

国際リニアコライダーにおける ヒッグスの質量・断面積・ およびCP混合の解析

2013年9月22日 日本物理学会

綿貫峻、山本均、石川明正、末原大幹、藤井恵介^A

(A:KEK)

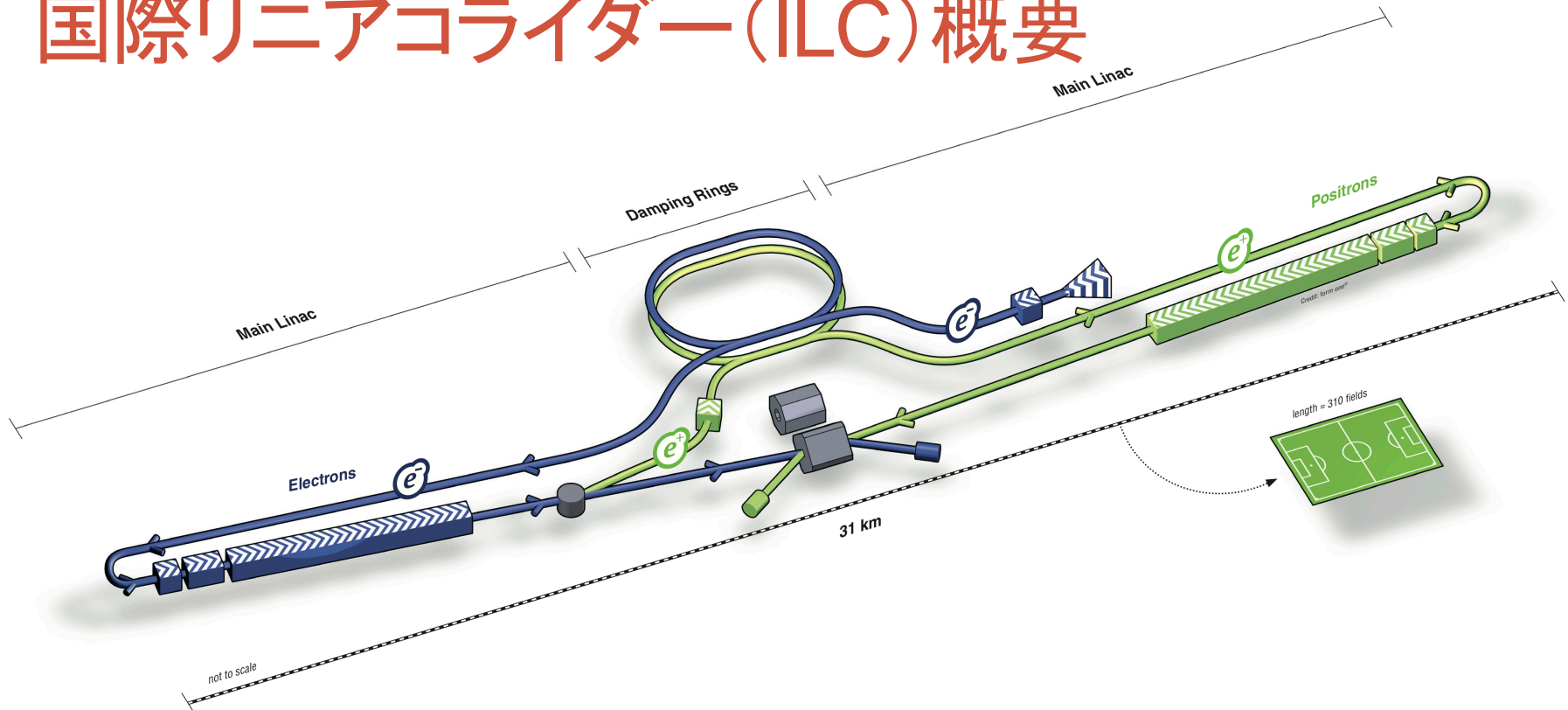
目次

- ◆ 国際リニアコライダー (ILC) 概要
- ◆ 研究テーマ概説

- ◆ ヒッグス反跳質量 & 断面積
 - ◇ 反跳について
 - ◇ サンプル、イベント
 - ◇ Crossing Angle
 - ◇ セレクション
 - ◇ カットテーブル
 - ◇ 結果
- ◆ ヒッグスCP混合
 - ◇ CP混合概要
 - ◇ 解析方法
 - ◇ 解析の流れ
 - ◇ 結果

- ◆ まとめと今後

国際リニアコライダー (ILC) 概要



- ◆ 全長31km、電子・陽電子衝突型の線形加速器
- ◆ $E_{CM}[\text{GeV}] = 250, 350, 500$ (1TeVにアップグレード予定)
- ◆ 検出器はILD、SiDのpush pull形式を採用予定
- ◆ **クリーンな環境**での実験が可能
- ◆ **ヒッグスの精密測定が可能**

研究テーマ概説

◆ヒッグスの反跳質量・断面積

◇ 2012年7月にLHCで発見されたヒッグス

→ 標準理論のヒッグスか、BSMのヒッグスか？

◇ **断面積**, **結合定数**を測定する事で区別ができる

→ Model IndependentなILCの解析なら可能！

◇ **質量**も重要な物理量のひとつ

◇ ILCにおける**質量**と**断面積**の測定精度の解析

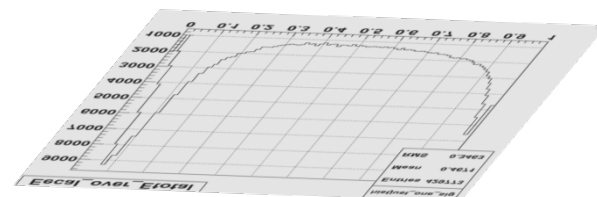
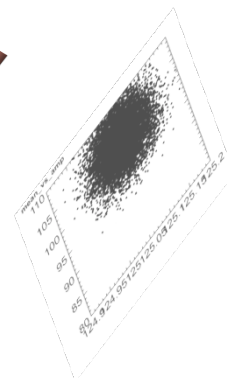
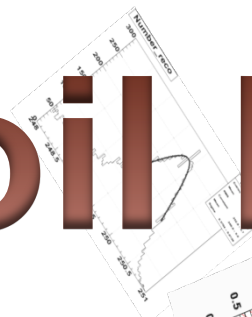
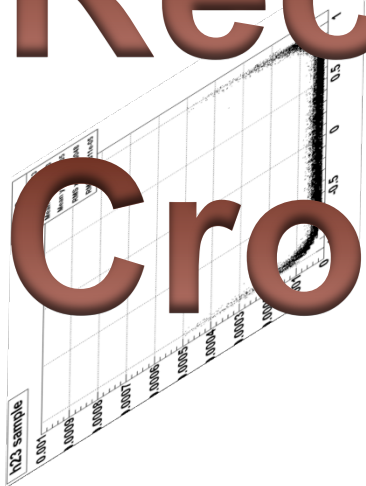
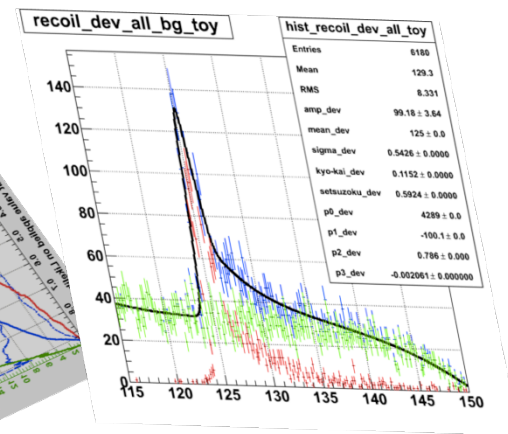
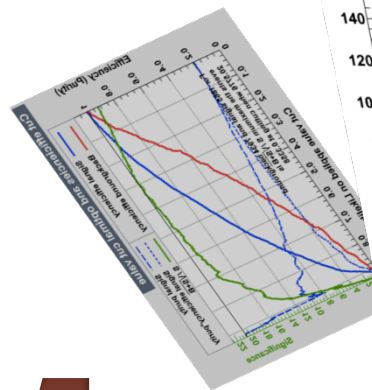
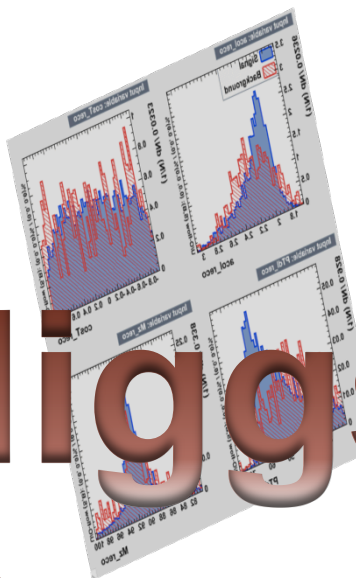
◆ヒッグスのCP混合

◇ 標準理論ではヒッグスのCPは完全に「偶」

◇ 2 Higgs Doublet Model (2HDM)では「CP奇」のヒッグスが存在でき、混じり合う(CP混合)

◇ **新物理に感度**のあるCP混合についての解析

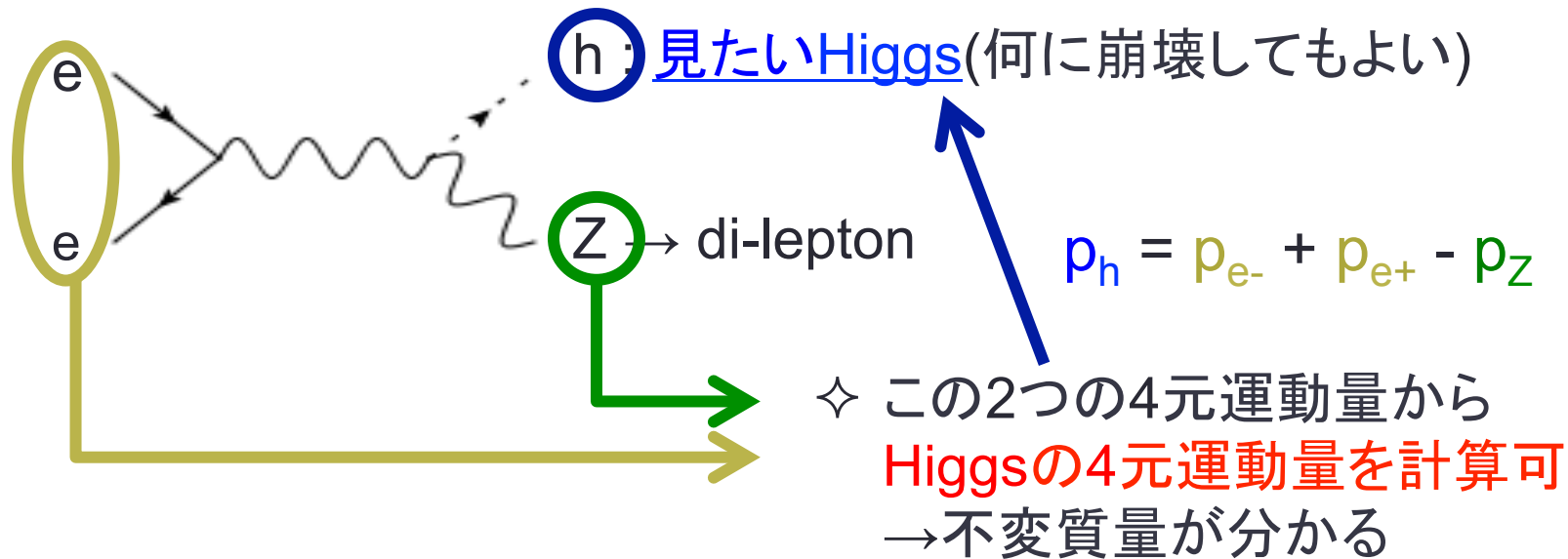
Higgs Recoil Mass & Cross Section



signal	BG		
38.10%	-1.1M	0.34%	
29067	37992	0.26%	
	29067	0.19%	
		0.17%	

反跳によるヒッグス測定

- ◆ ILCの特徴のひとつ、レプトン同士の衝突であること
= 始状態(特に4元運動量)が既知



衝突で生成された
ヒッグスが見たい

直接見つける

ヒッグスの崩壊モデル
に依存してしまう

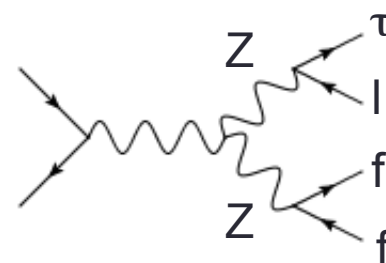
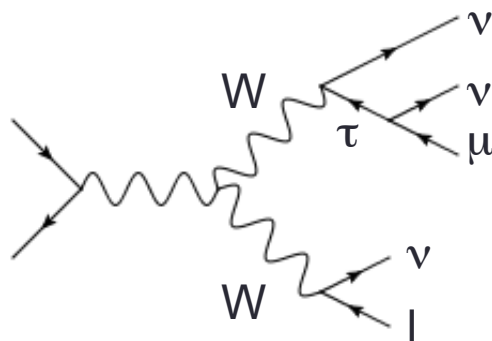
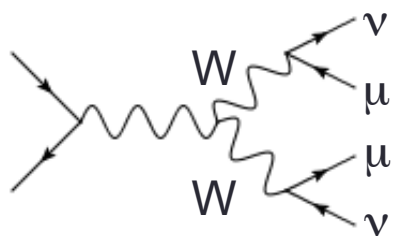
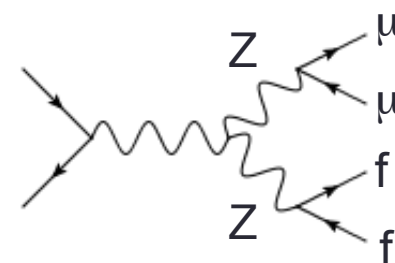
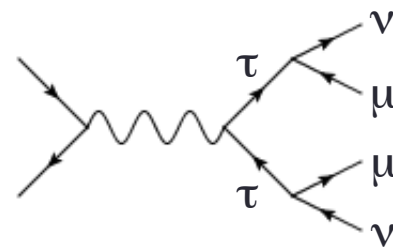
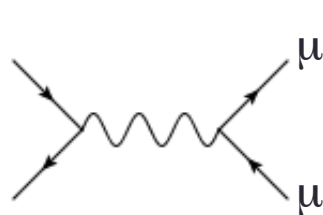
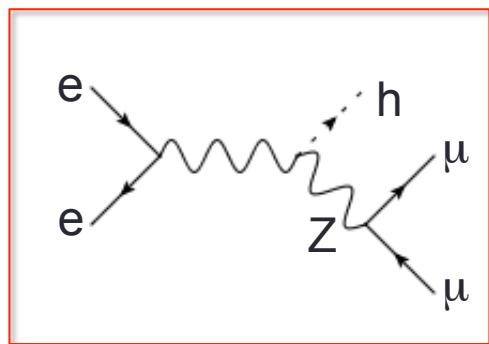
反跳で見つける

モデルに非依存
 $Z \rightarrow$ di-leptonでOK

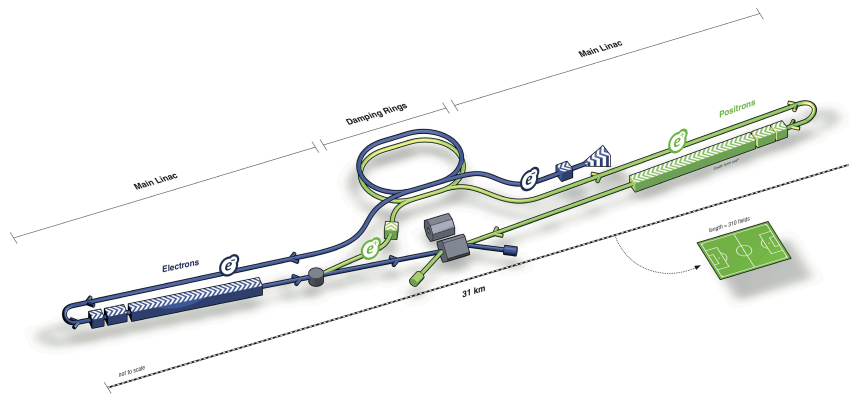
サンプル、イベント

ヒッグス質量	重心エネルギー	積分ルミノシティ	スピン偏極	検出器
125 [GeV]	250 [GeV]	250 fb ⁻¹	P(e ⁻ , e ⁺) =(-0.8, +0.3)	ILD_01_v05 (DBD ver.)

◆ Signal & BG イベント



Crossing Angle



- ◆ Crossing Angle
ILCではビームの衝突に14[mrad]の角度がついているので、**Boostを考慮**して計算をした
- ◆ この効果を入れないとRecoil massの分布が潰れて、幅が大きくなってしまう

セレクション

◆ Zから崩壊した μ ペアをセレクション

No Cut

μ decayed
from Z
(good track)

- ❖ Zから崩壊した μ
- ❖ トラッククオリティ

- ❖ ゆるいセレクションで数の多い $\mu\mu$ イベントを削減
- ❖ インパクトパラメータ

- ❖ di-muon横運動量 p_{Tdl}
- ❖ di-muon不変質量 M_{dl}
- ❖ di-muon方位角差 $\Delta\phi$
- ❖ 高エネルギー光子との横運動量差 δp_{Tbal}
- ❖ 検出粒子のmissing angle
- ❖ 反跳質量 M_{recoil}
- ❖ Likelihood
 - ◇ di-muon横運動量
 - ◇ di-muon角度差
 - ◇ di-muonの $\cos\theta$
 - ◇ di-muon不変質量

フィット&
エラー
評価

カットテーブル

	signal $\mu\mu h$	eff. (%)	$\mu\mu\nu\nu$	eff. (%)	$\mu\mu ff$	eff. (%)	$\tau l\nu\nu$	eff. (%)	τlff	eff. (%)	other ($\mu\mu$)	eff. (%)
no cut	2574		1496 36		1604 32		5965 18		8341 8		~1.0 M	
μ select	2269	88.12	1246 7	8.33	7864	4.90	3010	0.50	28	0.04	1464 9	0.14
p_{Tdl}	2164	84.04	1065 3	7.12	6799	4.24	2706	0.45	27	0.04	8970	0.09
M_{dl}	2057	79.90	6458	4.32	5901	3.68	1404	0.24	19	0.02	7518	0.07
acop	1922	74.66	6078	4.06	5370	3.35	1290	0.22	11	0.02	6637	0.06
δp_{Tbal}	1876	72.87	5949	3.98	4965	3.09	1267	0.21	11	0.02	927	0.01
$\cos\theta_m$ issing	1865	72.44	5949	3.98	4705	2.93	1267	0.21	11	0.02	682	0.01
M_{recoil}	1863	72.35	3987	2.66	2643	1.65	882	0.15	11	0.02	453	0.00
f_L	1580	61.37	2401	1.60	1734	1.08	333	0.06	0	0	350	0.00

フィット方法

◆フィット関数

✧BG : 3次関数

✧signal+BG : Gaussian Peak with Exponential Tail + 3次関数

◆フィット方法

✧BGを3次関数でフィット(この値は以後固定)

✧signal + BGをGPET + pol3でフィット(1回目)

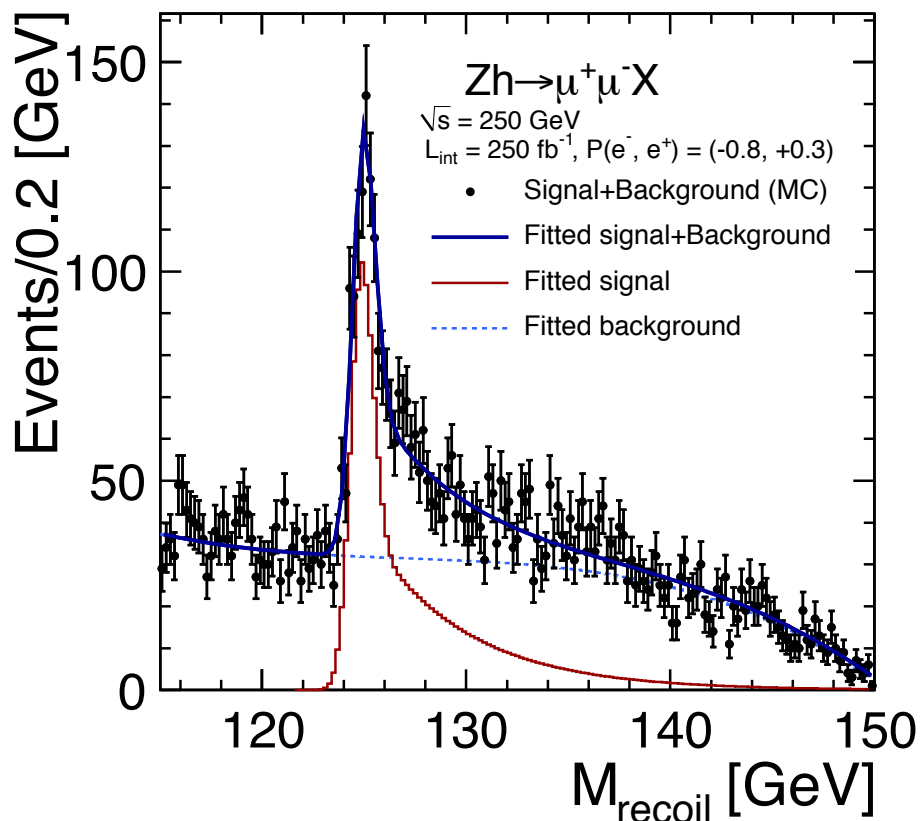
✧signalおよびフィットしたBGについて、ポアソン分布でToy-MCを振る

✧signal Toy-MC + BG Toy-MCをGPET + pol3でフィット(2回目)

ただし、GPETのmeanとheightのみフリーパラメータとし、その他のパラメータは1回目のフィットの値で固定

結果

- ◆フィット関数: GPET + pol3 shapeを保ちつつ、meanとheightのみフリーパラメータとしてフィット
- ◆Toy-MCは10000回作成
- ◆meanとheightがそれぞれmassとcross sectionに対応
- ◆エラー
 mass error : 37MeV
 cross section error : 3.6%
 (先行研究($M_h = 120\text{GeV}$)ではそれぞれ37MeV, 3.33%)



CP mixture
CB wixfnle

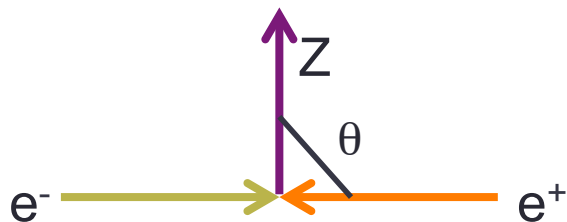
原理

- ◆ ヒッグスのCP mixtureを η 、Zの生成角を $\cos\theta$ とすると、 $\mu\mu h$ イベントの微分断面積は

$$\frac{d\sigma}{d\cos\theta} = \frac{G_F^2 M_Z^6 \beta}{16\pi} \frac{1}{D_Z(s)} (v_e^2 + a_e^2) \left[1 + \frac{s\beta^2}{8M_Z^2} \sin^2\theta + \eta \frac{v_e a_e}{v_e^2 + a_e^2} \frac{2s\beta}{M_Z^2} \cos\theta + \eta^2 \frac{s^2 \beta^2}{4M_Z^2} \left(1 - \sin^2 \frac{\theta}{2} \right) \right]$$

η の1次の項により偶と奇が干渉

$\eta=0$ の場合



cross sectionは $\cos\theta=0$ で最大になる

$\eta \neq 0$ の場合

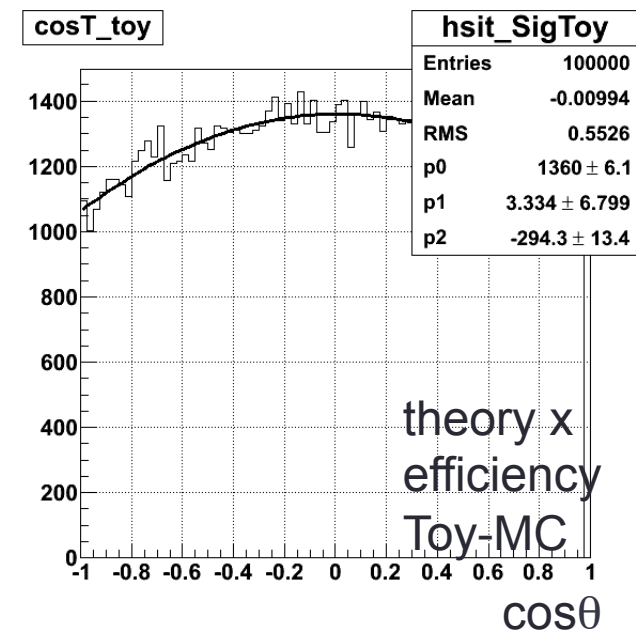
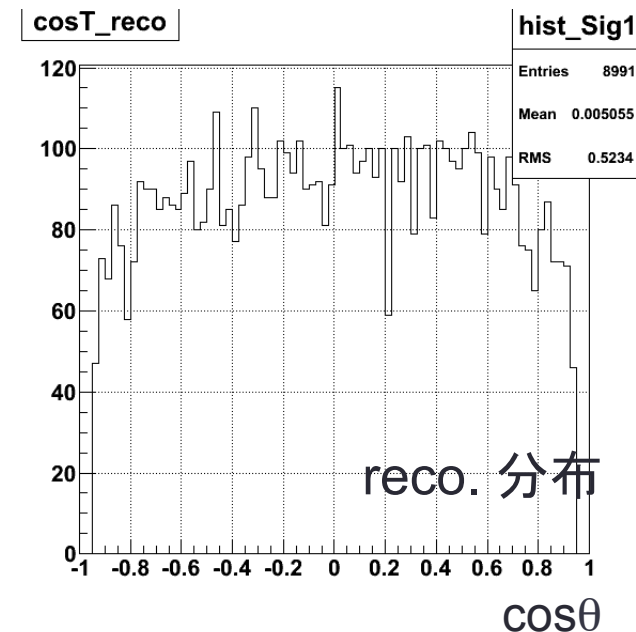


cross sectionが $\cos\theta=0$ で最大にならない

- ◆ Zボソンの $d\sigma/d\cos\theta$ を2次関数でフィットすることで η を測定
- ◆ $d\sigma/d\cos\theta$ のs依存性から、350GeV, 500GeVといった高エネルギーでの η 測定の感度も見積もる

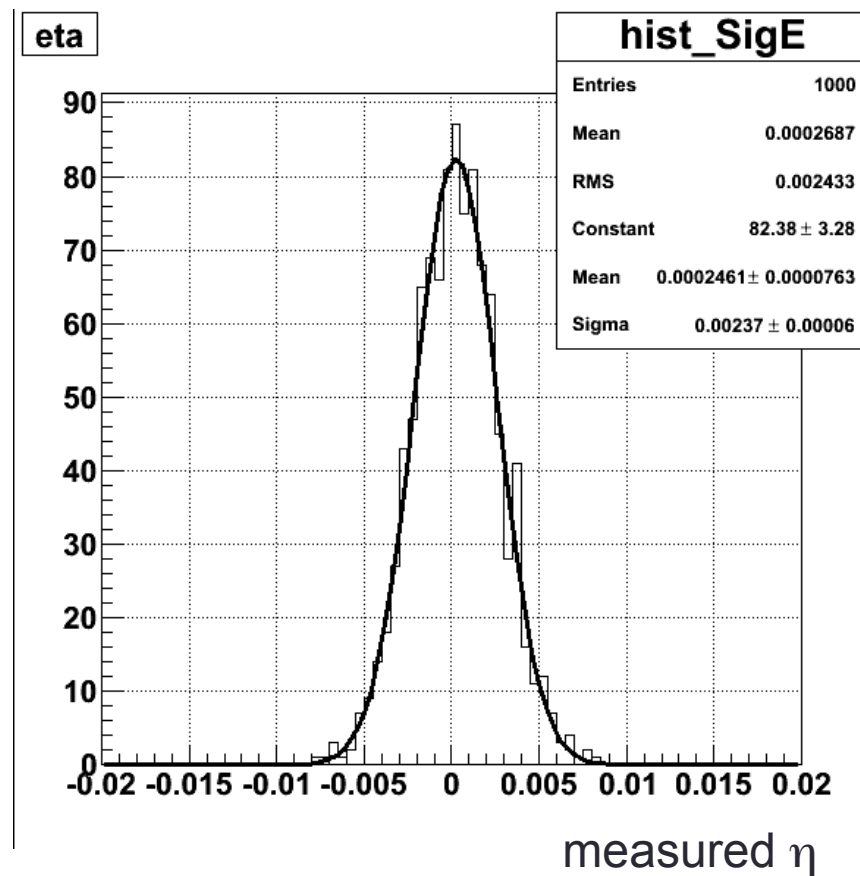
解析の流れ

- ◆ di-muon系を見つけてZボソンを再構成し、生成角度 $\cos\theta$ の分布を得る
- ◆ MCから得られた分布で割ってefficiency分布を得る
- ◆ $\eta=0$ の理論関数にefficiencyをかけたものを得、Toy-MCを振る
- ◆ Toy-MCを2次関数でフィットし、 $\eta\neq 0$ の理論関数と比較してmeasured η を決定



結果

- ◆ Toy-MCは1000回
- ◆ CP mixture h
mean : 0.0002461
error : 0.00237
- ◆ generatorは標準理論にしたがうものを使用(すなわち、generatorレベルでは $\eta=0$)
- ◆ (meanの0からのずれは元々の統計数の少なさが原因)



まとめと今後

◆ヒッグス反跳質量・断面積の測定精度

- ◇ ILCにおけるヒッグスの質量・断面積の精密測定は非常に重要である
- ◇ $\mu\mu h$ チャンネルでのエラーは、
massが37MeV、cross sectionが3.6%
- ◇ $ee h$ チャンネル ($Z h \rightarrow ee h$)でも同様の解析をし、結果を統合する

◆ヒッグスCP混合の解析

- ◇ 2HDMに感度のあるヒッグスCP混合 η の測定精度
- ◇ 250GeV, 250fb^{-1} において $\eta=0$ のgeneratorを用い、 $\mu\mu h$ のZボソンを再構成することで、 $\eta=0.0002461 \pm 0.00237$ と測定された
- ◇ 350GeV, 500GeVでも同様の解析を行い、s依存性も見る