



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

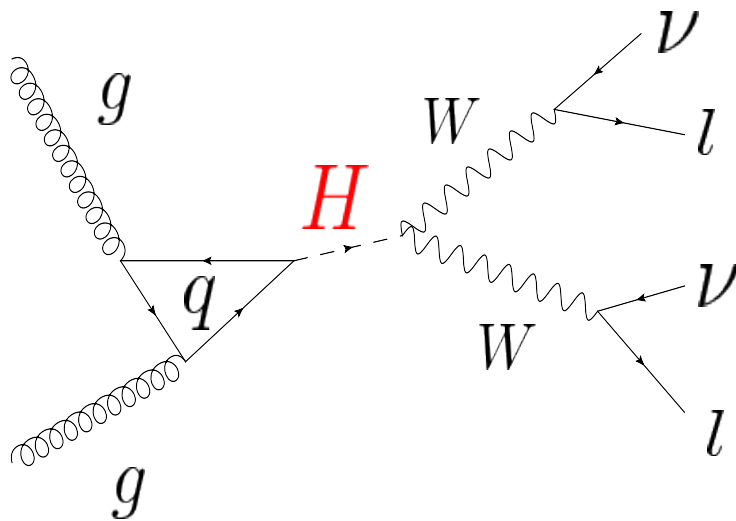
吉原圭亮、  
増渕達也<sup>A</sup>、田中純一<sup>A</sup>、中村浩二<sup>A</sup>、  
浅井祥仁、川本辰男<sup>A</sup>、山村大樹<sup>A</sup>

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>

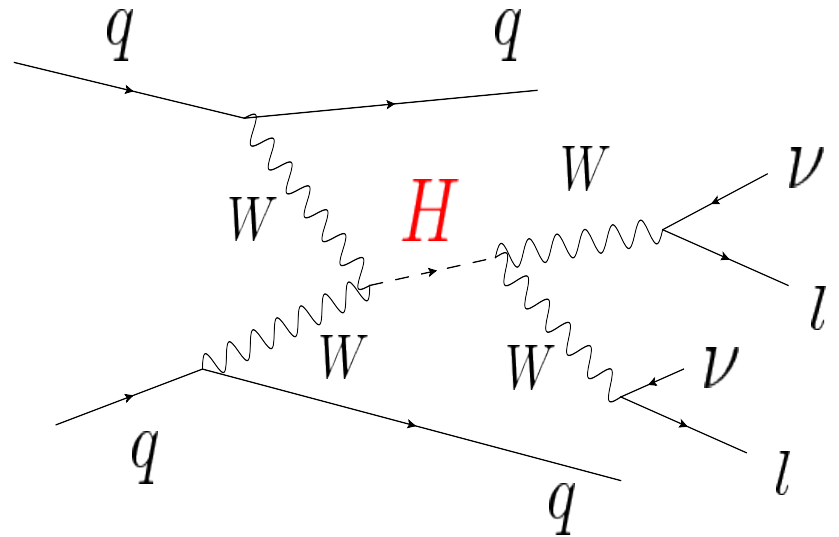
日本物理学会 2012 第67回年次大会  
関西学院大学



# イントロダクション ～解析概要～



グルーオンフュージョン(ggF)過程



ベクターボソンフュージョン(VBF)過程

- 終状態には、2つのレプトンに加えて、消失エネルギーを伴う。
  - ggF過程 : 0 ジェット解析、1 ジェット解析
  - VBF過程 : 2 ジェット解析
- 120 GeV < m<sub>H</sub> < 200 GeVの質量領域で最も感度が良い解析。
- 今年(2012年)は、130 GeV以下の軽いヒッグス粒子に焦点を当てて解析をする。

**\*本トークでは、2011年の解析(4.7fb<sup>-1</sup>)からの改善について話す。**

# 事象選択と背景事象

異符号の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(消失エネルギー)を選択する。

- 事象予備選択

- High-Pt lepton、Z/Drell  
Yan Veto、高い消失横エネルギー

- ジェットの数に応じた事象選択

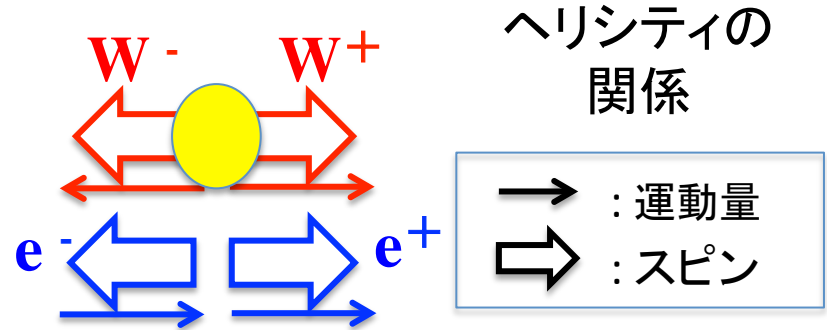
- 0ジェット解析 :  $P_t(l) > 45(30) \text{ GeV}$
- 1ジェット解析 : b-ジェットVeto、 $P_t(\text{total}) < 30 \text{ GeV}$ 、 $Z\pi$  Veto
- 2ジェット解析 :  $M_{jj} > 500 \text{ GeV}$ 、 $\Delta\eta(jj) > 3.8$ 、反対球面にできる2本のジェット、+1ジェット解析と同じ事象選択

- シグナルのトポロジーに即した事象選択

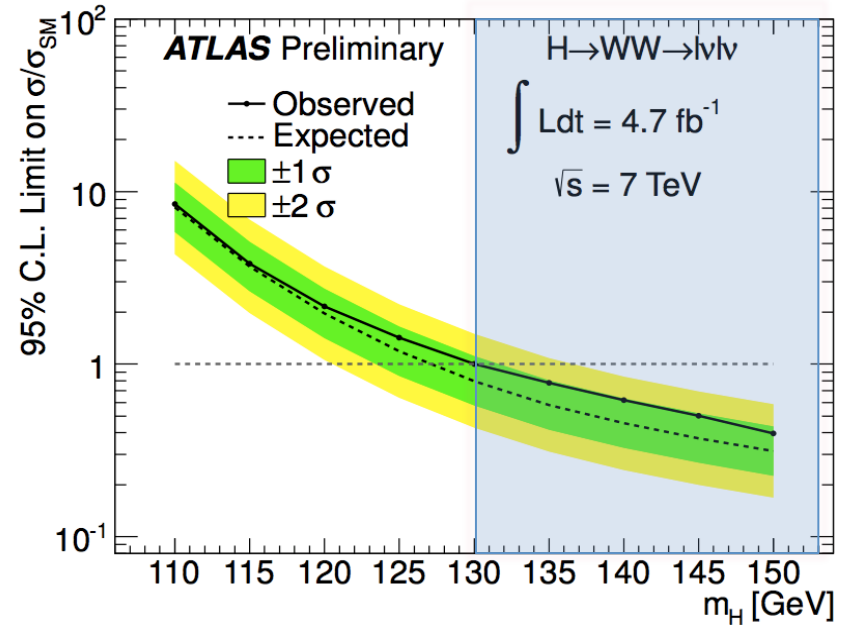
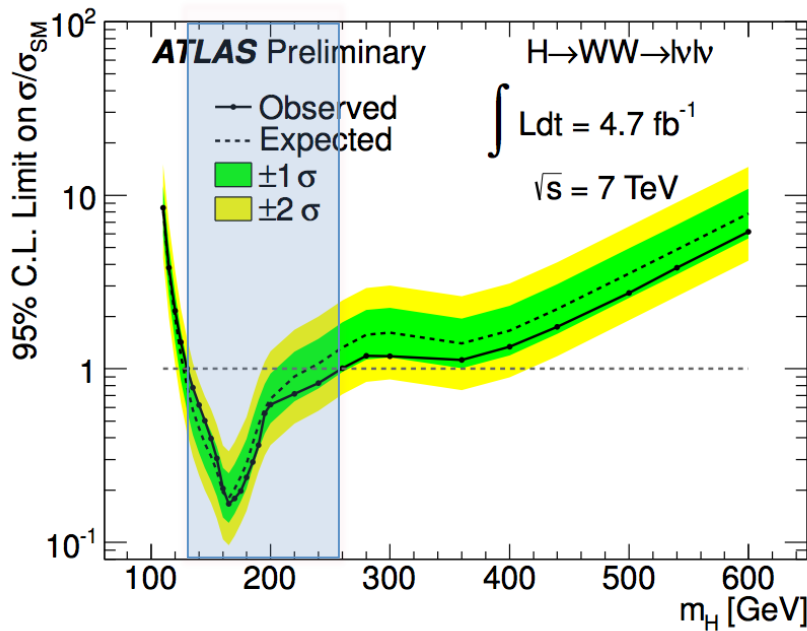
- $M(l\bar{l})$ 、 $\Delta\phi(l\bar{l})$ 、 $M_T$

- 主な背景事象

- 0ジェット解析 : WW & Wjets 事象
- 1ジェット解析 : WW & top事象
- 2ジェット解析 : top事象



# 棄却制限

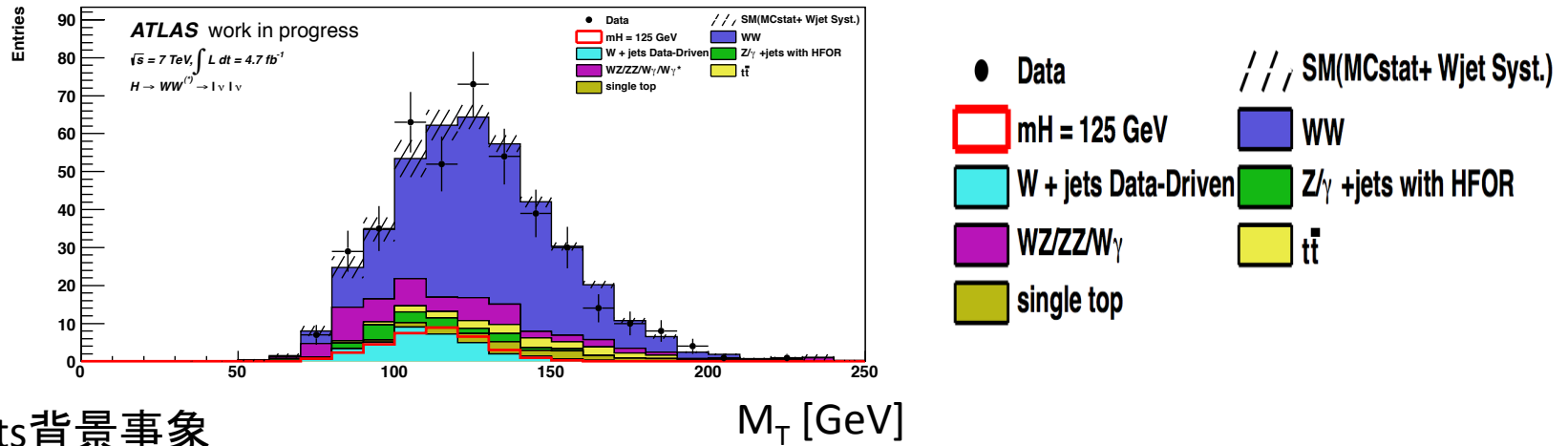


ATLAS-CONF-2012-012

- 2011年の結果として、 $130 \text{ GeV} < m_H < 260 \text{ GeV}$ までを95% CLで棄却。
- 現在のところ、有意なヒッグス粒子の兆候はみえていないが、残す質量領域は、 $123 \text{ GeV} - 128 \text{ GeV}$ 。
- $125 \text{ GeV}$ 付近での発見感度をさらにあげるためには、どうすればよいか。これが、2012年の解析での課題である。

# 2012 物理データ解析へ向けて

## 0 ジェット解析における $M_T$ カット前の $M_T$ 分布



### W+jets背景事象

- 主な背景事象はWW背景事象である。
- しかし、誤差 (stat.+syst)に一番効いているのは、W+jets背景事象である。
- W+jets背景事象の見積りには、大きな系統誤差(フェイクファクター由来)があるため、背景事象の量を減らすことが、さらなる発見感度改善への鍵である。
- このために、有効な手段は、isolationの最適化を行なうことである。

### ここからの話の流れ

- Isolationの最適化
- データを用いたW+jets背景事象の見積り
- 結果

# isolation分布の測定

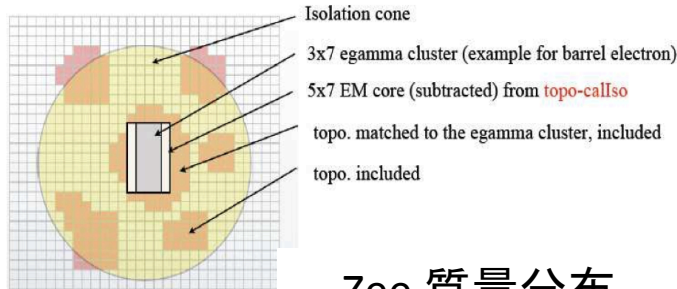
## シグナル検出効率の測定

- Z tag & probe 法に基づいて、“真”のレプトン事象を選択

## 背景事象検出効率の測定

- QCD事象を用いて、“偽”(フェイク)のレプトン事象を選択

## isolationの定義



### 現在のカット

electron

etcone

$Etcone30/Et < 0.14$

ptcone

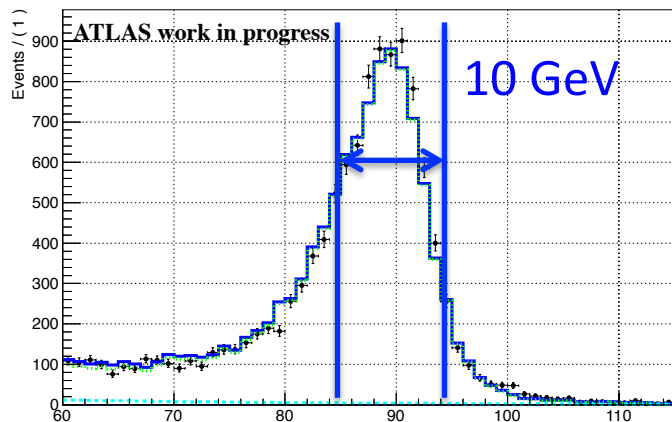
$Ptcone40/Et < 0.13$

muon

$Etcone30/pt < 0.14$

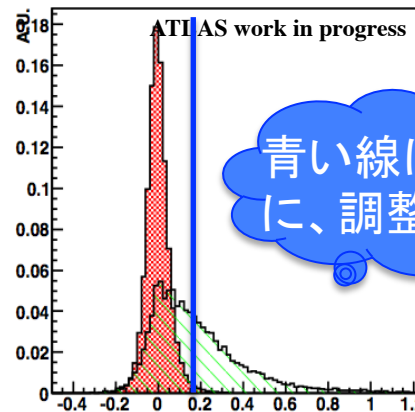
$Ptcone30/pt < 0.15$

## Zee 質量分布



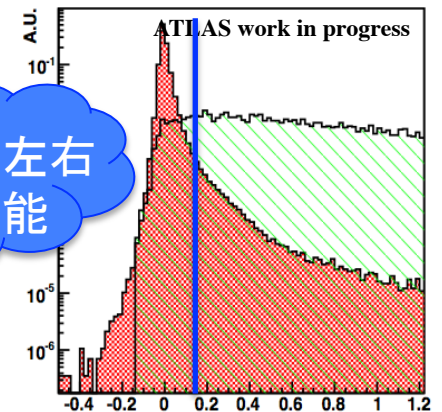
$M_{(II)}$  [GeV]

## 電子



$Etcone30/Et$  [GeV]

## ミュオン



$Ptcone30/pt$  [GeV]

青い線は、左右に調整可能

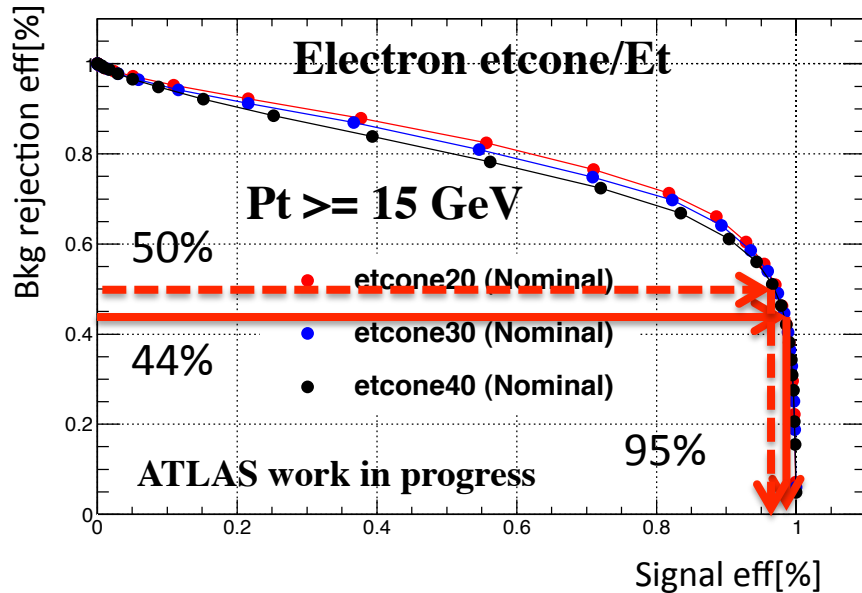
緑色：“偽”のレプトン事象  
 赤色：“真”のレプトン事象

# isolationの最適化

- W+jets背景事象を始めとするフェイクレプトン背景事象を減らすために、最も有効な手段は、レプトンのisolationの最適化である。ミュオン、電子双方により厳しいisolationを要求する。

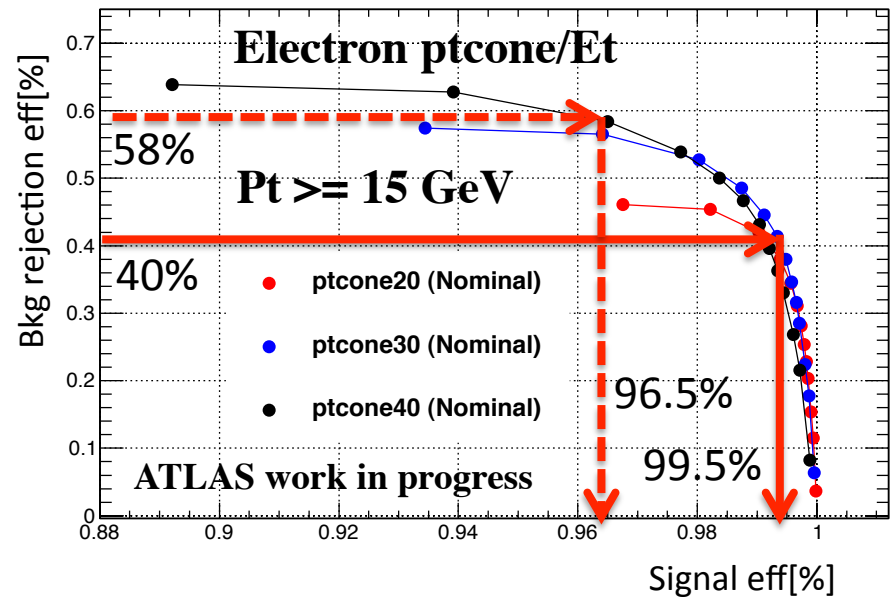
カロリメータisolation分布

signal VS bkg rejection Efficiency



トラックisolation分布

signal VS bkg rejection Efficiency



より厳しいポイント



現在のポイント

isolationの条件をより厳しくすることで、シグナル検出効率をあまり落とさずに、今まで以上に、W+jets背景事象を減らせる可能性がある。

# W+jets背景事象の見積り

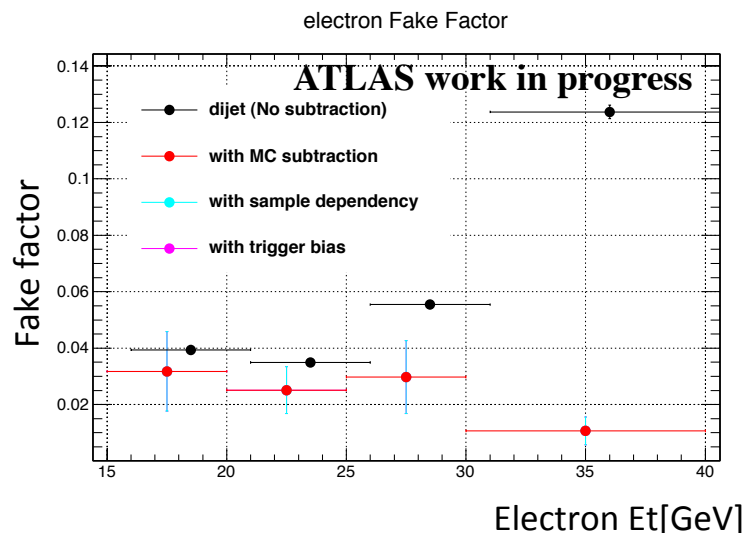
- MCを用いたフェイクレプトン背景事象の見積りが困難であるため、MCに頼らない見積りが必要。(Data-Driven fake lepton法)
- QCD事象を用いて、フェイクの割合(フェイクファクター)をデータから評価する。
- 1 good レプトン + 1 loose レプトンの事象を用いて、W+jets事象のコントロール領域を定義。
- 同符号事象を用いて、手法の正当性を評価する。

$$\frac{N_{\text{one id(from W)+one fake}}}{\text{シグナル領域の数}} = \frac{N_{\text{id obj}}}{N_{\text{Anti-id obj}}} \times \frac{N_{\text{one id(from W)+one anti-id}}}{\text{コントロール領域の数}}$$

フェイクファクター

## 横運動量とフェイクファクターの相関

フェイクファクターは、横運動量毎に見積られた。右図は電子のフェイクファクター。ミューオンに対しても、同様の測定を行った。

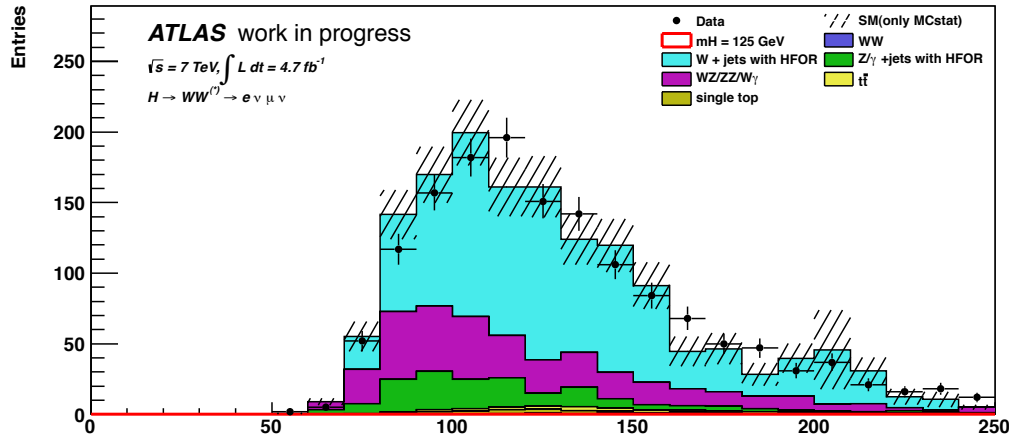




# W+jets背景事象の見積りの正当性の評価

## 異符号コントロール領域

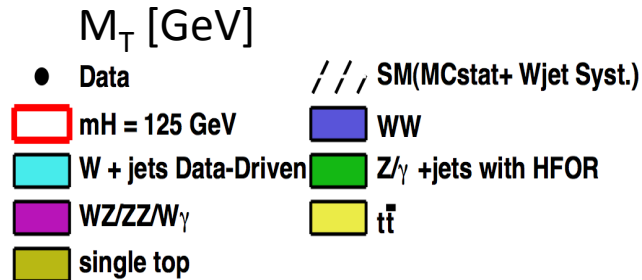
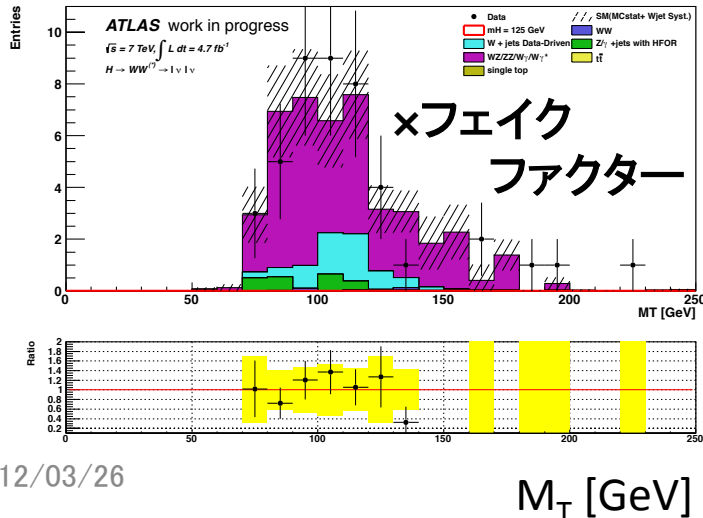
### 0ジェット選択後の $M_T$ 分布



実際に、シグナル領域でのW+jets背景事象の振る舞いを見る前に、W+jets背景事象コントロール領域における分布の形を、MCと比較し、見積りが正しいことを確認した。

## 同符号シグナル領域

### 0ジェット選択後の $M_T$ 分布



次に、同符号のシグナル領域の分布を確認し、見積ったフェイクファクター及び、W+jets背景事象の見積りが正しくできていることを確認した。

# 結果

## isolation条件の違いによるW+jets背景事象の量の比較表

After $M_T$ cut	mH=125	Wjet(d-d)	Total bkg	$S/\sqrt{B+\Delta B^2}$
改善前	$23.15 \pm 0.26$	$27.1 \pm 14.2$	$171.3 \pm 14.6$	1.17
改善後	$20.84 \pm 0.25$	$7.74 \pm 4.94$	$140.6 \pm 7.5$	1.48

現在の解析では、W+jets背景事象の系統誤差が実験感度を制限する一つの要因になっているが、isolationの条件をより厳しくすることで、発見感度は最大で、約30%向上する可能性があることが確かめられた。

## まとめと今後

- 130 GeV以下の低い質量領域での発見感度をあげるために、W+jets背景事象を減らすことが非常に重要であり、isolationの条件をより厳しくすることが有効である。
- このために、isolationの条件を最適化した。
- 実際に、厳しいisolationが、どの程度有効かどうかを判断するため、W+jets背景事象の見積りを行なった。
- 結果として、W+jets背景事象を減らすことにより、最大で、約30%の発見感度改善が見込めることがわかった。
- 来月以降、年内のヒッグス粒子の発見へ向けて、8TeVのデータで、再度、isolationの最適化、及び、W+jets背景事象の評価を行う。



Backup Slide



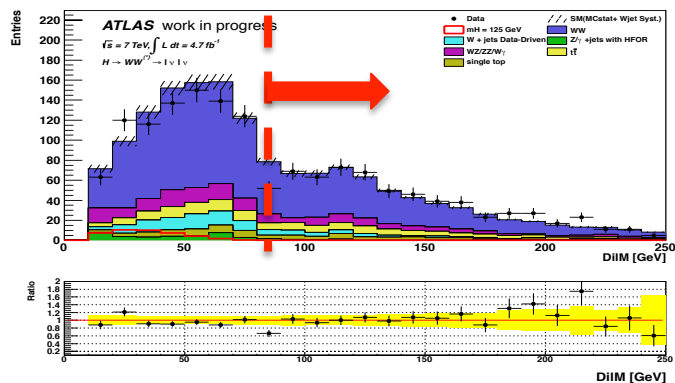
# カットフロー

	Signal [125 GeV]	WW	WZ/ZZ/Wgamma	ttbar	Single Top	Z+jets	W+jets	W+jets (d-d)	Total Bkg. (d-d)	Observed
lepton $p_T$	180.87 ± 0.40	3871.06 ± 9.55	3288.25 ± 23.01	16332.68 ± 27.65	1753.31 ± 11.35	2800788.09 ± 1309.25	1035.56 ± 55.09	4141.41 ± 2772.33	2830174.81 ± 1310.35	2823123
OS leptons	178.43 ± 0.39	3856.00 ± 9.53	2757.04 ± 18.52	16240.28 ± 27.57	1734.85 ± 11.30	2793617.99 ± 1307.64	694.48 ± 39.78	3326.84 ± 2340.37	2821533.01 ± 1308.63	2816240
$m_{\ell\ell} > 12, 10$ GeV	175.14 ± 0.39	3848.08 ± 9.52	2738.37 ± 18.29	16211.72 ± 27.55	1731.84 ± 11.29	2790757.50 ± 1307.32	686.22 ± 39.60	3123.98 ± 2268.07	2818411.49 ± 1308.30	2806551
Z veto (for ee, $\mu\mu$ )	173.11 ± 0.39	3421.39 ± 8.97	582.36 ± 12.19	14456.35 ± 26.02	1542.36 ± 10.66	278756.95 ± 404.20	606.75 ± 37.50	1701.68 ± 1011.13	300461.09 ± 405.98	298691
$E_{T,miss}^{min} > 45, 25$ GeV	90.82 ± 0.28	1837.98 ± 113.98	188.16 ± 7.56	7258.79 ± 494.15	831.97 ± 57.15	1523.15 ± 33.78	251.62 ± 24.96	337.63 ± 191.31	11977.68 ± 684.18	12231
Z control region (incl)	88.26 ± 0.28	2328.78 ± 7.41	2425.22 ± 16.66	9831.92 ± 21.45	1056.30 ± 8.82	2519090.77 ± 1244.36	462.77 ± 32.30	2181.57 ± 1687.02	2536914.56 ± 1245.09	2526898
0j: jet veto	56.74 ± 0.23	1279.23 ± 79.39	104.25 ± 5.90	172.19 ± 12.06	94.10 ± 6.94	1038.76 ± 27.91	173.93 ± 20.94	216.78 ± 114.89	2905.32 ± 114.88	2849
0j: $m_{\ell\ell} < 50$ GeV	45.22 ± 0.21	312.77 ± 19.60	47.04 ± 4.70	28.67 ± 2.32	19.06 ± 1.77	157.04 ± 12.64	56.42 ± 12.11	69.20 ± 35.48	633.79 ± 33.84	645
0j: $p_{T,\ell\ell} > 45, 30$ GeV	40.14 ± 0.19	282.44 ± 17.72	40.20 ± 4.24	27.03 ± 2.21	17.62 ± 1.66	23.68 ± 6.45	43.68 ± 10.60	48.84 ± 25.55	439.81 ± 26.93	443
0j: $\Delta\phi_{\ell\ell} < 1.8$	39.02 ± 0.19	275.85 ± 17.31	38.11 ± 4.07	26.59 ± 2.18	17.47 ± 1.65	23.35 ± 6.45	38.94 ± 10.12	43.81 ± 23.04	425.18 ± 26.46	429
0j: $0.75 \cdot m_H \leq m_T \leq m_H$	25.86 ± 0.15	107.89 ± 6.89	12.32 ± 1.90	6.49 ± 0.75	4.63 ± 0.67	11.72 ± 3.66	25.87 ± 8.45	27.25 ± 14.29	170.30 ± 11.04	174
0j: Z control region	46.58 ± 0.21	1586.80 ± 6.19	611.23 ± 8.52	185.62 ± 2.93	98.88 ± 2.69	1989978.46 ± 1113.60	293.06 ± 27.72	1368.53 ± 916.83	1993829.52 ± 1113.92	1986323
0j: WW control region	0.28 ± 0.03	470.71 ± 3.28	24.33 ± 1.72	87.24 ± 1.96	42.46 ± 1.77	7.34 ± 2.17	37.45 ± 9.33	48.36 ± 27.07	680.44 ± 5.27	697
1j: exactly one jet	22.67 ± 0.13	370.06 ± 53.76	60.74 ± 4.32	1419.27 ± 58.88	430.14 ± 18.60	357.23 ± 16.63	64.23 ± 13.32	83.25 ± 49.50	2720.70 ± 141.42	2706
1j: b-jet veto (25 GeV, 80% eff)	20.89 ± 0.13	343.92 ± 49.96	56.87 ± 4.16	392.42 ± 16.71	132.90 ± 6.33	332.68 ± 15.81	62.23 ± 13.23	74.18 ± 42.81	1332.97 ± 82.75	1369
1j: $p_T^{jet} < 30$ GeV	14.03 ± 0.10	243.21 ± 35.35	36.41 ± 3.42	171.45 ± 7.61	76.74 ± 3.99	108.01 ± 7.72	46.65 ± 12.90	36.18 ± 18.19	672.00 ± 50.75	684
1j: $Z \rightarrow \tau\tau$ veto	13.99 ± 0.10	237.33 ± 34.50	35.94 ± 3.41	164.58 ± 7.33	73.76 ± 3.86	84.65 ± 7.18	46.65 ± 12.90	36.39 ± 18.33	632.65 ± 49.24	644
1j: $m_{\ell\ell} < 50$ GeV	10.93 ± 0.09	51.50 ± 7.68	16.94 ± 2.85	31.26 ± 1.84	16.94 ± 1.34	24.37 ± 4.04	23.07 ± 11.73	11.54 ± 5.88	152.56 ± 13.31	170
1j: $\Delta\phi_{\ell\ell} < 1.8$	10.11 ± 0.09	46.95 ± 7.01	16.52 ± 2.84	29.62 ± 1.77	16.43 ± 1.32	10.60 ± 2.74	22.42 ± 11.71	9.52 ± 4.86	129.64 ± 11.57	145
1j: $0.75 \cdot m_H \leq m_T \leq m_H$	6.30 ± 0.07	16.88 ± 2.56	6.81 ± 1.95	7.45 ± 0.72	4.10 ± 0.59	4.97 ± 1.84	5.87 ± 3.23	4.80 ± 2.38	45.01 ± 5.01	56
1j: Z control region	25.85 ± 0.14	541.60 ± 3.51	827.09 ± 10.01	1546.83 ± 8.46	490.02 ± 6.01	397774.96 ± 489.68	130.28 ± 15.89	569.60 ± 476.02	401750.10 ± 490.13	401641
1j: WW control region	0.12 ± 0.02	127.62 ± 1.68	9.81 ± 0.90	85.41 ± 1.92	32.99 ± 1.56	8.66 ± 1.96	10.40 ± 3.45	11.16 ± 6.13	275.66 ± 3.79	270
1j: Top control region	1.14 ± 0.03	19.49 ± 0.70	1.35 ± 0.24	440.65 ± 4.55	170.85 ± 3.57	6.94 ± 1.68	1.35 ± 0.95	3.74 ± 2.75	643.02 ± 6.14	676
$\geq 2$ j: at least 2 jets	11.42 ± 0.09	142.27 ± 1.73	23.17 ± 1.89	5555.59 ± 16.11	313.60 ± 4.81	120.10 ± 6.68	13.46 ± 2.70	37.66 ± 27.24	6192.40 ± 18.64	6676
$\geq 2$ j: central jet veto	8.95 ± 0.08	113.27 ± 1.55	17.23 ± 1.78	3278.57 ± 12.68	238.37 ± 4.33	89.49 ± 5.94	10.61 ± 2.38	24.41 ± 14.73	3761.33 ± 15.07	3811
$\geq 2$ j: opp. hemispheres	4.85 ± 0.05	52.95 ± 1.05	7.68 ± 1.18	1379.98 ± 8.16	110.78 ± 2.94	35.62 ± 3.62	4.71 ± 1.57	10.44 ± 6.20	1597.44 ± 9.67	1630
$\geq 2$ j: $\Delta\eta_{jj} > 3.8$	2.00 ± 0.02	9.29 ± 0.44	1.09 ± 0.19	68.09 ± 1.66	7.94 ± 0.74	5.71 ± 1.71	0.00 ± 0.00	1.58 ± 0.52	93.70 ± 2.59	96
$\geq 2$ j: $m_{jj} > 500$ GeV	1.41 ± 0.02	4.35 ± 0.29	0.44 ± 0.12	27.15 ± 1.00	2.27 ± 0.37	0.71 ± 0.35	0.00 ± 0.00	0.76 ± 0.39	35.68 ± 1.22	30
$\geq 2$ j: b-jet veto ( $p_T \geq 25$ GeV, 80% eff)	1.28 ± 0.02	3.92 ± 0.27	0.38 ± 0.11	10.09 ± 0.59	1.01 ± 0.25	0.71 ± 0.35	0.00 ± 0.00	0.80 ± 0.36	16.92 ± 0.86	13
$\geq 2$ j: $p_{T,1st} < 30$ GeV	0.95 ± 0.01	2.50 ± 0.22	0.20 ± 0.08	4.13 ± 0.38	0.60 ± 0.19	0.27 ± 0.20	0.00 ± 0.00	0.35 ± 0.23	8.06 ± 0.57	6
$\geq 2$ j: $Z \rightarrow \tau\tau$ veto	0.95 ± 0.01	2.44 ± 0.21	0.21 ± 0.08	4.09 ± 0.38	0.60 ± 0.19	0.16 ± 0.16	0.00 ± 0.00	0.28 ± 0.21	7.79 ± 0.55	6
$\geq 2$ j: $m_{\ell\ell} < 80$ GeV	0.94 ± 0.01	1.08 ± 0.15	0.10 ± 0.06	1.33 ± 0.24	0.35 ± 0.14	0.16 ± 0.16	0.00 ± 0.00	0.15 ± 0.18	3.16 ± 0.40	2
$\geq 2$ j: $\Delta\phi_{\ell\ell} < 1.8$	0.82 ± 0.01	0.75 ± 0.12	0.09 ± 0.06	0.83 ± 0.20	0.14 ± 0.10	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	-0.04 ± 0.04	1.77 ± 0.26	1
$\geq 2$ j: $0.75 \cdot m_H \leq m_T \leq m_H$	0.48 ± 0.01	0.22 ± 0.07	0.01 ± 0.01	0.18 ± 0.08	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	-0.01 ± 0.01	0.39 ± 0.11	0
$\geq 2$ j: Z control region	15.83 ± 0.11	200.38 ± 2.08	986.90 ± 10.22	8099.47 ± 19.49	467.41 ± 5.87	131337.35 ± 261.79	39.43 ± 4.71	243.44 ± 294.65	141334.94 ± 263.02	138934
$\geq 2$ j: WW control region	0.00 ± 0.00	1.37 ± 0.16	0.11 ± 0.06	2.76 ± 0.30	0.26 ± 0.12	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.13 ± 0.13	4.63 ± 0.38	4
$\geq 2$ j: Top control region	0.09 ± 0.00	0.36 ± 0.09	0.01 ± 0.01	8.18 ± 0.55	0.83 ± 0.22	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	-0.09 ± 0.20	9.28 ± 0.60	10

# 背景事象の見積り2

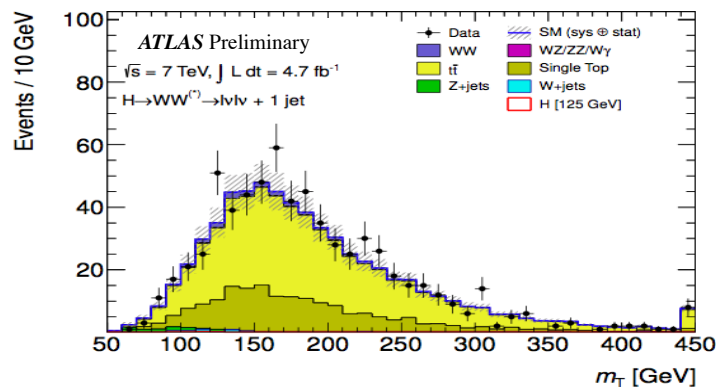
## WW コントロール領域

- $M(\text{ll}) > 80 \text{ GeV}$ で定義。
- $\alpha_{\text{WW}}$  はMCで評価され、コントロール領域の数で規格化される。



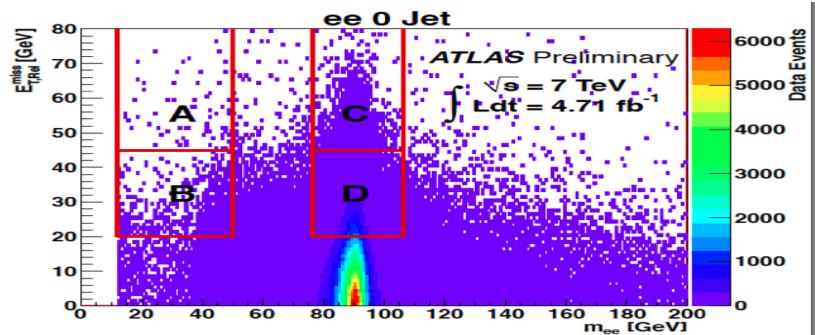
## top コントロール領域

- B-taggingをすることで定義。
- $\alpha_{\text{top}}$  はMCで評価され、コントロール領域の数で規格化される。



## Z+jets コントロール領域

- ABCD法を用いてMETのmis-modelingを補正。



# 系統誤差1

## 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 %	-

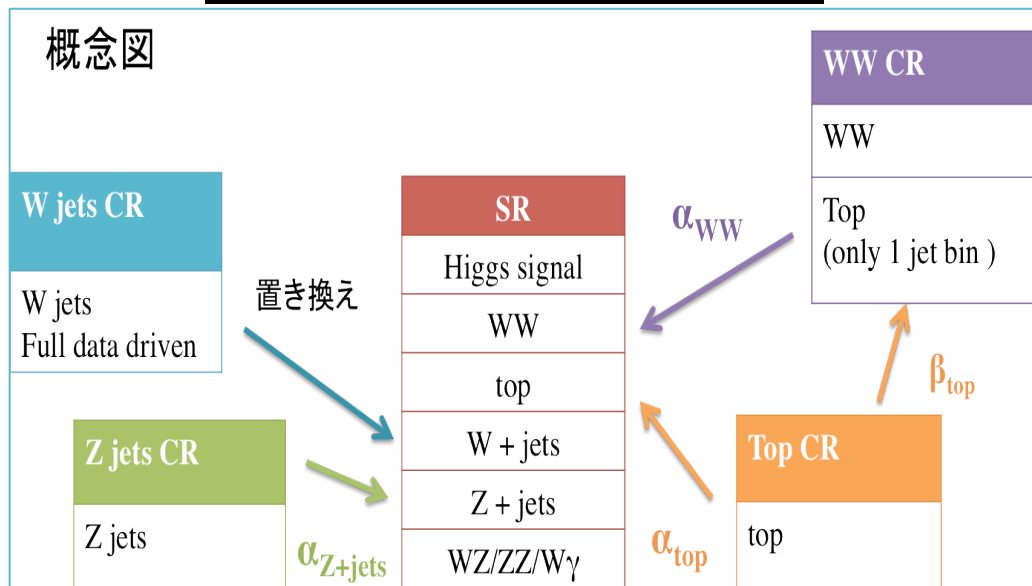
## 系統誤差2

### 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 %



# Limit Setting Procedure



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

- 1 ジェット解析は、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。