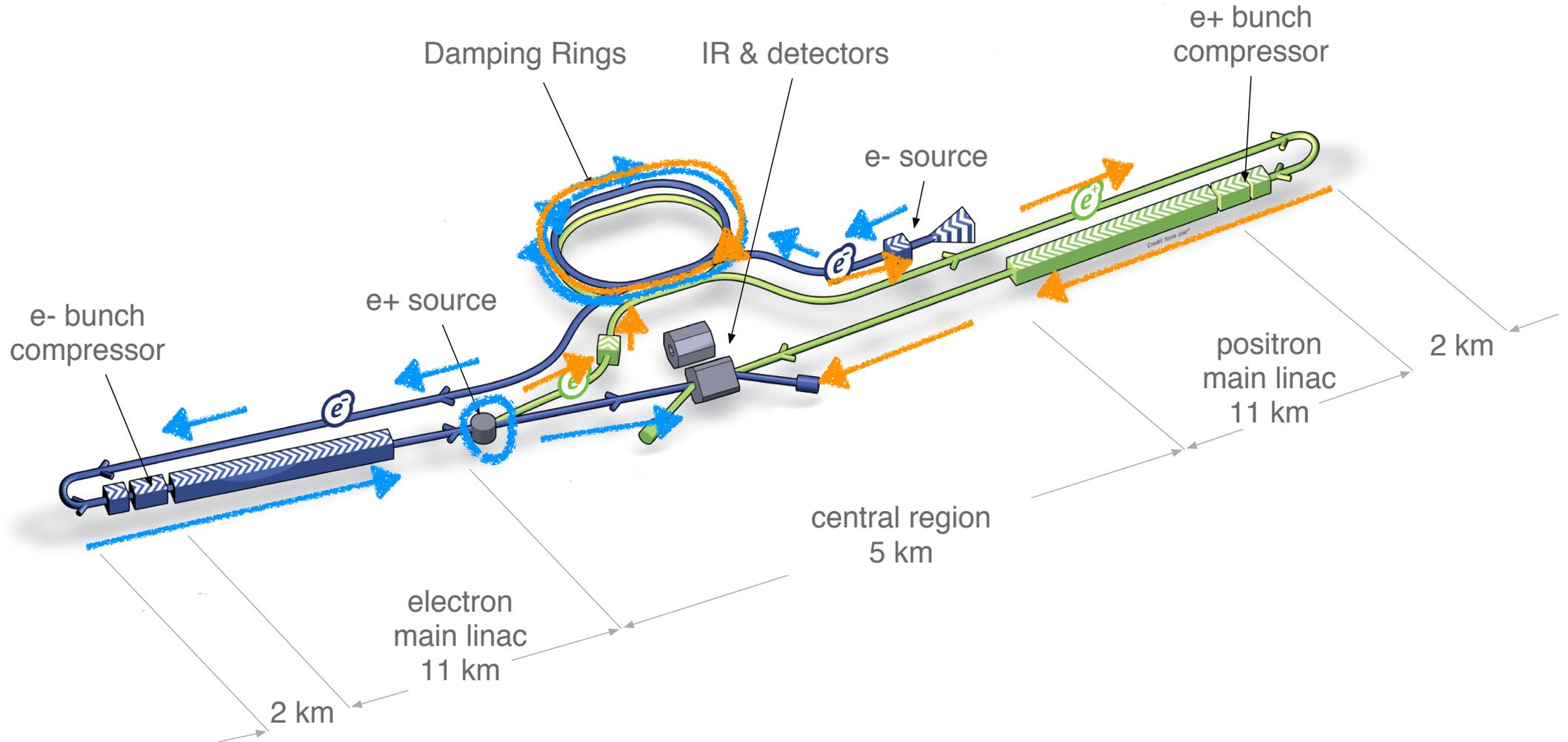
$$\Phi \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}} (u + \chi(x))$$

$$\lambda \Phi \bar{\Psi} \Psi = \lambda \frac{u}{\sqrt{2}} \bar{\Psi} \Psi + \lambda \frac{\chi(x)}{\sqrt{2}} \bar{\Psi} \Psi$$

$$\lambda \frac{u}{\sqrt{2}} = m,$$

結合定数  $\lambda$  は質量  $m$  に比例する。

# ILCについて



ベースラインは500GeV(全長31km)まで  
アップグレード1TeVまで

# 10Hzオペレーター

			Baseline 500 GeV Machine			1st Stage	L Upgrade	$E_{CM}$ Upgrade	
			250	350	500	250	500	A	B
Centre-of-mass energy	$E_{CM}$	GeV	250	350	500	250	500	1000	1000
Collision rate	$f_{rep}$	Hz	5	5	5	5	5	4	4
Electron linac rate	$f_{linac}$	Hz	10	5	5	10	5	4	4
Number of bunches	$n_b$		1312	1312	1312	1312	2625	2450	2450
Bunch population	$N$	$\times 10^{10}$	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.74	1.74
Bunch separation	$\Delta t_b$	ns	554	554	554	554	366	366	366
Pulse current	$I_{beam}$	mA	5.8	5.8	5.8	5.8	8.8	7.6	7.6
Main linac average gradient	$G_a$	MV m <sup>-1</sup>	14.7	21.4	31.5	31.5	31.5	38.2	39.2
Average total beam power	$P_{beam}$	MW	5.9	7.3	10.5	5.9	21.0	27.2	27.2
Estimated AC power	$P_{AC}$	MW	122	121	163	129	204	300	300
RMS bunch length	$\sigma_z$	mm	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.250	0.225
Electron RMS energy spread	$\Delta p/p$	%	0.190	0.158	0.124	0.190	0.124	0.083	0.085
Positron RMS energy spread	$\Delta p/p$	%	0.152	0.100	0.070	0.152	0.070	0.043	0.047
Electron polarisation	$P_-$	%	80	80	80	80	80	80	80
Positron polarisation	$P_+$	%	30	30	30	30	30	20	20
Horizontal emittance	$\gamma\epsilon_x$	$\mu\text{m}$	10	10	10	10	10	10	10
Vertical emittance	$\gamma\epsilon_y$	nm	35	35	35	35	35	30	30
IP horizontal beta function	$\beta_x^*$	mm	13.0	16.0	11.0	13.0	11.0	22.6	11.0
IP vertical beta function	$\beta_y^*$	mm	0.41	0.34	0.48	0.41	0.48	0.25	0.23
IP RMS horizontal beam size	$\sigma_x^*$	nm	729.0	683.5	474	729	474	481	335
IP RMS vertical beam size	$\sigma_y^*$	nm	7.7	5.9	5.9	7.7	5.9	2.8	2.7
Luminosity	$L$	$\times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$	0.75	1.0	1.8	0.75	3.6	3.6	4.9
Fraction of luminosity in top 1%	$L_{0.01}/L$		87.1%	77.4%	58.3%	87.1%	58.3%	59.2%	44.5%
Average energy loss	$\delta_{BS}$		0.97%	1.9%	4.5%	0.97%	4.5%	5.6%	10.5%
Number of pairs per bunch crossing	$N_{pairs}$	$\times 10^3$	62.4	93.6	139.0	62.4	139.0	200.5	382.6
Total pair energy per bunch crossing	$E_{pairs}$	TeV	46.5	115.0	344.1	46.5	344.1	1338.0	3441.0

アンジュレーターで $\gamma$ を出すのに使った電子数と同数以上の陽電子を出すには、電子ビームのエネルギー150GeV以上が必要

# 研究目的

ILCを使って、ヒッグスの質量 $M_H=125\text{GeV}$ 付近でのエネルギースキャンをする事によって、Higgsから電子用電子対への崩壊幅 $\Gamma_{ee}$ を測る事、もしくはその上限値を測る事

目安：標準模型での $\Gamma_{ee}$ の値

理論家の計算（LHCのHiggs cross sectionのレポート、信頼性は高い）によると、 $Br_{\mu\mu}$ があるので、これを元に計算。（ $Br_{ee}$ は無かった）

$M_H=125\text{GeV}$ のとき、

$$Br_{uu}=2.19 \cdot 10^{-4} (+6.0\%, -5.9\%)$$

$$\Gamma_H = 4.07 (+4.0\%, -3.9\%) \text{ MeV}$$

$$Br_{ee} = Br_{\mu\mu} \cdot (M_e/M_\mu)^2 = 2.19 \cdot 10^{-4} \cdot (0.511/106.658)^2$$

$$= 5.12 \cdot 10^{-9} (+6.0\%, -5.9\%)$$

$$= 5.12 (+0.30, -0.30) \cdot 10^{-9}$$

$$\Gamma_{ee}(\text{GeV}) = Br_{ee} \cdot \Gamma_H = 5.12 \cdot 10^{-9} \cdot 4.07 \cdot 10^{-3}$$

$$= 2.08 \cdot 10^{-11} (+10.0\%, -9.8\%)$$

$$= 2.08 (+0.21, -0.20) \cdot 10^{-11} (\text{GeV})$$

かなりゼロに近い値

標準模型を越えた新物理の

中には $\Gamma_{ee}$ がかなり大きい

ものがある可能性も

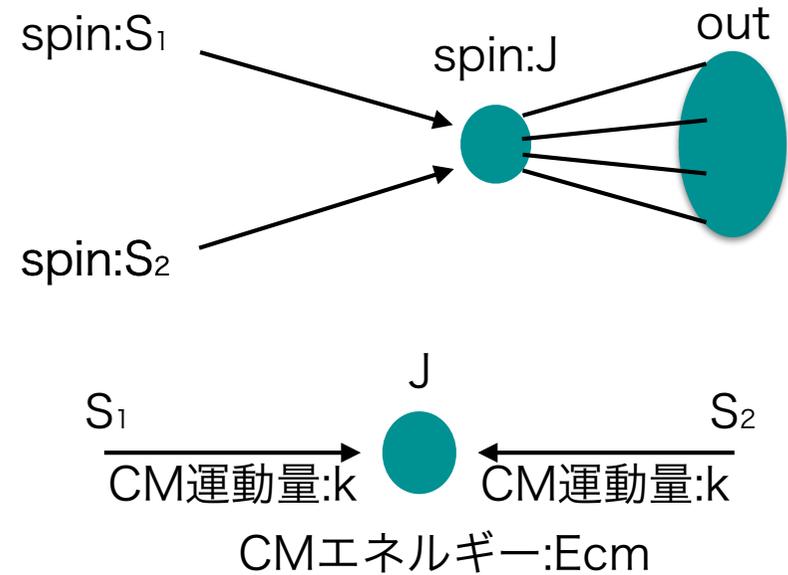
# 実測の生成断面積 $G(ee \rightarrow H)$ から $\Gamma(H \rightarrow ee)$ を求める

## その1.生成断面積

スピン平均( $s_1 s_2$ が偏極していない場合)のブライトウィグナーの式

$$\sigma_{BW}(E_{cm}) = \frac{(2J+1)}{(2S_1+1)(2S_2+1)} \frac{\pi}{k^2} \frac{B_{in} B_{out} \Gamma_{tot}^2}{(E_{cm} - E_R)^2 + \frac{\Gamma_{tot}^2}{4}}$$

$B_{in}$ :  $Br(J \rightarrow S_1 + S_2)$   
 $B_{out}$ :  $Br(J \rightarrow out)$   
 $E_R$ : レゾナンスのエネルギー  
 $\Gamma_{tot}$ : レゾナンスの全崩壊幅



$ee \rightarrow H \rightarrow ff$

$$\sigma_H = 4\pi \Gamma_{e^+e^-} \Gamma_{ff} \frac{1}{(s - M_H^2)^2 + \frac{s^2 \Gamma_H^2}{M_H^2}}$$

$B_{in} \Gamma_{tot} = \Gamma_{ee}$ ,  
 $B_{out} \Gamma_{tot} = \Gamma_{ff}$   
 $M_J = E_R = M_H$   
 $J=0, S_1=S_2=1/2$

# 実測の生成断面積 $G(ee \rightarrow H)$ から $\Gamma(H \rightarrow ee)$ を求める その2.積分

$$\sigma_H = 4\pi\Gamma_{e^+e^-}\Gamma_{ff} \frac{1}{(s - M_H^2)^2 + \frac{s^2\Gamma_H^2}{M_H^2}}$$

を積分する。

# 実測の生成断面積 $G(ee \rightarrow H)$ から $\Gamma(H \rightarrow ee)$ を求める

## その3. Luminosity spectrum の影響

$$\Gamma_{e^+e^-} = \frac{M_H^2}{2\pi^2} \frac{\Gamma_H}{\Gamma_{ff}} \int_{-\infty}^{\infty} \sigma_H(E) dm^2 dE_{cm}$$

Beam energy spread  
の形と大きさが $E_0$ に依存しないなら  
 $\int G(E_0) dE_0 = \int G(E) dE$

$$\Gamma_{e^+e^-} = \frac{M_H^2}{2\pi^2} \frac{\Gamma_H}{\Gamma_{ff}} \int_{-\infty}^{\infty} G(E_0) dE_0$$

Hが全ての取り得る終状態へ  
崩壊するなら  $\frac{\Gamma_H}{\Gamma_{ff}} \simeq 1$

$$\Gamma_{e^+e^-} = \frac{M_H^2}{2\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} G(E_0) dE_0$$

$$c\hbar = 1.9733 \text{ cm} \cdot \text{GeV}$$

$$\Gamma(H \rightarrow ee) \text{ GeV} = 2.0328 \cdot 10^{-6} \int G(E_0) dE_0$$

# 解析の流れ

0. ヒッグスの質量を125GeV

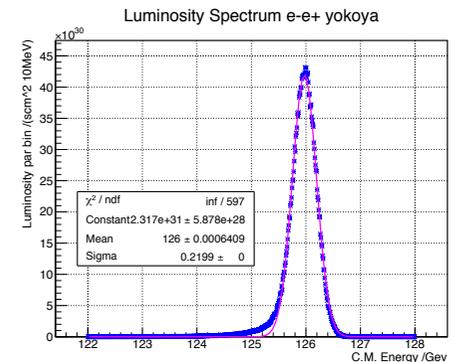
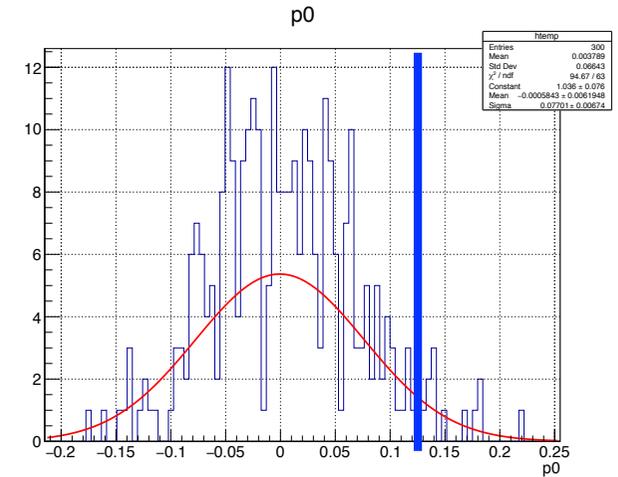
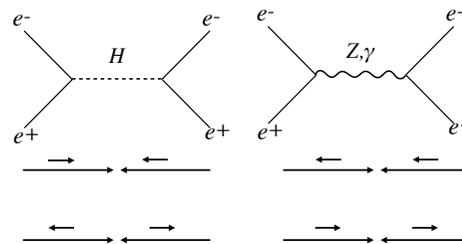
→125GeVにピークがあると仮定

1. 125GeV辺りの生成断面積を300回ランダム生成(ガウス分布)

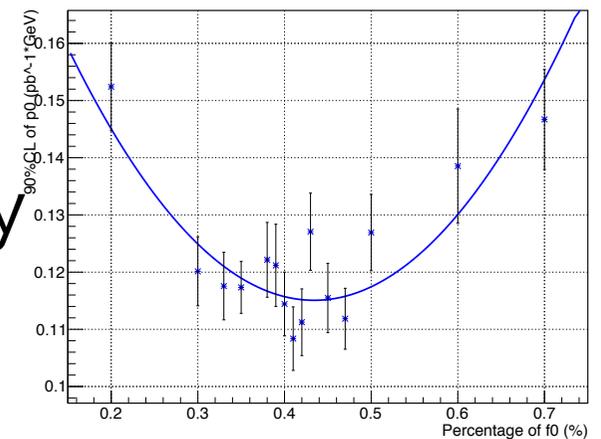
2. 125GeVのピークの高さ $p_0$ の分布から、90%CLを決定

- ピーク形状はLuminosity spectrum

- 干渉は無視出来る

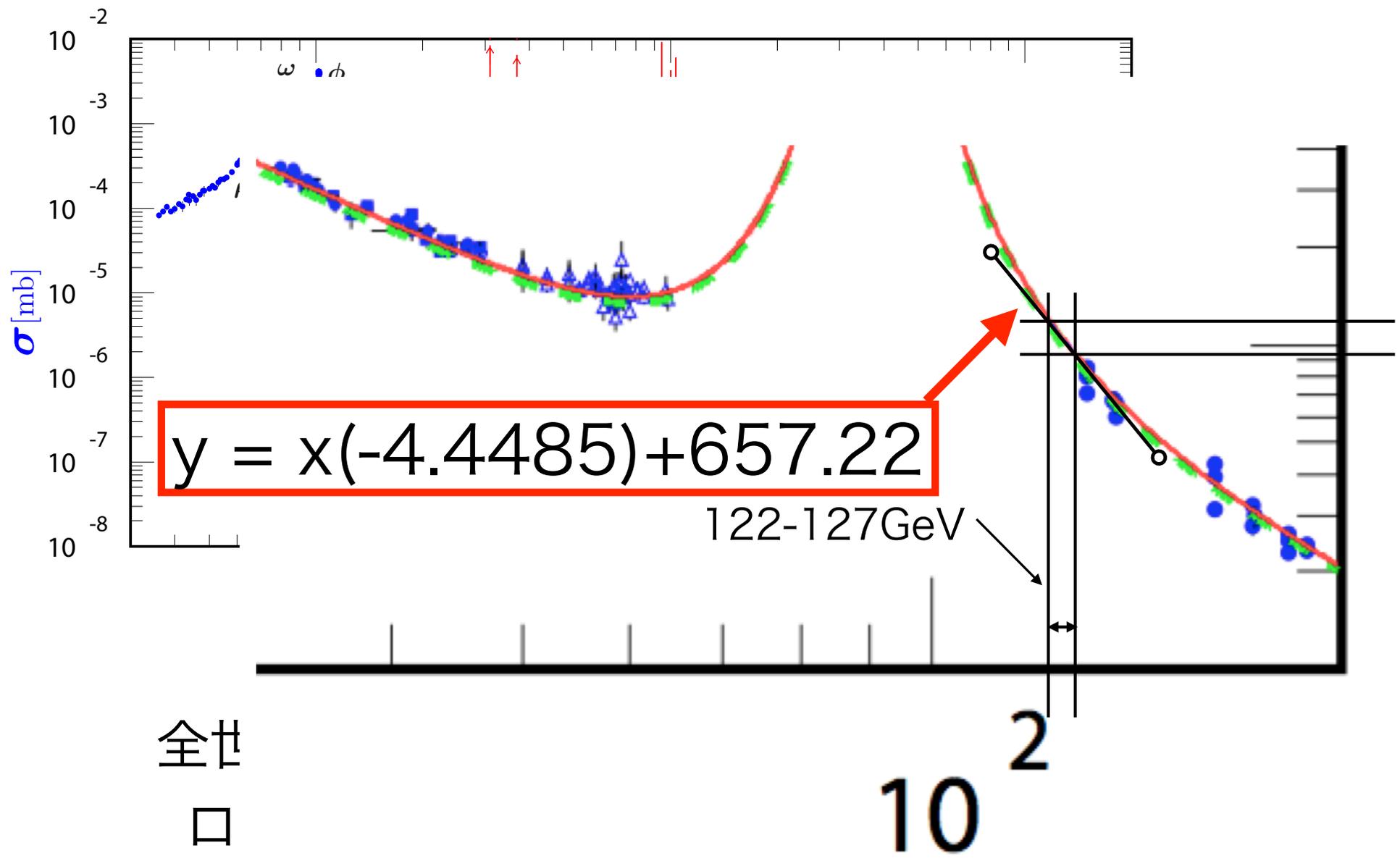


3. 90%CLが一番小さくなる最適なLuminosityを見つけ、その時の90%CLを評価



# ランダム生成 1

元となる生成断面積はPDB p. にあるグラフのものを使用



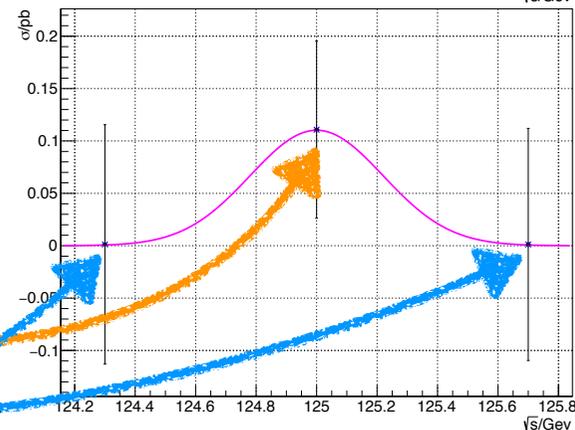
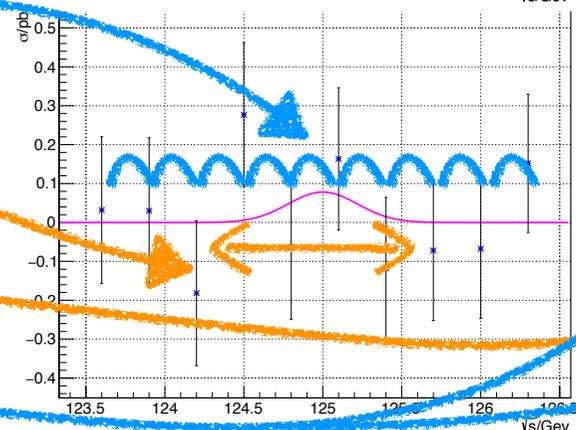
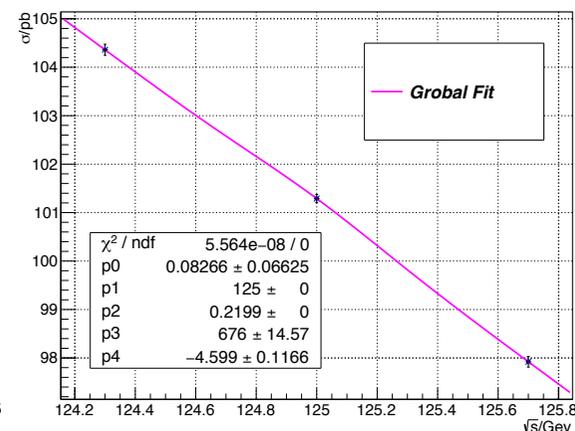
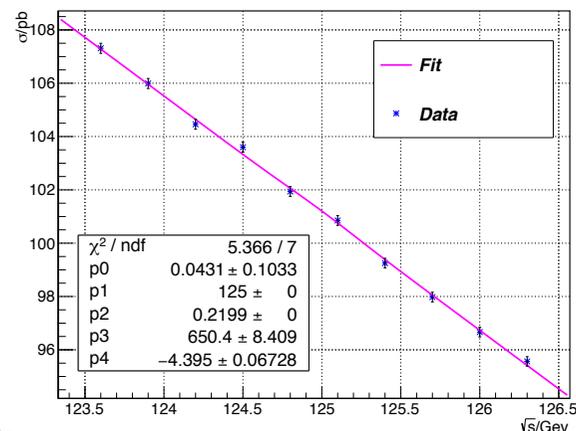
# ランダム生成2

ランダム生成にはガウス分布を使用 →  $y$ 、 $e_y$  ( $y$ の誤差)が必要  
 生成断面積の誤差  $e_y$  ;  $e_y = y / \sqrt{N_y}$  ( $N_y = d_{lum} * y$ )  
 Total Luminosity を  $30.15 \text{ pb}^{-1}$  として、  
 各ポイント ( $x, y$ ) に適当に Luminosity を振り分ける ( $d_{lum}$ )

10点 ピークの幅に4点  
 入るように調整

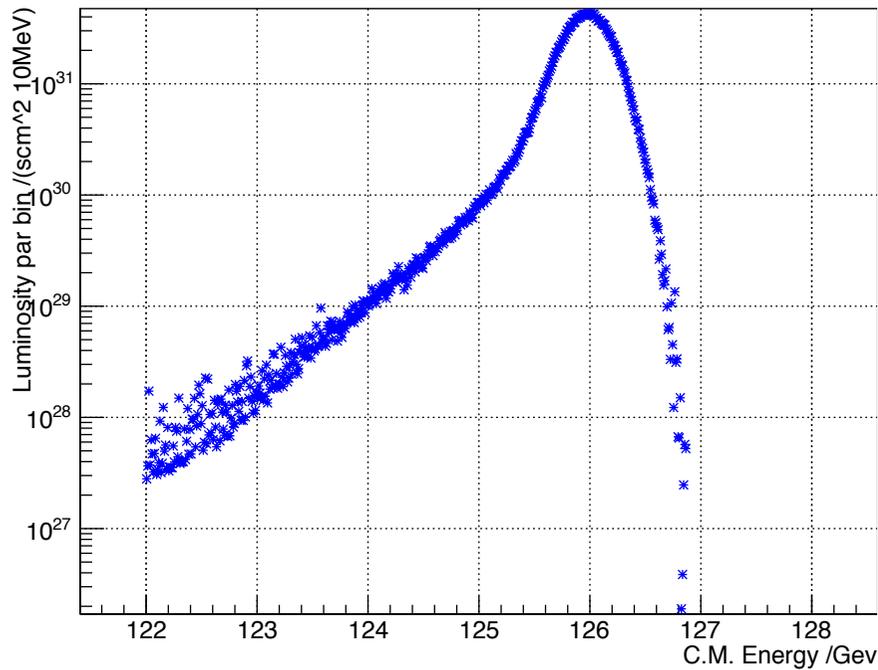
125.1 GeVから0.3刻  
 むで右に4点左に6点

3点 ピーク頂点に1点  
 両端外に一点ずつ

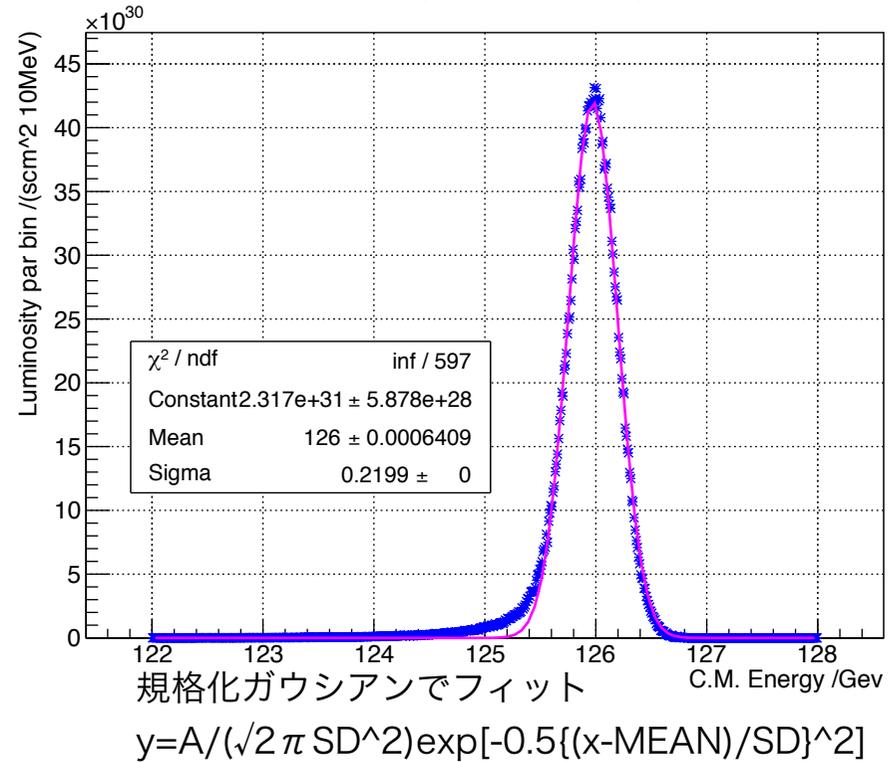


# フィットの幅

Luminosity Spectrum e-e+ yokoya



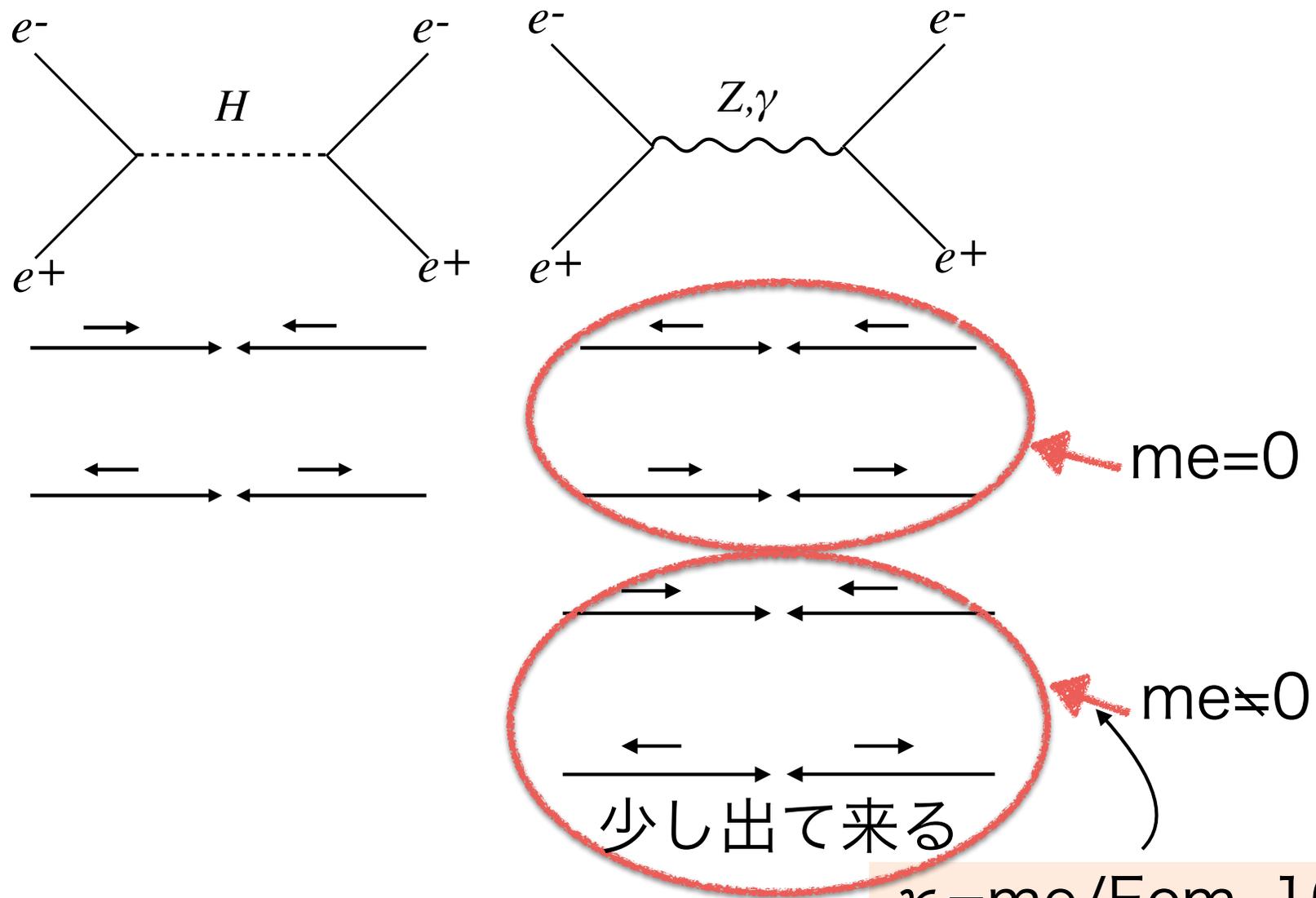
Luminosity Spectrum e-e+ yokoya



ヒッグスのピーク幅は4.20MeVと小さいので、実際のピークの幅はLuminosity spectrumの幅となる

Luminosity spectrumの偏差SD=0.2199

# 干渉項



$\gamma = m_e / E_{cm} \sim 10^{-8}$   
 の二乗でサプレス

無視出来る

# ILCのLuminosity spectrum の誤差

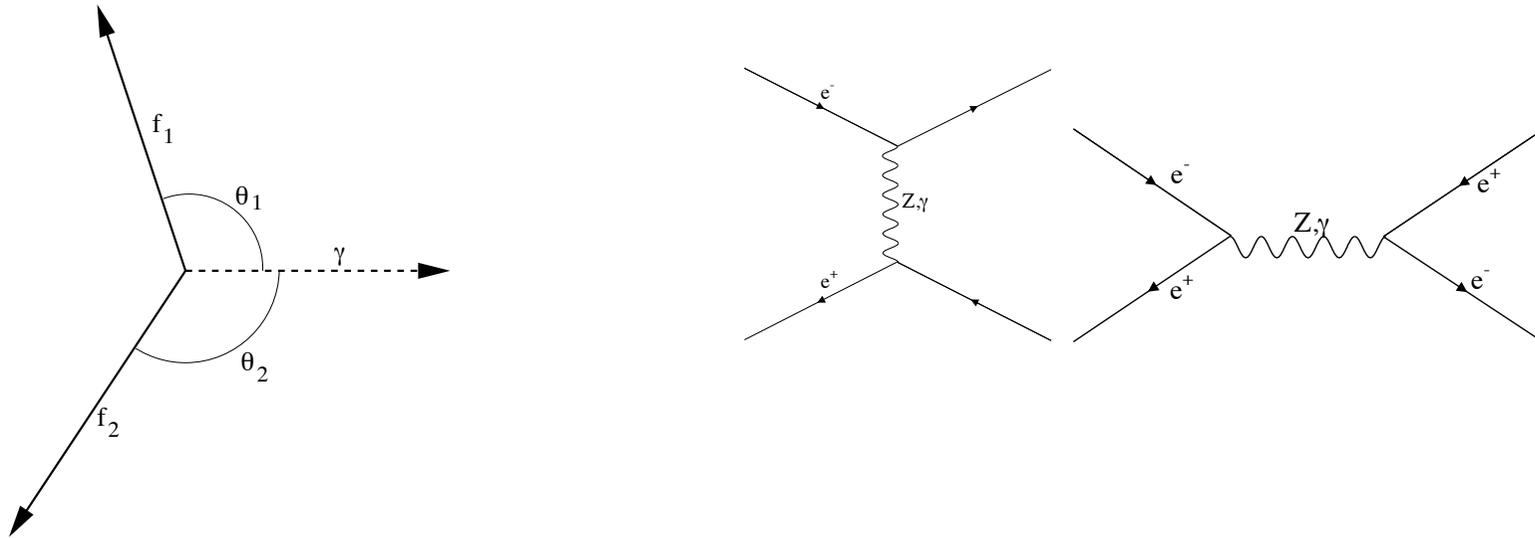
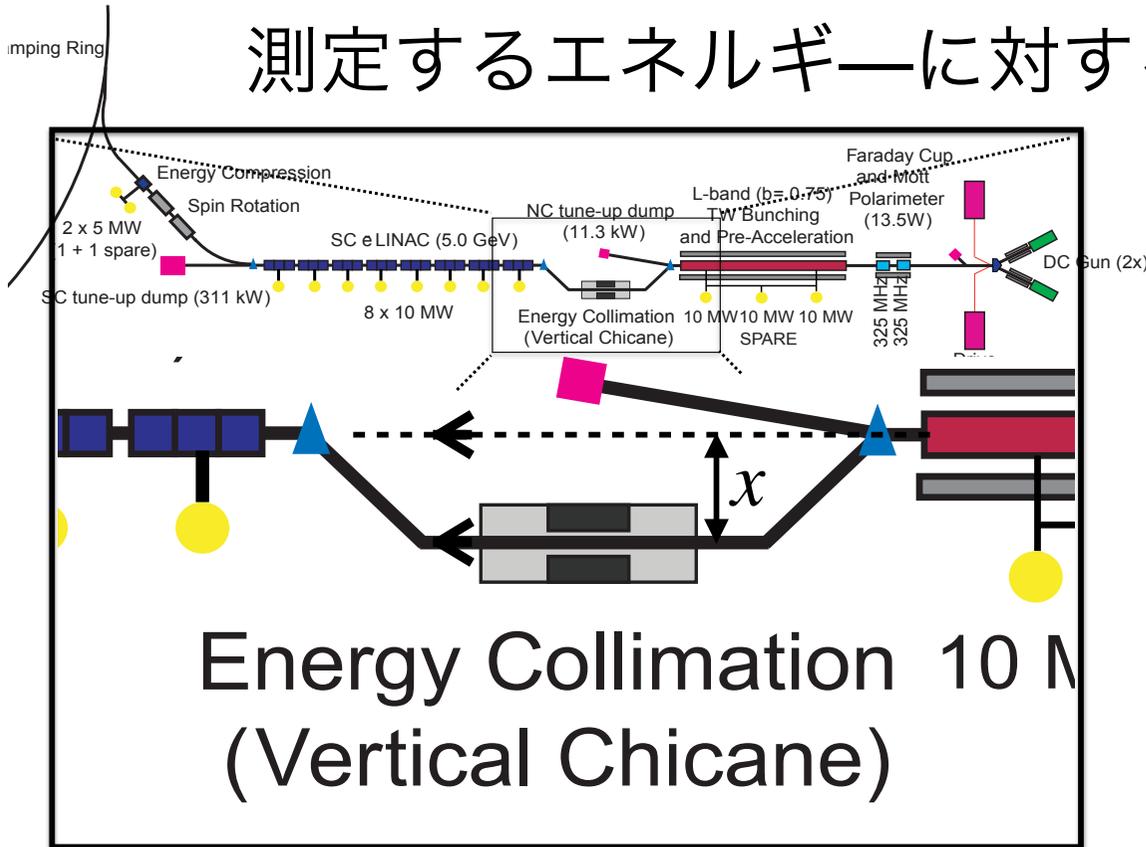


Figure 5: Principle of the  $s'$  reconstruction.

$$\frac{\sqrt{s'}}{\sqrt{s}} = \sqrt{1 - 2 \frac{\sin(\theta_1 + \theta_2)}{\sin(\theta_1 + \theta_2) - \sin \theta_1 - \sin \theta_2}}$$

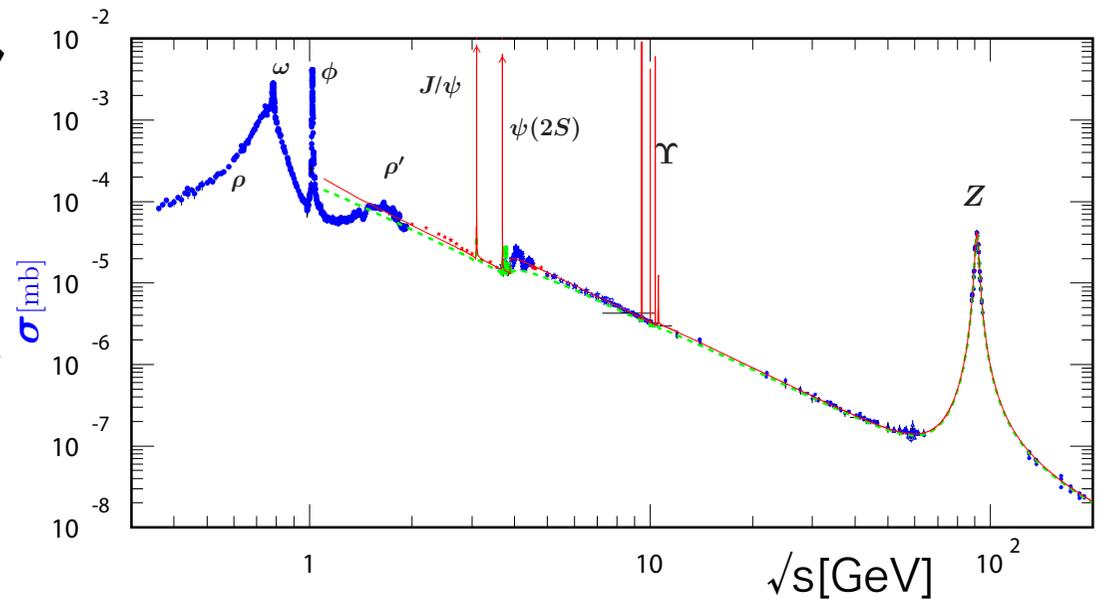
# Beam energy校正

測定するエネルギーに対するILCの誤差はどの程度か

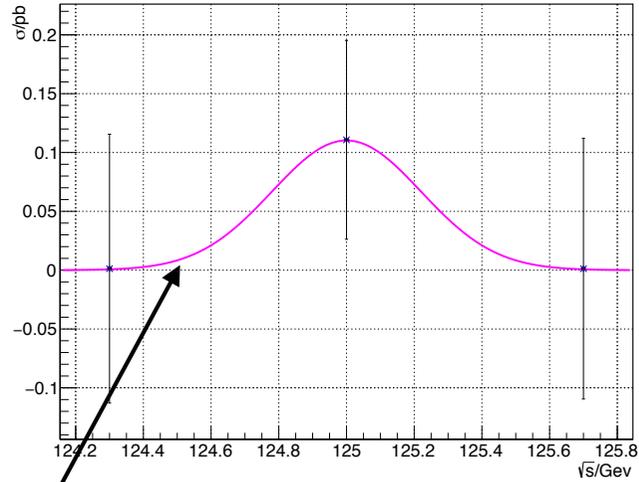
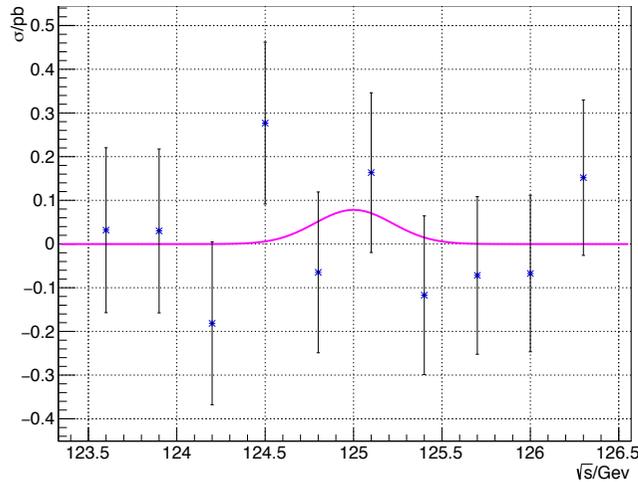
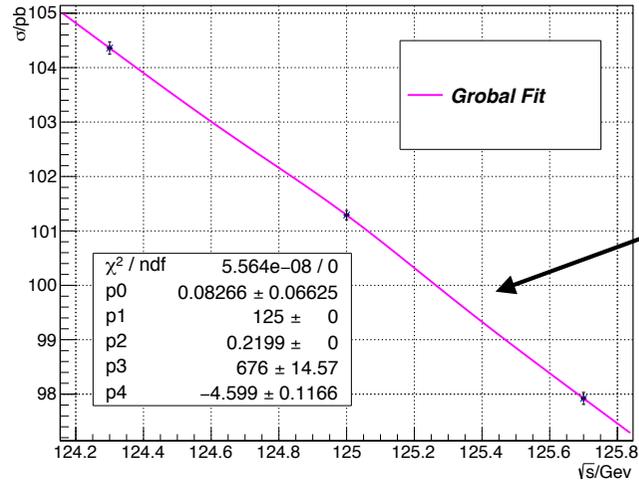
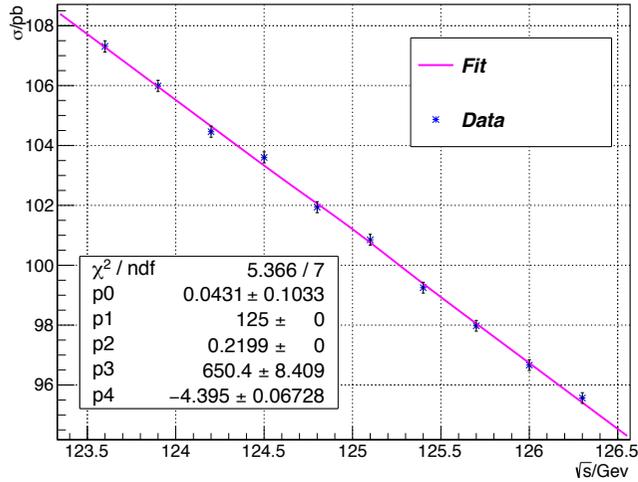


ILCのエネルギースケールの構成はvertical chicaneで行われる

ILCのエネルギースケールの精度は  
 $\sim 10^{-4}$   
 125GeVだと0.0125GeV



# p0



$$y = bg(x) + sg(x)$$

bg: 一次関数

sg: ガウシアン

干渉は無視

sgの面積

||

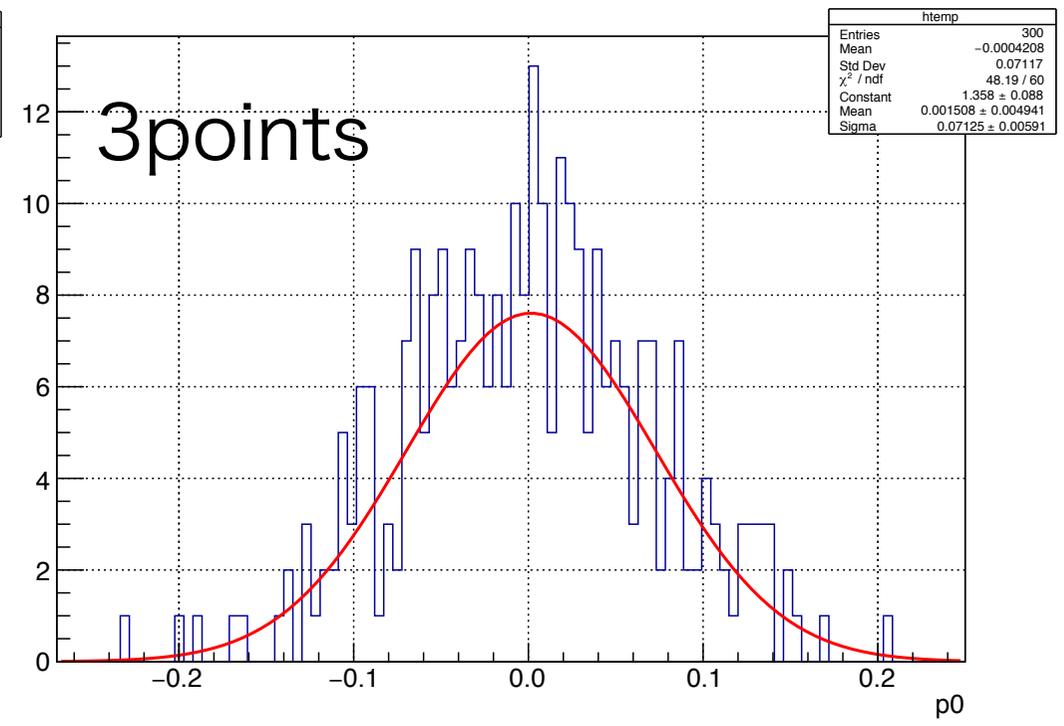
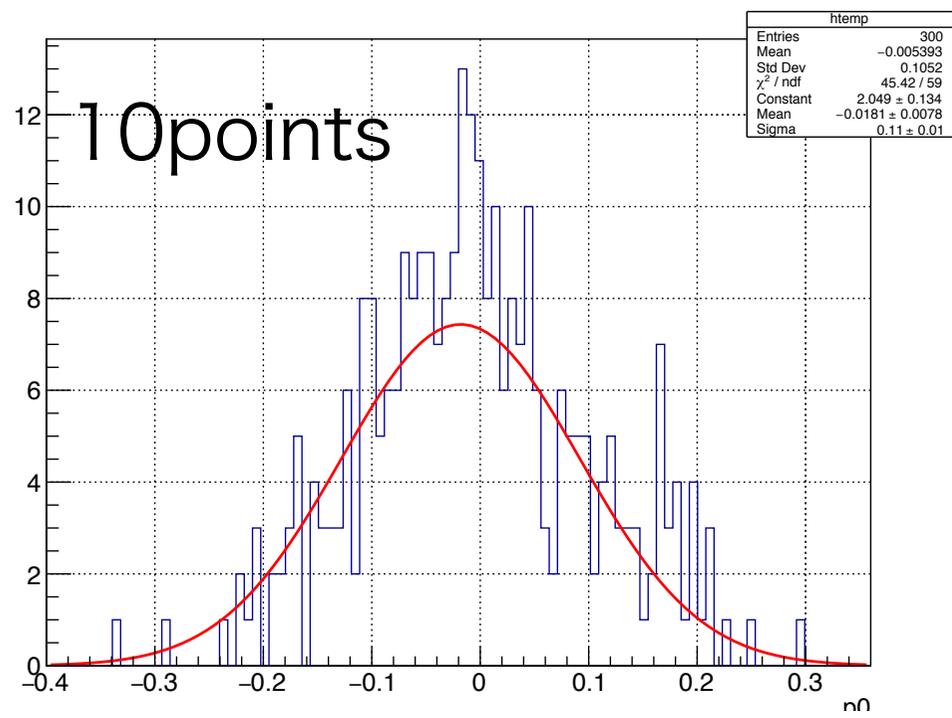
Higgsの

生成断面積

規格化されたガウシアン； p0 = 面積

$$y = p0 * 1 / (\sqrt{2\pi} SD^2) \exp[-0.5 \{(x-125)/SD\}^2]$$

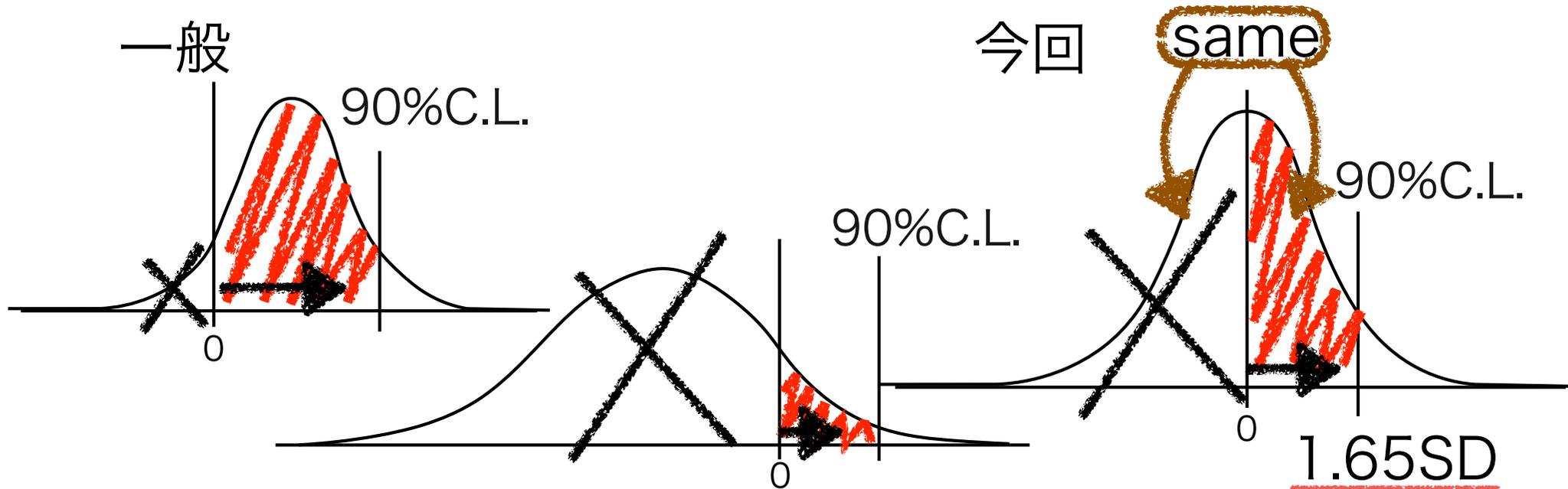
# p0の分布



3点取った方が10点より精度が良い

- 125GeVでの値-ピークの裾の値の平均

# $p_0$ の90%CL

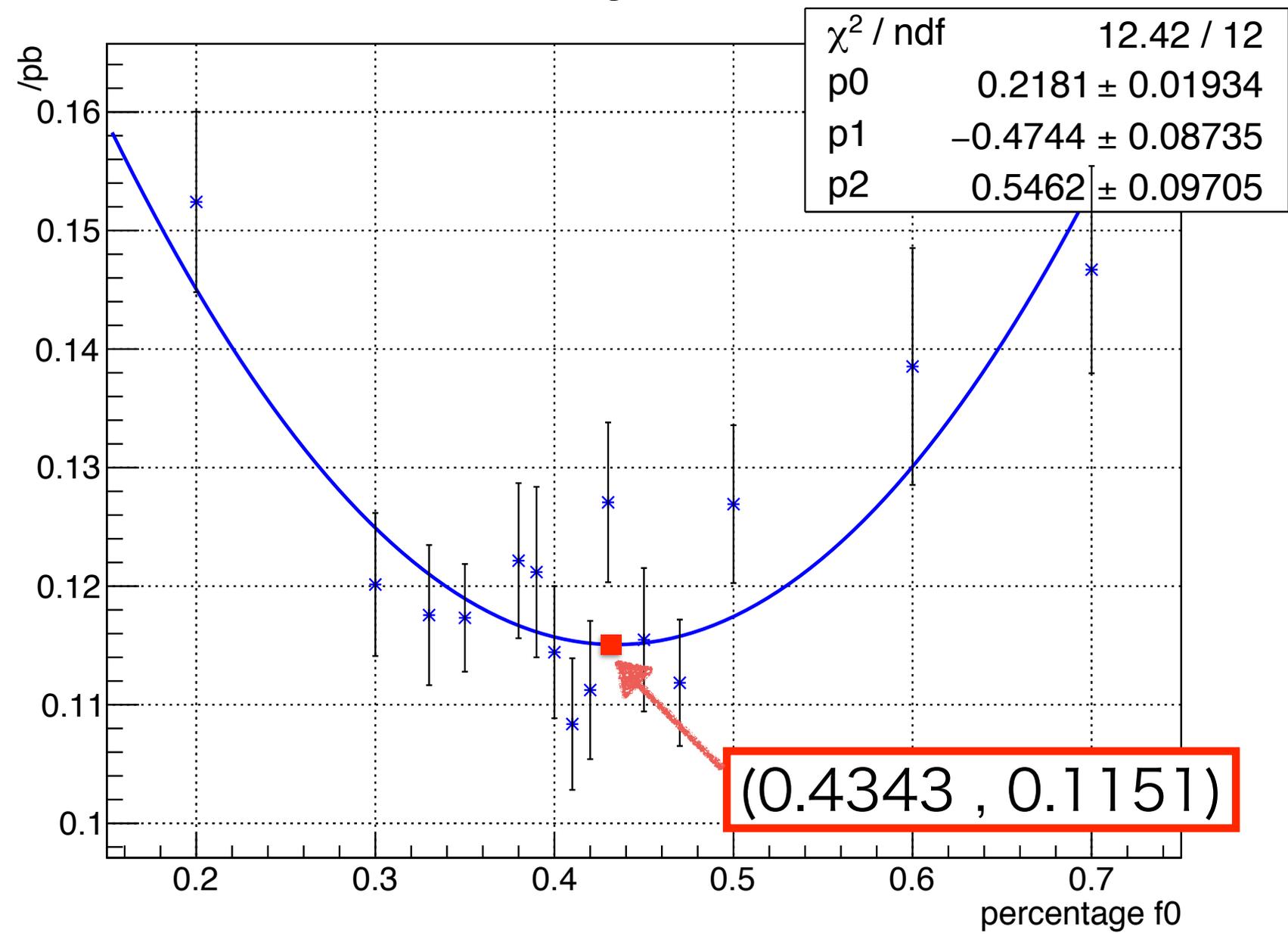


0より上の面積の90%

今回は、Higgsのピークはほぼ見えないという標準模型に従った予想を採用したときの90%CLを見積もった  
つまり $p_0=0$ 。90%CLは単純にガウシアンの右半分の面積の90%をとることになる。

$$90\%CL = 1.65SD$$

# Luminosityの分配と90%CL



## 結論、考察

ILCの重心エネルギー125GeV

Total Luminosity 30.15pb<sup>(-1)</sup>

ビーム偏極RRまたはLL

Higgsのピークは標準模型通り殆ど見えない =  $\sigma_{H \rightarrow 0}$ の時

$\Gamma(H \rightarrow ee)$ の90%CL =  $2.34(\pm 0.016) \times 10^{-7}$  (GeV)

標準模型での理論計算値

$\Gamma(H \rightarrow ee)_{SM} = 2.08 (+0.21, -0.20) \times 10^{-11}$  (GeV) (GeV)



## —APPENDIX—

P2、式の導出1、相対論とそうでない時。

P2、式の導出2、実際の観測値から求めるには  
—beam energy spreadがターゲットのエネルギー  
近辺で同じとする時

P5、トータル루미ノシティ30.15pb<sup>-1</sup>はどこからきたのか

P5、ランダム生成をポアソンではなくガウスにしたわけ

P10、「標準模型通りの予想だと $\sigma_H \sim 0$ 」はどこからきた  
のか

P12、SDの誤差

# ILC補足

# SDの誤差

