

LHC-ATLAS実験における VBF $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu l\nu$
を用いたヒッグス粒子の探索

岡村航、花垣和則

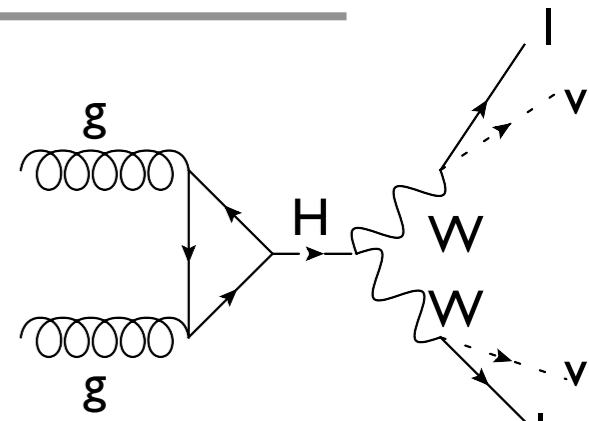
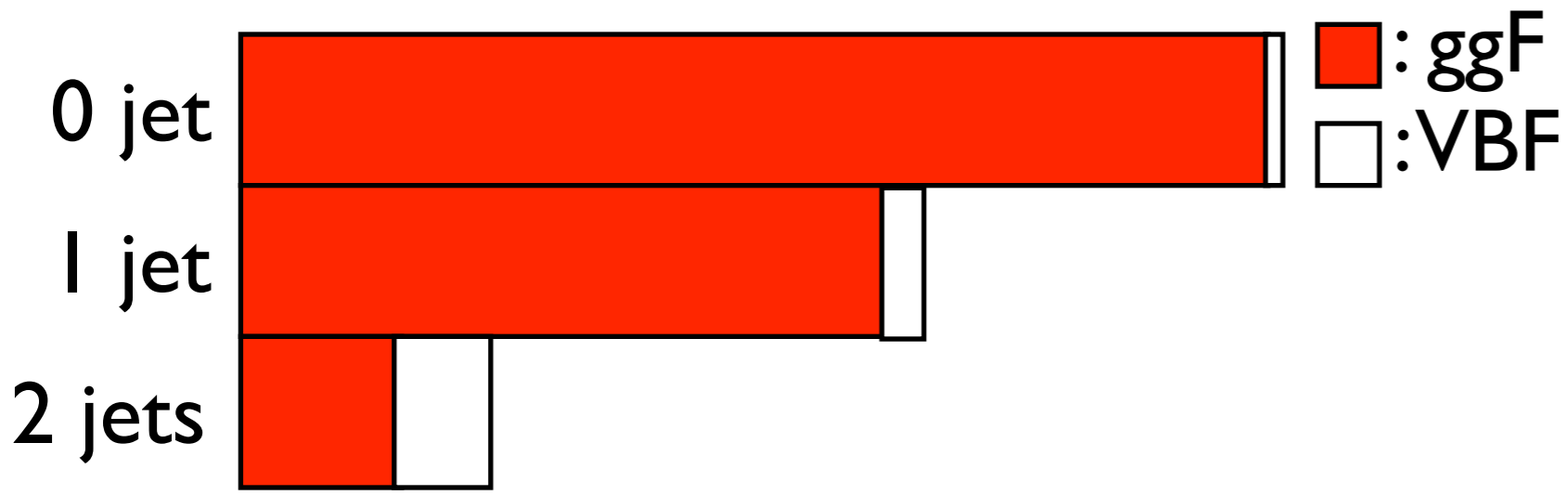
大阪大学

研究の目的

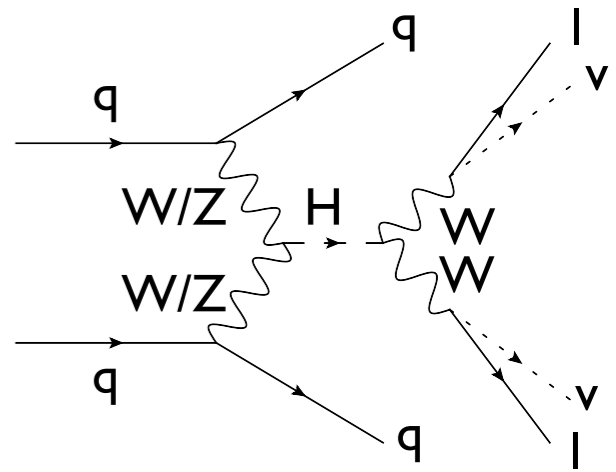
gluon gluon Fusion (ggF)

- $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu l\nu$ 解析

Other higgs productions aren't shown.



Vector Boson Fusion (VBF)

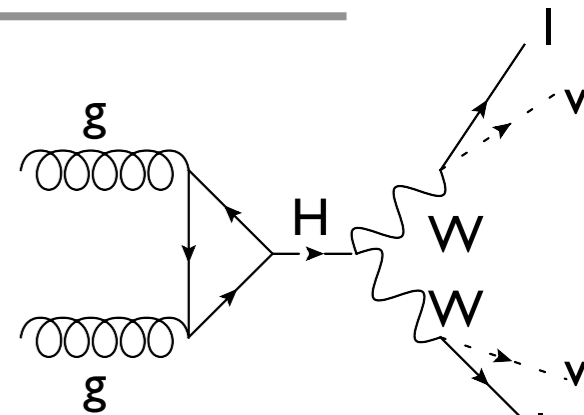
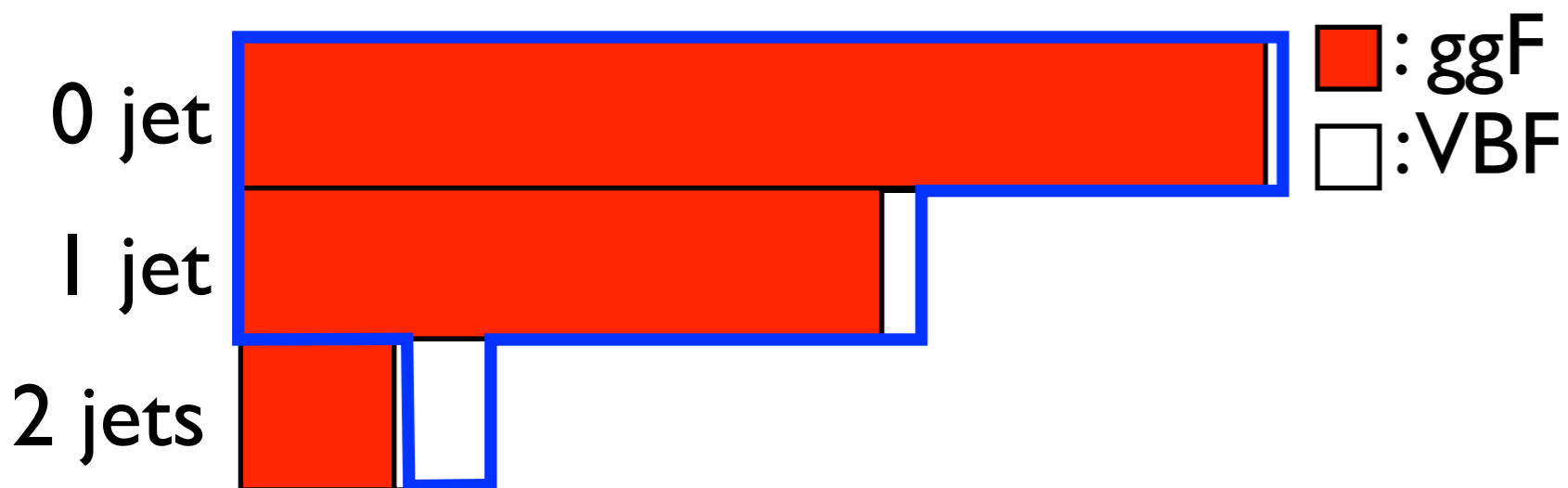


研究の目的

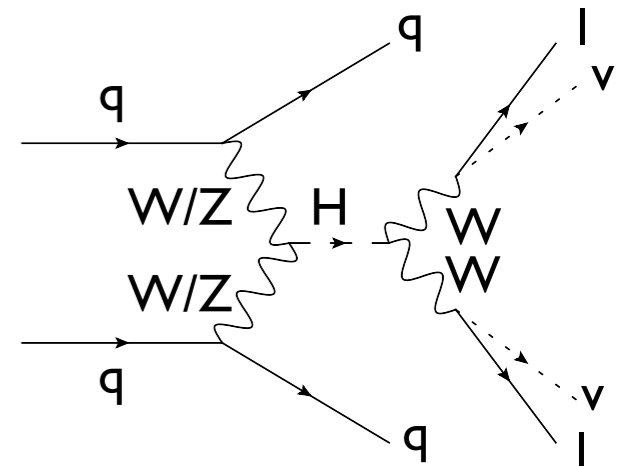
gluon gluon Fusion (ggF)

- $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu l\nu$ 解析

Other higgs productions aren't shown.



Vector Boson Fusion (VBF)



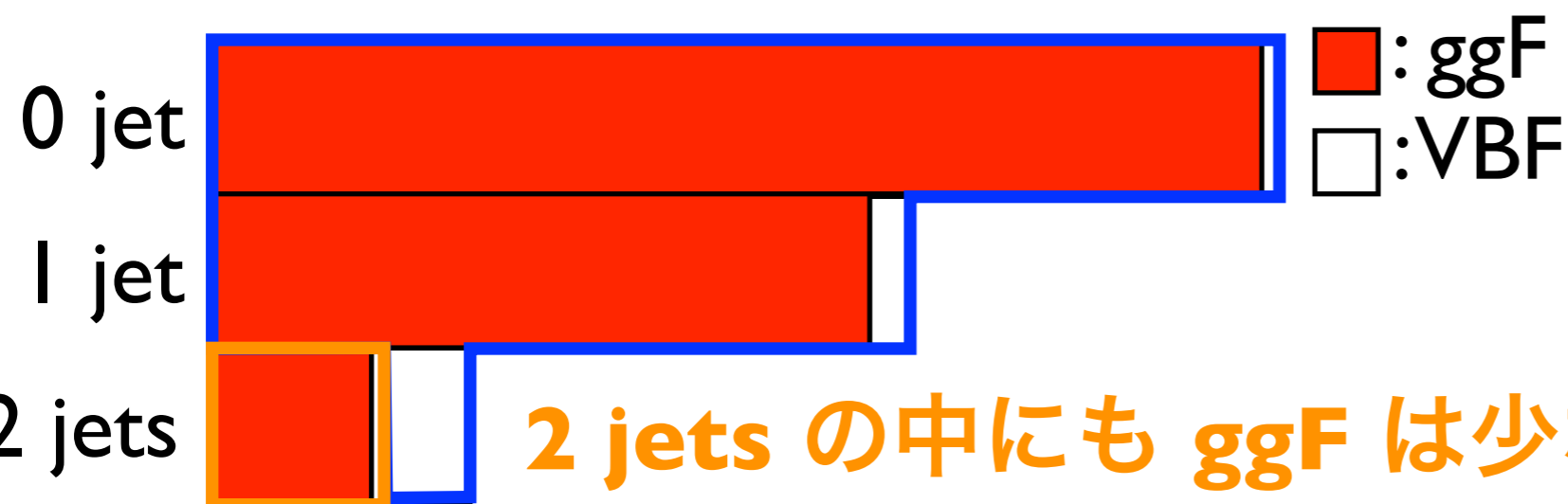
Moriond の解析では、0/1 jet では ggF 解析を、2 jets では VBF 解析を行っていた。

研究の目的

gluon gluon Fusion (ggF)

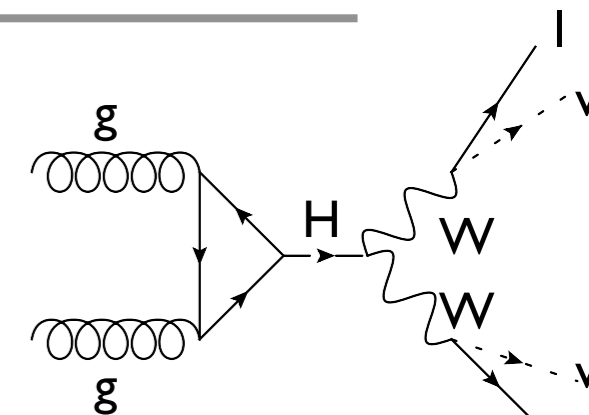
- $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu l\nu$ 解析

Other higgs productions aren't shown.

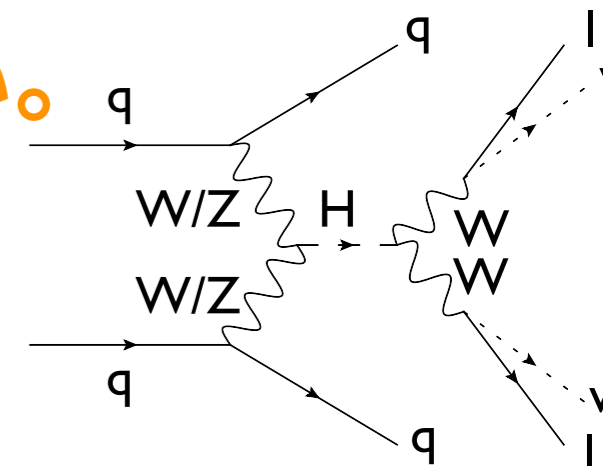


2 jets の中にも ggF は少なくない。

Moriond の解析では、0/1 jet では ggF 解析を、2 jets では VBF 解析を行っていた。



Vector Boson Fusion (VBF)

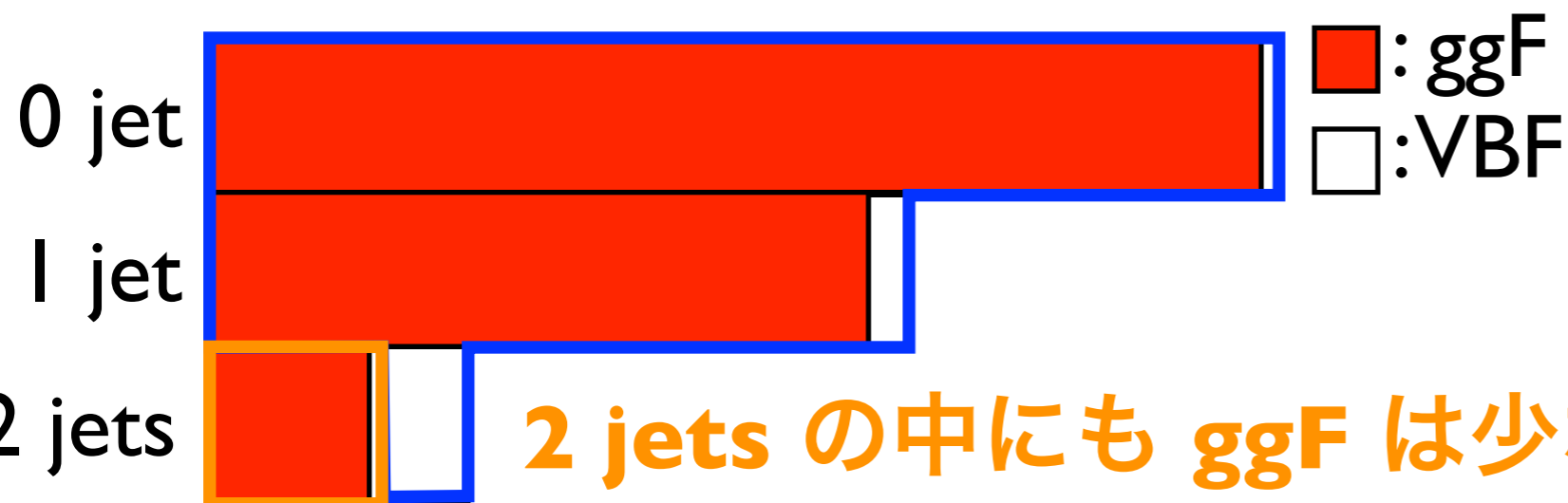


研究の目的

gluon gluon Fusion (ggF)

- $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu l\nu$ 解析

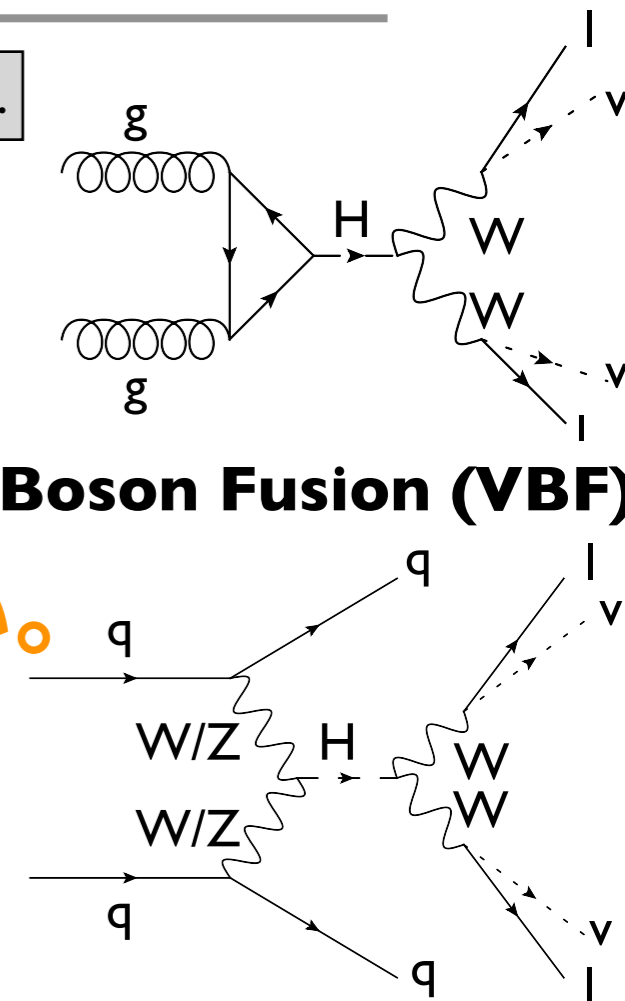
Other higgs productions aren't shown.



2 jets の中でも ggF は少なくない。

Moriond の解析では、0/1 jet では ggF 解析を、2 jets では VBF 解析を行っていた。

Vector Boson Fusion (VBF)



- 今回のトークでは 2 jets カテゴリーに於ける、VBF 解析と ggF 解析について話す。

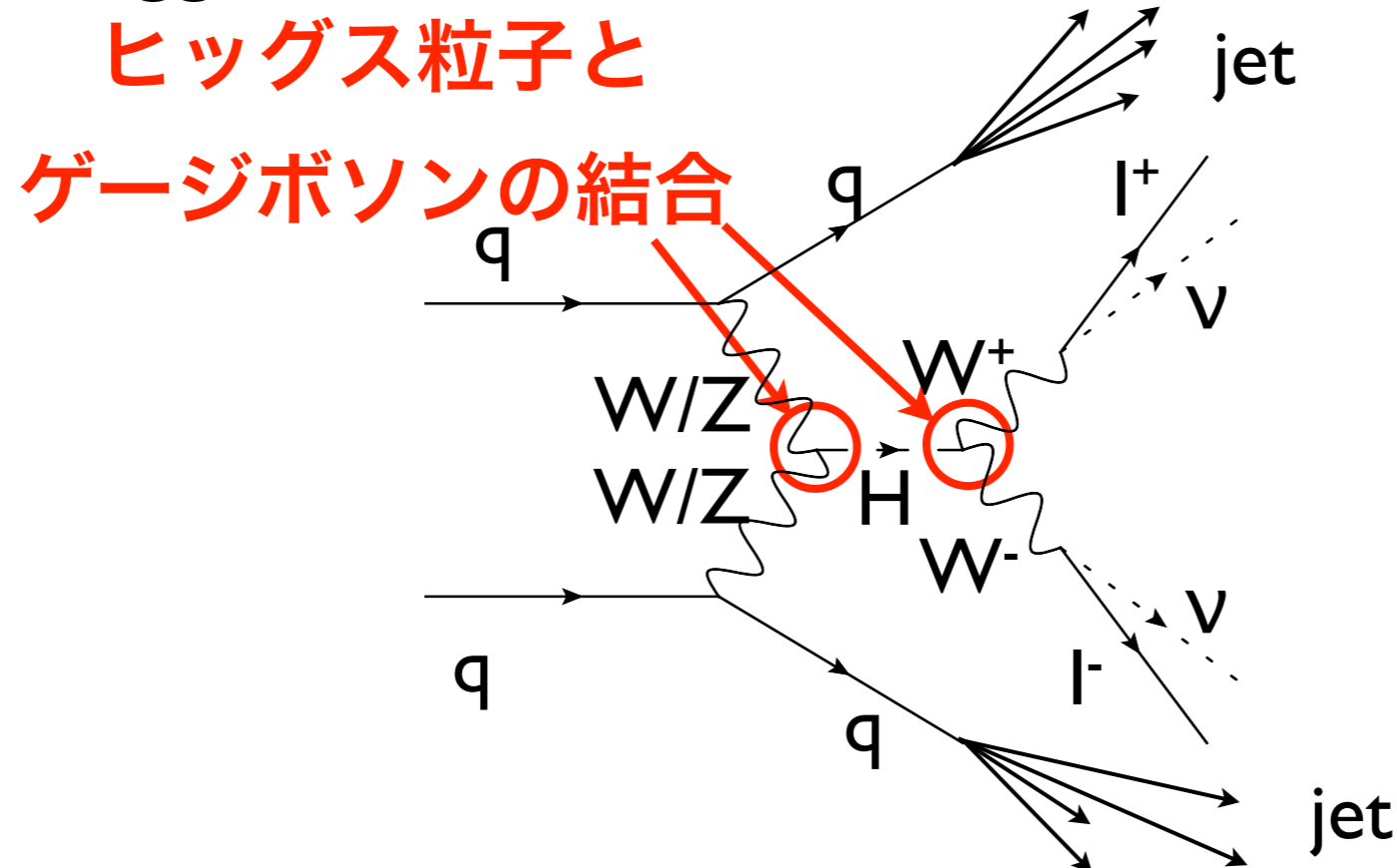
➡ VBF 解析では、VBF $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu l\nu$ の探索を行う

➡ ggF 解析を新しい解析チャンネルとして導入する事

で、 $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu l\nu$ 解析の向上を目指す

Vector boson fusion (VBF) Higgs

- VBF Higgs \rightarrow $WW \rightarrow$ $lvlv$

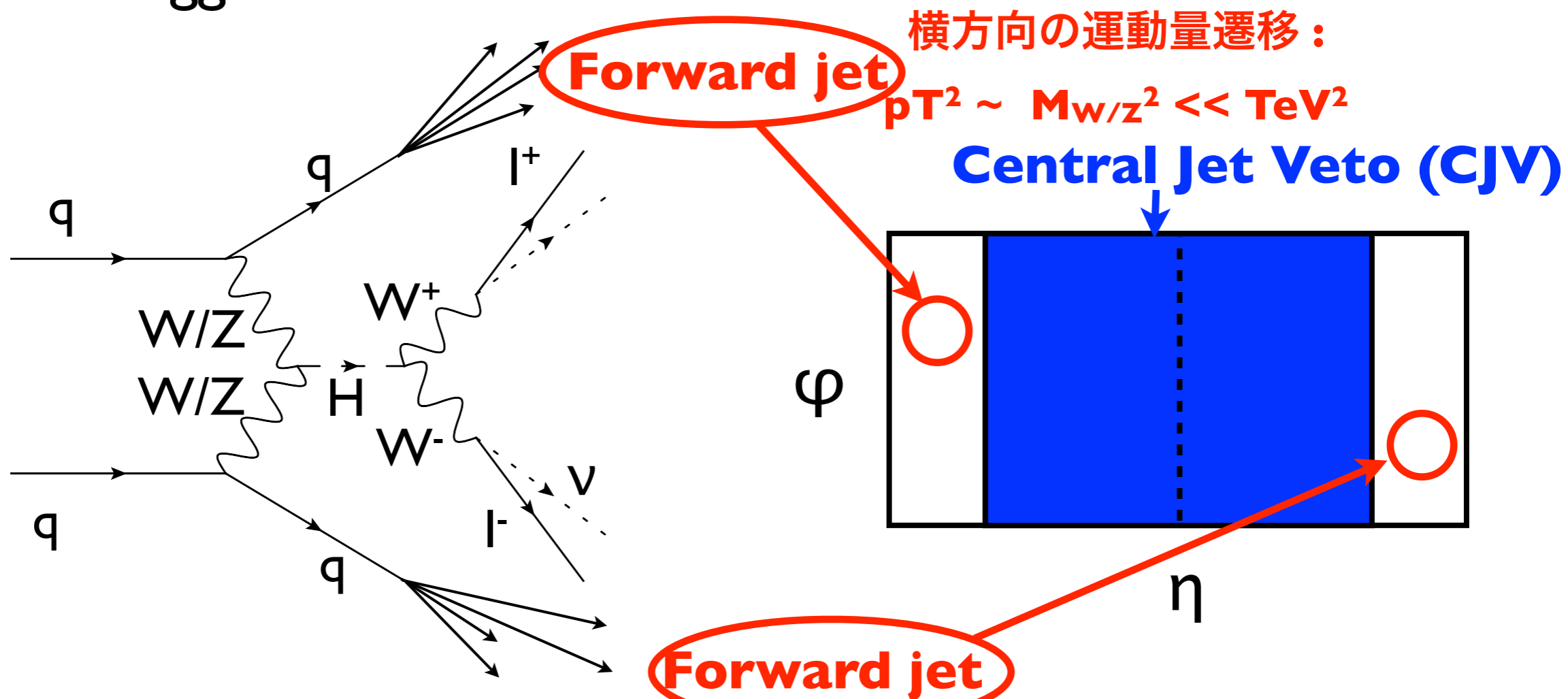


- ヒッグス粒子の生成・崩壊過程に湯川結合が関与しない
- ヒッグス粒子とゲージボソンの結合定数を測定できる

今後のヒッグス粒子の研究で重要なチャンネル

Vector boson fusion (VBF) Higgs

- VBF Higgs \rightarrow $WW \rightarrow |l|l$



- 終状態が特徴的
 - 前方・後方領域に2本のジェット
 - 中央領域にジェットが存在しない

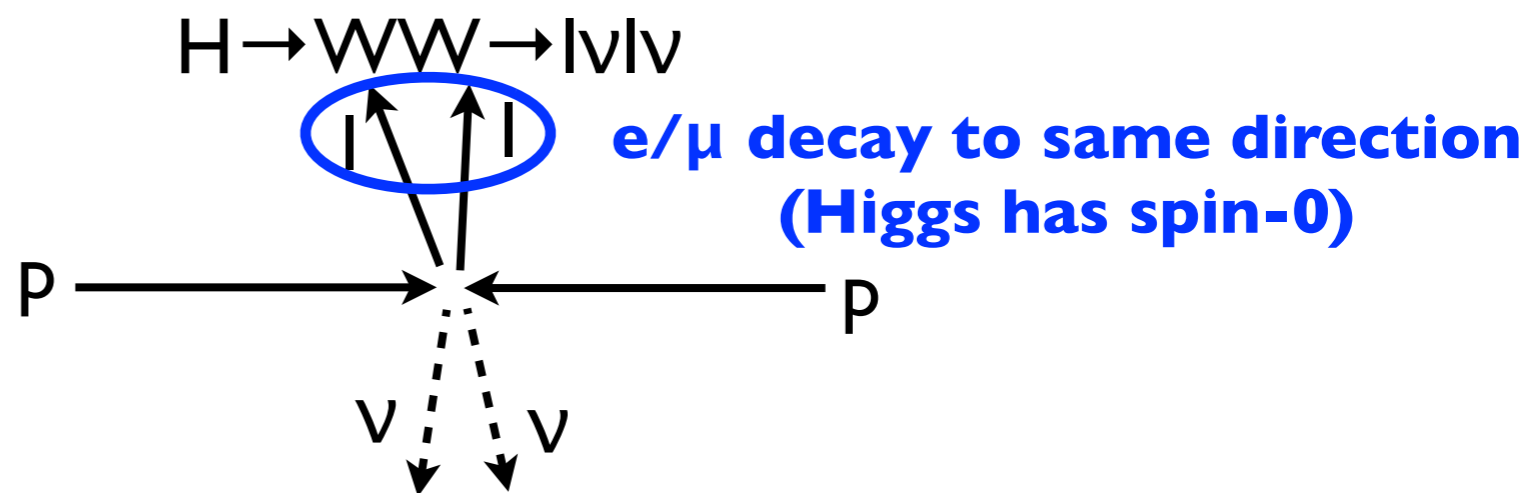
これらを要求する事で **VBF 事象を選択 (VBF 事象選択)**

事象選別

- Number of jets ≥ 2
- 背景事象除去の事象選択
 - Missing ET > 20 GeV \rightarrow **Z+jets 事象などを除去**
 - Number of b-jets = 0 \rightarrow **Top 事象を除去**
 - etc.

- Higgs 事象選択

- $M_{ll} < 50$ GeV
- $\Delta\phi_{ll} < 1.8$



- VBF 事象選択

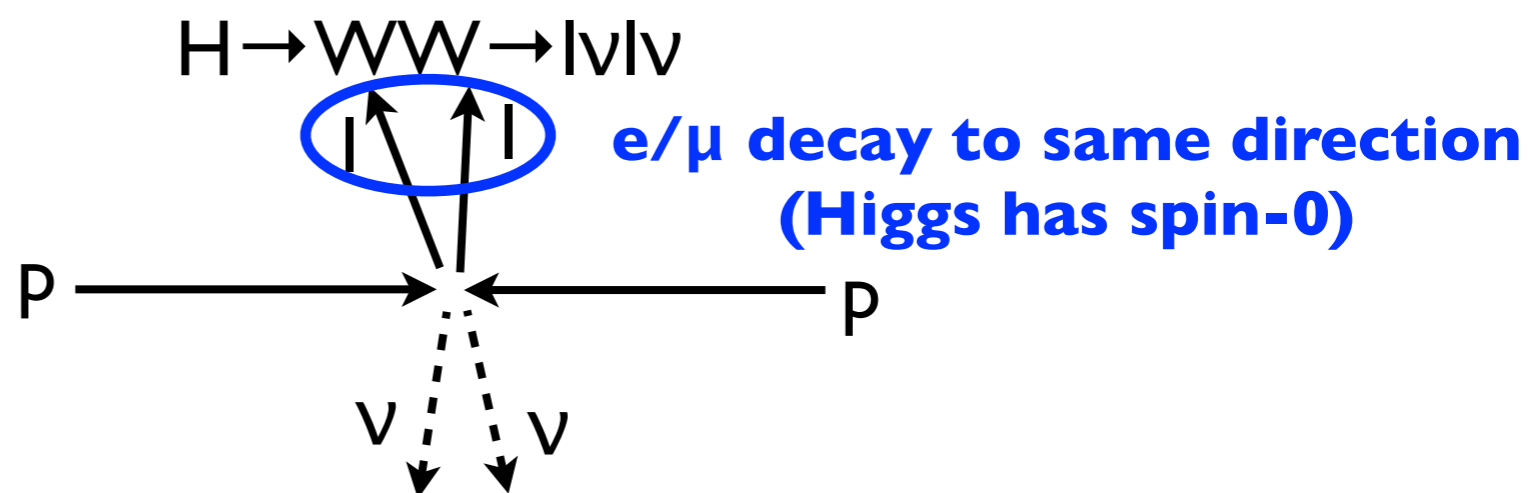
- $M_{jj} > 600$ GeV
- $\Delta Y_{jj} > 3.6$ (Y : Rapidity)
- Central jet veto
- etc.

事象選別

- Number of jets ≥ 2
- 背景事象除去の事象選択
 - Missing ET > 20 GeV \rightarrow **Z+jets** 事象などを除去
 - Number of b-jets = 0 \rightarrow **Top** 事象を除去
 - etc.

- Higgs 事象選択

- $M_{ll} < 50$ GeV
- $\Delta\phi_{ll} < 1.8$



- VBF 事象選択

- $M_{jj} > 600$ GeV
- $\Delta Y_{jj} > 3.6$ (Y : Rapidity)
- Central jet veto
- etc.

全て満たす。

VBF like イベント
(VBF 解析)

全ては満たさない。

ggF like イベント
(ggF 解析)

シグナルと背景事象

- 全ての事象選択後の数 (MC)

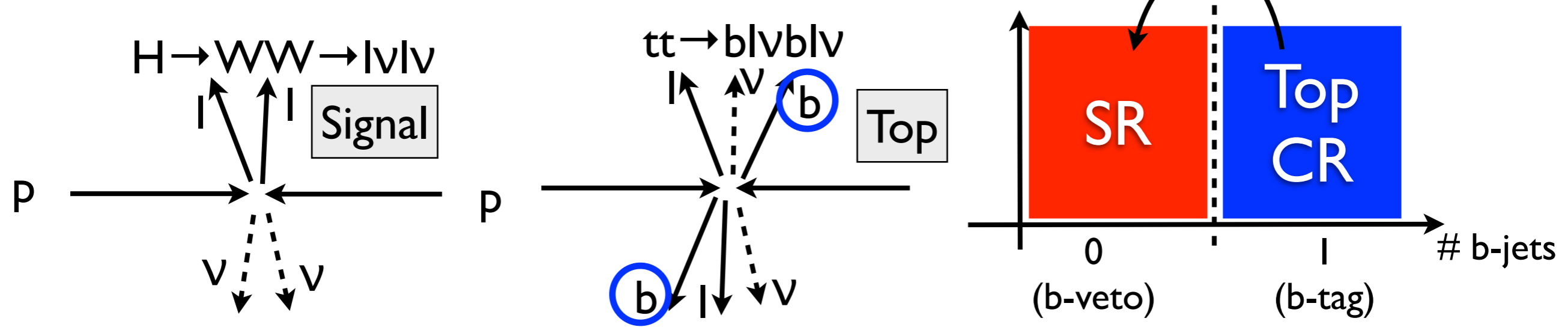
| | Higgs | | WW | WZ/ZZ/ W γ | TTbar | Single top | Z+jets | W+jets |
|----------|-------------------|-------------------|--------------------|----------------------|---------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| | ggF | VBF(+VH) | | | | | | |
| VBF like | 1.0 ± 0.1 | 4.4 ± 0.1 | 1.9 ± 0.2 | 0.2 ± 0.1 | 6.7 ± 0.9 | 1.8 ± 0.6 | 0.5 ± 0.2 | 1.1 ± 0.3 |
| ggF like | 41.0 ± 0.7 | 18.9 ± 0.5 | 119.1 ± 2.6 | 71.4 ± 4.9 | 674.2 ± 10.4 | 71.4 ± 3.7 | 198.3 ± 5.8 | 136.1 ± 3.4 |

- VBF like イベント
 - VBF 事象が優勢的に選択されている (S/B ~ 0.36)
 - Top 事象が主な背景事象
- ggF like イベント
 - ggF 事象は少なくない (S/B ~ 0.032)
 - Top と Z+jets 事象が主な背景事象

背景事象を見積る手法

- 見積りたい背景事象ための領域、control region (CR) を定義

- 例えば Top 事象の場合、b-jet を要求 補正



- CR のデータと MC を用いて、signal region (SR) の MC を補正する事で、SR の背景事象を見積もる

$$N_{Est,Top}^{SR} = \frac{N_{data}^{CR} - N_{MC,others}^{CR}}{N_{MC,Top}^{CR}} \times N_{MC,Top}^{SR}$$

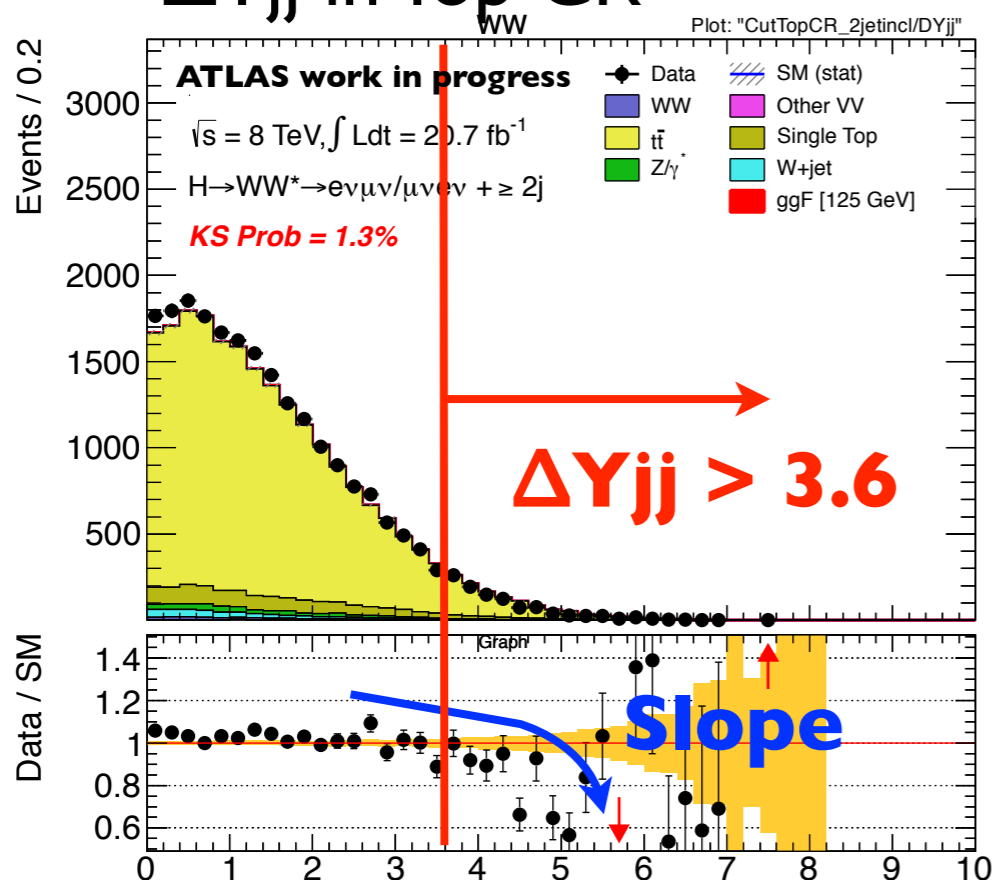
| | |
|----------------------|-----------------------|
| $N_{Est,Top}^{SR}$ | : Estimated Top in SR |
| N_{data}^{CR} | : data in CR |
| $N_{MC,others}^{CR}$ | : MC except Top in CR |
| $N_{MC,Top}^{CR}$ | : MC Top in CR |
| $N_{MC,Top}^{SR}$ | : MC Top in SR |

CR からの scale factor (SF) と今後呼ぶ。

Top の見積り (VBF 解析)

- Top control region (CR)
 - VBF 事象選択の前で number of b-jets = 1 を要求
 - ▶ 内訳 : Top ~ 96 %, others ~ 4%
- Mis-modeling on the forward jets

ΔY_{jj} in Top CR



Scale factor (SF) at each cut stage

| Cut stage | SF |
|------------------------|--------------------|
| Exactly 1 b-tagged jet | 1.02 ± 0.01 |
| $M_{jj} > 600$ GeV | 0.75 ± 0.03 |
| $\Delta Y_{jj} > 3.6$ | 0.72 ± 0.04 |
| Other VBF selections | 0.54 ± 0.08 |

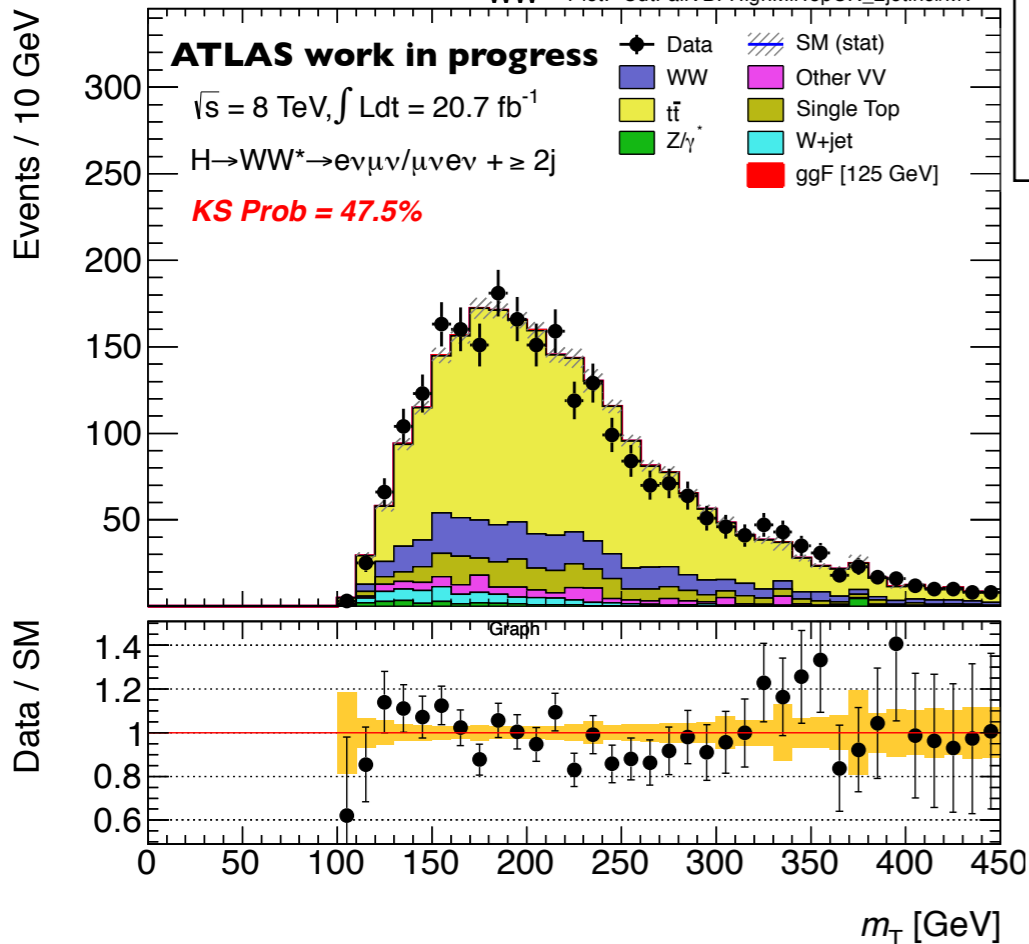
VBF 事象選択後の SF を signal region に適用する。

Top の見積り (ggF 解析)

- Top control region (CR)
 - Higgs 事象選択の前で $M_{Tl} > 90 \text{ GeV}$ を要求
 - ▶ 内訳 : Top ~ 78%, WW ~ 15%, others ~ 7%
 - **Top scale factor : 1.02 ± 0.03**

MT in Top CR where SF is applied

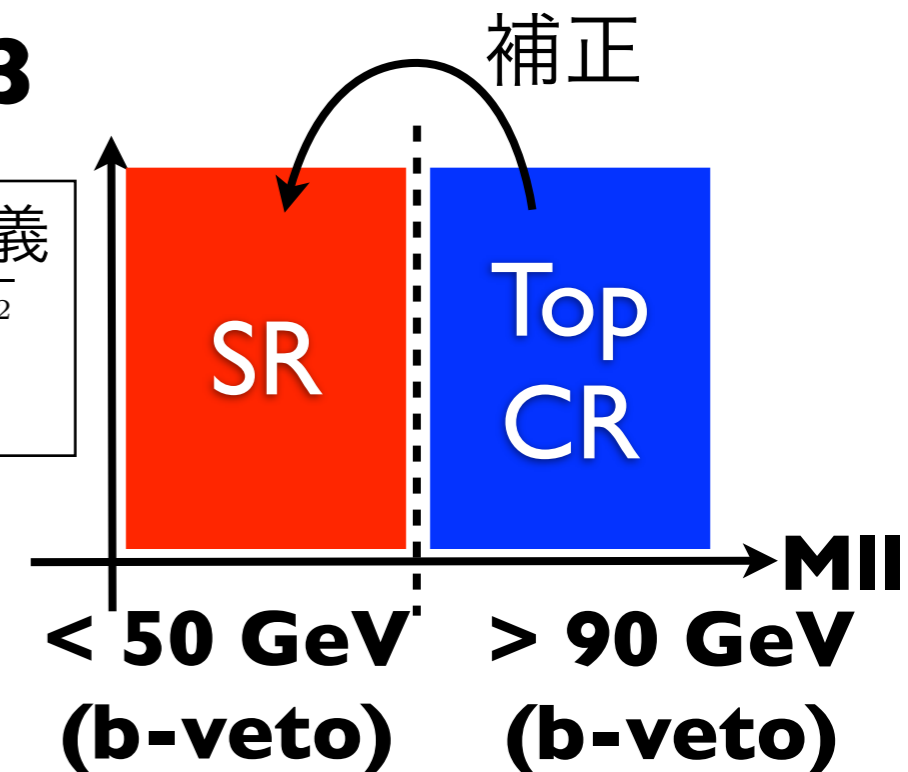
WW Plot: "CutFailVBFHighMllTopCR_2jetincl/MT"



Transverse mass (MT) の定義

$$M_T = \sqrt{(E_T^{ll} + E_T^{miss})^2 - (\mathbf{p}_T^{ll} + \mathbf{E}_T^{miss})^2}$$

$$E_T^{ll} = \sqrt{(p_T^{ll})^2 + m_{ll}^2}$$



データと MC はよく一致している。

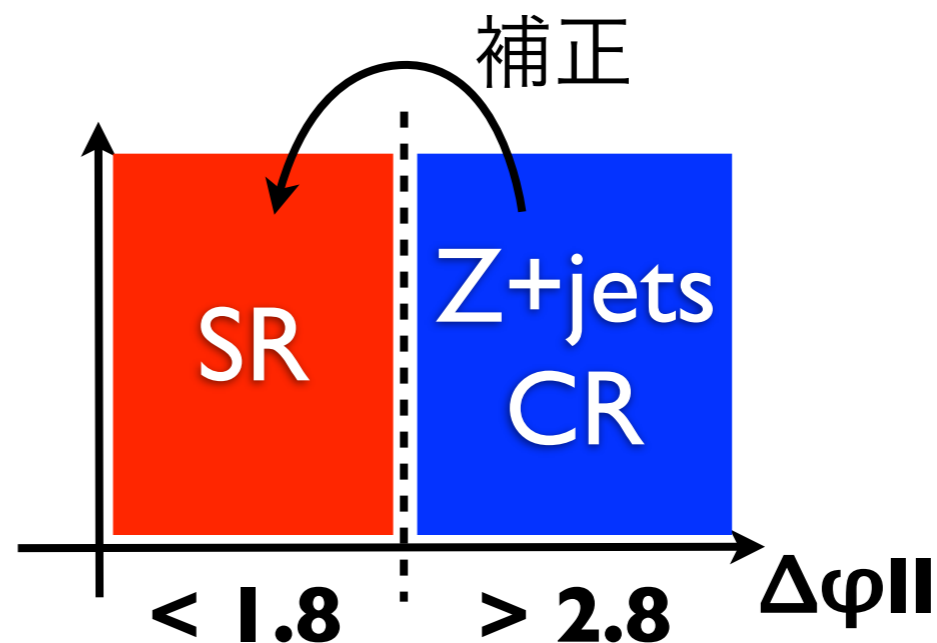
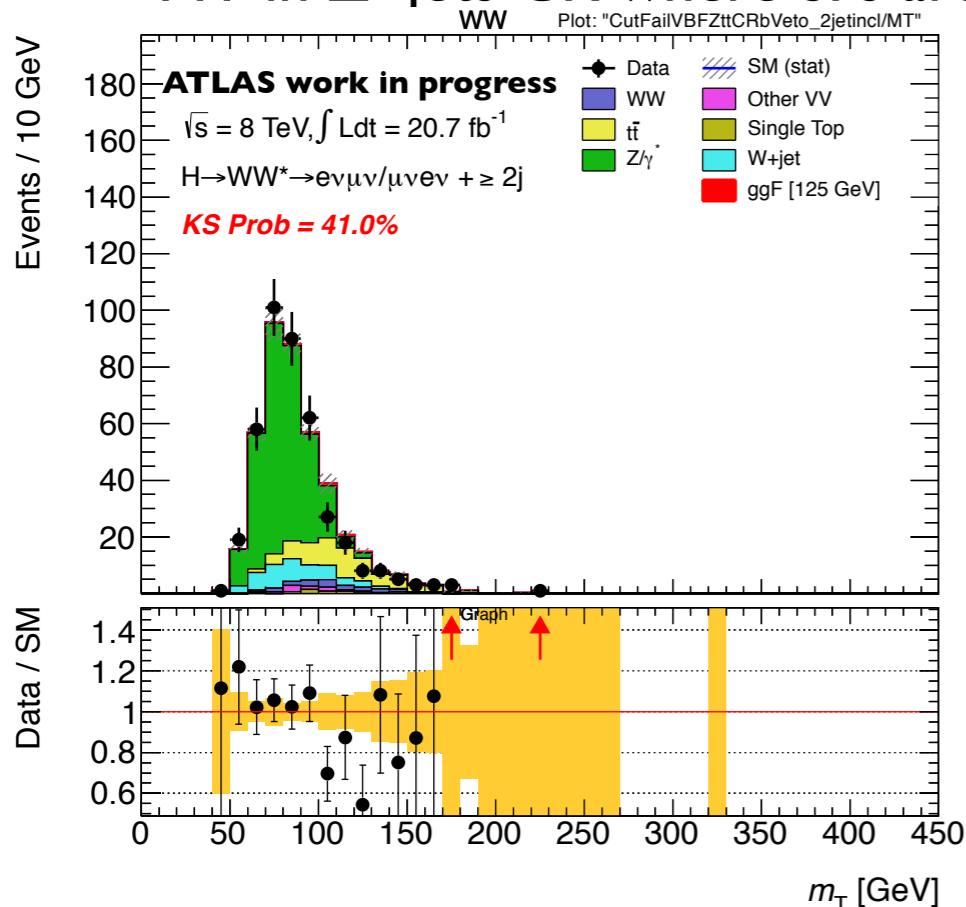
CR に b-jet veto を要求する事で、

b-tagging に関する系統誤差を ~0 %

Z+jets の見積り (ggF 解析)

- Z+jets control region (CR)
 - Higgs 事象選択の前で、 $M_{II} < 50 \text{ GeV}$ と $\Delta\phi_{II} > 2.8$ を要求
 - ▶ 内訳：Z+jets $\sim 72\%$, Top $\sim 17\%$, others $\sim 11\%$
 - **Z+jets scale factor : 0.86 ± 0.07**

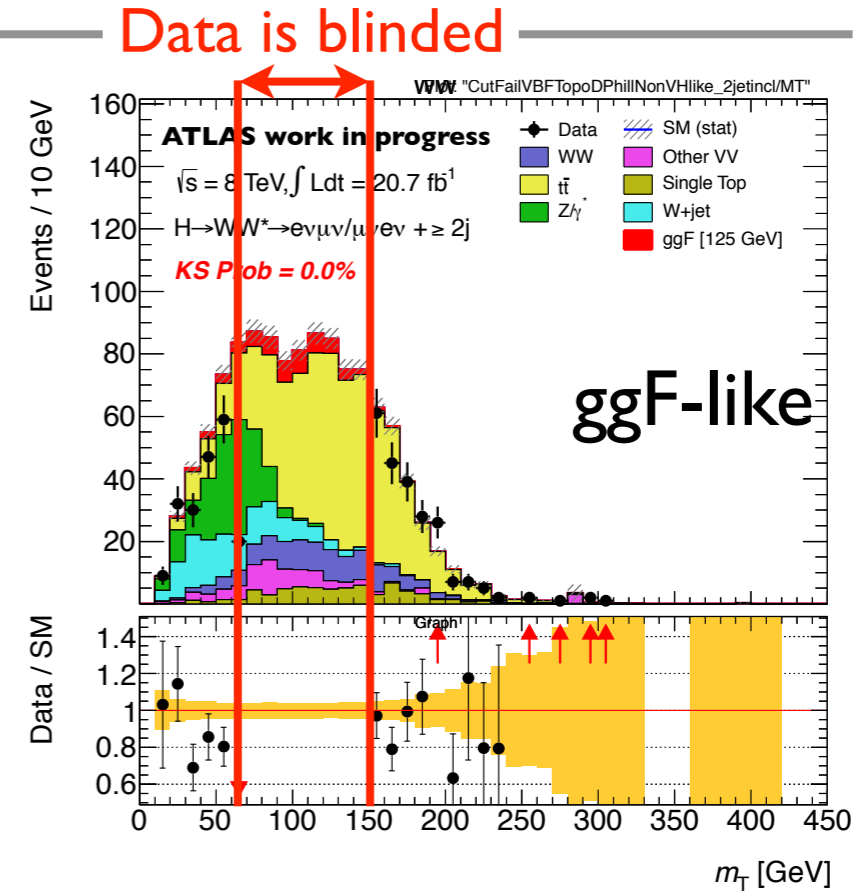
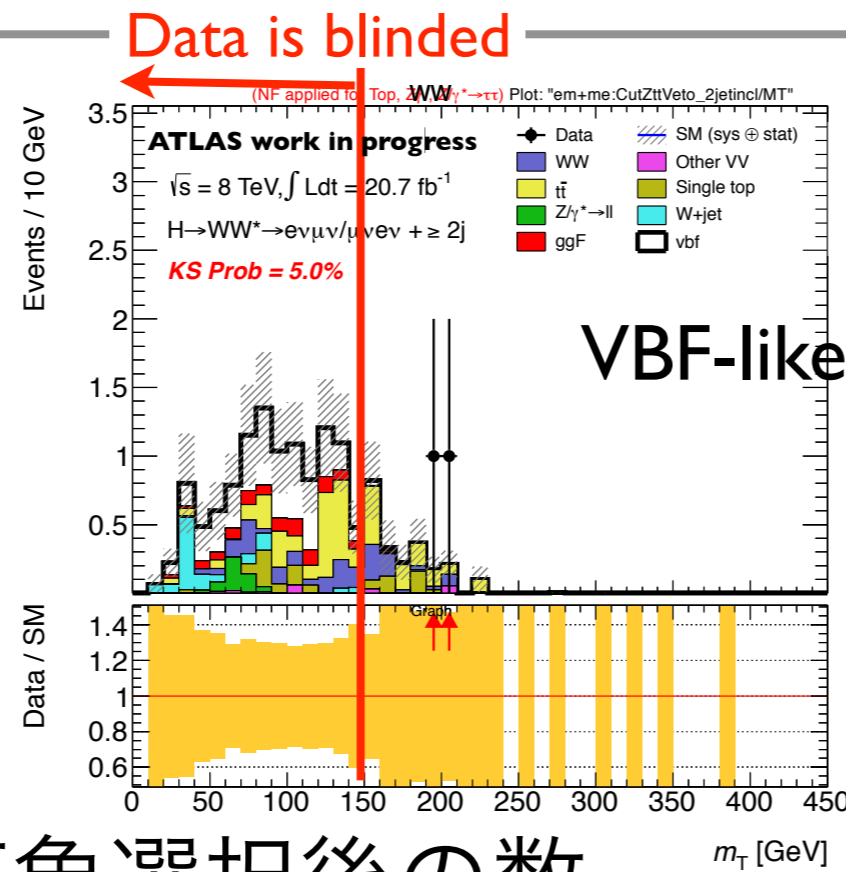
MT in Z+jets CR where SFs are applied



データと MC はよく一致している。

Signal region でのデータと MC の比較

- MT in SR



- 全ての事象選択後の数

- データが blind されていない領域のみでの比較

| | Higgs | WW | WZ/ ZZ/WY | Top | Z+jets | W+jets | BG | Data | Data/ BG |
|----------|---------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|--------------|
| VBF like | 0.1 ± 0.0 | 0.6 ± 0.1 | 0.1 ± 0.1 | 1.5 ± 0.4 | 0.0 ± 0.0 | 0.0 ± 0.0 | 2.1 ± 0.4 | 2.0 ± 1.4 | 0.9 ± 0.7 |
| ggF like | 10.4 ± 0.4 | 38.5 ± 1.5 | 19.4 ± 3.3 | 276.5 ± 10.1 | 93.7 ± 8.4 | 68.7 ± 2.5 | 496.8 ± 13.9 | 466.0 ± 21.6 | 0.9 ± 0.1 |

データと MC はよく一致している。

結果（期待値）

- VBF like イベントでの VBF $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu l\nu$ 探索
 - 期待される発見感度： $\sim 1.3 \sigma$
 - 主な系統誤差に、Top の mis-modeling や b-tagging efficiency の不定性がある。
- ggF like イベントを $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu l\nu$ 解析に導入
 - 期待される発見感度と信号強度 (μ) の測定精度

| | w/o ggF in 2 jets category | w/ ggF in 2 jets category |
|-----------------------------------|--|------------------------------|
| Expected significance | 2.95 $\xrightarrow{\sim 5\% \text{ Up}}$ | 3.11 |
| Total uncertainty on $\mu = 1$ | +0.40 $\xrightarrow{\sim 7\% \text{ Down}}$ -0.35 | +0.37 -0.33 |

$$\mu = \frac{\text{Observed number}}{\text{Expected SM Higgs}}$$

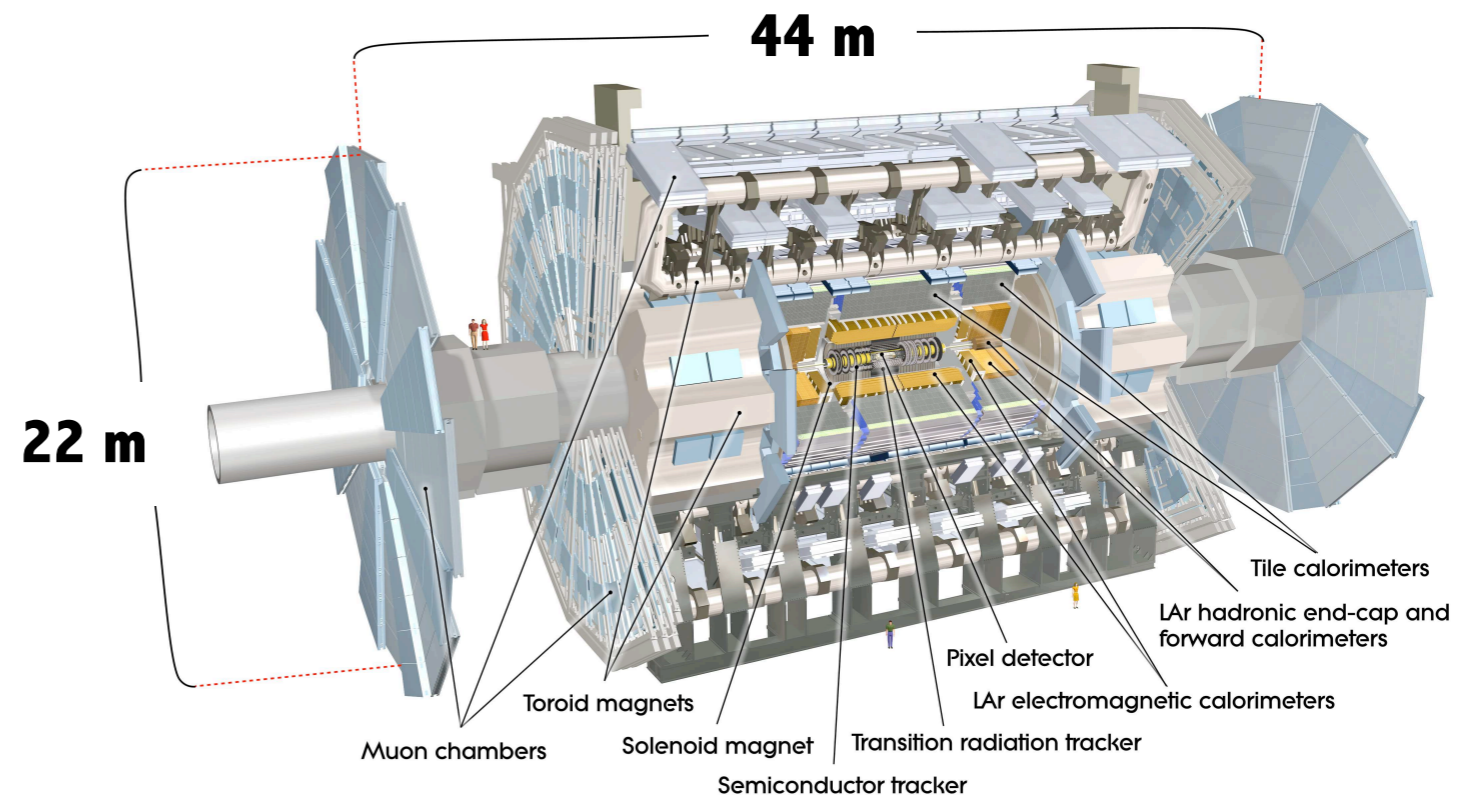
まとめと結論

- H (\rightarrow WW) + 2 jets イベントを VBF 事象選択で分類
 - VBF like イベントと ggF like イベント
- VBF like イベントでは、VBF H \rightarrow WW \rightarrow l ν l ν の探索
 - 期待される発見感度は $\sim 1.3 \sigma$
 - 更に感度を上げるために、事象選択の最適化や Top 事象 (主な系統誤差) の理解が必要
- 2 jets カテゴリーの ggF like イベントを新しい解析チャンネルとして H \rightarrow WW \rightarrow l ν l ν 解析に導入
 - H \rightarrow WW \rightarrow l ν l ν の μ の測定精度や発見感度を向上できる

backup

LHC / ATLAS 検出器

- LHC
 - CERN にある陽子・陽子衝突型円形加速器
- ATLAS 検出器
 - LHC の衝突点の 1 つに置かれた汎用粒子検出器
 - ▶ ヒッグス粒子の研究や標準模型を超える物理現象の探索



LHC / ATLAS の状況

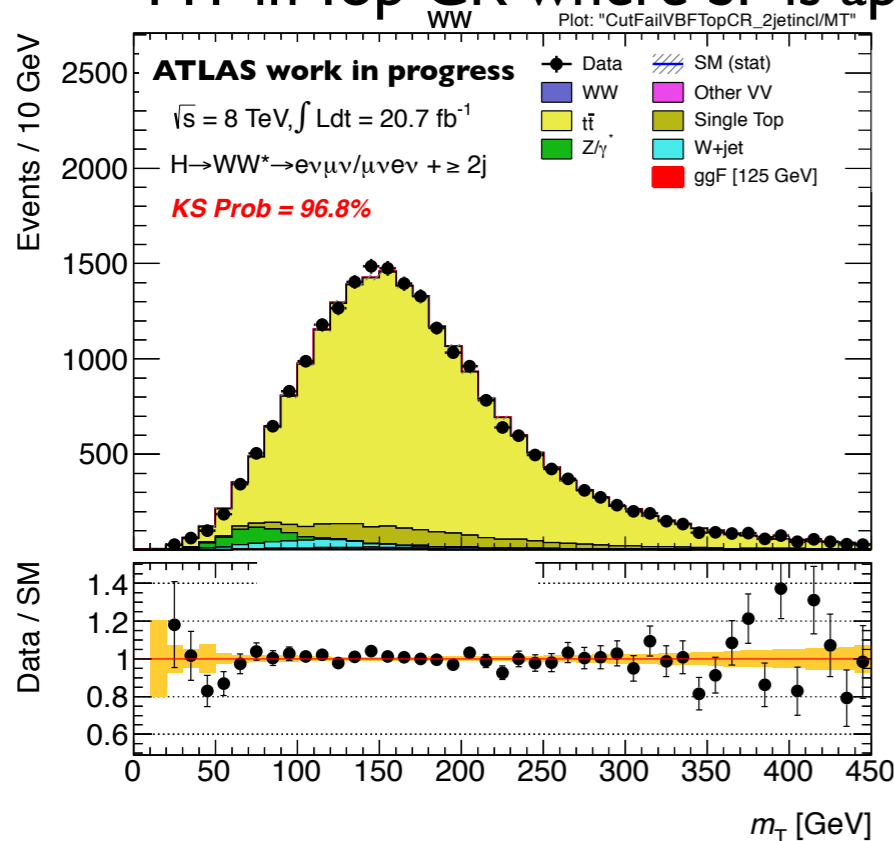
- LHC / ATLAS の現状
 - 2011 年に 7 TeV で $\sim 5 \text{ fb}^{-1}$ 、2012 年に 8 TeV で $\sim 21 \text{ fb}^{-1}$ のデータを取得
 - 2013、2014 年は長期シャットダウン
- LHC / ATLAS の今後
 - 2015 年から 13 (14) TeV のランが始まり、2017 年までに $50 \sim 100 \text{ fb}^{-1}$ のデータを取得予定

Top の見積り (ggF 解析) -[1]

- Top CR
 - VBF 事象選択の前で number of b-jets = 1 を要求

- Top SF = 1.02 ± 0.01

MT in Top CR where SF is applied



Transverse mass (MT) の定義

$$M_T = \sqrt{(E_T^{ll} + E_T^{miss})^2 - (\mathbf{p}_T^{ll} + \mathbf{E}_T^{miss})^2}$$

$$E_T^{ll} = \sqrt{(p_T^{ll})^2 + m_{ll}^2}$$

データと MC はよく一致している。
 しかし、**b-tagging efficiency** に関する系統誤差が **Top** に **~15%** つく。

- 事象選択後の数は Higgs ~ 60、Top ~ 746
 - 15% の誤差は減らす必要がある。