

# ILCにおけるHiggs CP mixtureの



## シミュレーション解析

東北大学大学院 理学研究科 修士1年 綿貫 峻

### 1. ILC実験

▶ 次世代加速器・国際リニアコライダー(ILC)を用いた高精度の素粒子実験。

→電子・陽電子衝突型、全長31kmの線形加速器

LHCよりもクリーンな環境が特徴

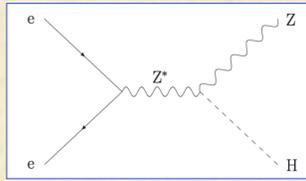
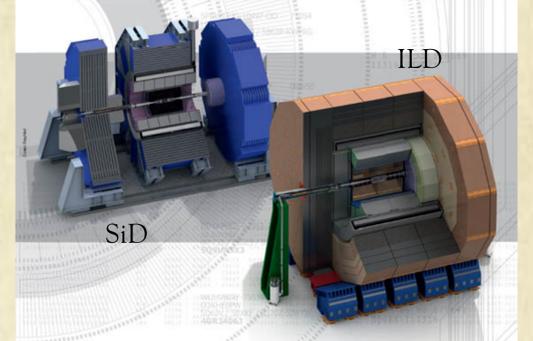
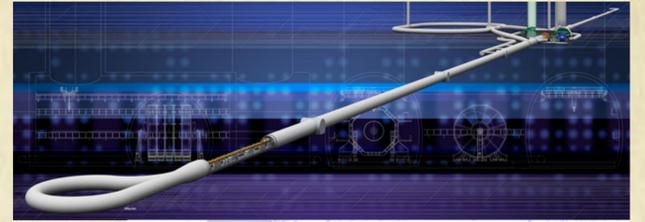
検出器としてILD, SiDの「push-pull」形式を採用予定

▶  $E_{CM} = 250, 350, 500, \dots$  [GeV]での稼働を予定しており、ヒッグスの詳しい性質、崩壊の研究は、この計画の主目的である。

▶ ILCの特徴のひとつとして、始状態が既知であるためにZを組むだけでヒッグスの生成を確認できる、という点が挙げられる。

→すなわち、例えば右のZHイベントでは、衝突のエネルギーとZボソンから壊れた粒子の運動量から、ヒッグスが生成されたかどうか判断することができるのである！

▶ 本研究では $E_{CM} = 250$  [GeV]での衝突で支配的なヒッグスの生成イベント(ゴールデンモードと呼ばれる)である $e^+e^- \rightarrow ZH$ イベントを用いて解析する。



### 2. ヒッグスのCP mixture について

標準理論では完全にCP偶(even)なヒッグスであるが、SUSYをはじめとする新物理では、その限りでない。

★SM  
ヒッグスの波動関数  
=SU(2) doublet scalar場 1つ

→4自由度の内、3つがZ, W±に食われ、1つの自由度が残る。

→h

このhのCPは偶である。

★2HDM (2 Higgs Doublet Model)  
ヒッグスの波動関数  
=SU(2) doublet scalar場 2つ

→8自由度の内、3つがZ, W±に食われ、5つの自由度が残る。

→h, A<sup>0</sup>, H<sup>0</sup>, H<sup>±</sup>, H

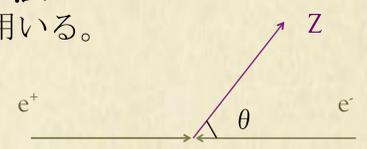
この内hはCP偶、A<sup>0</sup>はCP奇であり、これらが混ざることによってヒッグスのCPに奇の寄与が生じる。

しかるにヒッグスのCPを測ることは、新物理探究に関連して非常に重要な課題である。研究の最終目標としてCP mixtureである $\eta$  (CPの混ざり度合い)を解析することを掲げる。

- I. ヒッグスのCPが完全に偶であるならば、ILC実験で $\eta$ ほどの程度小さい値として測定されるのか？
- II. ヒッグスのCPに奇の寄与があるならば、ある $\eta$ の値に対してどの程度の精度で測定が可能なのか？

### 3. CP mixture $\eta$ の測定方法

下図の $e^+e^- \rightarrow Zh \rightarrow \mu^+ \mu^- h$ の反応を用いる。



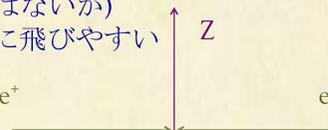
Zの生成角を $\cos \theta$ とすると微分断面積は以下で与えられる。

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

→ $\eta$ の1次で偶と奇とが干渉

$\eta = 0$ ならば上式は $\cos \theta = 0$ について対称な関数であるが、 $\eta \neq 0$ ならば $\cos \theta$ の1次の項が現れ、微分断面積に非対称性が見られる。= Forward-Backward Asymmetry  
すなわち、ヒッグスのCPに奇の寄与がある場合には、一緒に生成されるZボソンの生成角 $\cos \theta$ に偏りが生じる。

★  $\eta = 0$ の場合  
(顕著ではないが)  
 $\cos \theta = 0$ に飛びやすい



★  $\eta \neq 0$ の場合  
Forward-Backward Asymmetryが見られる

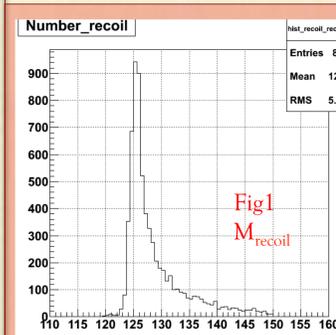


### 4. 解析の流れ

再構成情報とMC情報から $\cos \theta$ の検出効率(efficiency)を出せればよい。以下にselectionやカット、具体的な解析の手順を示す。

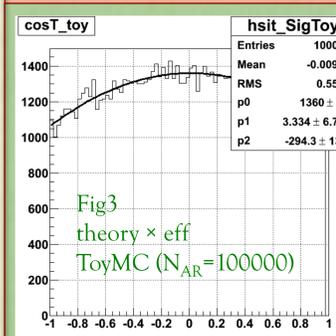
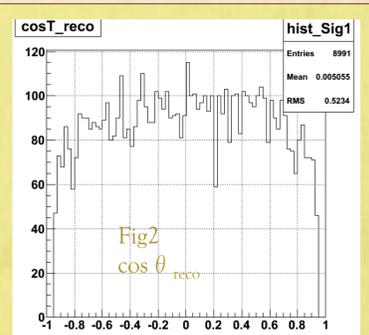
- I. アイソレイトなミューオンペアを見つける
  - 電荷を持っていること
  - ・エネルギー $\geq 10$ GeV
  - ・ECALで落としたエネルギー $\leq 2.5$ GeV
  - ・HCALで落としたエネルギー $\leq 10$ GeV
- II. 不変質量を組み、Zから壊れたものかどうかを判別
  - 1イベント毎に $|M_{dl} - 91.2|$ を最小にするペアを探し出す
  - ・ $80 < M_{dl} < 100$
- III. 反跳質量を組み、hが生成されたかどうかを判別(Fig1)
  - $115 < M_{recoil} < 150$  (改善の余地あり)
- IV. di-muonの横運動量  $P_{Tdl} > 20$  (ZZをカット)
- V. di-muonの方位角差  $0.2 < \Delta\phi < 3.0$  (Bhabha散乱をカット)
- VI. ミューオンの運動量から $\cos \theta$ を計算し分布を取得(Fig2)
- VII. MC情報から $\cos \theta$ の分布を取得
- VIII. スピン偏極の左巻きと右巻きを重み付けして統合
- IX. VIをVIIで割り、 $\cos \theta$ のeffの分布を取得してFitting
- X.  $\eta = 0$ の理論式にefficiencyをかけ、そのToyMCを作成(Fig3)
- XI. ToyMCのFitting parameterと $\eta \neq 0$ の理論式を比較し、 $\eta$ を決定
  - ※MCと寸分違わず再構成できれば当然 $\eta = 0$ となるが
  - 検出効率に非対称性があると $\eta \neq 0$ の値を持ってしまう
- XII. VII, VIIIを繰り返す、measured  $\eta$ の分布を取得(Fig4)

### 5. 結果



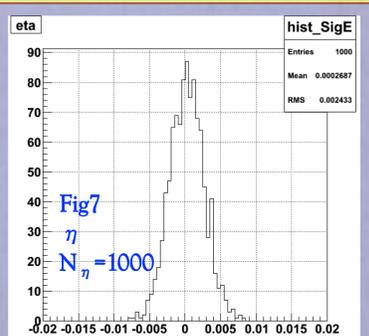
←反跳質量 (ヒッグス)  
 $M_h = 125$ GeV  
テールはFSRによるものと思われる

生成角 $\cos \theta_{reco}$   
これとMC情報から、検出効率effの分布を得る



←(theory)\*(eff)のToyMC  
これを用いて $\eta$ の値をモンテカルロで決定する

MCで求めた $\eta$   
分布の中心値がほぼ0であることが分かる



### 6. 考察と今後

- ▶ 今回は標準理論に従う(=CPが完全に偶な)サンプルを用いたため、 $\eta$ の値は小さいものと予想されたが、結果として確かに $\eta$ の値が小さいと確認された。
- ▶ これを詳しく見るために、 $\eta$ の誤差を求め、pullの分布を得る必要がある。これがmean=0, width=1のガウス分布になったならば、 $\eta$ が誤差の範囲内にあることが示せる。
- ▶ バックグラウンドスタディも行わなければならない。
- ▶ その後はヒッグスのCPに奇の寄与があるgeneratorを作成し、その場合の $\eta$ の感度を解析していく。