



重いヒッグス(実験)

J.Tanaka

ICEPP, The University of Tokyo



25 May, 2013

テラ物理研究会@名古屋大

Content

- 導入: 続“ヒッグス”探索
- LHC実験の結果
 - SM
 - $ZZ \rightarrow 4l$, $WW \rightarrow l\nu l\nu$, $l\nu qq$
 - MSSM
 - $\phi \rightarrow \tau\tau$ and $\phi \rightarrow \mu\mu$
 - $H^\pm \rightarrow \tau\nu$ and $H^\pm \rightarrow cs$
- 2015年に向けて
 - 今のLHC結果 (126 GeV Higgs) が示唆するMSSMパラメータと何をみるべきか
- まとめ



“ヒッグス”探索

- 標準理論 -> 「126GeVヒッグス粒子」発見で(ほぼ)完成
- つぎは？
 - 標準理論がTOEとは思っていない(はず)

-> 「どこにほころびを見つけるか？」

– SUSY/BSM Direct search

– **2つ目の“Higgs”探索**

– 精密測定によるズレ

...

今日の話

1) 126GeV以上のHiggs探索の結果

- “SM” Higgs

- MSSM Higgs

2) 2015年に向けて

Higgs Huntingは続く



MSSM (2HDM Type II)

- 「2つ目のHiggs」候補がある代表的なモデル
- 2つのHiggs doubletを持つモデル(2HDM)のひとつ(Type II=Supersymmetryに分類)
- MSSM Higgs $8 - 3 = 5$ 個
 - Tree level ... ($m_A, \tan\beta$)の2つのパラメータでHiggs sectorを記述(with m_Z)
 - Neutral Higgs ϕ ... 3個
 - CP-even ... 2個 ... **h, H**
 - CP-odd ... 1個 ... **A** (W/Zと結合しない)
 - Charged Higgs ... 2個 ... **$H^{\pm}$**
 - m_A が大きくなると「 $H, A, H^{\pm} \Leftrightarrow h$ 」と分離(decoupling limit)
 - h ... SM-like Higgs
 - $H, A, H^{\pm}$ の質量は縮退
- ベンチマークシナリオ (MSSMは多くのパラメータを持つので)
 - mhmax ... stop sectorのmixingを大きくして h の質量を最大に。
 - No-mixing ... stop sectorのmixing無し
 など。LEP時代に決めたがmhmaxシナリオがよく使われてきた。-> 再考すべき時期



“SM” Higgs解析から

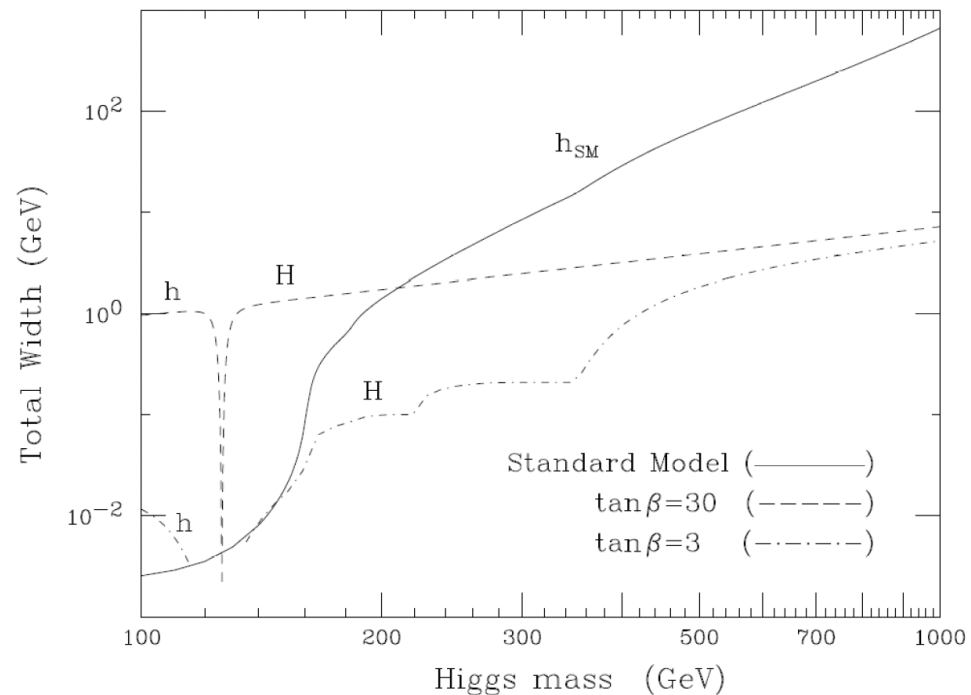


25 May, 2013

テラ物理研究会@名古屋大

重い“SM Higgs”

- SM Higgsを探すための解析はまだまだ有効。
 - 単純解 -> 「結果の解釈を適宜変更」
 - 重いHiggs
 - SM Higgsの崩壊幅はすぐに大きくなる。
 - 1.43GeV (200GeV)
 - 29.2GeV (400GeV)
 - 123GeV (600GeV)



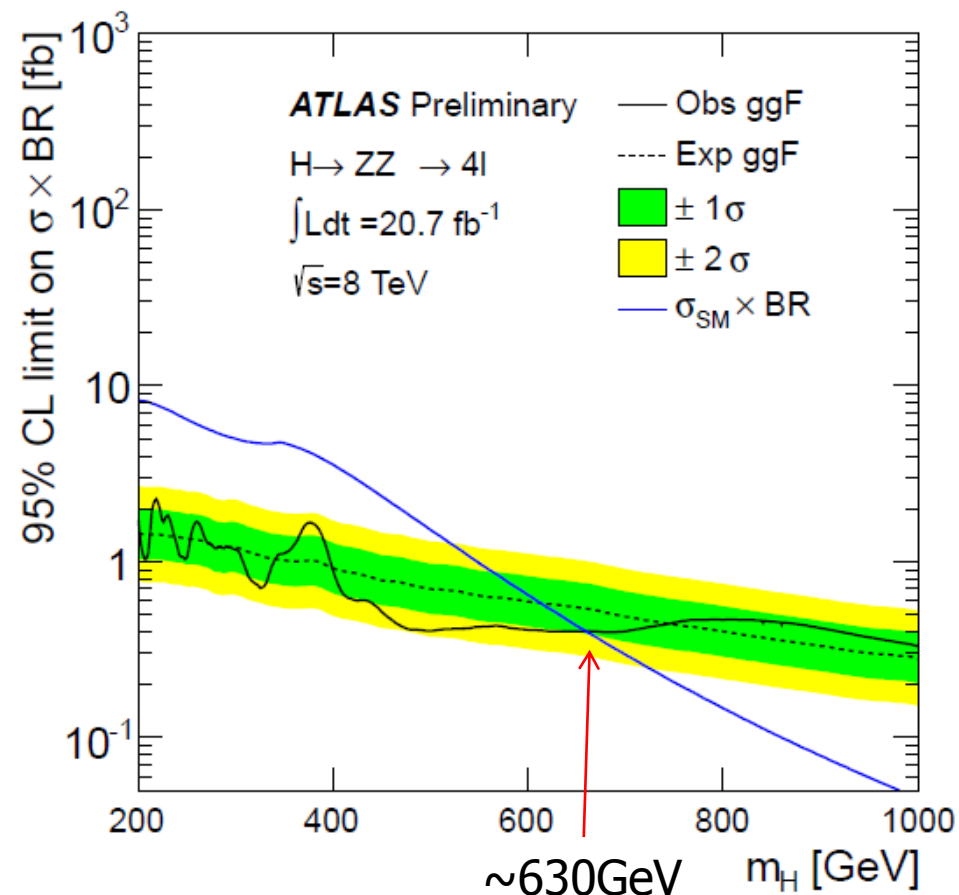
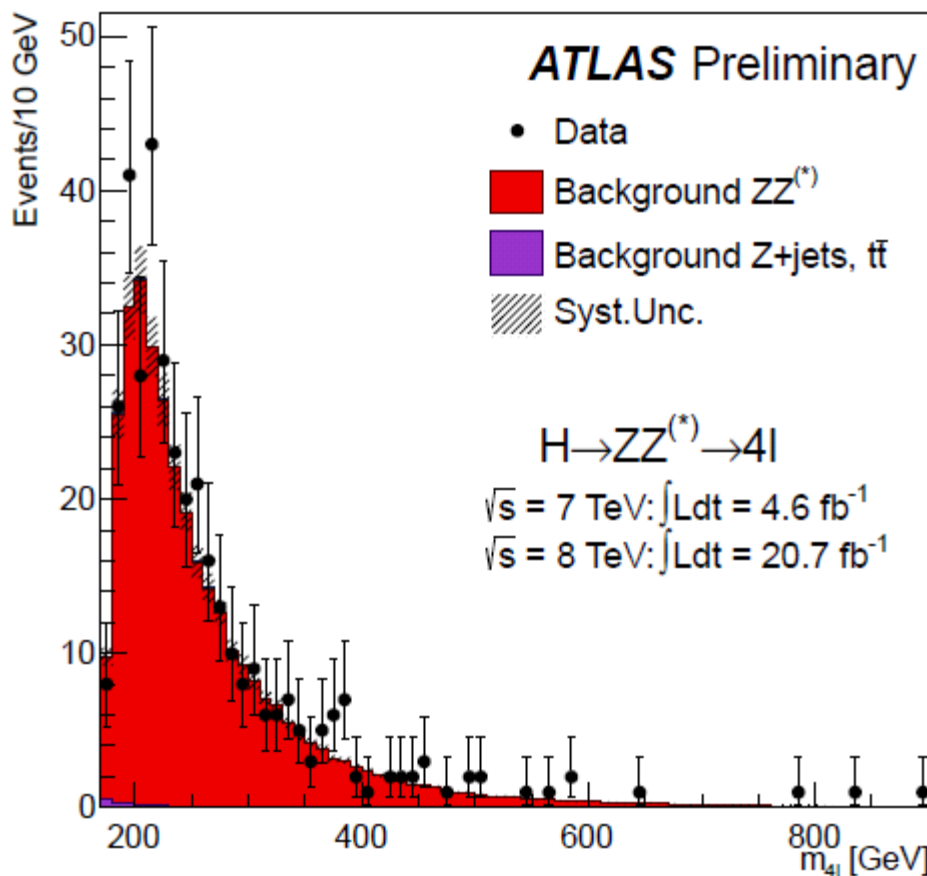
- 比較的狭い幅を持つ“Signal”を探す方が、探索という視点からは素直(?)。
 - MSSM
 - ほぼゼロ (ATLASでは4.07MeV(125GeV相当)で1TeVまで生成中)
 - など、を使って(再)解析。



ATLAS H- $\rightarrow$ ZZ- $\rightarrow$ 4l

($m_{4l} > 190$ の場合)

Lepton $p_T > 20, 15, 10, 7(6)$ GeV for electron(muon), $50 < m_{12} < 106, 50 < m_{34} < 115$



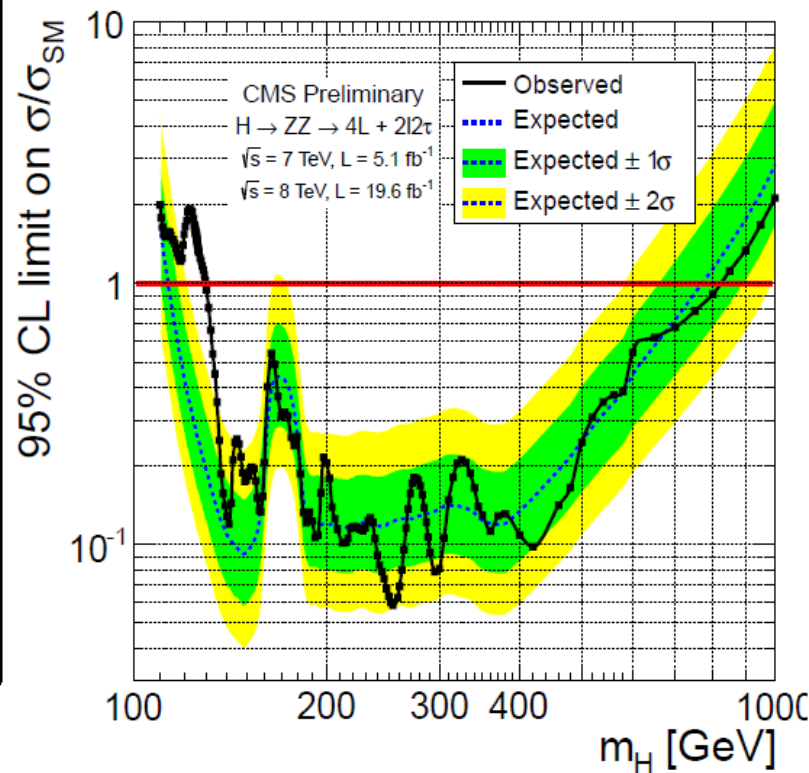
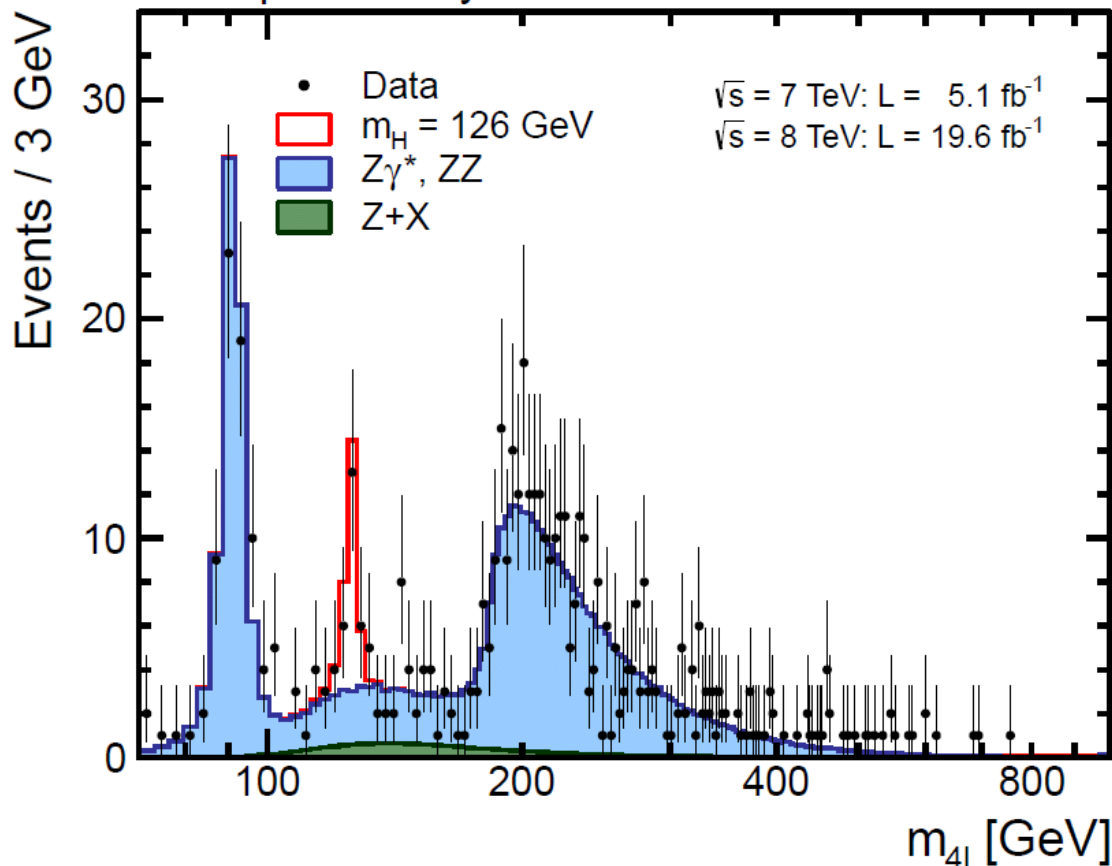
SM HiggsとしてはExcludeされている。(厳密には右図の解釈がちがうが)



CMS $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l, 2l2\tau$

Lepton $p_T > 20, 10, 7(5), 7(5)$ GeV for electron(muon), $40 < m_{12} < 120, 12 < m_{34} < 120$
 $p_T(\tau_h) > 20$ GeV, $20(30) < m_{t\bar{t}} < 90$
 $(m_{2l2\tau} > 180 \text{ GeV})$

CMS preliminary



SM HiggsとしてはExcludeされている。

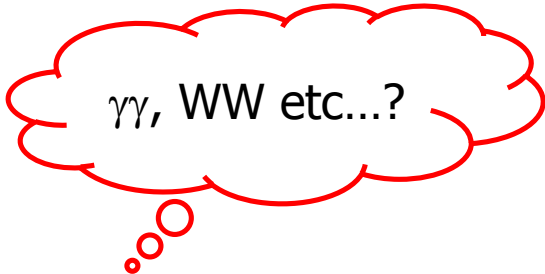


ひとつの見方

arXiv:1209.4816

L.Maiani, A.D.Polosa, V.Riquer

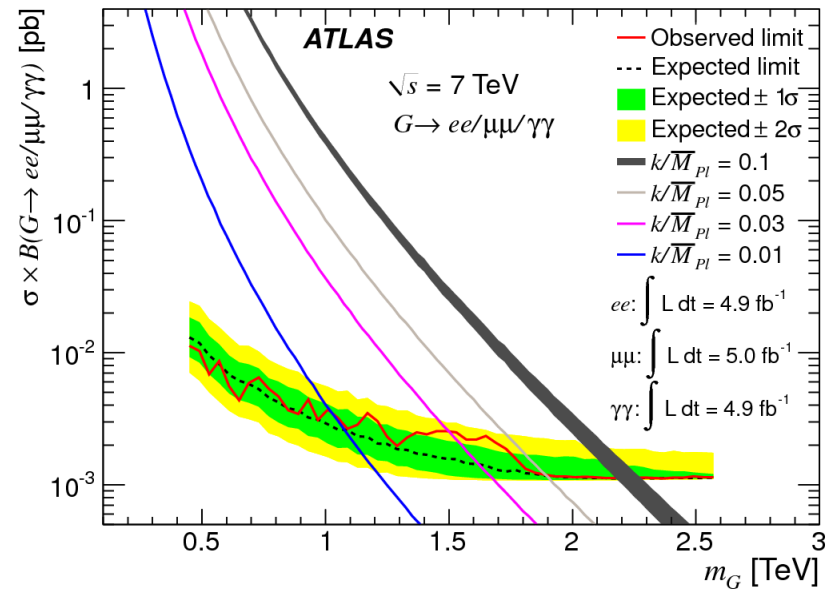
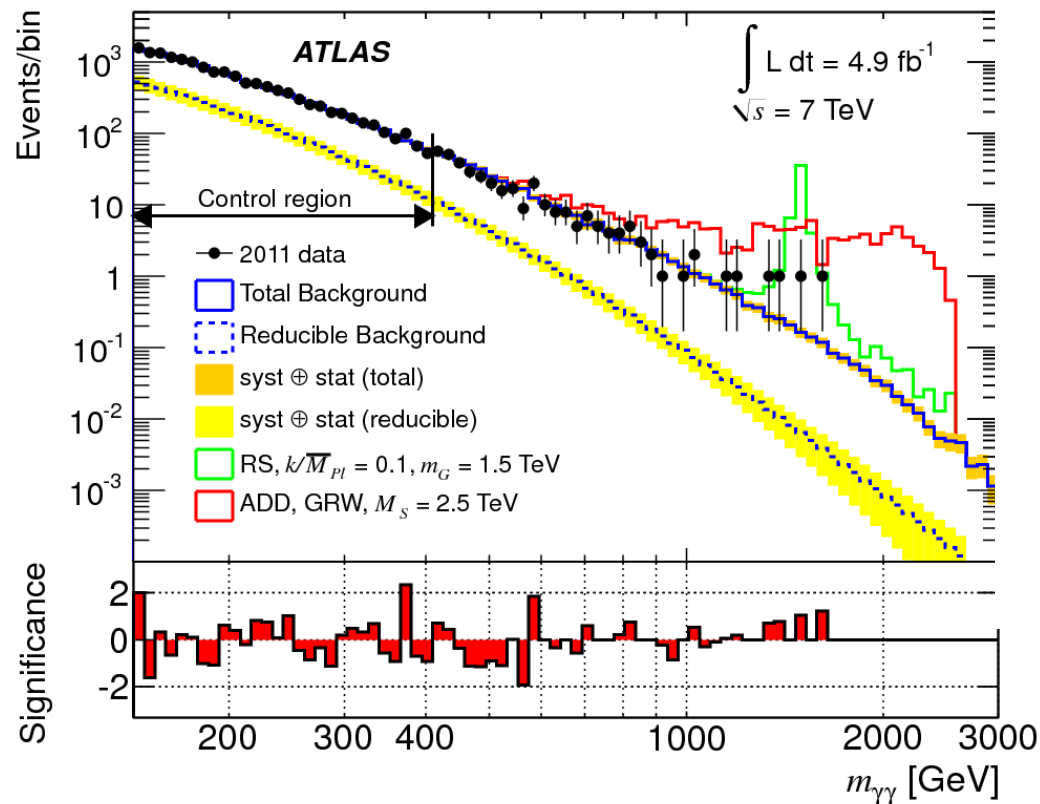
In a recent paper [1], we confronted Minimal Supersymmetry for the Higgs sector with the particle discovered by ATLAS and CMS at 125 GeV. At that time, only the value of the mass was available, which, as noted also by other authors [2, 3], is remarkably consistent with Minimal Supersymmetric Standard Model (MSSM), albeit with a value of the scalar top mass around 4 TeV. The presence of a tenuous bump at about 320 GeV in the CMS data for the ZZ channel could have been taken as a hint of the heavier, MSSM, 0^+ Higgs particle, H . With the higher statistics now available there is no trace left of such a structure.



$\gamma\gamma$, WW etc...?



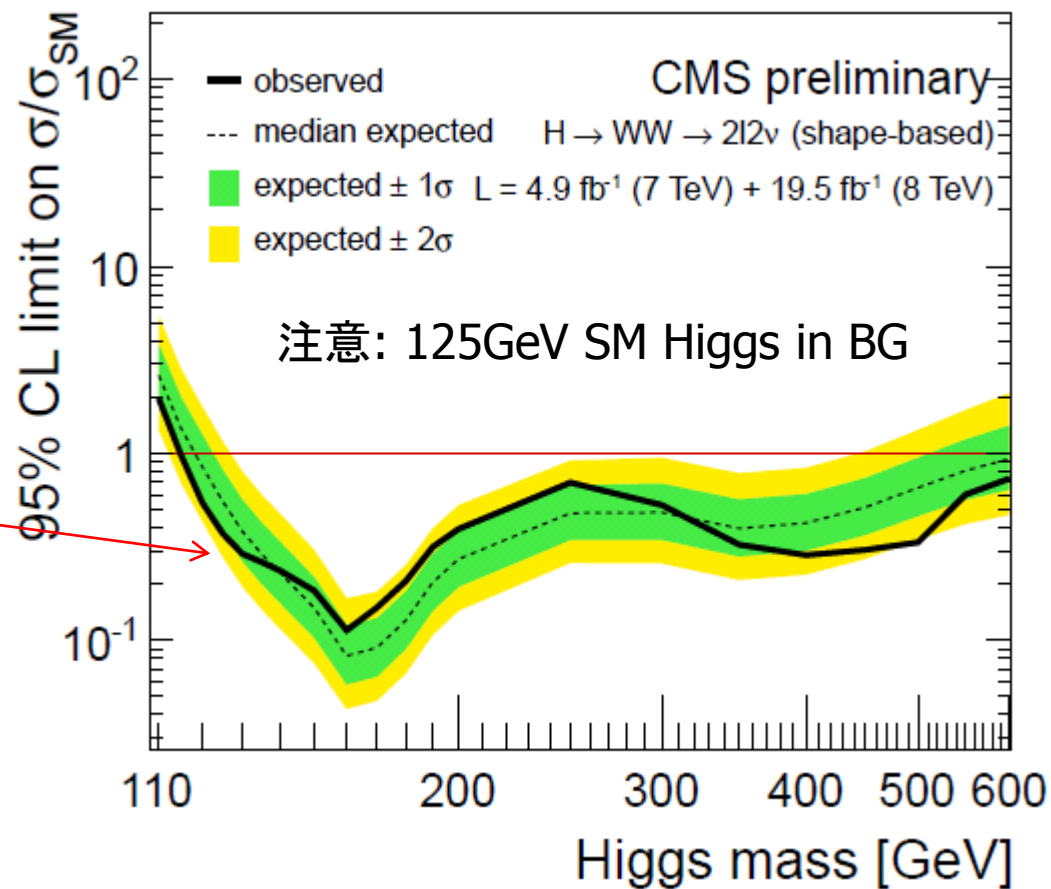
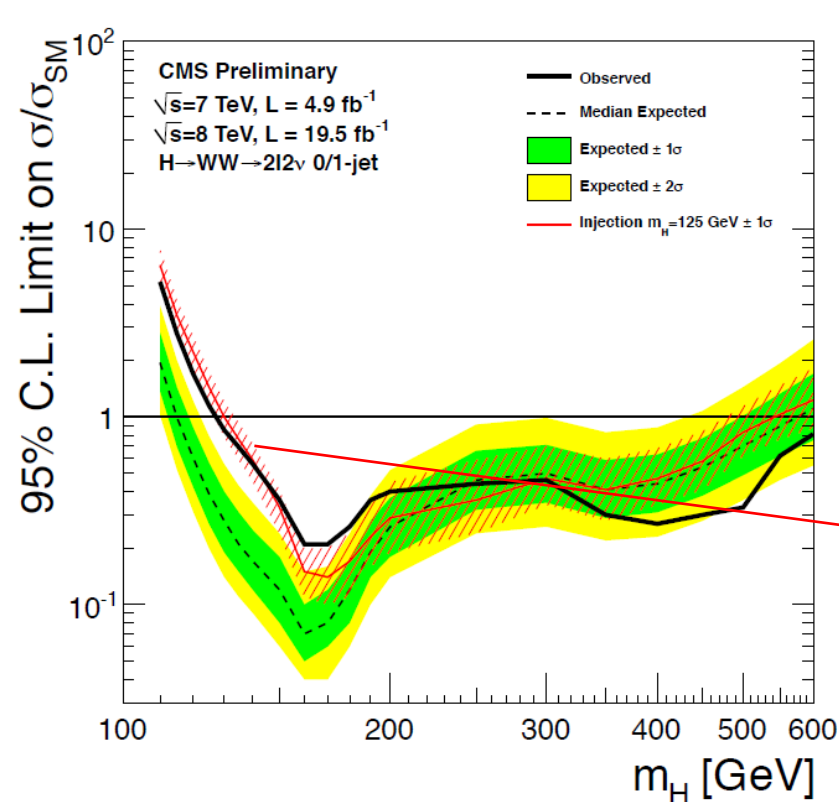
ATLAS diphoton



7TeV ATLASにはない...
 (Higgs探索ではない結果 -> RS model Graviton)



CMS $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu l\nu$

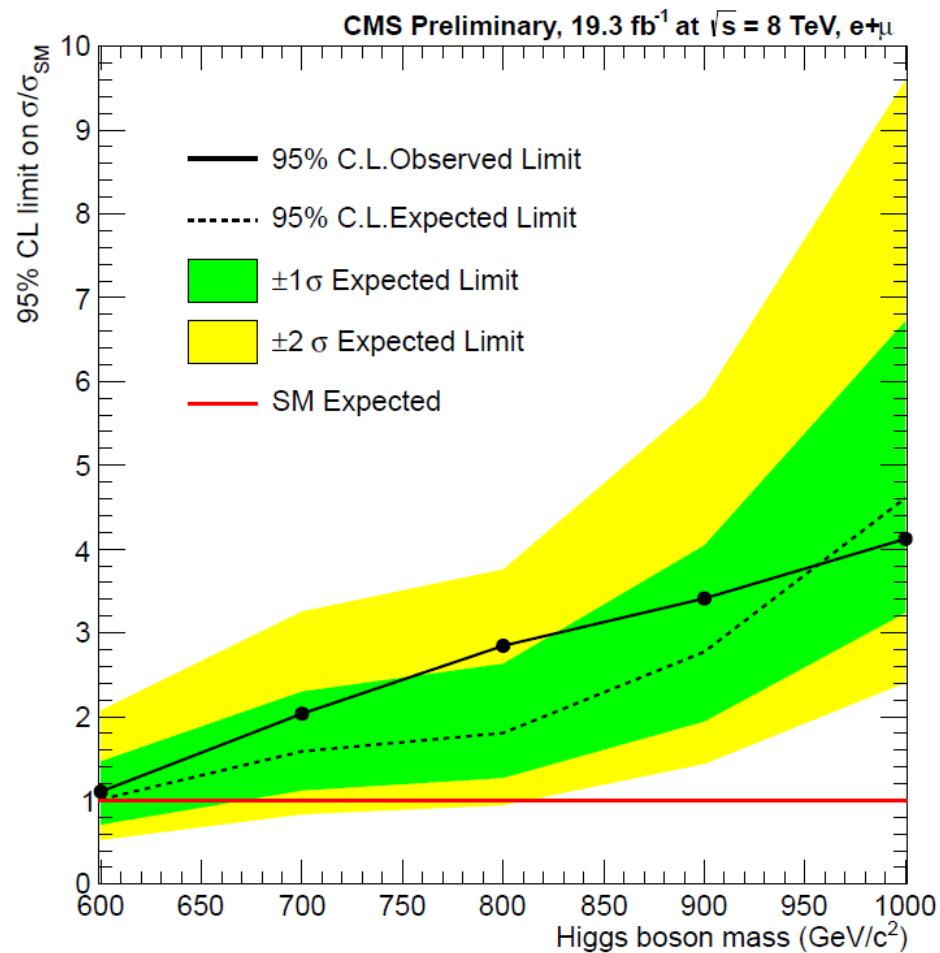
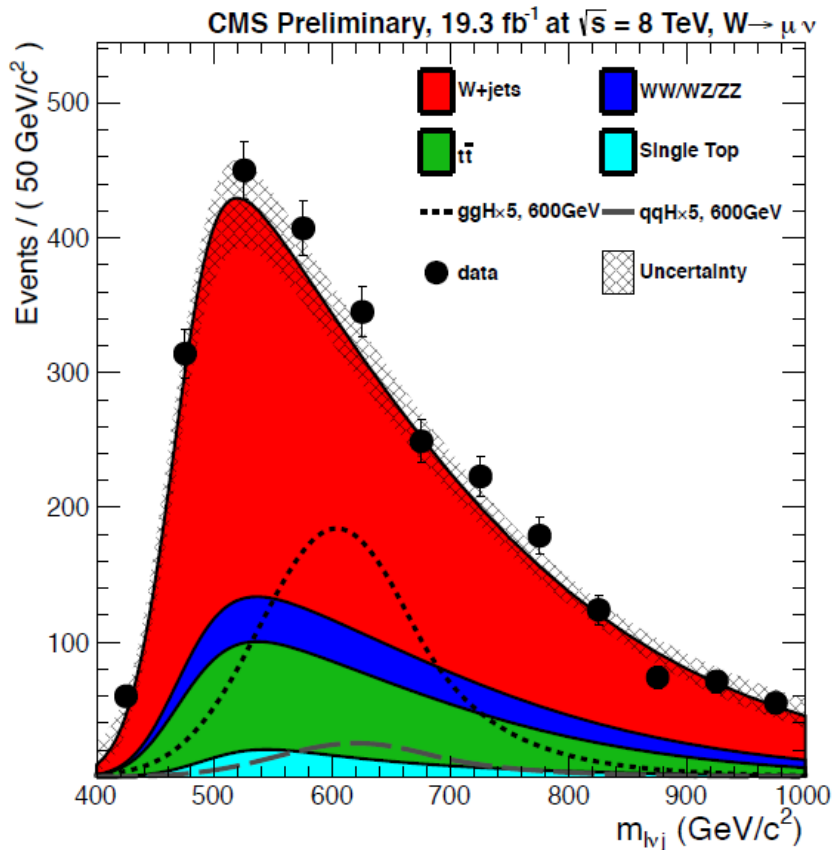


重い $H \rightarrow WW$ には無さそう？
 ただし、Massを言い当てるほどの分解能はない。

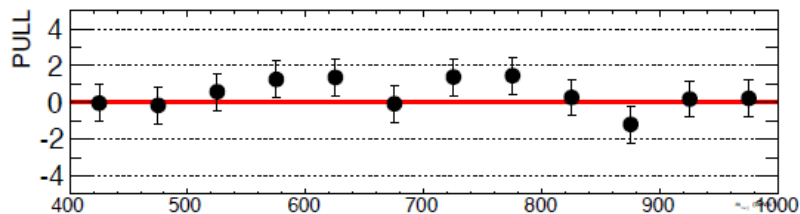


CMS H- $\rightarrow$ WW- $\rightarrow$ lnqq

Boosted W(qq), $p_T(j \text{ with CA8 algo}) > 200 \text{ GeV}$



多め。Massの分解能は悪い。



25 May, 2013

テラ物理研究会@名古屋大



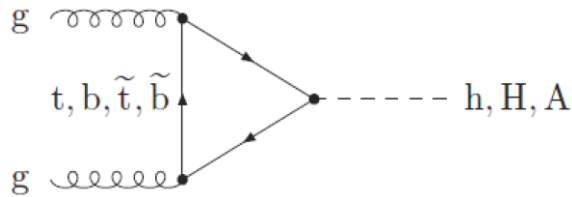
“MSSM” Higgs解析から



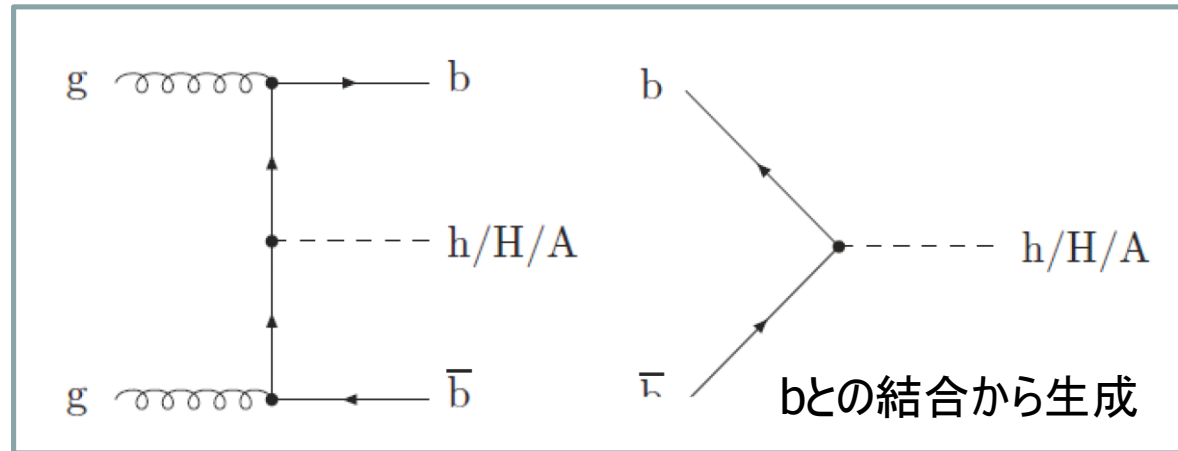
25 May, 2013

テラ物理研究会@名古屋大

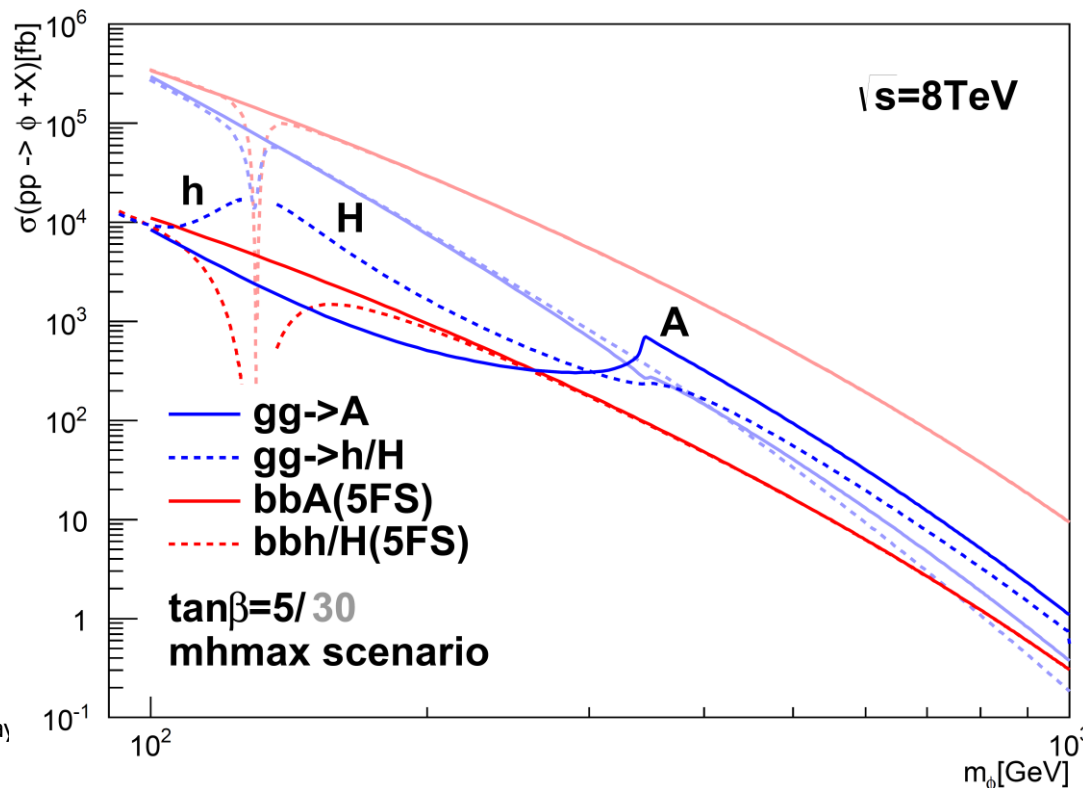
MSSM Neutral Higgs



Gluon fusion



bとの結合から生成

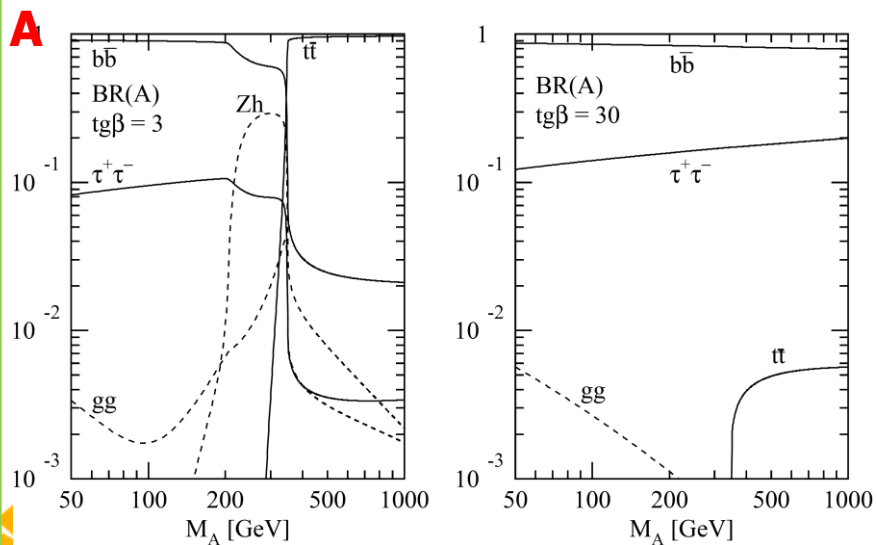
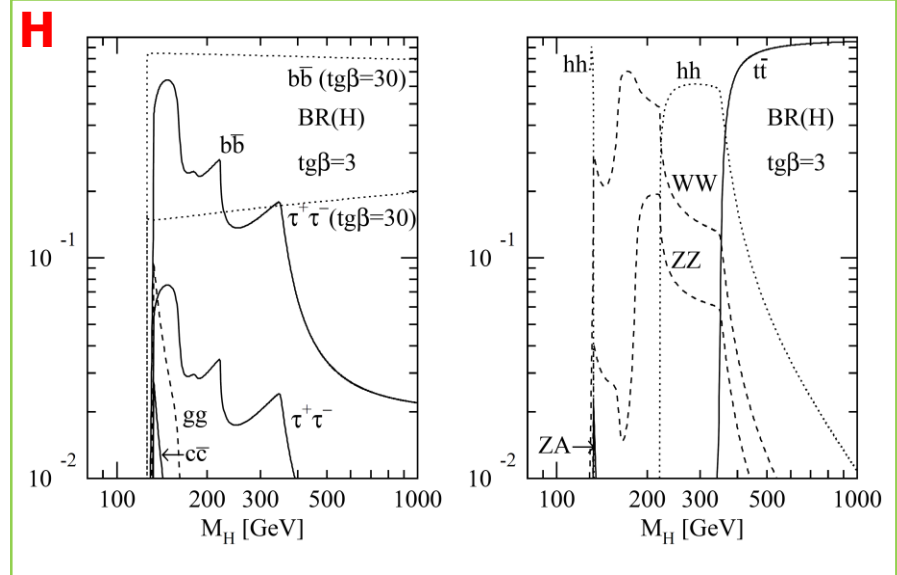
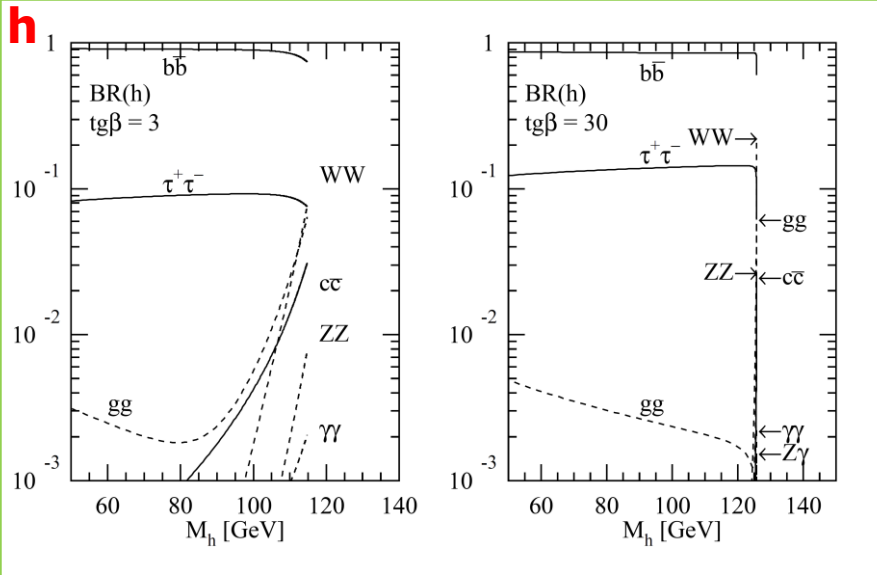


$bb\phi \dots \tan\beta$ が大きくなると
x-secも大きくなる。

Gluon fusionもb-quark
loopがあるので同様。



h/H/A Branching Ratios

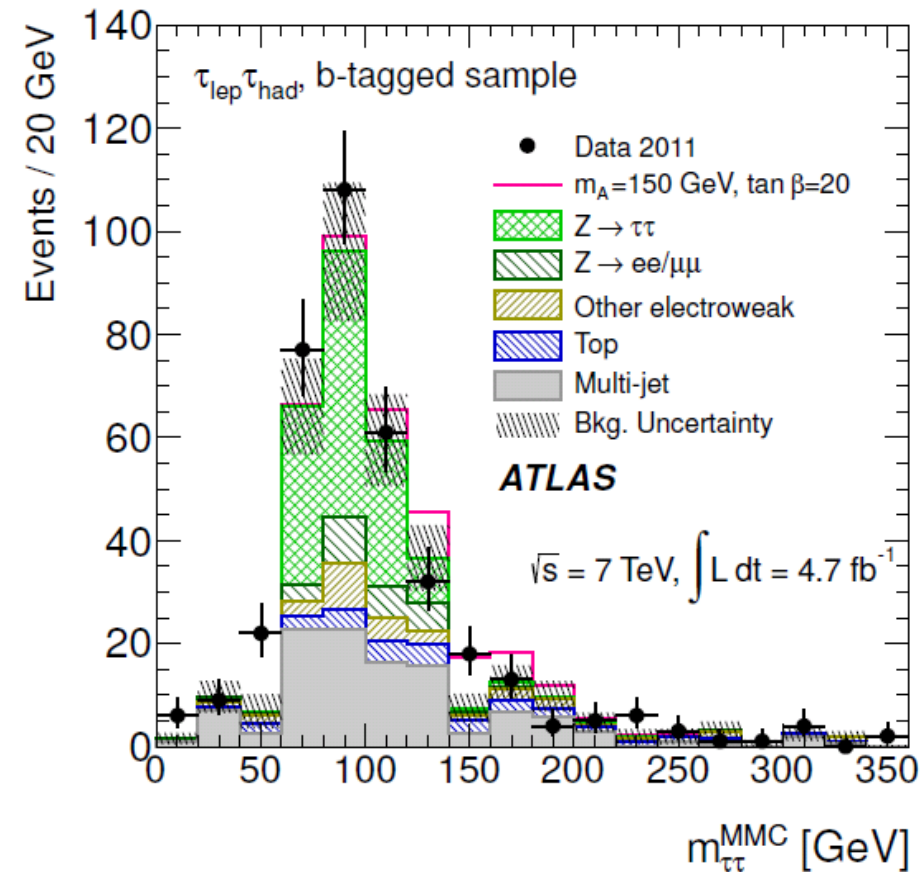


h/H/A ... $\tan\beta$ が大きい場合は $bb/\tau\tau$ 。

$\tan\beta$ が大きい場合はバリエティがない。
一方、小さい場合はMassにも依存するが
 $bb/\tau\tau$ 以外も無視できない。

7/8TeV解析では(ほぼ) $\tau\tau$ しか見ていない。

ATLAS 7TeV $\phi \rightarrow \tau\tau$

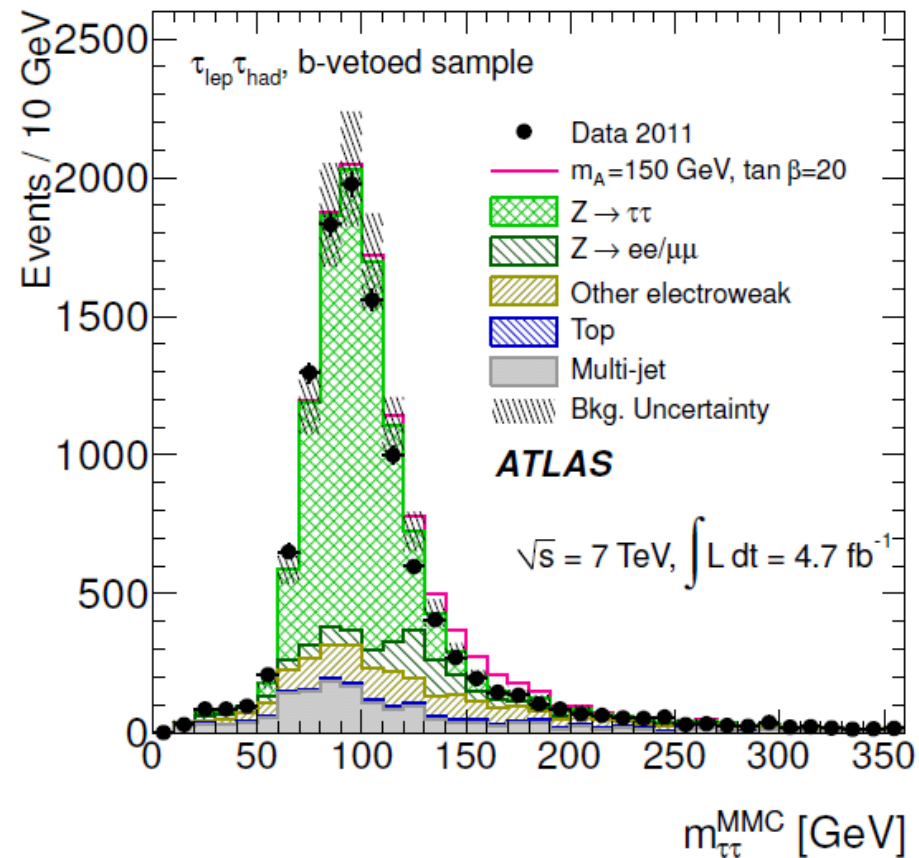


$p_T^e > 15$, $p_T^\mu > 10$ GeV, $p_T^\tau > 20$ GeV

$e\mu$: $p_T^e > 24$ or $p_T^\mu > 20$ GeV for single lepton trigger case

$e\tau_h, \mu\tau_h$: $p_T^e > 25$ or $p_T^\mu > 20$ GeV

$\tau_h\tau_h$: $p_T^\tau > 45, 30$ GeV



イベントの分類

1) b-tagged for bbh

$p_T^{b-jet} = 20-50$ GeV

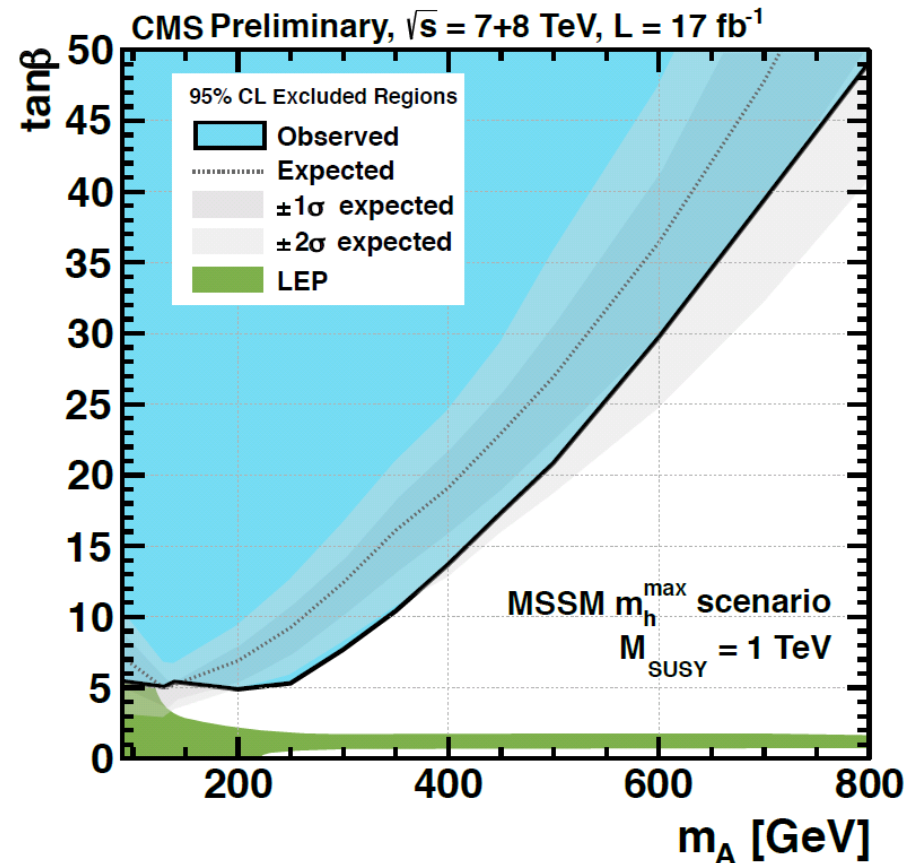
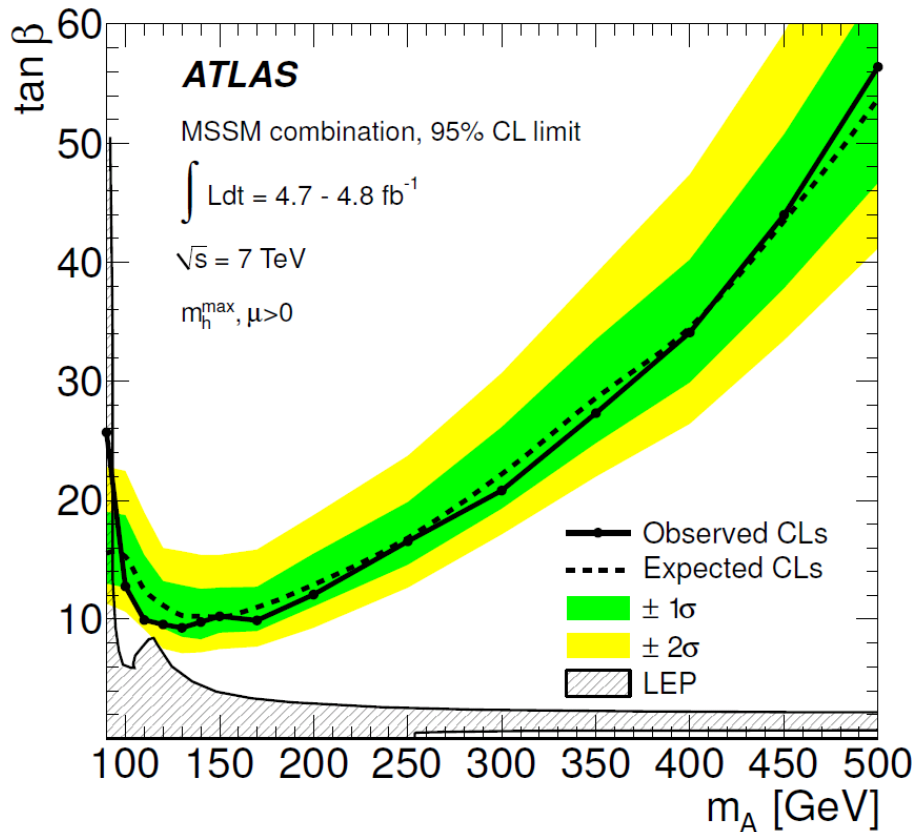
2) b-veto for ggF

$p_T^{\tau 1} > 60$ GeV



ATLAS and CMS $\phi \rightarrow \tau\tau$

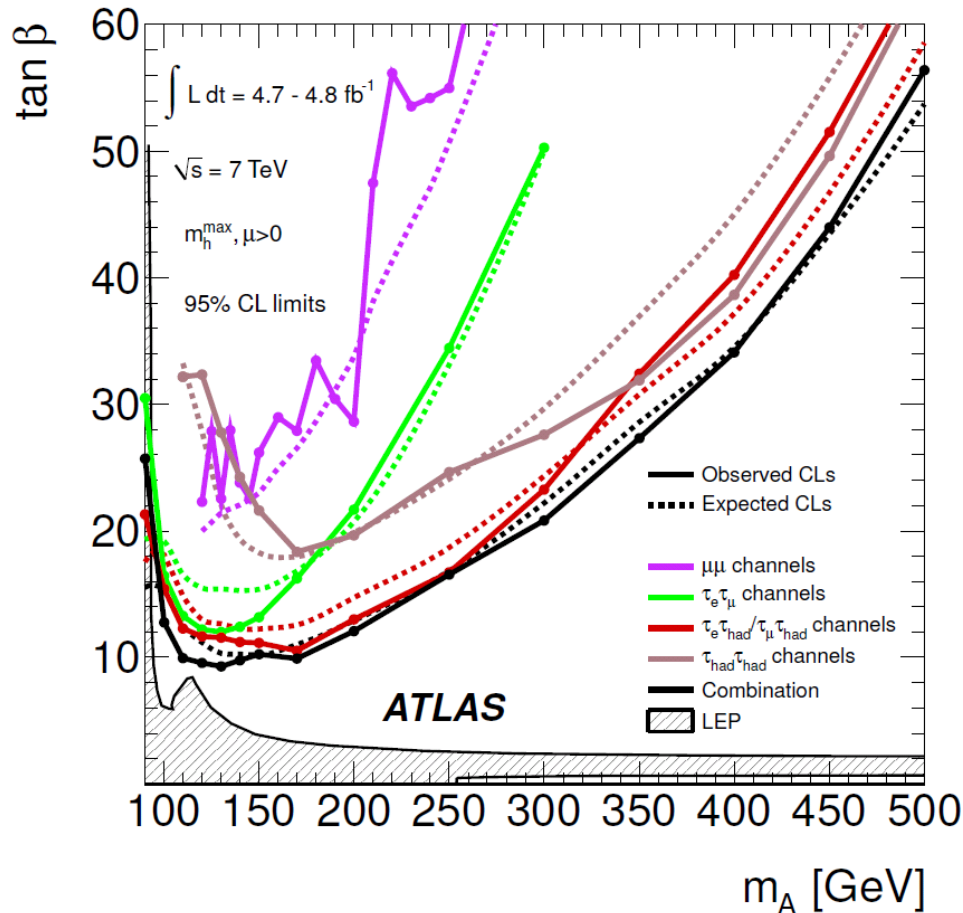
CMS: $p_T^e > 20(24)$, $p_T^\mu > 17(20)\text{GeV}$, $p_T^\tau > 20\text{GeV}$
 $p_T^1 > 20$, $p_T^2 > 10\text{GeV}$



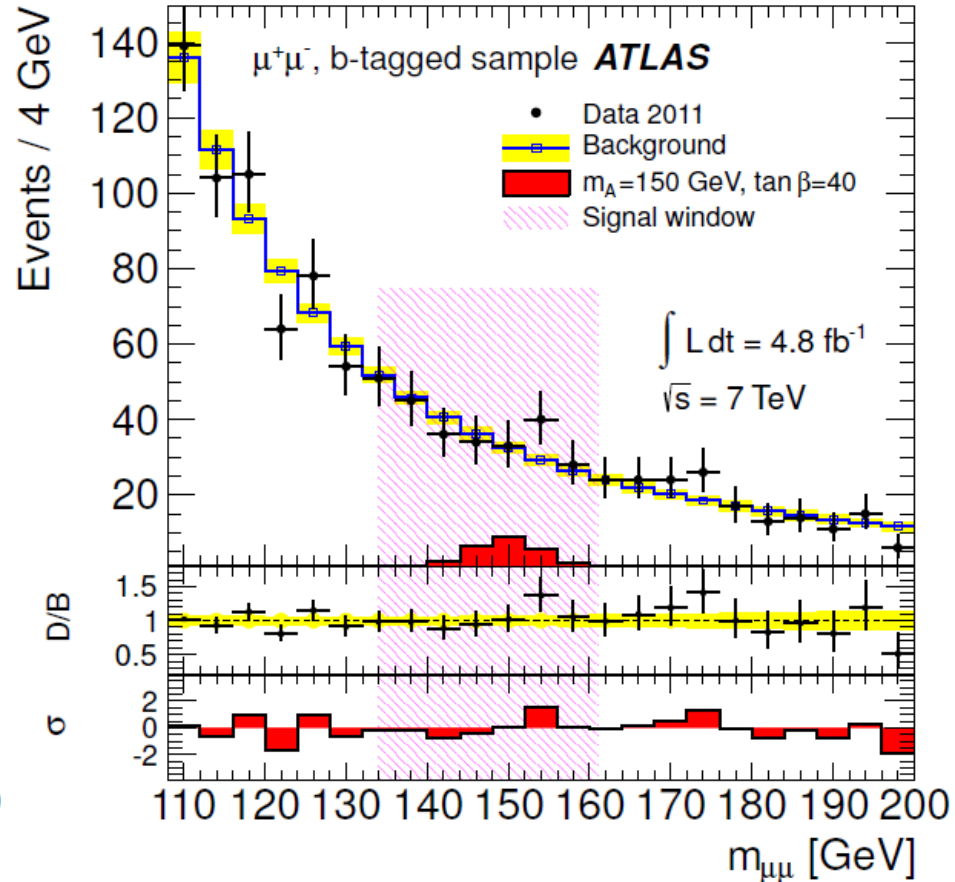
$m_A < 200\text{GeV}$ ではほぼすべてのtan β 領域を排除



ATLAS $\phi \rightarrow \tau\tau$ and $\mu\mu$



$\tau^l \tau^h$ が最も感度がいい。
High m_A では $\tau^h \tau^h$ が重要になる。

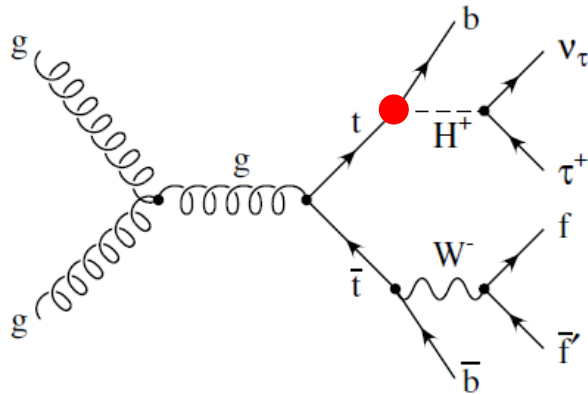


$p_T^1 > 20, p_T^2 > 15 \text{ GeV}$
 $m_{\mu\mu} > 70 \text{ GeV}$
 $\text{MET} < 40 \text{ GeV}$

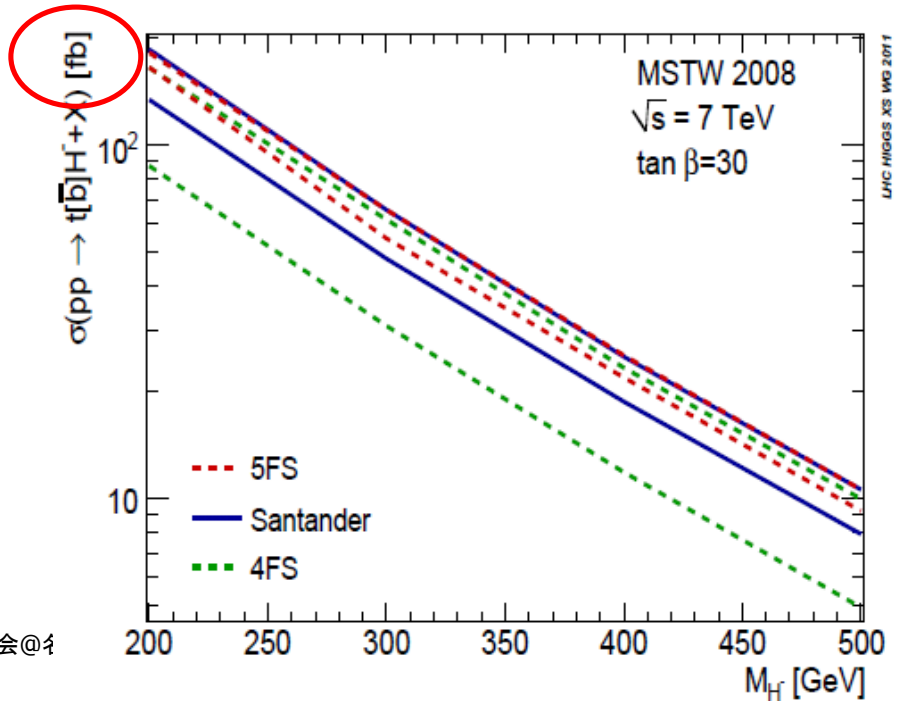
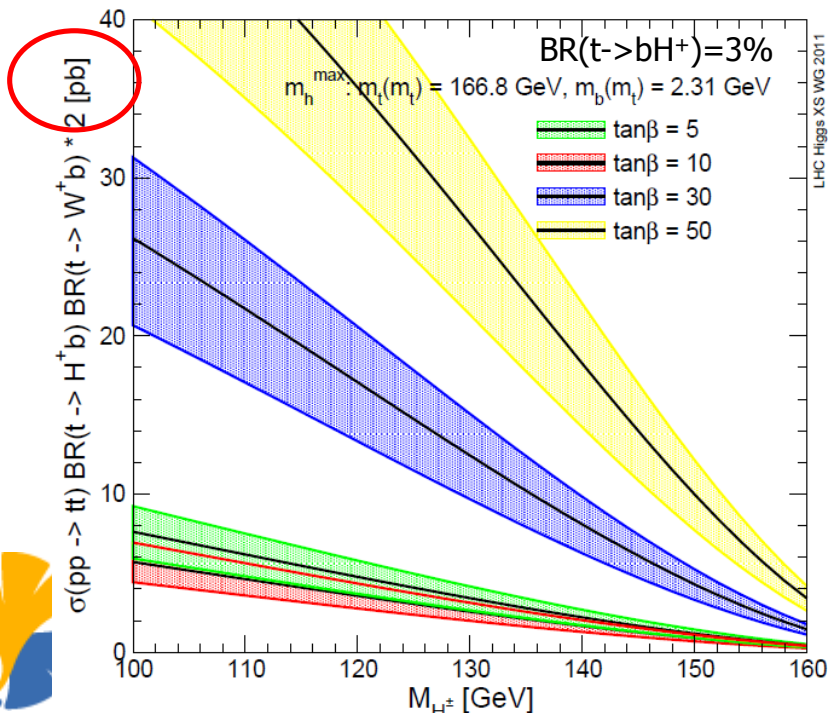
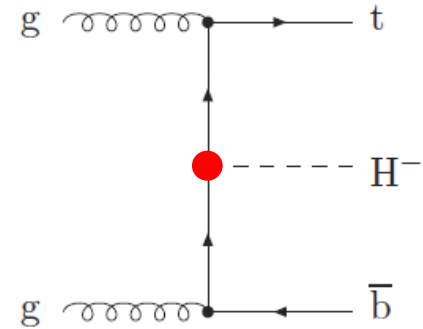


MSSM Charged Higgs

軽い場合 ($< m_t$): topから崩壊 $t \rightarrow bH^+$

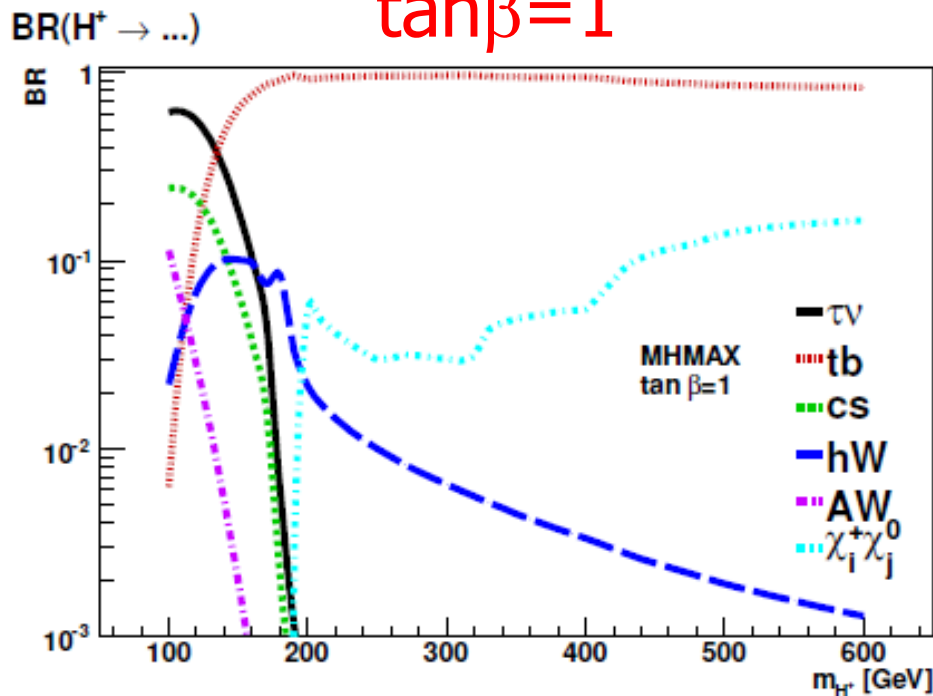


重い場合 ($> m_t$): $tb \rightarrow H^+$

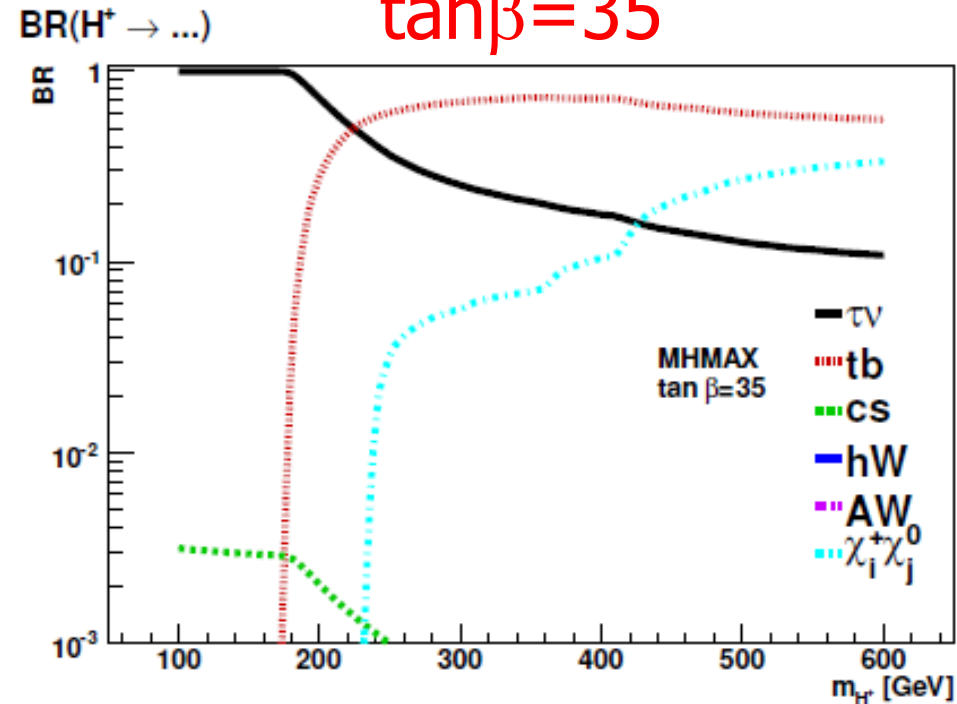


H[±] Branching Ratios

$\tan\beta=1$



$\tan\beta=35$



軽い場合 -> τνが重要。csにもチャンス

重い場合 -> tb。SUSYも。

tanβの視点 -> 小さい場合にバリエーション

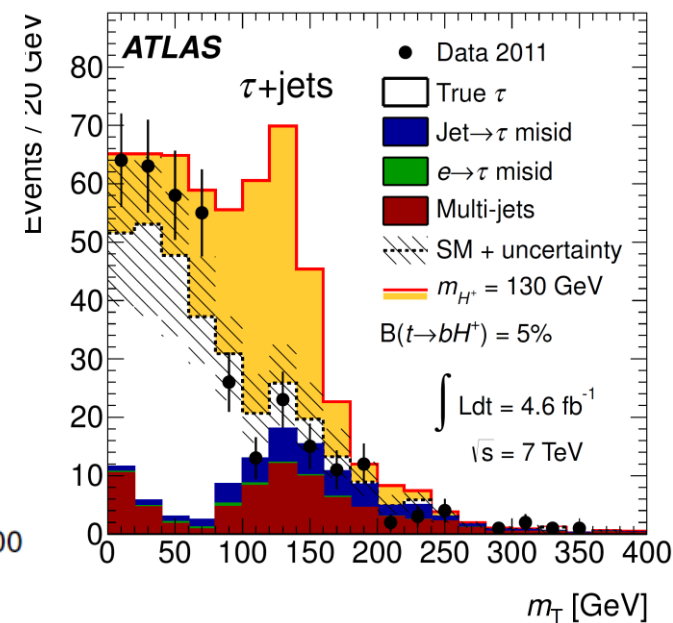
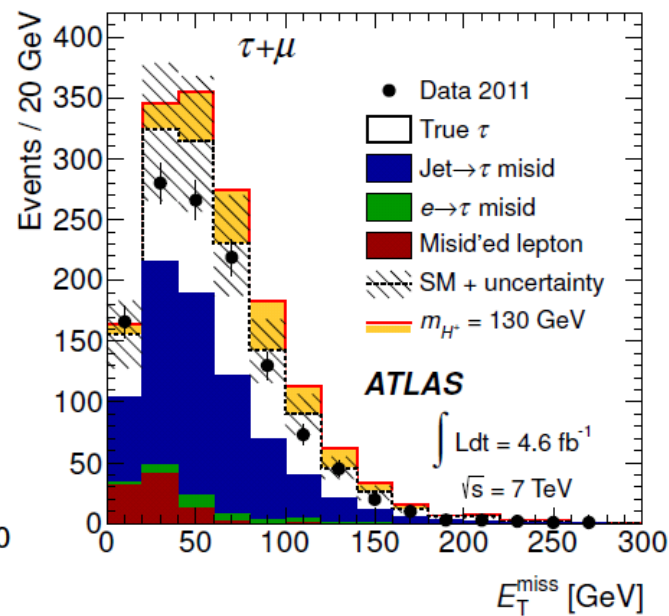
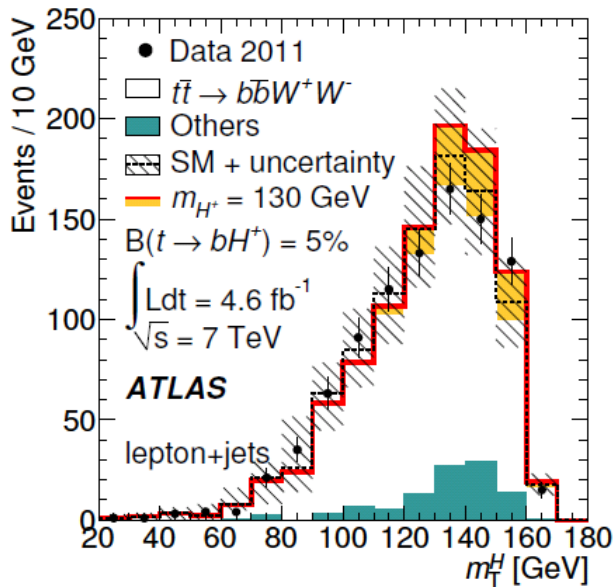
解析を広げることが必要



ATLAS Light $H^+ \rightarrow \tau \nu$ (1/2)

軽い場合は $\tau \nu$ へ崩壊 $\rightarrow$ 3つのチャンネルを解析

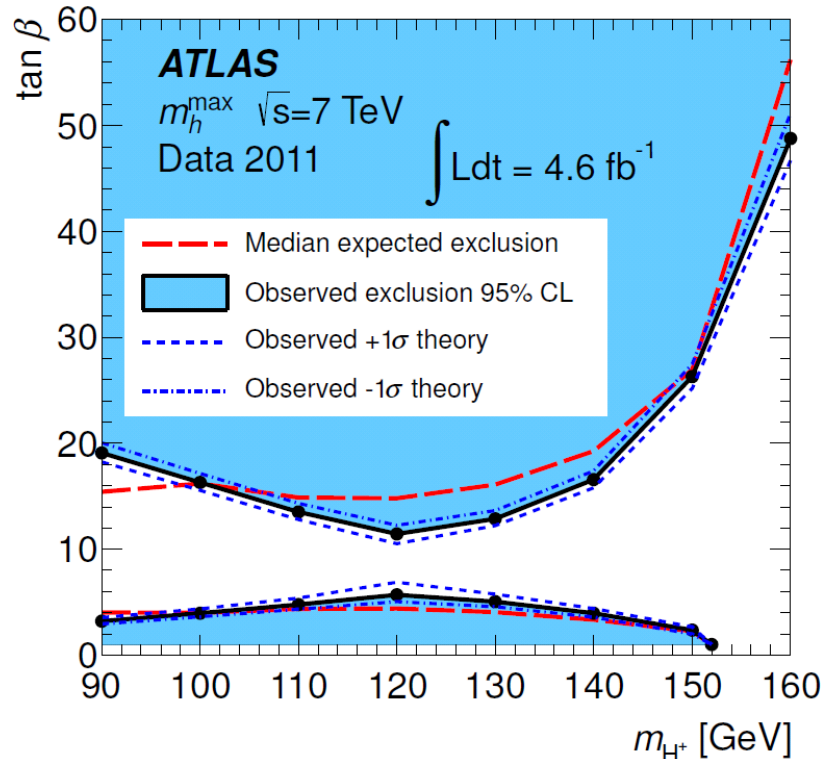
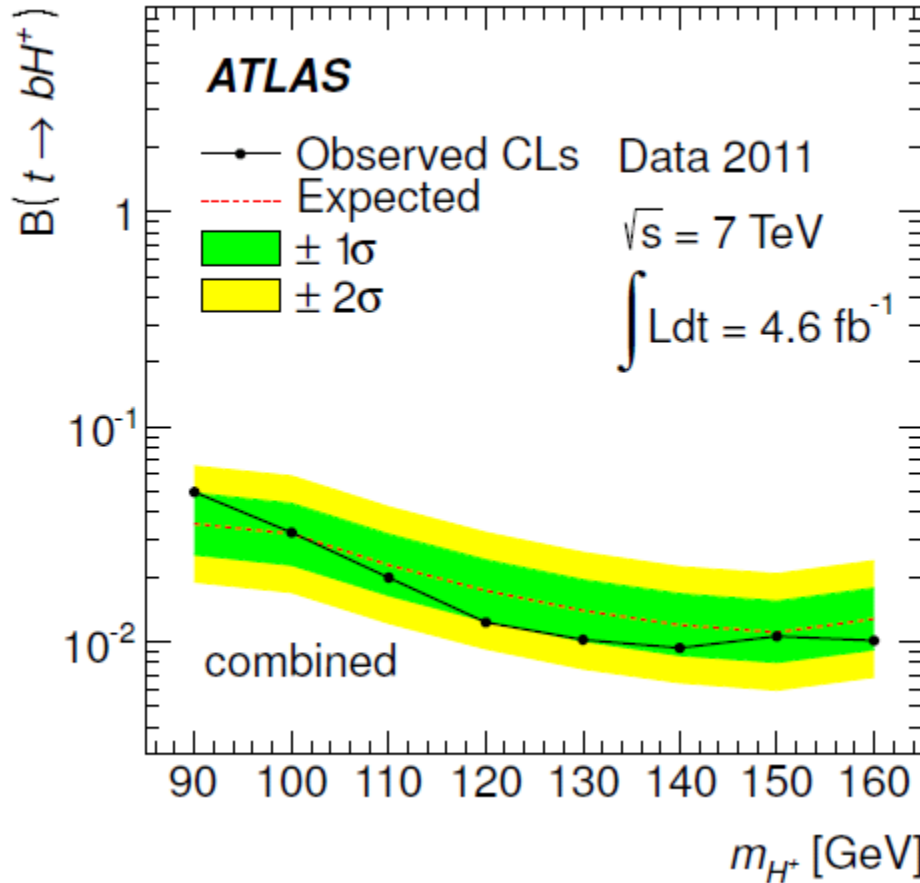
1. $bbWH \rightarrow bb(qq)(\tau^l \nu)$... = 1lep, ≥ 4 jets (with ≥ 2 b-jets), $MET > 40$ GeV
2. $bbWH \rightarrow bb(l\nu)(\tau^h \nu)$... = 1lep, = 1 τ^h , ≥ 2 jets (≥ 1 b-jet)
3. $bbWH \rightarrow bb(qq)(\tau^h \nu)$... = 1 τ^h , ≥ 4 jets (with ≥ 1 b-jet), no e/μ , $MET > 65$ GeV



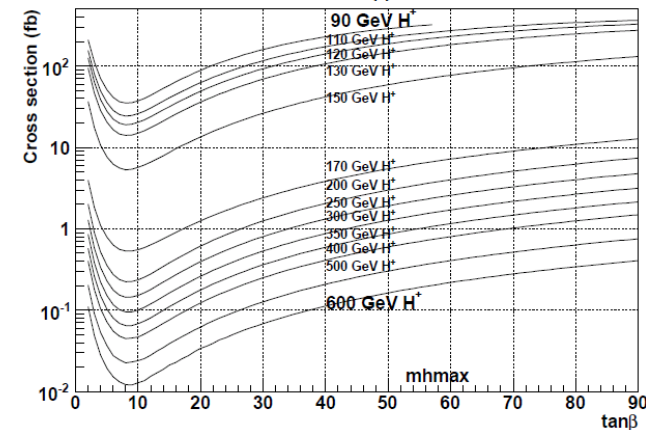
Had^WHad ^{τ} が最も感度がある。
Lep^WHad ^{τ} 解析に改善の余地がある？



ATLAS Light $H^\pm \rightarrow \tau \nu$ (2/2)



Hardon(W)-hatdon(τ)が最も感度がある。
 $B(t \rightarrow bH) = 5\% @ 90 \text{ GeV}, 1\% @ 160 \text{ GeV}$
 MSSM $m_h^{\max} \rightarrow \tan \beta = 6-12 (@ 120 \text{ GeV})$ に穴



ATLAS Light $H^\pm \rightarrow cs$

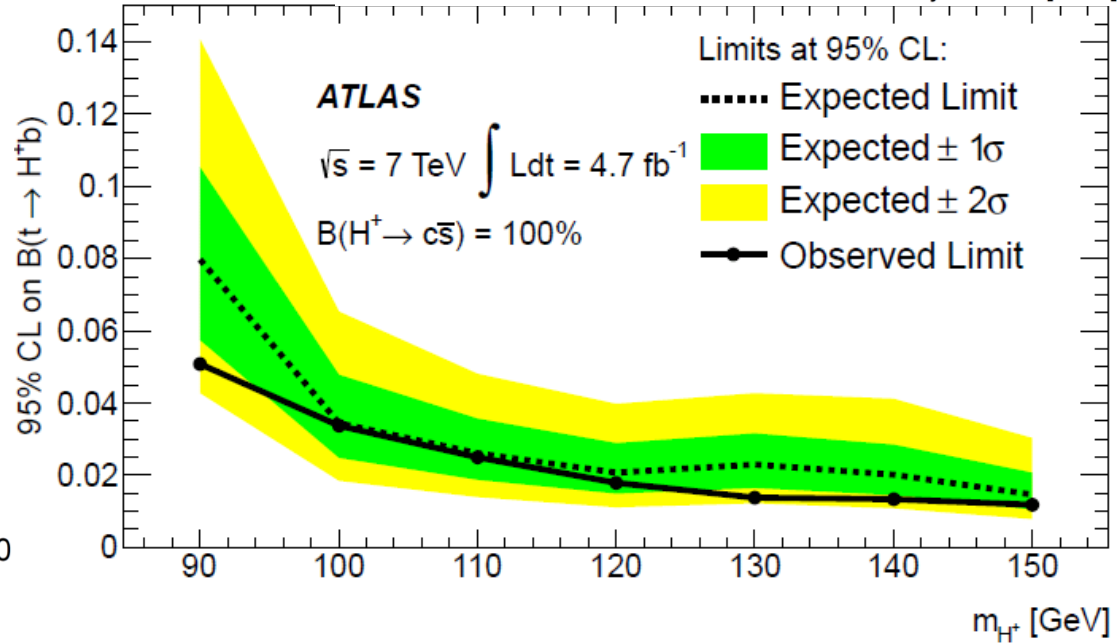
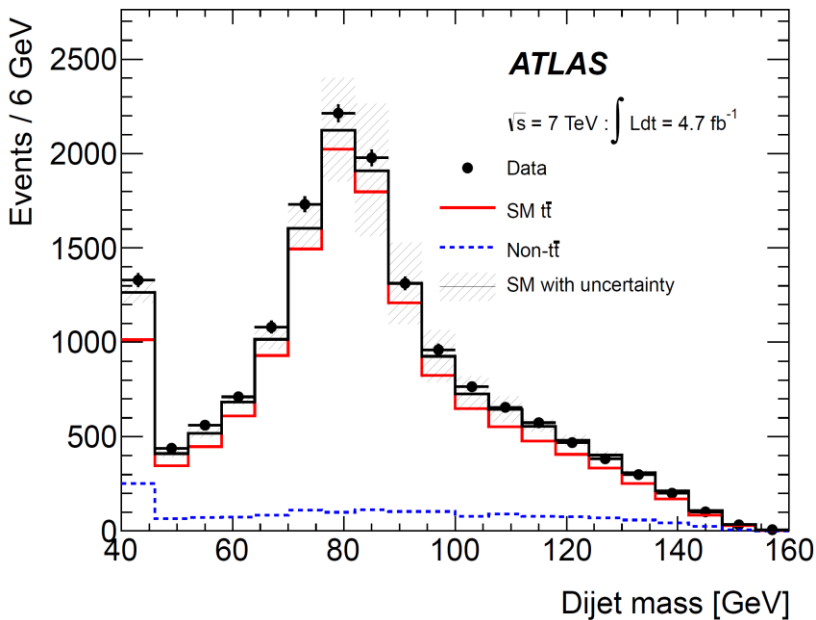
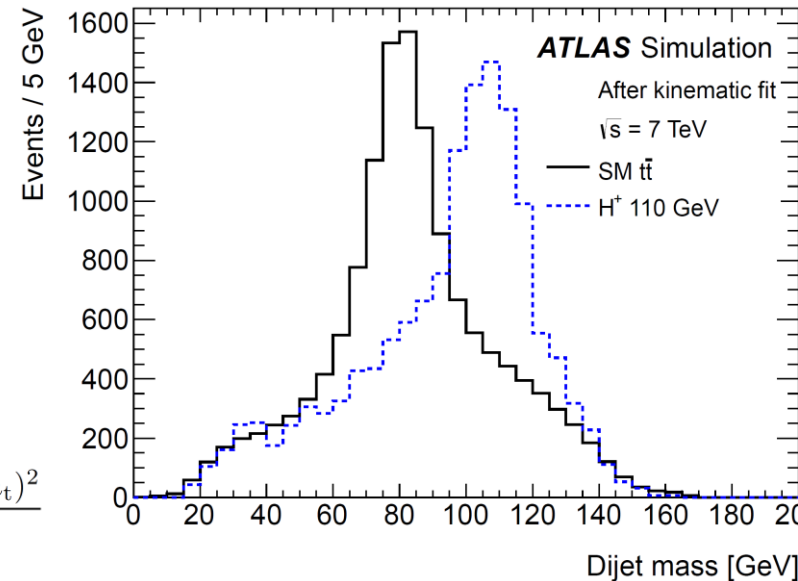
軽て $\tan\beta$ が小さい場合にチャンス

$bbWH \rightarrow bb(qq)(cs)$

- Exact 1 lepton ($p_T^e > 25$ or $p_T^\mu > 20 \text{ GeV}$)
- ≥ 4 jets ($p_T > 25 \text{ GeV}$) including at least 2 b-tagged jets
- $\text{MET} > 30(20) \text{ GeV}$ for elec(muon) channel
- $m_T > 30$ (elec), $m_T + \text{MET} > 60 \text{ GeV}$

Kinematic fit

$$\chi^2 = \sum_{i=\ell, 4\text{jets}} \frac{(p_T^{i,\text{fit}} - p_T^{i,\text{meas}})^2}{\sigma_i^2} + \sum_{j=x,y} \frac{(p_j^{\text{SEJ,fit}} - p_j^{\text{SEJ,meas}})^2}{\sigma_{\text{SEJ}}^2} + \sum_{k=jjb,b\ell\nu} \frac{(m_k - m_t)^2}{\Gamma_t^2}$$



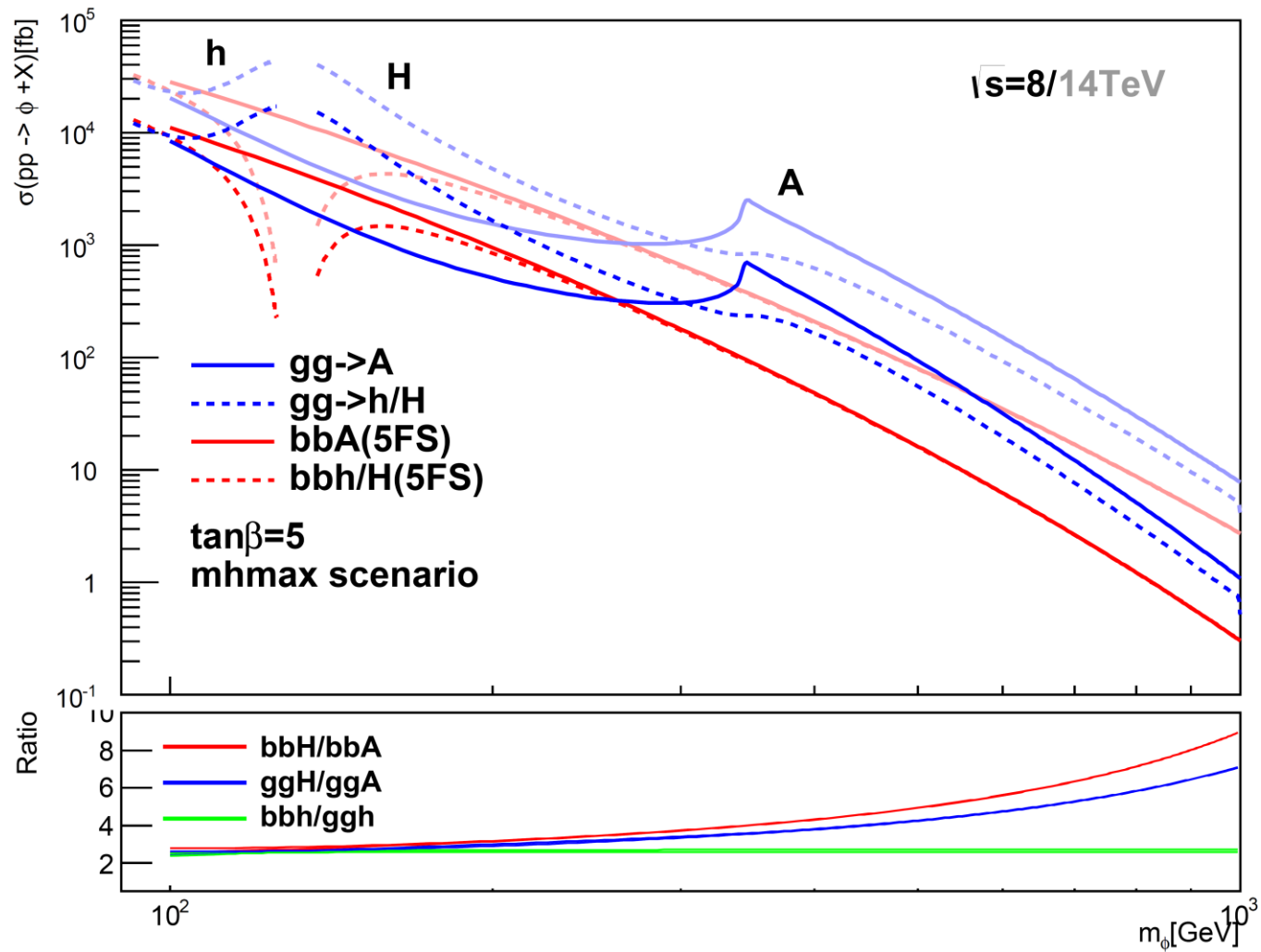
2015年に向けて



25 May, 2013

テラ物理研究会@名古屋大

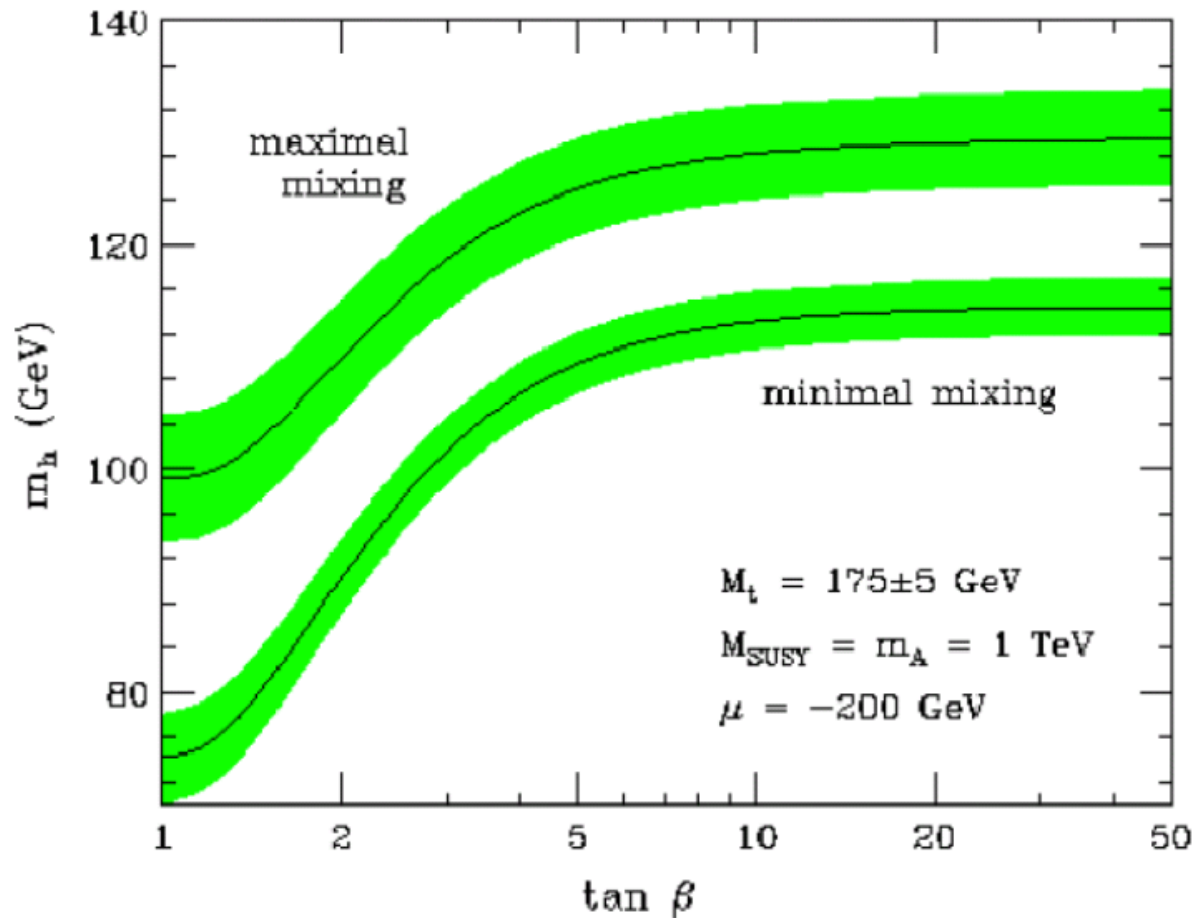
MSSM 生成断面積



生成断面積は～3-10倍程度大きくなる。
モデルに関わらず、重いものを生成しやすくなる。



MSSM with 126GeV Higgs

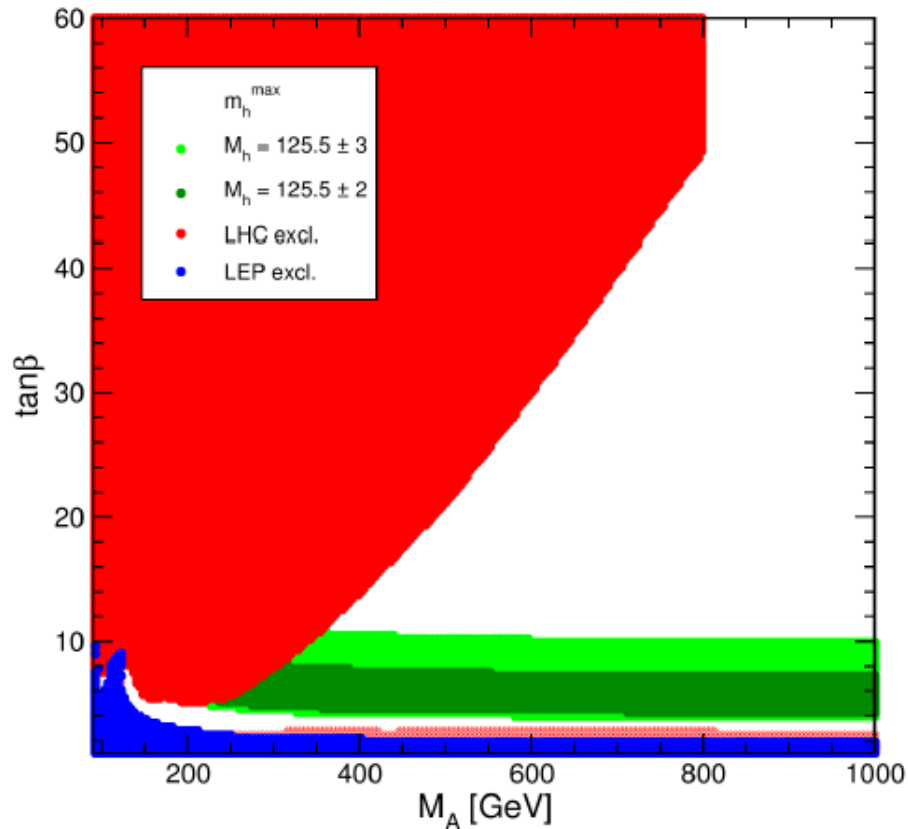


mhmaxシナリオでは $\tan\beta$ が大きくなると126GeVを超える。
 -> 126GeVは認めて、他の部分は最大限許すシナリオの提案



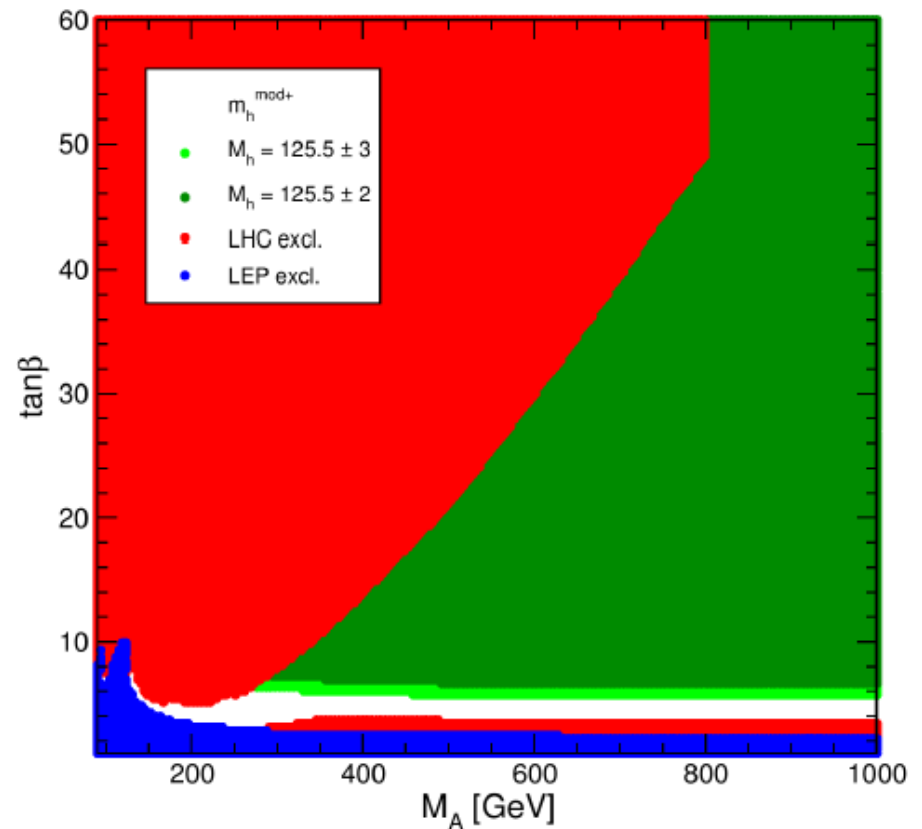
MSSM with 126GeV Higgs

M.Carena et al
arXiv:1302.7033



SUSY direct searchの結果を考慮して
正確には従来の $m_h^{\max}$ とは $m_{\tilde{g}}$ が異なる

Glunion mass 0.8- $\rightarrow$ 1.5TeV



“h”のmassを軽くするため、stop sector
のmixingを小さくした。 $\rightarrow$ 大部分で生き返った

合計7シナリオの提案(ひとつはlow m_H)

LHC Higgs XS WG YR3の一部(予定)



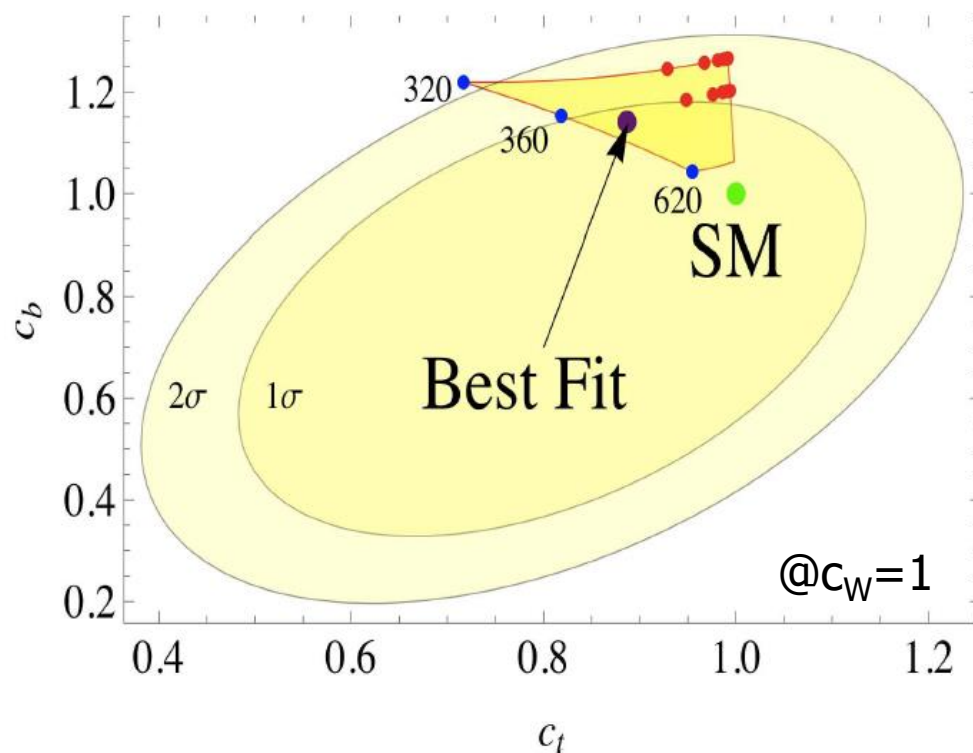
25 May, 2013

テラ物理研究会@名古屋大

~500GeV程度の比較的「軽い」H mass

- ATLAS, CMSの2012年7月中の結果を使った考察結果
- 11個のmuの結果 (ATLAS=5, CMS=5, Tebatron=1)
- (c_t, c_b, c_W) を使ったscan ($c_W > 0$)
 $(-0.908, 0.642, 0.666), (0.886, 1.14, 1.19)$

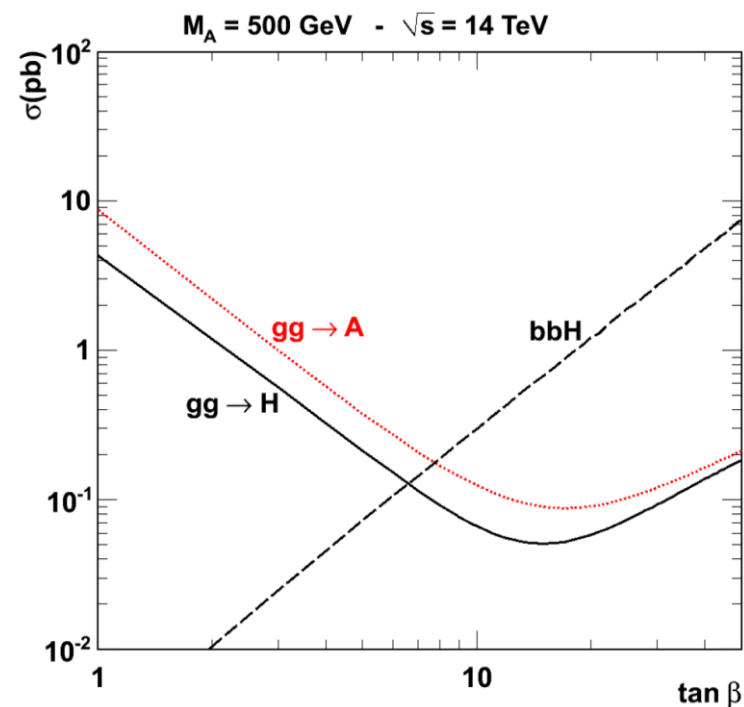
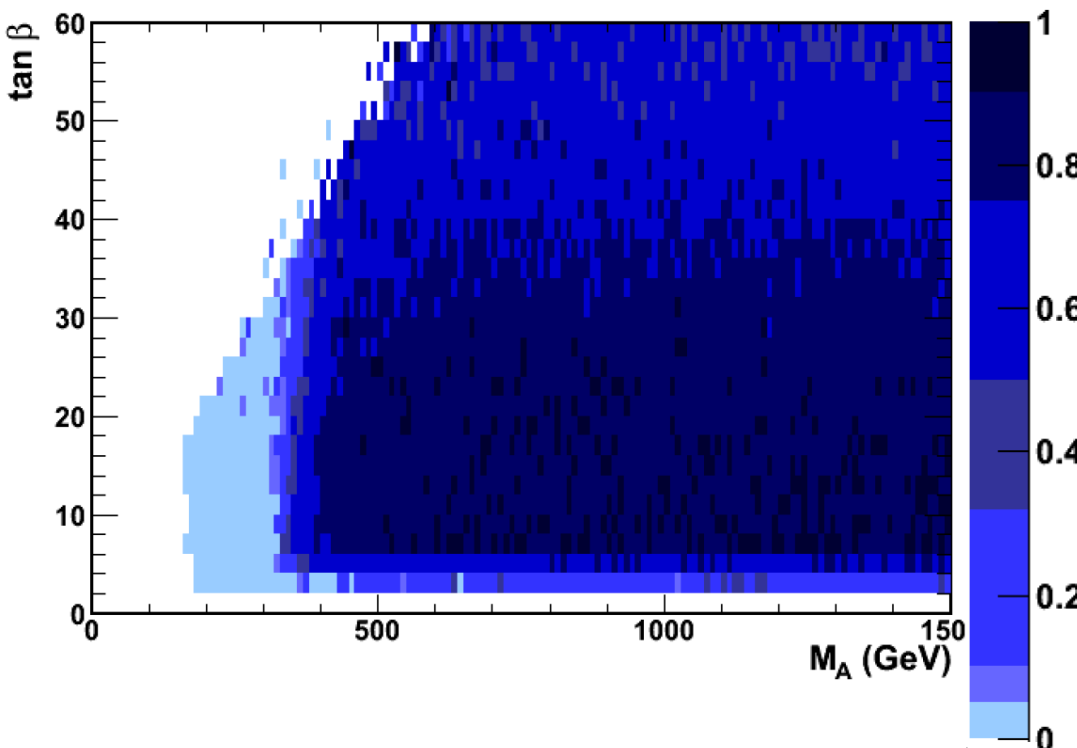
$$c_t^2 = \sigma_{ggF} / \sigma_{ggF}^{SM}$$



$c_t > 0$ の場合の上記のBest FitとMSSMと一致がよい領域
 $320 < m_H < 620 \text{ GeV}, 1 < \tan\beta < 6$



Small $\tan\beta$



SM Higgsの μ 測定(rate)をMSSM "h"と仮定してそれを満足するpMSSMポイントのFractionの図

$\tan\beta < 10$ ではGluon fusionが大きくなる。

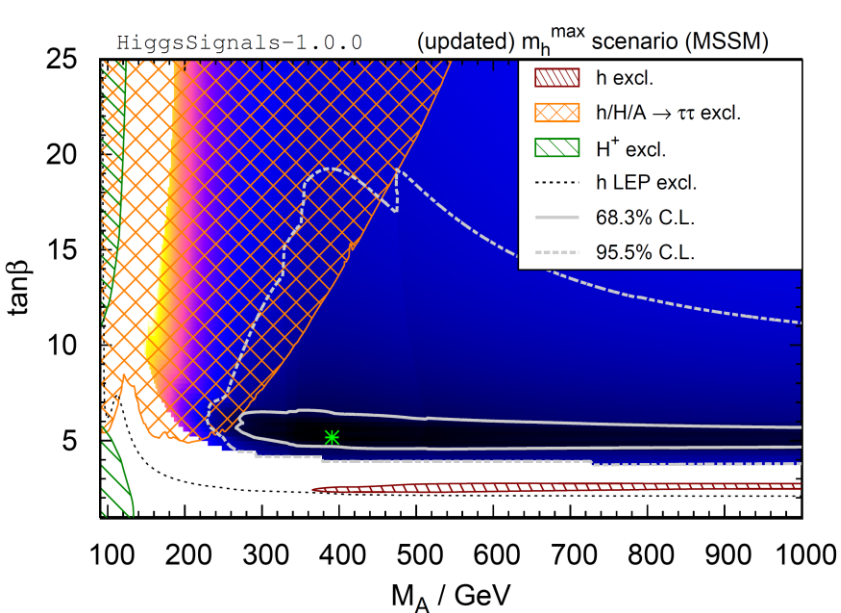
-> 大きい $\tan\beta$ はもちろん、小さい $\tan\beta$ までOK

$\tan\beta$ 「大」の恩恵を受けないチャンネルも重要

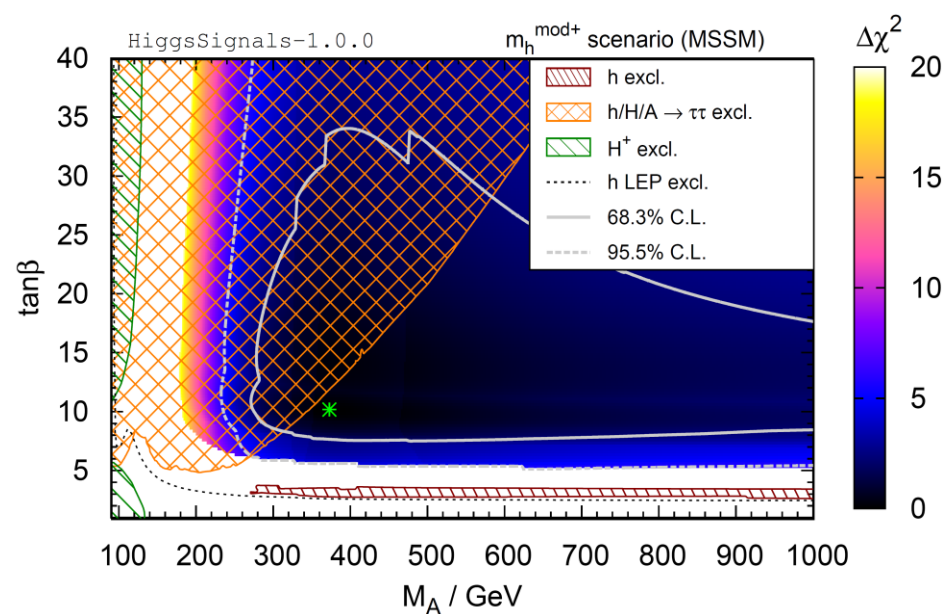


Small $\tan\beta$

もう一例...



(390GeV, 5.3)



(372GeV, 10.3)

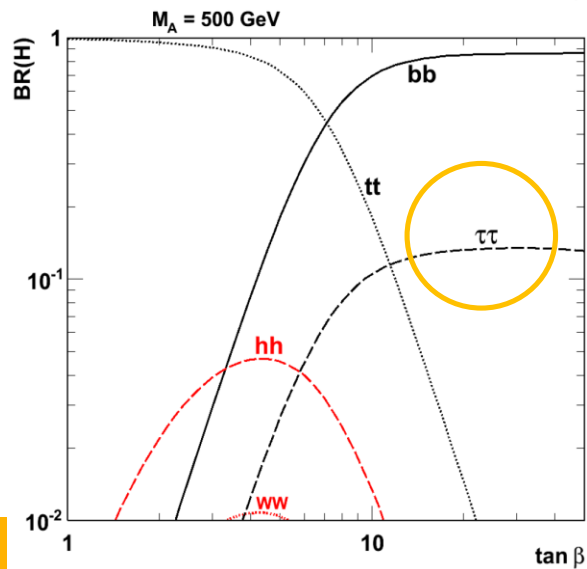
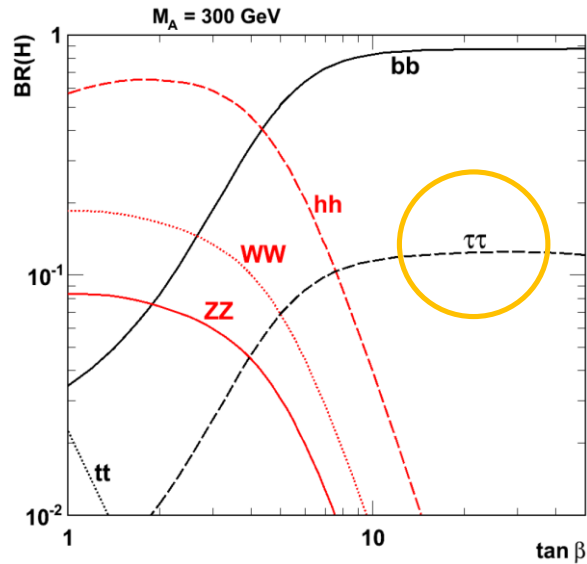
現データ (Higgs mass and rate) は小さい $\tan\beta$ を支持？

小さい $\tan\beta$ 領域ではどんなチャンネルを探すべきか？

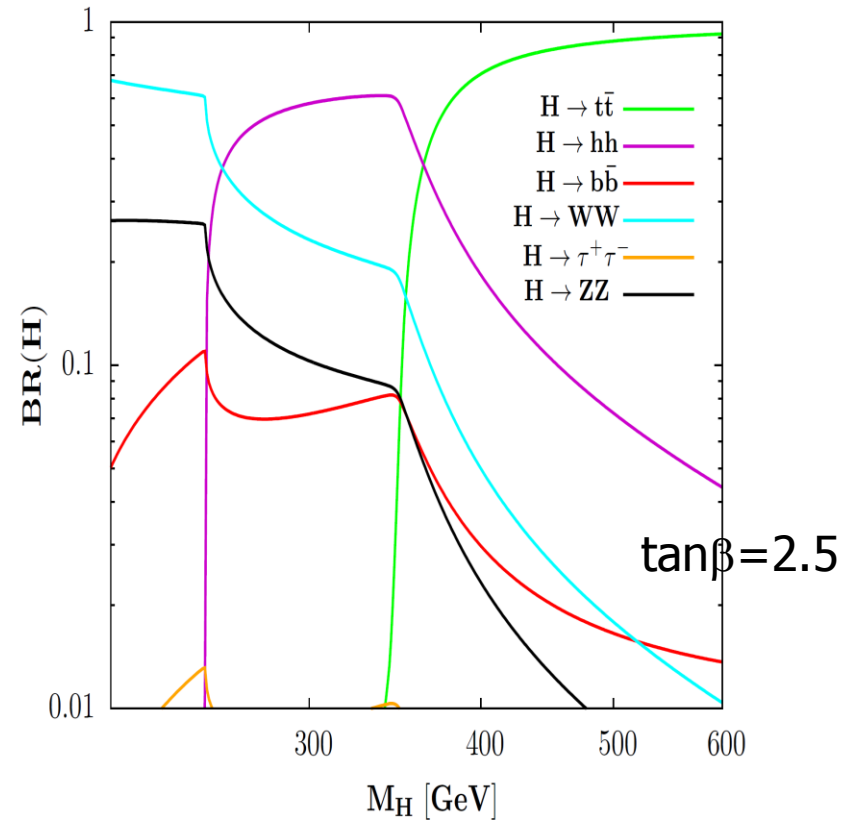


MSSM "H" Higgs

arXiv:1303.7450



arXiv:1304.1787, A.Djouadi and J.Quevillon



Dominantな崩壊

$H \rightarrow hh, WW @ \sim 300-400 \text{ GeV}$

$H \rightarrow t\bar{t} @ > 400 \text{ GeV}$

$hh \text{ なら } b\bar{b}b\bar{b}, b\bar{b}\tau\tau, b\bar{b}\gamma\gamma$

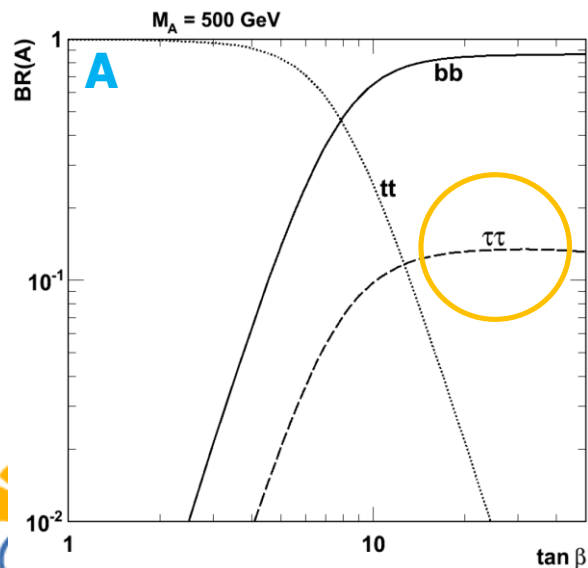
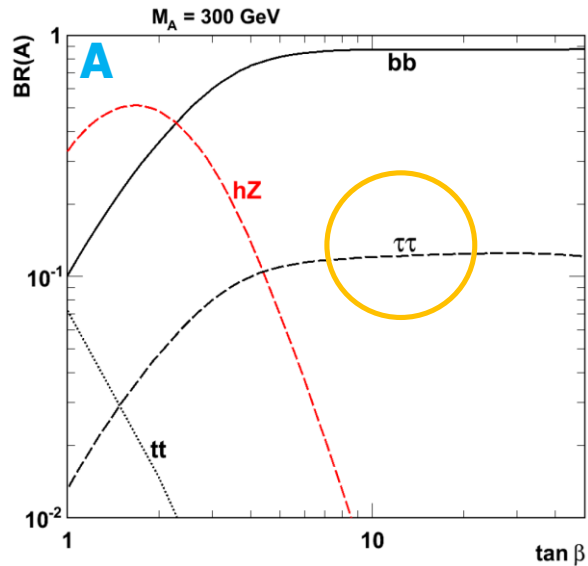
$\tan \beta$ の小さい場合 $\tau\tau$ の BR はかなり小さくなる。

大

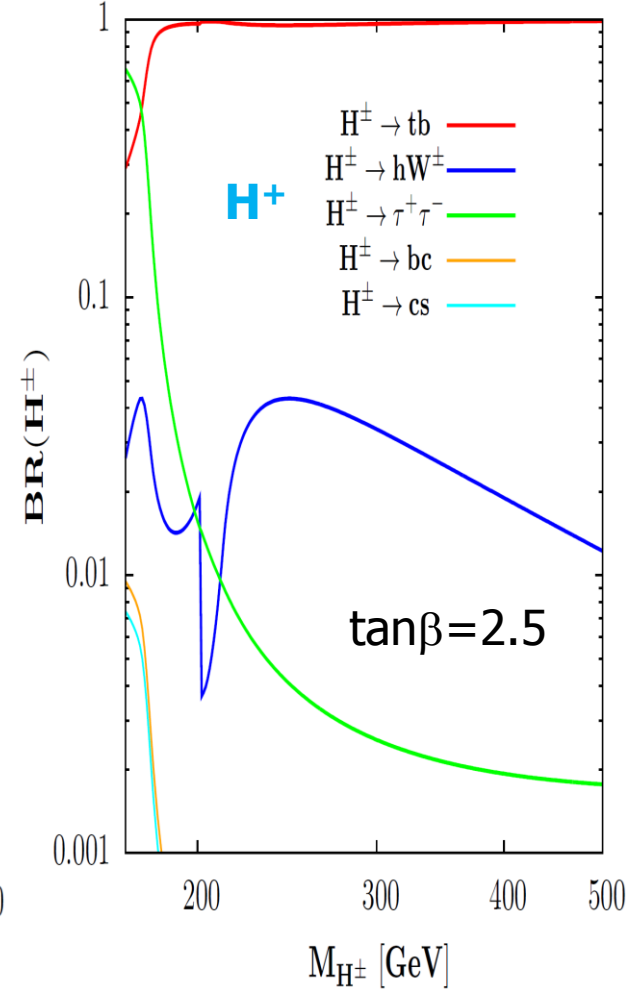
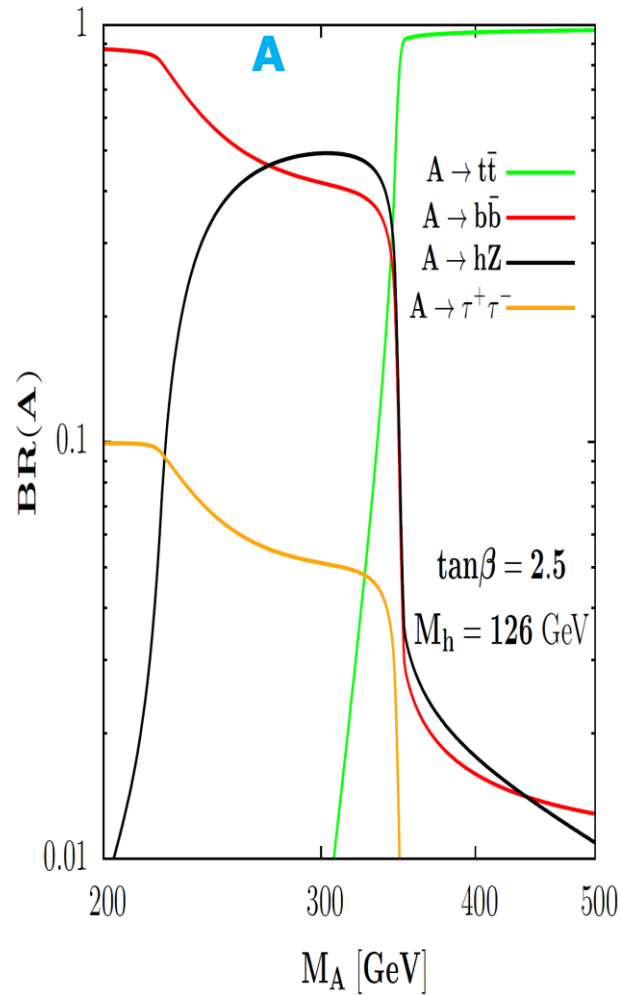


MSSM "A" and "H[±]" Higgs

arXiv:1303.7450



arXiv:1304.1787, A.Djouadi and J.Quevillon



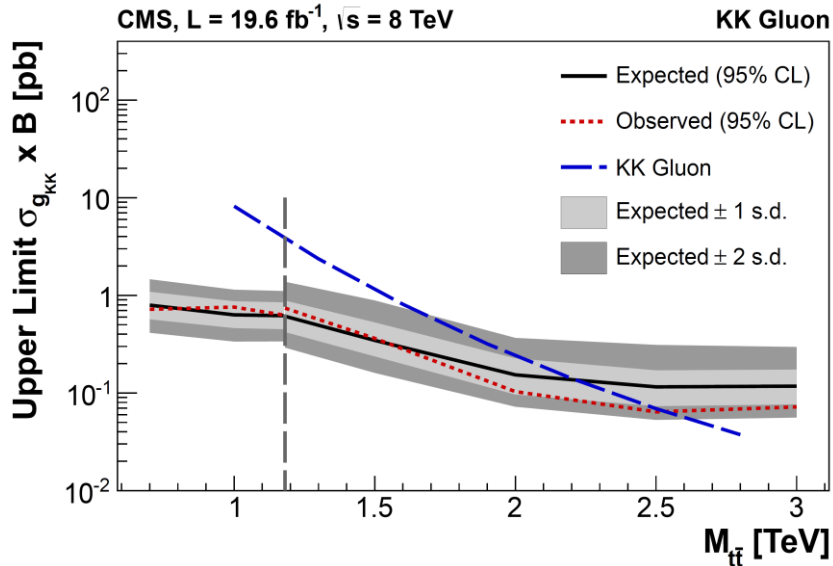
A : hZ (<350GeV), tt (hZ なら $bbll$)

H[±] : hW and tb

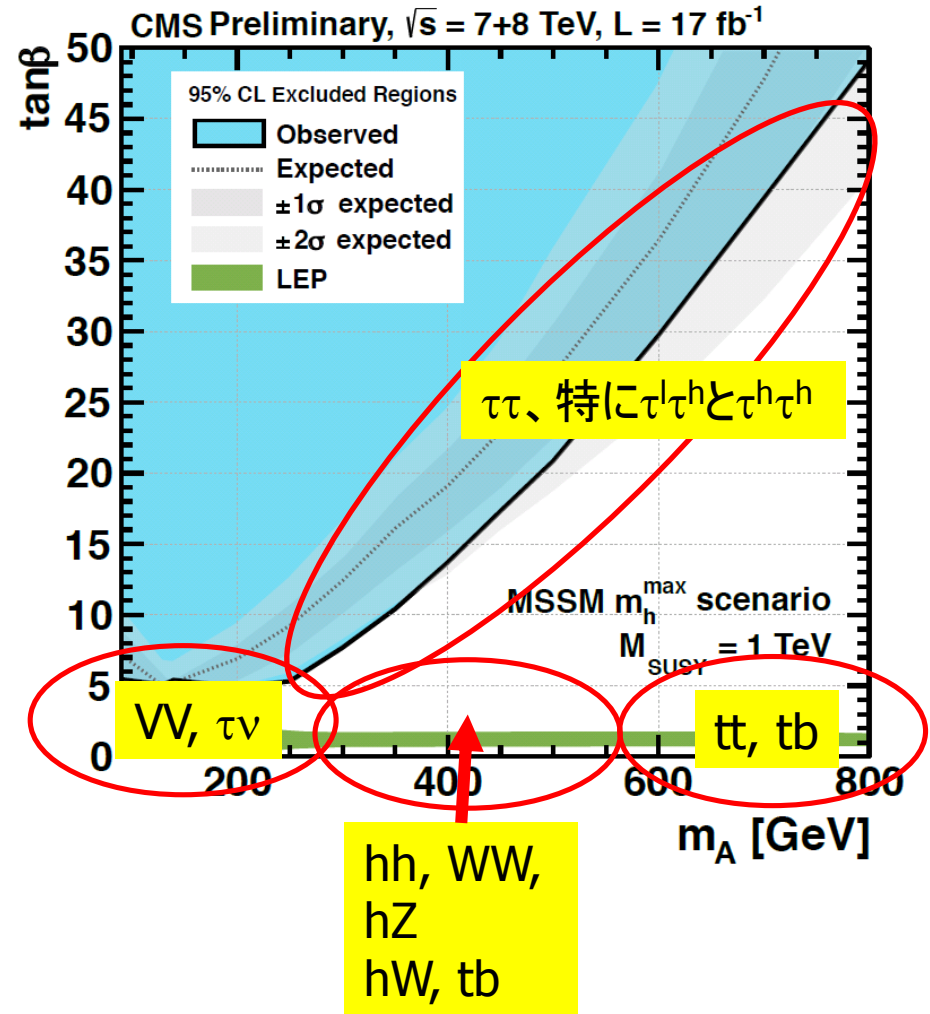
テラ

最後に

Exoticサーチではtt resonance等を
すでに探している。(ATLAS, CMS)



$m(tt)=500\text{GeV}$ あたりでa few pb
 -> まだまだ残っている。
 ($\sim 100\text{fb}@m_H=500\text{GeV}$)



まとめ

- 7TeV+8TeV ATLAS+CMS
 - 兆候は見えていない。
 - MSSM mhmaxシナリオ -> Exclusion region拡大
 - Full 8TeVデータ -> まだまだ解析中
- 126GeV Higgsとの整合性
 - パラメータをいじればOK. (いくつかのシナリオを提案->そのままLHCで採用されるだろう)
- 2015年の展望
 - 生成断面積 -> 3倍以上になる
 - $\tau\tau$ ではカバーできていない領域が面白い -> small $\tan\beta$
- SM Higgsの研究を振り返って
 - 「LHC開始前、14TeV 10fb⁻¹で約5 σ 」 vs 「現在、8TeV 25fb⁻¹相当で約7 σ (expected)」
-> ~50%は改善できるはず。
- 新しいアイデア(+人手@ATLAS) Welcome!



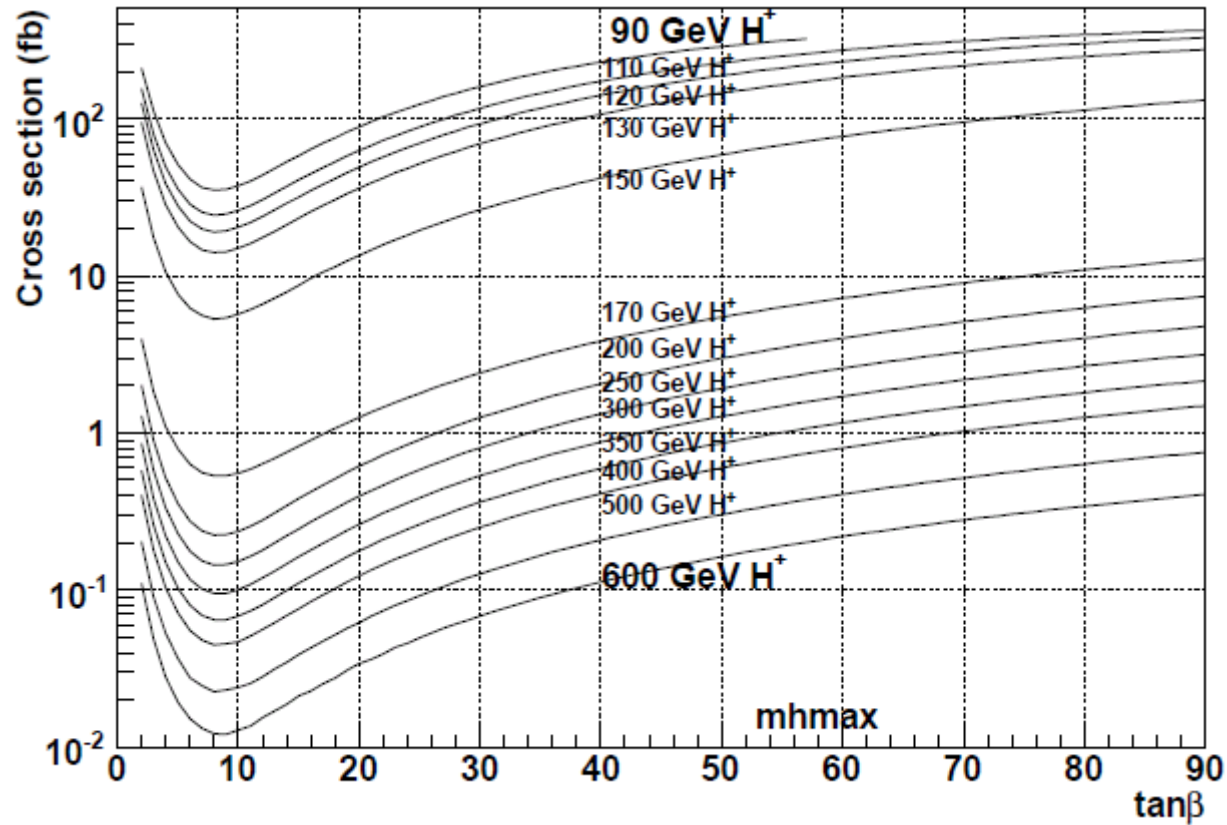
バックアップ



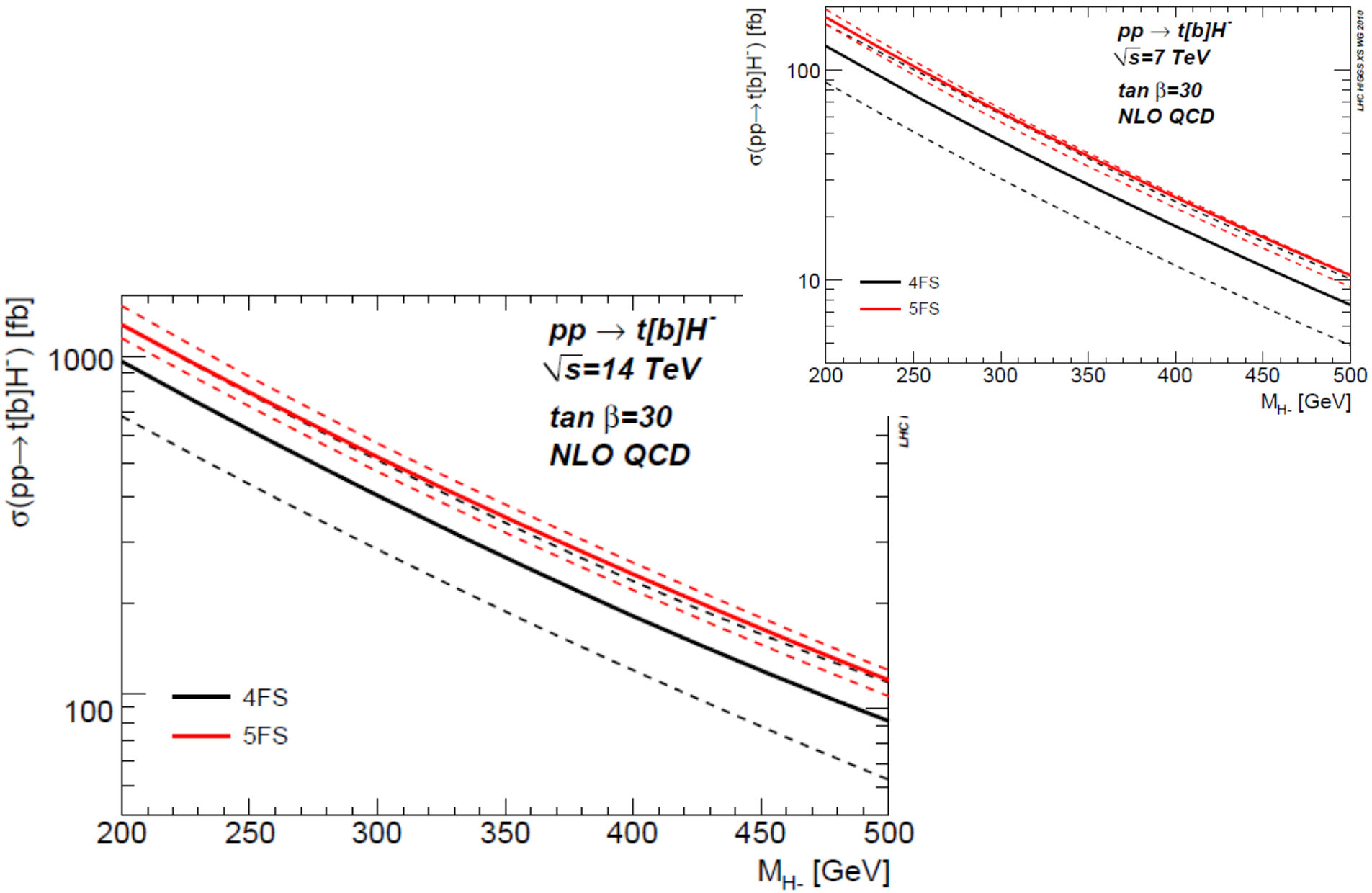
25 May, 2013

テラ物理研究会@名古屋大

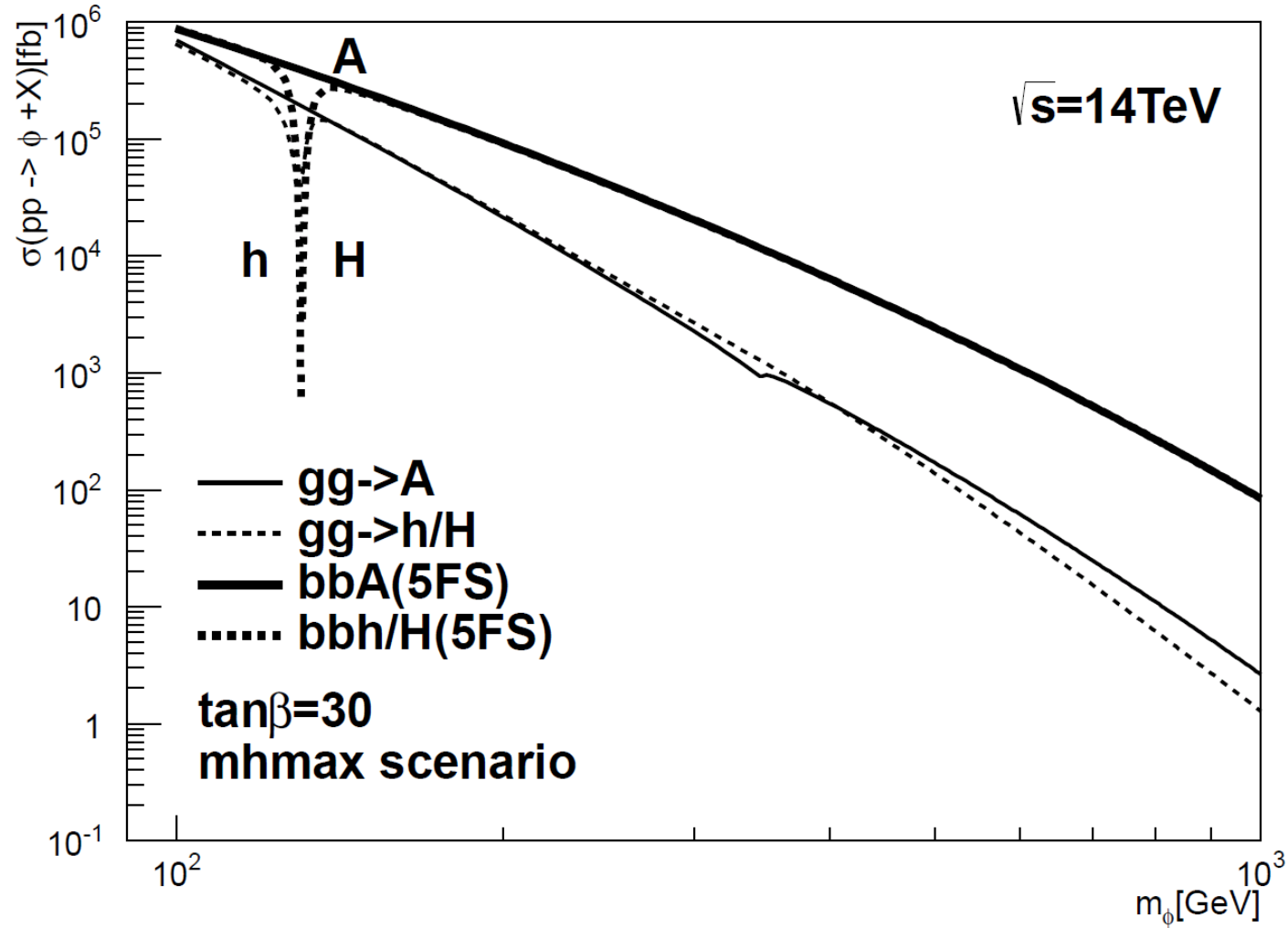
Charged Higgsの生成断面積(14TeV)



MSSM $H^\pm$ 生成断面積



MSSM $h/H/A$ 生成断面積



Parameter	$m_h^{\max}$	$m_h^{\text{mod}+}$	$m_h^{\text{mod}-}$	<i>light stop</i>	<i>light stau</i>	τ - <i>phobic</i>	<i>low-M_H</i>
m_t	173.2	173.2	173.2	173.2	173.2	173.2	173.2
M_A	varied	varied	varied	varied	varied	varied	110
$\tan \beta$	varied	varied	varied	varied	varied	varied	varied
M_{SUSY}	1000	1000	1000	500	1000	1500	1500
$M_{\tilde{l}_3}$	1000	1000	1000	1000	245 (250)	500	1000
$X_t^{\text{OS}}/M_{\text{SUSY}}$	2.0	1.5	-1.9	2.0	1.6	2.45	2.45
$X_t^{\overline{\text{MS}}}/M_{\text{SUSY}}$	$\sqrt{6}$	1.6	-2.2	2.2	1.7	2.9	2.9
A_t	Given by $A_t = X_t + \mu \cot \beta$						
A_b	$= A_t$	$= A_t$	$= A_t$	$= A_t$	$= A_t$	$= A_t$	$= A_t$
A_τ	$= A_t$	$= A_t$	$= A_t$	$= A_t$	0	$= A_t$	$= A_t$
μ	200	200	200	350	500 (450)	2000	varied
M_1	Fixed by GUT relation to M_2						
M_2	200	200	200	350	200 (400)	200	200
$m_{\tilde{g}}$	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
$M_{\tilde{q}_{1,2}}$	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
$M_{\tilde{l}_{1,2}}$	500	500	500	500	500	500	500
$A_{f \neq t, b, \tau}$	0	0	0	0	0	0	0



2HDMのTypeと結合

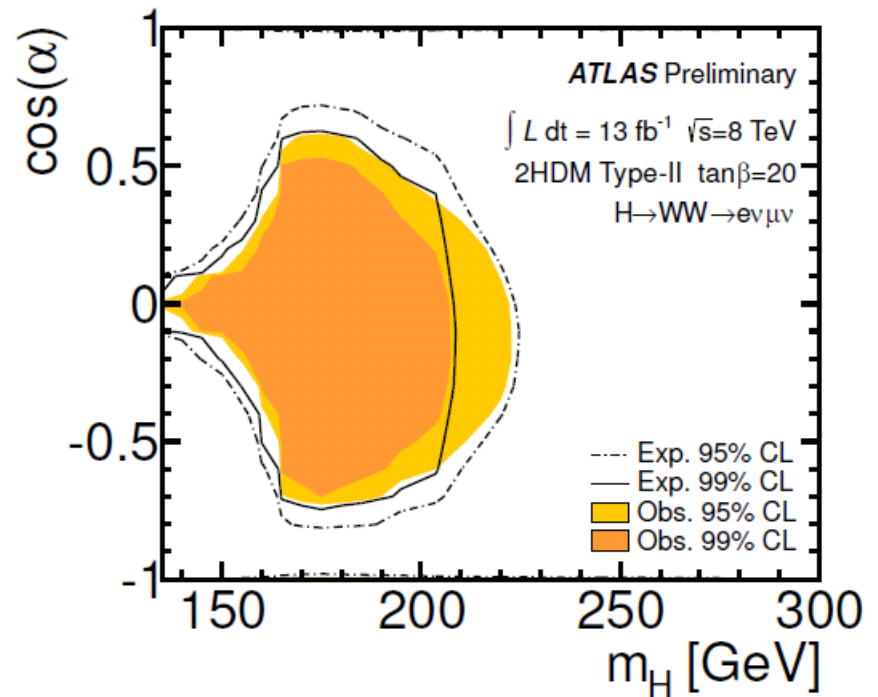
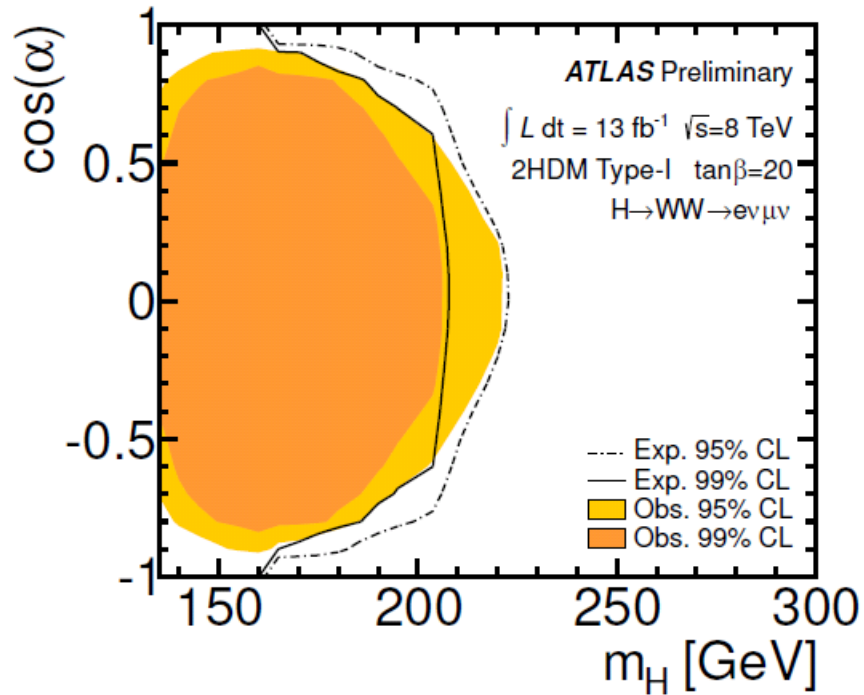
arXiv:1210.0559

$y_{2\text{HDM}}/y_{\text{SM}}$	2HDM I	2HDM II	2HDM III	2HDM IV
hVV	$\sin(\beta - \alpha)$	$\sin(\beta - \alpha)$	$\sin(\beta - \alpha)$	$\sin(\beta - \alpha)$
hQu	$\cos \alpha / \sin \beta$	$\cos \alpha / \sin \beta$	$\cos \alpha / \sin \beta$	$\cos \alpha / \sin \beta$
hQd	$\cos \alpha / \sin \beta$	$-\sin \alpha / \cos \beta$	$\cos \alpha / \sin \beta$	$-\sin \alpha / \cos \beta$
hLe	$\cos \alpha / \sin \beta$	$-\sin \alpha / \cos \beta$	$-\sin \alpha / \cos \beta$	$\cos \alpha / \sin \beta$
HVV	$\cos(\beta - \alpha)$	$\cos(\beta - \alpha)$	$\cos(\beta - \alpha)$	$\cos(\beta - \alpha)$
HQu	$\sin \alpha / \sin \beta$	$\sin \alpha / \sin \beta$	$\sin \alpha / \sin \beta$	$\sin \alpha / \sin \beta$
HQd	$\sin \alpha / \sin \beta$	$\cos \alpha / \cos \beta$	$\sin \alpha / \sin \beta$	$\cos \alpha / \cos \beta$
HLe	$\sin \alpha / \sin \beta$	$\cos \alpha / \cos \beta$	$\cos \alpha / \cos \beta$	$\sin \alpha / \sin \beta$
AVV	0	0	0	0
AQu	$\cot \beta$	$\cot \beta$	$\cot \beta$	$\cot \beta$
AQd	$-\cot \beta$	$\tan \beta$	$-\cot \beta$	$\tan \beta$
ALe	$-\cot \beta$	$\tan \beta$	$\tan \beta$	$-\cot \beta$

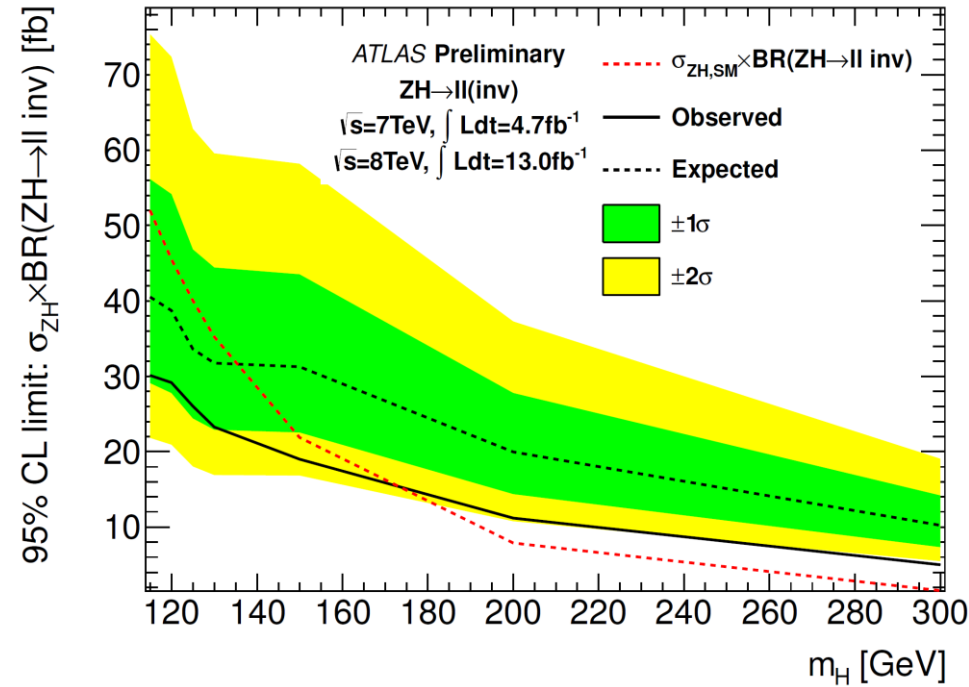
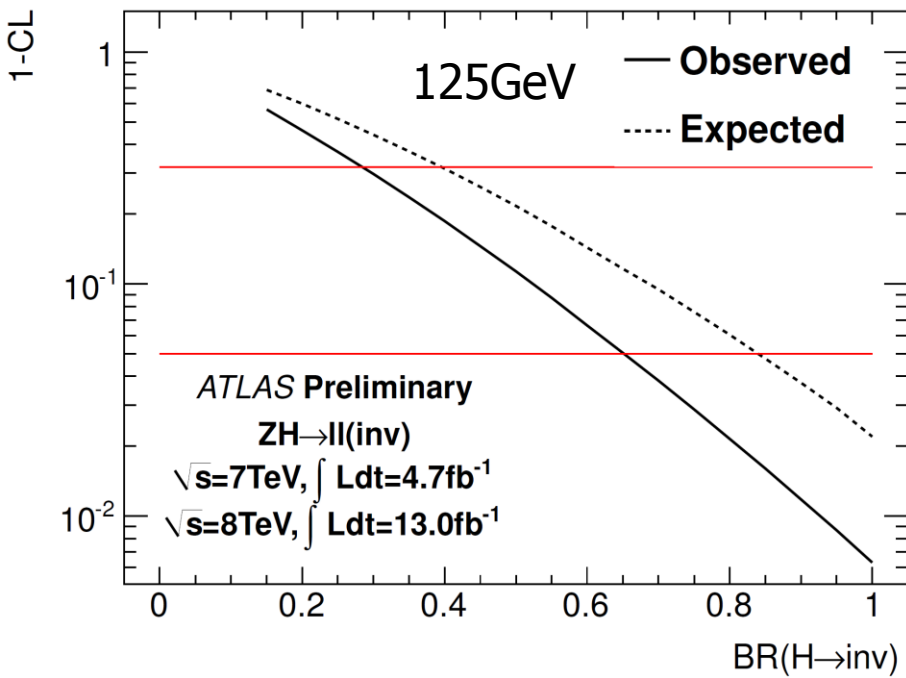


2HDM with $WW \rightarrow e\nu\mu\nu$

ATLAS-CONF-2013-027

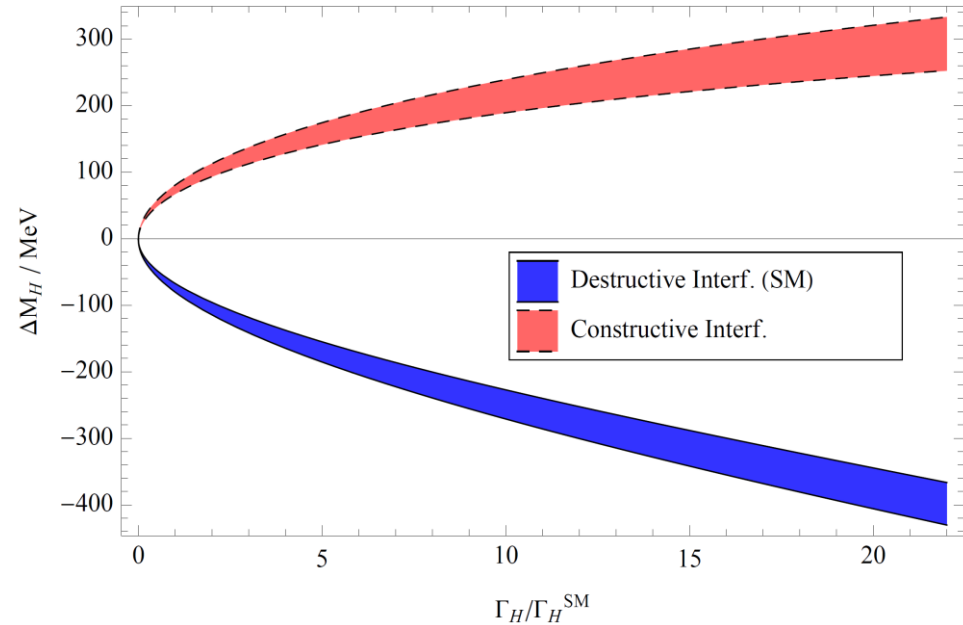
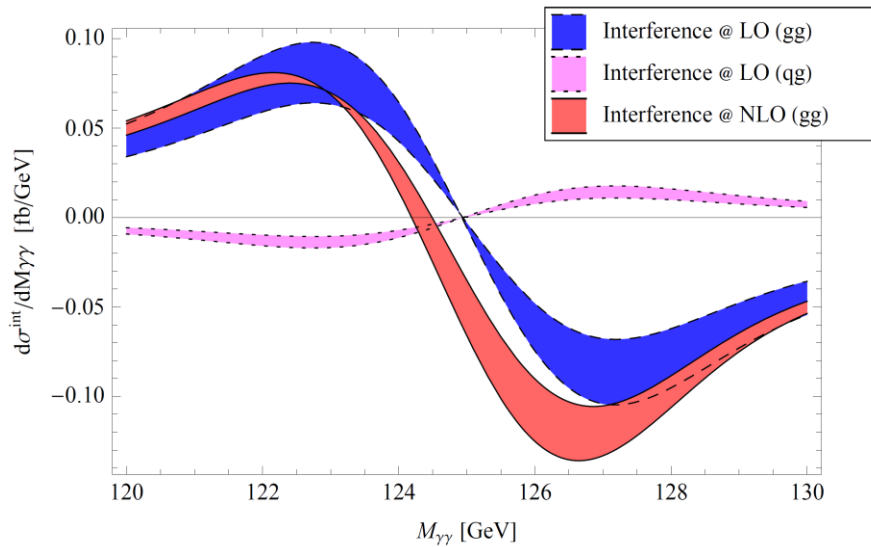


ZH invisible



arXiv:1305.3854

Bounding the Higgs Boson Width Through Interferometry

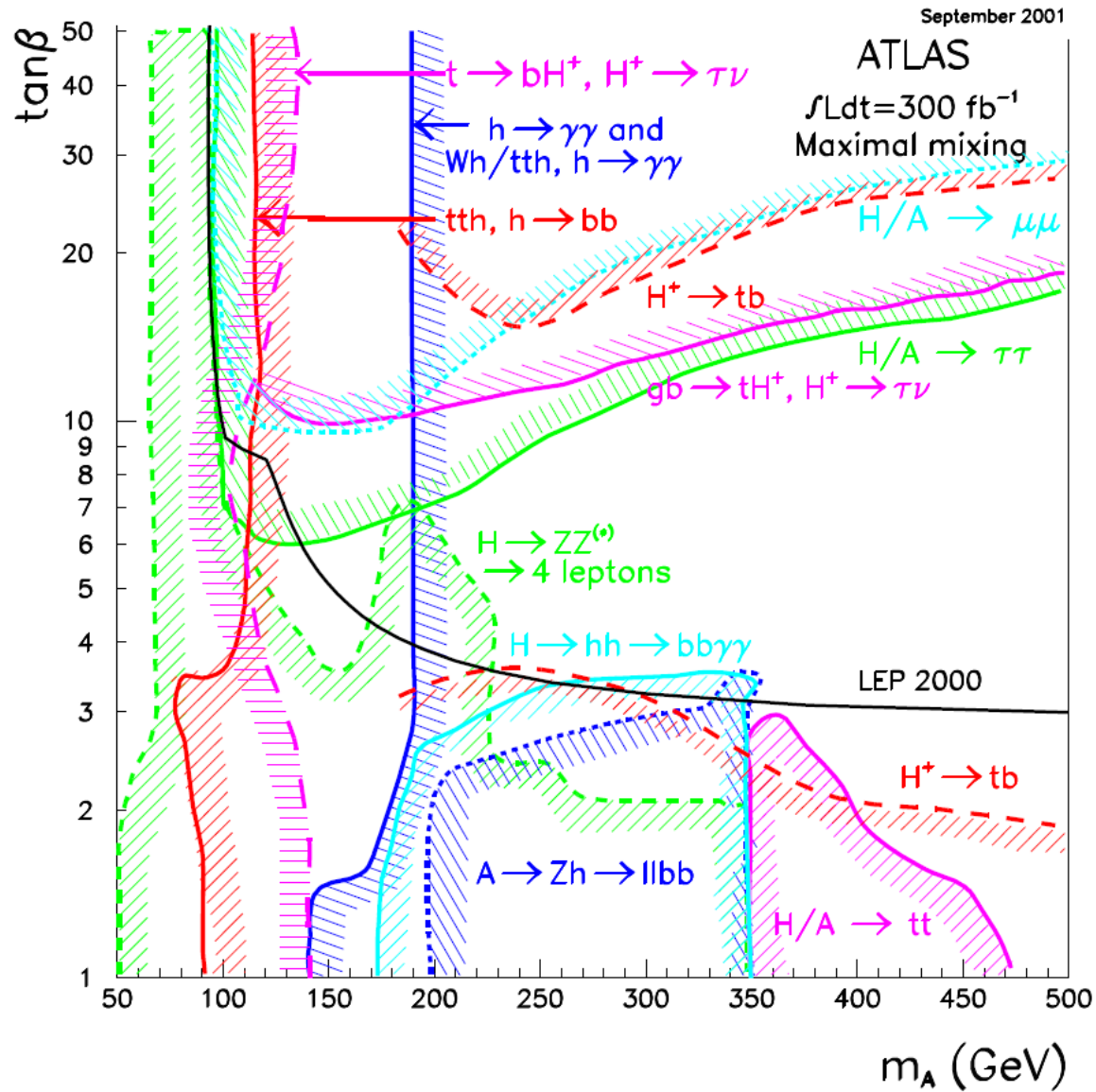
Lance J. Dixon¹ and Ye Li¹

25 May, 2013

テラ物理研究会@名古屋大

14TeV

非常に古い結果(MC)



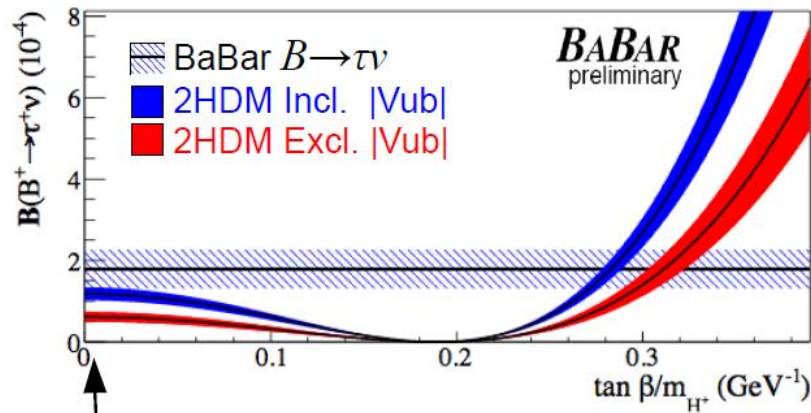
25 May, 2013

TeV物理研究会@名古屋大

Type-II 2HDM

arXiv:1207.0698
and
PRL 109, 101802 (2012)

$$\mathcal{B}(B \rightarrow \tau \nu)_{2\text{HDM}} = \mathcal{B}_{\text{SM}} \times \left(1 - \tan^2 \beta \frac{m_B^2}{m_H^2}\right)^2$$



Standard Model at 0

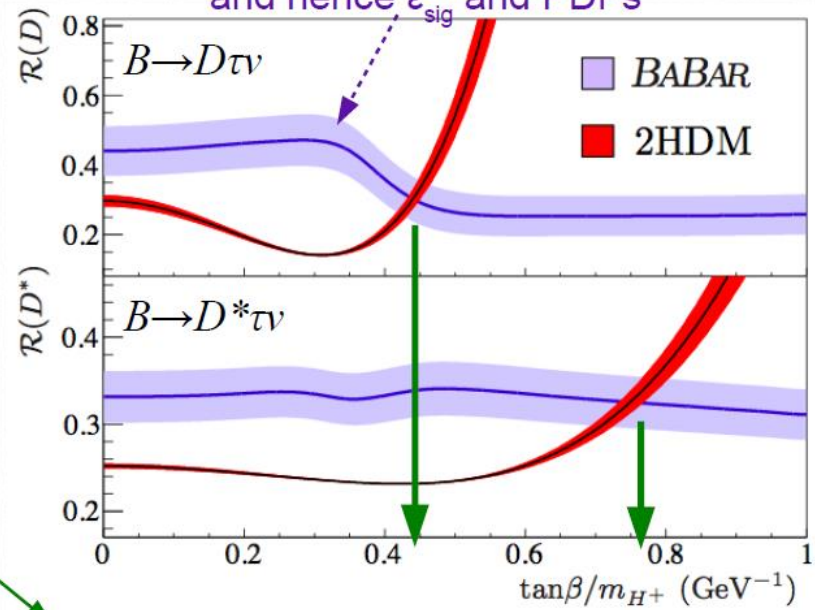
Combination of $\mathcal{R}(D)$ and $\mathcal{R}(D^*)$
excludes Type-II 2HDM
in **full $\tan\beta$ - m_H parameter space**
with probability of **>99.8%** ($\sim 3.1\sigma$)
(with $m_{H^+} > 15$ GeV,
but $m_{H^+} \lesssim 300$ GeV already excluded by $B \rightarrow X_s \gamma$)

Scalar Helicity Angle:

$$H_{0t}^{2\text{HDM}} \approx H_{0t}^{\text{SM}} \times \left(1 - \frac{\tan^2 \beta}{m_{H^+}^2} \frac{q^2}{1 \mp m_c/m_b}\right)$$

+ for $B \rightarrow D^* \tau \nu$, - for $B \rightarrow D \tau \nu$

2HDM affects $B \rightarrow D^{(*)} \tau \nu$ fit variables,
and hence ϵ_{sig} and PDFs

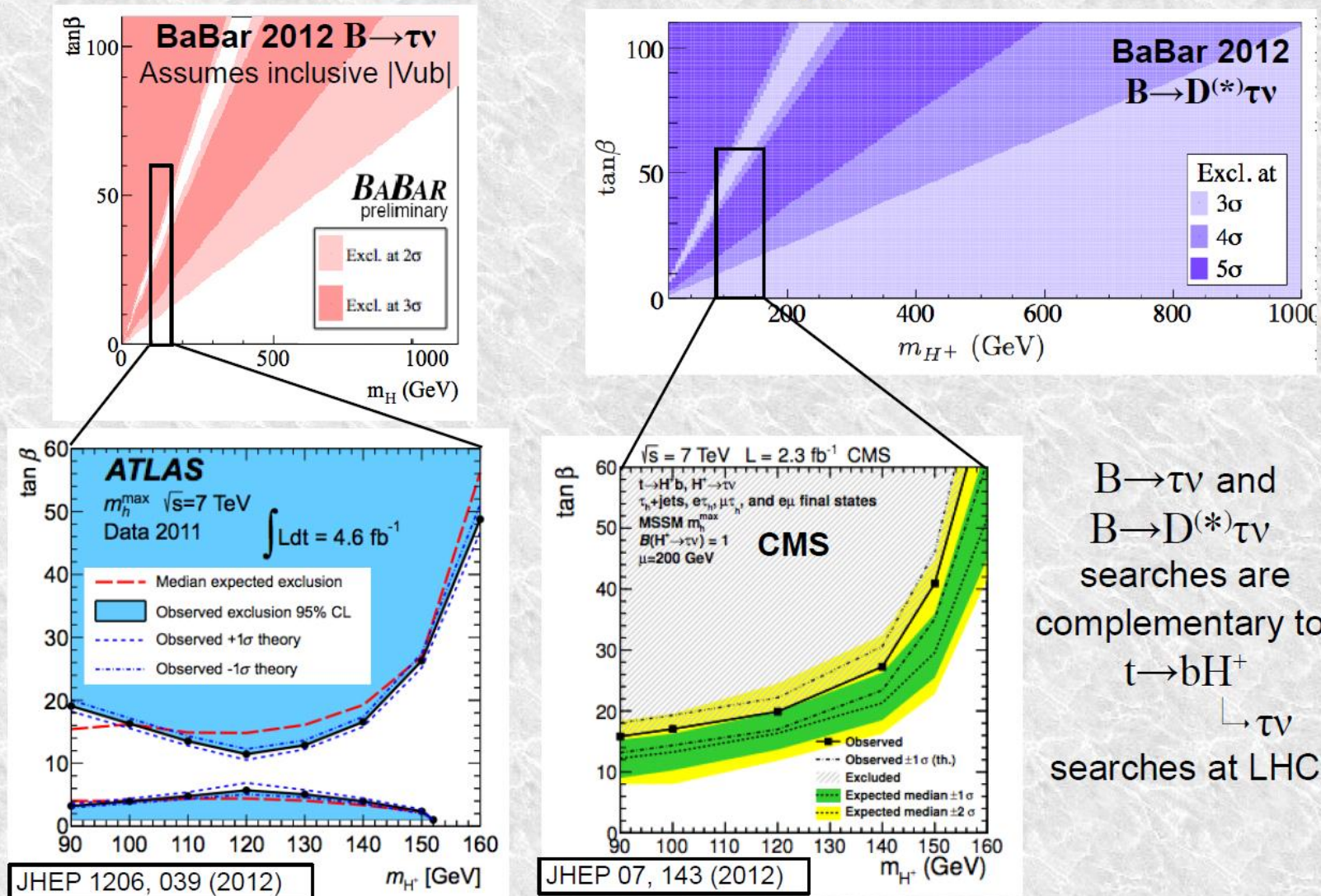


$$\mathcal{R}(D) \Rightarrow \tan \beta / m_H = 0.44 \pm 0.02$$

$$\mathcal{R}(D^*) \Rightarrow \tan \beta / m_H = 0.75 \pm 0.04$$



Exclusion reach of Type-II 2HDM



$B \rightarrow \tau \nu$ and
 $B \rightarrow D^{(*)} \tau \nu$
searches are
complementary to
 $t \rightarrow b H^+$
 $\downarrow \tau \nu$
searches at LHC

Aspen 2013

Dana Lindemann - BaBar

12

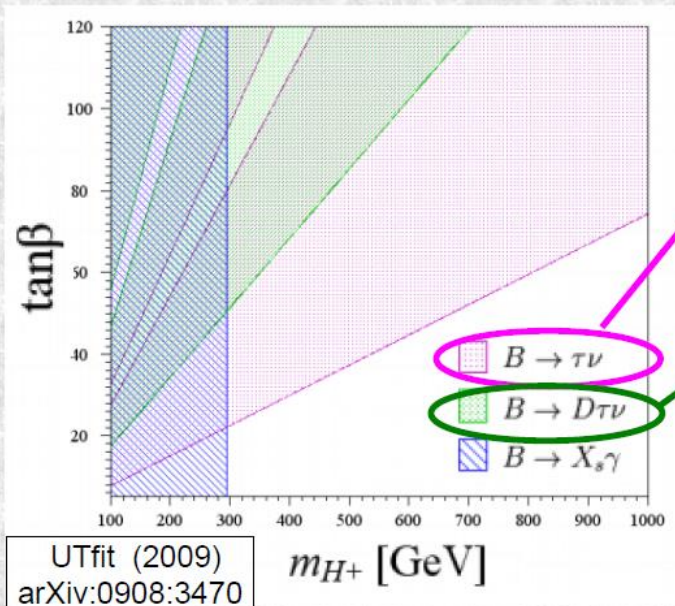


25 May, 2013

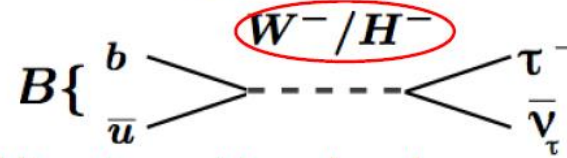
テラ物理研究会@名古屋大

$B \rightarrow \tau \nu$ and $B \rightarrow D^{(*)} \tau \nu$ Motivation

- H^+ predicted by many New Physics scenarios
 - e.g. Type-II Two-Higgs Doublet Model (2HDM) of MSSM
- $H^+ - \ell$ coupling $\propto m_\ell$

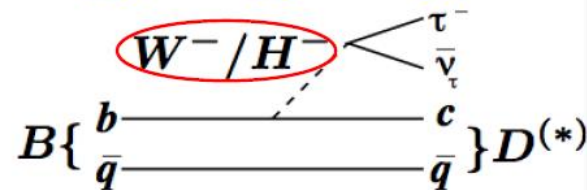


$B \rightarrow \tau \nu$



- H^+ enters at tree-level
- Theor. uncertainty: $\sim 25\%$ (V_{ub} , f_B)
- BF $\approx 0.01\%$
- Helicity suppressed

$B \rightarrow D^{(*)} \tau \nu$

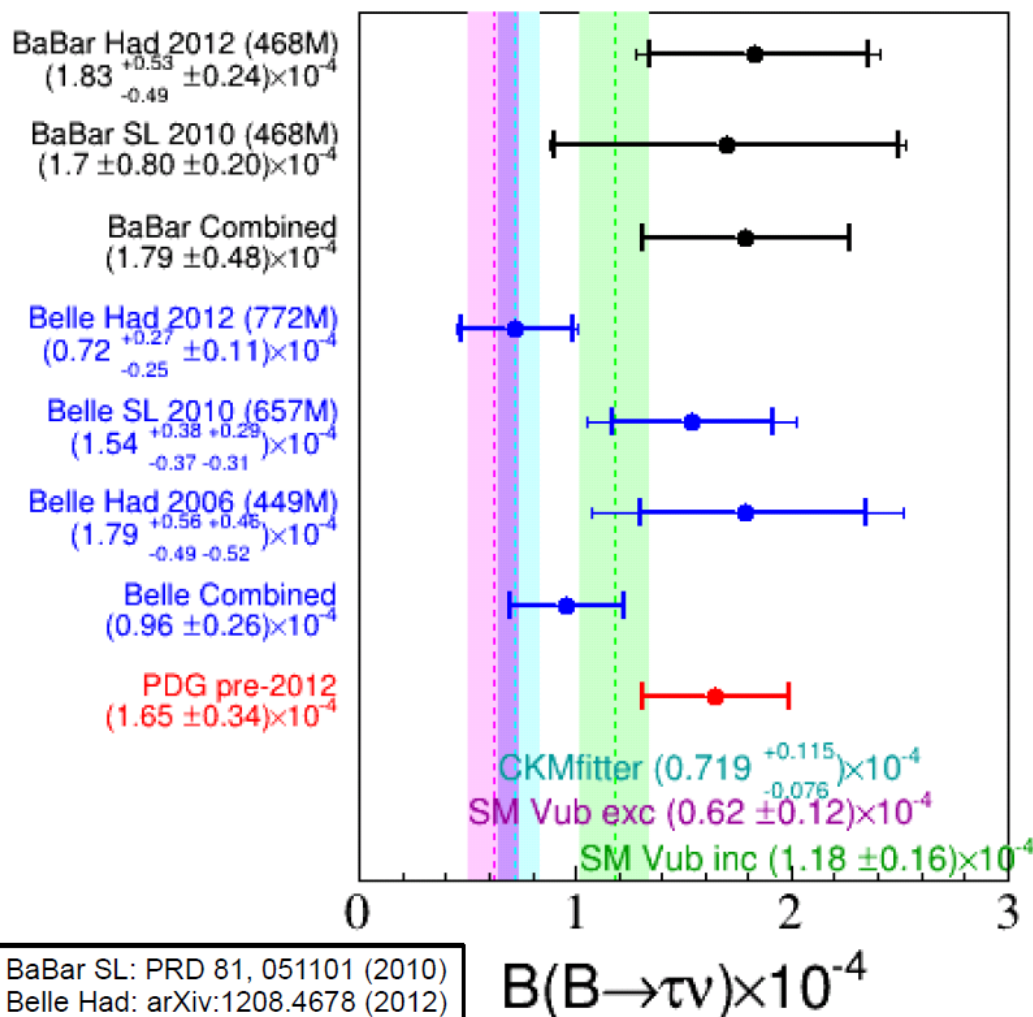


- H^+ enters at tree-level
- Theor. uncertainty $\sim 5\%$ (FFs, V_{cb})
- BF $\approx 2\%$
- 3-body decays: additional constraints/observables



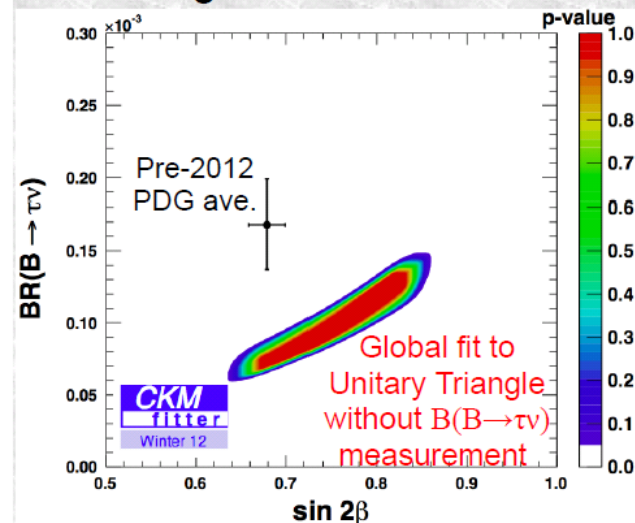
$B^+ \rightarrow \tau^+ \nu$ Results in Context

arXiv:1207.0698
Submitted to PRD



These hadronic tag results are combined with BaBar 2010 SL tag results

Results are in excess of SM values and with other Unitarity Triangle measurements



Answers from Belle II?

BaBar SL: PRD 81, 051101 (2010)
 Belle Had: arXiv:1208.4678 (2012)
 Belle SL: PRD 82, 071101 (2010)
 Belle Had: PRL 97, 251802 (2006)

Aspen 2013

Dana Lindemann - BaBar

7



25 May, 2013

テラ物理研究会@名古屋大

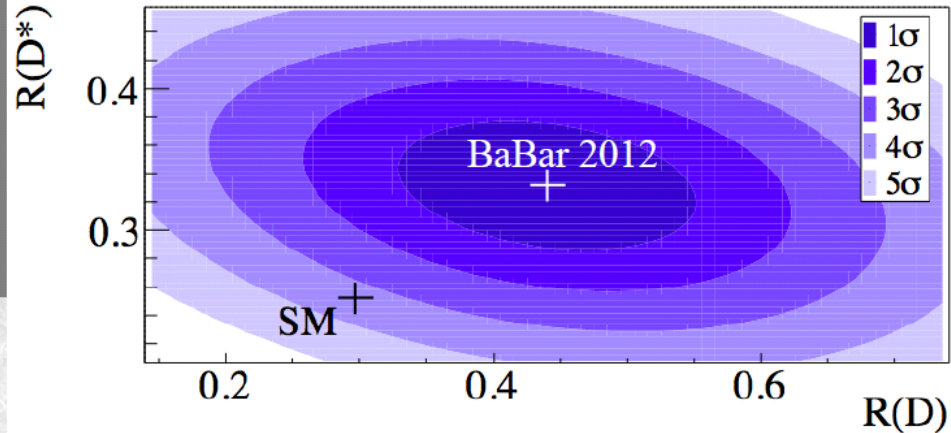
$B \rightarrow D^{(*)} \tau \nu$ Results II

PRL 109, 101802
(2012)

$$R(D) = \begin{cases} 0.440 \pm 0.072 & \text{BaBar} \\ 0.297 \pm 0.017 & \text{SM} \end{cases} \quad 2.0\sigma$$

$$R(D^*) = \begin{cases} 0.332 \pm 0.030 & \text{BaBar} \\ 0.252 \pm 0.003 & \text{SM} \end{cases} \quad 2.7\sigma$$

- $R(D)$ and $R(D^*)$ are not independent: -27% correlation



Combined deviation from SM: $R(D^{(*)}) = 3.4\sigma$

