



東京大学  
THE UNIVERSITY OF TOKYO

# LHC-ATLAS実験における $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu l\nu$ モードを用いた ヒッグス粒子の探索(1)

吉原圭亮、  
増渕達也<sup>A</sup>、田中純一<sup>A</sup>、中村浩二<sup>A</sup>、  
浅井祥仁、川本辰男<sup>A</sup>、山村大樹<sup>A</sup>

東京大学理学系研究科、東京大学素粒子物理国際研究センター<sup>A</sup>

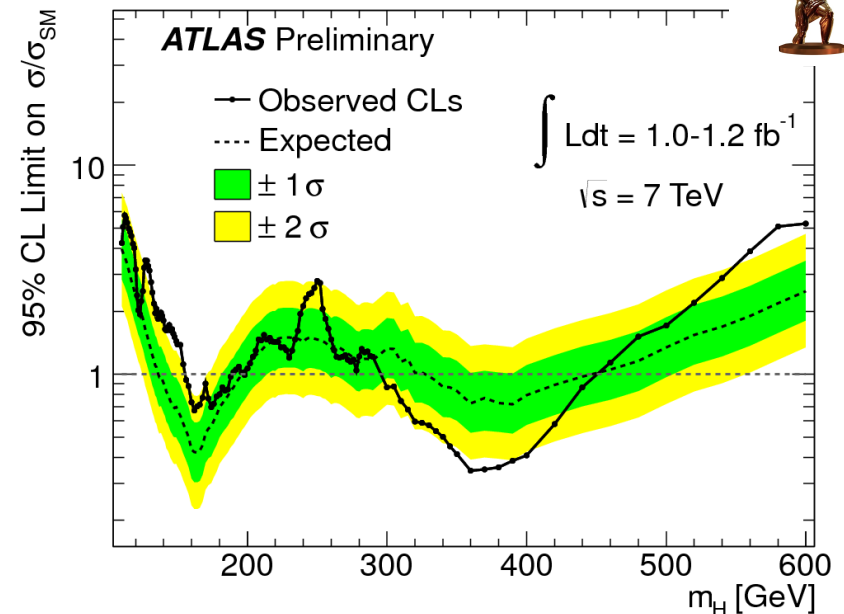
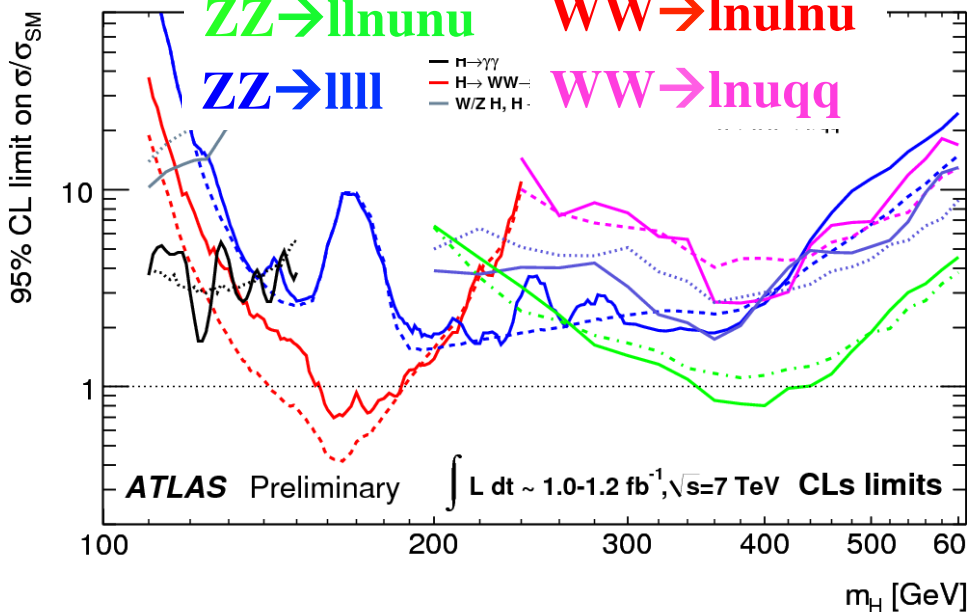
日本物理学会 2011年秋季大会  
弘前大学



# Introduction – 1 fb<sup>-1</sup> results and physics motivation --

## ATLAS combined results with 1 fb<sup>-1</sup>

ATLAS  
official



- ATLAS実験では、200 - 300 GeVの質量領域が棄却されていない。
- 220 GeV以上の質量領域で事象選択の最適化を行なう。
- 240 GeV付近のExcess ( $ZZ \rightarrow 4 \text{ lepton}$ )の正当性を調べる。
- 240 GeVの質量点に焦点をおいて、事象選択の最適化を行なう。

# Preselections

## レプトンとジェットのPtと $|\eta|$ Jet

- $Pt > 25 \text{ GeV}$ ,  $|\eta| < 4.5$

## Muon

- $Pt > 15 \text{ GeV}$ ,  $|\eta| < 2.4$

## Electron

- $E_t > 20 \text{ GeV}$ ,  $|\eta| < 2.47$

2つのレプトンと、反対向きにできる2つのニュートリノを選択する。

### シングルレプトンリガー

### 異符号を持つ2つのhigh Pt レプトン

$M(\ell\ell) > 15 (10) \text{ GeV}$  for ee or mumu (emu)  
(Drell Yan 過程 veto)

$|M_{\ell\ell} - M_Z| > 15 \text{ GeV}$  (Z veto)

Missing Et (rel)  $> 40 (25) \text{ GeV}$  for ee or mumu (emu)

Jet veto

1 jet

$pt(\ell) > 30 \text{ GeV}$

b-jet veto

---

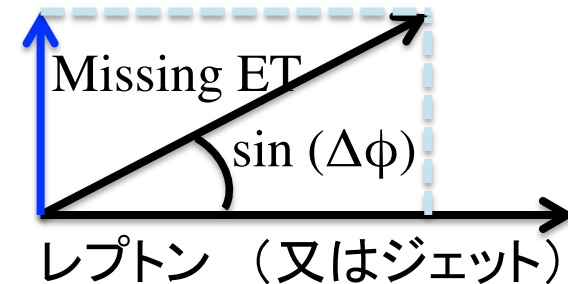
$pt(\text{total}) < 30 \text{ GeV}$

2011年9月17日 ---

Z  $\rightarrow$  tautau veto

Missing Et Relの定義

Missing ET rel



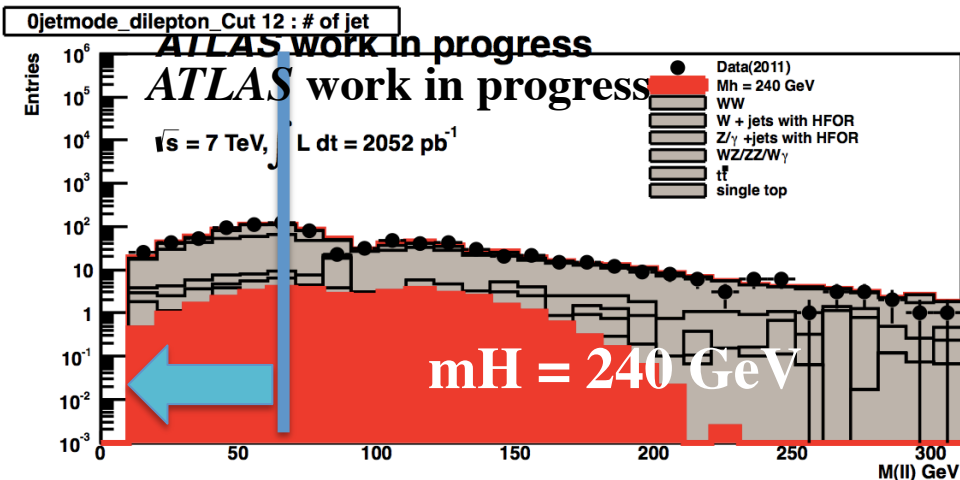
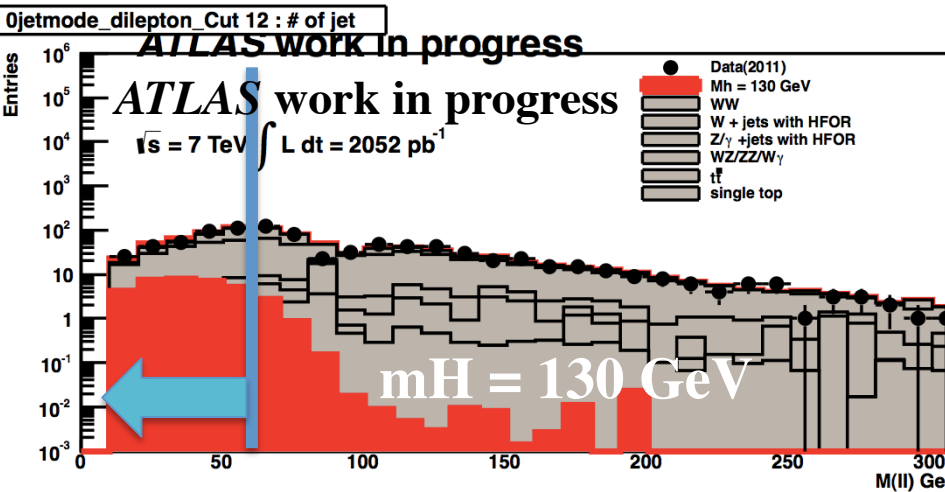
$$E_{T,rel}^{miss} = \begin{cases} E_T^{miss} & (\Delta\phi \geq \frac{\pi}{2}) \\ E_T^{miss} \sin\Delta\phi & (\Delta\phi \leq \frac{\pi}{2}) \end{cases} \quad \mathbf{3}$$

# Topological Selections

## トポロジーの事象選択

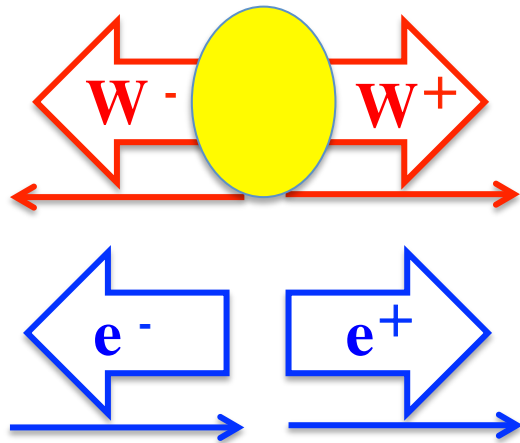
$$M_{ll} < 65 \text{ GeV}, \Delta\Phi_{ll} < 1.8, 0.75 \cdot m_H < M_t < m_H$$

$m_H > 170 \text{ GeV}$ の質量領域に対して、全て上記の事象選択をしていたのに対して、 $170 \text{ GeV} < m_H < 220 \text{ GeV}$ と $220 \text{ GeV} < m_H < 300 \text{ GeV}$ で事象選択を変更し、 $220 \text{ GeV} < m_H < 300 \text{ GeV}$ で高い感度をもつようにトポロジーの事象選択を最適化する。

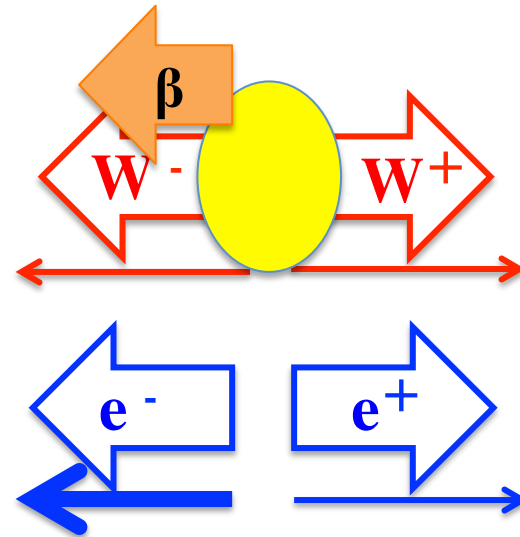


# Introduction 2 – What's going on in high mass region? --

$m_H < 200 \text{ GeV}$



$m_H > 200 \text{ GeV}$

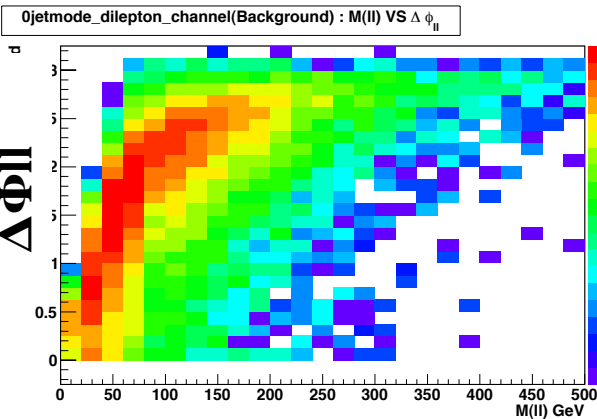


→ : 運動量  
⇨ : スピン

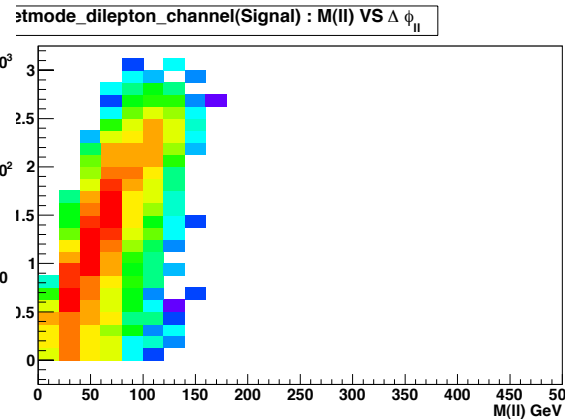
- $m_H < 200 \text{ GeV}$ の軽いヒッグス粒子由来のレプトンは、ヘリシティ保存則から、実験室系でも同じ方向に出やすい。
- 一方、 $m_H > 200 \text{ GeV}$ の重いヒッグス粒子が生成される場合、 $W$ ボソンの $\beta$ が大きいので、レプトンは反対方向に出やすい。
- このトポロジーの性質の違いに着目して、 $m_H=240 \text{ GeV}$ にてトポロジーの事象選択の最適化を行なう。

# Optimization 0 – Mll vs $\Delta\phi$ correlation plot

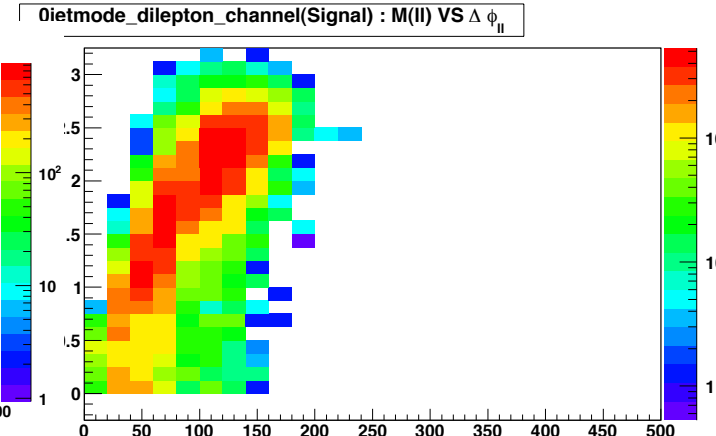
background



mH=200 GeV



mH=240 GeV



Mll

- シグナルの $\Delta\phi_{ll}$ 、Mll 分布は200 GeV付近を境に急激に変化する。
- mH = 240 GeVで感度が最大になるように、Mll、 $\Delta\phi_{ll}$ 、Mt windowに関して最適化を行なう。
- 感度の指標には以下の式を用いた。

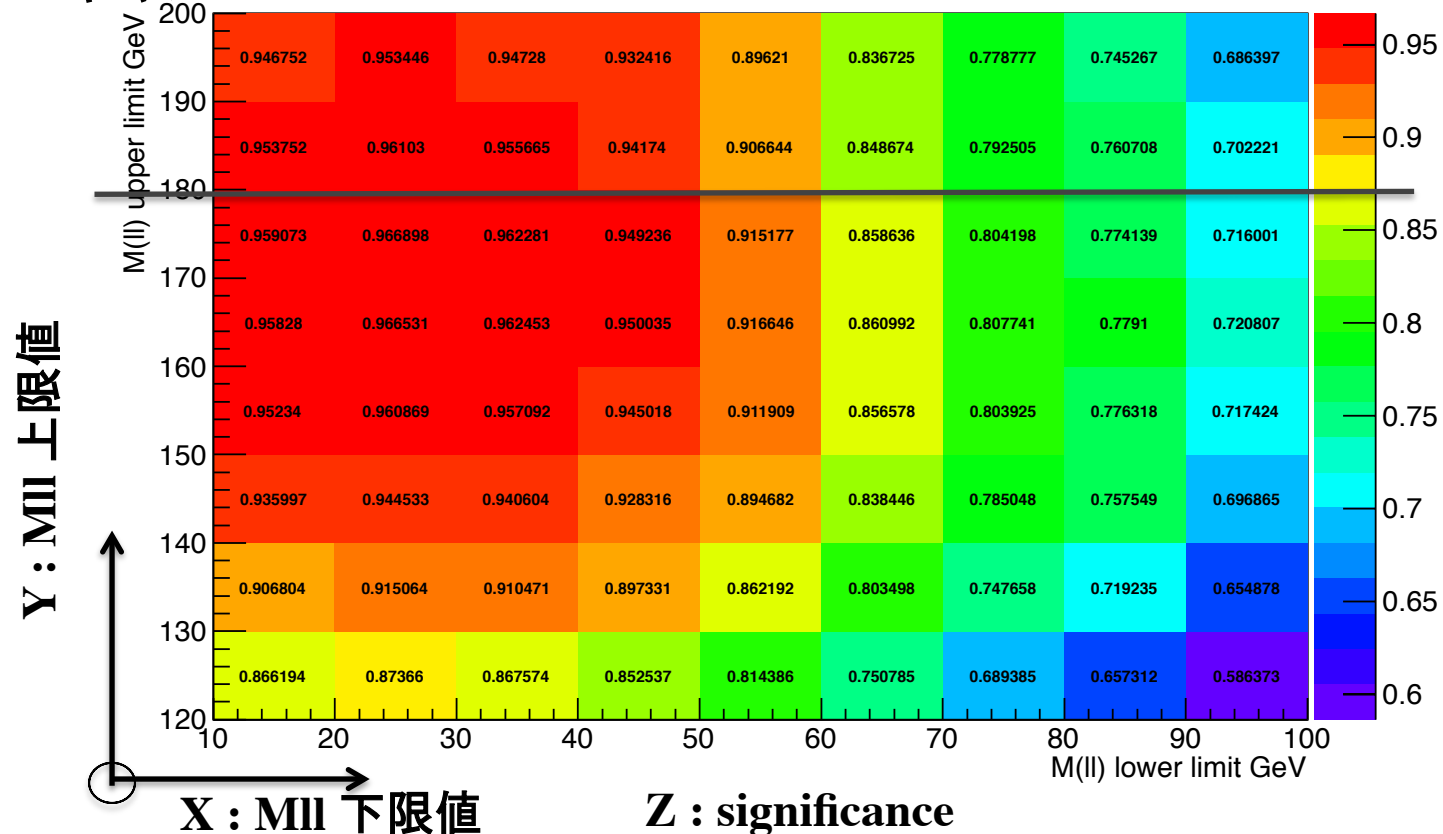
significance with poisson probability

$$S = \sqrt{2\left((s + b) \ln\left(1 + \frac{s}{b}\right) - s\right)}$$

# Optimization 1 – MII optimization

MII スキャン

Mh = 240 GeV

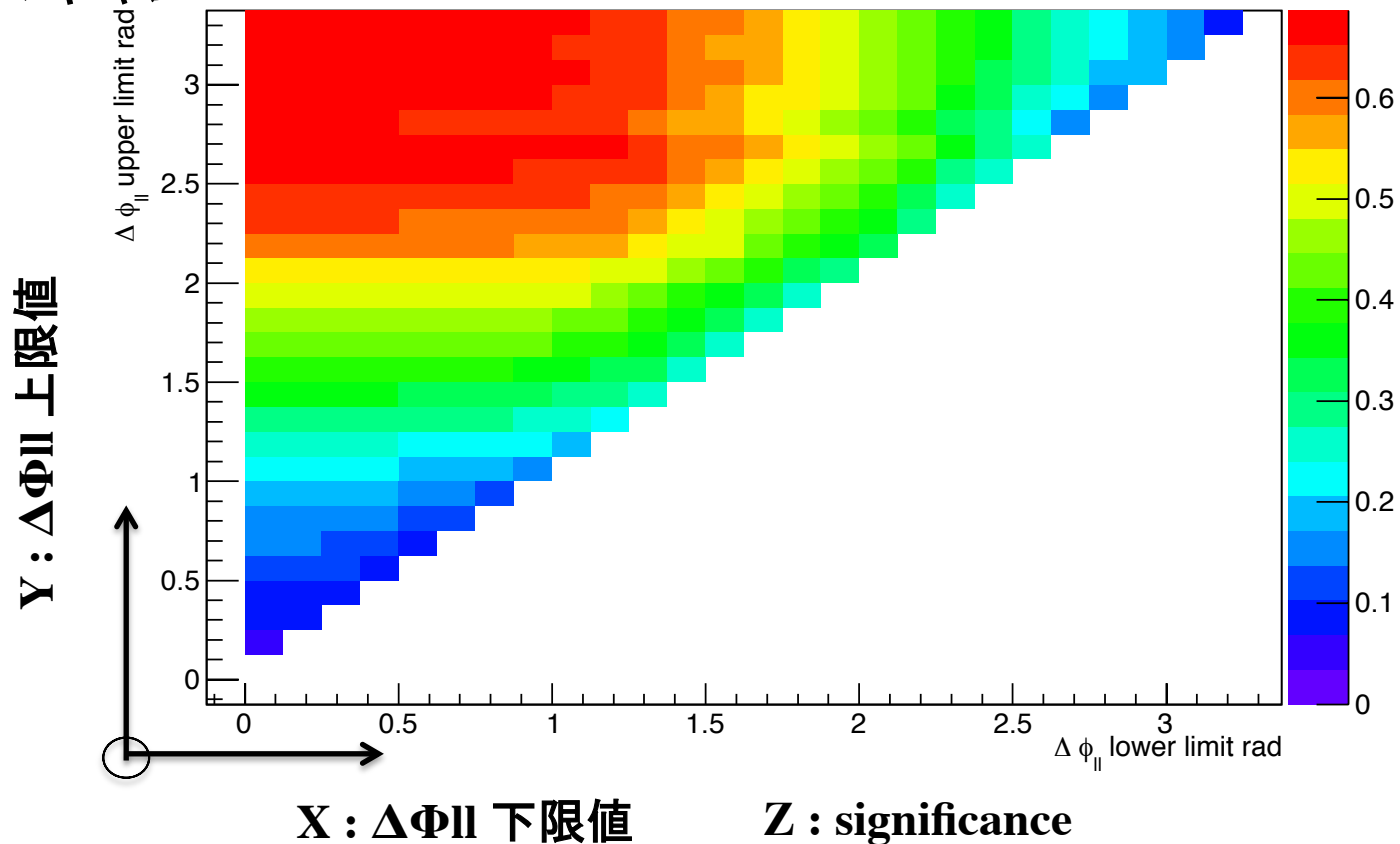


- 200 GeV - 300 GeV 全ての質量領域に感度を残すため、MII の上限値として、MII = 180 GeV に決めた。
- 一方で、下限値は 240 GeV で感度の高い 50 GeV に決めた。

# Optimization 2 $-\Delta\Phi_{II}$ optimization

$\Delta\phi_{II}$  スキャン

Mh = 240 GeV



- $0 < \Delta\Phi_{II} < \pi$  が 200 – 300 GeV に対して感度が高いため、 $\Delta\Phi_{II}$  カットは外した。
- 最適化された MII カットの後は、 $\Delta\Phi_{II}$  カットはあまり効果がない。



# Optimization 3 –Mt window size optimization

## Mt ウィンドウサイズ スキャン

	0 -	0.25*mH -	0.40*mH -	0.50*mH -	0.60*mH -	0.75*mH -
mH=220	1.19	1.21	1.21	1.25	1.30	1.16
mH=240	0.96	0.97	0.97	1.03	1.06	0.96
mH=260	0.78	0.77	0.79	0.85	0.90	0.81
mH=280	0.63	0.63	0.67	0.73	0.79	0.71
mH=300	0.58	0.47	0.51	0.59	0.66	0.58

Mt (Transverse Mass) の定義

$$M_T = \sqrt{(E_T^{\ell\ell} + E_T^{\nu\nu})^2 - (\vec{p}_T^{\ell\ell} + \vec{p}_T^{\text{miss}})^2}$$

$$E_T^{\ell\ell} = \sqrt{(P_T^{\ell\ell})^2 + m_{\ell\ell}^2}$$
$$E_T^{\nu\nu} = |p_T^{\text{miss}}|$$

- mH > 220 GeV の Mt ウィンドウの大きさとして、mH < 220 GeV のときよりも、ウィンドウを広げた方がよいことがわかった。
- これは、シグナルの分布が mH が大きくなるとより、ブロードな分布に変化した結果である。

# Optimization 4 – Optimization Summary

**新しいトポロジーの事象選択 ( $m_H \geq 220 \text{ GeV}$ )**

**\*ATLAS Official since Lepton Photon Conference**

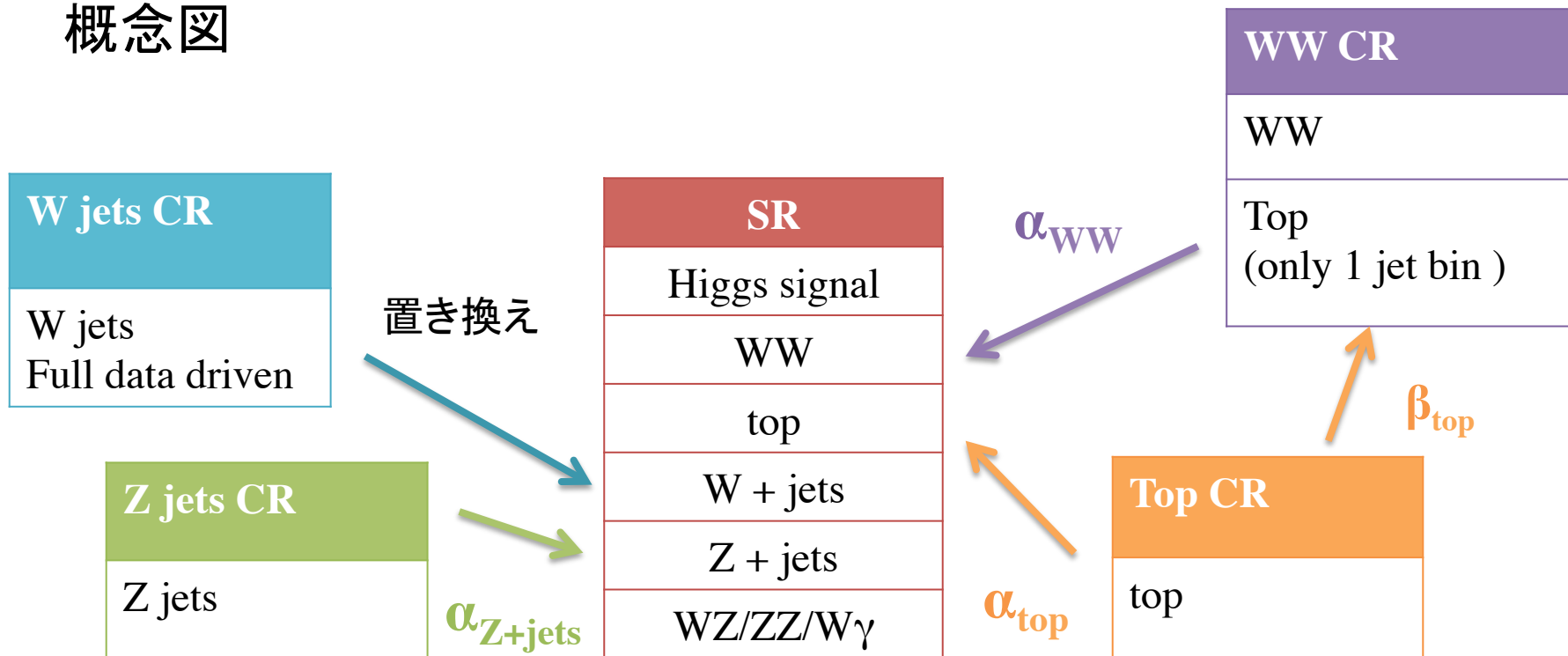
**Cut t1 :  $50 \text{ GeV} < M_{ll} < 180 \text{ GeV}$**

**Cut t2 : No  $\Delta \Phi_{ll}$  cut**

**Cut t3 :  $0.60 * m_H < M_t < m_H$**

# Background Estimate 1

## 概念図



ただし、220 GeV 以上の質量領域では、大部分の背景事象を**WW**背景事象が占める。1 ジェット解析ではtopの背景事象も多い。

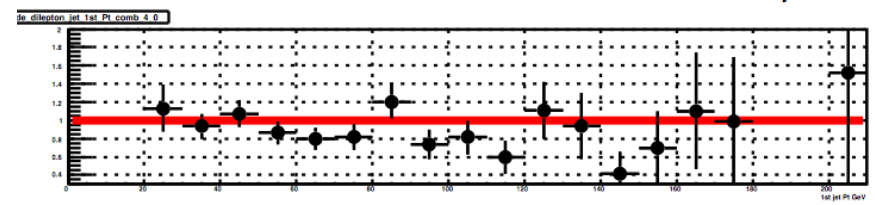
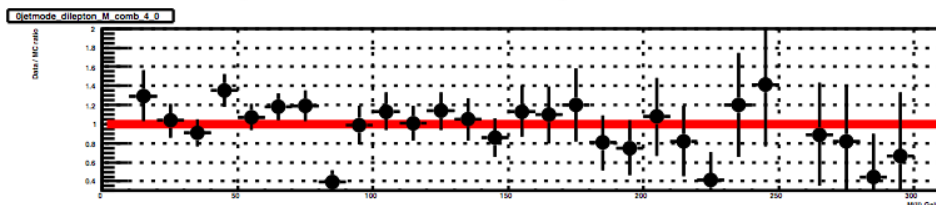
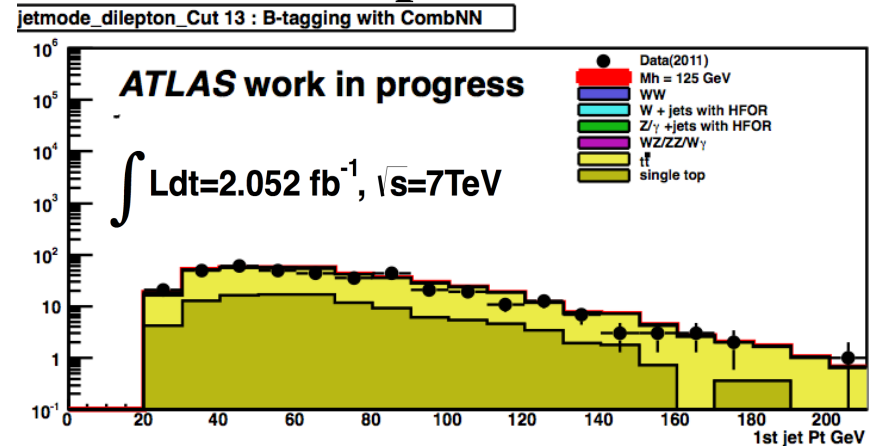
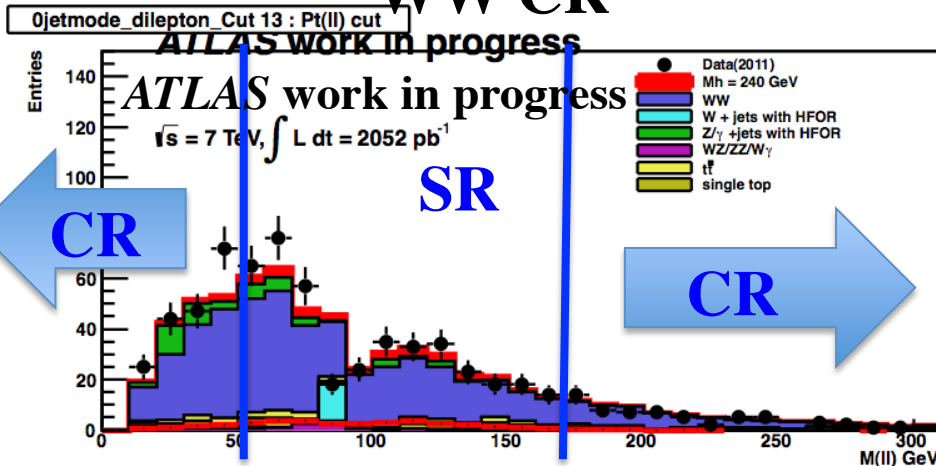
# Background Estimate 2 – WW / Top Control Region

WW CR は、SRをフリップさせて定義。

**50 GeV < M(II) または、M(II) > 180 GeV**

WW CR

Top CR

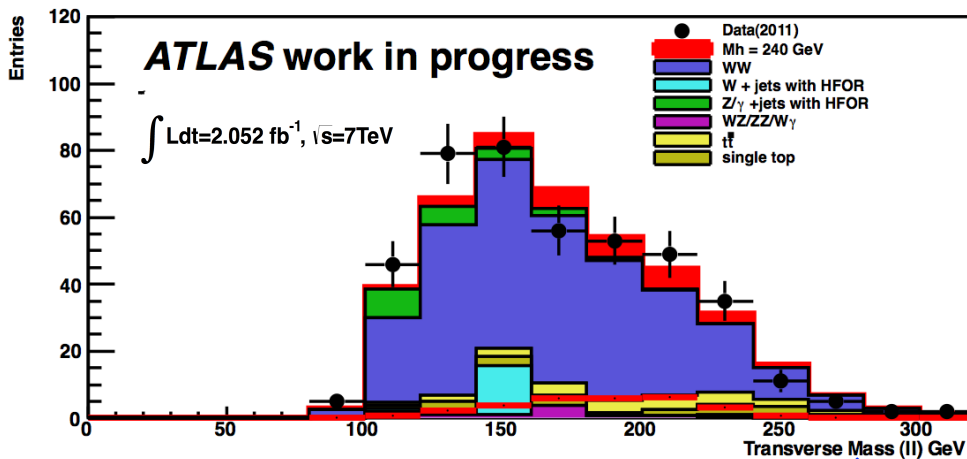


\* Top CRは、Missing Et Cutの後で、少なくとも1つ以上のb-jetを要求。(shapeがよくあっている。)

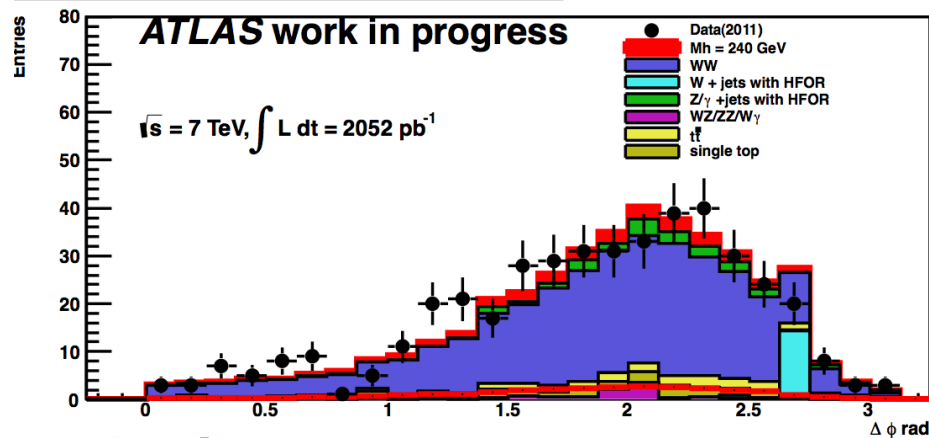
# Signal Region distribution

## 0 ジェット 解析

0jetmode\_dilepton\_Cut 20 : 50 GeV < M(l) < 180 GeV

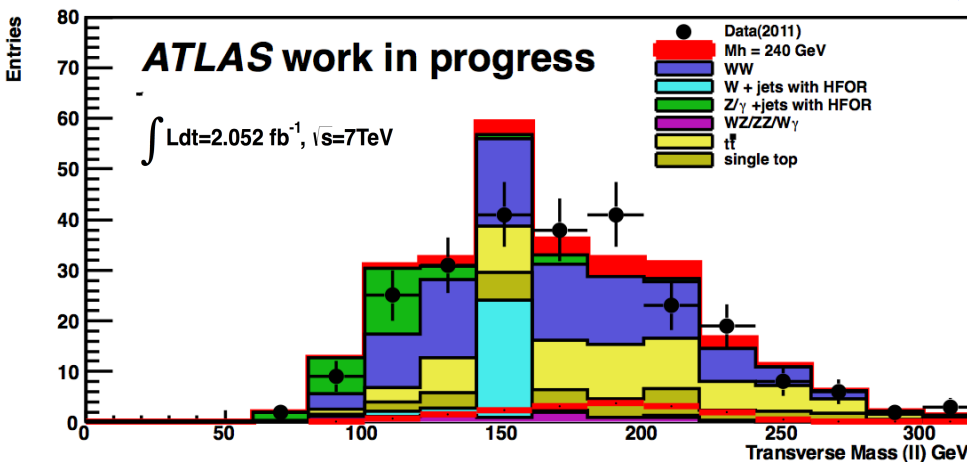


0jetmode\_dilepton\_Cut 20 : 50 GeV < M(l) < 180 GeV

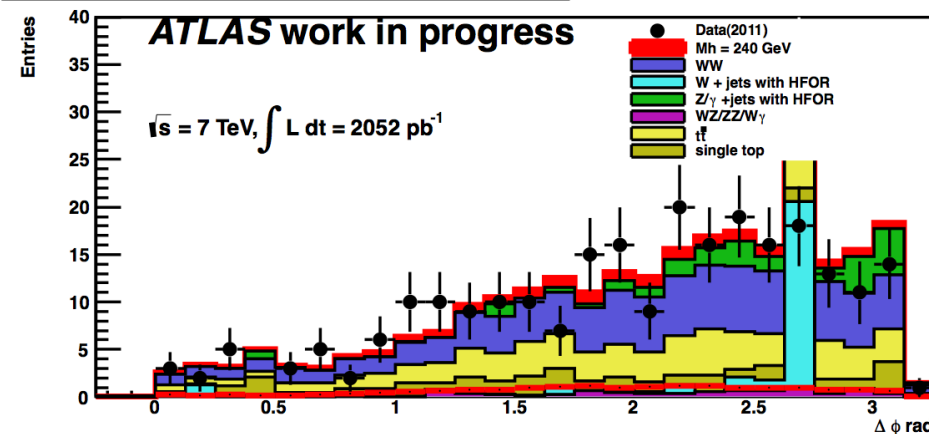


## 1 ジェット 解析

1jetmode\_dilepton\_Cut 20 : 50 GeV < M(l) < 180 GeV



1jetmode\_dilepton\_Cut 20 : 50 GeV < M(l) < 180 GeV



# Systematic Uncertainties

## シグナルに関する系統誤差

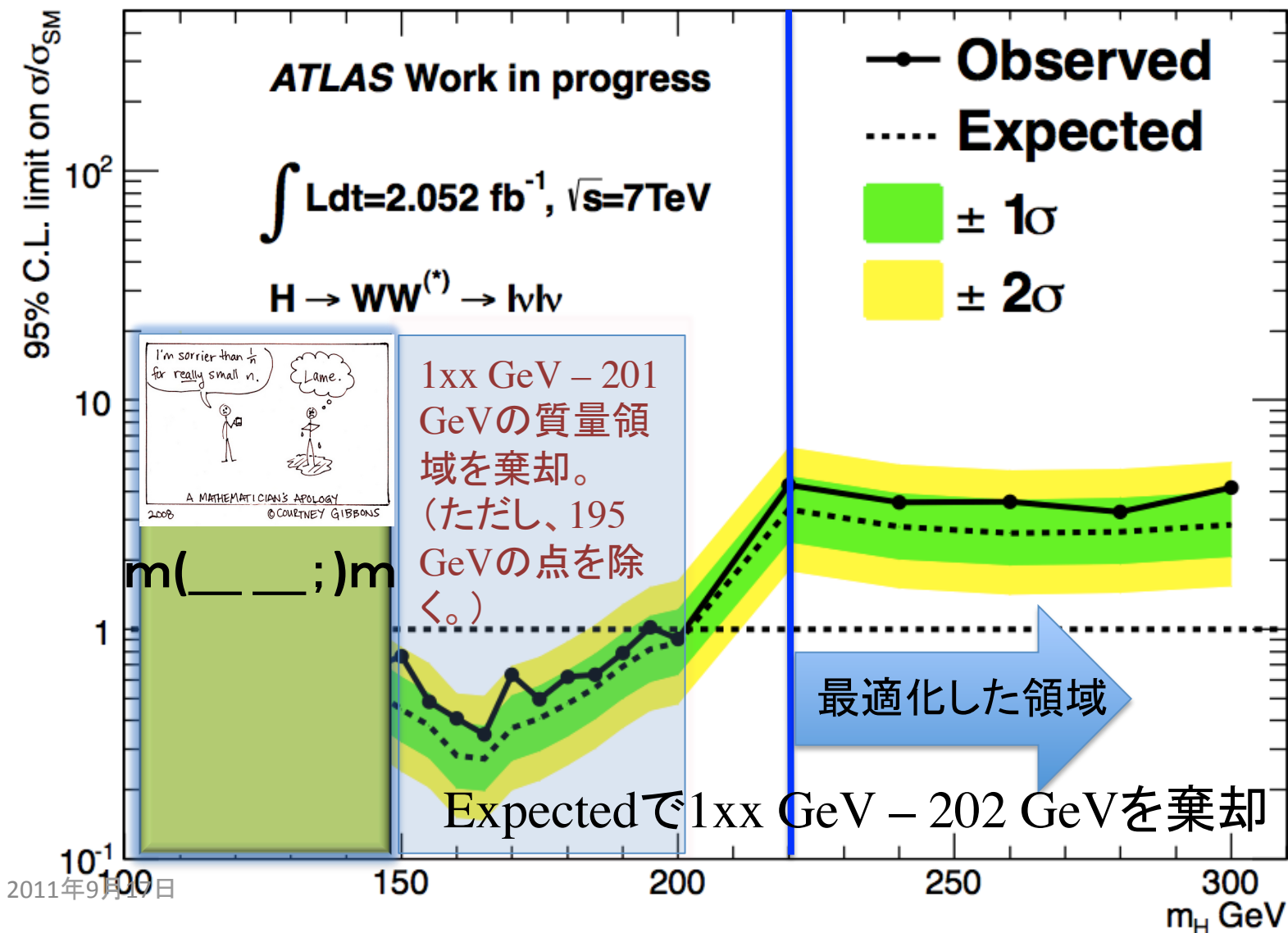
process	Jet bin	Scale	PDF	MC	Total
ggF	0 jet	3 %	3 %	3 %	5 %
	1 jet	3 %	3 %	11 %	12 %
VBF	2 jet	8 %	8 %	8 %	12 %

## 背景事象に関する系統誤差

	$\alpha^{0j}_{WW}$	$\alpha^{1j}_{WW}$	$\alpha^{1j}_{top}$	$\beta^{1j}_{top}$
Q <sup>2</sup> scale	3 %	4 %	9 %	-
MC modeling	4 %	4 %	4 %	-
PDF	3 %	3 %	3 %	-
JES + JER	-0.6% / + 0.5 %	-1% / +2.3%	-35% / +32 %	-36% / + 32 %
B-tagging Eff.	-	-	-23 % / +23 %	-19 % / + 20 %
MC stat.	4.3 %	12.9 %	6 %	-

# Exclusion Limit

## LP以降の成果を含んだ、新しい結果



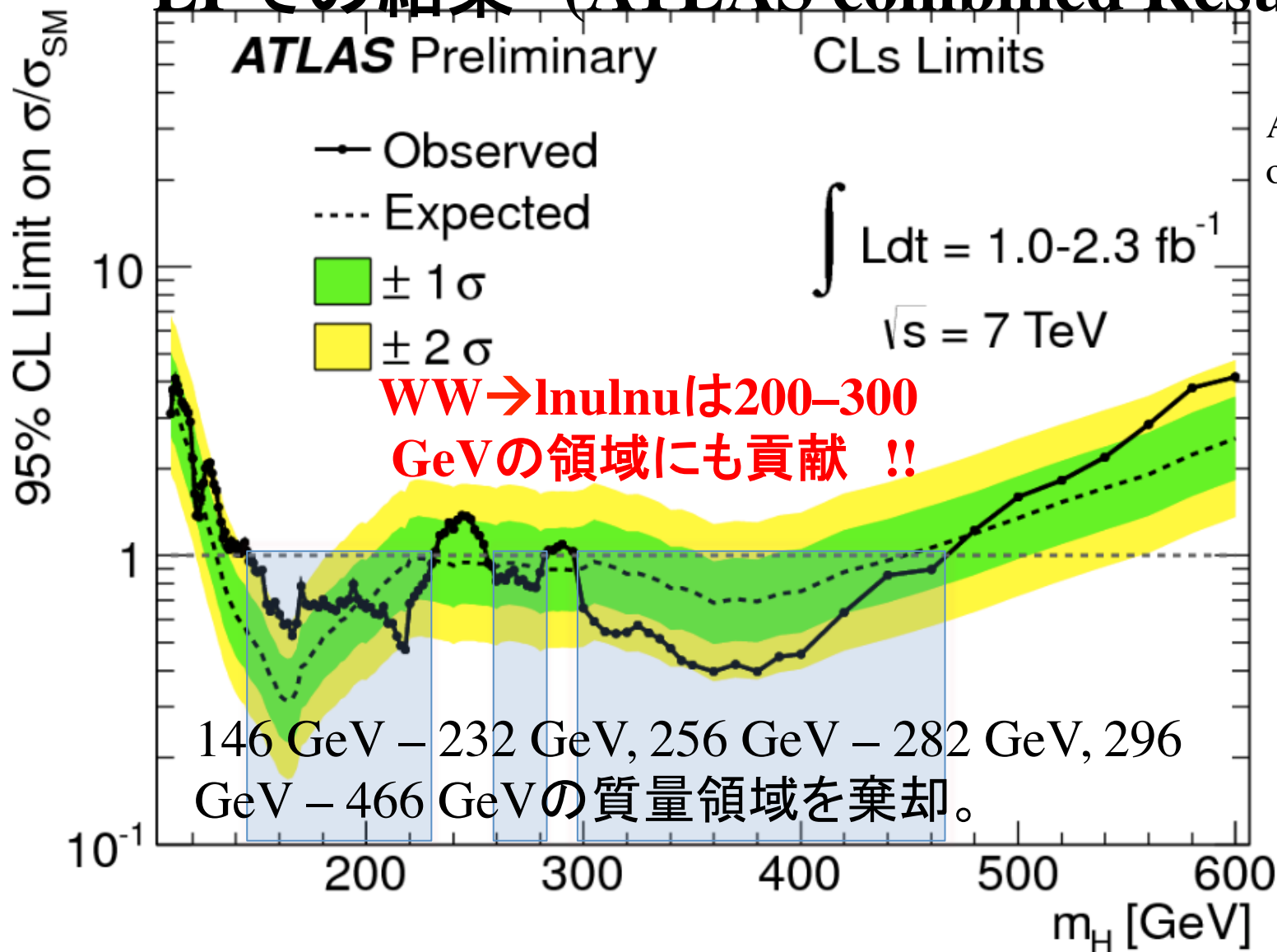
# Summary

- ATLAS 実験  $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu l\nu$  解析において、比較的高い (220 GeV 以上) 質量領域におけるヒッグス粒子の探索を行なった。
- 上記質量領域におけるトポロジーの事象選択の最適化を行なった。
- 実際にATLASで2011年に取得された  $2.05 \text{ fb}^{-1}$  のデータを用いて物理解析を行なった。
- 220 GeV 以上の質量領域で比較すると、感度がかなり良くなった。



# Summary 2

## LPでの結果 (ATLAS combined Results)



ATLAS  
official





Backup Slide

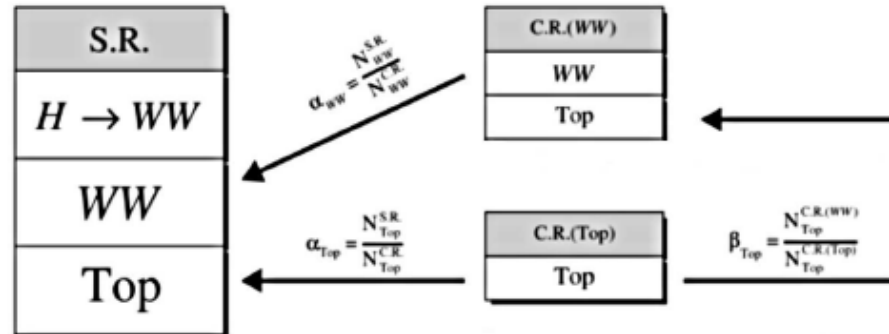


2011年9月17日



# Limit Setting procedure 1

## Model



$$L(\mu, \vec{\theta}) = \prod_{\ell=ee, e\mu, \mu\mu} \left[ \prod_{j=0,1} \left[ P^{SR}(N_{\ell j} | \mu s_{\ell j} + \alpha_{\ell j}^{WW} N_{e\mu, j}^{WW} + \delta_j^1 \alpha_{\ell}^{top} N_{\ell, 1j}^{top} + \sum_k b_{\ell j k}) \right. \right. \\ \left. \left. P^{CR_{WW}}(N_{\ell j} | \mu s_{\ell j} + \gamma_{\ell j}^{WW} N_{e\mu, j}^{WW} + \delta_j^1 \beta_{\ell, 1j}^{top} N_{e\mu}^{top} + \sum_k b_{\ell j k}) \right. \right. \\ \left. \left. P^{CR_{top}}(N_{\ell j} | \mu s_{\ell j} + \delta_j^1 \gamma_{\ell, 1j}^{top} N_{e\mu}^{top} + \sum_k b_{\ell j k}) \times \prod G(\theta_i) \right] \right]$$

- 1 jet binはWW コントロール領域へのtop背景事象の混入が多いため、二つのスケールファクター $\alpha$ 、 $\beta$ を用いる。
- シグナル領域、コントロール領域、全ての同時フィットを行い、likelihoodを形成。

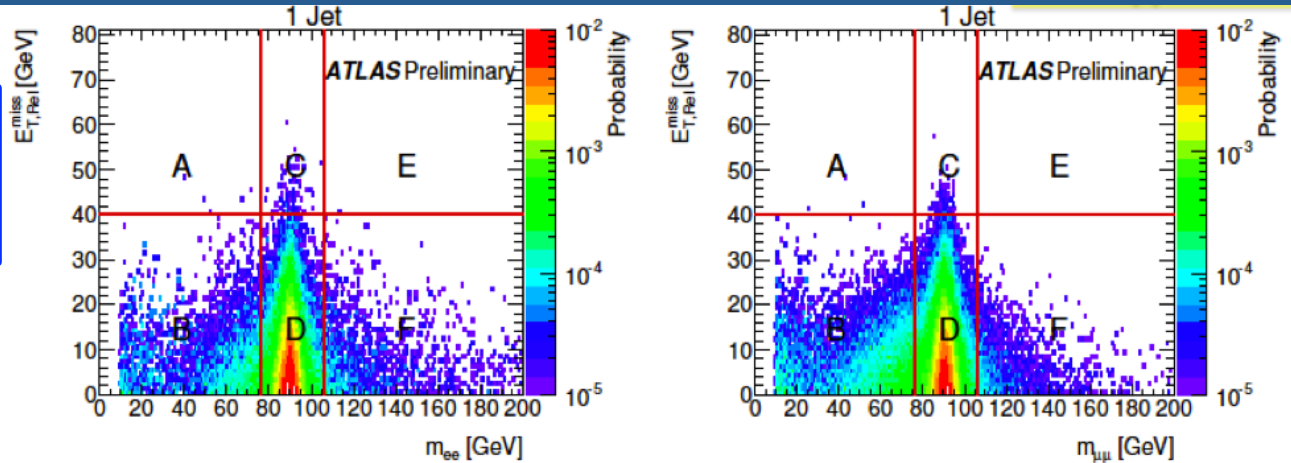
# Systematic Uncertainties

## Preselectionでの系統誤差一覧

系統誤差	大きさ
ジェットエネルギー分解能 (JER)	14 %
ジェットエネルギースケール (JES)	< 10 %
電子検出効率	2 - 5 %
電子エネルギースケール	< 1 %
電子分解能	0.6 %
ミューオン検出効率	0.3 - 1 %
ミューオン運動量スケール	0.13 %
ミューオン運動量分解能	< 5 %
bジェット検出効率	5.6 - 15 %
bジェットMis-tag 効率	21 %
Missing Etの不定性	13.2 %
Luminosity の不定性	3.7 %

# Background Estimate 2 <sub>-Wjets/Zjets</sub>

**Z + jets**  
背景事象



Z の質量領域でのMissing Et tailの傾れ込みを補正。

**W + jets**  
背景事象

$$A_{Z+jets}^{correctd} = A_{Z+jets}^{MC} \times \frac{N_C^{data}}{N_D^{data} + N_C^{data}} \frac{N_C^{MC} + N_D^{MC}}{N_C^{MC}}$$

完全なData-drivenでの見積もり。

$$N_{\text{one id(from W)+one fake}}^{\text{Estimated W+jets background}} = \frac{N_{\text{id obj}}}{N_{\text{fakeable obj}}} \times N_{\text{one id(from W)+one fakeable}}$$

Fake factor (Observable)

W+jets control region to determine normalization (Observable)  
Apply same kinematic selection as signal region

\* その他の寄与の小さいDiboson(ZZ/WZ/Zγ)背景事象はMCから見積もられる。

# Cut flow table

カットフロー (  $m_H = 240 \text{ GeV}$  )

0 jet bin	signal	WW	W + jet	Z + jets	WZ/ZZ/ W $\gamma$	Single top	ttbar	Total bkg	observed
OS 2lepton	148	1857	504	1342070	11531	845	8234	1365189	1332420
0 jet	34	468	20	45	13	30	41	651	673
Mll cut	29	295	16	20	10	21	25	416	429
Mt cut	24	188	15	6	6	10	17	266	260

1 jet	25	187	32	91	18	63	170	586	535
Mll cut	16	99	26	27	8	29	66	271	250
Mt	13	60	21	3	4	19	43	163	154

2011年9月17日\*背景事象数はMCのみでスケールなし。

# Comparison plot with different

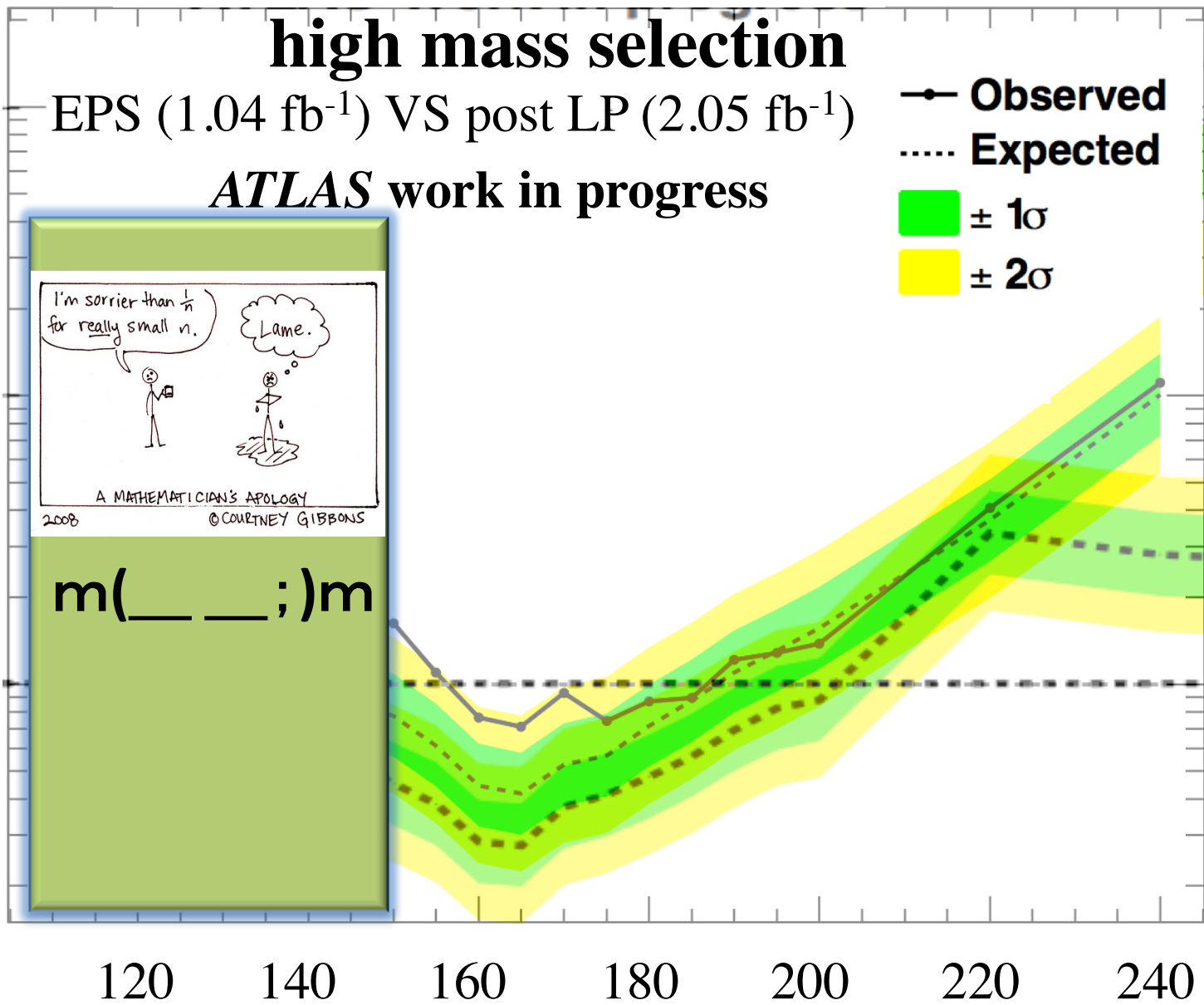
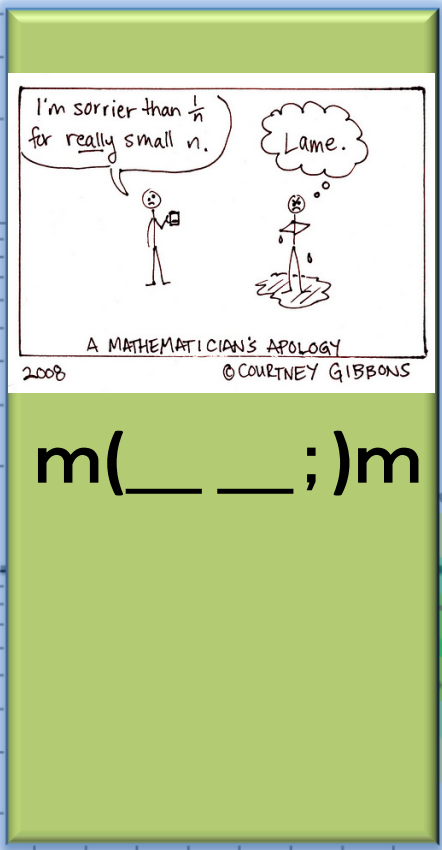
## high mass selection

EPS (1.04 fb<sup>-1</sup>) VS post LP (2.05 fb<sup>-1</sup>)

*ATLAS* work in progress

95 % CL limit on  $\sigma/\sigma_{SM}$

- Observed
- ⋯ Expected
- $\pm 1\sigma$
- $\pm 2\sigma$



$mH$  [GeV]