



Search for Higgs portal Dark matter

東北大学 素粒子実験研究室

M2 山本 歩

11/05

目次

1. 導入
2. ILC
3. 解析条件
4. シグナルとバックグラウンド事象の選定
5. 物理事象の再構成
6. バックグラウンド事象の除去
7. シグナル生成断面積のUpper limit

Introduction

標準模型は基礎的な物理現象を記述するモデルとして成功を収め、
未発見であったヒッグス粒子もATLAS実験で発見された

しかし、標準模型では説明できない問題も存在し、本研究の動機づけとなる
問題として**暗黒物質問題**をとりあげる

暗黒物質

→光と相互作用しない未知の物質、宇宙に23%存在

→渦巻銀河の回転速度の観測結果からその存在が示唆

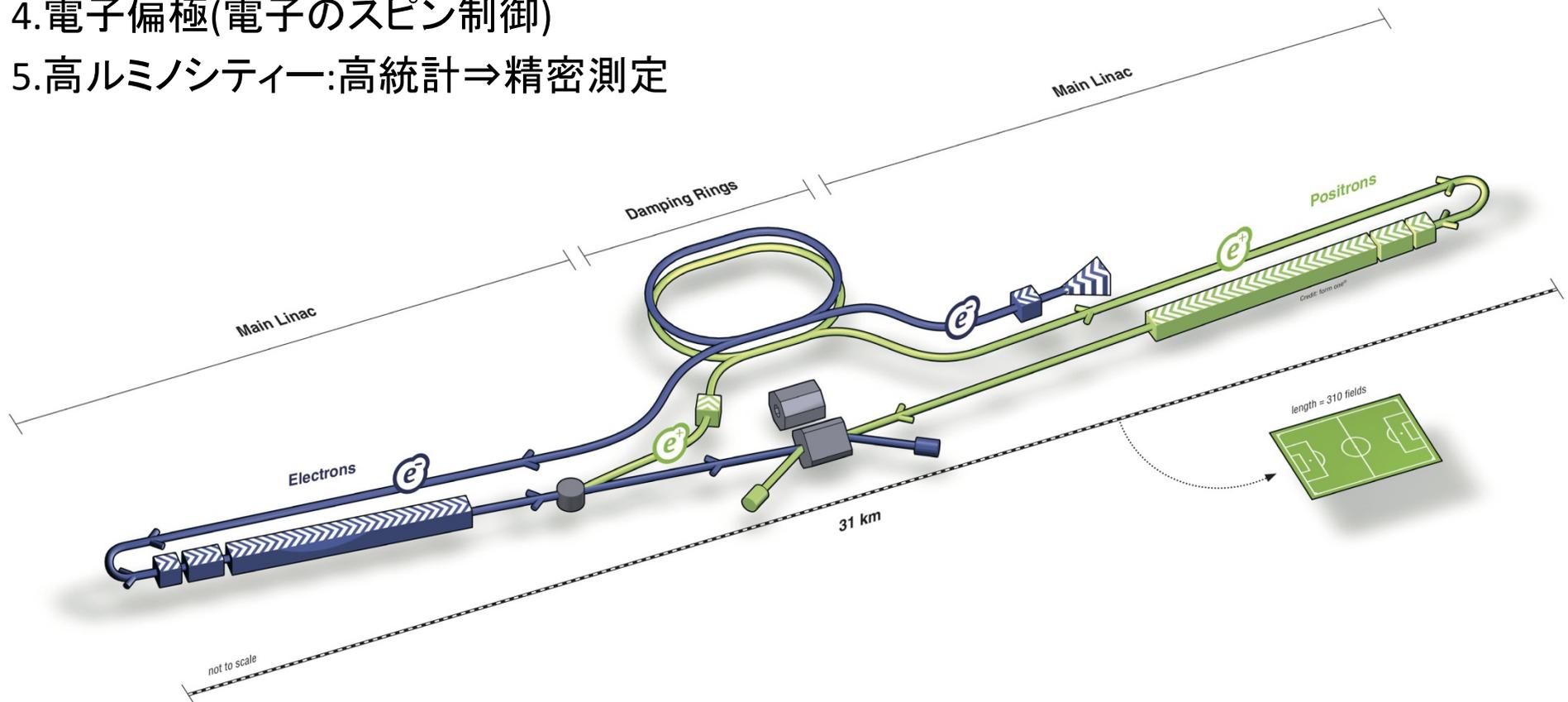
暗黒物質が、ヒッグスとのみ相互作用するモデルーヒッグス・ポータルモデルー
による場合、ハドロンコライダーによる暗黒物質の発見は難しい

**ILC実験のような電子陽電子衝突型加速器での
ヒッグス・ポータルモデルでの暗黒物質の検出感度を調べる**

International Linear Collider (電子陽電子衝突型線形加速器)

<電子陽電子衝突型線形加速器の特徴>

- 1.背景事象少ないクリーンな環境
- 2.重心系エネルギー制御できる。
- 3.重心系エネルギー: $E_{CM}=250\sim 500\text{GeV}$
- 4.電子偏極(電子のスピンの制御)
- 5.高ルミノシティ:高統計 \Rightarrow 精密測定



解析条件

■ Machin Parameters

- *Ecm=250GeV
- *luminosity : 1[ab⁻¹]
- *electron polarization :0.8
- *positron polarization :-0.3

■ Model Parameters

- *Spin of DM : 1/2
- *DM mass : 50GeV
- *Cf : 6.86
- *Λ : 1000

■ Event Generation

- * luminosity1 [ab⁻¹] のバックグラウンドイベントの生成.
- * シグナル生成断面積を 15fbと仮定.

$$\text{Electro polarization} \quad \frac{N_{e^-R} - N_{e^-L}}{N_{e^-R} + N_{e^-L}}$$

$$\text{positron polarization} \quad \frac{N_{e^+R} - N_{e^+L}}{N_{e^+R} + N_{e^+L}}$$

$N_{e^-R,L}$ 右巻き、左巻き電子の数

$N_{e^+R,L}$ 右巻き、左巻き陽電子の数

表1. バックグラウンド生成断面積

Event Selection	eeZ	evW	vvZ	WW	ZZ
Cross Section [fb]	3992	684	5	2783	982

シグナルとバックグラウンド事象の選定

■シグナル事象

$$e^+e^- \rightarrow ZH \rightarrow qq \text{ DM DM} .$$

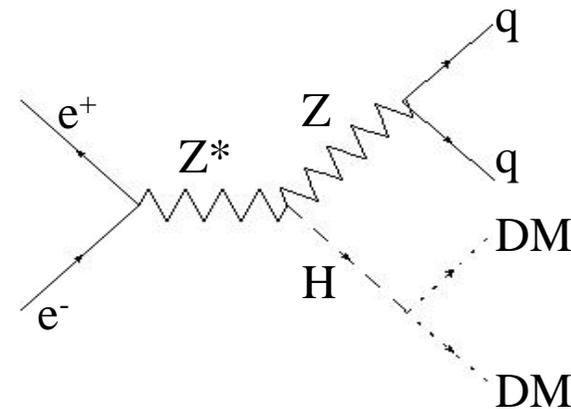
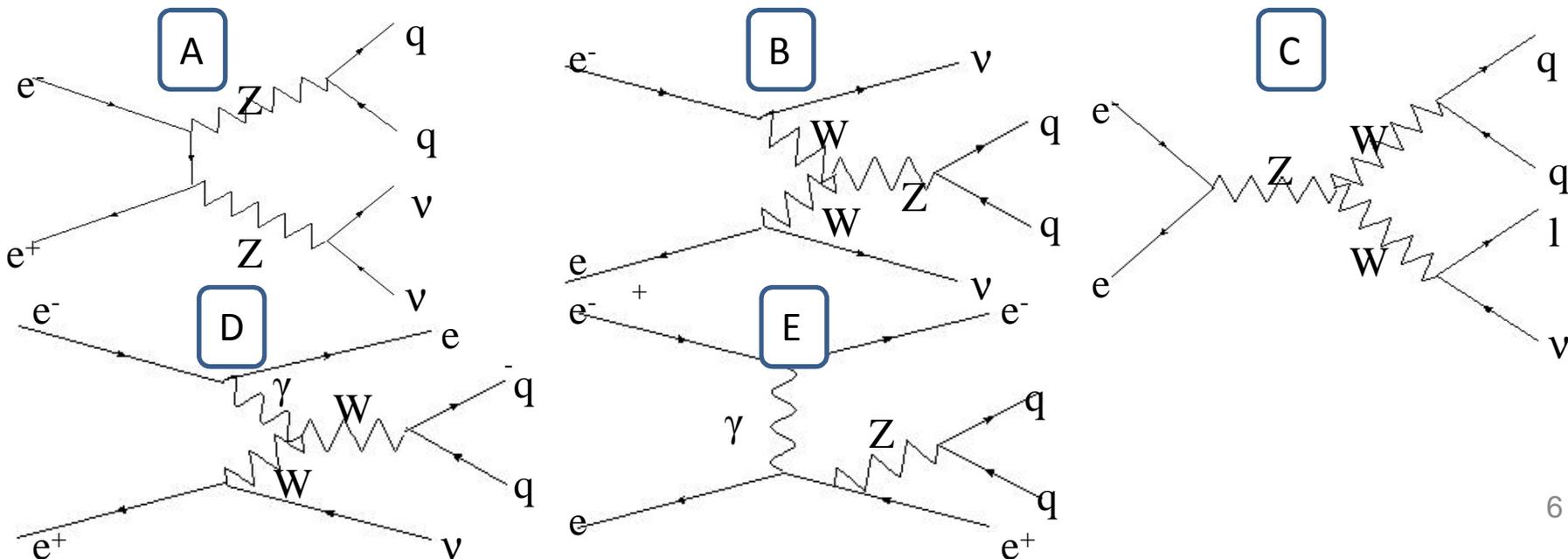


図1.シグナル

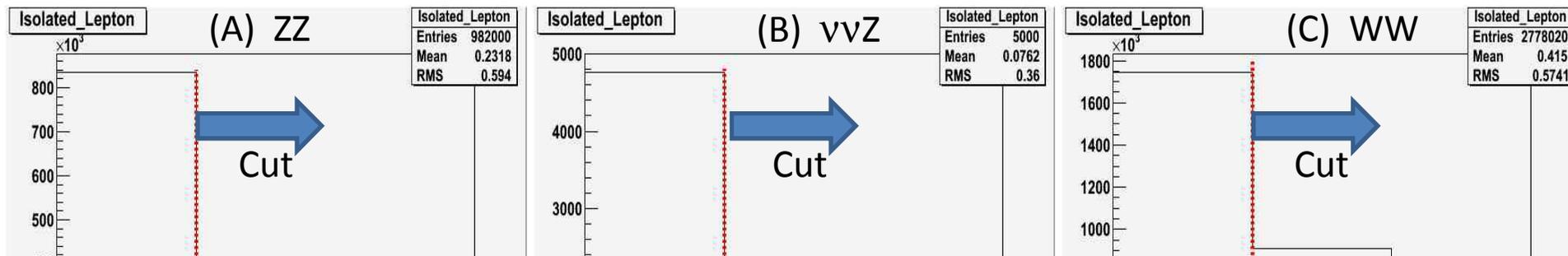
■バックグラウンド事象

バックグラウンド事象 : その終状態がシグナル事象の終状態と類似した事象

- (A) ZZ (B) $\nu\nu Z \rightarrow \nu\nu qq$ (C) WW (D) $e\nu W \rightarrow e\nu qq$ (E) $eeZ \rightarrow eeqq$



物理事象の選択 Isolated Lepton Cut



(i) Isolated lepton cut

$e^+e^- \rightarrow WW, eeZ$ background はisolated lepton が含まれる

isolated lepton \rightarrow トラックのエネルギー $> 10\text{GeV}$

cone エネルギー $< 1\text{GeV}$

$\rightarrow e^+e^- \rightarrow WW, eeZ$ background を取り除く

Non-isolated lepton **Isolated lepton**

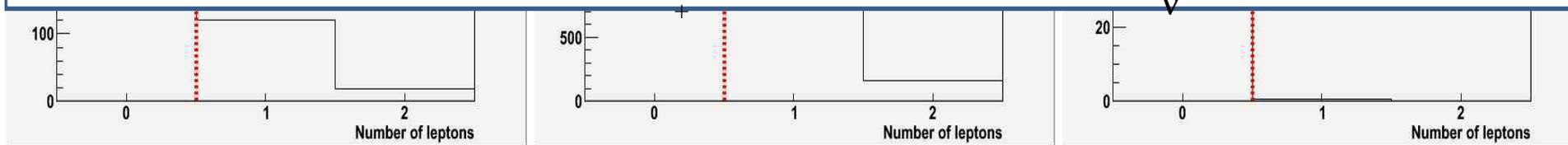
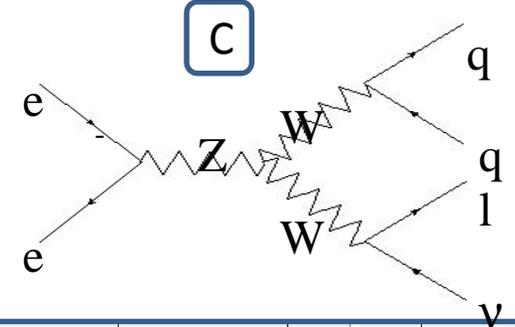
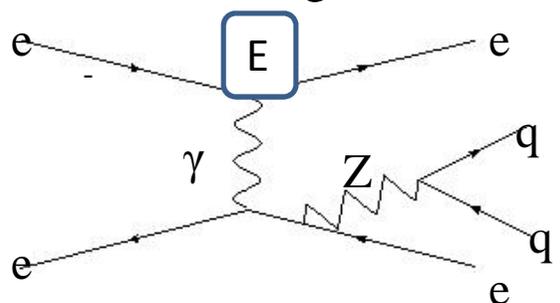
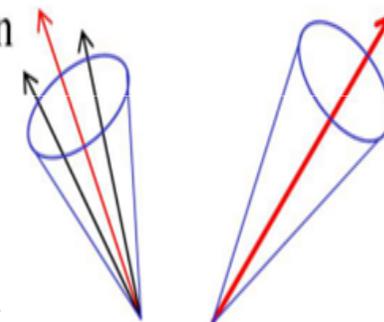


図3 .Isolated lepton の数

物理事象の選択 Isolated Lepton Cut

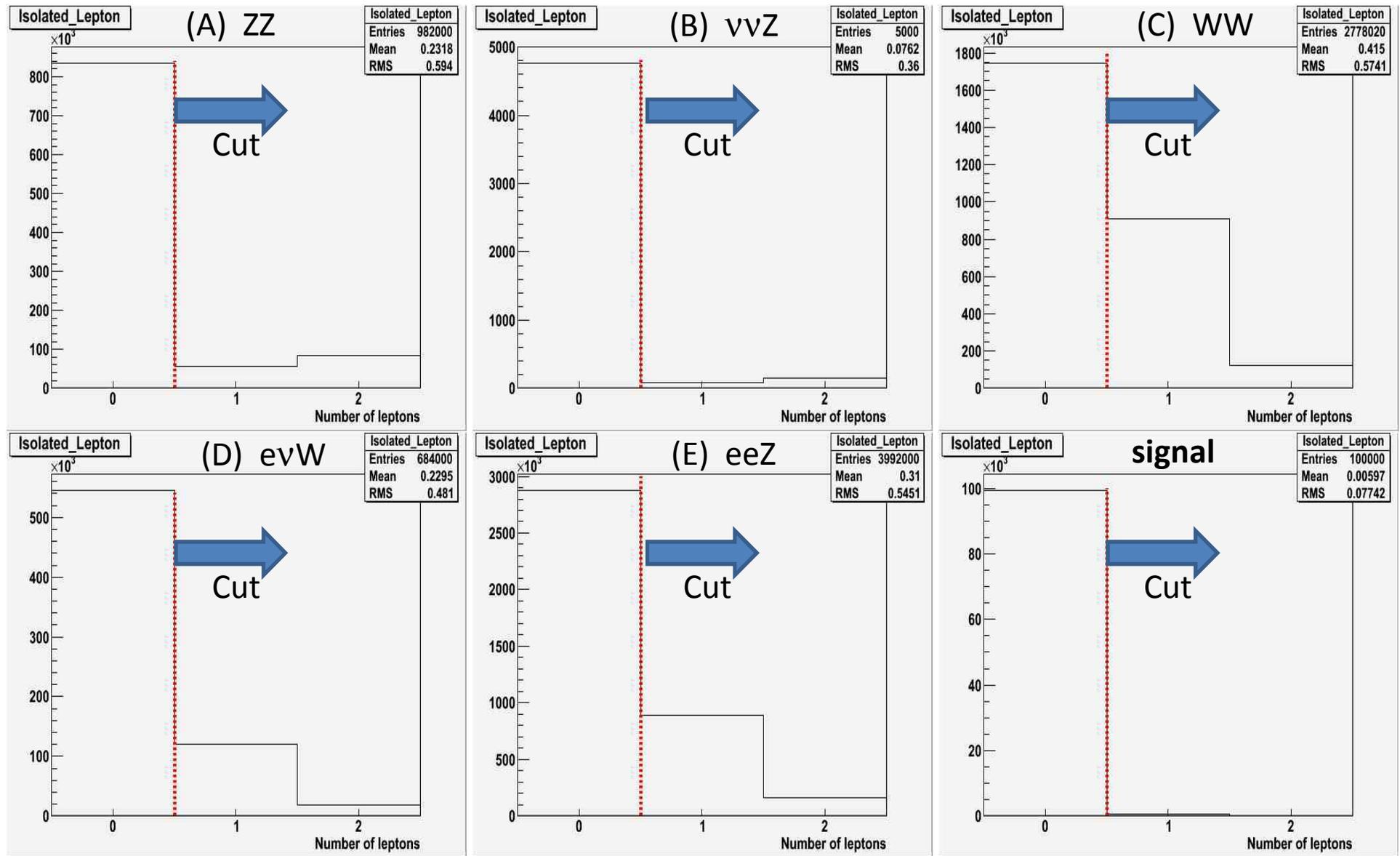
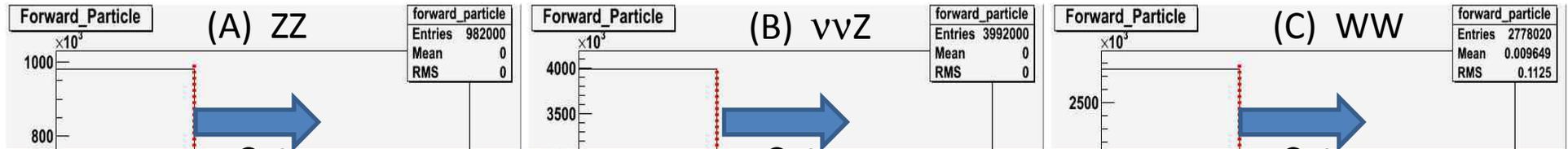


図3 .Isolated lepton の数

物理事象の選択 Forward Electron Veto



(ii) Forward electron veto

$e^+e^- \rightarrow e\nu W, eeZ$ background では、ビームパイプに抜ける電子が含まれる

条件: $E_e > 5\text{GeV}$ and $0.98 < |\cos\theta_e| < 0.9999875$

* $\cos\theta_e$: 電子の散乱方向とビーム軸の形成角

→ $e^+e^- \rightarrow e\nu W, eeZ$ backgroundを取り除く

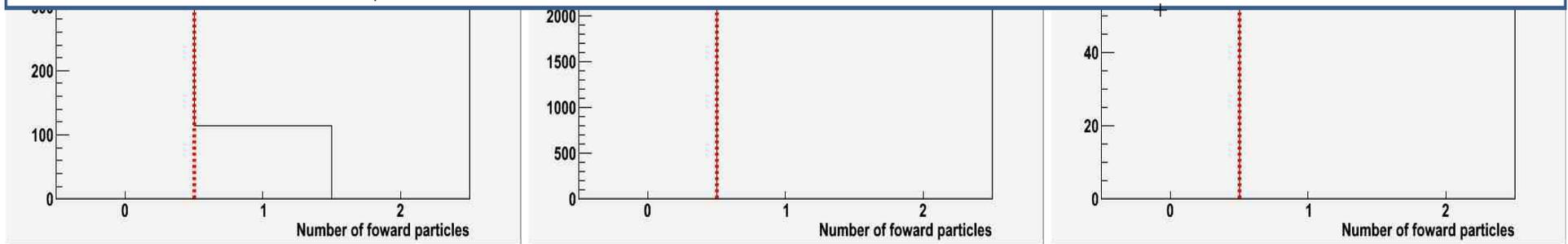
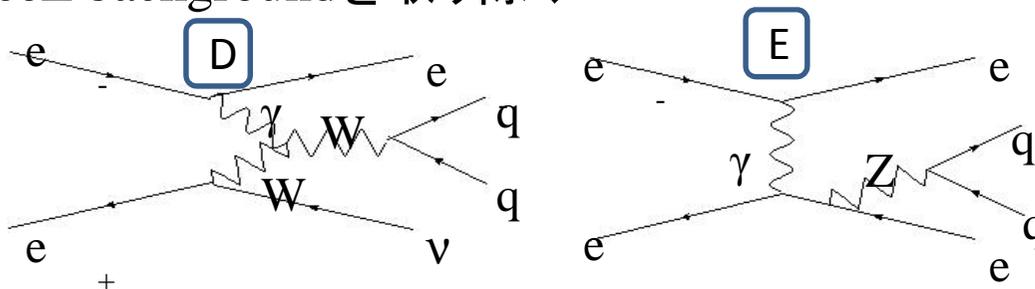


図4. Forward electrons の数

物理事象の選択 Forward Electron Veto

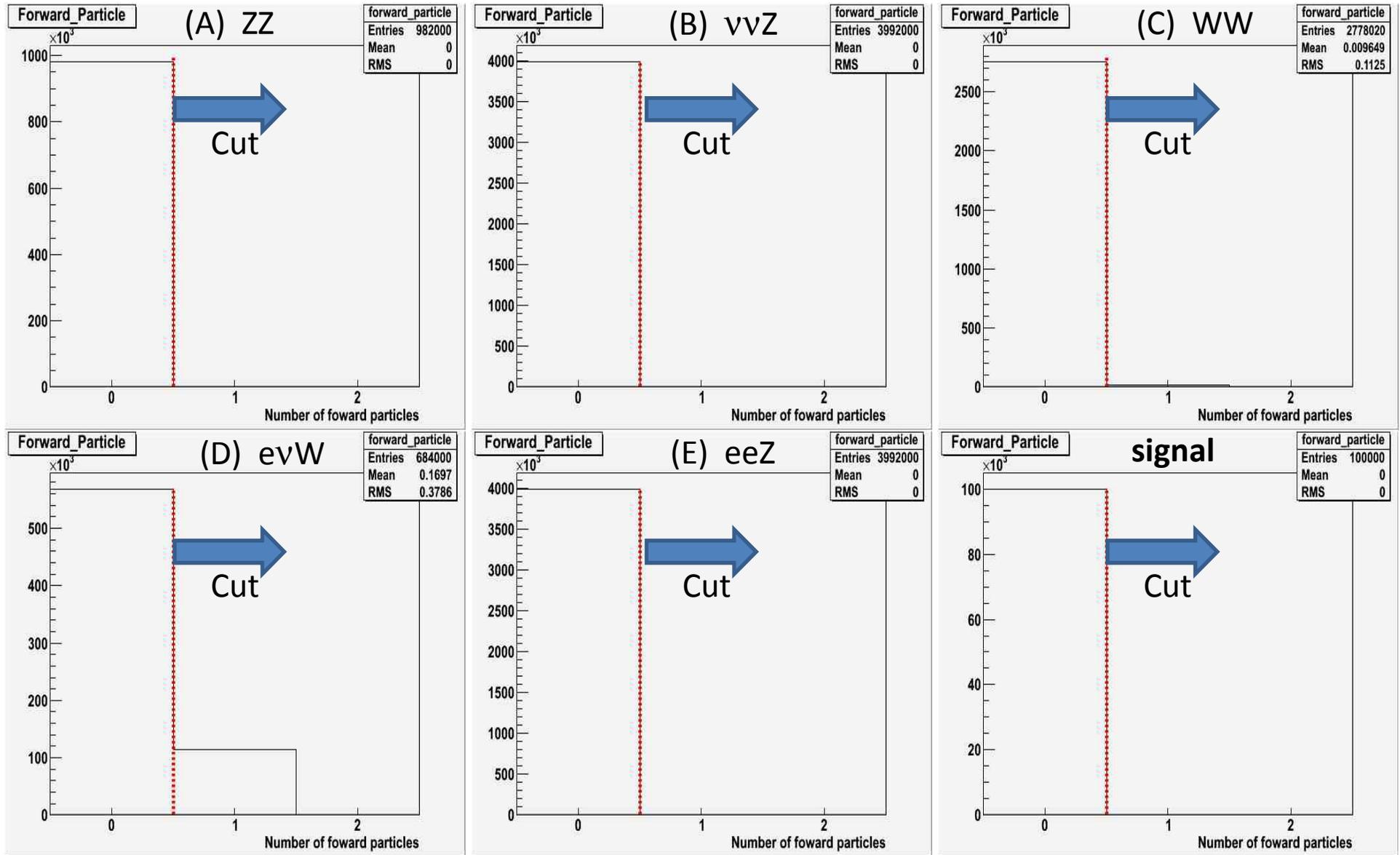
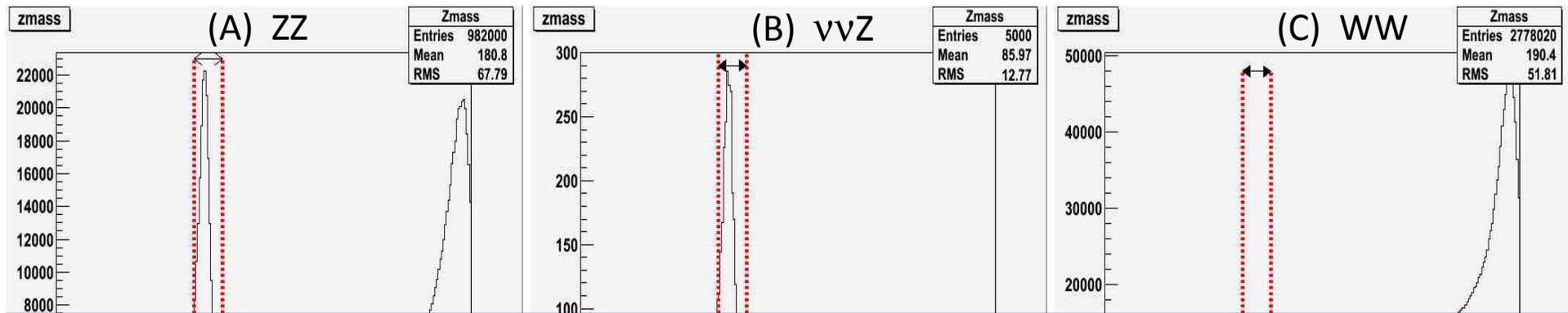


図4. Forward electrons の数

物理事象の選択 Z mass cut



(iii) Z mass cut

signal であれば、2 Jets のinvariant mass はZ ボソンの質量に等しい

→ $83\text{GeV} < z\text{mass} < 100\text{GeV}$ を満たす事象を選択

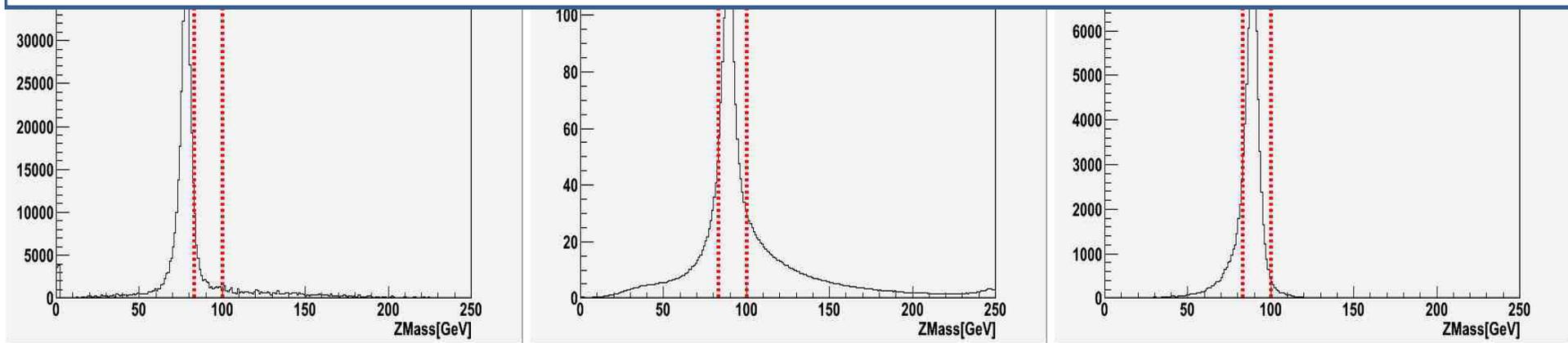


図5.Zボソン質量分布

物理事象の選択 Z mass cut

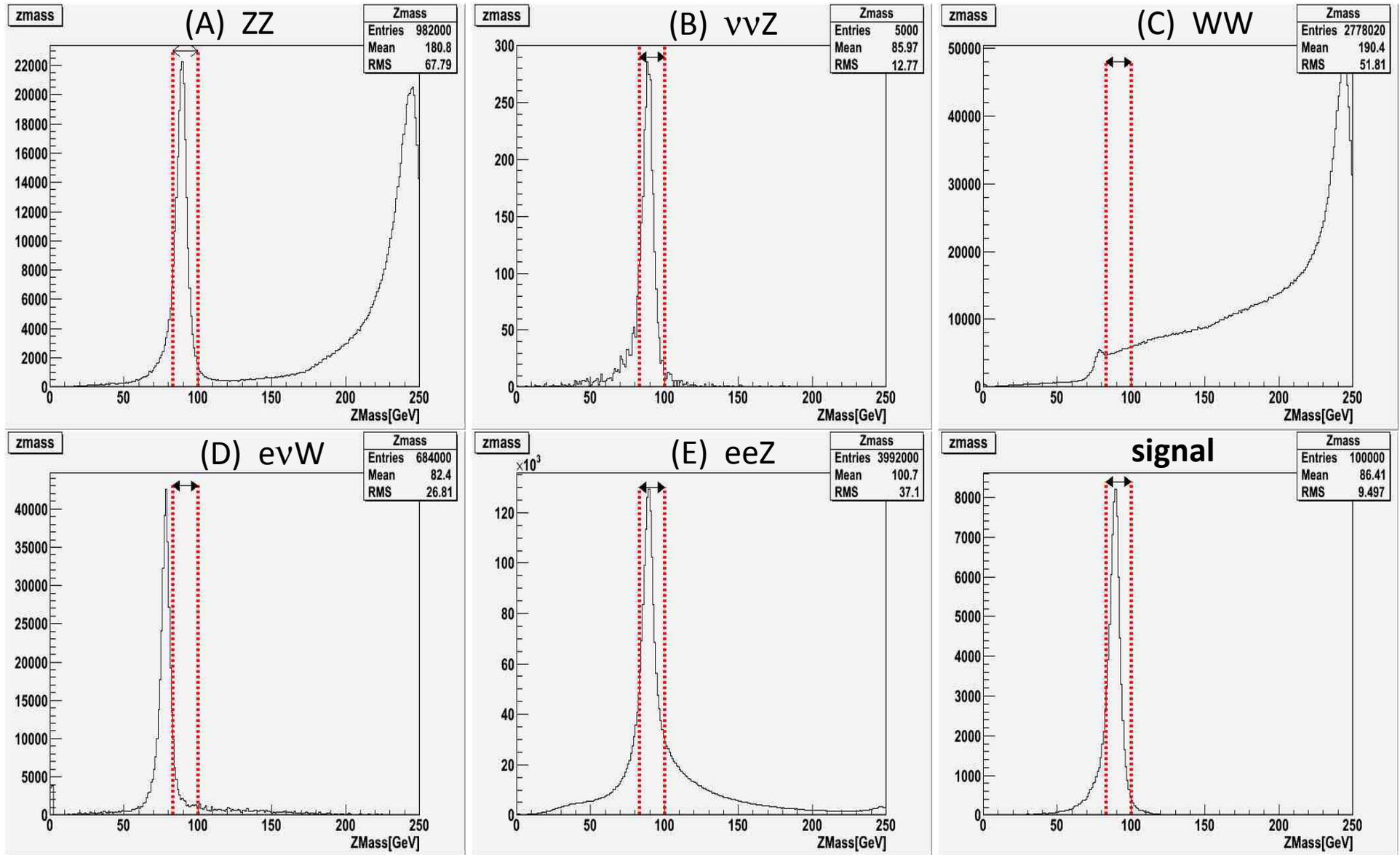


図5.Zボソン質量分布

Likelihood Function

■ Background



ZZ background



evW background



vvZ background



WW background



eeZ background

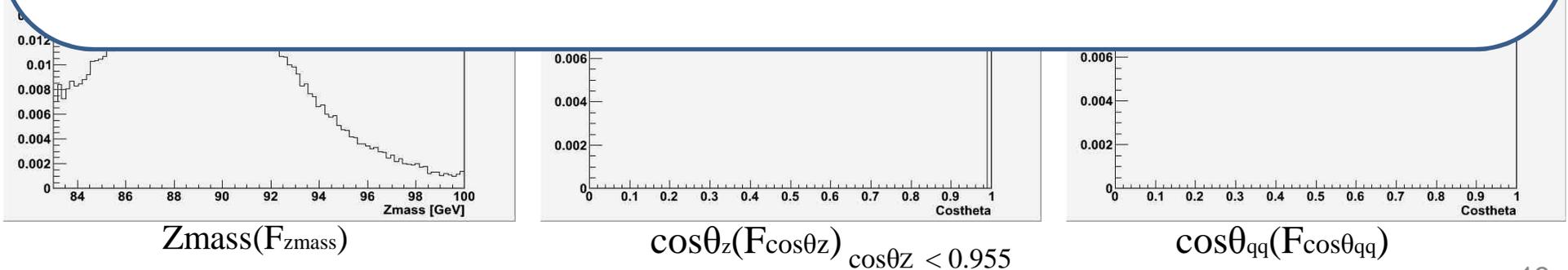


①: Likelihood function の定義

▪ Likelihood function のパラメータは次のZボソンの運動学変数を使用した。

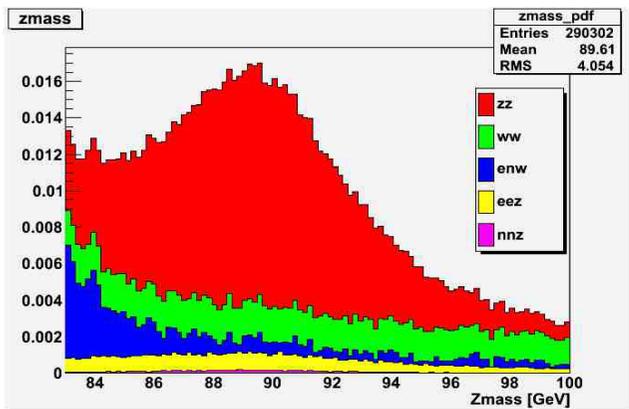
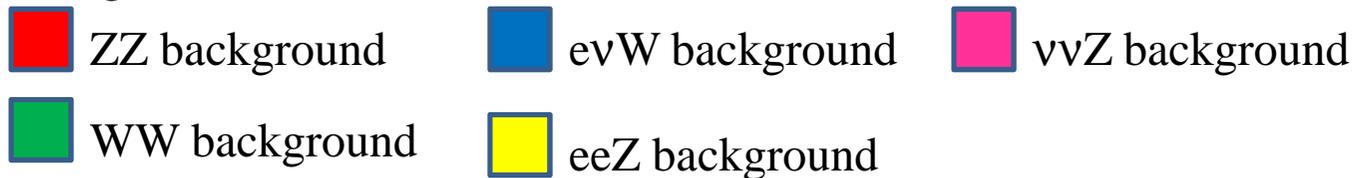
1. Zボソンの質量 Z_{mass}
2. Zボソンの散乱角度分布 $\cos\theta_z$
3. Zボソンの静止系での2Jetの崩壊角度分布 $\cos\theta_{qq}$

▪ Likelihood function $L = F_{z_{\text{mass}}} \times F_{\cos\theta_z} \times F_{\cos\theta_{qq}}$

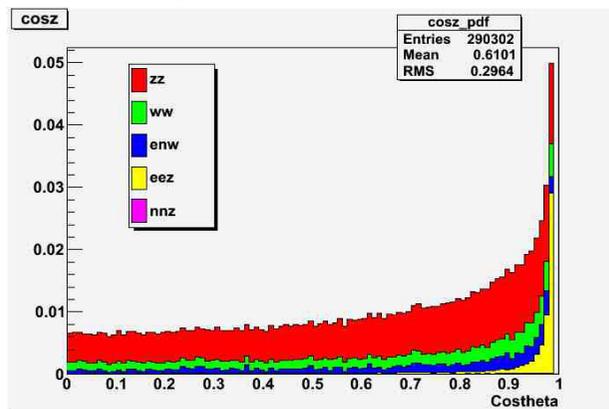


Likelihood Function

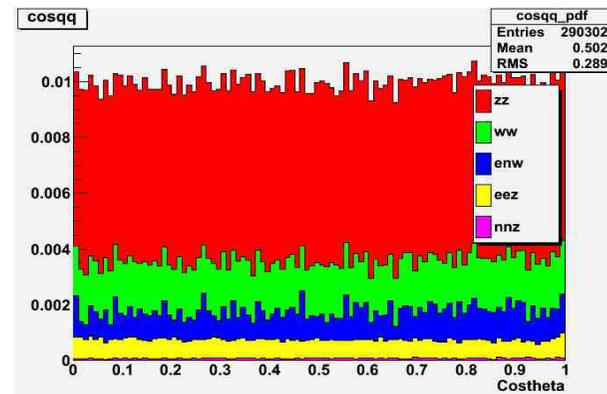
Background



Zmass(F_{zmass})

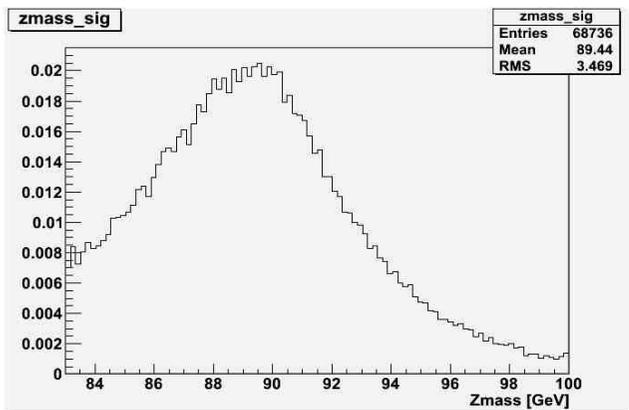


$\cos\theta_z(F_{\cos\theta_z})$

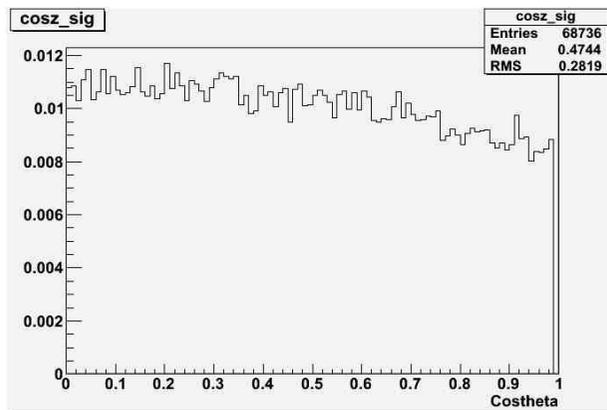


$\cos\theta_{qq}(F_{\cos\theta_{qq}})$

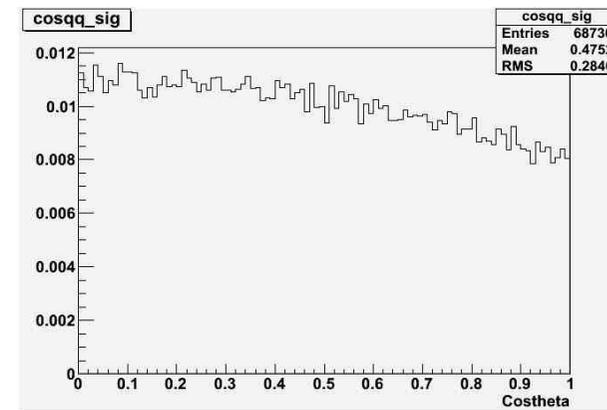
Signal



Zmass(F_{zmass})



$\cos\theta_z(F_{\cos\theta_z})$ $\cos\theta_z < 0.955$



$\cos\theta_{qq}(F_{\cos\theta_{qq}})$

Likelihood Ratio

②: Likelihood ratio の定義

Likelihood ratio を次のように定義した。

$$\text{Likelihood Ratio} = \frac{L_{sig}}{L_{sig} + L_{bg}}$$

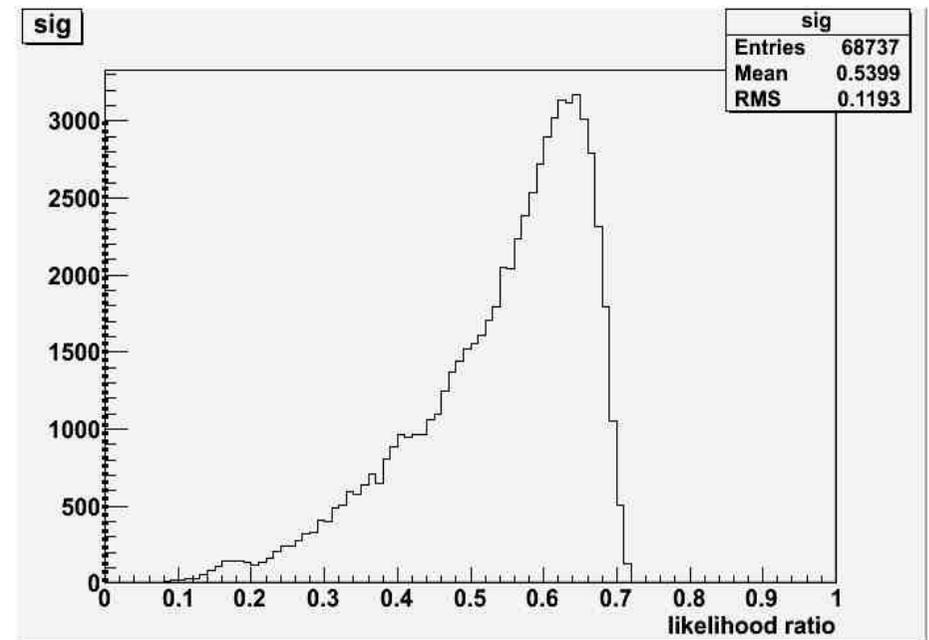
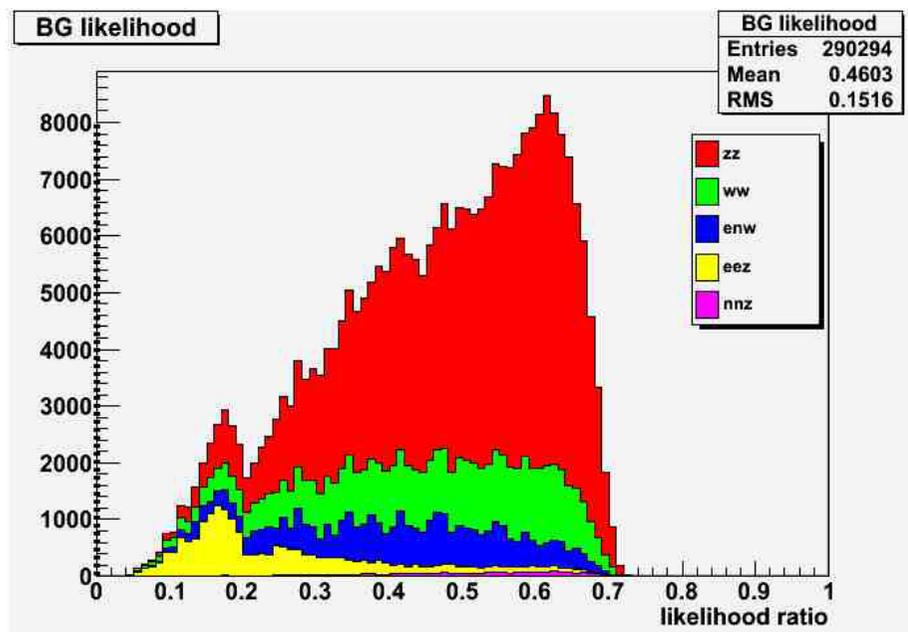


図12. likelihood ratio distribution

Likelihood Ratio Cut

Significanceを最大にするためのlikelihood ratioの最適化

16

→best likelihood ratio は0.3である

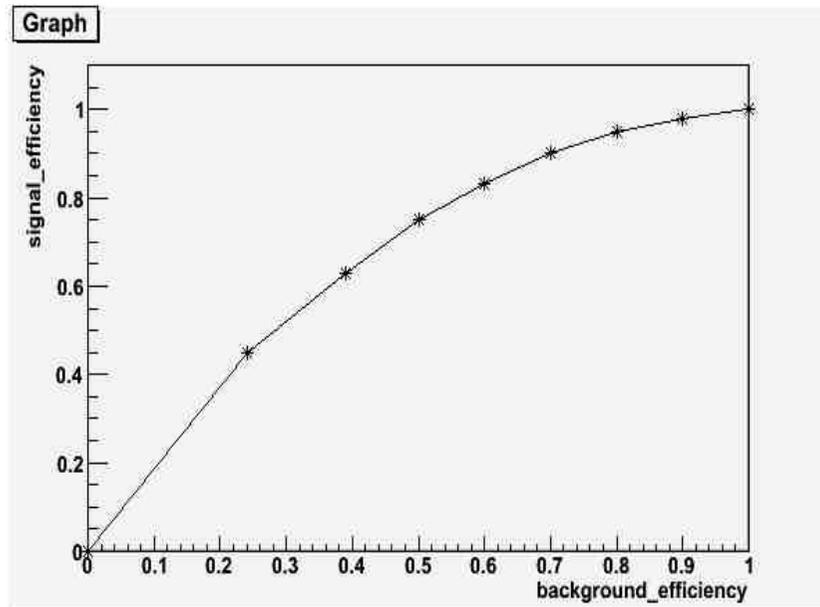


図13. signal efficiency vs bg efficiency

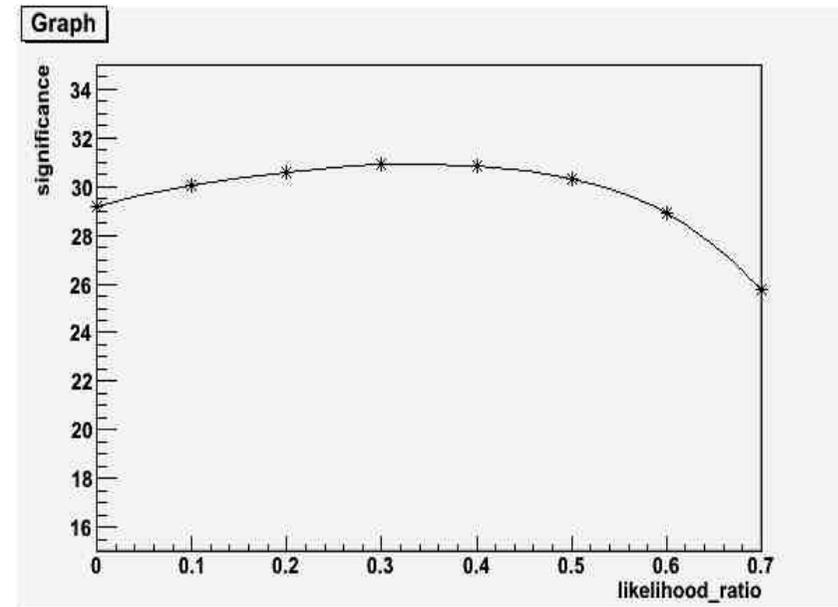


図14. significance

表2. signal , background efficiency

R=>	background	signal
0	1.00	1.00
0.1	0.90	0.98
0.2	0.80	0.95
0.3	0.70	0.90
0.4	0.60	0.83
0.5	0.50	0.75
0.6	0.39	0.63
0.7	0.24	0.45

表3. significance vs likelihood ratio

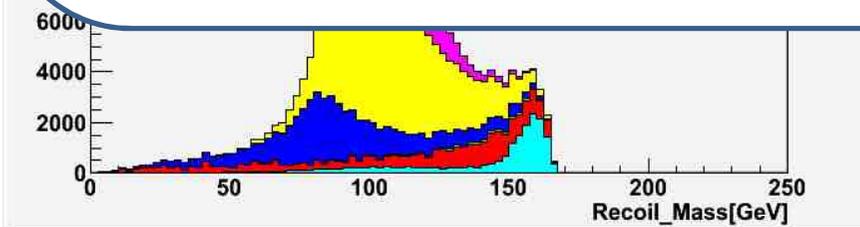
R=>	background	signal	significance
0	90134	9193	29.17
0.1	80837	9024	30.10
0.2	72417	8720	30.61
0.3	63318	8268	30.90
0.4	53805	7648	30.85
0.5	45006	6915	30.35
0.6	34785	5832	28.94
0.7	21605	4134	25.77



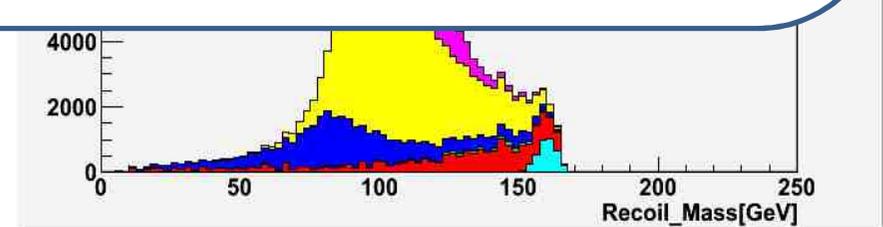
表4. カットによるシグナルとバックグラウンドの推移

Event Selection	Signal	eeZ	evW	WW	ZZ	Zvv
cut nothing	15000	3992000	684000	2778020	982000	5000
Isolated lepton	13635	198646	371140	1342040	676385	3206
Forward particle	13635	198646	305944	1332730	676385	3206
Z Mass	10310	19306	29946	52951	185722	2364
0.3<=Likelihood ratio	9195	3834	20228	34317	149965	1928
115<missm<145	8268	58	6826	4896	29057	1041

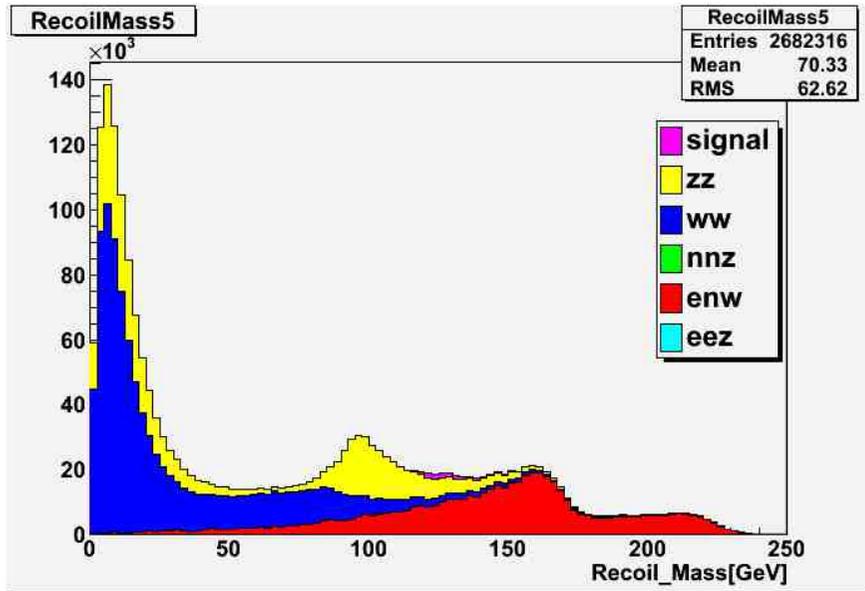
$$\text{significance} = \frac{S}{\sqrt{S + N}} = 36.9$$



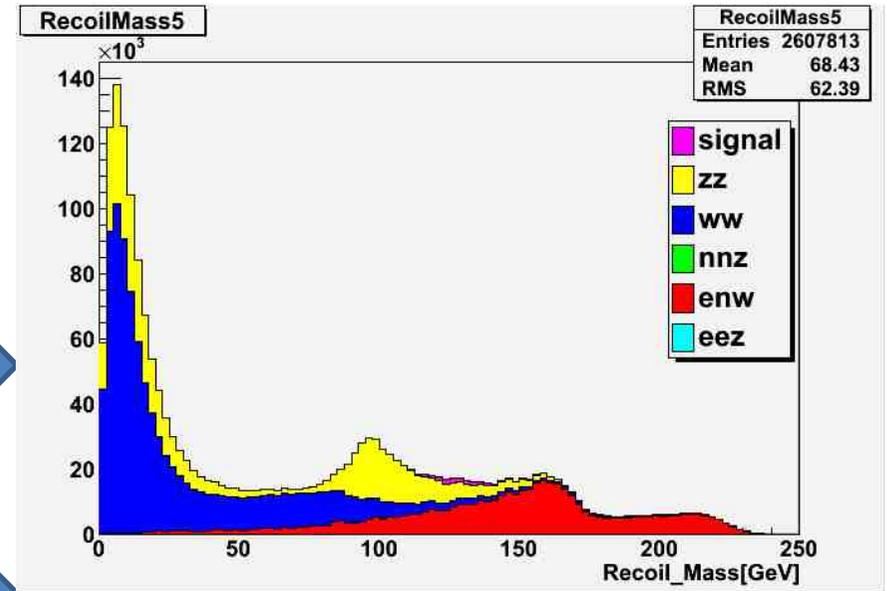
③ 83 < Z mass < 100



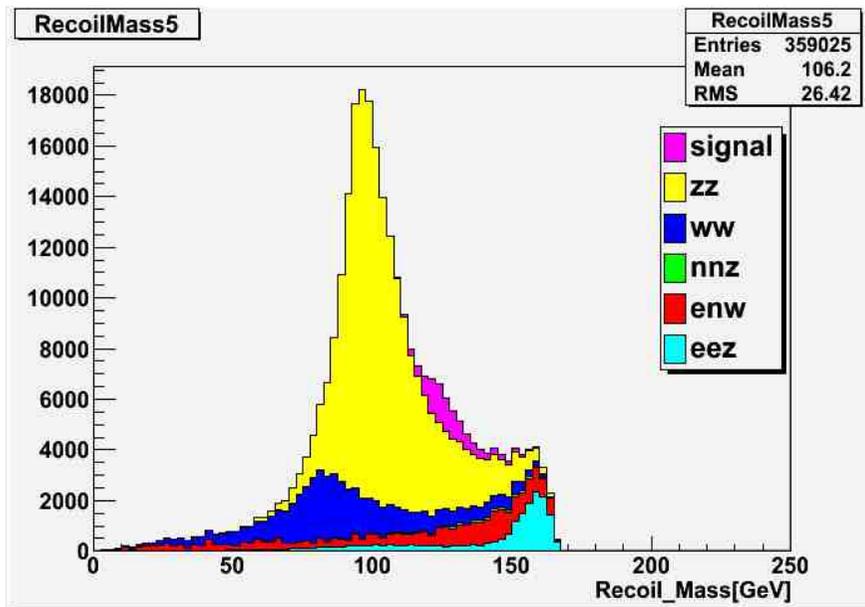
④ 0.3 < Likelihood Ratio



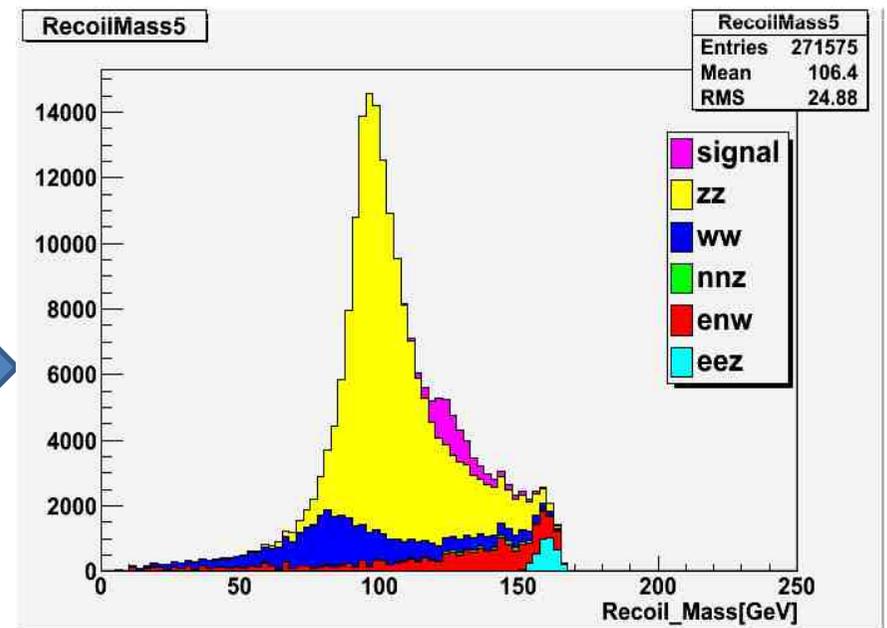
① Isolated lepton cut



② Forward electron cut



③ $83 < Z \text{ mass} < 100$



④ $0.3 < \text{Likelihood Ratio}$

Upper limits

① : シグナル断面積のILC実験による測定限界、Upper limit の見積もり

i.バックグラウンドの反跳質量分布 を

$$P = N_{\text{sig}} P_{\text{sig}} + N_{\text{bg}} P_{\text{bg}} \text{ によりフィット}$$

→ パラメータ N_{sig} を得る

P_{sig} : シグナルの反跳ぶ質量分布のPDF

P_{bg} : バックグラウンドの反跳ぶ質量分布のPDF

N_{sig} : シグナルイベント数 N_{bg} :バックグラウンドイベント数

ii. 1000回の試行を繰り返し、 N_{sig} の分布を得る

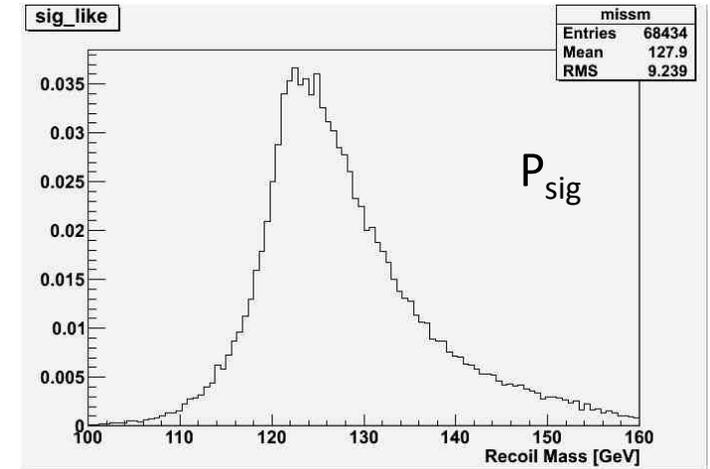


図16. シグナルのPDF

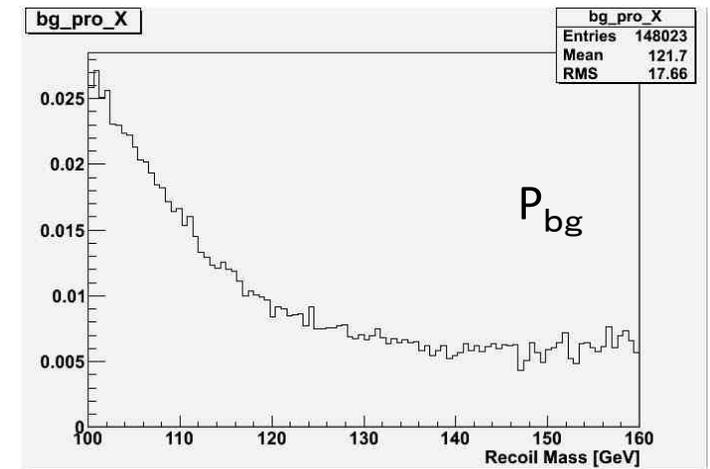


図17. バックグラウンドのPDF

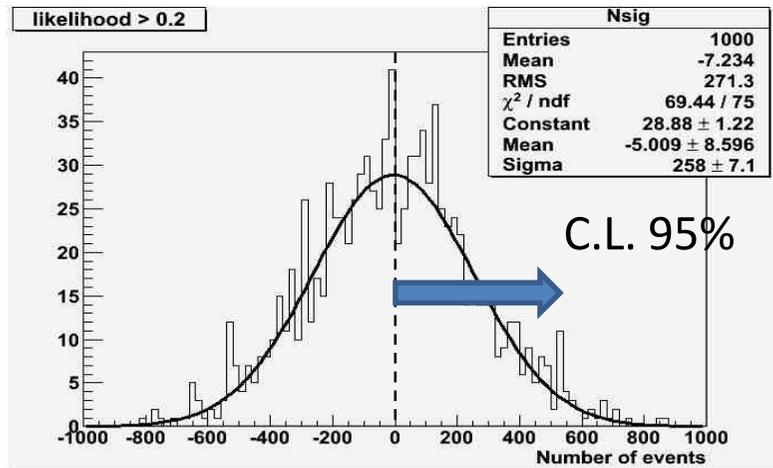
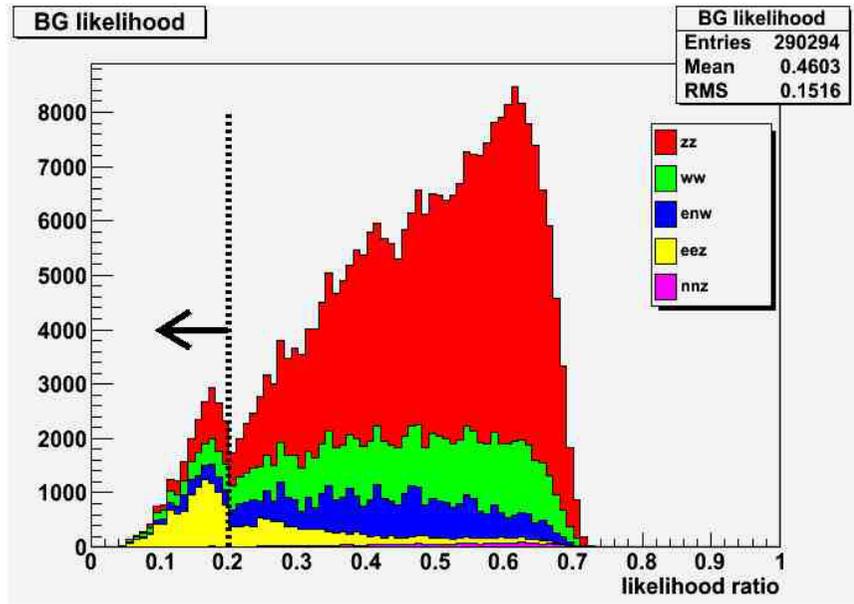


図15. パラメータ N_{sig}

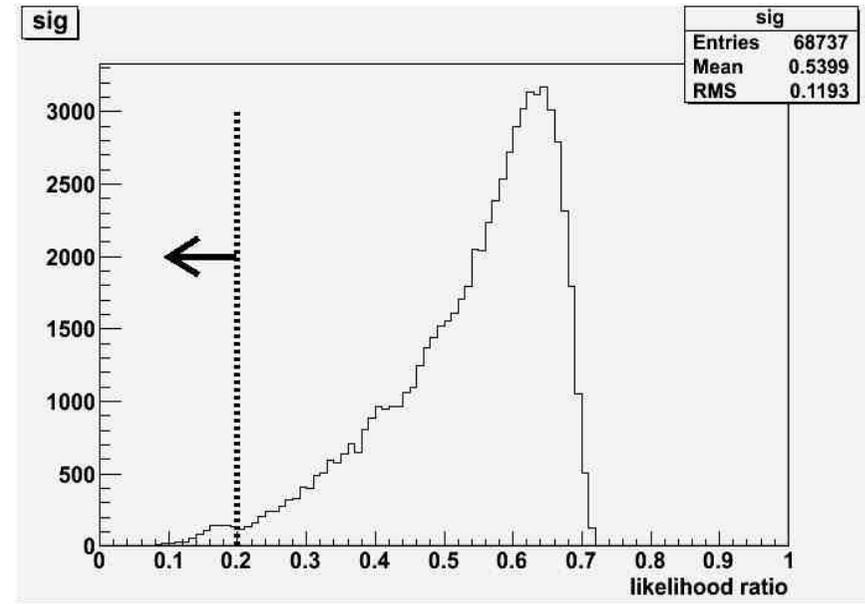
シグナル生成断面積のupper limitが求まる

②: Upper limit を最小にするためのlikelihood ratio の最適化について

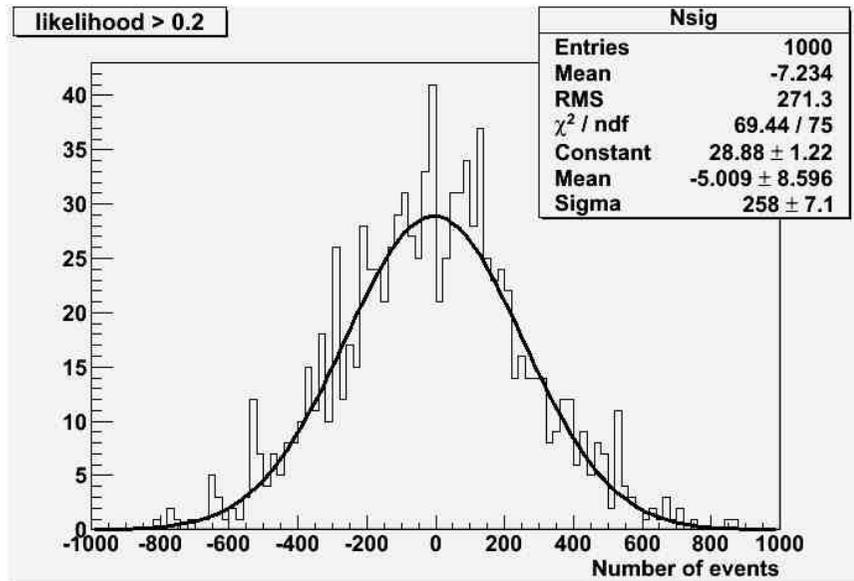
→Likelihood ratio が 0.0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7以下のイベントをカット



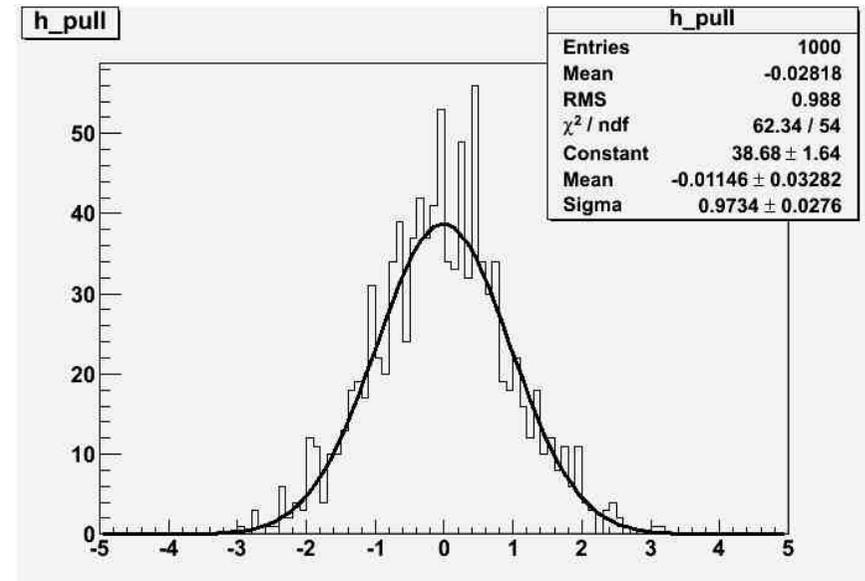
バックグラウンドのlikelihood ratio 分布



シグナルの likelihood ratio 分布



パラメータ N_{sig} の分布



pull distribution

Result

- シグナル断面積を0[fb]とし、見積もったupper limitを表5に示した。
→upper limitを最小にするbest likelihood ratio cutは0.4

表5. upper limit

likelihood ratio	$N_{\text{sig}}(\text{C.L. } 95\%)$	efficiency	upper limit [fb]
0	555	0.687	0.808
0.1	535	0.687	0.779
0.2	525	0.678	0.774
0.3	505	0.654	0.772
0.4	435	0.591	0.736
0.5	385	0.476	0.809
0.6	245	0.269	0.911
0.7	27	0.006	4.500

- 見積もられたシグナル断面積のupper limitからHiggs → DM DMのBranching ratioのupper limitを見積もった。

$$BR(H \rightarrow DM, DM) = \frac{\sigma_{DD}^{C.L.95\%}}{\sigma(e^+e^- \rightarrow ZH)} = 3.1 \times 10^{-3}$$

Summary and Plan

■ Summary

- ILC実験によるヒッグス・ポータルモデルでの暗黒物質の検出感度を見積もった。
→シグナル生成断面積のupper limit:0.736[fb]
- Branching ratio , $BR(H \rightarrow DM, DM)$ のupper limit : $BR(H \rightarrow DM, DM) = 3.1 \times 10^{-3}$

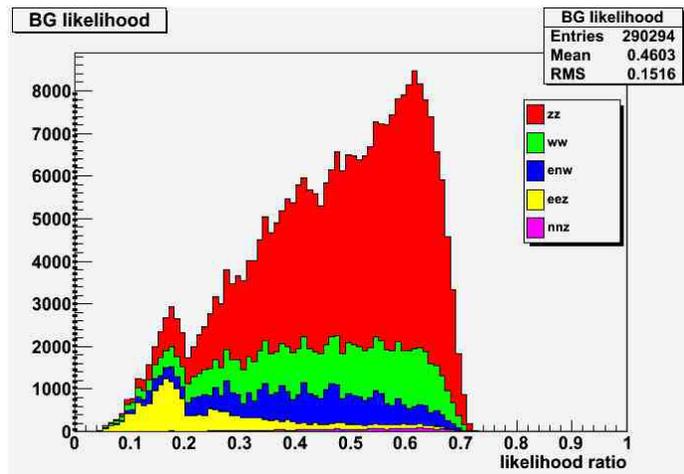
■ Plan

1. $H \rightarrow Z Z^* \rightarrow 4\nu$ バックグラウンドを考慮しシグナル断面積のupper limit を見積もる
2. $ZH \rightarrow \nu\nu (Z^* \nu\nu), \nu\nu (\nu\nu Z)$ バックグラウンドを考慮してシグナル断面積のupper limit を見積もる
3. DM質量を変えて、シグナル断面積のupper limit を見積もる
4. ヒッグス質量を125GeVにして解析する

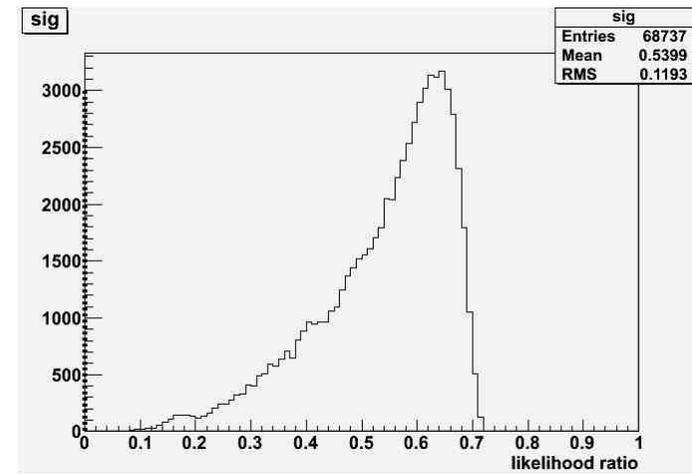
Back up

• Optimization of the likelihood ratio to minimize the upper limit of signal cross section.
 so , When likelihood ratio cut is smaller than 0.0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6 or 0.7, I showed distributions of N_{sig} parameter and pull distribution. →I found that the mode of distribution is near 0.

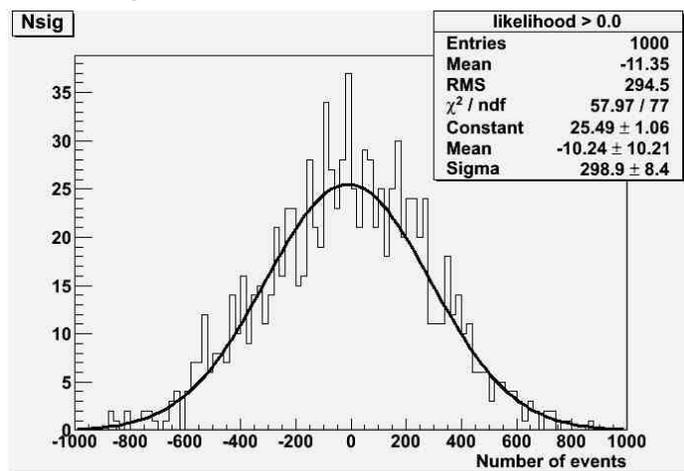
- Likelihood ratio > 0.0



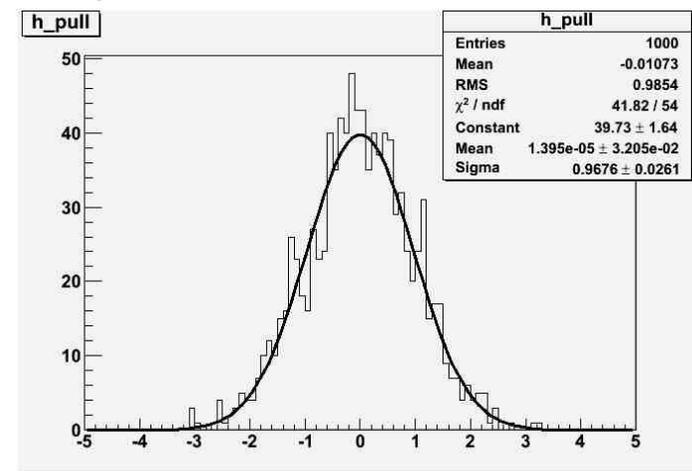
Background likelihood distributon



Signal likelihood distributon

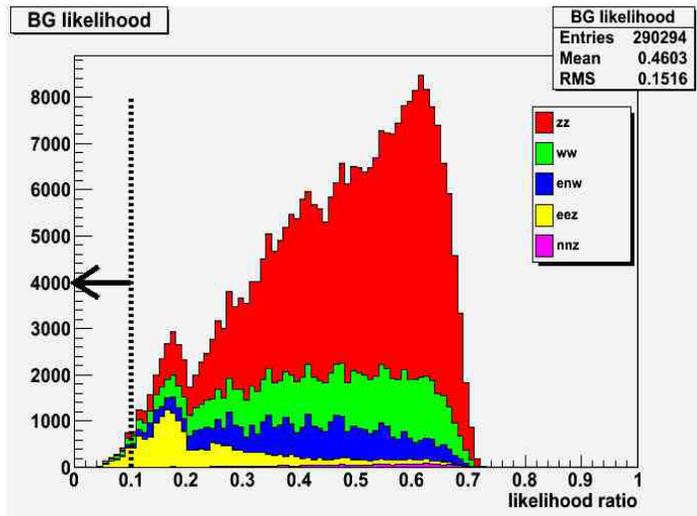


Distribution of parameter N_{sig}

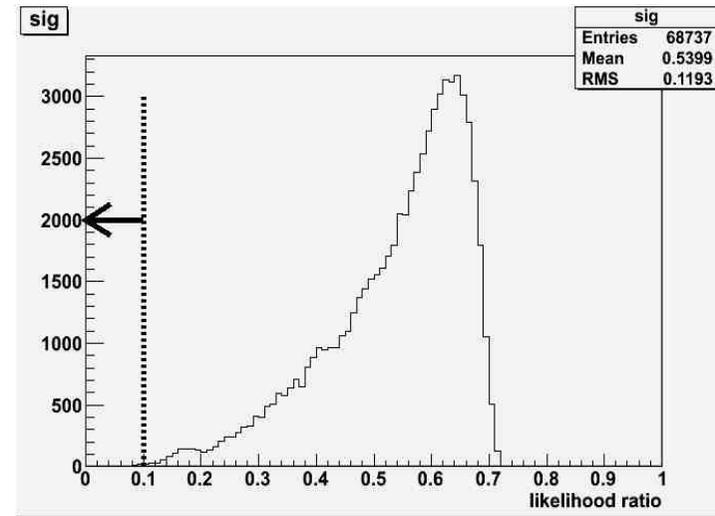


pull distribution

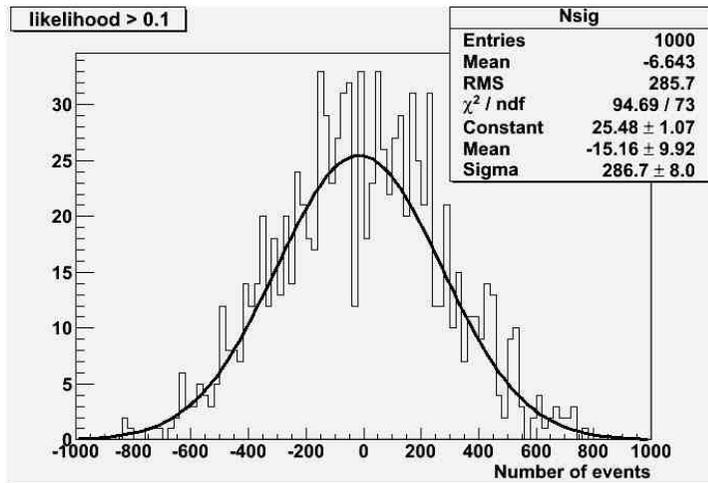
- Likelihood ratio > 0.1



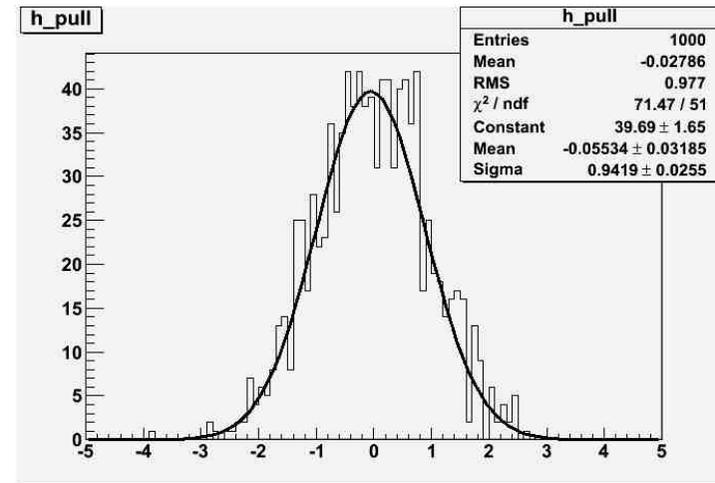
Background likelihood distribution



Signal likelihood distribution

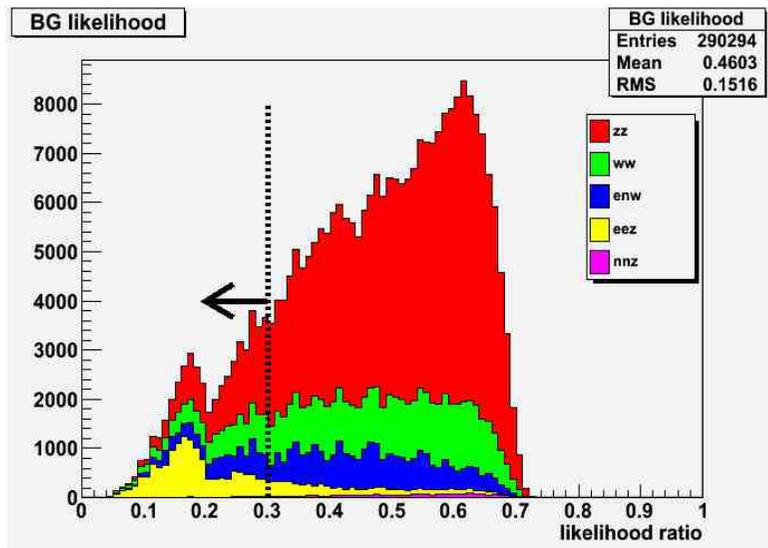


Distribution of parameter N_{sig}

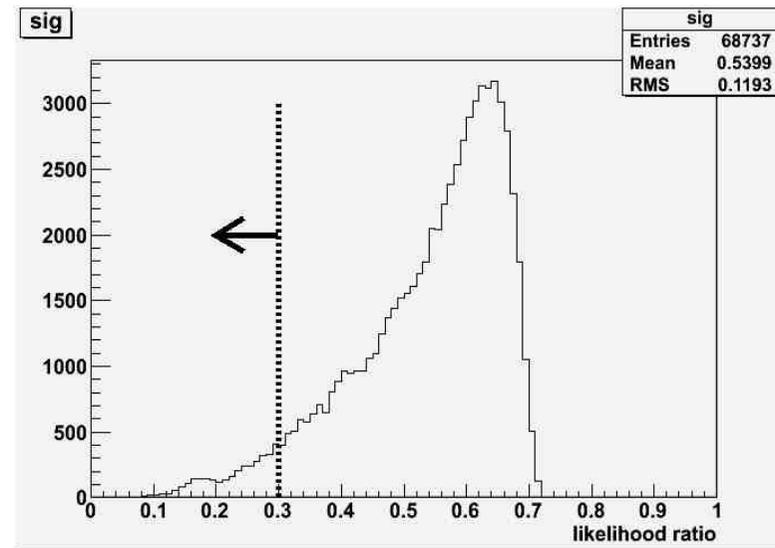


pull distribution

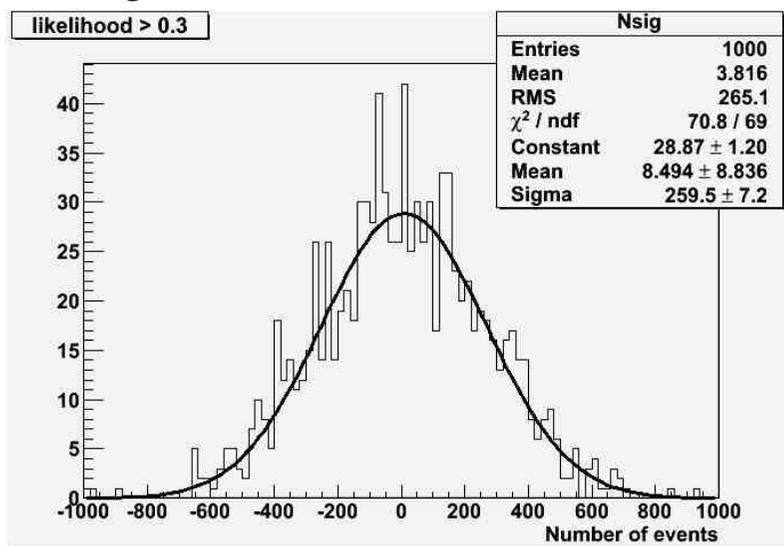
- Likelihood ratio > 0.3



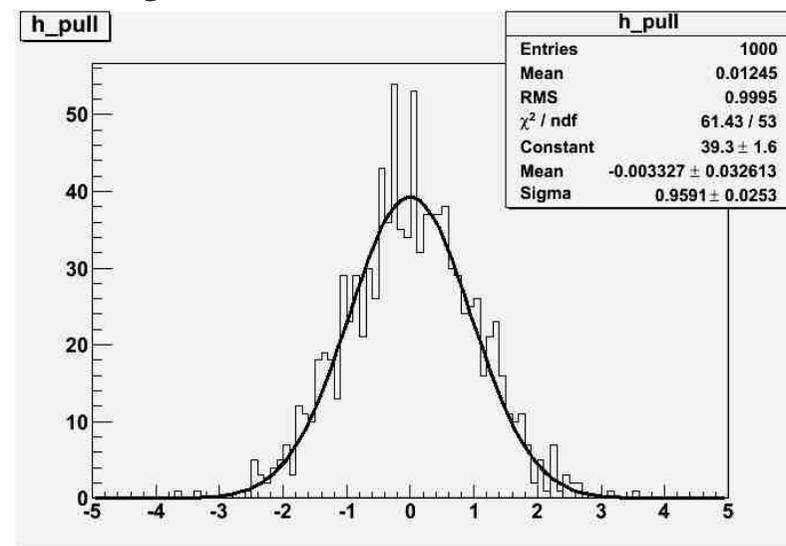
Background likelihood distributon



Signal likelihood distributon

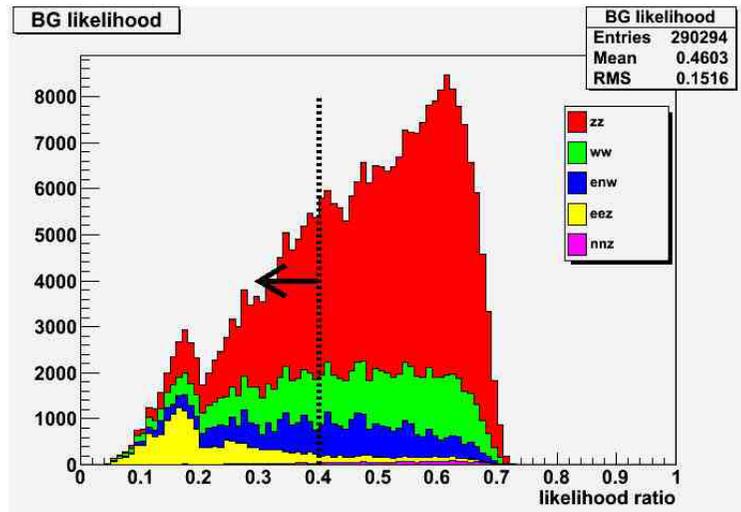


Distribution of parameter N_{sig}

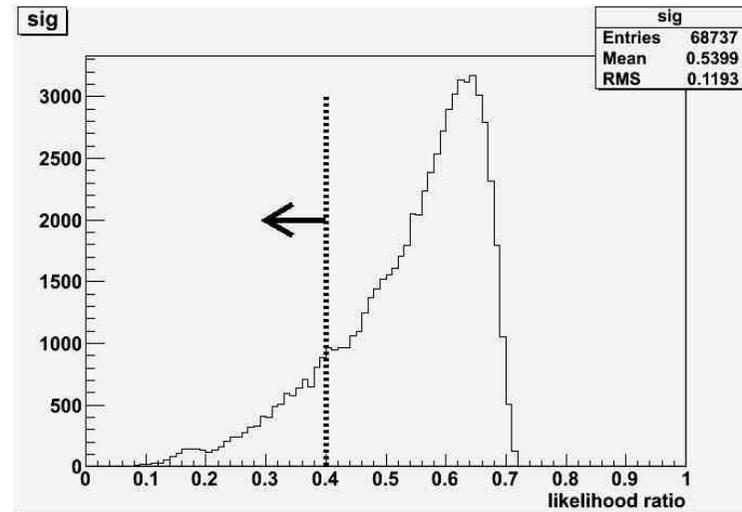


pull distribution

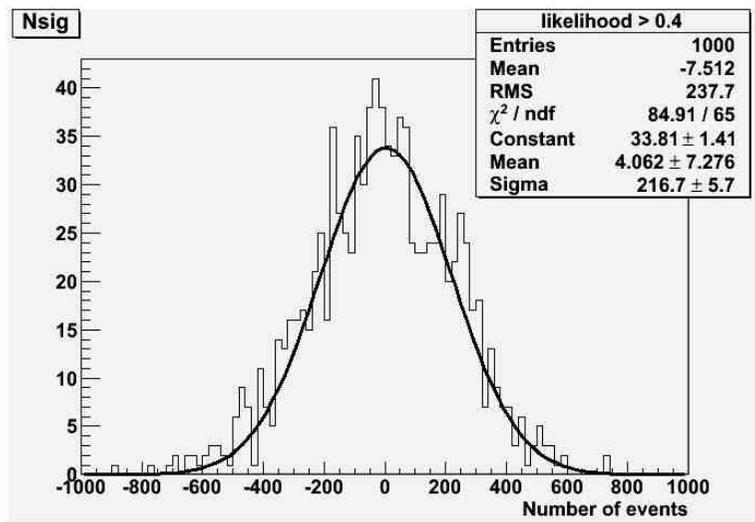
- Likelihood ratio > 0.4



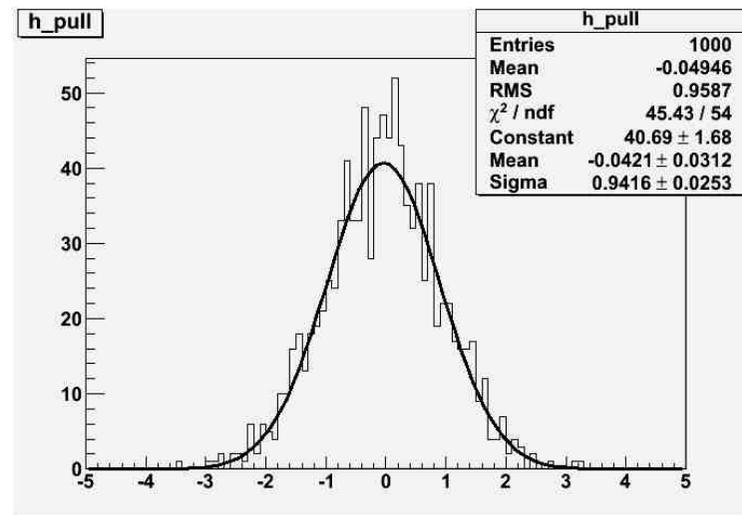
Background likelihood distributon



Signal likelihood distributon

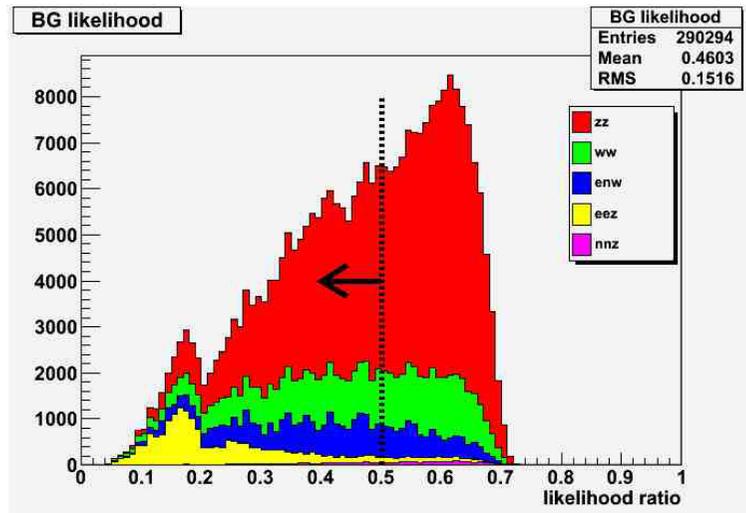


Distribution of parameter N_{sig}

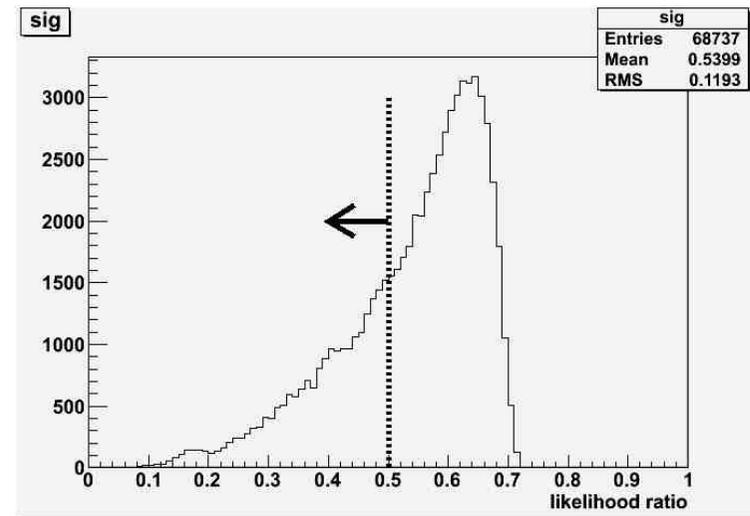


pull distribution

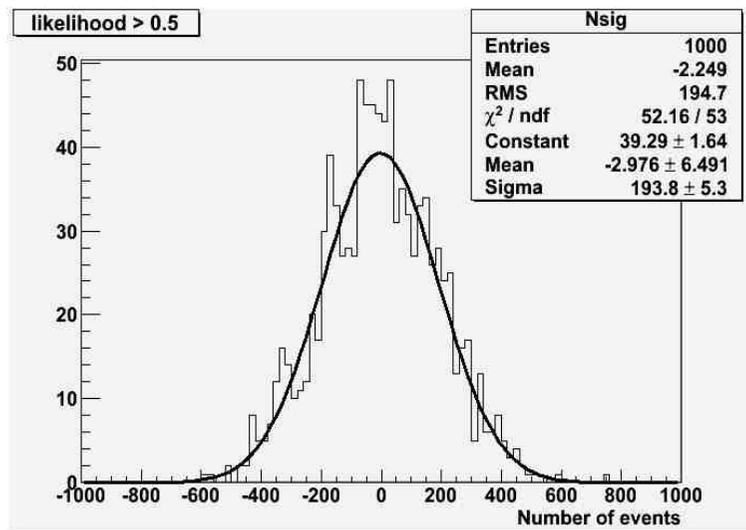
- Likelihood ratio > 0.5



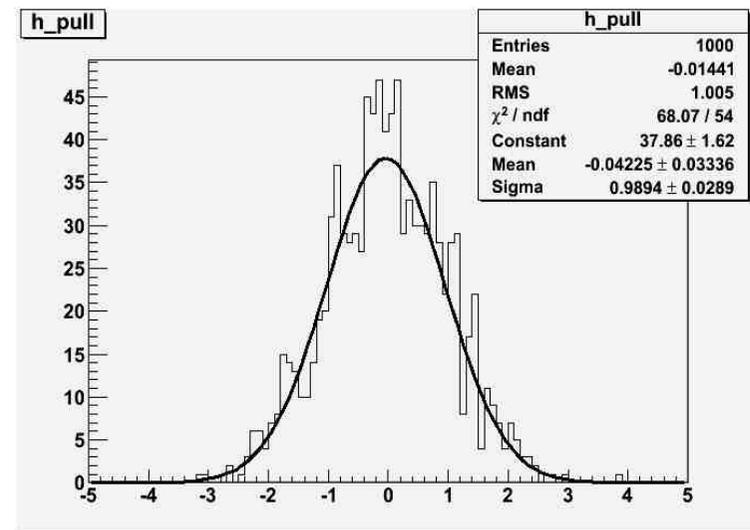
Background likelihood distributon



Signal likelihood distributon

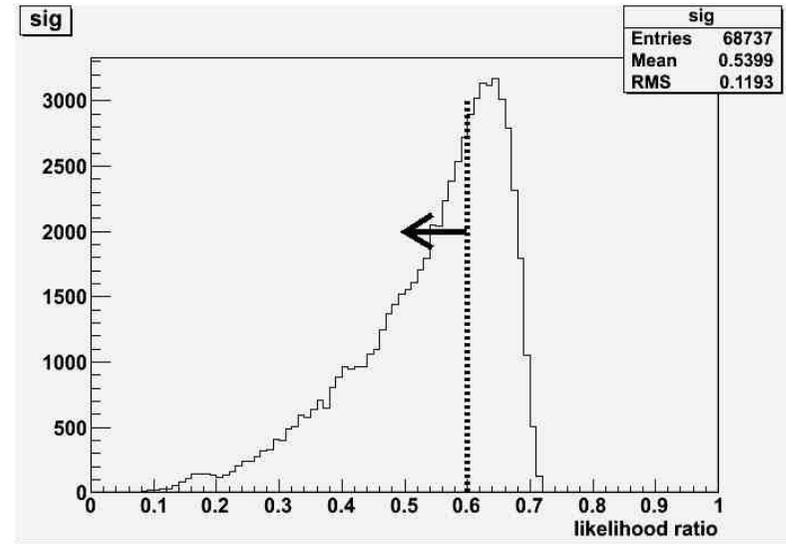
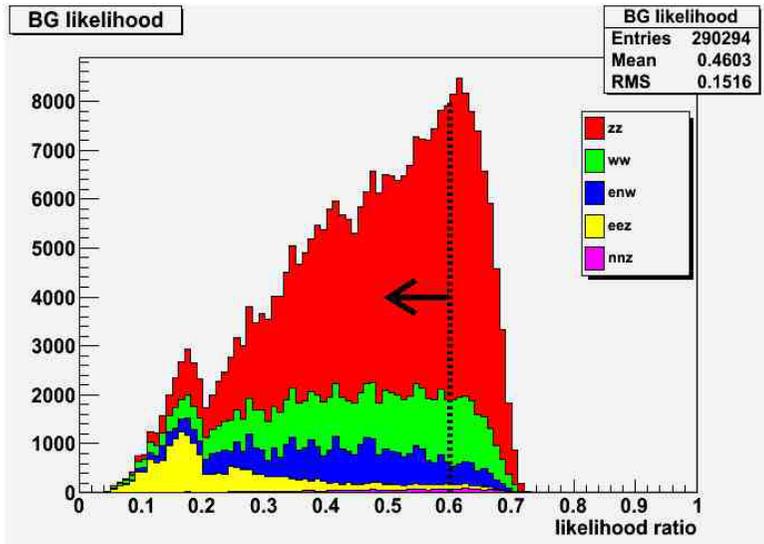


Distribution of parameter N_{sig}



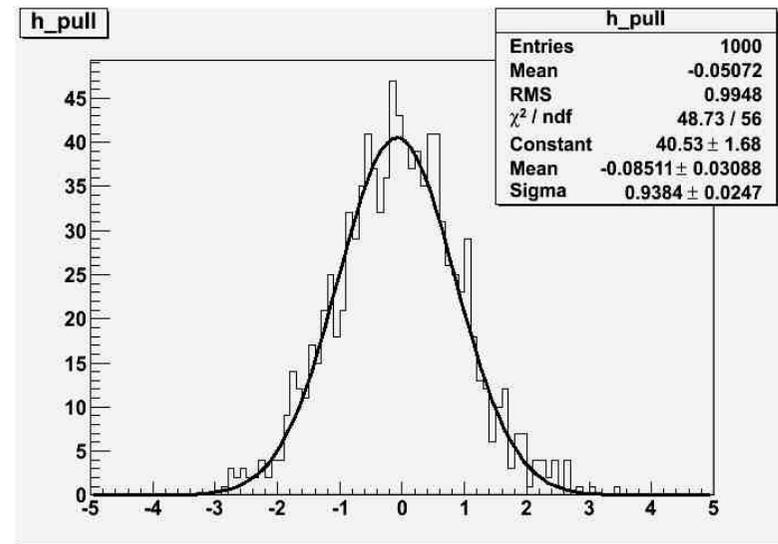
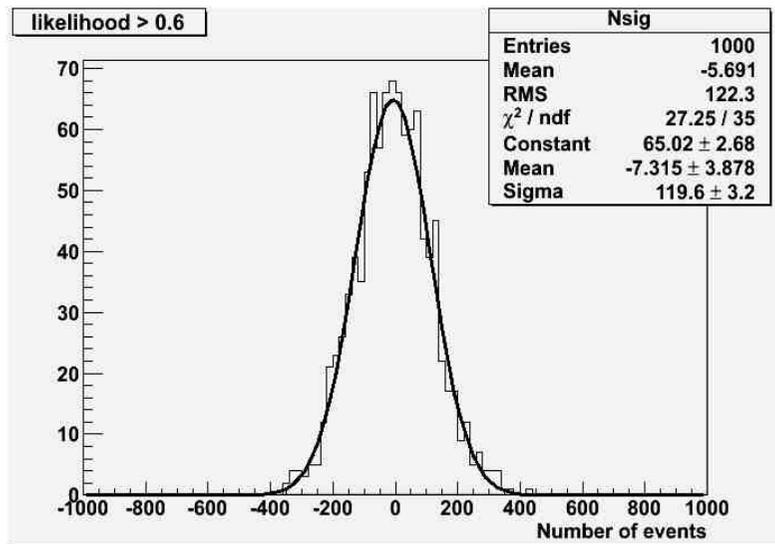
pull distribution

- Likelihood ratio > 0.6



Background likelihood distributon

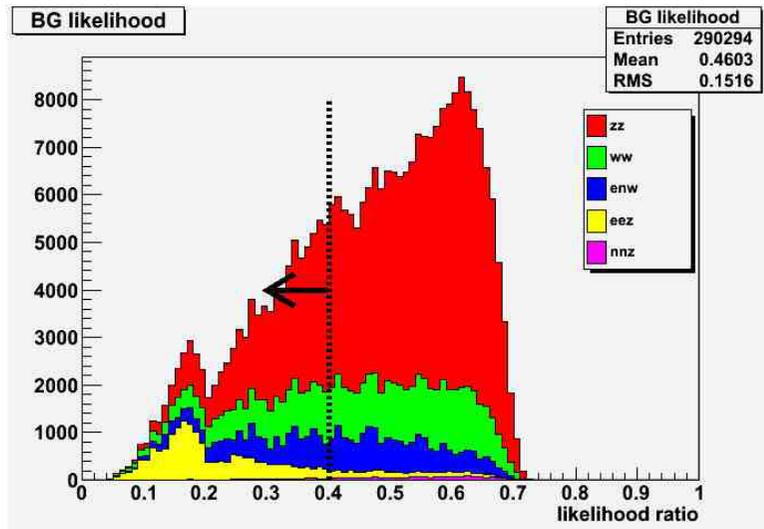
Signal likelihood distributon



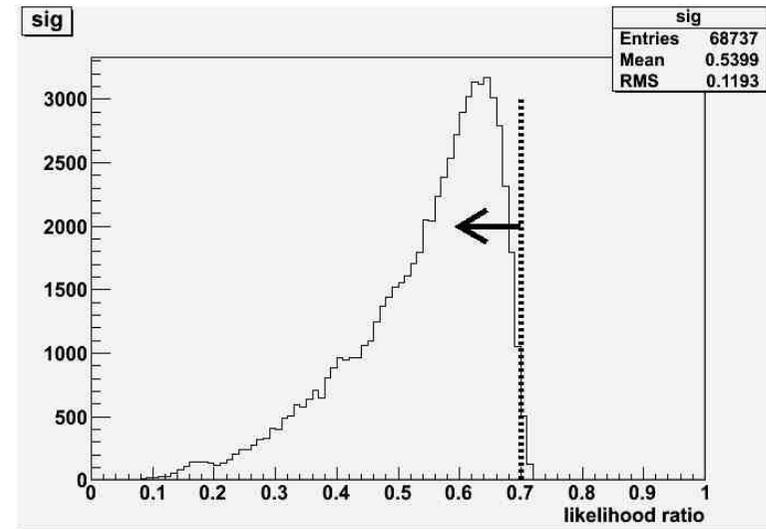
Distribution of parameter N_{sig}

pull distribution

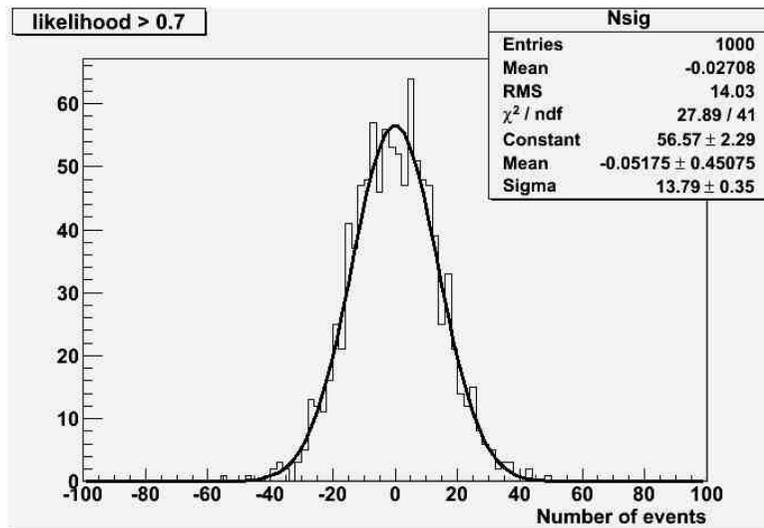
- Likelihood ratio > 0.7



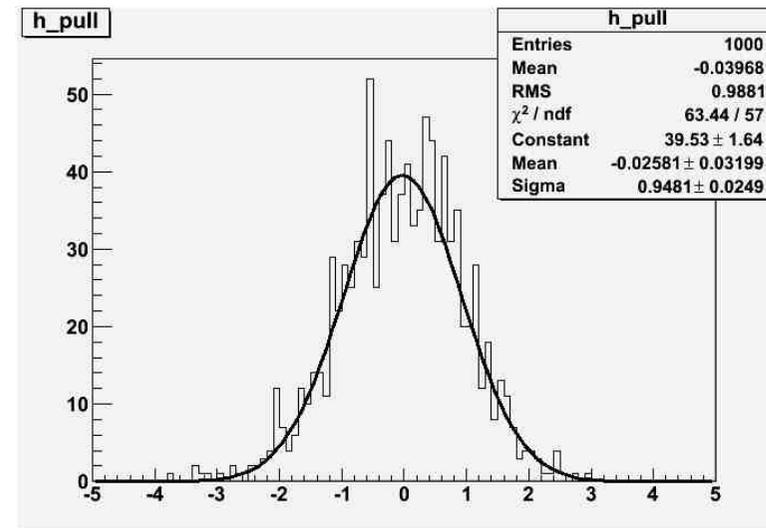
Background likelihood distributon



Signal likelihood distributon



Distribution of parameter N_{sig}



pull distribution