



Dark matter search in higgs portal scenario

Tohoku
Takahiro Honda
2/18

status

- Higgs-dark matter coupling has been checked by dark matter mass 10,20,30,40,50,70,80,90,100 GeV
- but , the plots around 60GeV were inadequate. So check it.
 - The physics changes at 60GeV which is half mass of higgs.

Simulation setup

Higgs mass : 120GeV

Dark matter type : scalar, fermion, vector

Dark matter mass :

10, 20, 30, 40, 50, 59, 61, 70, 80, 90, 100GeV

Center mass energy : 300GeV

Beam polarization :

electron: +80% positron: -30%

Integrated luminosity : 2ab⁻¹

ILC upper limit

Compare ILC upper limit and wmap constraint

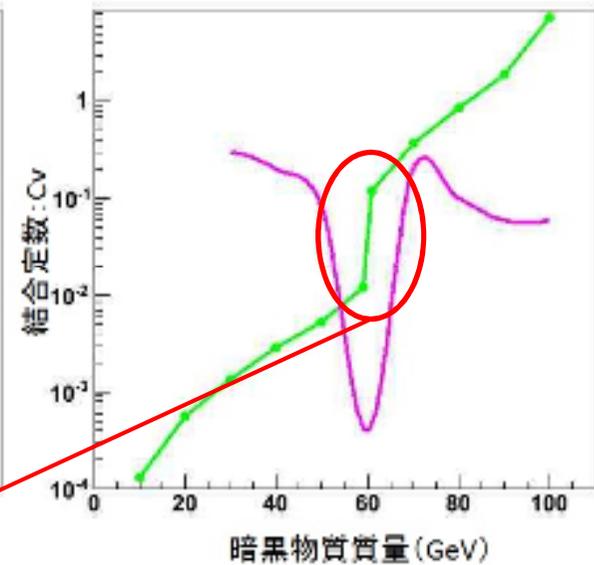
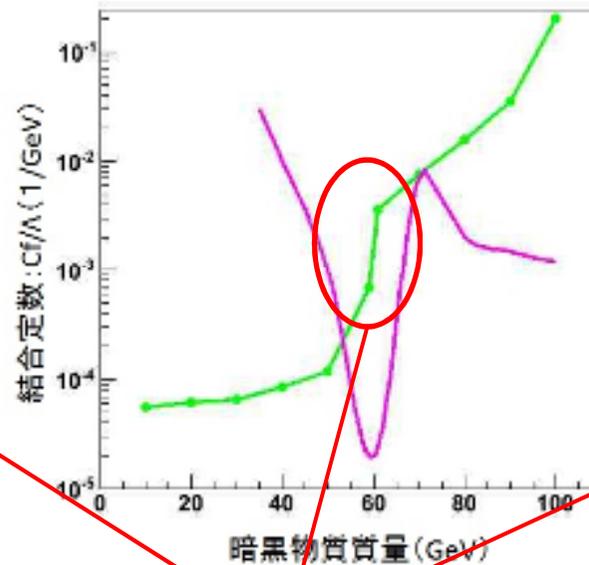
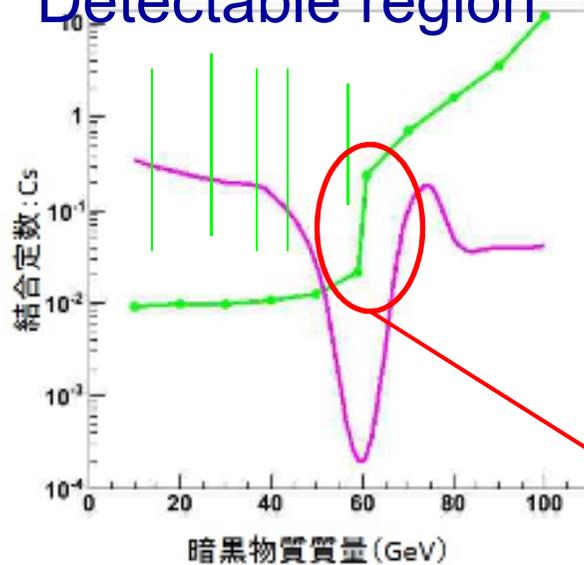
Green line : ilc upper limit

scalar

fermion

vector

Detectable region



Additional points

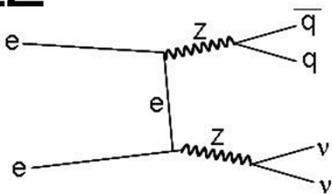
summary

- The points 59 and 61 GeV were checked. So far, my analysis is all.
- I'd like to start making the paper about this. However, I have to prepare for new job and do not have enough time for making the paper. So I think, making the paper is taken over by Saito kun.

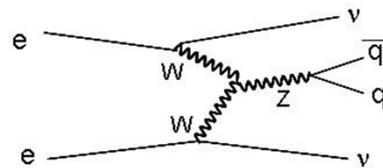
background

Bkg has 2jets final state

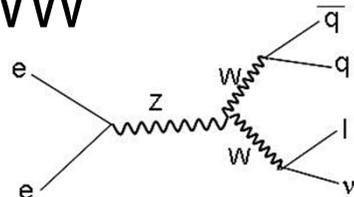
ZZ



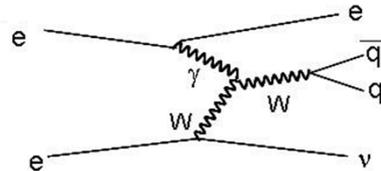
nnZ



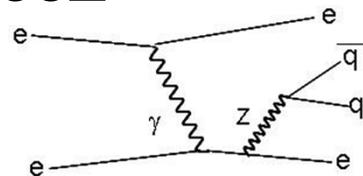
WW



enW



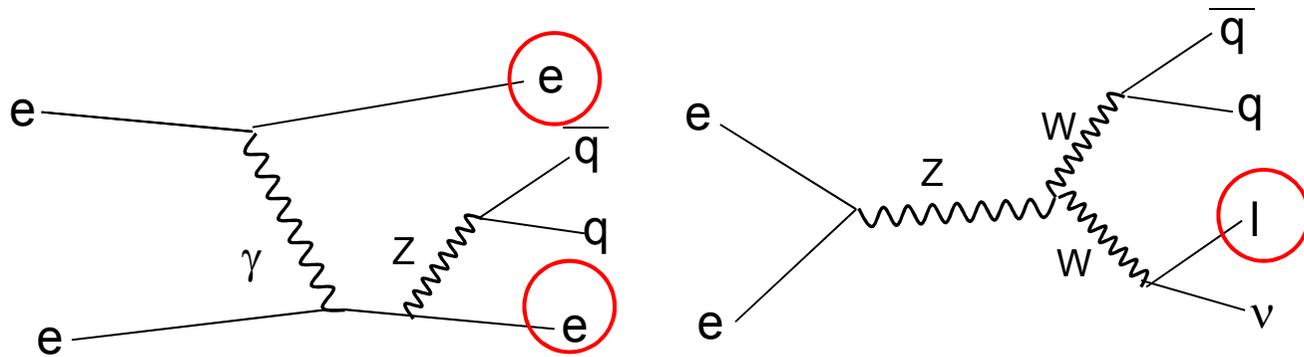
eeZ



	Cross section (fb)
ννZ	10
ZZ	830
WW	2386
evW	1088
eeZ	4803

Event select 1

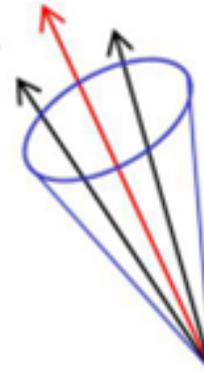
$eeZ, WW \rightarrow lvqq$ this event has isolated lepton track



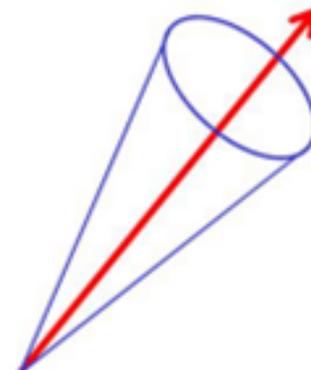
Isolated lepton

Track energy $> 10\text{GeV}$
Cone energy $< 1\text{ GeV}$

Non-isolated
lepton



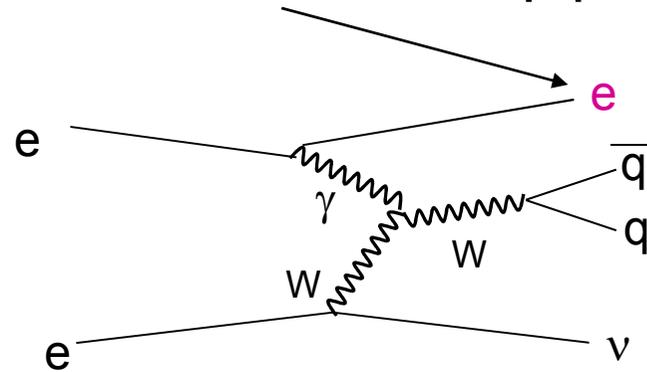
Isolated lepton



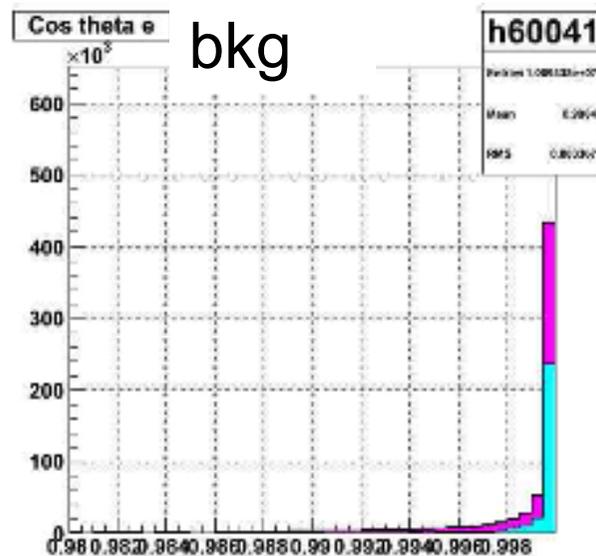
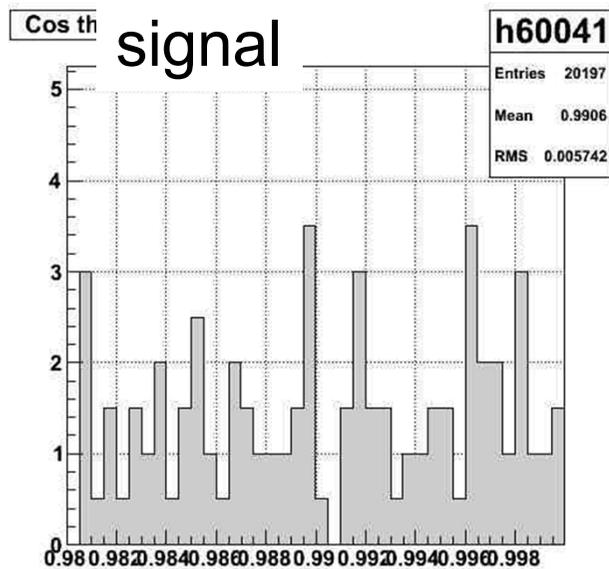
Select : no isolated lepton event

Event select 2

eeZ, evW ; electron \rightarrow beam pipe direction



Forward detector region : $0.98 < \cos\theta_e < 0.9999875$



Select:
No forward detector hit

Event select 3

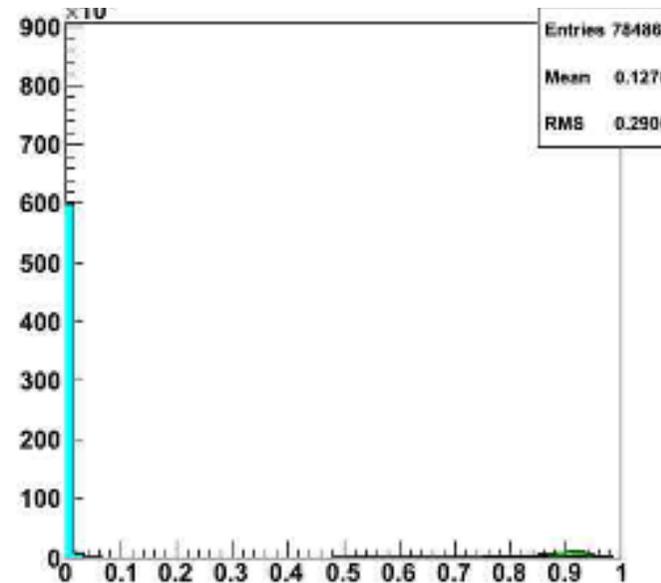
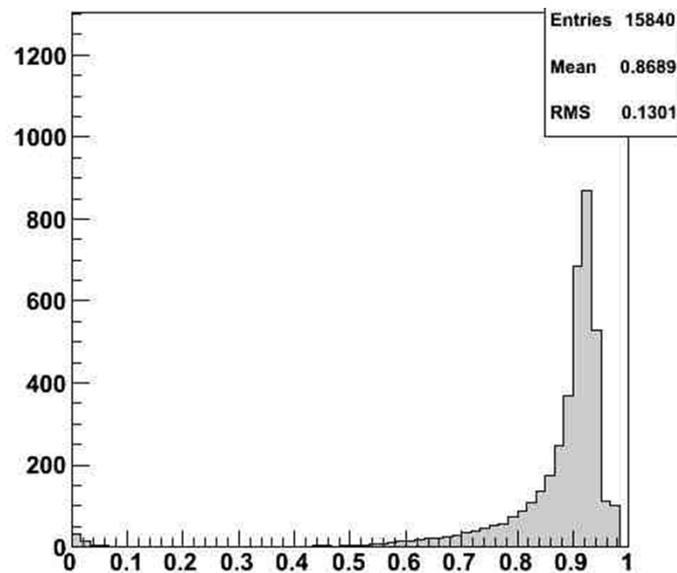
Likelihood analysis

Define: $L = \frac{L_{signal}}{L_{signal} + L_{background}}$

Input parameter

Angular info of Z
Z mass
Jet angle at Z rest frame

<Out put information>

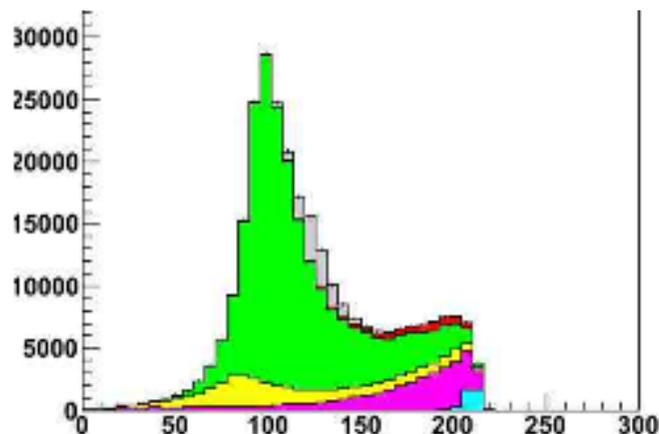


Select $L > 0.8$

Reduction table

Signal region : $105 < \text{recoil mass} < 150 \text{ GeV}$

	No cut	Event select 1	Event select 2	Event select 3
Signal	16,583	16,398	16,346	12,532
$\nu\nu Z$	2,807	2,762	2,747	1,242
ZZ	198,561	190,119	188,640	77,440
WW	258,735	113,948	105,069	7,957
$e\nu W$	206,619	193,035	118,385	5,203
eeZ	901,586	690,708	609,528	0



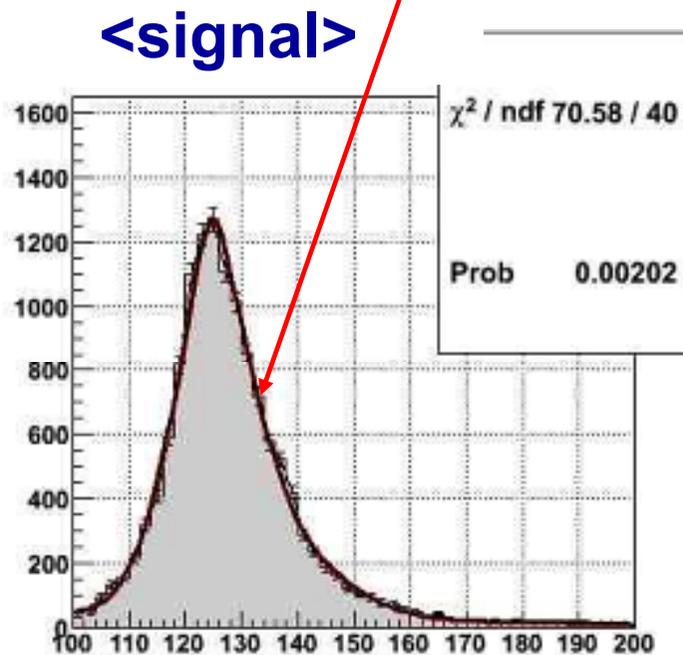
significance = 38.8

recoil mass fit function

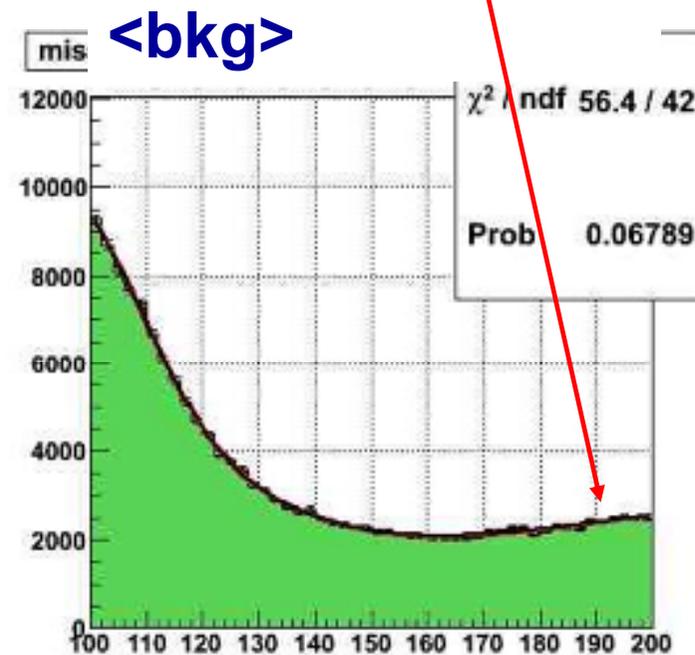
Fit the recoil mass distribution of signal & bkg

Fit region : $100 < \text{recoil mass} < 200 \text{ GeV}$

Signal fit function : F_{sig}

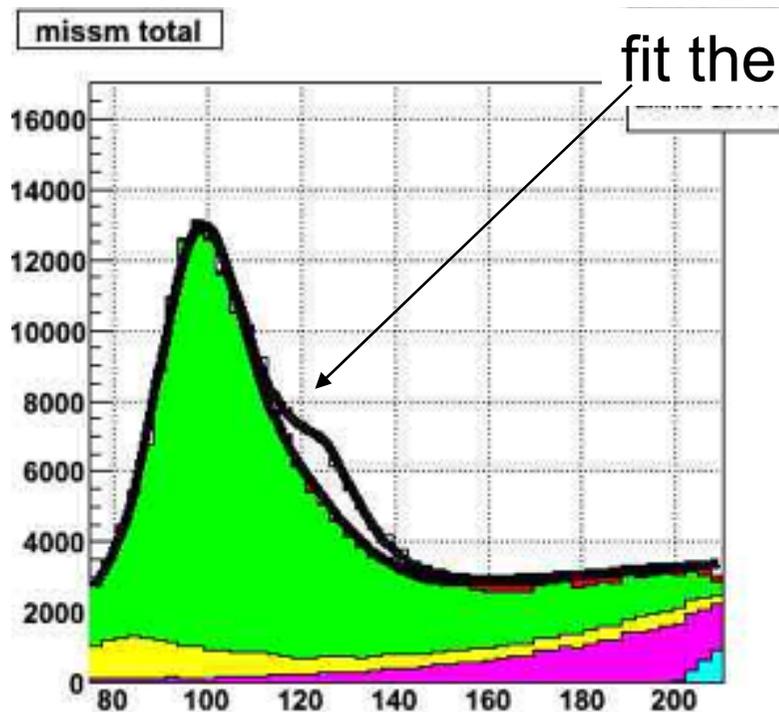


Bkg fit function : F_{bg}



Estimate the signal cross section

$$F = a \times F_{\text{sig}} + b \times F_{\text{sig}} \quad a \text{ and } b \text{ are fit parameter}$$



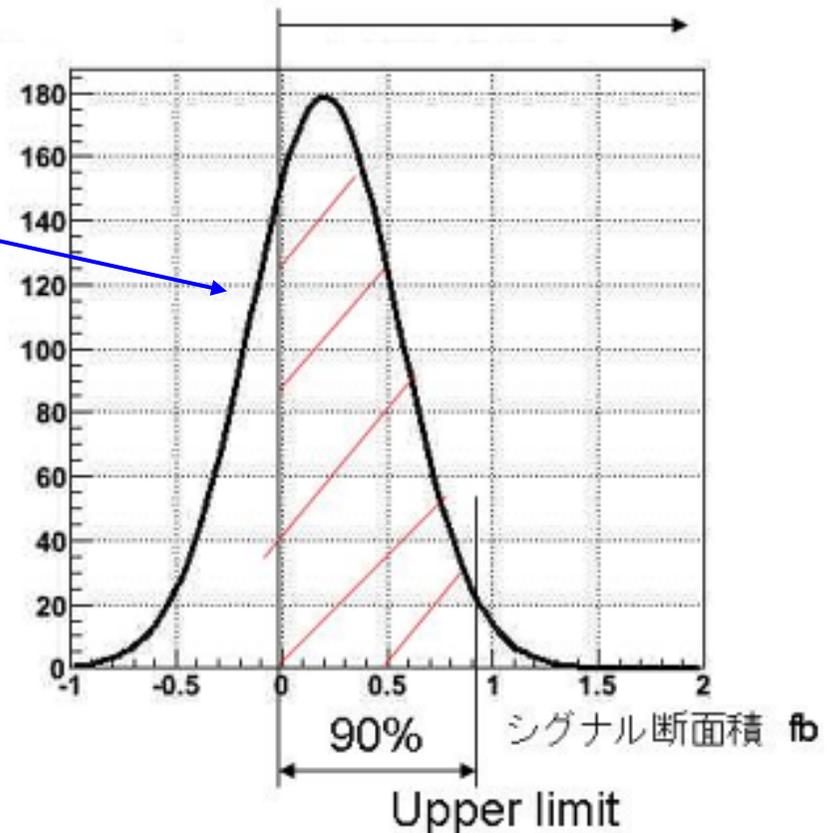
fit the recoil mass distribution by F

estimation : a x15(fb)

F_{sig} is the fit function
at signal cross section = 15 fb

Upper limit of signal cross section (Procedure)

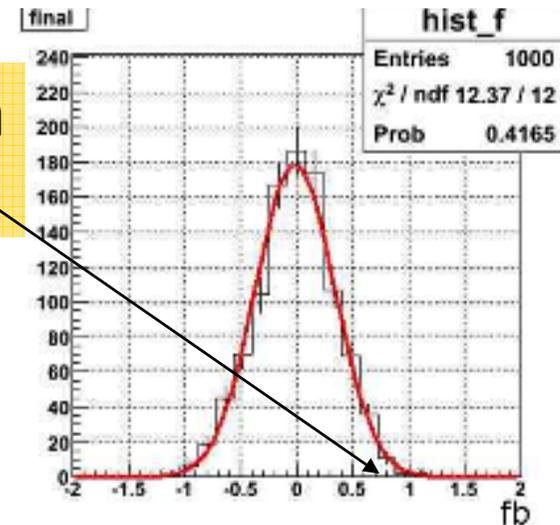
1. Fit the recoil mass distribution(**only bkg event**) and estimate the signal cross section
2. trial experiment is performed 1000 times and fit by gaussian function
3. Upper limit is right edge of 90% region



Upper limit of signal cross section

<estimation of signal σ >

Get the upper limit of signal cross section
50GeV fermion DM : 0.641 (fb)



Cross section to coupling

Upper limit of higgs-dark matter coupling constant
50GeV fermion DM : 0.000118 (GeV^{-1})

Estimate the coupling upper limit about all type DM

summary

- Estimate higgs-dark matter coupling constant limit at ilc by quick simulation

- **all type dark matter case, dark matter can be detected at $m_{DM} < m_h/2$ region**

In fermion and vector type dark matter case, if dark matter mass is about 70 GeV, ilc will detect it

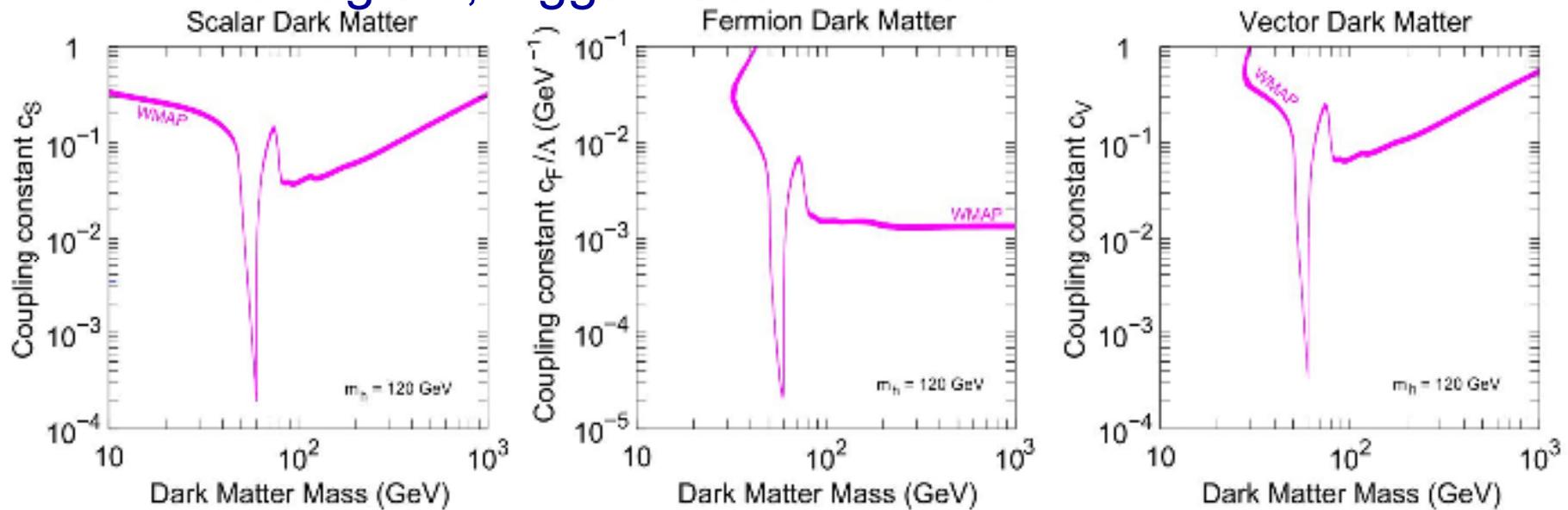
constraint of higgs-DM coupling

Solving the Boltzmann equation -> Get the $Y(\infty)$

WMAP: Relic Abundance of Dark Matter

$$\Omega_{DM} h^2 = \frac{m Y(\infty) s}{\rho_c / h^2}$$

2σ region , higgs mass= 120 GeV



Compare the wmap constraint with ILC upper limit 16

ヒッグス-暗黒物質結合係数の上限値

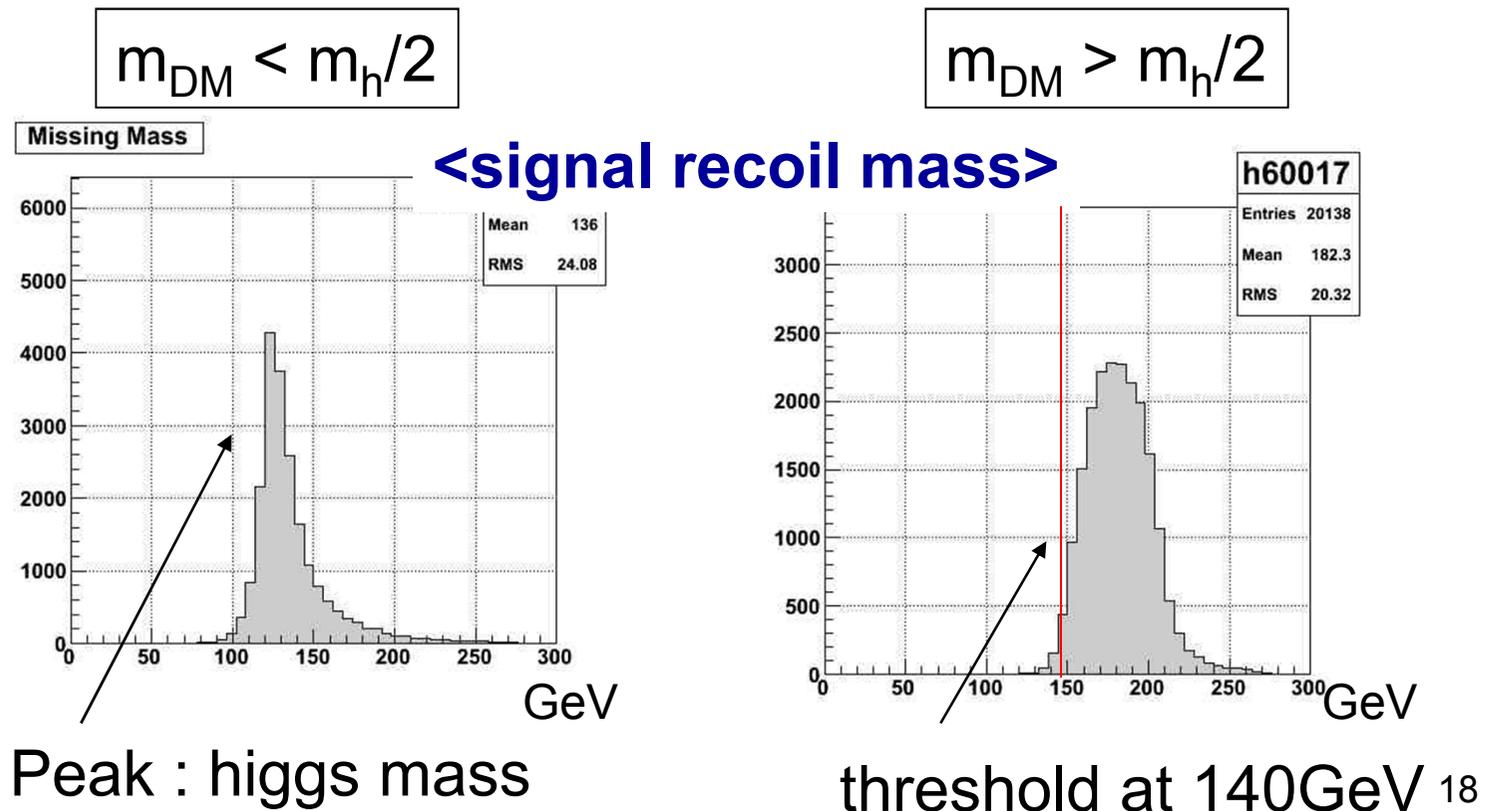
設定した全ての場合のヒッグス-暗黒物質結合係数の上限値

質量が小さい領域では非常に小さい結合係数の値まで検証可能

質量(GeV)	スカラー(fb)	フェルミオン(fb)	ベクトル(fb)
10	0.00918	0.0000563	0.000133
20	0.00963	0.0000618	0.000555
30	0.00958	0.0000659	0.00134
40	0.0106	0.0000868	0.00290
50	0.0125	0.000118	0.00520
70	0.724	0.00770	0.375
80	1.61	0.0158	0.855
90	3.57	0.0350	1.91
100	11.9	0.203	7.41

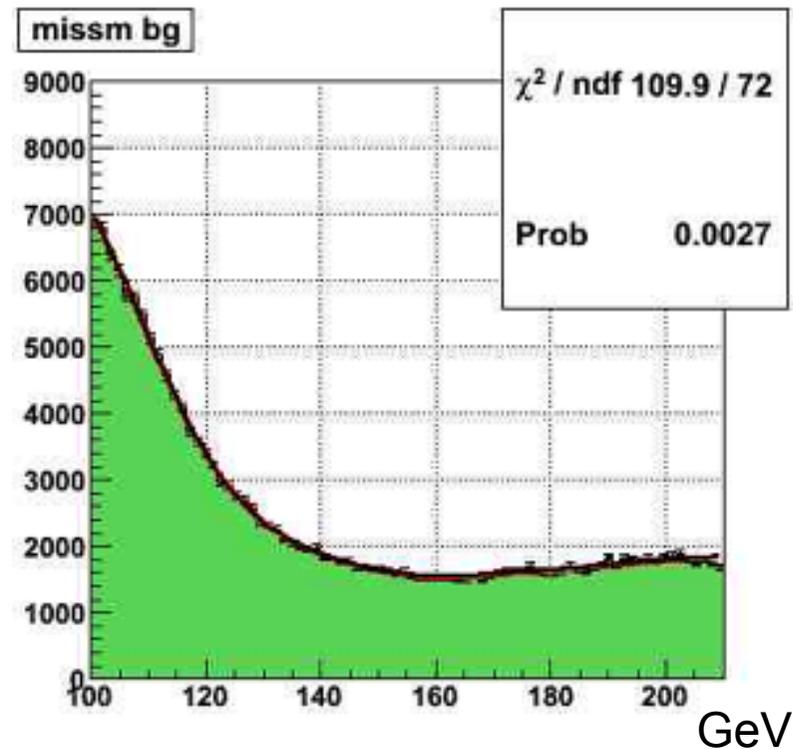
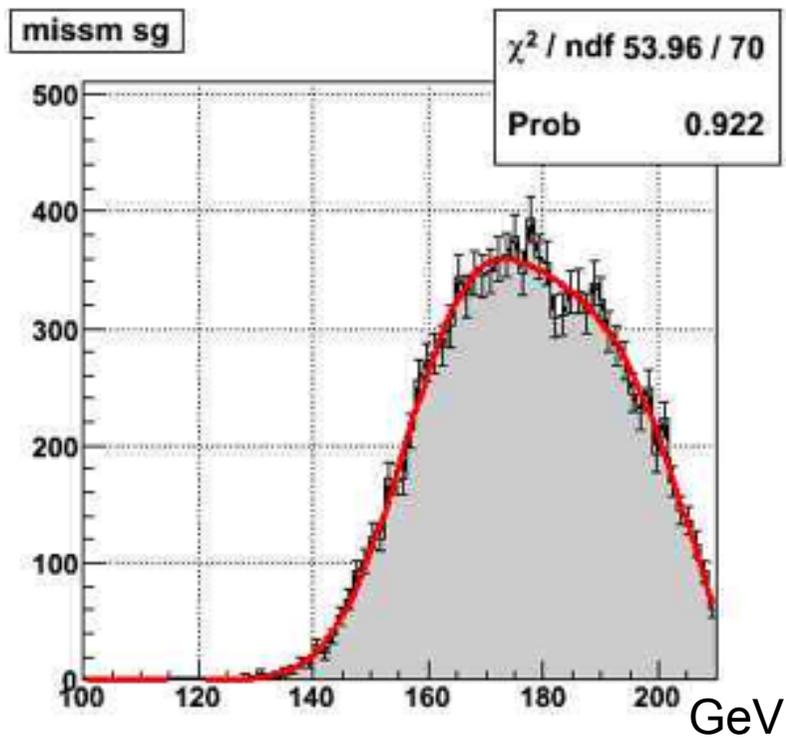
Recoil mass distribution

The recoil mass distribution with different mass



フィット関数の作成2

暗黒物質の質量が70GeVの時
同様の解析を行いフィット関数を作成した

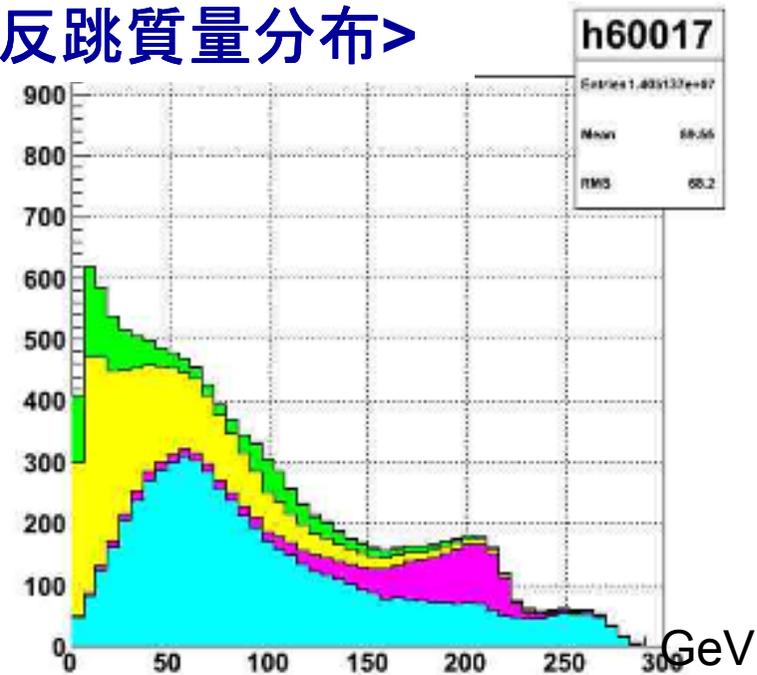
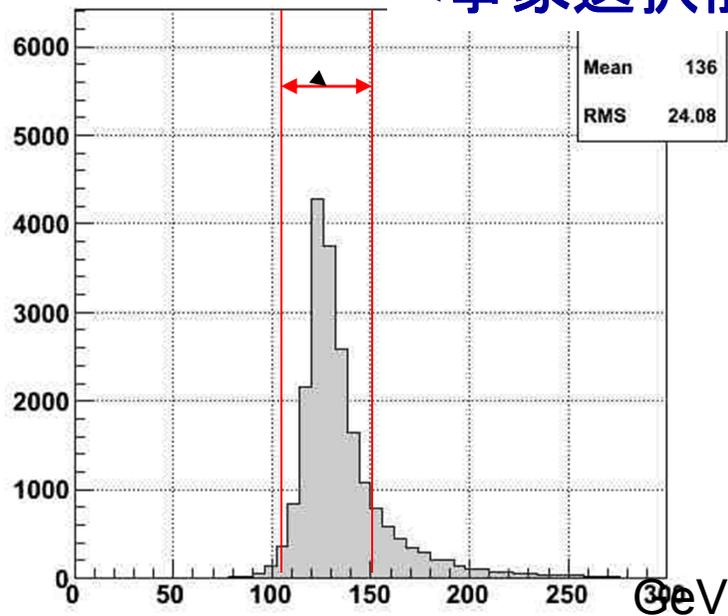


事象再構成

全ての事象を強制的に2ジェットとして再構成
Durham アルゴリズム

暗黒物質質量50GeV

<事象選択前の反跳質量分布>



事象選択におけるシグナル領域 $105 < \text{反跳質量} < 150\text{GeV}$



はじめに

素粒子物理学における標準模型は
基礎的な物理事象を記述するモデルとして成功を収めた

しかし、ヒエラルキー問題が実在

ヒエラルキー問題を解決する為に標準模型を超える新物理が必要

ヒッグスの質量補正 → 新しい物理： **$0(1)\text{TeV}$** に存在

一方、
電弱相互作用の精密測定 → 新しい物理： **10TeV** 以上に存在

新しい物理のエネルギースケールの矛盾を
「**リトル・ヒエラルキー問題**」
という

その解決のために様々なシナリオが提唱されている

ナイトメアシナリオ

リトルヒエラルキー問題を解決する為に

$O(1)$ TeVに新物理が存在し、電弱スケールの物理への寄与を抑制
超対称模型やリトルヒッグス模型など

もう一方は、

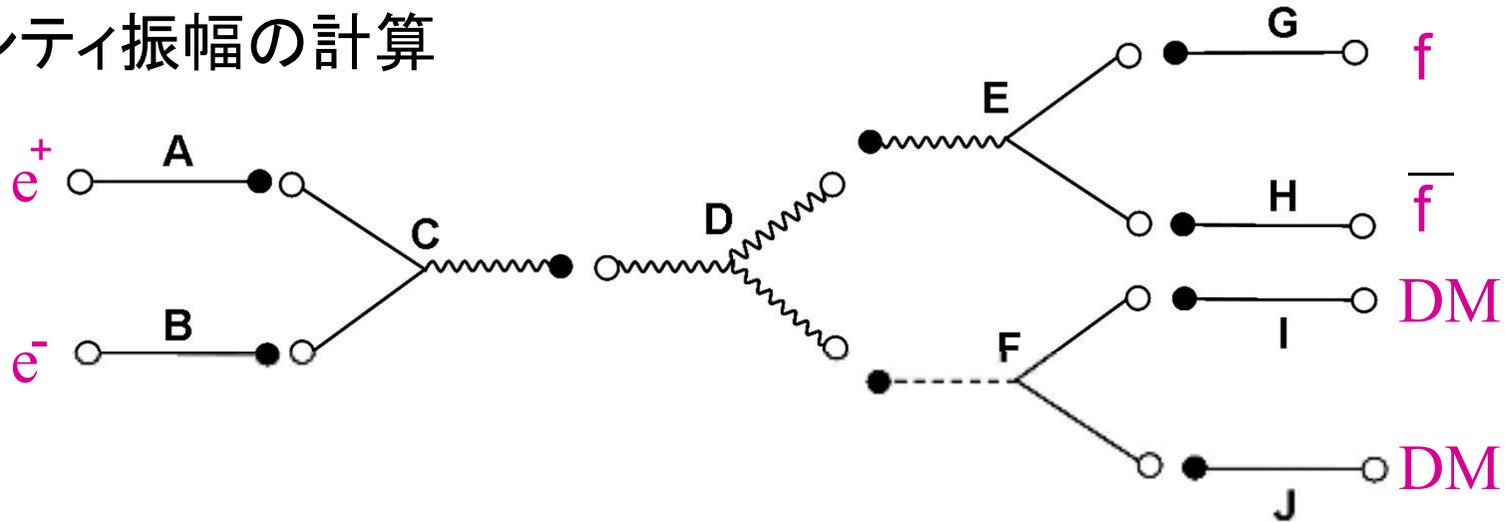
$O(10)$ TeVに新物理が存在し、ヒッグスの質量補正では微調整が必要
このシナリオでは $O(10)$ TeVの質量を持つ新粒子が预言される
ILC等の高エネルギー加速器実験で新物理のシグナル検出が困難に

これを「**ナイトメアシナリオ**」という

一方、WMAP観測等の結果から
暗黒物質の質量は $O(10\sim 1000)$ GeVと見積もられている
暗黒物質ならばILCでも検出可能か！

シグナル事象の生成

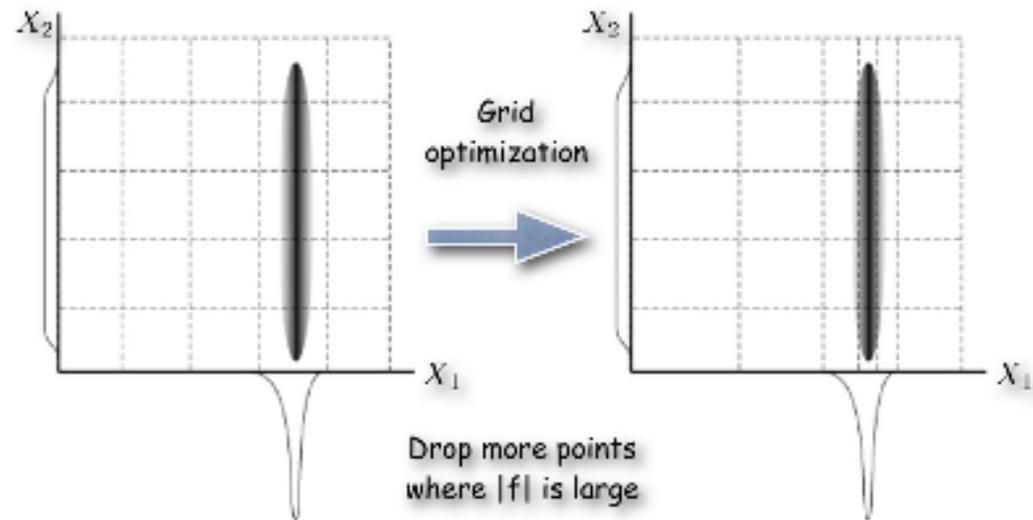
1. ヘリシティ振幅の計算



2. 荷重サンプリング

ヘリシティ振幅の
値により格子幅を調整

ヘリシティ振幅大: 小さく
小: 大きく



多くサンプリングされた位相空間の事象がより多く生成される²⁰

解析手順

1. 事象再構成

Zの運動学的物理量、
Zの反跳質量、レプトントラック等

2. バックグラウンド事象の除去

3. ヒッグス-暗黒物質結合係数の導出

本発表では

質量**50GeV**と**70GeV**の**フェルミオンタイプ**について述べる

バックグラウンド事象の除去

孤立レプトン

- レプトンラックのあるバックグラウンド事象の除去
- 孤立レプトン数 = 0

前方飛跡検出器ヒット

- ビーム軸に抜けていく事象を捉える
- $e\nu W$, eeZ バックグラウンド事象の除去

Zボソンの質量

- Zボソンが正しく再構成されたものを解析対象にする
- $83 < \text{Zボソンの質量} < 100\text{GeV}$

尤度比

- 尤度比 $L > 0.8$

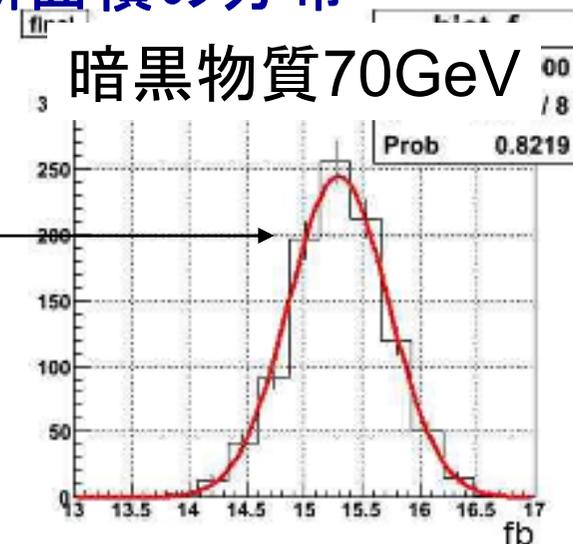
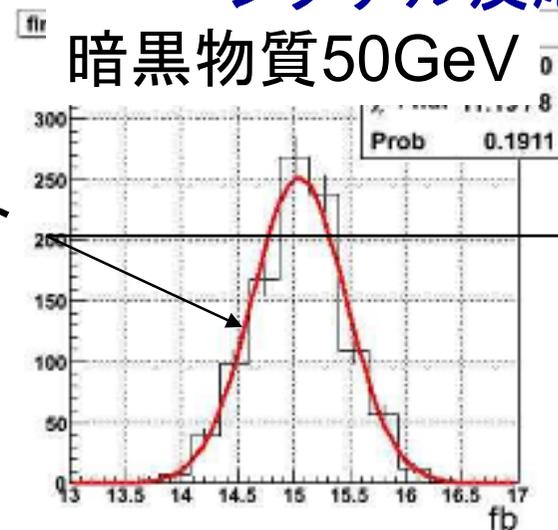
フィット結果

作成したフィット関数が有効であるかの確認

シグナル反応断面積が15fbの時に1000回の試行実験を行い
フィット関数を用いてシグナル反応断面積を求めた

<シグナル反応断面積の分布>

ガウス関数でフィット



50GeV: 15.04 ± 0.42 (15fb)

70GeV: 15.29 ± 0.43 (15fb)

フィット結果は真値と一致する

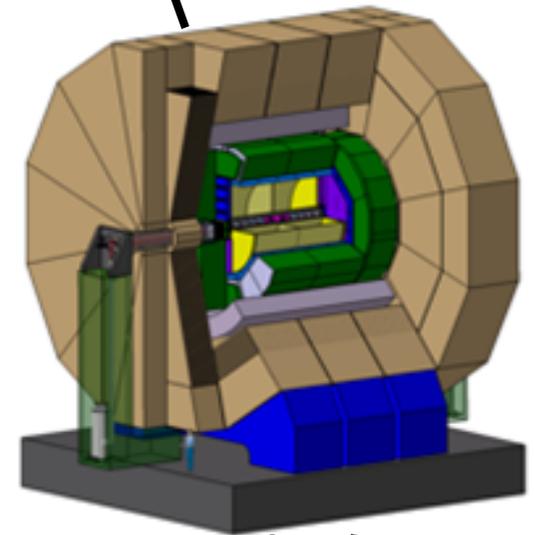
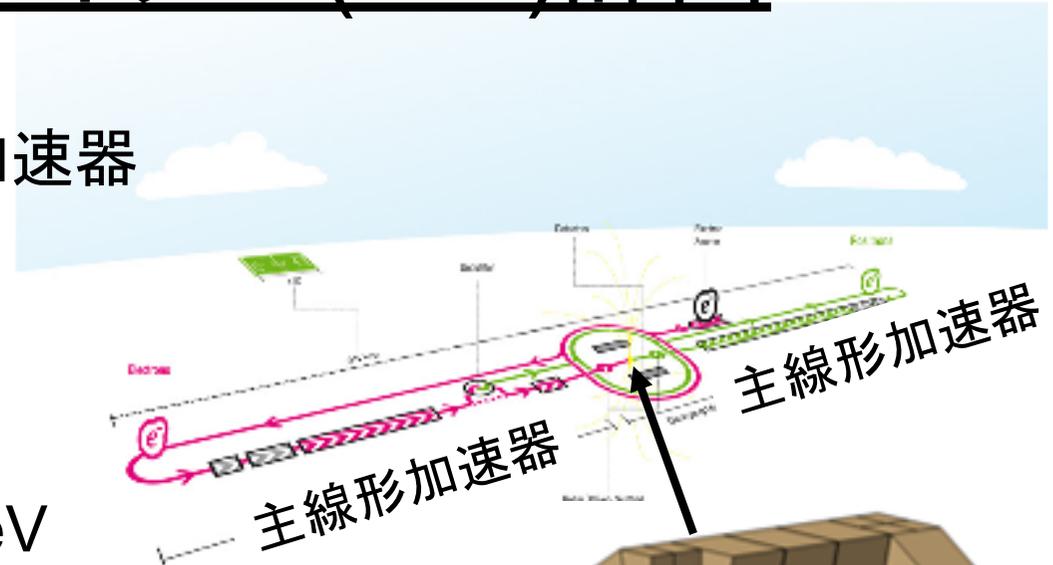
国際リニアコライダー(ILC)計画

<加速器>

- 電子・陽電子衝突型線形加速器
- 全長 約30km
- ルミノシティ 500fb^{-1}
(4年間)
- 重心系エネルギー 500GeV

<測定器>

- 測定器案 **ILD**, SiD, 4th



ILD概念図

本研究の動機

- 新しい物理が10TeVに存在する場合
 - 新粒子は重くなる。
→ ILCでは直接観測することができない
- ダークマターが新物理を解明する手掛かりとなる！
 - ダークマターによる物理現象の変化
 - ヒッグスの崩壊幅のずれ

↓

<本研究の目的>

ダークマターの検出も困難なモデルでILCでのダークマターの検出感度を検証する

– ヒッグス・ポータルモデル

ヒッグス・ポータル模型

- ヒッグスポータル模型でのダークマター
 - 1: 強い相互作用をしない
 - 2: 電弱相互作用をしない
 - 3: ヒッグスとのみ相互作用する
 - 4: 3タイプが仮定される

スカラー、フェルミオン、ベクトル

スカラー

$$\mathcal{L}_S = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \frac{1}{2}(\partial\phi)^2 - \frac{M_S^2}{2}\phi^2 - \frac{c_S}{2}|H|^2\phi^2 - \frac{d_S}{4!}\phi^4,$$

フェルミオン

$$\mathcal{L}_F = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \frac{1}{2}\bar{\chi}(i\not{\partial} - M_F)\chi - \frac{c_F}{2\Lambda}|H|^2\bar{\chi}\chi - \frac{d_F}{2\Lambda}\bar{\chi}\sigma^{\mu\nu}\chi B_{\mu\nu},$$

ベクトル

$$\mathcal{L}_V = \mathcal{L}_{\text{SM}} - \frac{1}{4}V^{\mu\nu}V_{\mu\nu} + \frac{M_V^2}{2}V_\mu V^\mu + \frac{c_V}{2}|H|^2V_\mu V^\mu - \frac{d_V}{4!}(V_\mu V^\mu)^2,$$

(* 富山大 松本重貴氏による)

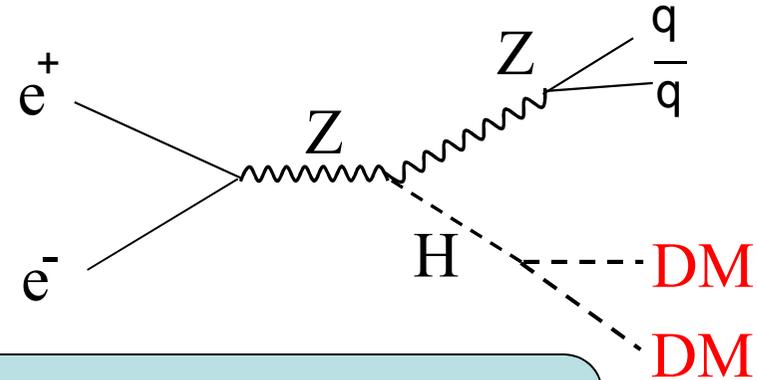
ダークマターはヒッグスとしか結合しない!

解析の対象

<シグナル事象(スカラータイプ)>

- $ee \rightarrow ZH^* \rightarrow qqDMDM$

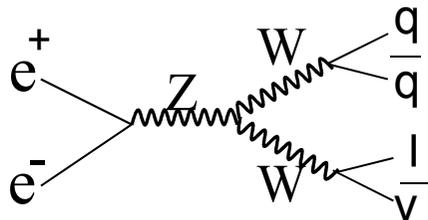
断面積を変えながら測定精度の
評価を行った



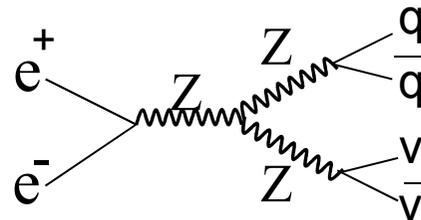
2ジェットを再構成した時の質量欠損の閾値は
→ダークマター**質量の2倍の情報**

<背景事象>

- $ee \rightarrow WW : 9024\text{fb}$
– $WW \rightarrow qq\ell\nu$



- $ee \rightarrow ZZ : 515\text{fb}$
– $ZZ \rightarrow qq\nu\nu$



本研究の手順

- 1 : イベントジェネレーターの作成 : Physsim
- 2 : 測定器シミュレーション : ILD Quick-sim
- 3 : 物理解析
 - 全ての事象を2ジェットとして再構成
 - 事象の選択
 - Likelihood解析サンプルの選択
 - Likelihood解析

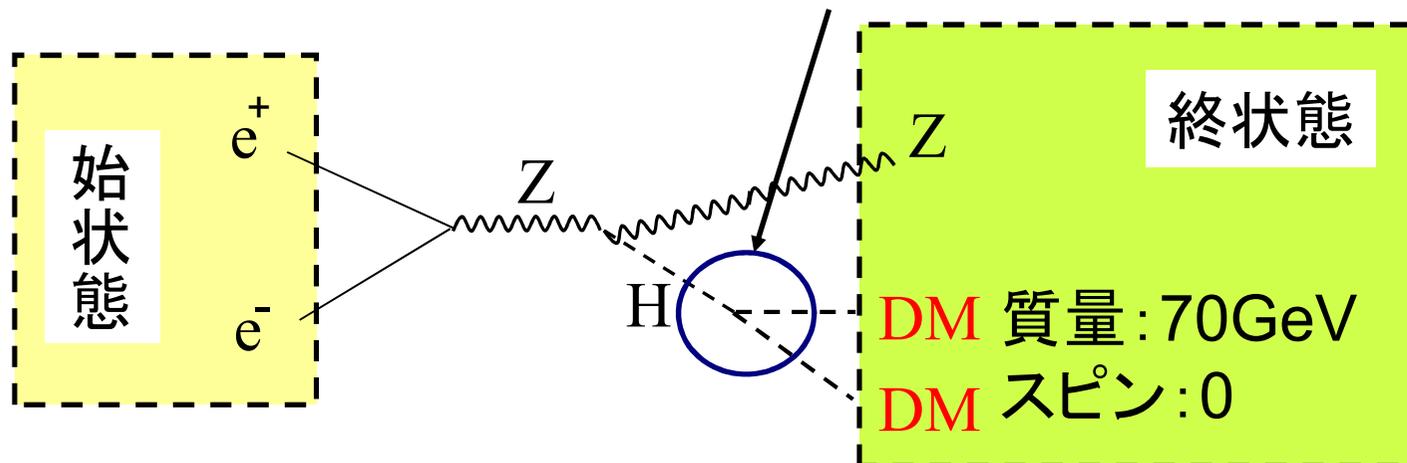
イベントジェネレーターの作成

Physsimにシグナルイベントを加えた

<基本粒子の生成：Physsim>

ヘリシティ振幅の計算：HELAS

- 外線(始状態と終状態)の量子状態を指定
 - 4元運動量・質量・スピン
- 内線と頂点で、始状態と終状態をつなぐ
 - 相互作用に**ヒッグス・ダークマター結合**を追加

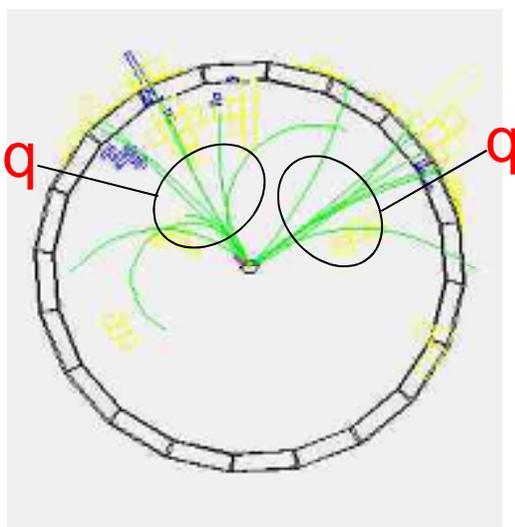


生成した粒子の情報を検出器シミュレーションで確認した₃₂

検出器シミュレーション

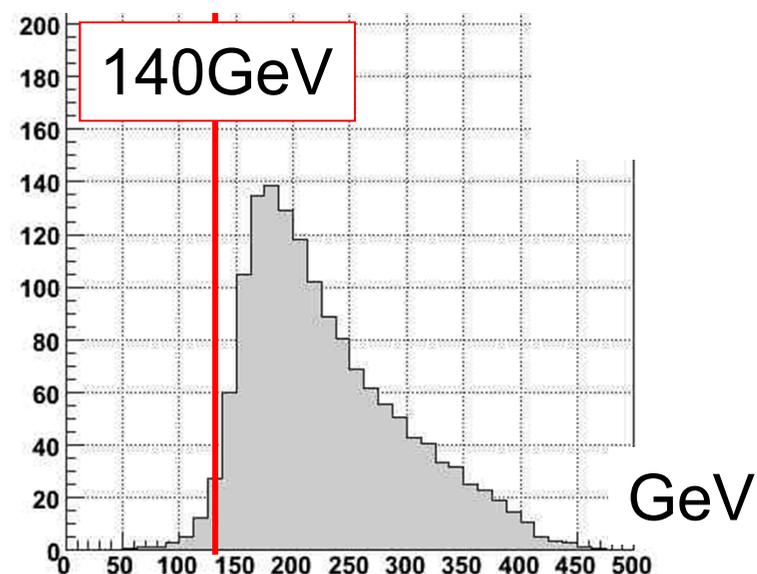
シグナル事象を検出器シミュレーションの情報で再構成した

検出器でのシグナルの様子



- ・Zが崩壊した2ジェットが見える
- ・ダークマターは見えない

＜シグナルの質量欠損分布＞



- ・140GeV(ダークマター質量の2倍)を境に分布

イベントジェネレーター作成に成功

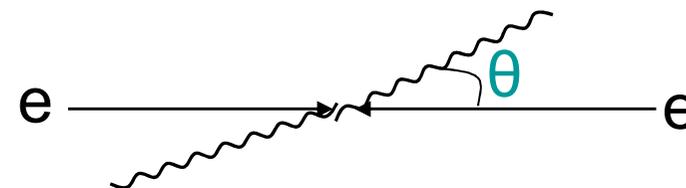
解析条件

- ダークマター
 - タイプ : スカラー
 - 質量 : 70 GeV
- ヒッグス粒子
 - 質量 : 120 GeV
- 重心エネルギー
 - 500 GeV

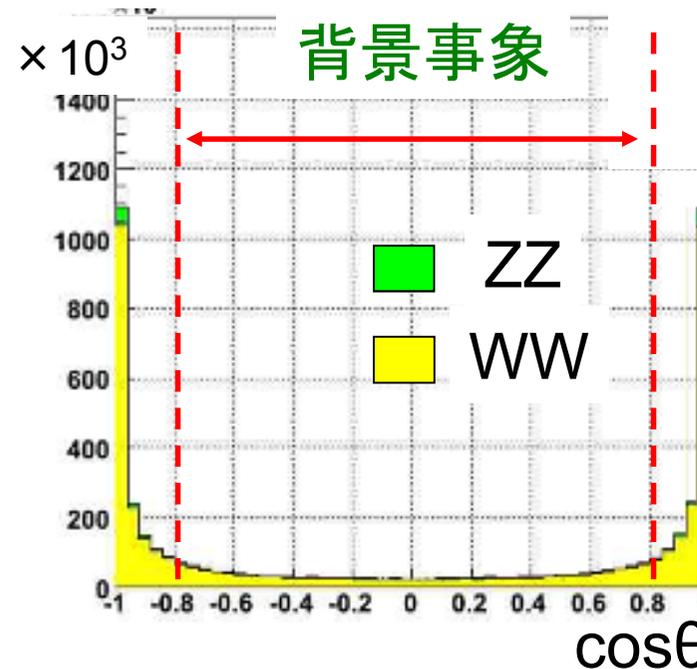
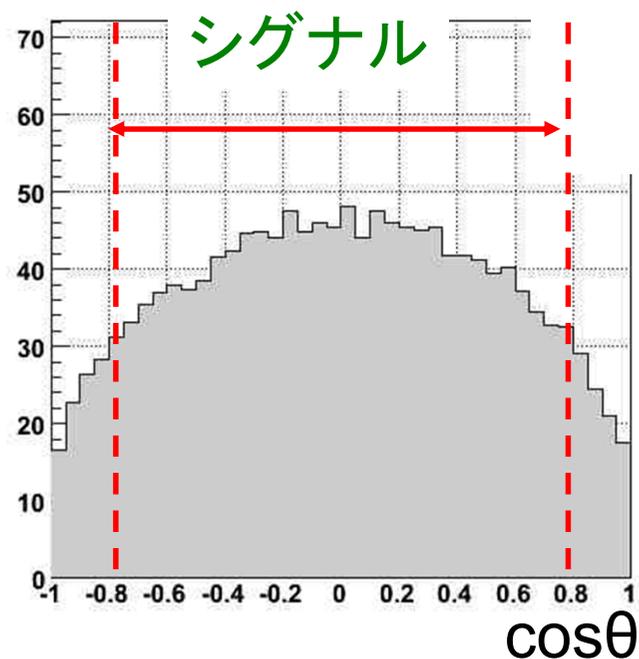
	ルミノシティ	反応断面積	生成した イベント数
シグナル	500fb^{-1}	3fb	30000
ZZ	500fb^{-1}	515fb	480000
WW	500fb^{-1}	9024fb	1950000

事象選択：Zの角度

再構成したZの角度分布で事象選択した



< $\cos\theta$ 分布 >

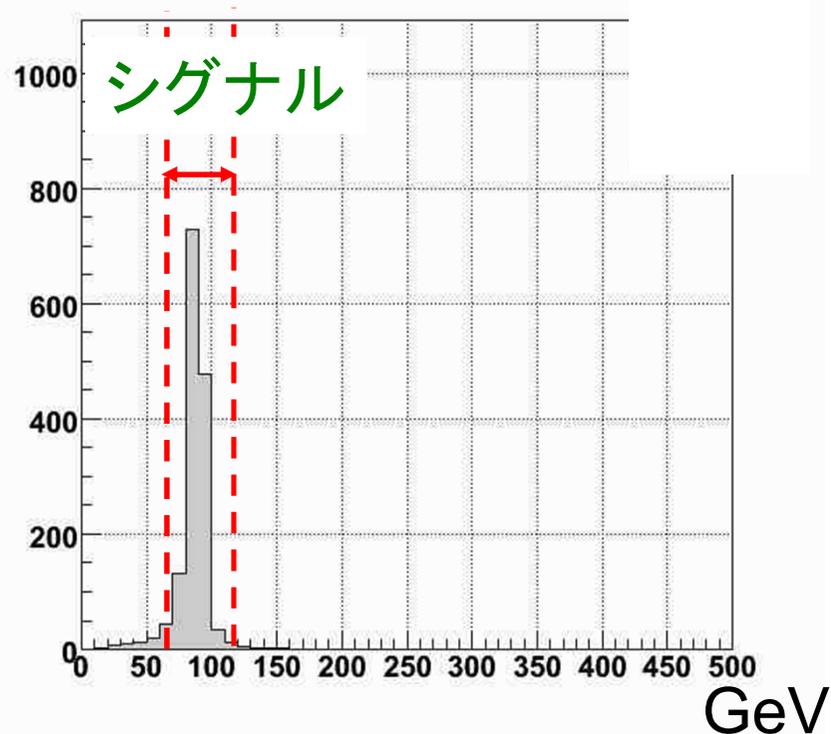


$-0.8 < \cos\theta < 0.8$ の範囲を選択

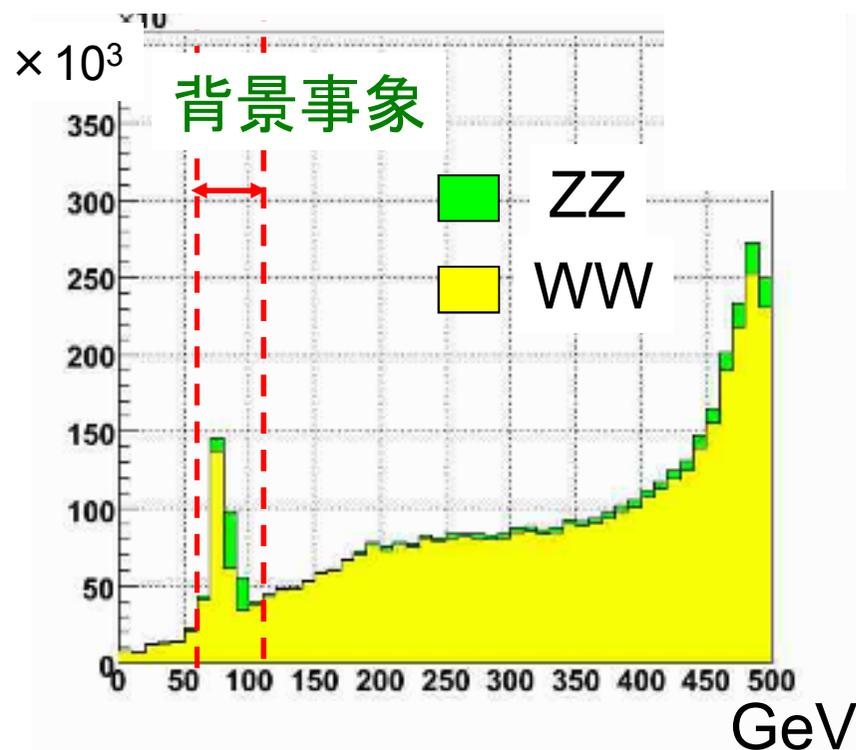
事象選択: Z質量

再構成したZの質量を用いて事象選択した

〈再構成したZの質量分布〉



90GeVにピーク



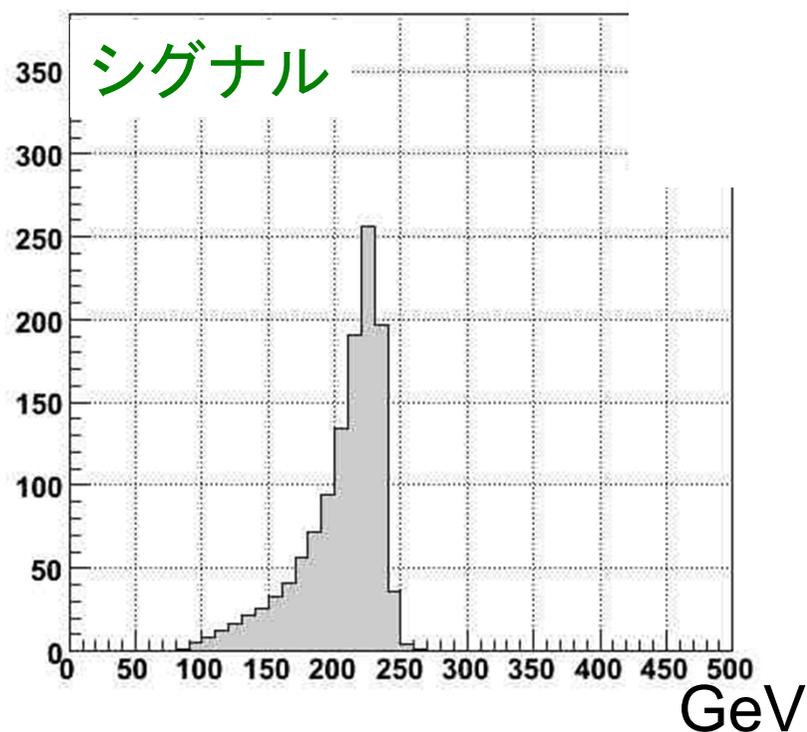
100GeV以降に大きく分布

70GeV < Zエネルギー < 110GeVの範囲を選択した

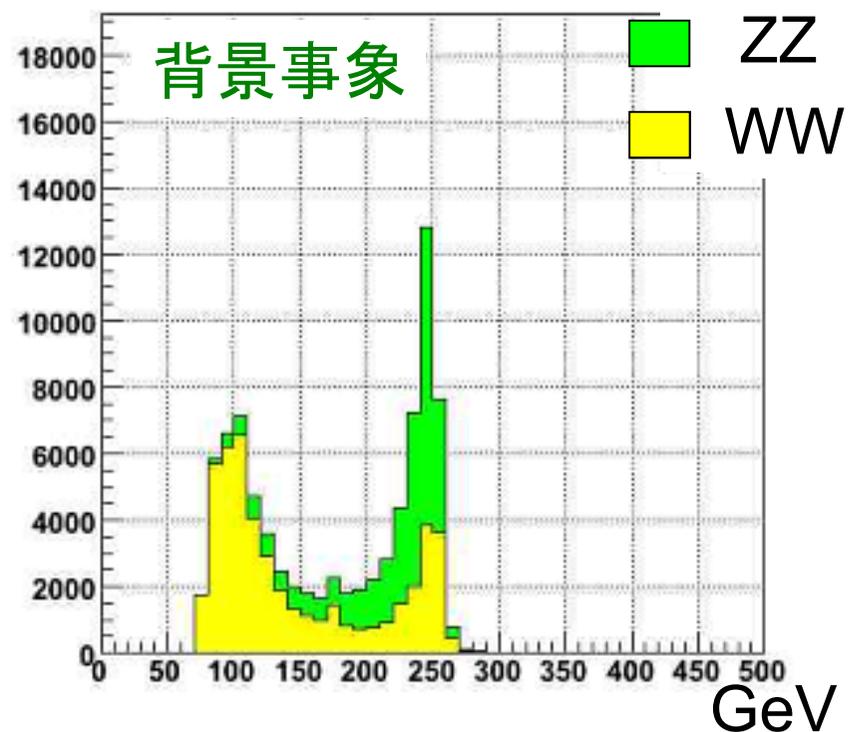
Likelihood変数の選択: Zエネルギー

再構成したZのエネルギー分布を比較した

〈再構成したZのエネルギー分布〉



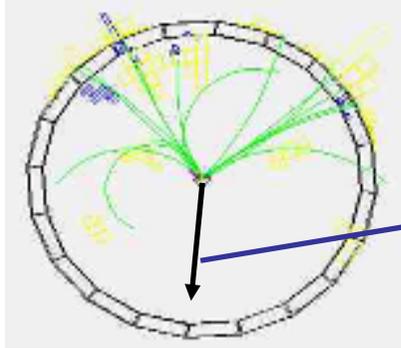
220GeVにピーク



100GeVと250GeVにピーク

シグナルと背景事象の分布が異なる
→Likelihood変数に採用

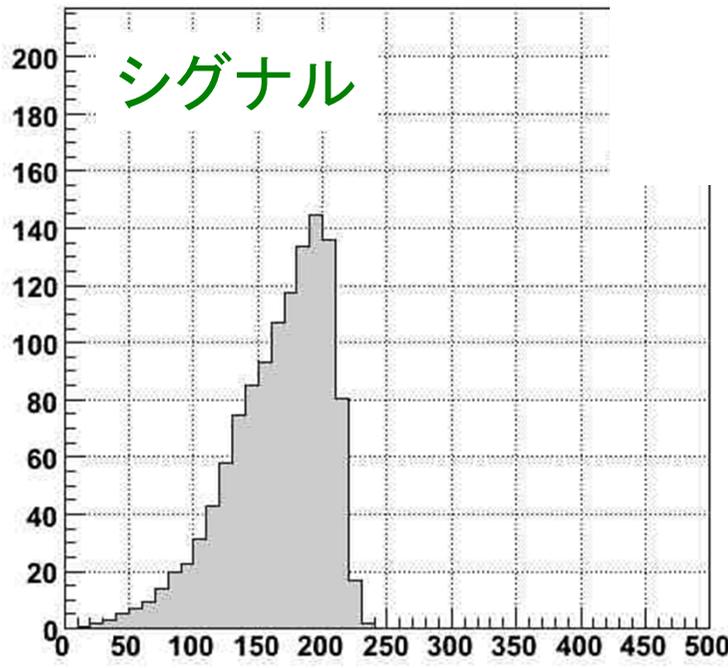
Likelihood用変数の選択：横運動量欠損



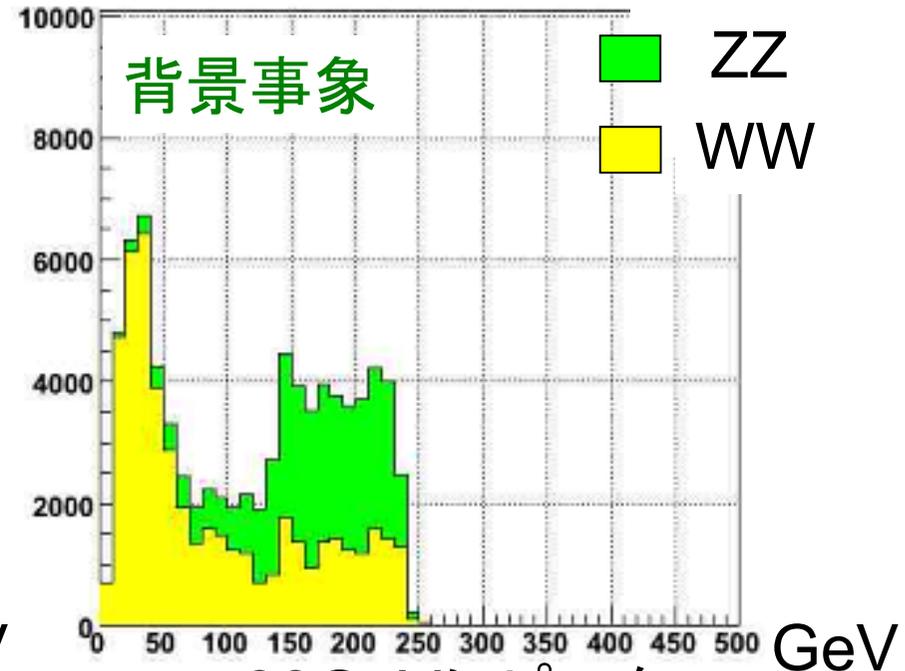
横運動量欠損の分布を比較した

横運動量欠損

<横運動量欠損の分布>



200GeVにピーク



30GeVにピーク

シグナルと背景事象の分布が異なる
→Likelihood変数に採用

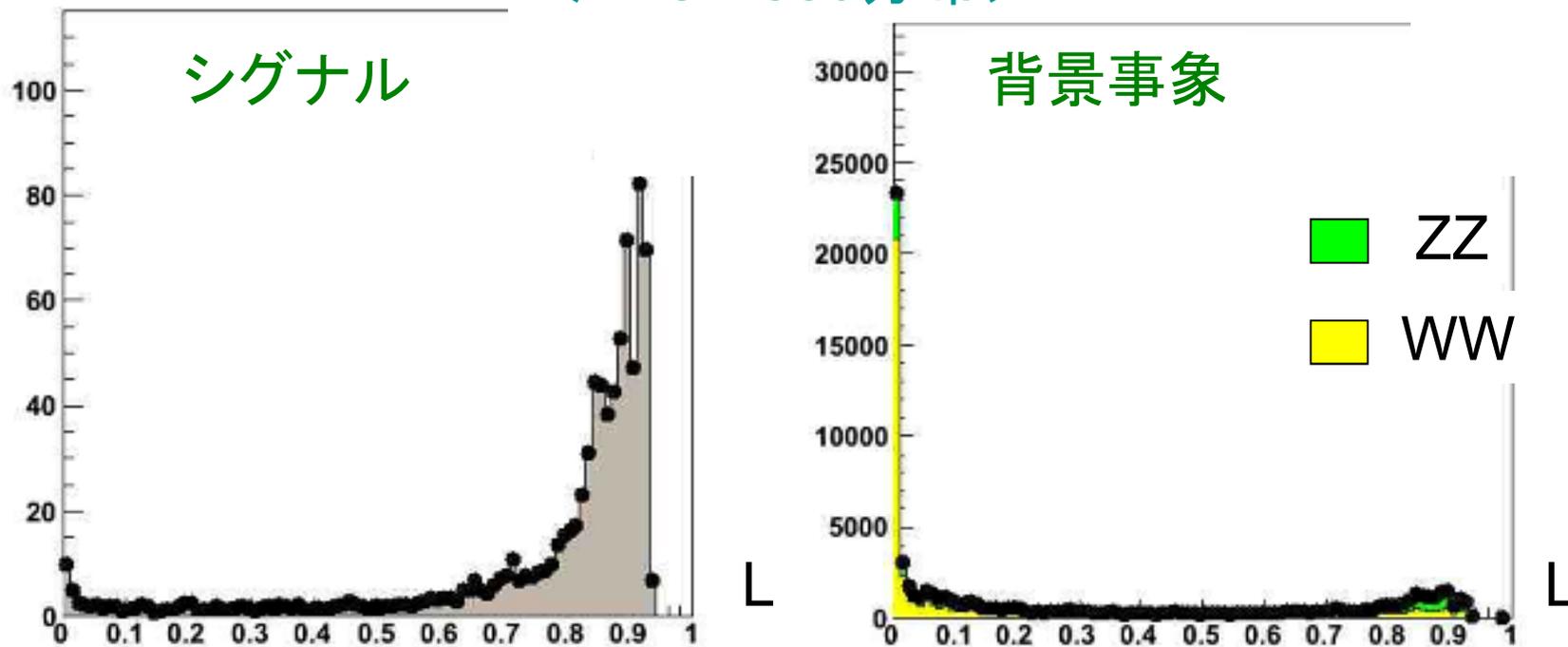
Likelihood解析

Likelihoodの分布をシグナルと背景事象で比較

- Likelihoodに用いた変数
 - 再構成されたZのエネルギー
 - 横運動量欠損

$$L = \frac{L_{signal}}{L_{signal} + L_{background}}$$

<Likelihood分布>



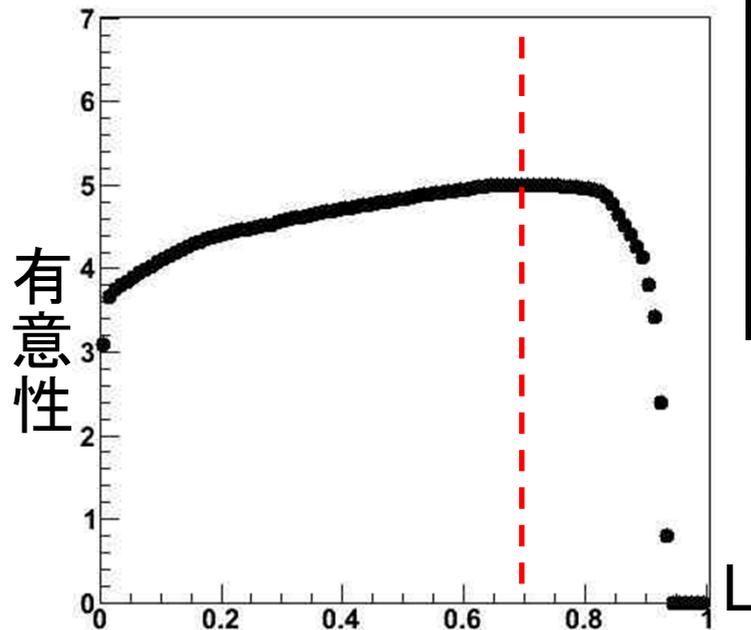
シグナルと背景事象がきれいに分離できている

シグナルの有意性

検出感度の評価として有意性を用いた

$$\frac{N_{signal}}{\sqrt{N_{signal} + N_{bg}}}$$

<L 対 有意性>



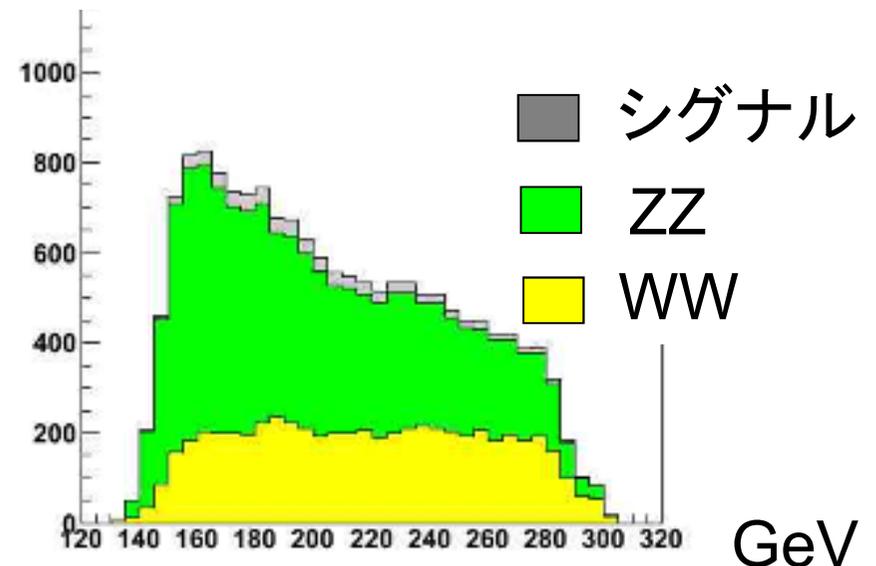
Likelihood が0.7以上のところを選択



有意性 : 5.0

	ZH*→Z DMDM	ZZ	WW
カットなし	1065	235436	4117740
事象選択	853	29920	44581
Likelihood	682	11365	6580
カット効率	64%	4.8%	0.16%

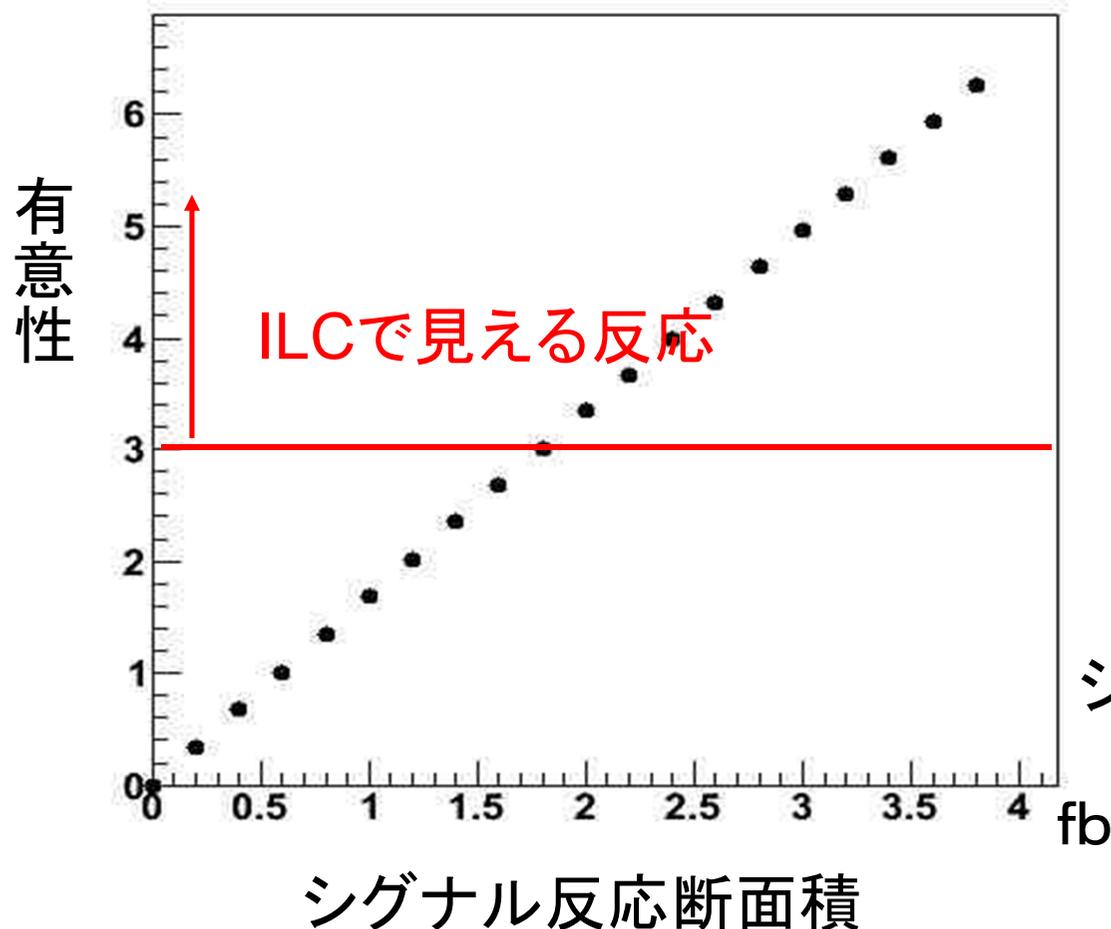
<カット後の質量欠損分布>



ILCでのヒッグス・ダークマター結合の 観測に対する感度

ILCで見えるシグナル反応断面積を求めた

<シグナル反応断面積 対 有意性>



有意性 > 3 を要求すると



シグナル反応断面積 $> 1.8\text{fb}$

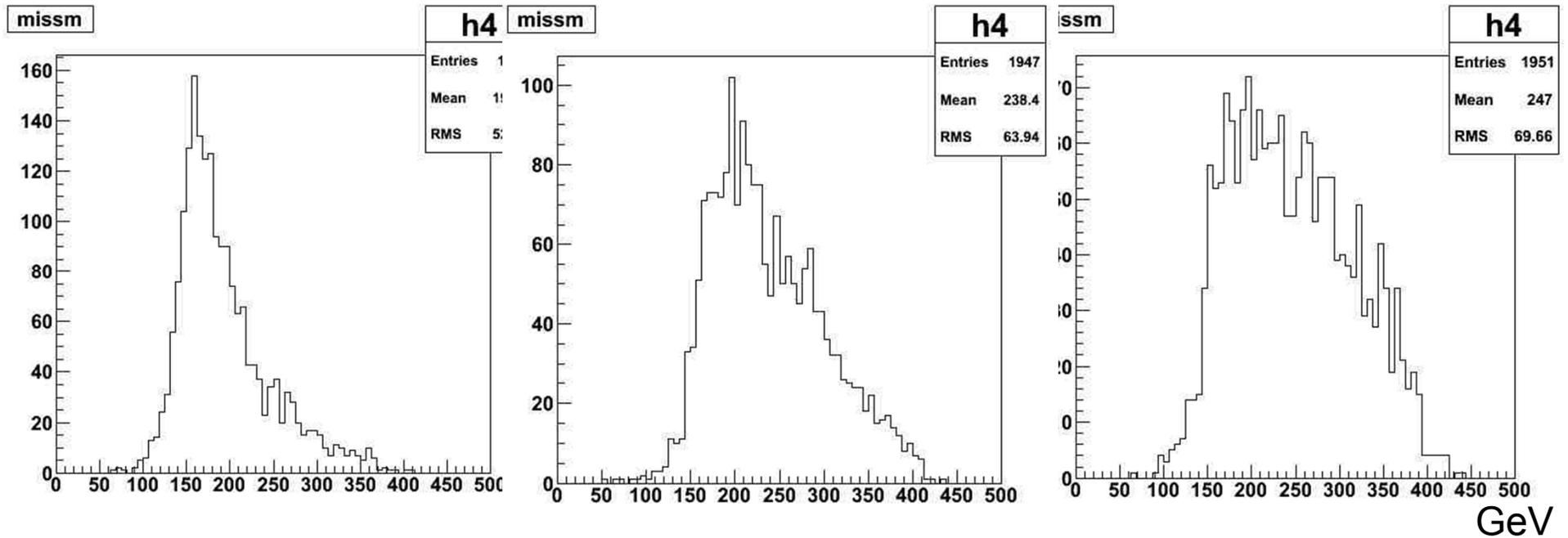
まとめ

- ダークマターを発見することは新物理解明の手掛かりとなる。
- 本研究ではヒッグス・ポータル模型のスカラードークマターについて解析を行った。
- 本解析ではヒッグス事象の測定精度をクイック・シミュレーションで評価した。
- Likelihoodを用いた解析では、有意性が3以上となる最小のシグナル反応断面積は1.8fbとなった。

プラン

- フェルミオン、ベクトルタイプのダークマターについて解析を進める。

タイプ別の質量欠損分布



スカラー

フェルミオン

ベクトル