

LHC-ATLAS実験における WH→WWW→lvlv過程を用いた ヒッグス粒子の探索

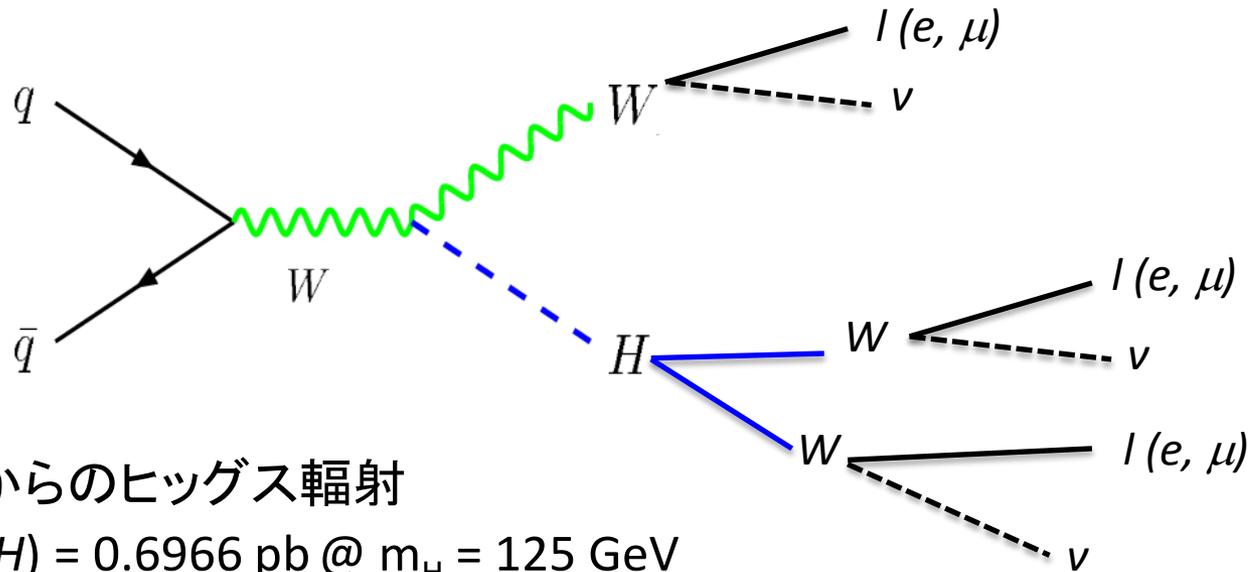
久保田隆至、Elisabetta Barberio, Pere Rados
(メルボルン大学)
他 ATLAS Collaboration

日本物理学会秋季大会@京都産業大学
2012年9月13日

Outline

- 2011年の全データ(7 TeV, 4.7 fb⁻¹)を用いた解析の概要
 - ICHEP 2012で報告
 - CONF Note (<http://cdsweb.cern.ch/record/1460390>)
- 2012年(8 TeV)のデータを解析中
 - 解析改善に向けた取り組み

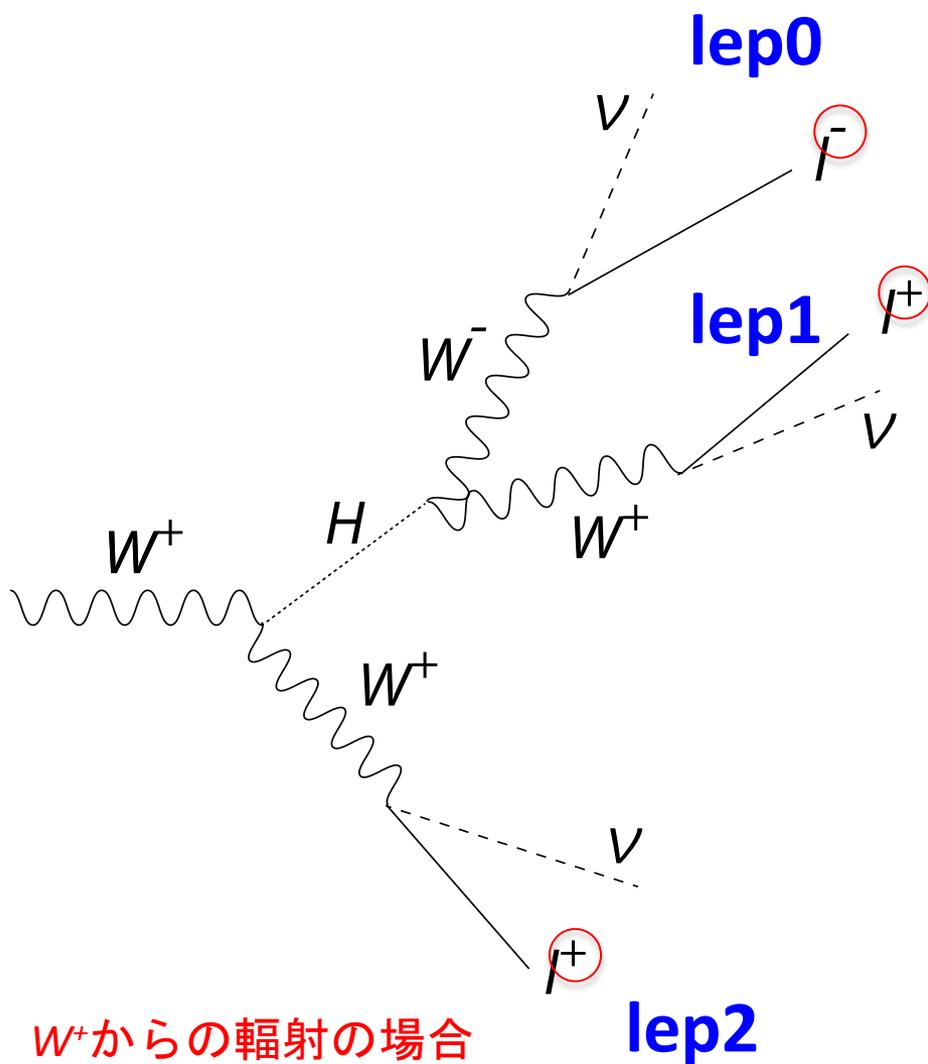
WH→WW→lvlvlv過程(標準模型)



- W粒子からのヒッグス輻射
 - $\sigma(WH) = 0.6966 \text{ pb} @ m_H = 125 \text{ GeV}$
- WW崩壊
 - $\Gamma(H \rightarrow WW) = 0.216 @ m_H = 125 \text{ GeV}$
- イベントトポロジー
 - 終状態に計3本のレプトン(e, μ : |のレプトン崩壊を含む)
 - $\sim 2.5 \text{ fb}$
 - 背景事象が少ない(S/N ~ 0.15)
 - ヒッグスはW粒子とのみ結合

$$\Delta R = \sqrt{\eta^2 + \phi^2}$$

解析のターミノロジー



W^+ からの輻射の場合

- レプトン番号付け ヒッグス粒子から
 - ユニークな電荷: lep0
 - lep0に近い(ΔR): lep1
 - 残りもの: lep2

W粒子から

- イベントカテゴリ
 - OSSF レプトン対を持つ
 - Z enriched samples
 - OSSF レプトン対を持たない
 - Z depleted samples

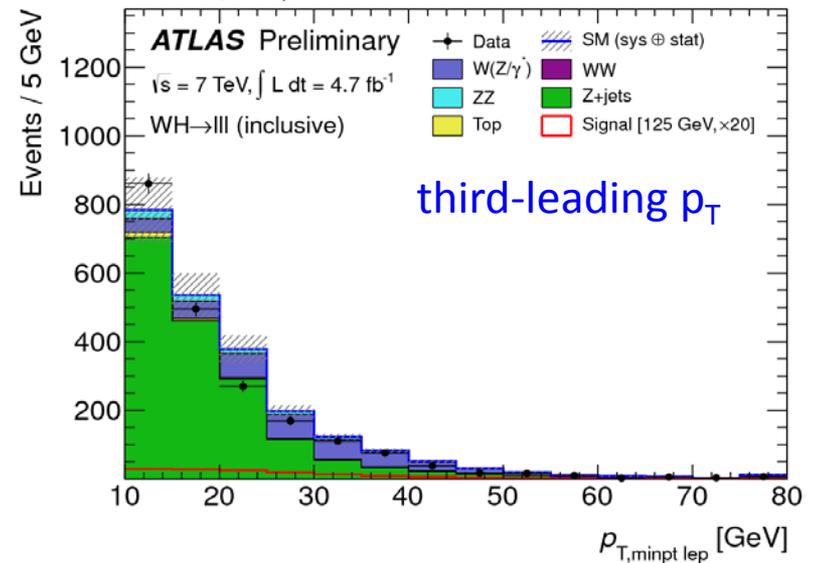
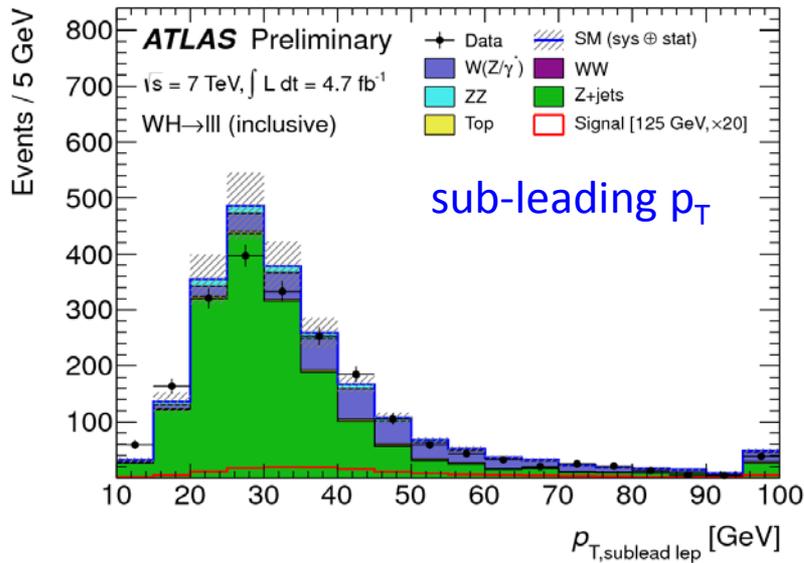
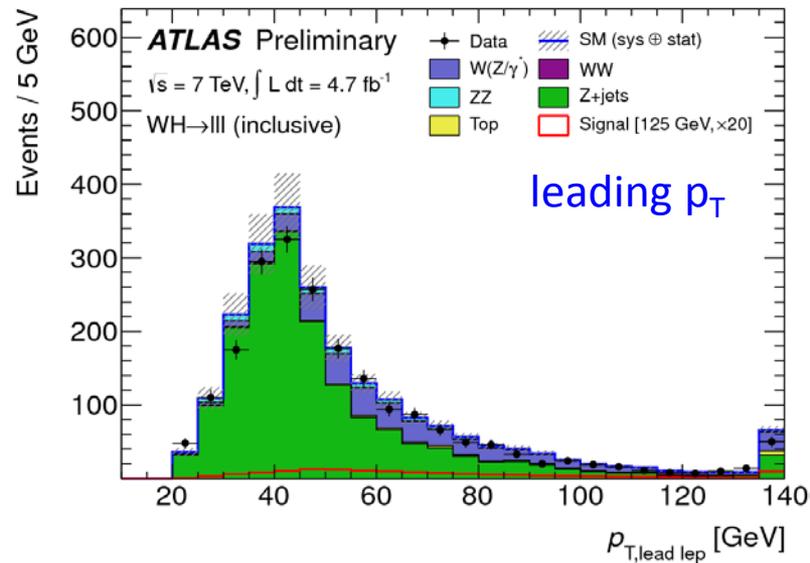
OSSF (Oppositely Singed Same Flavor)
背景事象の種類が異なる→解析も異なる

事象選別

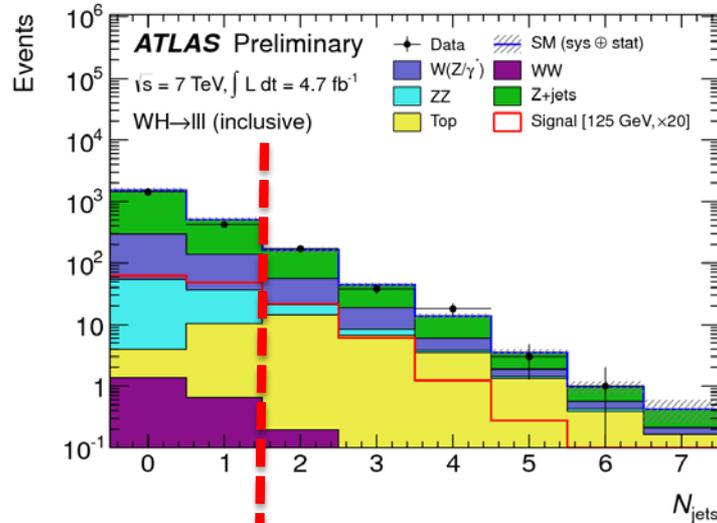
- 背景事象
 - 3本の実レプトン: $W(Z/\gamma^*)$, ZZ
 - フェイクレプトンを含む: WW , Z +jets, top , $b\bar{b}$, $c\bar{c}$, W +jets
- 事象選別 ggF, VBF解析と同様(若干loose)なレプトン選別
 - 3本のアイソレートレプトン($p_T > 10$ GeV) [fake BG]
 - 一本以上シングルレプトントリガー通過 (p_T 閾値 21(25) GeV for $\mu(e)$)
 - 電荷の和 = ± 1
 - Cut 1: # of jets ($pt > 25$ GeV) < 2 [top]
 - Cut 2: # of b-jets = 0 [top]
 - Cut 3: $E_{T,Rel}^{miss}$ カット [Z+jets, ZZ] 近傍 ($\Delta\phi < 2/\pi$) にレプトン又はjet:
 - $E_{T,Rel}^{miss} = E_T^{miss} \times \sin(\Delta\phi)$それ以外
 - $E_{T,Rel}^{miss} = E_T^{miss}$
 - > 40 GeV (Z enriched samples)
 - > 25 GeV (Z depleted samples)
 - Cut 4: Z mass veto (全OSSFレプトン対で $|M_{ll} - M_Z| > 25$ GeV) [Z+jets, ZZ, WZ]
 - Cut 5: $\text{minimum}(M(\text{lep0}, \text{lep1}), M(\text{lep0}, \text{lep2})) > 12$ GeV [W γ^*]
 - Cut 6: $\Delta R(\text{lep0}, \text{lep1}) < 2.0$ [WZ]
 - ggF, VBF解析とのoverlapを除去 (2 tight レプトン + 1 loose レプトン)

カット変数の分布

レプトンの p_T 分布
(3レpton要求後)



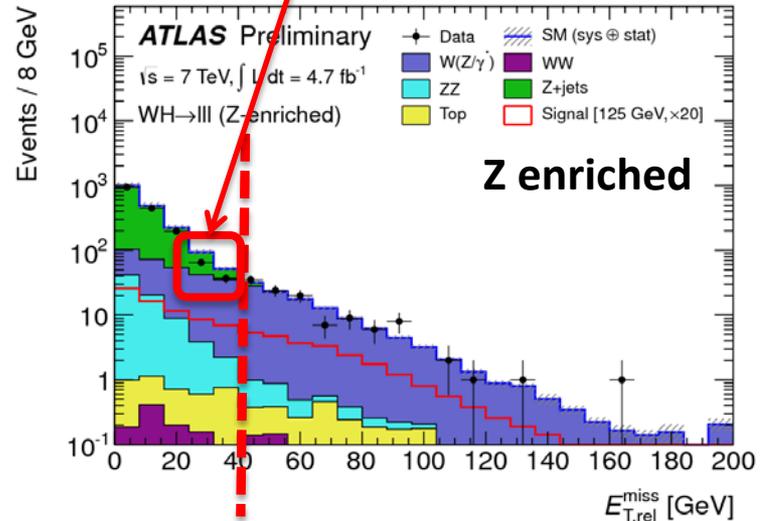
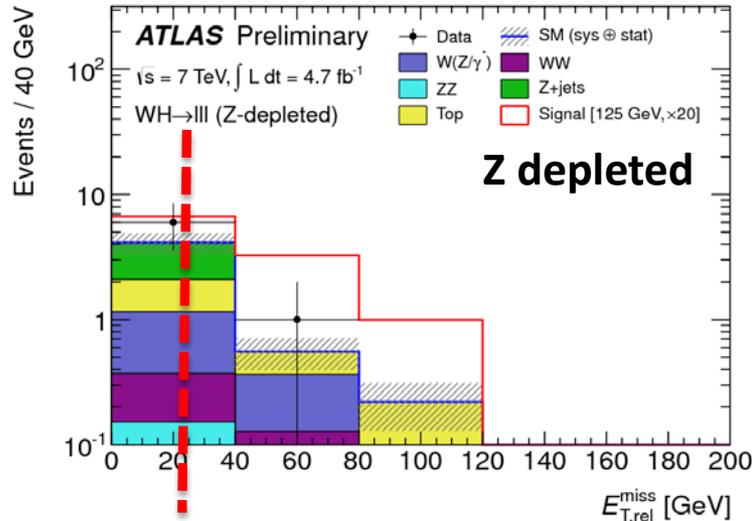
カット変数の分布



Jet($p_T > 25 \text{ GeV}$)数分布(3レプトン要求後)

大きなdata/MC不一致:
 pile up事象数への依存性の兆候が
 系統誤差の範囲内で存在 \rightarrow 補正無し

$E_{T,Rel}^{miss}$ 分布 ($E_{T,Rel}^{miss}$ カット前)



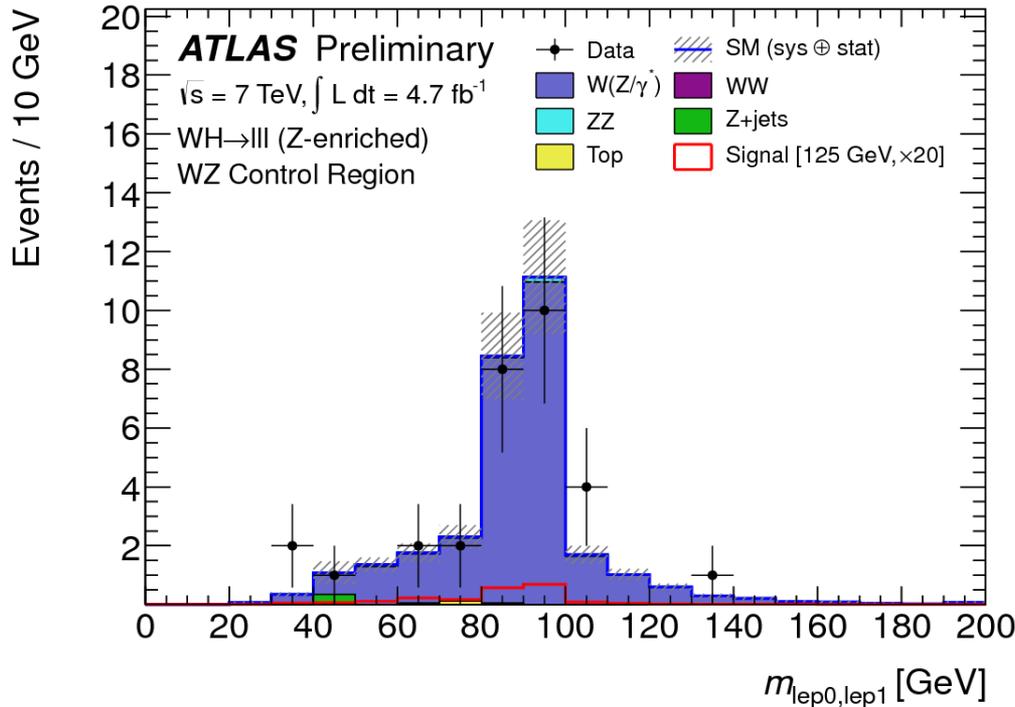
背景事象の規格化

- MC推定をControl regionの情報で規格化 (WZ, top)

背景事象の規格化 (WZ)

WZ CR defined only for <i>Z enriched</i>	isolated leptons Cut 1: at most one jet with $p_{T,jet} > 25$ GeV Cut 2: no b -tagged jets with $p_T > 25$ GeV Cut 3b: $E_{T,rel}^{miss} > 25$ GeV Cut4: Z mass selection Cut 5: $m_{\ell\ell,min} > 12$ GeV Cut6: $\Delta R_{lep0,lep1} > 2.0$ Cut 7: overlap removal with di-lepton analysis
--	---

Z veto, ΔR のカットを反転



observed: expected: Data/MC
 30 : 31 ± 5 : 0.98 ± 0.25

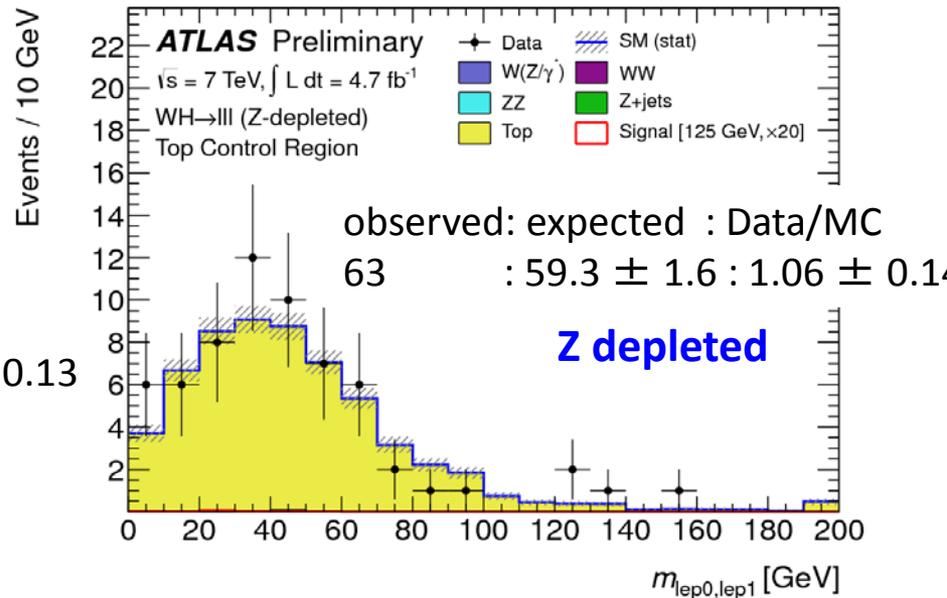
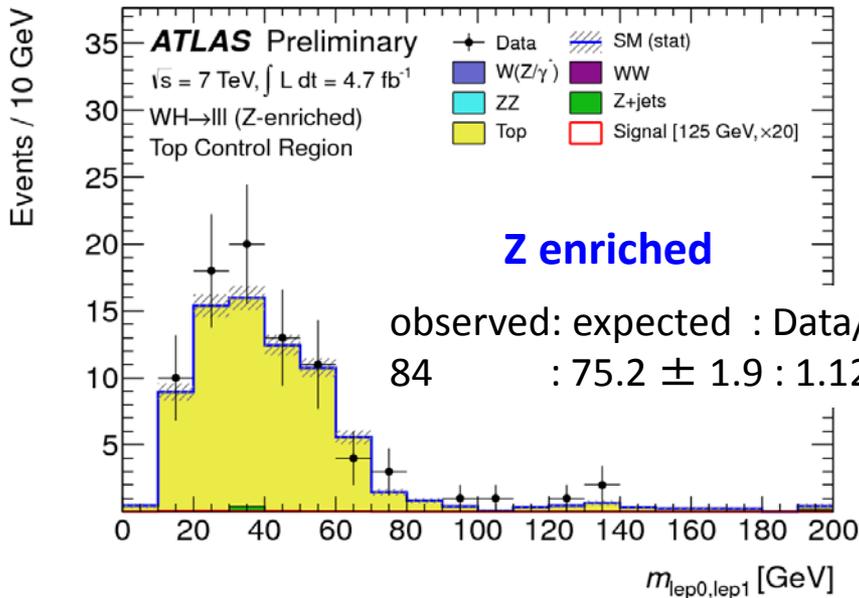
背景事象の規格化 (*top*)

- non-isolated レプトンでcontrol regionを構成
- シグナル領域への外挿で大きな不定性(100%)

b-tagged ジェットを要求

Top CR	NO isolation requirement at least 1 jet with $p > 25$ GeV
	Cut2 : at least 1 b -tagged jet with $p_T > 25$ GeV
<i>Z</i> enriched	Cut 3a: $E_{T,rel}^{miss} > 40$ GeV (<i>Z</i> enriched)
	Cut 4: <i>Z</i> mass veto
	$p_T^{lep0} + p_T^{lep1} + p_T^{lep2} > 60$ GeV
	$\Delta R_{lep0,lep1} > 0.5$
	Cut 7: overlap removal with di-lepton analysis

Top CR	NO isolation requirement at least 1 jet with $p > 25$ GeV
	Cut2 : at least 1 b -tagged jet with $p_T > 25$ GeV
<i>Z</i> depleted	Cut 3b: $E_{T,rel}^{miss} > 25$ GeV (<i>Z</i> depleted)
	$p_T^{lep0} + p_T^{lep1} + p_T^{lep2} > 60$ GeV
	Cut 7: overlap removal with di-lepton analysis



シグナル領域事象数

	Obs.	signal	Total BG	$W(Z/\gamma^*)$	WW	ZZ	Top
Z-enri.	3	0.39 ± 0.0	3.7 ± 0.9	3.2 ± 0.8	0.09 ± 0.0	0.17 ± 0.0	0.28 ± 0.1
		6			6	7	2
Z-dep.	0	0.22 ± 0.0	0.25 ± 0.1	0.21 ± 0.0	0	0.03 ± 0.0	0.01 ± 0.1
		4	5	7		3	0

系統誤差

- 測定系由来

- Jet関係 (energy scale, resolution, b-tagging efficiency)
- lepton関係 (energy scale, resolution, efficiency)
- E^{miss}_{τ} 関係 (Jet, leptonの不定性を伝搬、pile-up effect)
- Luminosity (3.9%)

更にggF, VBF解析とのoverlap除去でレプトン1本あたり5%を計上

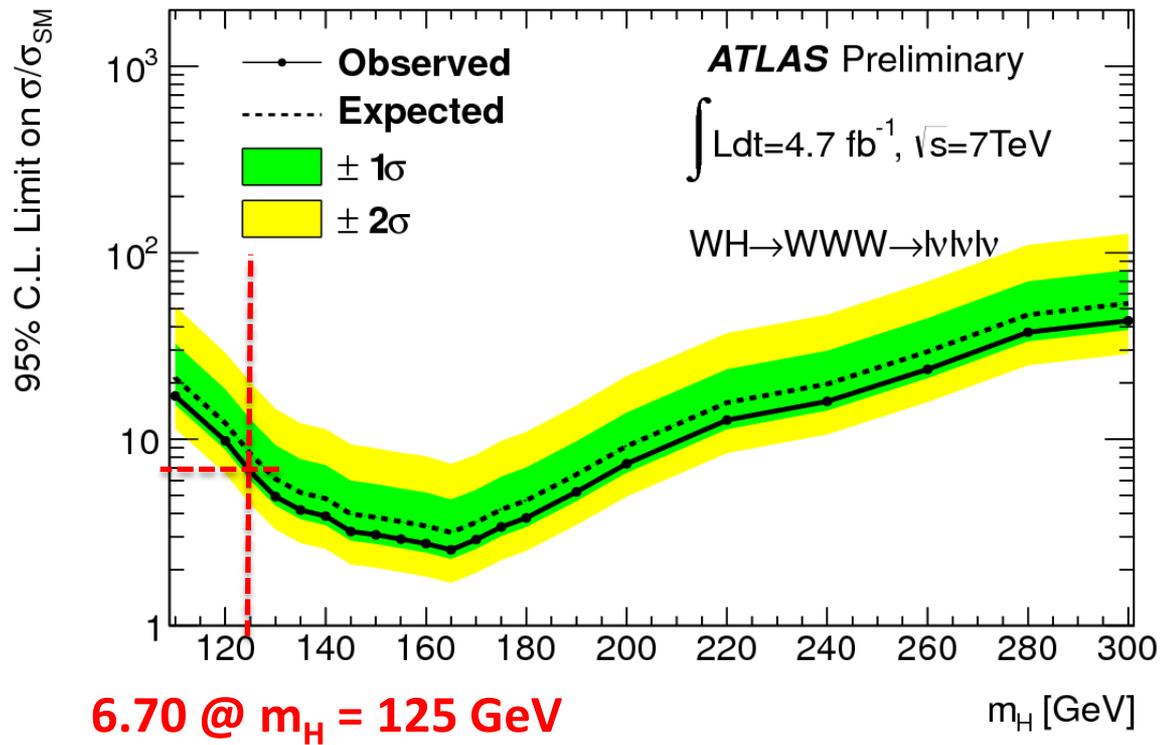
	Signal [125GeV]	W(Z/ γ^*)	WW	ZZ	Z+jets	Top	Total Bkg
Z enriched SR	19%	18%	31%	31%	0.0%	41%	19%
Z depleted SR	20%	22%	40%	66%	0.0%	670%	41%
WZ CR	18%	17%	18%	27%	30%	108%	17%

- 理論由来

- シグナル事象の断面積不定性
 - Renormalization & factorization scale < 1% [arXiv:1101.0593]
 - PDF, α_s 不定性 < 4%
 - W粒子の偏極不定性 < 3% [arXiv:1203.2165]
- PDF由来のacceptance 不定性: < 6% (シグナル事象), < 3% (背景事象)
 - Control regionで規格化しないサンプルのみ

ヒッグス断面積上限値

- 95 %信頼度での σ/σ_{SM} の上限値
- Z-enriched, depletedの2ビンのcounting experiment
- test statistics: profile likelihood $q_\mu = -2 \ln \left(\mathcal{L}(\mu, \hat{\theta}_\mu) / \mathcal{L}(\hat{\mu}, \hat{\theta}) \right)$
- CLs

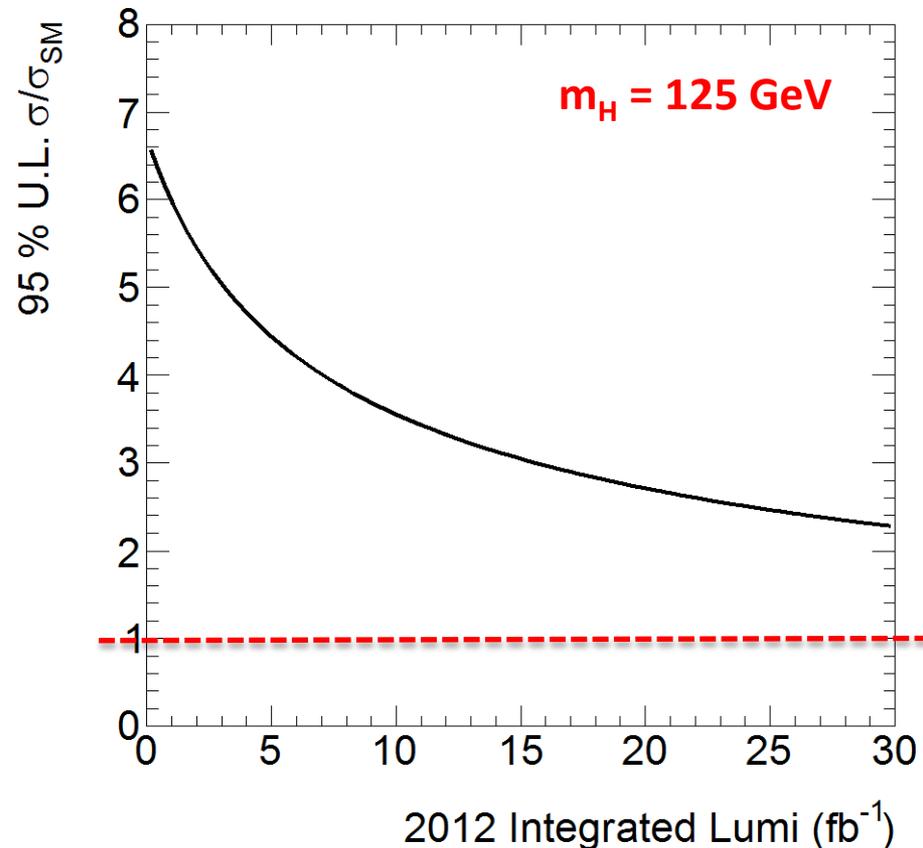


解析の改善

現在の解析ではSMが排除できない

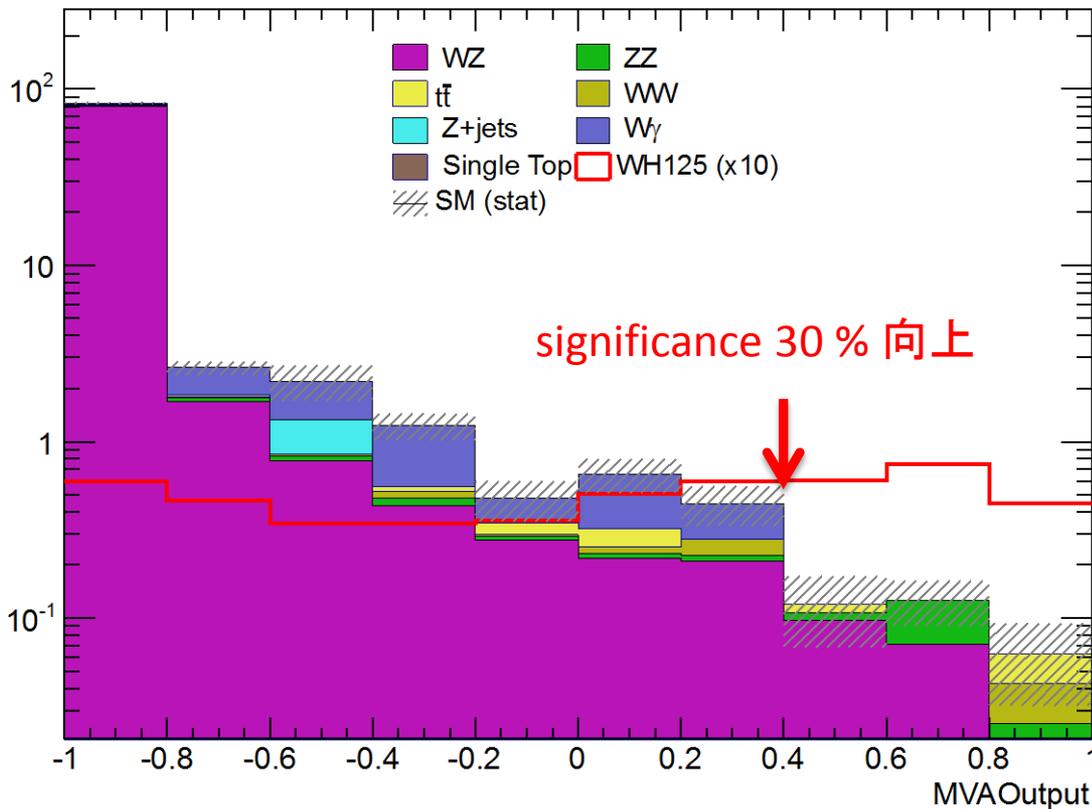
- 多変数解析 (BDT) の導入 ($W(Z/\gamma^*)$ の除去)
- 他のモードの導入
 - Hadronic tau decay
 - 2.5 fb \rightarrow 5.1 fb (3 had tau)
 - SS di-lepton
 - 4.7 fb (w/o tau)
 - 10.7 fb (w/ tau (had, lep))

解析感度の外挿 (改善を行わない場合)
• 7 \rightarrow 8 TeV の断面積増加: 1.2 と仮定



BDTの導入

- 2011年データを用いた感度向上の見積もり
 - 8変数 (p_T (lep0, 1, 2), MII01, MII02, MII12, MIII, DRII02)



NTrees=1000
MaxDepth=2
BoostType=Grad
Shrinkage=0.10
GradBaggingFraction=0.5

まとめ

ATLAS実験での $WH \rightarrow WWW \rightarrow l\nu/l\nu/l\nu$ 過程の解析

- 2011年、7 TeV、 4.7 fb^{-1} のデータを用いた解析
 - 95 % C.L. Limit on $\sigma/\sigma_{\text{SM}} \sim 6.70$ @ $m_{\text{H}} = 125 \text{ GeV}$
 - $W(Z/\gamma^*)$ 事象が感度を制限
- 2012年、8 TeVのデータを用いた解析
 - 多変数解析 (BDT) を用いた $W(Z/\gamma^*)$ 背景事象除去
 - Hadronic tau, SS di-leptonモードの導入

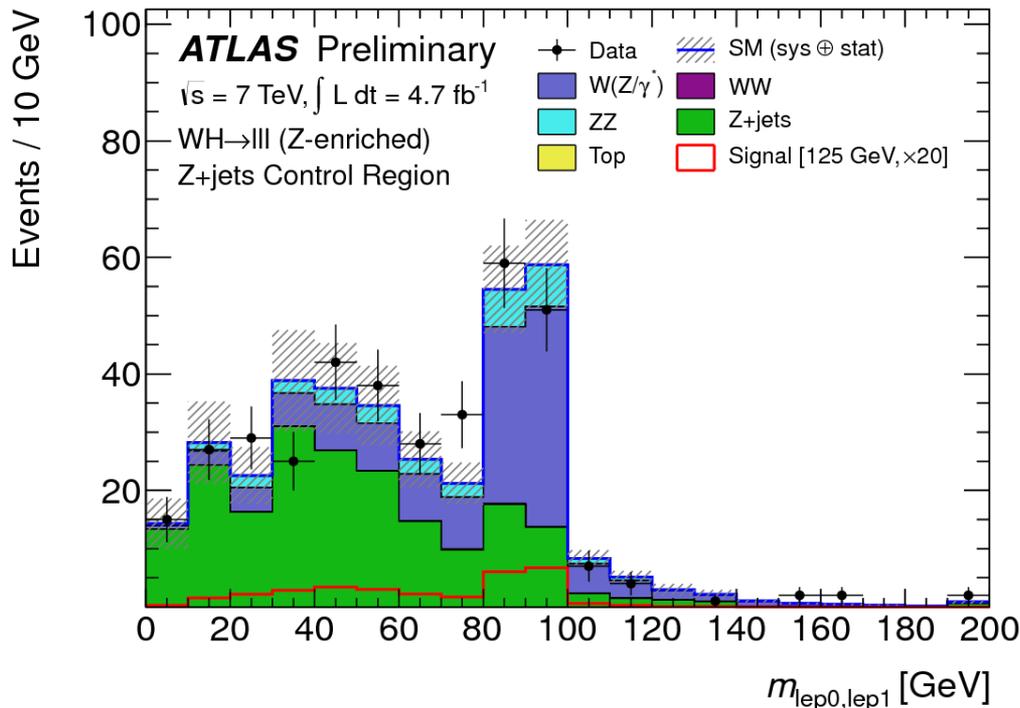
under progress

バックアップ

背景事象の規格化 (Z+jets)

Z+jets CR defined only for <i>Z enriched</i>	isolated leptons
	Cut 1: at most one jet with $p_{T,jet} > 25$ GeV Cut 2: no b -tagged jets with $p_T > 25$ GeV Cut3b: $E_{T,rel}^{miss} < 25$ GeV Cut4: Z mass selection $p_T^{lep0} + p_T^{lep1} + p_T^{lep2} > 60$ GeV Cut 7: overlap removal with di-lepton analysis

$E_{T,Rel}^{miss}$, Z vetoのカットを反転



observed: expected: Data/MC
365 : 360 ± 80 : 1.02 ± 0.23

- シグナル領域への外挿エラー : 5 %
- ggF, VBF解析とのoverlap removalで Z+jets事象数が大きく減る (2 tight レプトン + 1 loose レプトン: Z+jetsと同じsignature)

Cutflow

背景事象

	$W(Z/\gamma^*)$	WW	ZZ	Z+jets	Top
Pre-selection	392±24	2.26±0.33	85±7	1720±230	38.6±1.2
Z enriched	390±23	1.84±0.27	85±7	1720±230	30.2±1.1
At most 1 jet, not b -tagged	335±21	1.65±0.27	75±6	1550±210	5.0±0.5
$E_{T,rel}^{miss} > 40$ GeV	106±7	0.60±0.15	1.9±0.4	5.2±2.8	1.88±0.30
Z mass veto	6.6±0.7	0.39±0.12	0.31±0.11	1.5±1.5	1.10±0.22
All cuts	3.2±0.8	0.09±0.06	0.17±0.07	--	0.28±0.12
Z depleted	1.36±0.15	0.42±0.11	0.15±0.05	2.1±0.8	8.4±0.6
At most 1 jet, not b -tagged	1.08±0.13	0.37±0.10	0.15±0.05	2.0±0.7	1.27±0.29
$E_{T,rel}^{miss} > 25$ GeV	0.49±0.07	0.17±0.07	0.03±0.03	--	0.52±0.20
All cuts	0.21±0.07	0.00±0.05	0.03±0.03	--	0.01±0.10

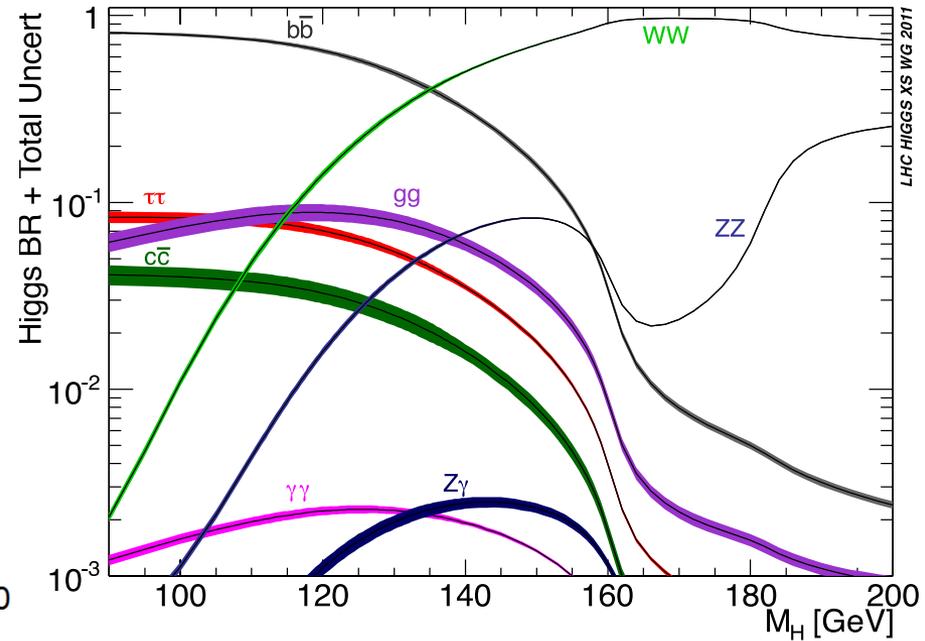
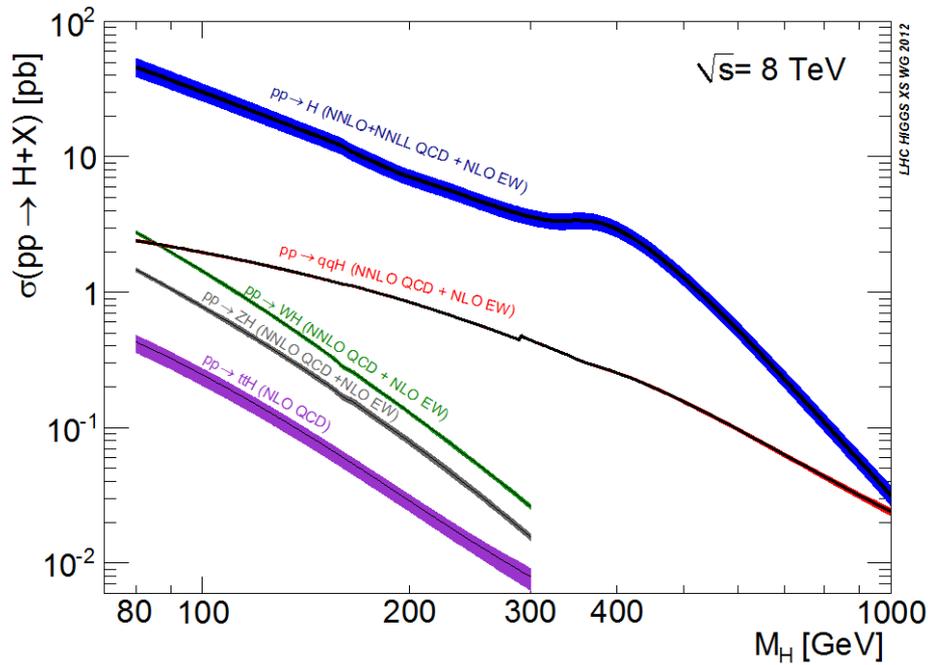
$W(Z/\gamma^*)$ が感度を制限

信号事象

	$W(H \rightarrow WW)$	$Z(H \rightarrow WW)$	$V(H \rightarrow \tau\tau)$	$H \rightarrow ZZ$	Observed	Total Bkg.
Pre-selection	1.78±0.15	3.56±0.30	0.66±0.06	0.97±0.08	2077	2240±260
Z enriched	1.36±0.11	3.50±0.28	0.54±0.05	0.97±0.08	2056	2220±260
At most 1 jet, not b -tagged	1.24±0.12	2.22±0.21	0.48±0.05	0.80±0.07	1801	1960±240
$E_{T,rel}^{miss} > 40$ GeV	0.61±0.05	0.54±0.05	0.10±0.01	0.01±0.01	114	115±10
Z mass veto	0.47±0.05	0.04±0.01	0.04±0.01	--	13	9.9±2.2
All cuts	0.34±0.06	0.03±0.01	0.02±0.01	--	3	3.7±0.9
Z depleted	0.43±0.06	0.06±0.01	0.12±0.02	--	21	12.49±1.07
At most 1 jet, not b -tagged	0.40±0.06	0.04±0.01	0.11±0.02	--	7	4.9±0.9
$E_{T,rel}^{miss} > 25$ GeV	0.26±0.03	0.02±0.01	0.04±0.01	--	1	1.22±0.24
All cuts	0.18±0.04	0.01±0.01	0.03±0.01	--	0	0.25±0.15

他のヒッグスモードからの寄与 ~ 15 %
この解析ではシグナルとして扱う

WH → WWW



[arXiv: 1201.3084]