



# ヒッグス粒子の発見能力@ATLAS

**Junichi TANAKA**  
**ICEPP, Univ. of TOKYO**



28 March, 2008

研究会「LHCが切り拓く新しい素粒子物理学」@東大



# Outline

- SM Higgs discovery from CSC note
  - $H \rightarrow \gamma\gamma$ ,  $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$ , VBF  $H \rightarrow \tau\tau$  and  $H \rightarrow WW$
- その他のチャンネル@CSC note
  - > 浅井さんがメインモードをより詳しく。
- Summary





# Higgs WG group for CSC

- 10 sub-groups

田中  
津野

Higgs Introduction Note (1h00) (draft-0)

H--> gamma gamma (1h00) (Paper)

H-->ZZ\*-->4-leptons (1h00) (Feb11\_draft; Paper)

VBF H-->tau-tau (1h00) (HG3\_VBFHTauTau\_Draft2.3\_March14)

H-->WW (1h00) (Feb. 13 Draft; Paper)

ttH , H-->bb (1h00) (document)

- ttH/WH , H-->WW (1h00) (Paper)
- MSSM H/A-->tau-tau (1h00) (Paper)
- MSSM H/A/h-->mu+mu- (1h00) (Draft2802; PUB-Draft1403; PUB-Draft1703)

ZH, VBF H , H invisible (1h00) (Paper; document)

MSSM Charged Higgs (1h00) (Draft 1; Draft 2; Draft 3 (INT); Draft 3 (PUB))

SM Higgs Combination (1h00)

- [HG-1](#): H --> 2 photons
- [HG-2](#): H --> ZZ --> 4 Leptons
- [HG-3](#): VBF, H --> tau tau
- [HG-4](#): H --> WW
- [HG-5](#): ttH, H --> bb
- [HG-6](#): ttH, H --> WW
- [HG-7](#): H/A --> tau tau
- [HG-8](#): bbh/H/A , h/H/A --> mu mu
- [HG-9](#): H --> invisible
- [HG-10](#): Charged Higgs boson





# 軽いSM Higgs

- CSC noteから利用したチャンネル
  - $H \rightarrow \gamma\gamma$  (“inclusive” + “H+1” + “VBF analysis”)
    - 最終結果が出ていないので“4” for  $m_H = 120, 130$  and  $140 \text{ GeV}$ とした。
      - 担当者からの数字は。。。
  - $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4e, 4\mu, 2e2\mu$ 
    - 後述
  - VBF  $H \rightarrow \tau\tau \rightarrow ll$  and  $lh$ 
    - 津野さんのトーク
    - ここで利用した結果は公にされている最新の結果
  - $H \rightarrow WW \rightarrow e\mu + 0/2 \text{ jets}$ 
    - CSCでは $e\mu$ のみ。
    - 後述
- 除外したチャンネル
  - $ttH, H \rightarrow bb$
  - $ttH/WH, H \rightarrow WW$



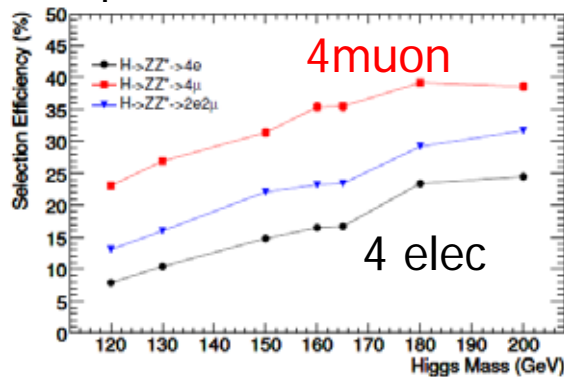
# H -> ZZ -> 4l

- H->ZZ\*->4l
- ZZ
- Zbb
- tt



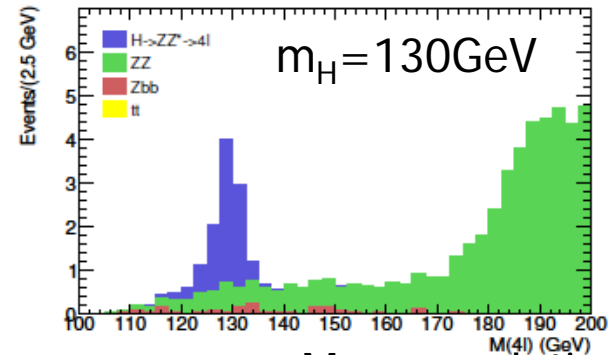
10fb<sup>-1</sup>

- Analysis
  - 4 electrons / 4 muons
    - Muon : combined+low Pt
    - Elec : 2 loose high Pt + 2 medium low Pt
  - 2 electrons + 2 muons
- Single/double e/mu trigger
- Electron/muon identification
  - electron efficiency is worse than our expectation before.

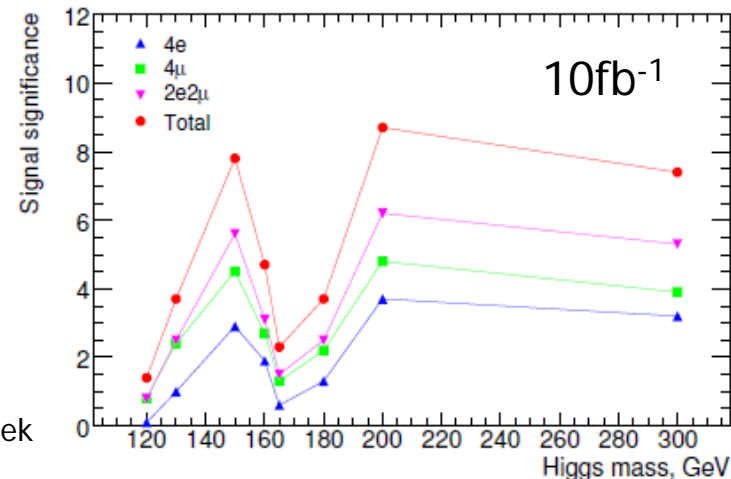
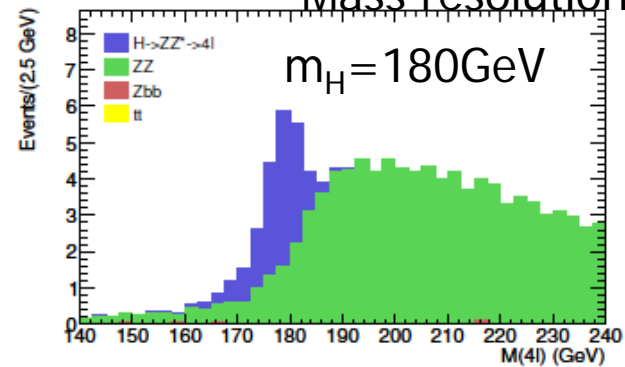


- Few % is improved in v13. (elec)

- BG of ZZ and Zbb
  - lepton isolation, impact parameter are used to reduce Zbb background.
  - ZZ is irreducible background.



Mass resolution ~ 2-3%

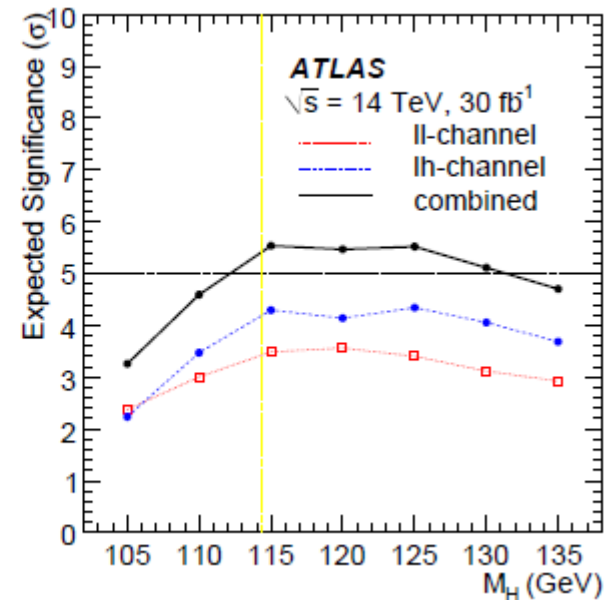




# VBF $H \rightarrow \tau\tau \rightarrow ll/h$

- 詳細は津野さんのトーク。
- $30\text{fb}^{-1}$ の結果。

$M_H$	$ll$ -channel	$lh$ -channel	combined
105	2.37	2.23	3.25
110	3.00	3.47	4.59
115	3.48	4.29	5.53
120	3.56	4.14	5.46
125	3.40	4.34	5.51
130	3.11	4.05	5.11
135	2.92	3.68	4.70



# H- $\rightarrow$ WW- $\rightarrow$ l $\nu$ l $\nu$ (1/2)

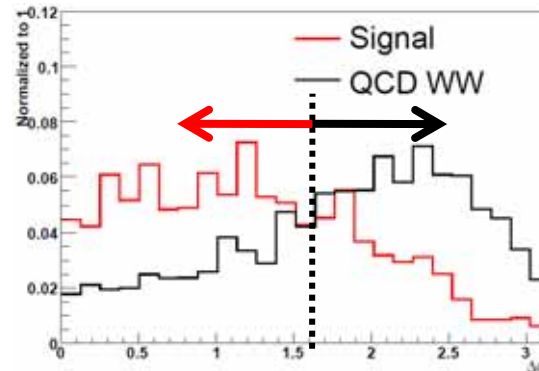
$m_H=170\text{GeV}$



## Analysis

- 2 leptons (e or mu)
  - Only "elec+muon" is shown.
- Missing Et
- 2 different analysis
  - [1] No jet (GF dominant)
  - [2] 2 jets (VBF dominant)
- Single/double e/mu trigger

Spin correlation  
 $\rightarrow \Delta\phi_{ll}$  is small in signal.



BG level is obtained by fitting shapes with both signal and control regions simultaneously.

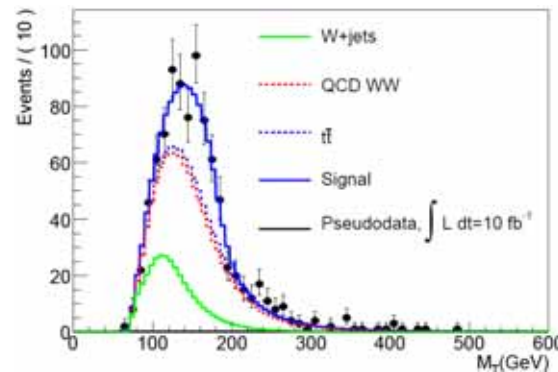
## [1] Background for "no jet" analysis

- WW, ttbar, W+njets, Z+njets
- ttbar is killed by
  - Jet-veto
    - Reject events that contain any hard jets with  $P_t > 20\text{GeV}$ .
  - b-veto
- W+njets
  - Fake lepton from jets
    - It relies on performance of lepton ID.

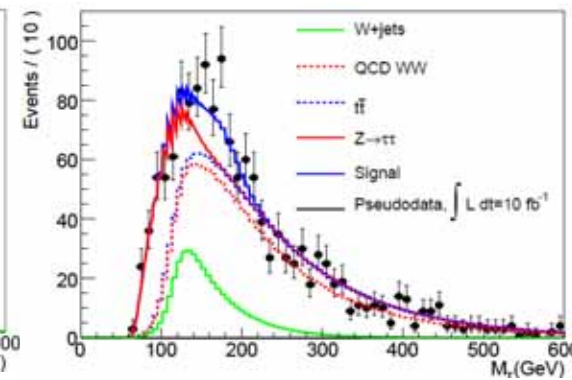
~1年間フィットをやり続けたグループ

## [1] "no jet" analysis

Transverse mass  $M_T$



Signal region



Control region

- WW is irreducible BG. (dominant)





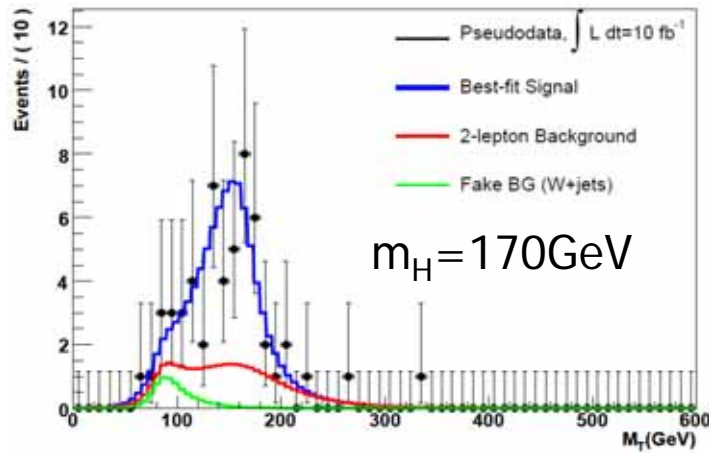
# H $\rightarrow$ WW $\rightarrow$ $l\nu l\nu$ (2/2)

## [2] Background for "2 jets" analysis

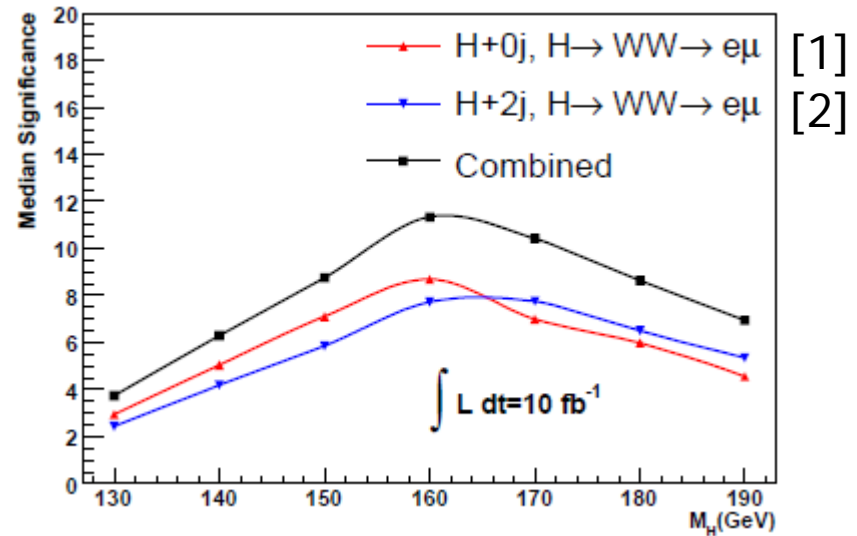
- $t\bar{t}$ , WW, W+njets, Z+njets
- $t\bar{t}$  is killed by
  - Forward jet requirement
  - b-veto
- WW is rejected by forward jet requirement.

## [2] "2 jets" analysis

Transverse mass  $M_T$



## Significance



Two analysis has similar performance. Combined result (no jet+2 jets analysis) is also shown. This channel is promising.



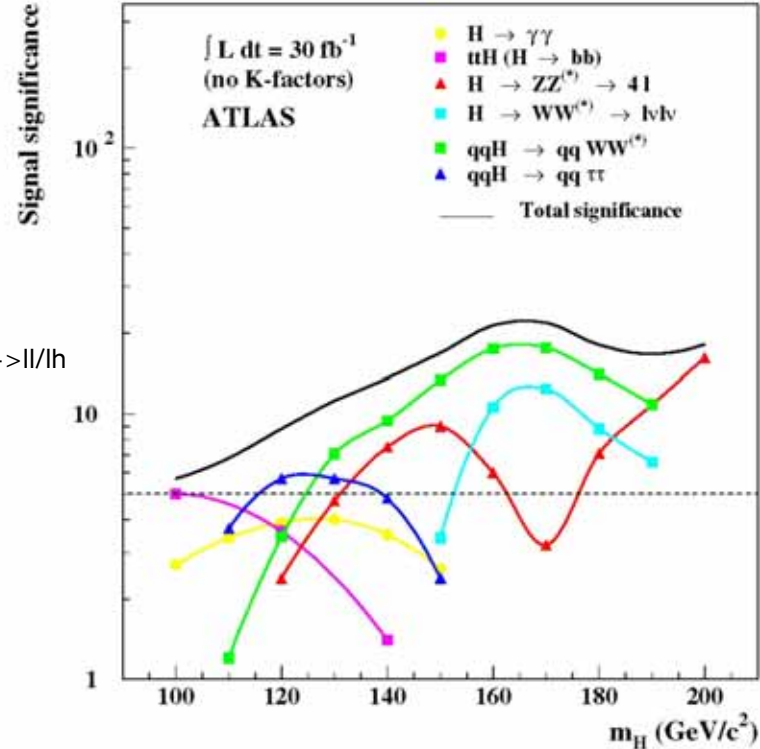
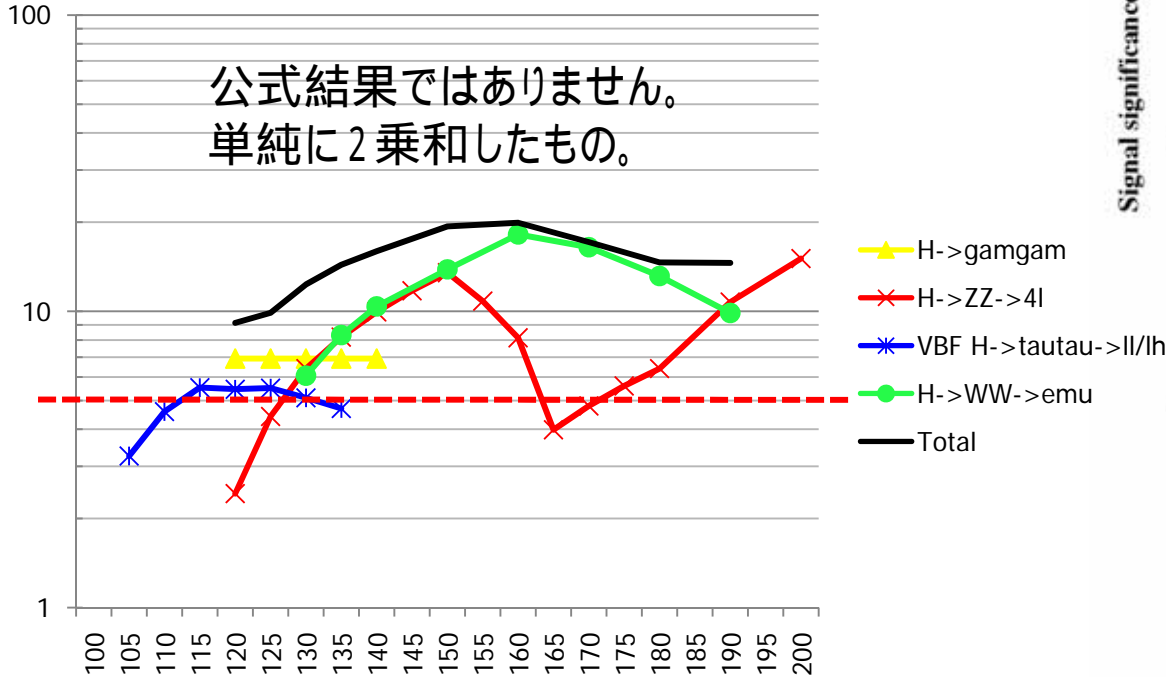




# Combined Result 1/3

ATLAS, 30fb<sup>-1</sup>

公式結果ではありません。  
単純に2乗和したもの。



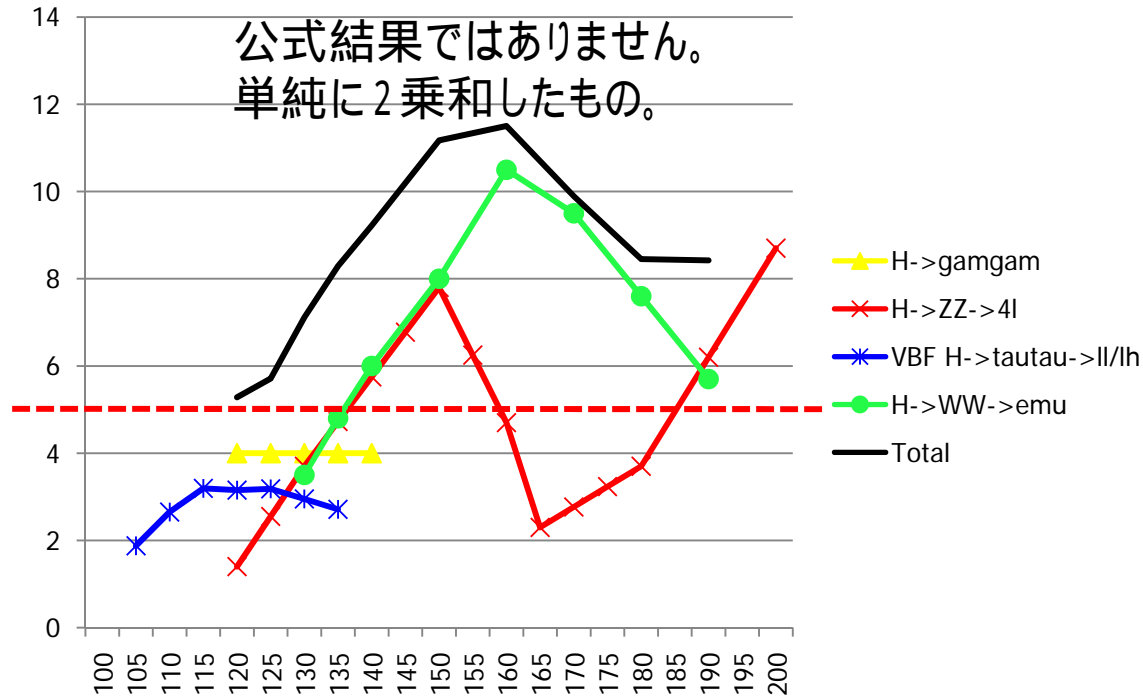
- CSC (vs SciNote)では
  - K-factorが入った。
  - $\gamma\gamma$ はVBF/H+1が入った。
  - H->WW
    - CSC :  $e\mu$ のみ
    - 右図では緑(lnqq込)と水色に分かれている。





# Combined Result 2/3

ATLAS,  $10\text{fb}^{-1}$



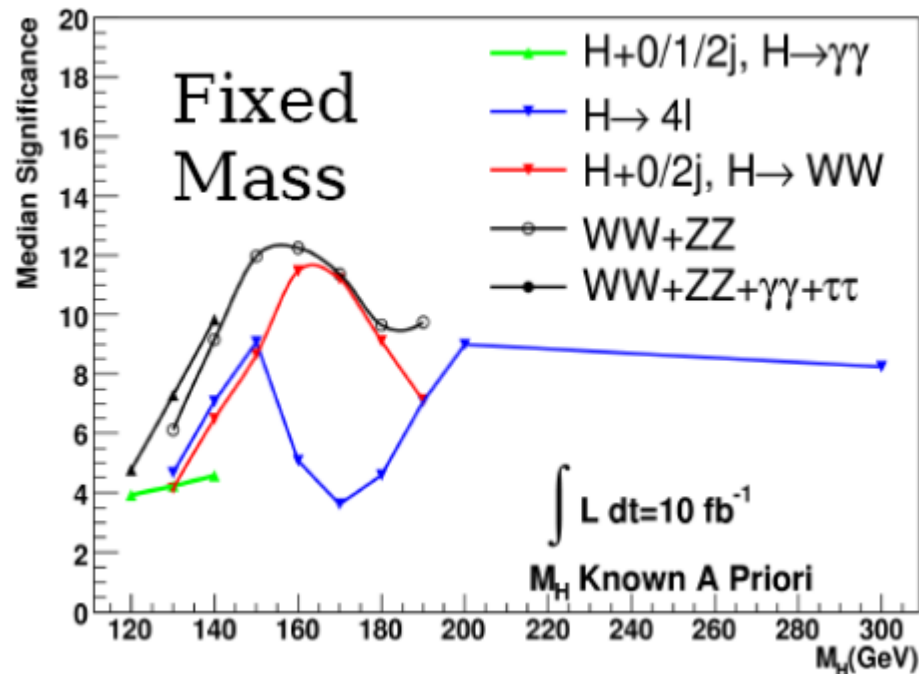
- H->WW->eμ 単独でかなりの領域をカバー (135GeV以上)!!! (BGの理解!!!)
- H->ZZ->4l も健闘している。(135-160GeV, 190以上)
- $m_H = 120\text{GeV}$  付近では  $\gamma\gamma, \tau\tau$ !!!





# Combined Result 3/3

- ATLAS HiggsWGではProfile Likelihood methodで結果をまとめる予定。
- ウィスコンシン大による結果(これも公式結果ではありません)
  - その方法のデモンストレーション。





# その他のチャンネル





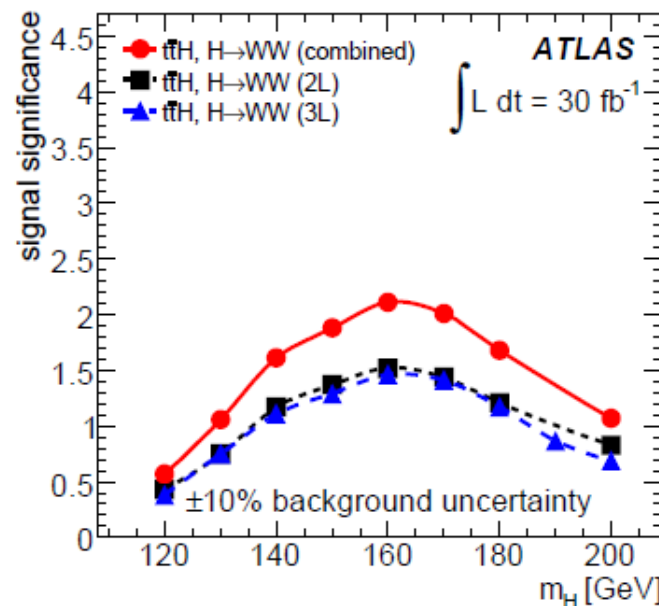
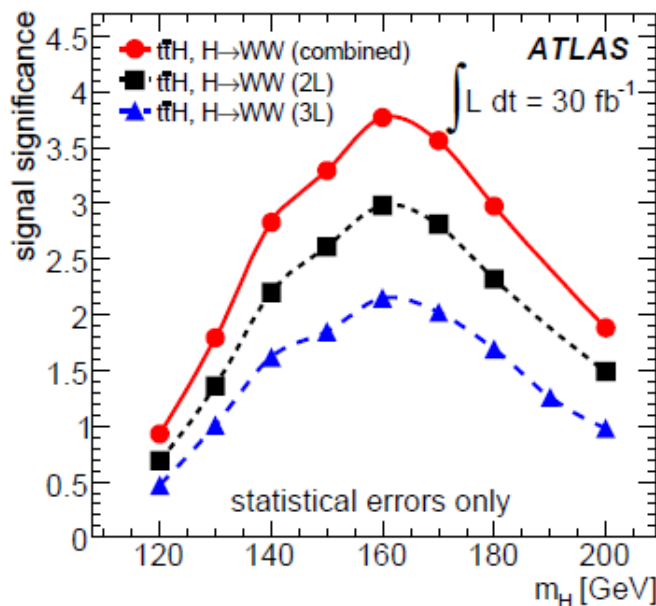
# ttH/WH, H- > WW

- Final state = 2leptons or 3leptons
- “Counting”法なので、BG estimationが非常に重要。
  - SとBの違いを最終的に示す魅力的な分布がいまのところない。。。@CSC note
- BG
  - tt
  - ttW/ttZおよびWZ
 が落とせない。(S/B<1)

<i>ttH, H → WW</i>						
	Stat. error only			±10% systematic unc.		
	2L	3L	combined	2L	3L	combined
<i>ttH</i> ( $M_H = 120$ GeV)	0.7	0.5	0.9	0.4	0.4	0.6
<i>t̄t̄H</i> ( $M_H = 160$ GeV)	3.0	2.1	3.8	1.5	1.5	2.1
<i>t̄t̄H</i> ( $M_H = 170$ GeV)	2.8	2.0	3.6	1.4	1.4	2.0
<i>t̄t̄H</i> ( $M_H = 200$ GeV)	1.5	1.0	1.9	0.8	0.7	1.1

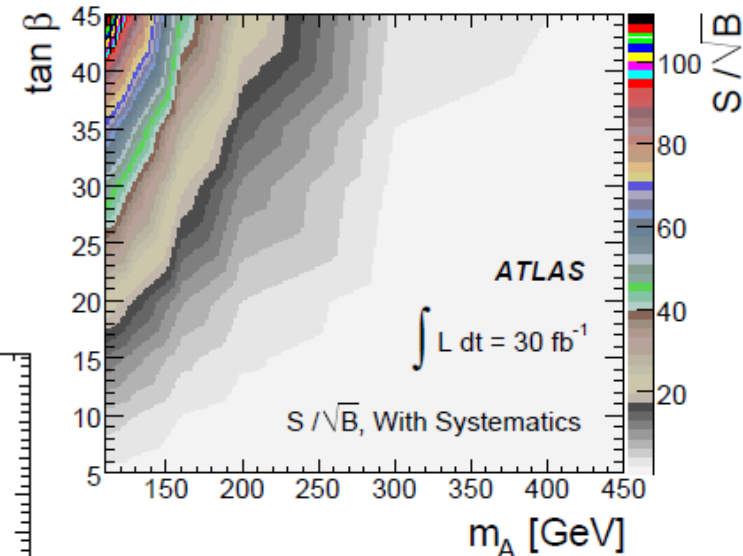
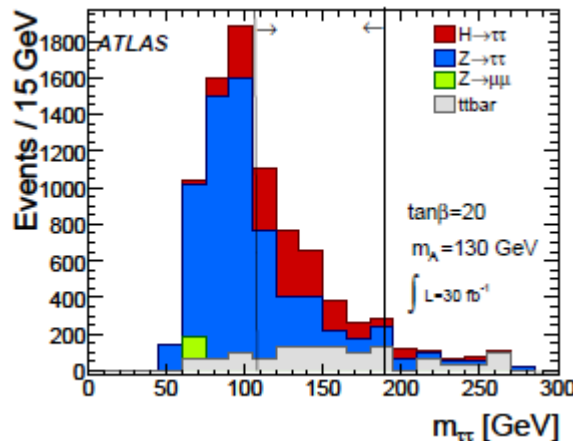
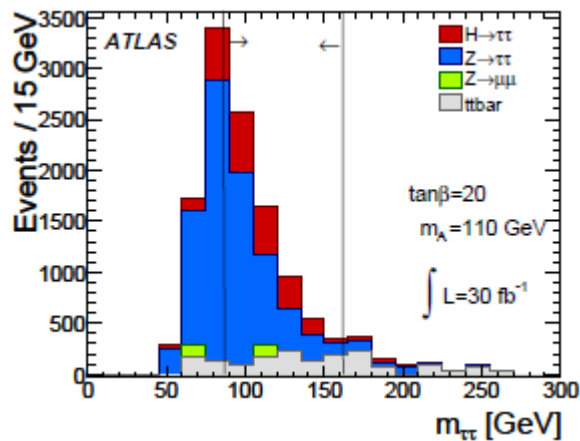
<i>WH, H → WW</i>						
	Stat. error only			±20% systematic unc.		
	2L	3L	combined	2L	3L	combined
<i>WH</i> ( $M_H = 170$ GeV)	2.8	2.3	3.5	1.6	1.9	2.4





# H/A- $\rightarrow\tau\tau$

- VBF H- $\rightarrow\tau\tau$ と同様にII, lh, hhモードを研究している。
- IIモードのみ結果あり。
  - Peak観測がないため、これも"counting"ベース。
  - BG estimationが重要
    - > "Z- $\rightarrow\mu\mu$ - $\rightarrow\tau\tau$ "法(津野さんのトーク)



- 個人的には、

- b-tagged jetを要求して(つまり、bbHを期待して)、collinear近似で質量を組むのは。。

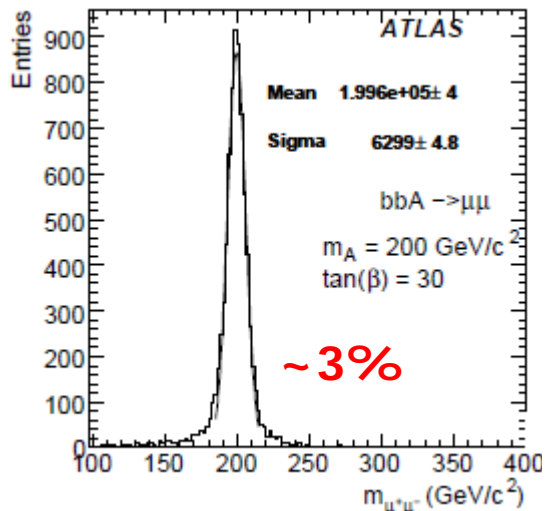




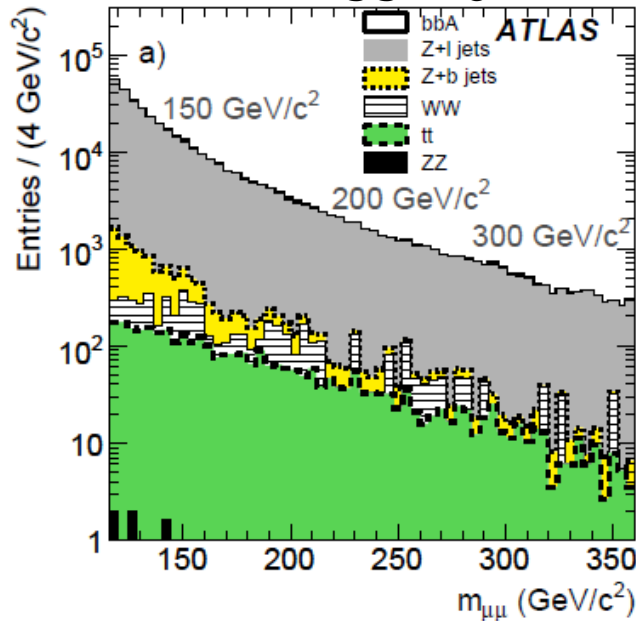
# h/H/A- $\rightarrow\mu\mu$ (1/2)

- B-taggingを使う戦略とそうでない戦略が考えられている。
  - $M(\mu\mu)$ 分布を見る限り厳しそうだが、BGはスムーズなのでsubtractできる(と思う。)

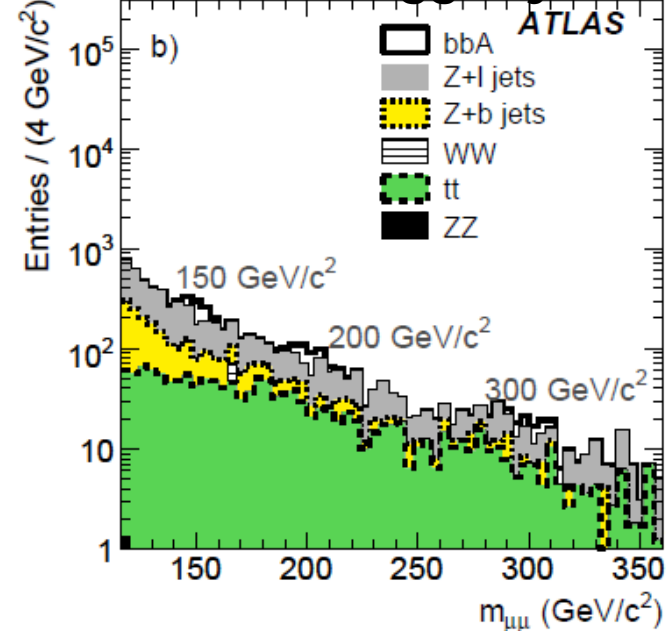
Signal only



0 b-tagged jet



$\geq 1$  b-tagged jet

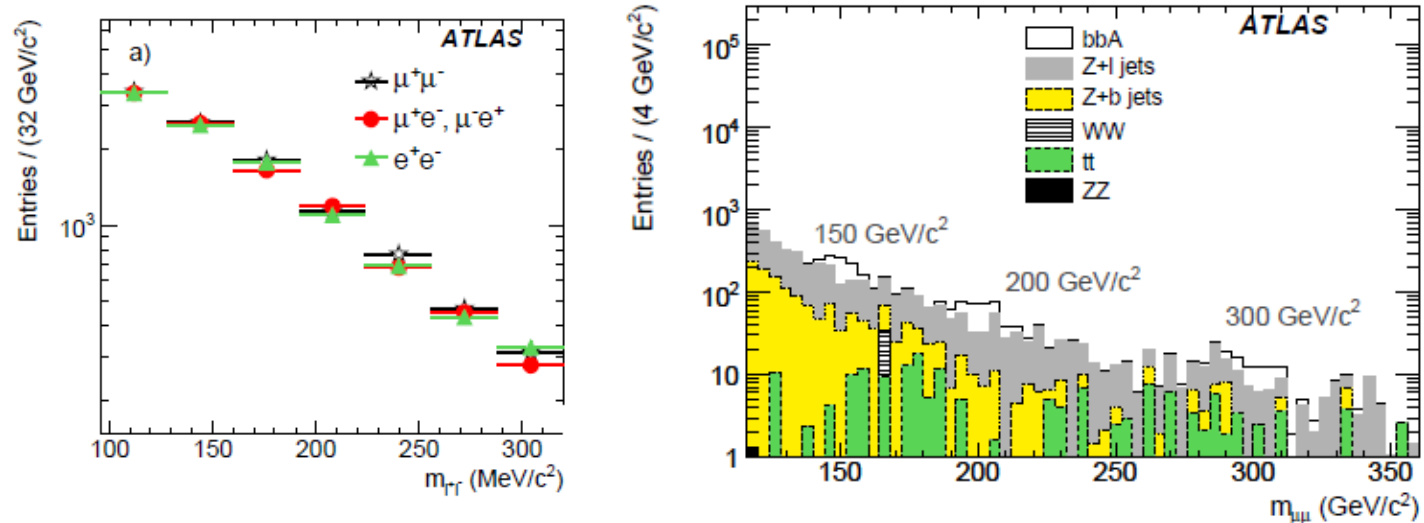


- CSC noteでは、 $t\bar{t}$  ee/ $e\mu$ から $t\bar{t}$ のcontributionをsubtractする方法が議論されている。

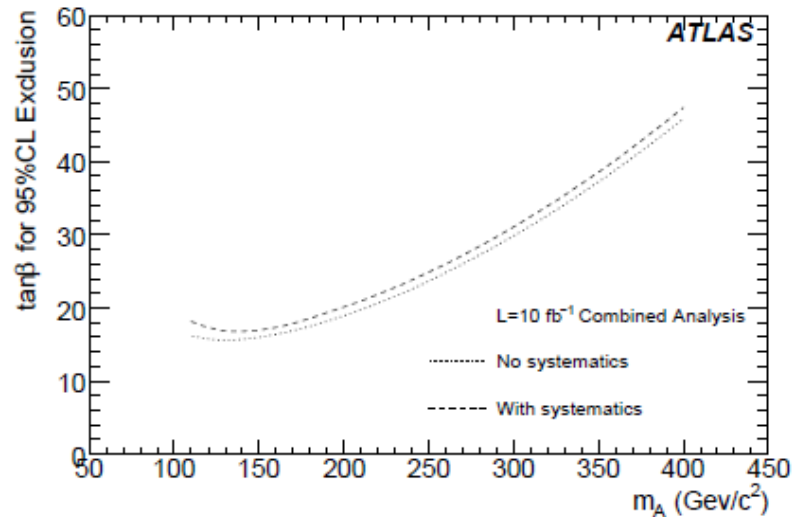
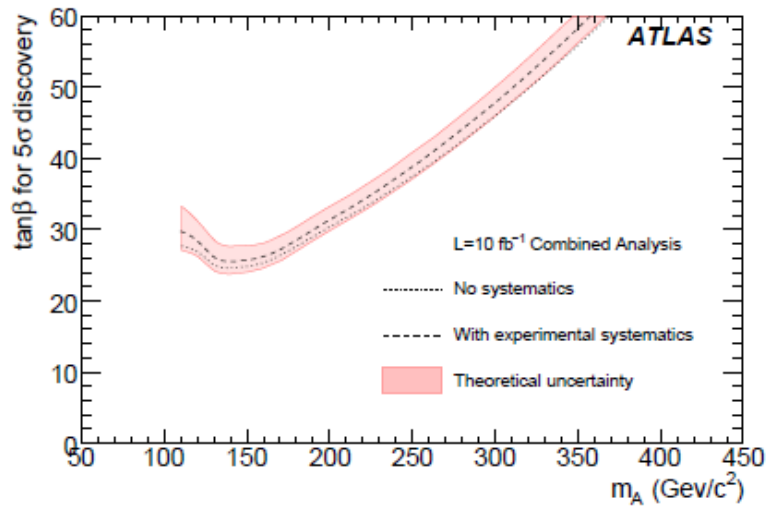




# $h/H/A \rightarrow \mu\mu$ (2/2)



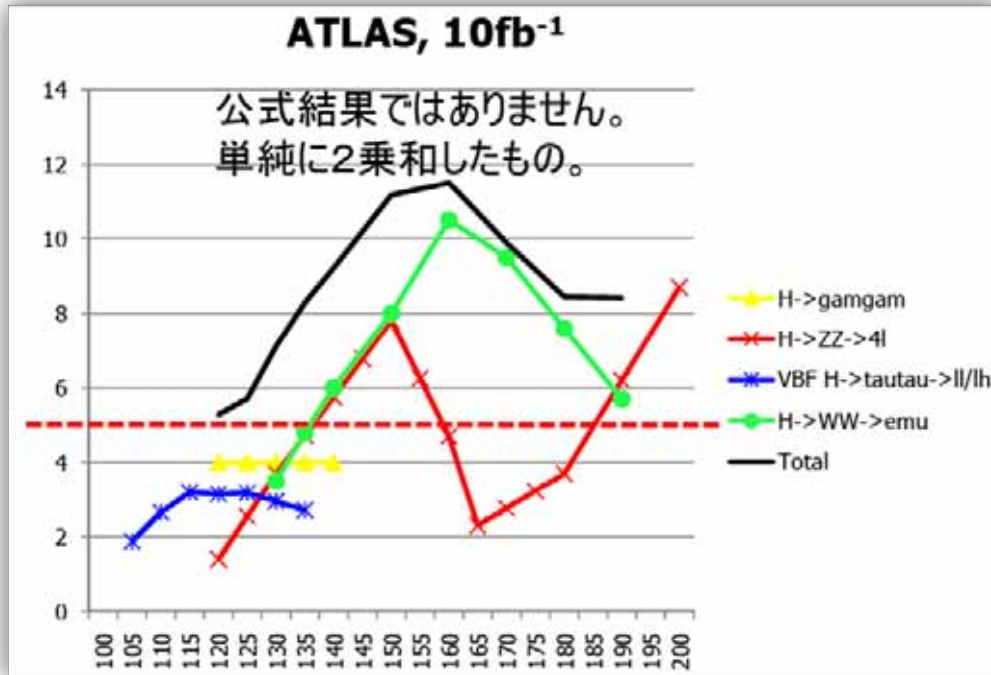
- B-taggingを使う場合の結果:  $5\sigma$  discovery & 95% exclusion







# Summary



- 予定通り10fb<sup>-1</sup>でSM Higgsを発見可能。
  - いままでの研究を最新の full simulation で再検討した。
    - negativeな結果になったチャンネルも。  
->浅井さんのトーク
  - 実データを利用した方法というものの研究がまだまだ。





# backup



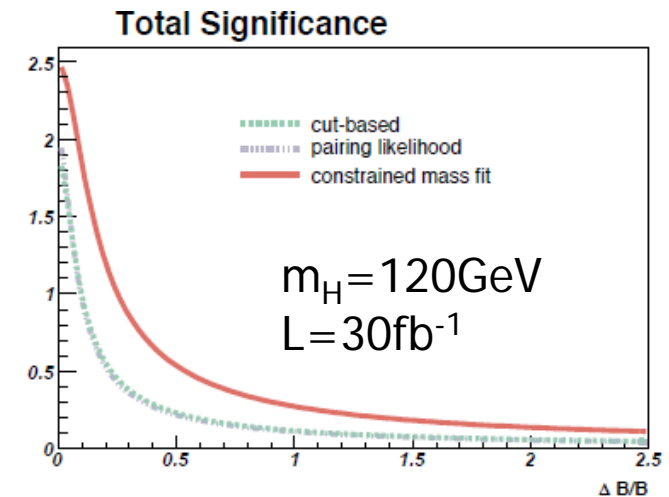
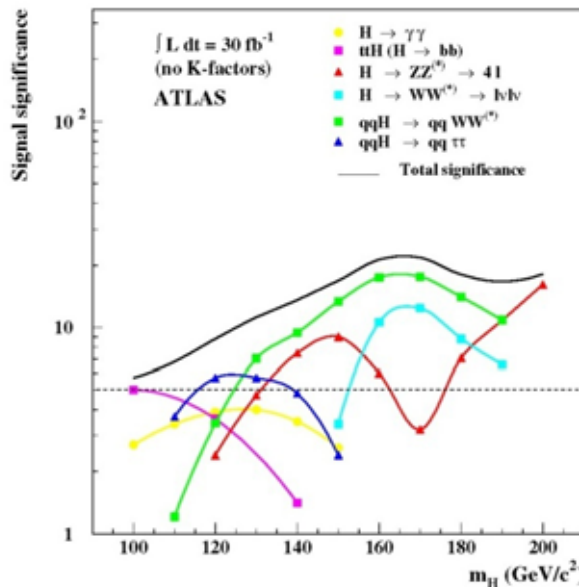
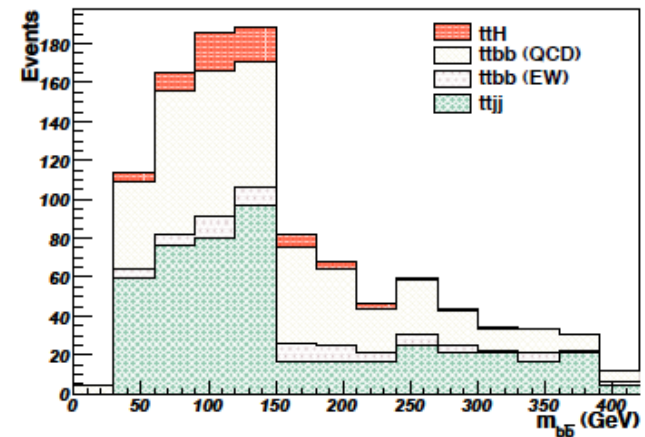


# ttH, H->bb

- 下図にあるように、以前はDiscoveryチャンネルとして報告されていた。
  - 軽いHiggsの場合、BR(H->bb)がdominate.
  - Yukawa couplingの測定に重要.

しかしながら、  
最近の詳細な研究@ATLAS/CMSでは  
negativeな結果が報告されている。

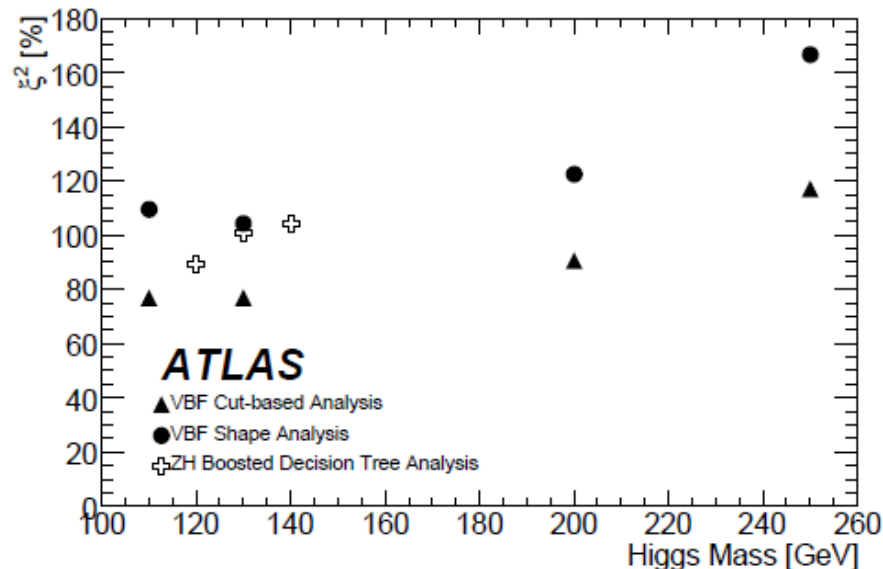
-> 浅井さんのトーク





# Invisibly Decaying Higgs

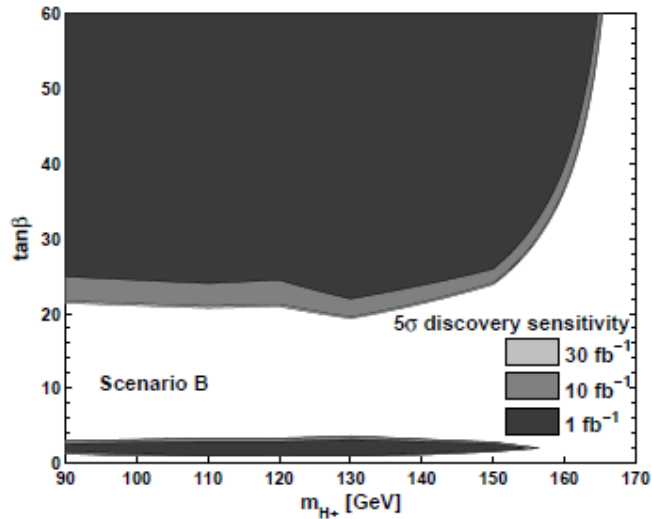
- VBFとWH/ZHの生成モードを使う。(CSC noteではVBFとZH)
- VBFはトリガーが問題になるが、FJ23+J23+XE100という新しいメニューを提案。(eff=55%, 2+-1Hz@10<sup>33</sup>)
- Countingベース。BG estimationが重要。
  - $\xi^2 = \text{BR}(H \rightarrow \text{inv}) \times \sigma_{\text{BSM}} / \text{BR}(H \rightarrow \text{inv}) = 100\% \times \sigma_{\text{SM}}$ 
    - 簡単に言うとSMと比較した値。
  - 以下の結果は99% CL (所謂signal significanceが2.33)になるときの $\xi^2$



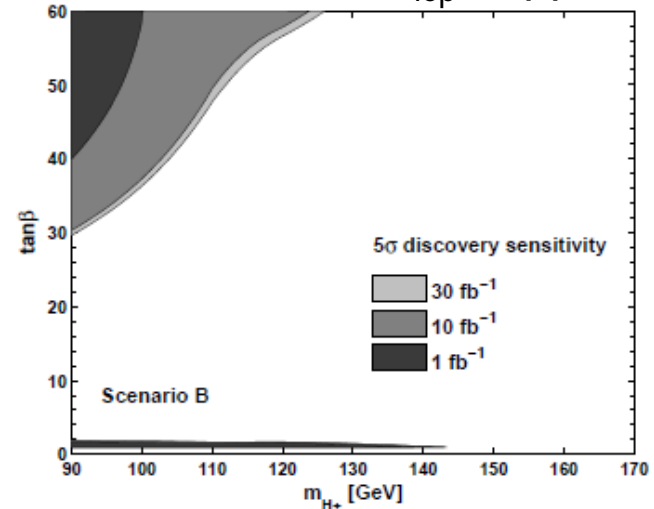


# トップより軽い $H^+$

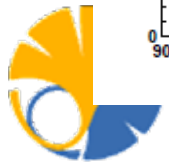
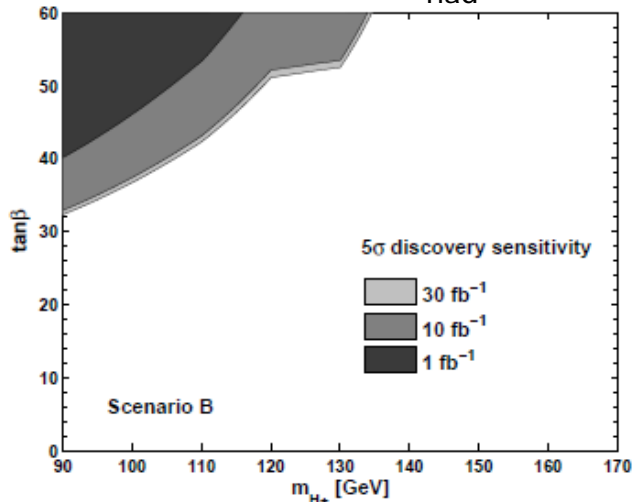
$tt \rightarrow bHbW^- \rightarrow b\tau_{had} \nu bqq$



$tt \rightarrow bHbW^- \rightarrow b\tau_{lep} \nu bqq$



$tt \rightarrow bHbW^- \rightarrow b\tau_{had} \nu bl\nu$





# H<sup>+</sup>

## Combined result

トップより重いH<sup>+</sup>の場合:  
gg/gb-→t[b]H-→bqq[b]τ<sub>had</sub>ν

