

# LHC-ATLAS 実験における $H \rightarrow WW^* \rightarrow l\nu l\nu$ 崩壊チャンネルを用いたヒッグス粒子の性質測定

岸本巴、<sup>A</sup> 増淵達也、<sup>B</sup> 吉原圭亮、藏重久弥、山崎祐司、Li Yuan

神戸大理、<sup>A</sup> 東大素セ、<sup>B</sup> 東大理

Sep. 19 2014



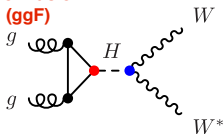
# Introduction

- $H \rightarrow WW^* \rightarrow l\nu l\nu$  信号の特徴:

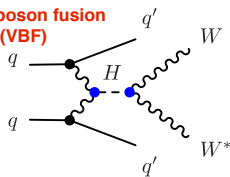
- 終状態に逆電荷の2つのレプトン ( $e$  or  $\mu$ ) と消失エネルギー  $E_T^{\text{miss}}$ 。
- ヒッグスの生成過程によって、ジェット数の傾向が変化。

## LHC での主な $H \rightarrow WW^*$ 生成過程

Gluon fusion  
(ggF)

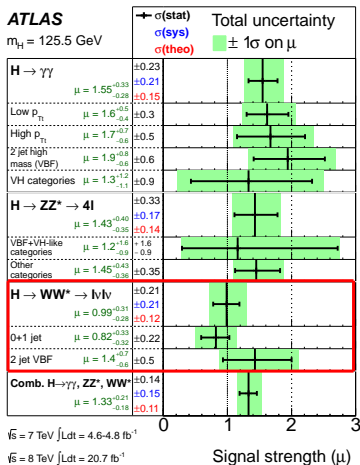


Vector boson fusion  
(VBF)



- $H \rightarrow WW^*$  の崩壊比が大きく高統計。終状態にレプトンを要求することで背景事象を抑制 ( $S/N \sim 0.1$ )。
- ヒッグスとベクターボゾンとの結合測定に高い感度。

# Introduction



Phys. Lett. B 726 (2013)

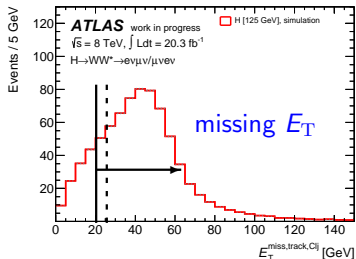
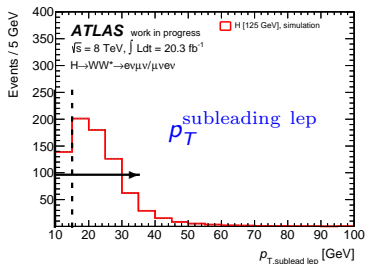
- 現在公表されている  
 信号強度  $\mu$  (= 観測値/予想値):  
 $\mu_{\text{obs}} = 0.99$   
 $\pm 0.21$  (statistical uncert.)  
 $\pm 0.21$  (experimental syst. uncert.)  
 $\pm 0.12$  (theory uncert.)
- 本講演では、この結果に対する  
 解析の改善点と期待される測定精度  
 について述べる。
- 2012年に取得された  $20.3 \text{ fb}^{-1}$  @8TeV  
 を主に用いる。

# Analysis overview, strategy

- オブジェクトの選別 (pre-selection):

	previous	update!
$p_T^{\text{leading lep}}$	>25 GeV	> 22 GeV
$p_T^{\text{subleading lep}}$	>15 GeV	> 10 GeV
$E_T^{\text{miss}}$	>25 GeV	> 20 GeV

- レプトン  $p_T$ 、消失エネルギーの閾値を以前より低く設定。

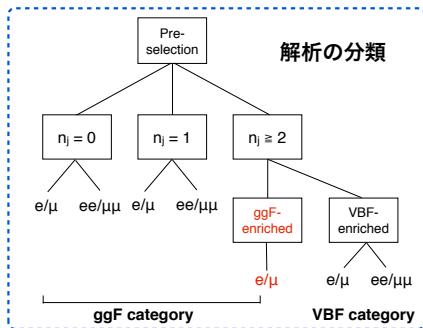


## Analysis overview, strategy

- レプトンの flavor、ジェットの数で解析を分割、信号領域を最適化

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 \text{ jet} \\ 1 \text{ jet} \\ \geq 2 \text{ jet} \end{array} \right\} \times \left\{ \begin{array}{l} e\mu \\ ee/\mu\mu \end{array} \right\}$$

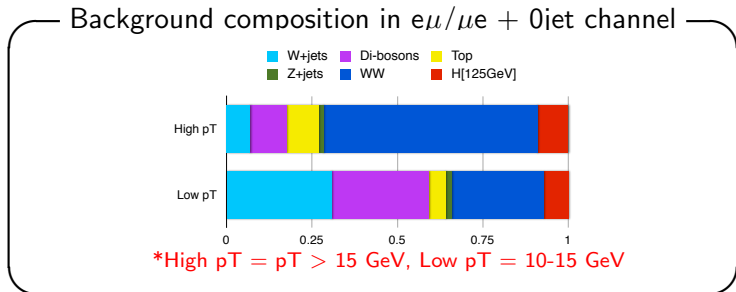
- ggF-enriched と呼ばれる  $\geq 2$  jets の category を追加。←update!



- オブジェクトの閾値の変更、ggF+2jets category の追加などにより ggF category で約 50%の信号増加が期待される。
- 背景事象の理解、系統誤差の削減がより重要となっている。

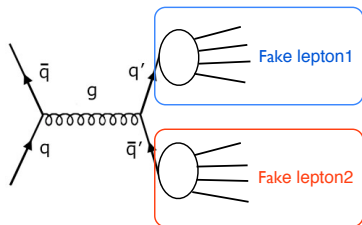
# Background composition

- 信号領域 (0jet- $e\mu$  category) の主要な背景事象の割合:



- Low  $p_T$  での主要な背景事象の理解及び見積りの改善については、2014 春期大会で報告を行った: [28aSD-4](#)
  - W+jets 背景事象のデータを用いた新たな見積り方法の開発及び系統誤差の削減。
  - 確認領域を用いた diboson MC の有効性の検証、など。
- 解析の洗練のため比較的少数の背景事象についても研究を行った。

## Adding low $E_T^{\text{miss}}$ data



- QCD (multi-jets) はジェットから2つのレプトンが誤って選別された場合に背景事象となりうる。
  - Jet  $\rightarrow$  lepton と識別される確率は低く、 $E_T^{\text{miss}}$  カットによって効果的に削減できるため QCD は詳細に調べられていなかった。
- 
- $E_T^{\text{miss}}$  カットの閾値の低下に伴いこの QCD 背景事象の増加、新しく導入する ggF+2jets category では無視出来ない大きさになると予想。
  - データを用いた見積もり方法を開発しその影響を調べた。

## QCD background

- Jet→lepton を正確にシミュレーションするのは難しい:  
Hadrons / Conversions / Heavy Flavour
- データを用いて QCD 背景事象を見積もる。

### Fake factor method

- 1. Jet→lepton の fake factor ( $N_{id}/N_{anti-id}$ ) をデータから計算。
- 2. "anti-id + anti-id" のコントロール領域をデータから構築

信号領域の数      Fake Rate      コントロール領域の数

$$N_{\text{two fake}} = \left( \frac{N_{id}}{N_{anti-id}} \right)^2 \times N_{\text{two anti-id}}$$

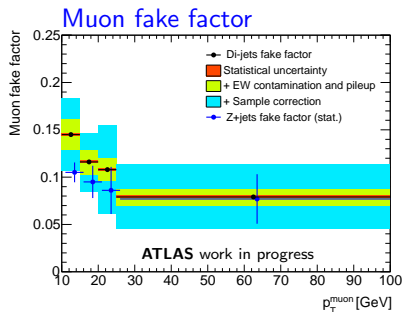
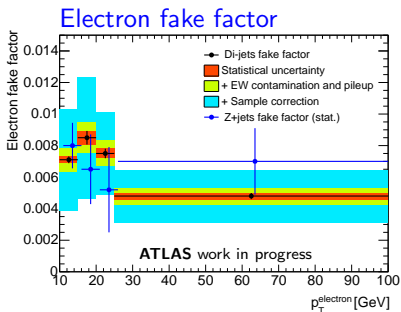
\* id: 信号領域で用いるレプトンの選別基準

anti-id: id の選別基準を一部反転もしくは緩和したもの



# Di-jets fake factor

- Di-jets 事象が支配的な領域から fake factor を 2 次元 ( $p_T, \eta$ ) で計算。
  - W+jets 背景事象に対する fake factor の見積もりには Z+jets が用いられている。
  - ここでは di-jets 事象の方が QCD コントロール領域とのジェットの組成の違いが小さいと期待されるため。



- Di-jets 事象は Z+jets よりも高統計。MC を用いた di-jets 事象と実際のコントロール領域におけるジェットの組成の違いの補正に約 20-40%の系統誤差が課される。

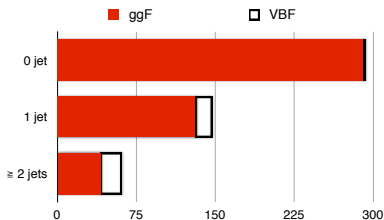
## Estimated QCD in 0/1 jet category

- 0/1 jet category の信号領域において予想される QCD 背景事象数 ( $E_T^{\text{miss}} > 20 \text{ GeV}$ ):

	H [125 GeV]	QCD	Total bkg.
0jet: $e\mu$	$133.50 \pm 0.43$	$0.82 \pm 0.60$	$941.94 \pm 5.78$
$ee/\mu\mu$	$58.32 \pm 0.33$	$0.00 + 0.22$	$518.57 \pm 5.92$
1jet: $e\mu$	$46.68 \pm 0.36$	$0.54 \pm 0.19$	$335.47 \pm 3.46$
$ee/\mu\mu$	$16.03 \pm 0.22$	$0.00 + 0.20$	$129.18 \pm 3.15$

- QCD 背景事象は十分小さくコントロールされている。

## 2 jets ggF-enriched region



- $\geq 2$ jets では VBF を積極的に選別する解析が行われてきた。
- しかし、 $\geq 2$ jets の場合でも ggF の信号が少なからず存在するため、**ggF+2jets** という解析カテゴリーが新たに加えられた。

- ggF+2jets 信号領域の選別:

### Selection

1. number of b-jets = 0 top 背景事象を抑えるため
2.  $m_{\tau\tau} > m_Z - 25$  GeV  $Z_{\tau\tau}$  背景事象を抑えるため
3. VBF veto VBF category との重複を防ぐため
4.  $m_{ll} < 55$  GeV and  $\Delta\Phi < 1.8$  Higgs 事象選別のため

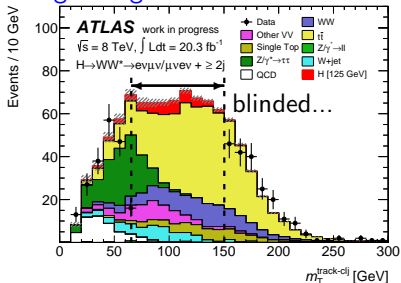
# Expected yields in ggF+2jets

- ggF+2jets category の信号領域で予想される事象数:

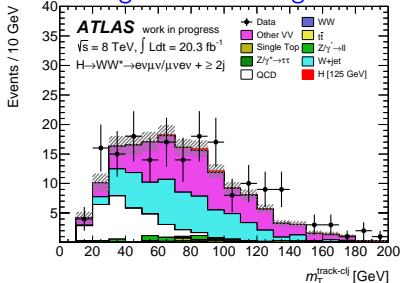
	H [125 GeV]	QCD	Total bkg.
ggF+2jets	45.45 ± 0.40	49.17 ± 0.88	956.31 ± 7.30

- QCD(+diboson,W+jets) は同電荷のレプトン対を要求した領域で確認。
- この ggF+2jets category の追加で約 4% の  $\mu$  の測定精度向上。

## Signal region

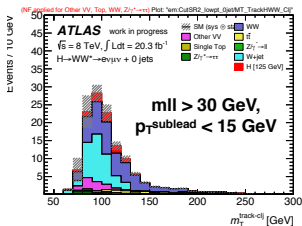
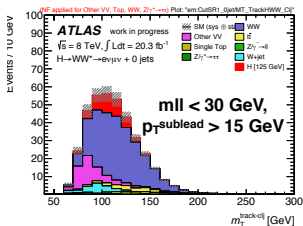
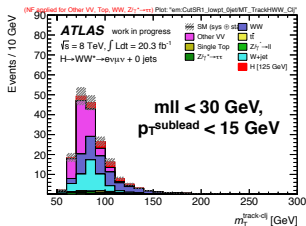


## Same-sign validation region



# Other main improvements

- ggF category における他の主要な改善 (2014 春期大会:28aSD-3):
  - **信号領域の分割:**  $m_{ll}$  及び  $p_T^{\text{subleading lep}}$  で信号領域を分割することで背景事象を効果的に分別できる。low  $p_T$  data ( $p_T^{\text{subleading lep}}=10-15$  GeV) の追加と合わせて約 10% の  $\mu$  の測定精度向上。



- **消失エネルギー分解能の改善:** 内部飛跡検出器によるトラックをベースにして消失エネルギーを計算。高パイラップ環境化でも高い(消失)エネルギー分解能を保つことが可能、など。

## Expected results

- 期待される発見確度、測定精度:  $\mu=1$  @ 125 GeV を仮定

	Significance $Z^0$	Signal strength $\mu$
ggF category	4.42	1 +0.27 / -0.24
VBF category	2.43	1 +0.53 / -0.45
Combined	5.65	1 +0.22 / -0.20

- ggF category において、約 30% の  $\mu$  の測定精度の改善。
  - (low  $p_T$  data の追加+信号領域の分割): 約 10%
  - (low  $E_T^{\text{miss}}$  data の追加+分解能の改善): 約 10%
  - ggF+2jets category の追加: 約 4%、など。
- VBF category と合わせることで、**WW\*崩壊チャンネル単体での発見確度  $5\sigma$  以上、 $\mu$  の測定精度約 20% を予想。**

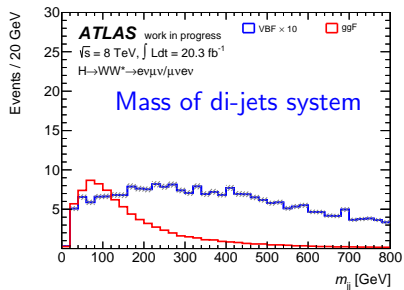
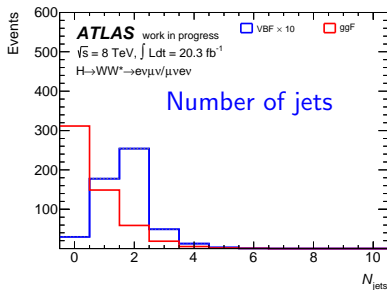
# Summary

- $H \rightarrow WW^* \rightarrow l\nu l\nu$  はヒッグス粒子とベクターボゾンの結合を測定できる重要なチャンネルである。
- 現在公表されている結果に対し様々な解析の改善を行った。
  - レプトン及び消失エネルギーの閾値を下げることで信号のアクセプタンスを増やし、この場合の背景事象の評価も行った。
  - 新たな解析カテゴリーを追加した、など。
- **発見確度  $5\sigma$  以上、 $\mu$  の測定精度約 20% が期待される解析を確立した。**
  - 10 月中にデータを用いた結果を公表予定。

# Backup



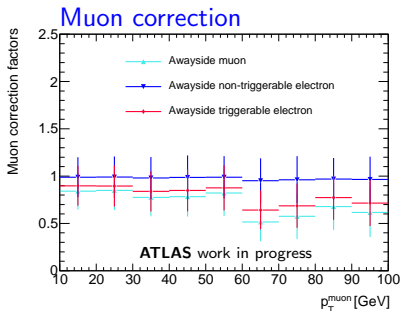
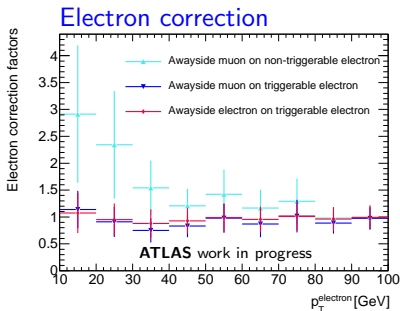
# ggF vs VBF



# QCD correction

- 二つ目のレプトンの存在 (awayside lepton) を要求することで、ジェットの flavor の変化 ( $\xi$ ) を MC から算出。

$$c = \frac{1}{f} \cdot \frac{N_{\text{LF}} \cdot \xi_{\text{LF}} + N_b \cdot \xi_b + N_c \cdot \xi_c}{D_{\text{LF}} \cdot \xi_{\text{LF}} + D_b \cdot \xi_b + D_c \cdot \xi_c}, \xi_X = \frac{J_X^{\text{awayside}} / J_{\text{all}}^{\text{awayside}}}{J_X / J_{\text{all}}} \quad (1)$$



# Object selection

## id electron

VTLH (10-20), Medium++ w/ Conv Bit and BLayer (25-)

$|z_0 \sin \text{w.r.t. PV}| < 0.4 \text{ mm}$

Impact parameter significance ( $d_0 \text{sig}$ )  $< 3$

TopoEtcone30Corr/Et  $< 0.20(10-15)$ ,  
 $< 0.24(15-20)$ ,  $< 0.28(20-)$

ptcone40/Et  $< 0.06(10-15)$ ,  $< 0.08(15-20)$ ,  $< 0.10(20-)$

## anti-id electron

! Medium++

0.4 mm

3

TopoEtcone30Corr/Et  $< 0.30$

ptcone40/Et  $< 0.16$

## id muon

Impact parameter significance ( $d_0 \text{ sig}$ )  $< 3$

Etcone30Corr/pt  $< 0.06(10-15)$ ,  
 $< 0.12(15-20)$ ,  $< 0.18(20-25)$ ,  $< 0.30(25-)$

ptcone40/pt  $< 0.06(10-15)$ ,  $< 0.08(15-20)$ ,  $< 0.12(20-)$

## anti-id muon

no cut

Etcone30Corr/pt  $< 0.15(10-15)$ ,  
 $< 0.25(15-20)$ ,  $< 0.30(20-)$

no cut