

ATLAS実験における
Wボゾン対への崩壊過程における
Higgs粒子の性質の測定

KEK、東大素セ^A

神前 純一、兼田 充^A、

小林 富雄^A、浅井祥仁^A、田中 純一^A

日本物理学会 2007年春季大会

Introduction

- LHC加速器におけるATLAS実験において、Higgs粒子の検出の可能性とその性質の測定について vector boson fusion 過程によるHiggs粒子の生成と、そのHiggs粒子がWボゾン対への崩壊する場合について、特にHiggs粒子が崩壊した二つのWボゾンが、一つがレプトンへ、片方がハドロンへと壊れる過程について検討を行った。
- 昨春の学会において fast simulation での検討の結果について発表を行った。

Tuesday 28 March 2006

LHC・ATLAS実験におけるHiggs粒子の性質の測定 (15') 兼田充 (東大素セ)

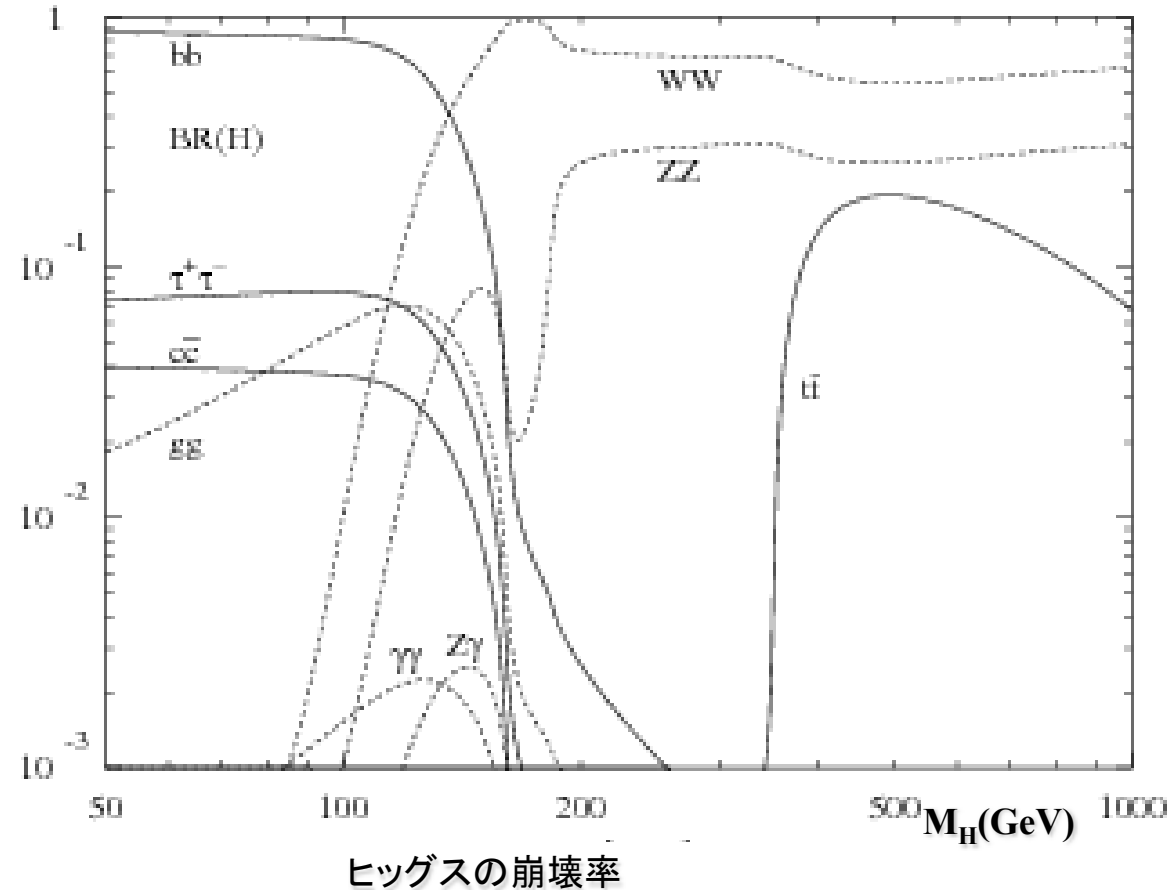
[http://kds.kek.jp/materialDisplay.py?
contribId=s16t9&sessionId=s16&materialId=0&confId=a0651](http://kds.kek.jp/materialDisplay.py?contribId=s16t9&sessionId=s16&materialId=0&confId=a0651)

今回はさらにその解析手法を full simulation のサンプルに対して適用した結果を追加する。

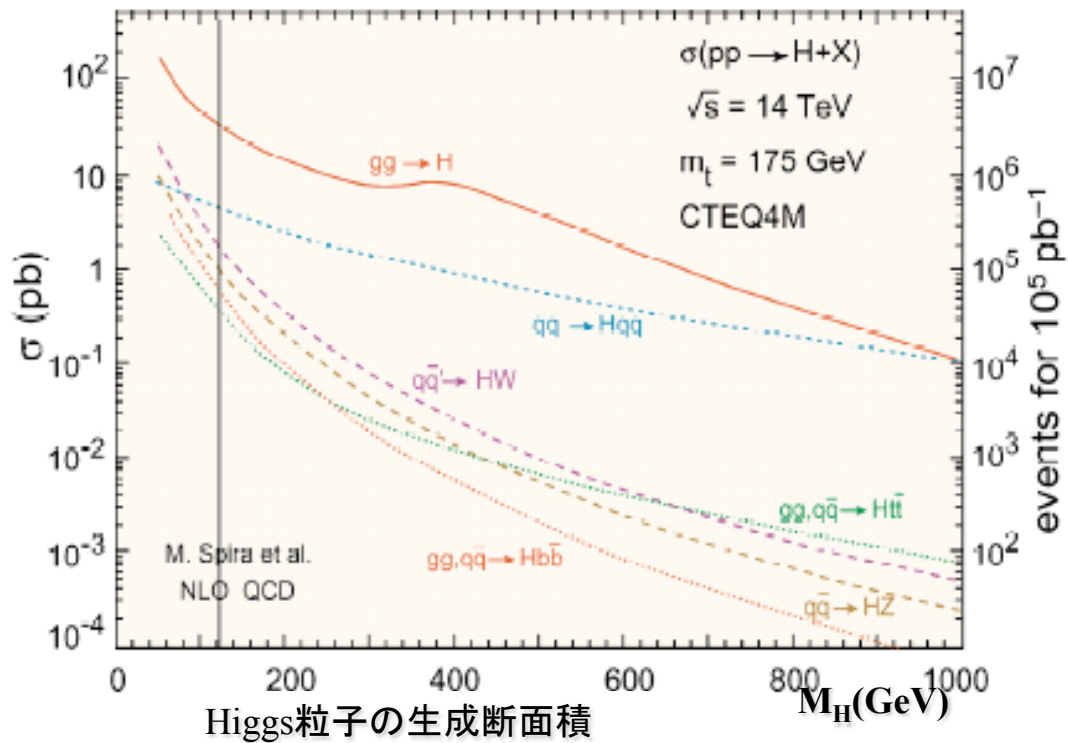
- 終状態の ν の運動量を再構成する解析の手法として新しい崩壊するHiggs粒子全体の質量に対する kinematic constraint を入れる方法を導入した。

Introduction: $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu jj$

- Higgs粒子の質量が140GeV以上でWWへの崩壊率が大きい。
- この崩壊過程では ν が一つしか存在しないのでその運動量を解くことができる。従って 事象を再構成できる ので、 $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$ と同様に終状態の 4 leptons の間の角度相関から親の粒子に関する情報を得られる可能性がある。



Introduction: VBF $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu jj$



- Gluon fusion の次に大きなcross sectionを持つ
- W,Zの重い粒子を交換するので前後方に High Pt の jets が存在し、それらの間には大きな rapidity gapがある
- Decay products はこの rapidity gap 内にある
- 散乱粒子間にカラーの交換が無いいためこの rapidity gap 内にはjetが少ない

* このプロセスにより生成されたHiggs粒子の発見に関する検討が、特に軽いHiggs粒子の発見可能性を大きく進展させた。

- $H \rightarrow \gamma\gamma$
- $H \rightarrow \tau\tau$
- $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu l\nu$

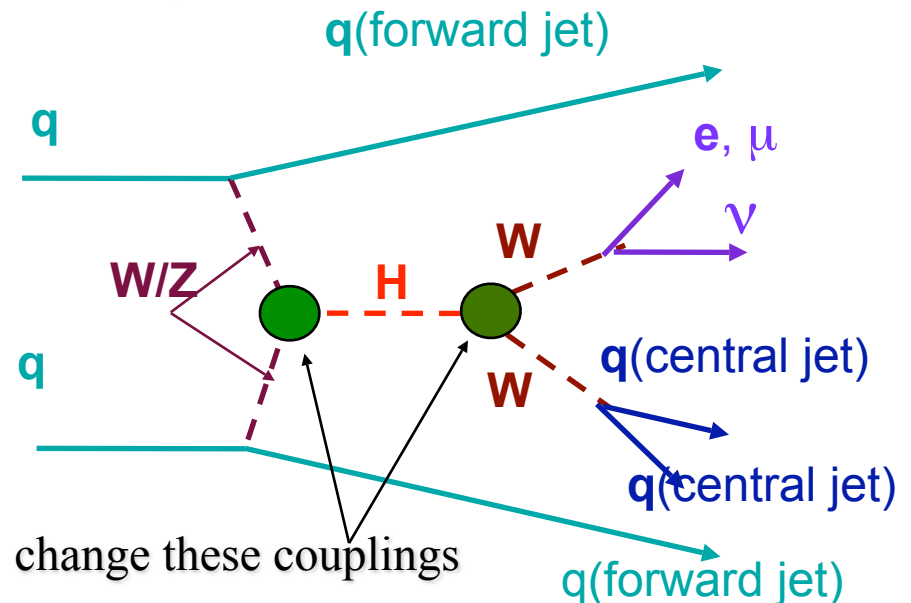
→ $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu jj$

MC Samples

- Signal: VBF $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu jj$ ($l = e, \mu$) ($M_H = 110\text{GeV} - 500\text{GeV}$)
 - SM (Pythia)
 - HVV vertex に anomalous tensor coupling の入ったモデル
Ref. T. Plehn, D. Rainwater, and D. Zeppenfeld Phys. Rev. Let. 88 051801 (2002)
 - CP Even (MadGraph)
 - CP Odd (MadGraph)
(ただし、これら anomalous couplings を持つ signal の total cross sections は SM のものと同じに仮定した)

- Background:
 - W+4jets (Alpgen + Pythia)
 - $t\bar{t}$ (Pythia)

検討したその他の background の効果は非常に小さかった



Event Selection: Lepton and jets

- **Only one lepton is required**

- lepton's efficiency: 90%
- electron: $P_T > 25\text{GeV}$, $|\eta| < 2.5$, muon: $P_T > 20\text{GeV}$, $|\eta| < 2.5$
- Number of leptons = 1

- **Forward jets and Central jets**

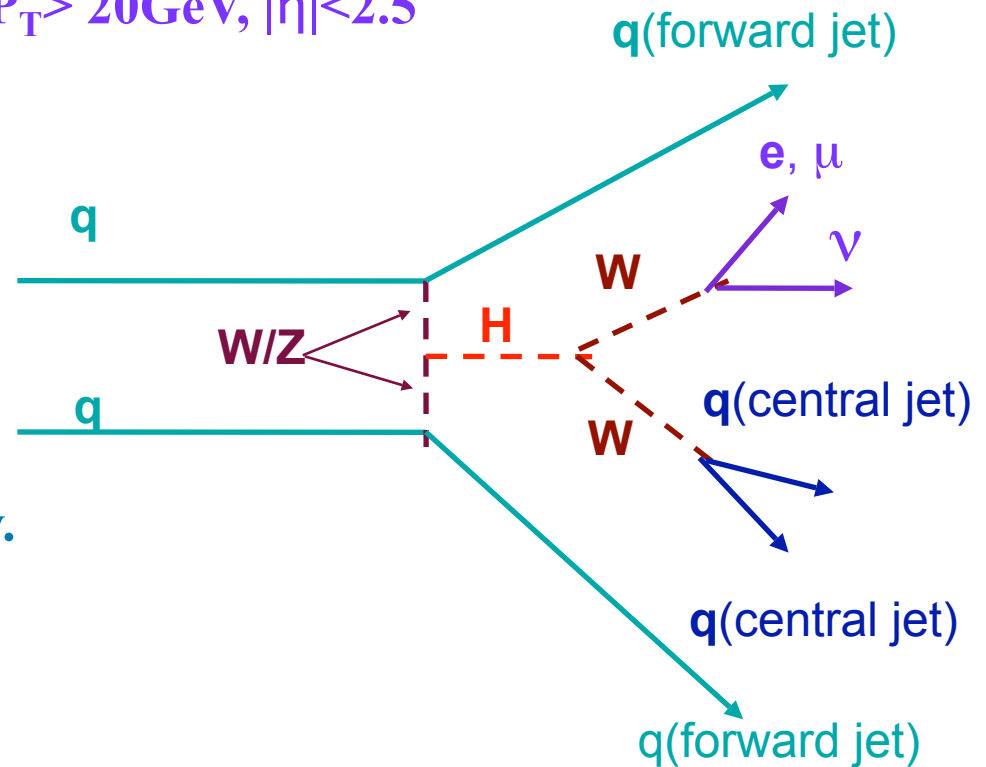
- $P_T > 20\text{GeV}$, $|\eta| < 5.0$
- Number of b-jets = 0
- Choose four highest P_T jets
- **Forward jets**
 - Two outer jets in pseudo rapidity.
 - $P_t > 40\text{GeV}$
 - $M_{j_1 j_2} > 1200\text{GeV}$, $|\eta_1 - \eta_2| > 5$

- **Central jets**

- Two remaining jets

- **Central Jet Veto**

- $P_T > 20\text{GeV}$, $\eta_{fj1} < \eta < \eta_{fj2}$



Event Selection: W decay products

P_T Cut of Lepton, Neutrino and Central jets

| Decay Particles from $W(\rightarrow l\nu)$ | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| | $m_H < 160\text{GeV}$ | $160 < m_H < 200\text{GeV}$ | $m_H > 200\text{GeV}$ |
| P_T (P_{Tl} and $E_{T^{\text{miss}}}$) | $> m_H/8 + 5\text{GeV}$ | | $> m_H/40 + 25\text{GeV}$ |
| Higher P_T Cut | $> m_H/4 + 10\text{GeV}$ | | $> m_H/20 + 50\text{GeV}$ |
| Decay Particles from $W(\rightarrow jj)$ | | | |
| $P_T(\text{cj1}, \text{cj2})$ | $> 20\text{GeV}$ | $> m_H/16 + 10\text{GeV}$ | |
| Higher P_T Cut | $> m_H/4 + 10\text{GeV}$ | | $> m_H/20 + 50\text{GeV}$ |

Isolation of Lepton and Central jets from Forward jets

Lepton

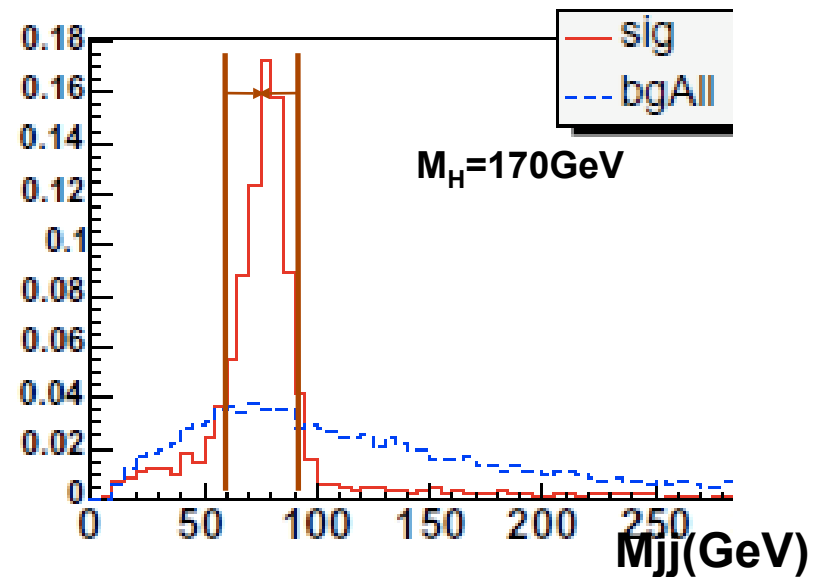
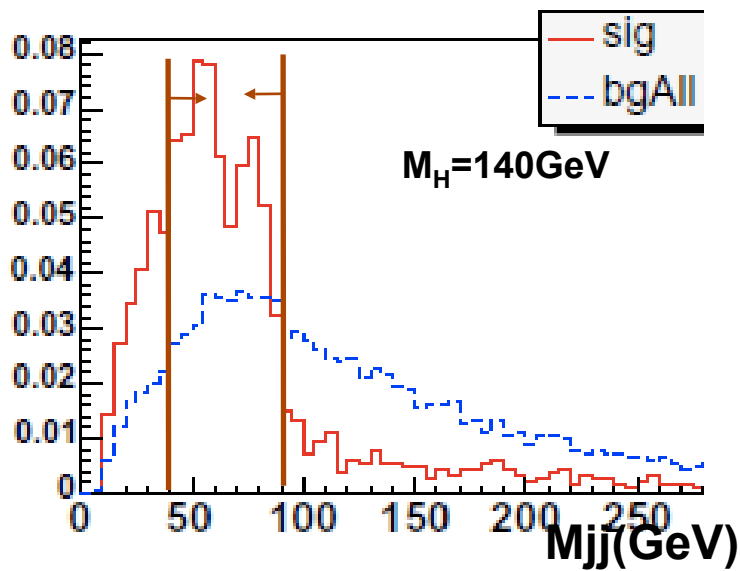
- $\eta_{fj1} < \eta_{\text{lepton}} < \eta_{fj2}$
- $\Delta R(\text{lepton} - fj1, fj2) > 2$

Central Jet

- $\Delta R(\text{cj1}, \text{cj2} - fj1, fj2) > 1.5$

Event Selection: M_{jj} (Mass of $W \rightarrow jj$)

| $m_H < 160 \text{ GeV}$ | $m_H > 160 \text{ GeV}$ |
|--|--|
| $60 - (160 - m_H) \text{ GeV} < M_{jj} < 90 \text{ GeV}$ | $60 \text{ GeV} < M_{jj} < 90 \text{ GeV}$ |



Higgs Mass Constrained Analysis

Higgs Mass Constraint

- 全体の系の質量にあるHiggs粒子の質量を仮定することによって、観測出来ない ν の運動量のビーム軸方向の成分($E_{\nu z}$)を決める。

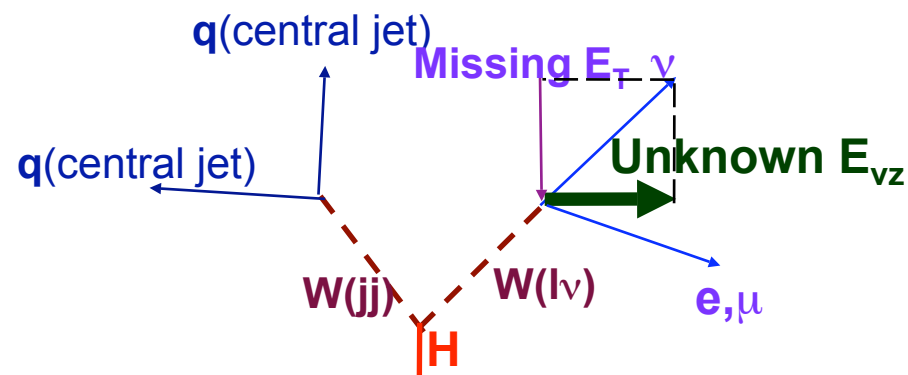
* 従来は $W \rightarrow l\nu$ の崩壊を用い $M_W=80\text{GeV}$ と仮定して $E_{\nu z}$ を求めた

- Higgs粒子の質量が軽い場合にはHiggs粒子の崩壊幅の方がWボゾンの崩壊幅よりも小さい
- 解析の中のパラメターと考えた場合、求めるべきHiggs粒子の質量をパラメターとして用いた方が解析結果との correlation が大きい

→ もし解けない場合 (解がない場合)
その event を落とす。

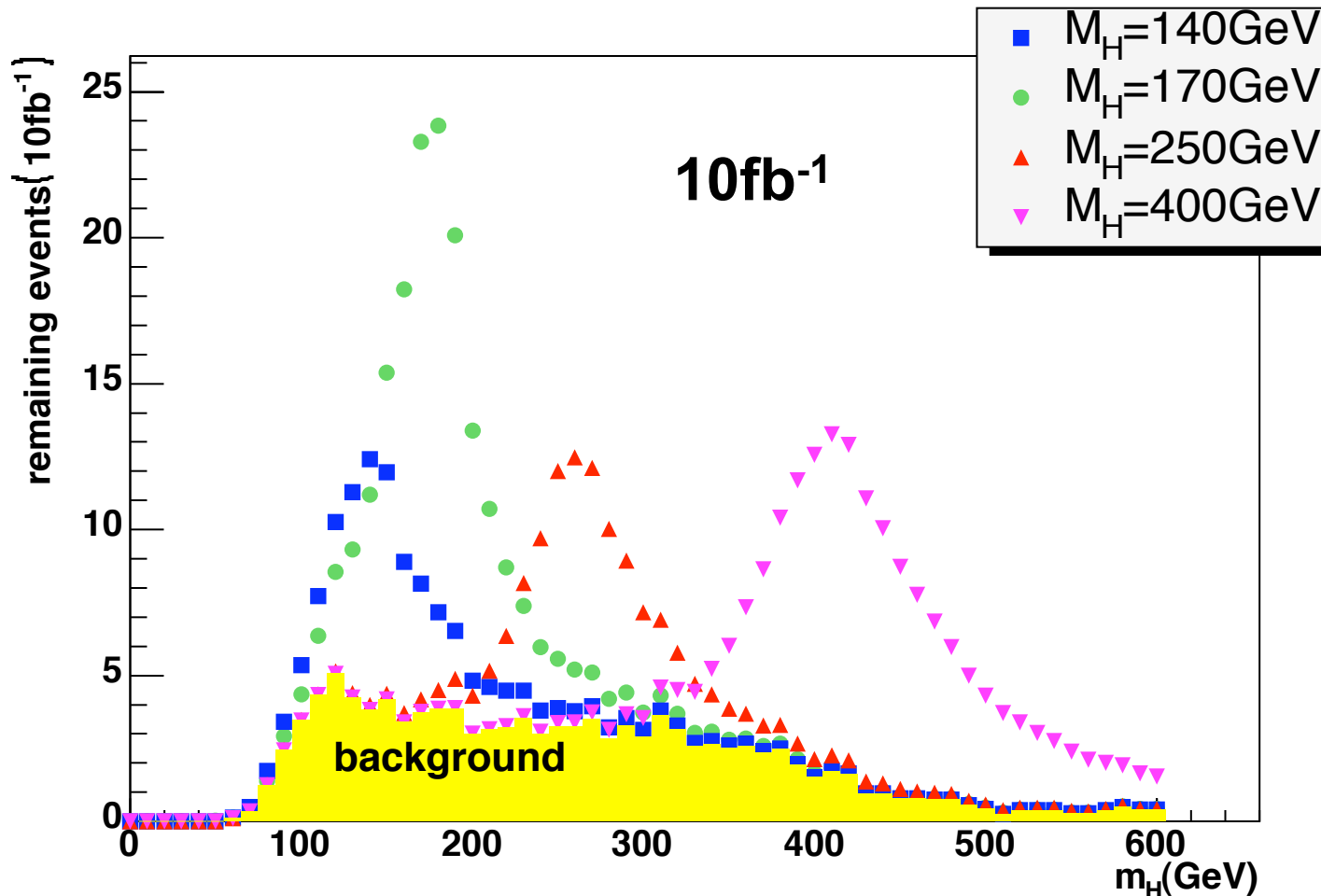
$M_{l\nu}$ (Mass of $W \rightarrow l\nu$) Cut

$$M(W \rightarrow l\nu) < 110\text{GeV}$$



Higgs Mass (m_H) Constraint

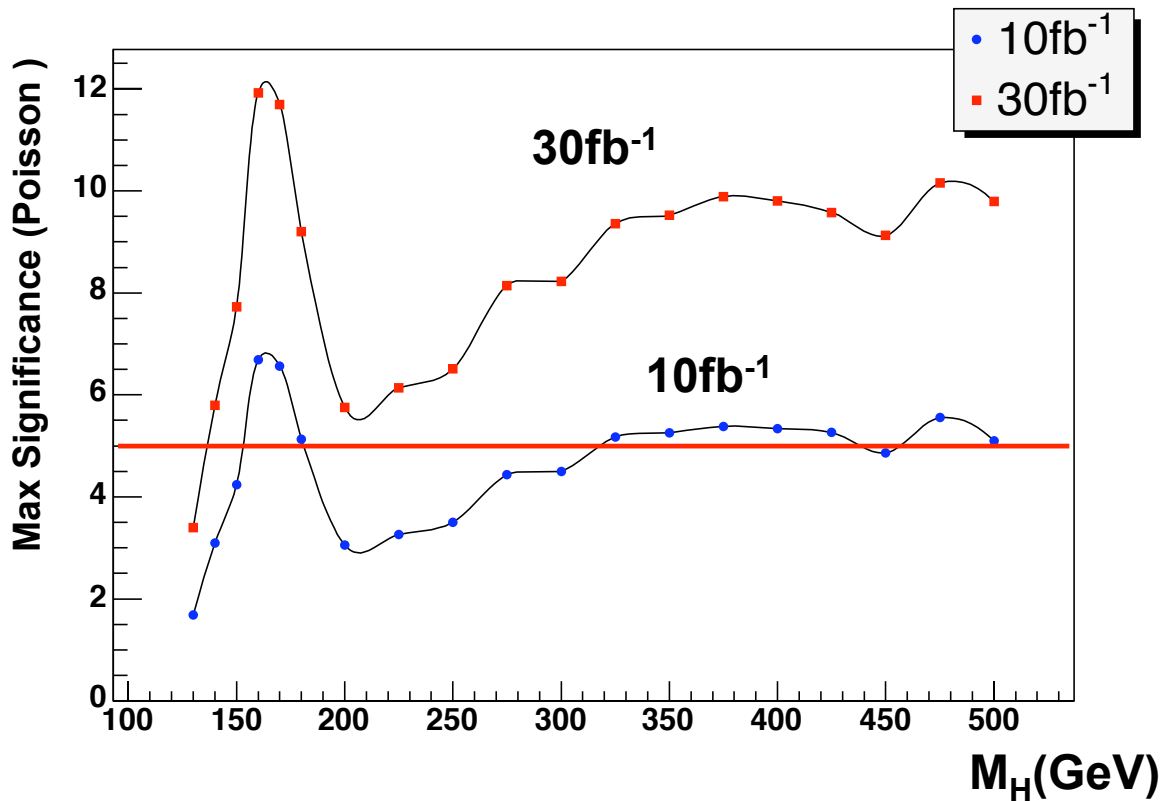
m_H dependence of No. of remaining events



- m_H (constraint mass parameter) を変化させることによって得られる解析に残る event 数の変化から $m_H = M_H$ (True Mass) の場合に signal に愛する efficiency が大きいことがわかる。
- 一方、background の場合の変化は比較的なだらかである。

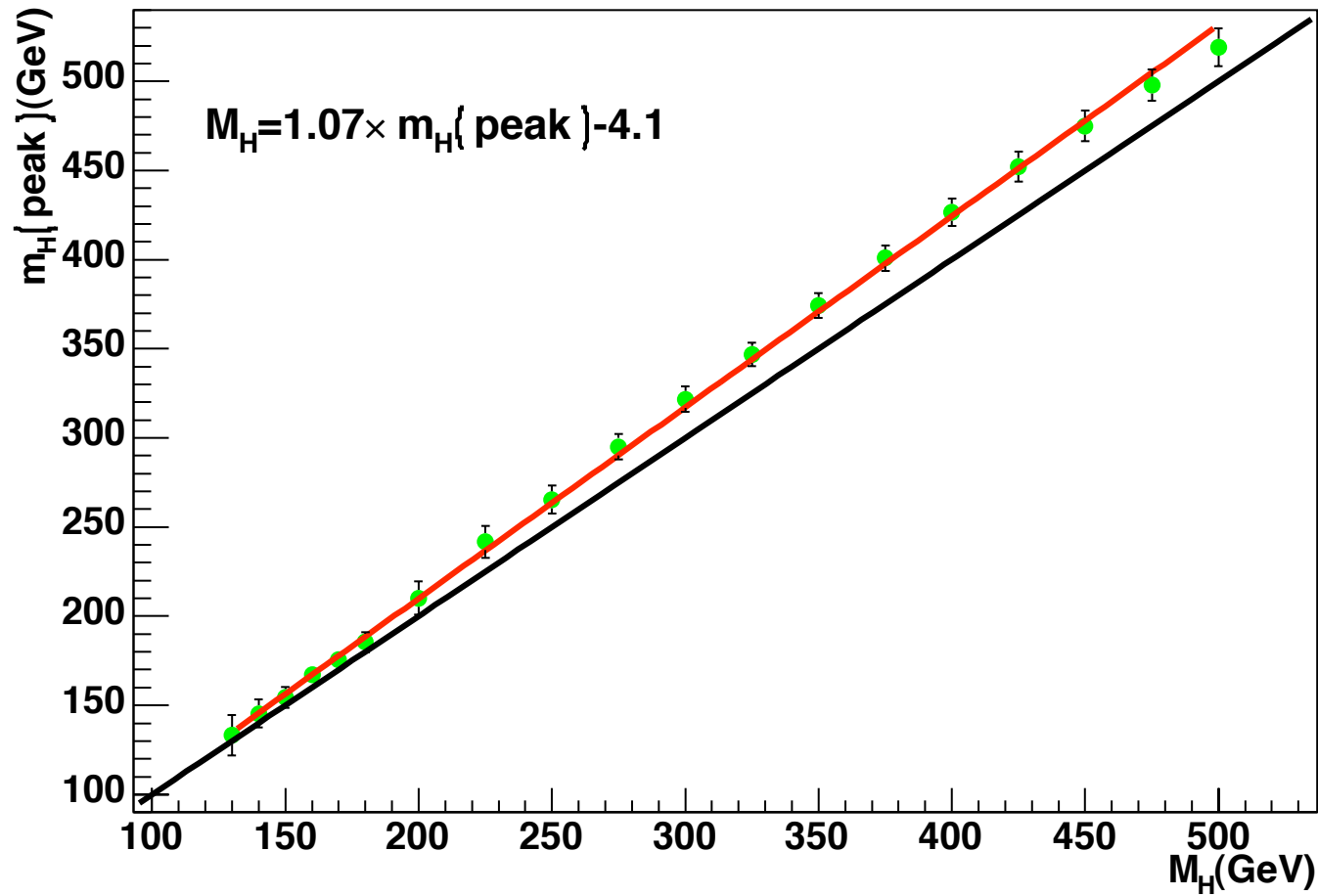
Expected cross sections after selections and Discovery Significance

| $M_H(\text{GeV})$ | Signal(fb) | W+4jets(fb) | ttbar(fb) | significance with 10(30)fb ⁻¹ |
|-------------------|------------|-------------|-----------|--|
| 140 | 0.86 | 0.35 | 0.04 | 3.1(5.8) |
| 170 | 1.95 | 0.35 | 0.03 | 6.7(11.7) |
| 250 | 0.88 | 0.29 | 0.04 | 3.5(6.5) |
| 400 | 1.11 | 0.12 | 0.04 | 5.3(9.8) |



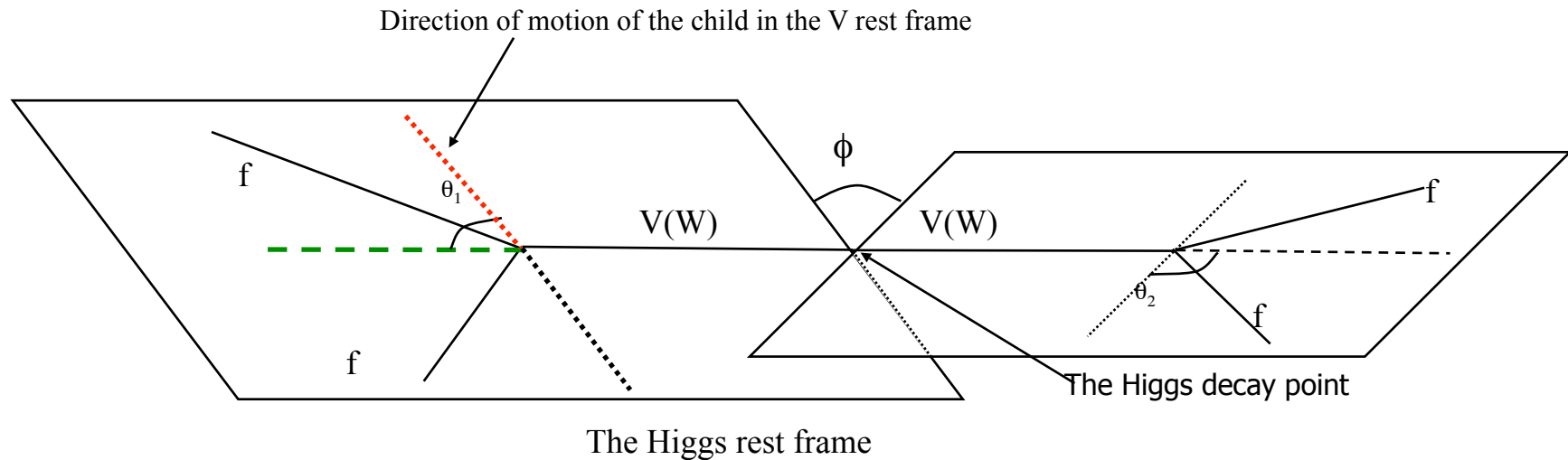
- 残る event 数が最大になる m_H での significance (Poisson) を plot した。
- ただし background shape は MC の形を用いる。
- $WW \rightarrow l\nu l\nu$ には及ばないが十分な discovery potential がある。

$m_H(\text{Peak})$ vs. true M_H



$m_H(\text{Peak})$: background を引かずに分布の形のみから求めた peak の位置

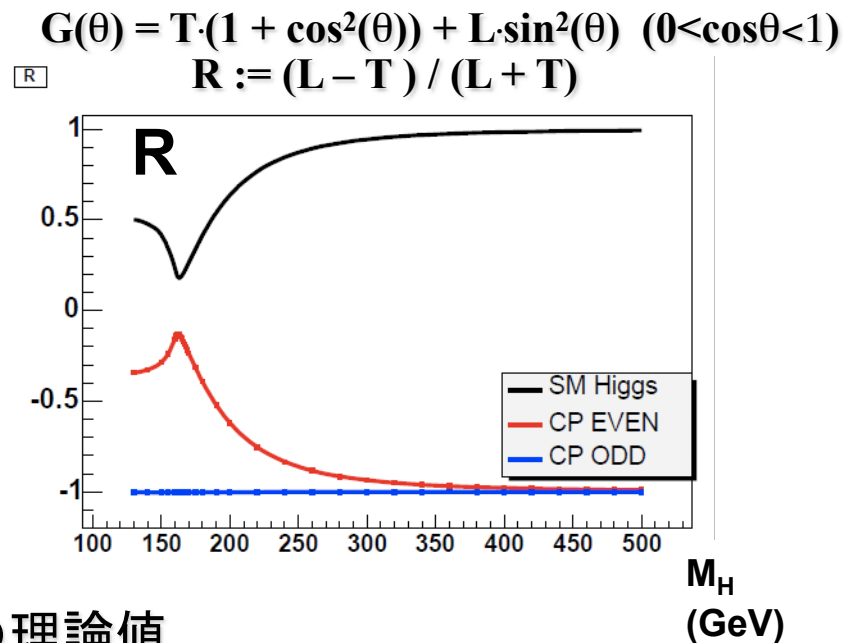
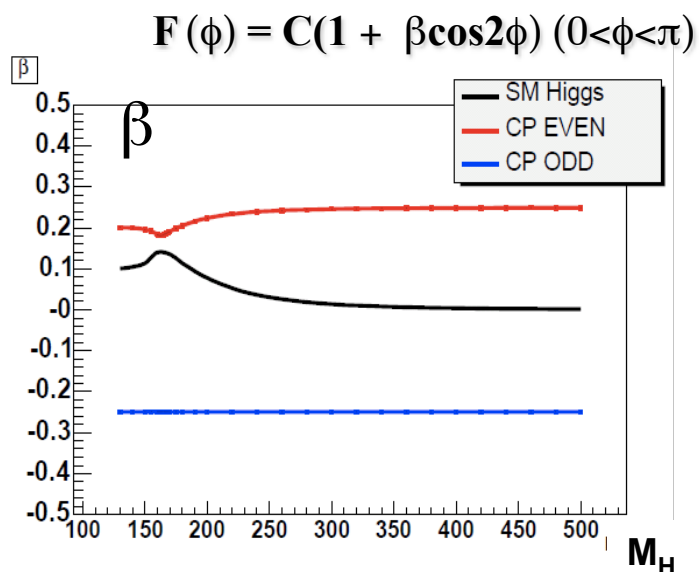
Parameters Sensitive to the Higgs property



ϕ : Higgs粒子の静止系において、二つの W 粒子から崩壊したそれぞれ2つのfermionが作る平面の間の角度。

θ : W 粒子の静止系における fermion の運動量の方向と、Higgs粒子の静止系における W 粒子の運動量の方向間の角度。

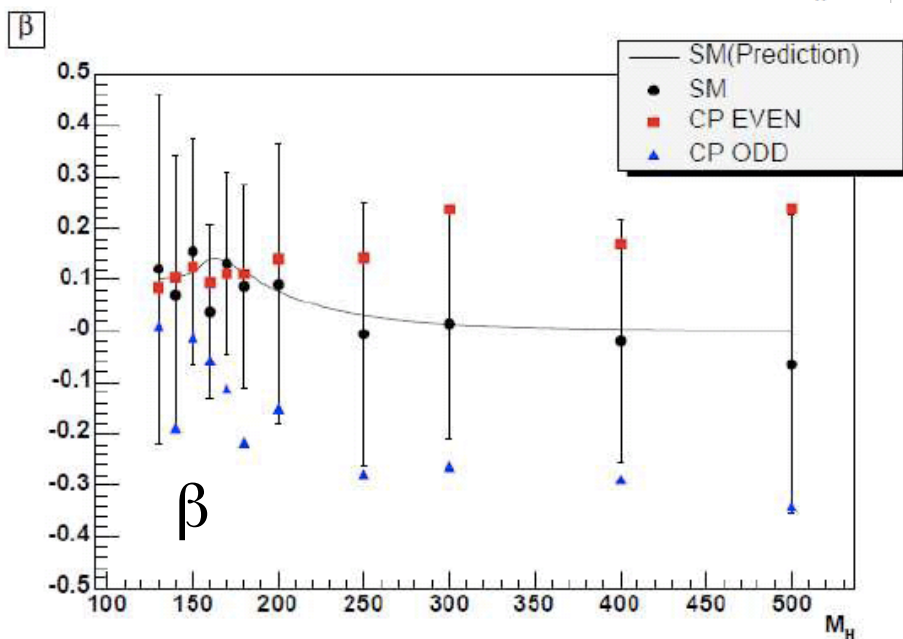
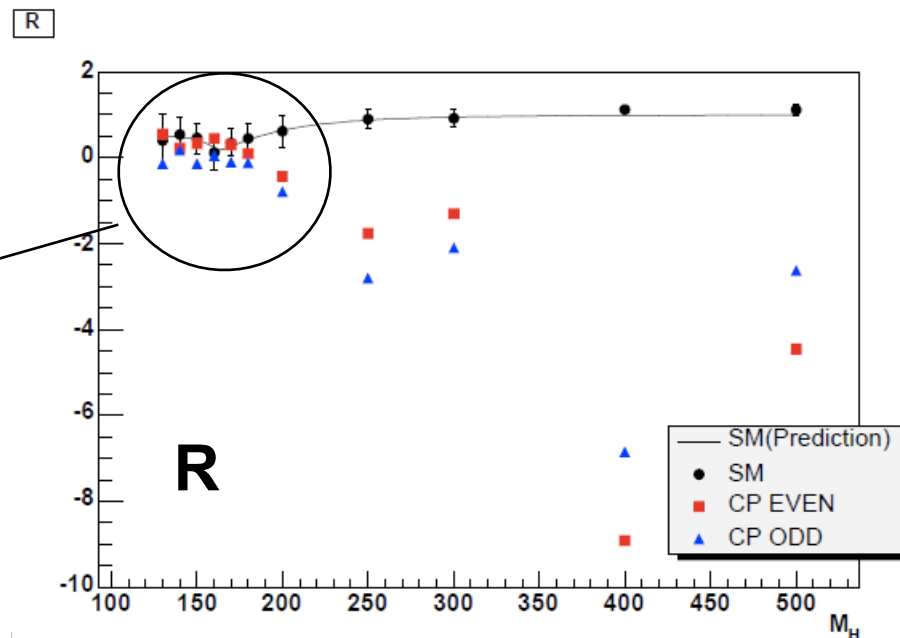
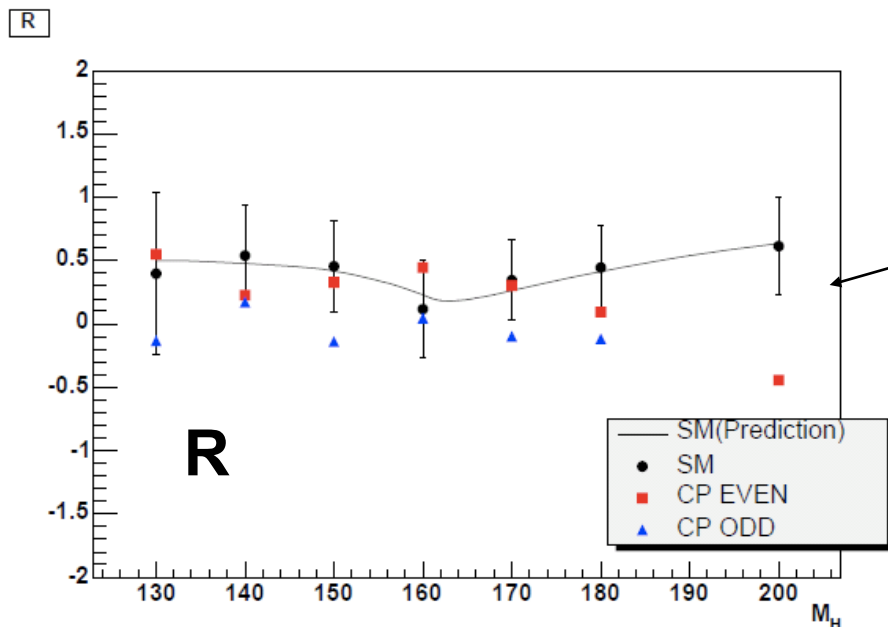
Determination of Higgs property



(GeV)
 R, β の理論値

- これらの R と β を用いてCP Even, CP Oddのcouplingがdominantである可能性をexcludeできるかどうかを調べる。
- Correction function
 - SMのsignalの半分を用い、 R, β の分布に対するacceptanceとselectionの効果を補正するcorrection functionを作る。
- Predicted value with correction
 - このSMのcorrection functionを用いて補正したCP Even, CP Oddの R, β の値を求めてSMの場合と比較する。

Result of R and β with 30fb⁻¹



Rの値から、200GeV以上では
SMのcouplingとanomalousな
couplingを区別することが出来る

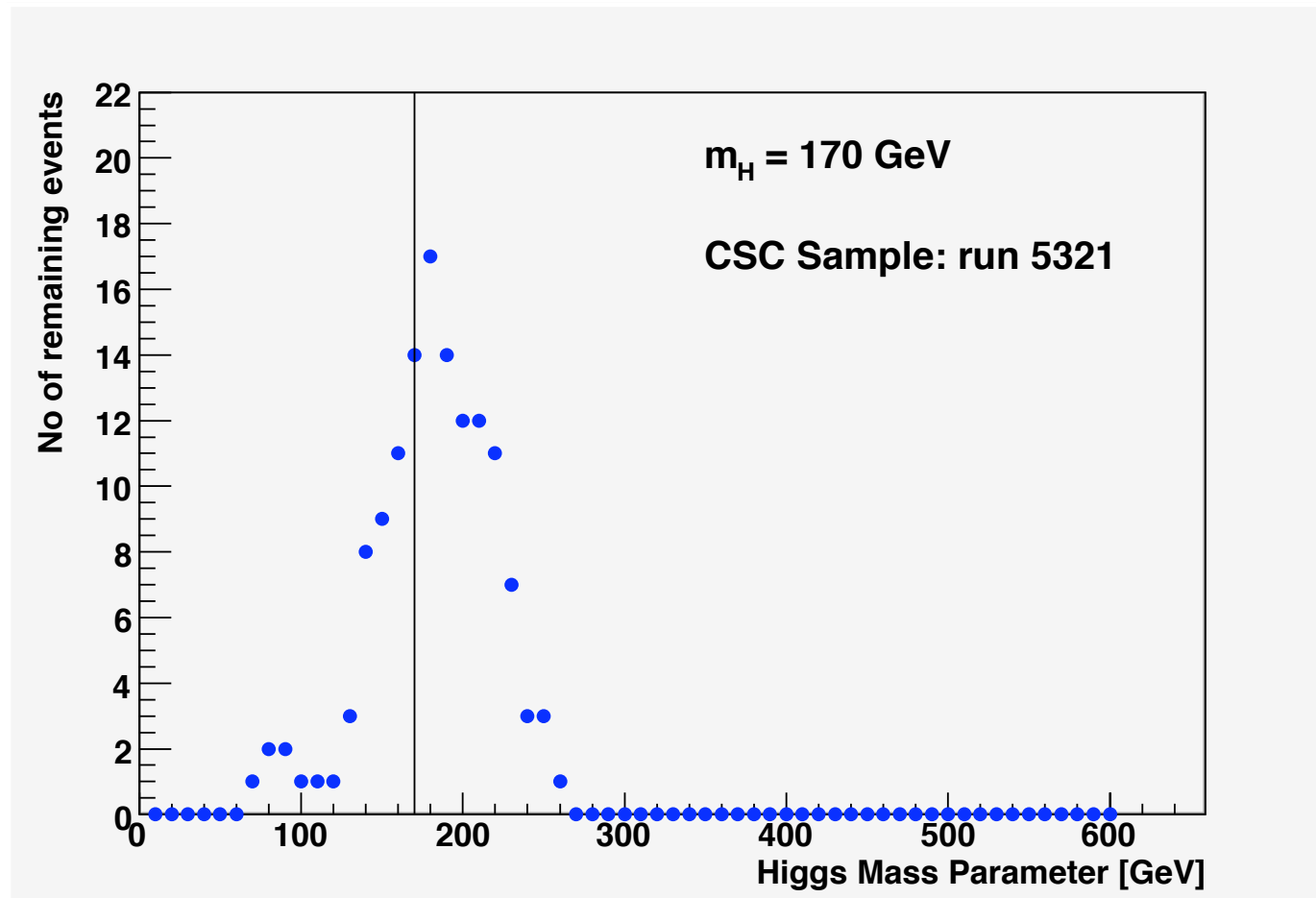
Full Simulation Sample

- ATLAS の official な full simulation sample (signal) を用いてこの解析を試みた

csc11.005321.PythiaH170wwlh.recon.AOD.v11004107

- Run No.: 5321
H \rightarrow WW \rightarrow lvjj (VBF) by Pythia
one lepton ($p_T > 5\text{GeV}$, $|\eta| < 2.7$) at generator level
 $m_H = 170\text{ GeV}$
- $\sigma_{\text{prod}} = 2.821\text{pb}$
lepton filter efficiency = 45%
- Full と fast の simulation の performance の違いをいろいろな形で比較することが重要
- 逆に解析そのものの妥当性のチェックにもなる

No. of Remaining Events (Full)



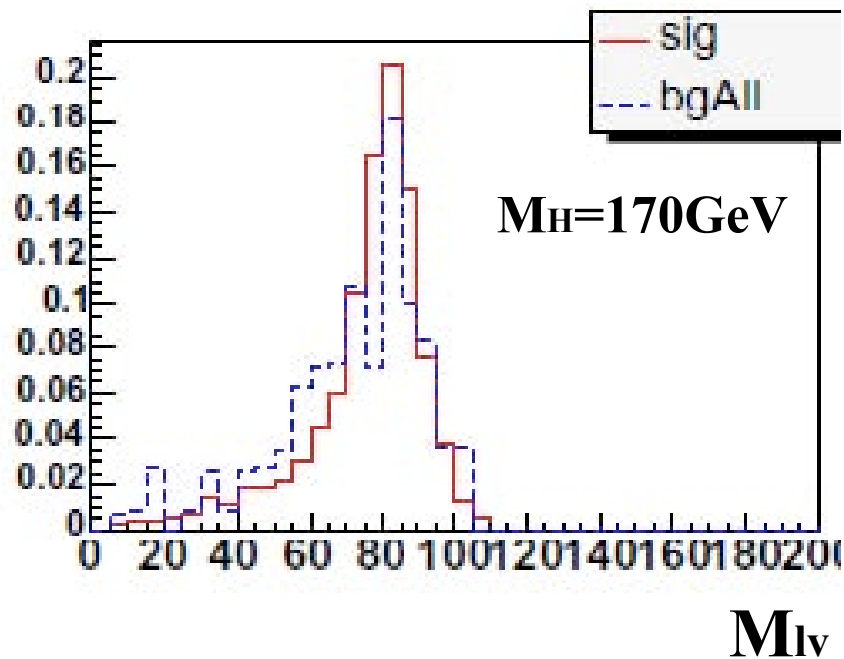
- 解析に残る event 数の変化の形は fast の場合の結果を再現できている (統計は不十分だが)
- ただし total efficiency が約3倍 full の場合が小さい

Analysis Efficiencies ($M_H=170\text{GeV}$)

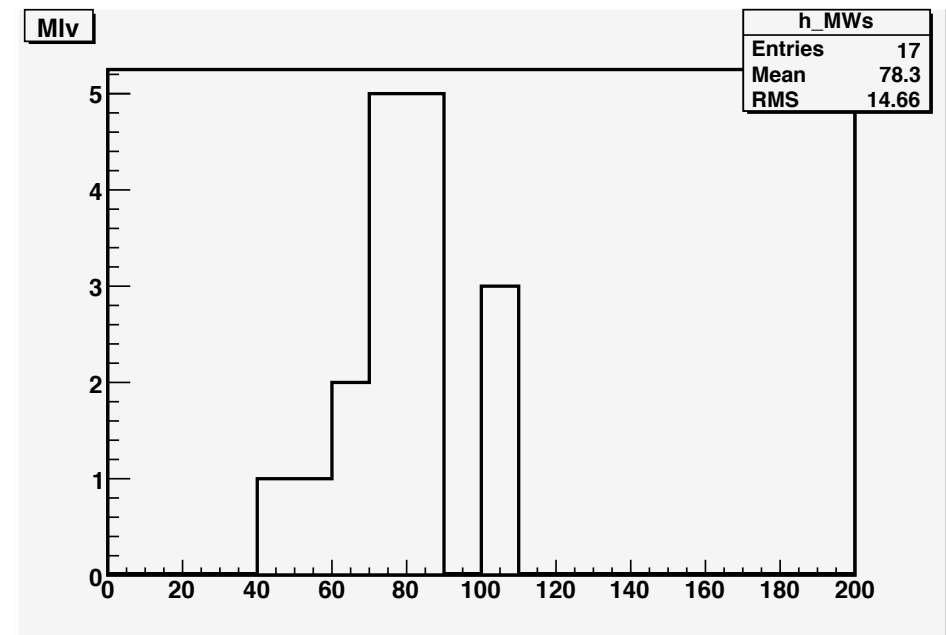
| | Full | Fast |
|---------------------------------------|-------------|--------------|
| No. of input events | 17100 (100) | 400000 (100) |
| After lepton selection | 1980 (11.6) | 50209 (12.6) |
| After VBF selection | 202 (1.18) | 4058 (1.01) |
| After central jets selection | 47 (0.28) | 1460 (0.37) |
| After Higgs mass constrained analysis | 15 (0.088) | 1037 (0.26) |

Leptonic な部分には大きな違いはないが、hadronic な部分 (jets)
特に central な部分での efficiency が小さい。

Leptonic W decay (Full)



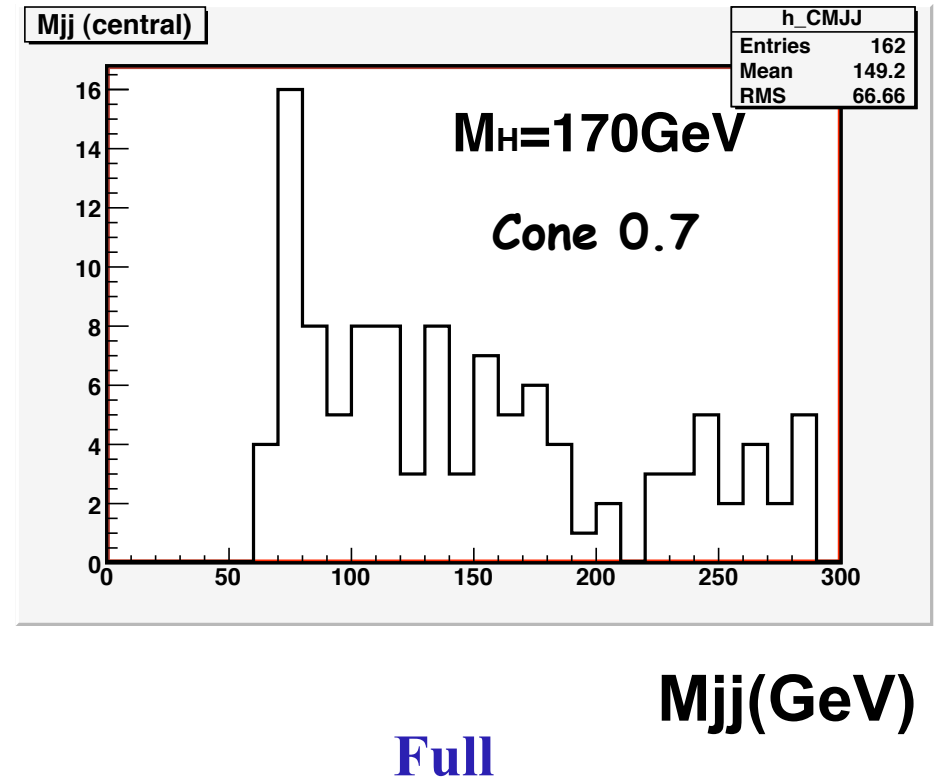
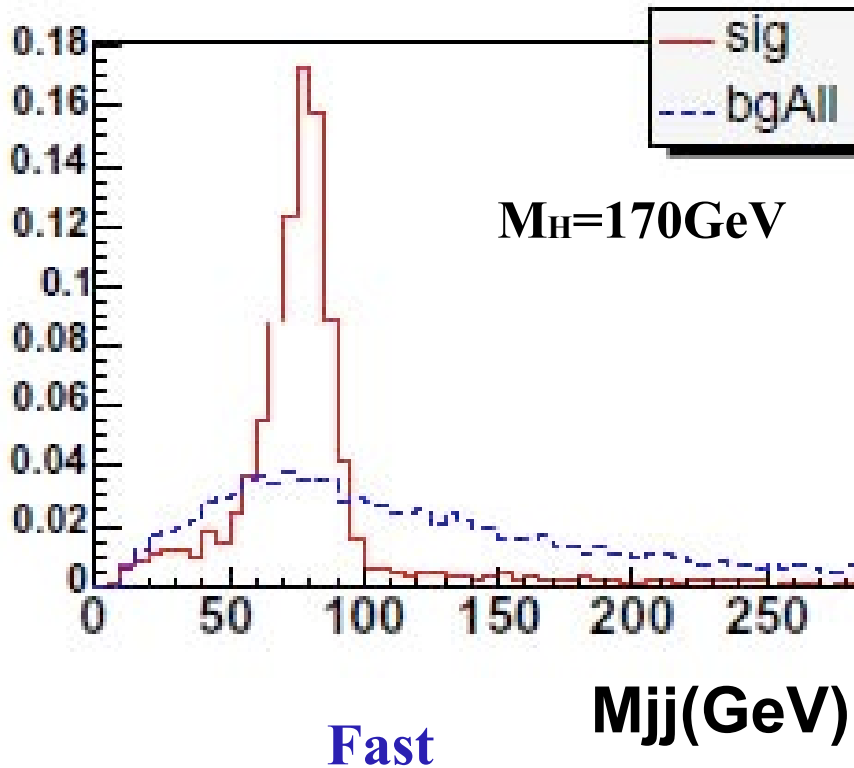
Fast



Full

- 最終的に残ったeventsでの leptonic decay W の mass 分布 (M_{lv})
統計は少ないが形はおおよそ一致する

Hadronic W decay (Full)



- M_{jj} の cut の段階での mass 分布
broad な分布のため selection efficiency が低下する
 - Fast simulation が良すぎる
 - Full sample の reconstruction が不十分 ←

Summary

- Fast simulation sample を用いて行った VBF $H \rightarrow WW \rightarrow lvjj$ 過程の Higgs mass constrained analysis を full simulation sample を用いて行った
- 解析に残る event 数の constrained mass parameter (m_H) による変化はおおよそ fast simulation の結果を再現している
- ただし efficiency がかなり異なり、おそらく hadronic W boson decay の reconstruction efficiency の違いに原因があると考えられる
- その違いが何によるものかはまだ検討中。
新しい reconstruction software による official sample の処理を待ち、再び解析を行う予定