



LHCでの湯川結合の測定

田中純一
東大ICEPP



2009/9/7

余剰次元@LHC研究会



内容

- イントロ
 - 発見から(精密)測定へ
- カップリング
 - 生成と崩壊
 - 解析モードのまとめ
- LHCでの結合定数の測定精度
- ATLASの結果
 - CSC Bookからの考察
 - ttH , $H \rightarrow bb$
 - WH , $H \rightarrow bb$
- FermiophobicとGaugephobic
- まとめ



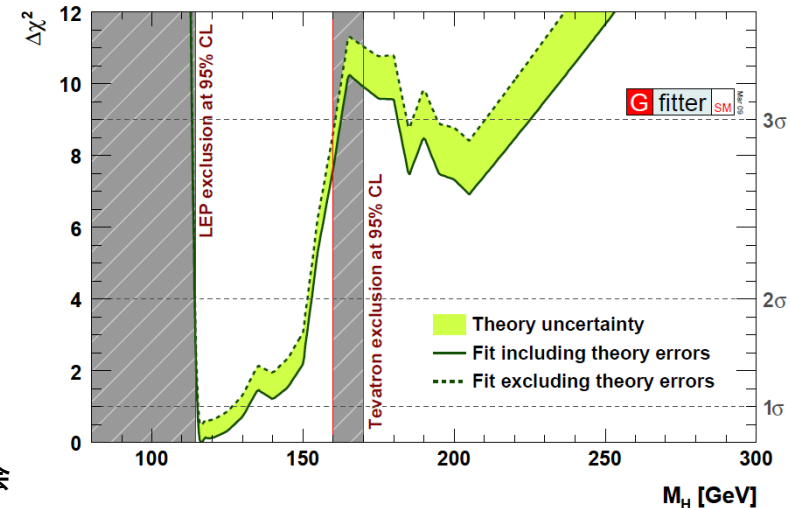
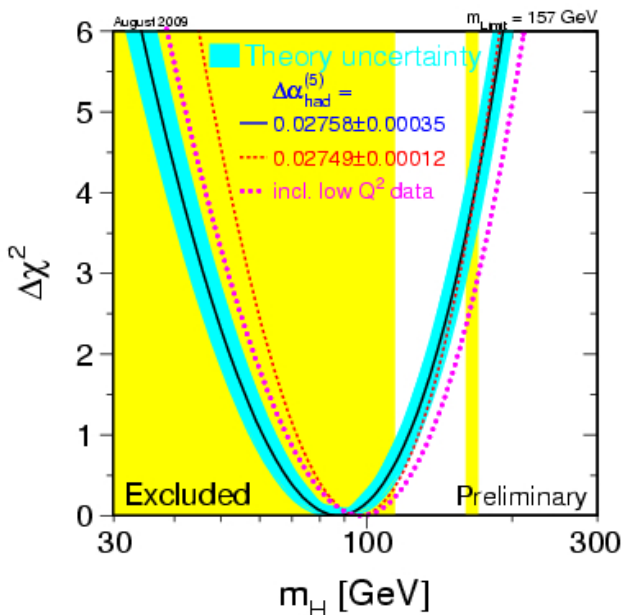


Introduction

- LHCでは“ヒッグス”粒子を発見するだけでなく、発見後きちんと同定する研究も行う。
 - 質量、崩壊幅
 - スピン、結合定数、CPを測定する。特にスピン、結合定数、CPはSMのHiggsならこうなるべし、という値があるので、それらを測定することで実際に観測した“ヒッグス”粒子がSM Higgsかそれとも他のモデルのHiggsか区別する手がかりとなる。
- 質量はSM Higgsについていえば間接測定からかなり制限されている。ただし、SMではあくまでも入力パラメータ。

$m_H = 87(+35-26)\text{GeV}$
 $m_H < 157\text{ GeV}/c^2$ @95% C.L.

» ATLAS・CMSとも
~0.1%の精度で
質量を測定する
ことができる。
($<400\text{GeV}$)



続き

崩壊幅

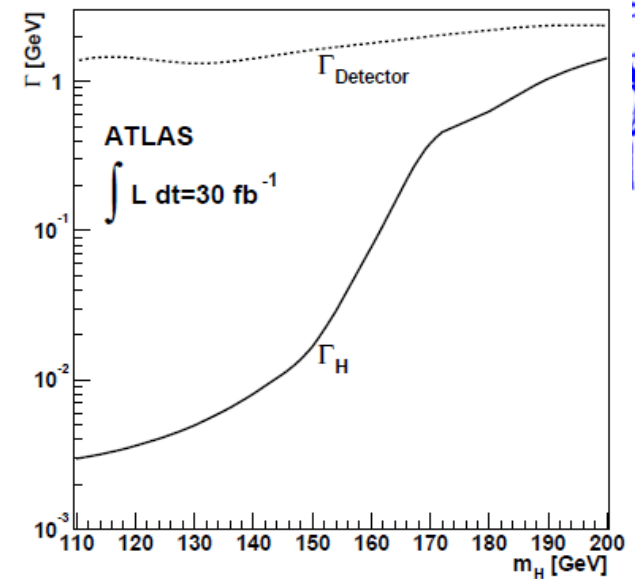
- 200GeV以下では測定不能。
- 200GeV以上なら、 $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$ で0.1-1%で測定可能。

スピンとCP

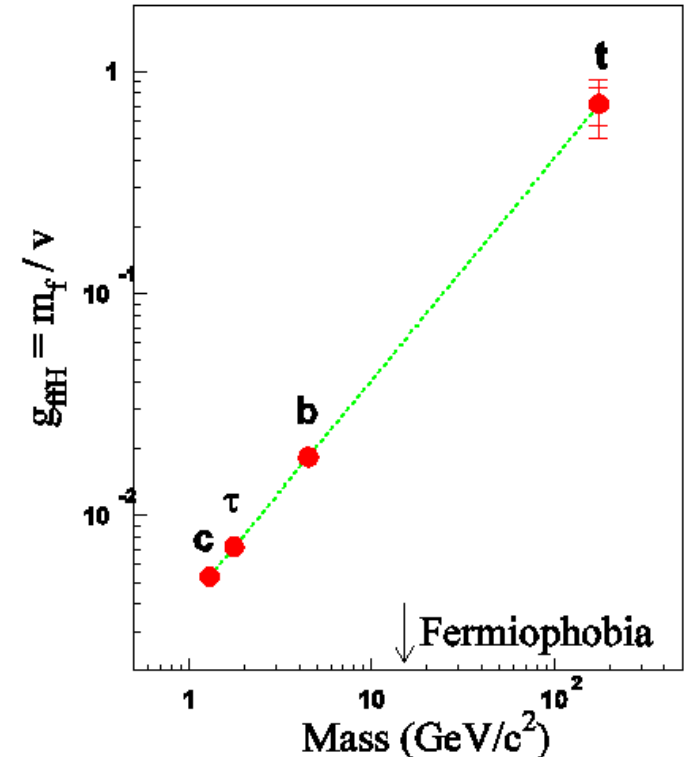
- $H \rightarrow \gamma\gamma$... 0 or 2
- $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu l\nu$... 0を仮定してカットを決めている。
 $\Delta\phi_{ll}$ 分布から何か言えるはず。
- $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$... Spin and CPの測定
- Forward jets of VBF process ... anomalous couplingの有無(SMからのずれ) (次のカテゴリ?)

結合定数

- フェルミオン・ゲージボソンとの結合 -> 質量の起源
- **湯川結合の質量に対するlinearityの証明!**
 - 3種類のフェルミオンとの結合測定は必須。
 - Top, bottom, tau
 - mu at SLHC?, charm at LC?
 - ゲージボソンと合わせて5点で確認。
- Self coupling
 - 3点 ... SLHC, 6ab(=6000fb⁻¹)?
 - 4点 ... SLHCでは無理。LC?

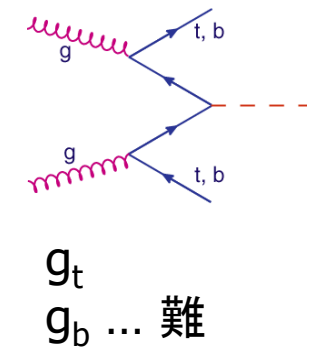
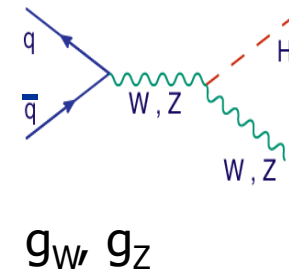
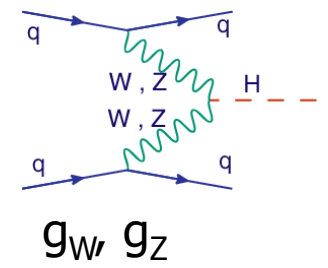
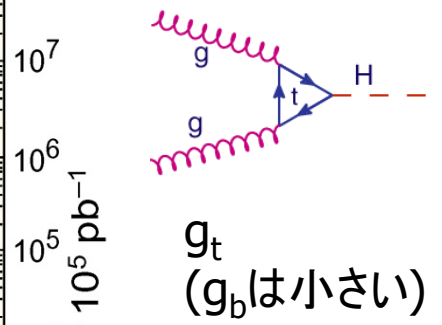
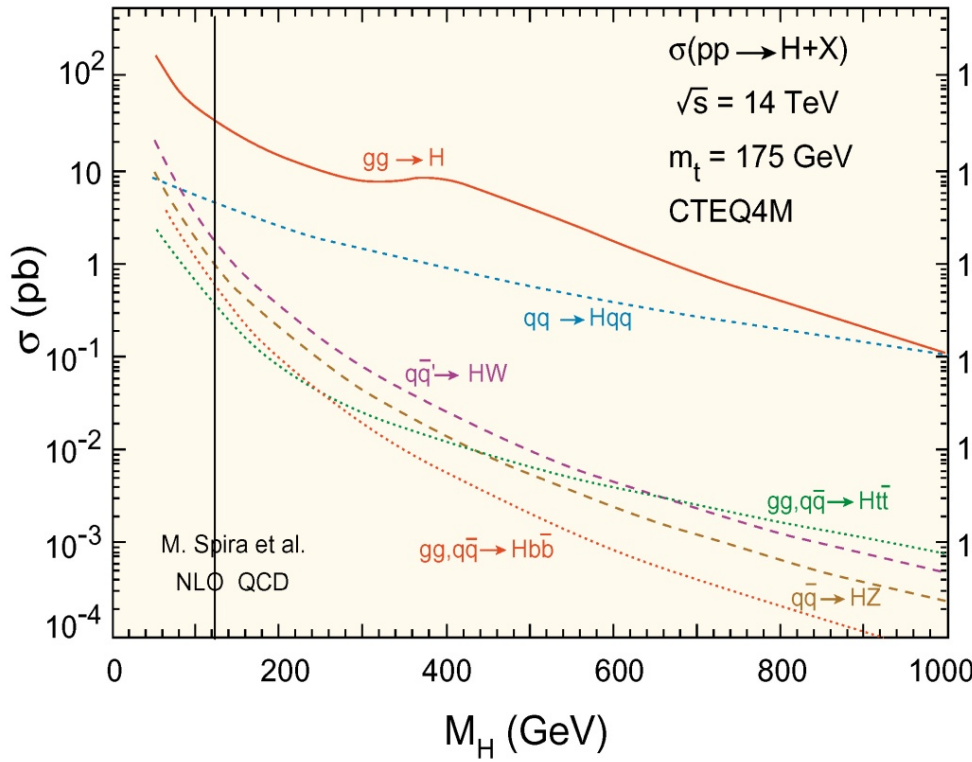


Yukawa Coupling





生成

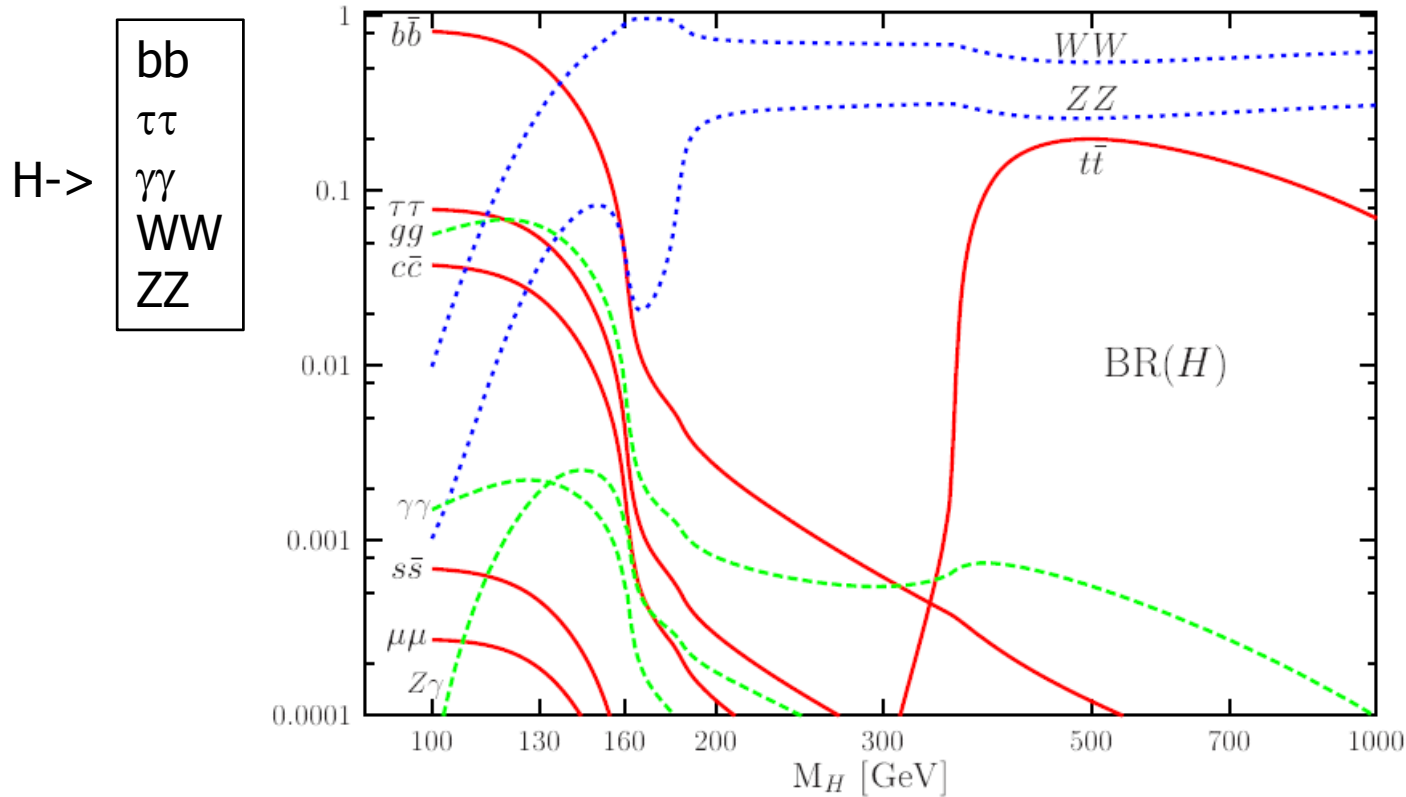


生成側には g_t, g_W, g_Z の結合が存在する。
(g_b はchallenging, g_τ はない。)





崩壊



- 110-150GeV: $g_{t\tau}$, $g_{b\tau}$, $g_{\tau\tau}$, g_W , g_Z
 - g_t は $H \rightarrow \gamma\gamma$ から。(g_W の方が大きい。Negativeに大きな干渉 \rightarrow W loop onlyと比べて約6割)
- 150GeV以上: g_W , g_Z
- これまでのEW測定とSMを信じれば前者が有力、つまり、5点測定可能。
 - 生成を含めて考えても、後者の場合、 g_τ にアクセスすることは非常に難しくなる。





解析モードとカップリングのまとめ

Production	Decay	Mass region (<200GeV) and "couplings"	
Gluon Fusion	H -> $\gamma\gamma$	110-140GeV	g_{tr} g_W
	H -> ZZ	120-200GeV	g_{tr} g_Z
	H -> WW	130-190 GeV	g_{tr} g_W
Vector Boson Fusion	H -> $\tau\tau$	110-150GeV	g_W, g_Z, g_τ
	H -> WW	130-190GeV	g_W, g_Z
	H -> $\gamma\gamma$	110-140GeV	g_W, g_Z, g_t
	H->ZZ	120-200GeV	g_W, g_Z
	H -> bb	110-130GeV	g_W, g_Z, g_b
ttH	H -> bb	110-130GeV	g_{tr} g_b
	H -> $\tau\tau$	110-140GeV	g_{tr} g_τ
	H -> WW	130-190GeV	g_{tr} g_W
	H -> $\gamma\gamma$	110-140GeV	g_{tr} g_W
WH(/ZH)	H -> WW	140-170GeV	$g_{W(Z)}$
	H -> $\gamma\gamma$	110-140GeV	$g_{W(Z)}, g_t$
	H -> bb	110-130GeV	$g_{W(Z)}, g_b$
	H -> $\tau\tau$	110-140GeV	$g_{W(Z)}, g_\tau$

Tauとbottomの結合は崩壊側にしかない。
しかも、一般にBGが多いため解析は難しい。





観測量とカップリングの関係

- 生成断面積 \times BRを測定する。(正確には $\sigma \cdot BR$ だがここでは σ と書く)
 - $\sigma = (N-B)/(L \cdot \varepsilon)$
 - N ... 観測した数
 - B ... Estimated BG
 - L ... 積分ルミノシティ
 - ε ... アクセプトランス
- $(\Delta\sigma/\sigma)^2 = N/(N-B)^2 + (\Delta B/(N-B))^2 + (\Delta L/L)^2 + (\Delta\varepsilon/\varepsilon)^2$
- 一項目が統計誤差で残りが系統誤差と考える。
 - $N=S+B$ と書けば、一項目はSが大、またはBが小で $(1/\sqrt{N})^2$ 。
 - 二項目は $\Delta B/S$ で一般にBGの見積もりの誤差はratioで与えられるので B/S に比例することになる。(測定では S/\sqrt{B} ではなく S/B が重要。)
 - 二項目をいかに小さくできるかが鍵。
- 生成断面積 \times BRはカップリングで記述できるので解けばOK.
 - 実際はたくさんの観測結果があるのでフィットして求めている。





σ ・BRとカップリング

- 生成断面積 σ

- $\sigma_{ggH} = \alpha_{ggH} \cdot g_t^2$
- $\sigma_{VBF} = \alpha_{WF} \cdot g_W^2 + \alpha_{ZF} \cdot g_Z^2$ (干渉は1%以下)
- $\sigma_{ttH} = \alpha_{ttH} \cdot g_t^2$
- $\sigma_{WH} = \alpha_{WH} \cdot g_W^2$
- $\sigma_{ZH} = \alpha_{ZH} \cdot g_Z^2$

- BR

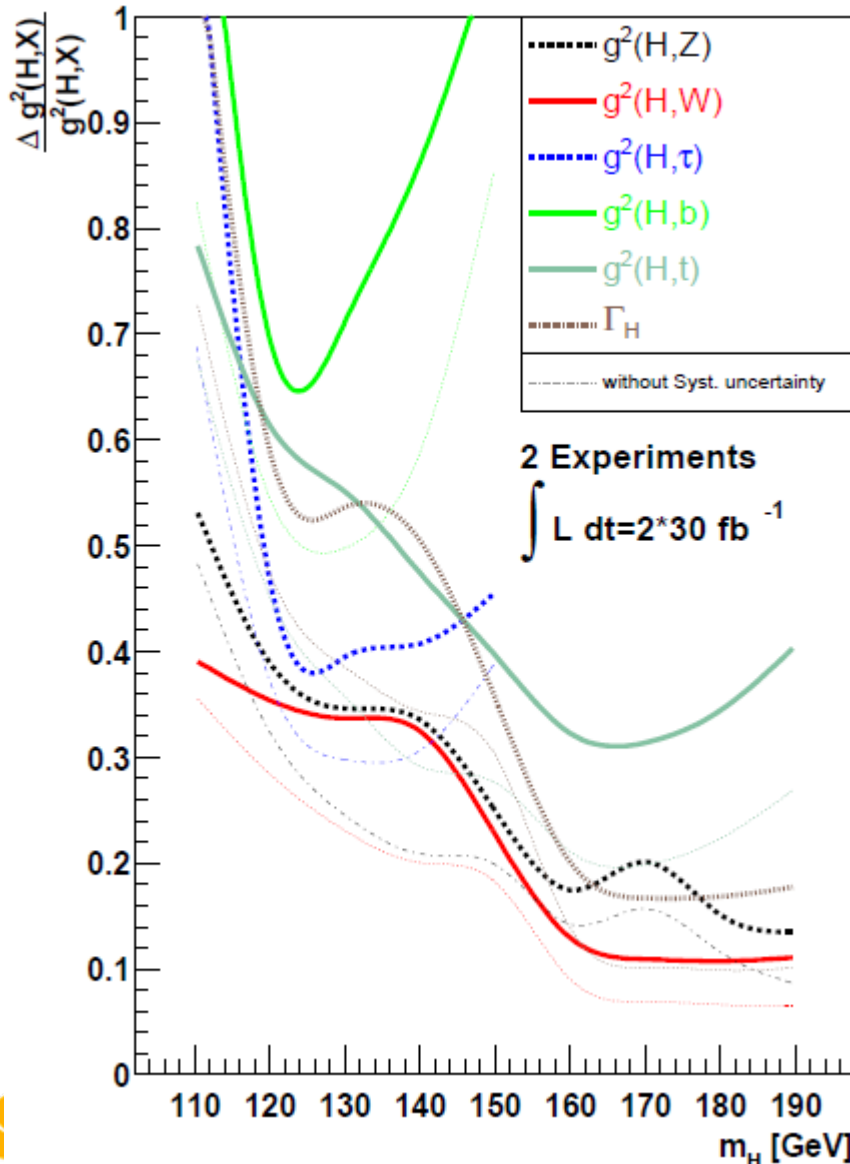
- $BR(H \rightarrow WW) = \beta_W \cdot g_W^2 / \Gamma_H$
- $BR(H \rightarrow ZZ) = \beta_Z \cdot g_Z^2 / \Gamma_H$
- $BR(H \rightarrow \gamma\gamma) = (\beta_{\gamma W} \cdot g_W - \beta_{\gamma t} \cdot g_t)^2 / \Gamma_H$
- $BR(H \rightarrow \tau\tau) = \beta_\tau \cdot g_\tau^2 / \Gamma_H$
- $BR(H \rightarrow bb) = \beta_b \cdot g_b^2 / \Gamma_H$

- 係数 α, β はSMから計算できる。 Γ_H は測定できない場合は何かしら仮定をおく。もちろん単純にSMの値を使うという仮定もOK。





LHCでの結合定数の測定精度@30fb⁻¹



- Need a help of theory to obtain the absolute values of couplings.

Assumption [hep-ph/0407190] :

- HVV (V=W,Z) couplings cannot be larger than the SM case, namely,
 - $g^2(H,W) < g^2_{SM}(H,W)$
 - $g^2(H,Z) < g^2_{SM}(H,Z)$
 This constraint is valid in generic multi-Higgs-doublet models. (eg. MSSM)

With 2x30fb⁻¹:

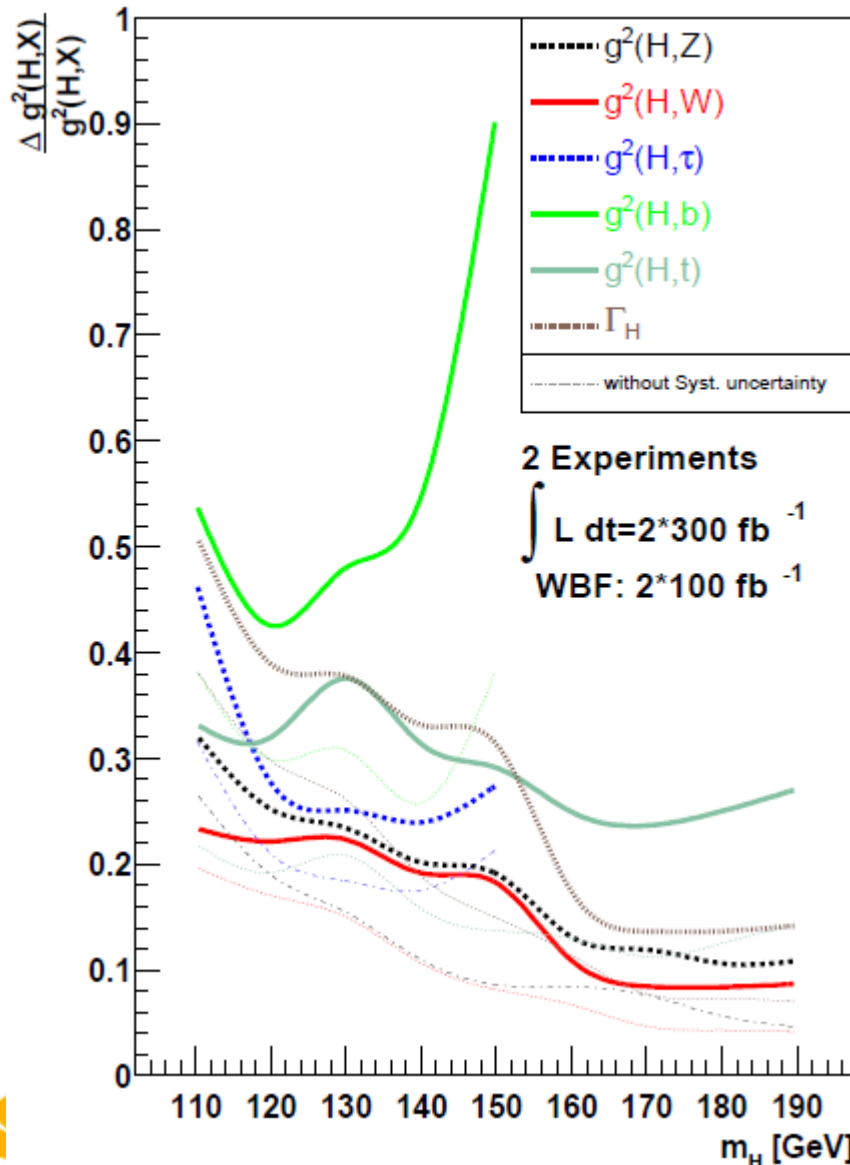
- Yukawa
 - g_t : 15-40%
 - g_b : 32-50%
 - g_τ : 20-50%
- Gauge Boson
 - g_z : 7-25%
 - g_w : 5-20%

注意:gのuncertaintyはg²の半分





LHCでの結合定数の測定精度@300fb⁻¹



With 2x300fb⁻¹:

- Yukawa
 - g_t : 13-20%
 - g_b : 21-45%
 - g_τ : 13-25%
- Gauge Boson
 - g_Z : 6-16%
 - g_W : 5-12%
- Total Width : 15-50%

120GeVなら25%以下の精度で測定可能。

ゲージボソンとの結合は精度良く測定ができるので、この結合を利用してモデルを区別することが可能。(実際、event rateの違いに現れる。)





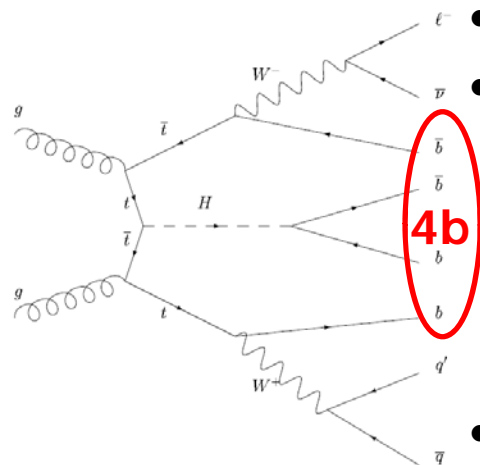
最新のATLASの結果(CSC)から

- 中心値だけ見た場合、 $\sigma \cdot BR$ は
 - $H \rightarrow \gamma\gamma$ で15%ぐらい悪くなる。→ BGが増えたため(fake photon from jets)
 - $H \rightarrow \tau\tau$ で15%ぐらい良くなる。→ BGが減ったため(Z+jets生成のscale choiceの問題)
 - $H \rightarrow ZZ/WW$ はほとんど変化しない。
- Systematic uncertainty
 - ページ9、10の結果のSystematic uncertaintyは以下の通り
 - Luminosity 5%
 - Lepton reconstruction efficiency 2%
 - Photon reconstruction efficiency 2%
 - Tau tagging efficiency 3%
 - VBF tag-jets 5%
 - など(nameは大雑把、当時はFAST simulationで解析)
 - CSCではLuminosityを3%、Tauは~7%ぐらい。Lepton, Photonは1%以下。
 - ただし、当時(2003年のノート)はJet energy scale uncertaintyを考慮していなかったがこれが最も大きい。VBFチャンネルではアクセプタンスに対して20%程度のuncertaintyが追加される。(これが“主”uncertaintyになる。)
 - BG estimation uncertaintyをきちんと評価する必要がある。

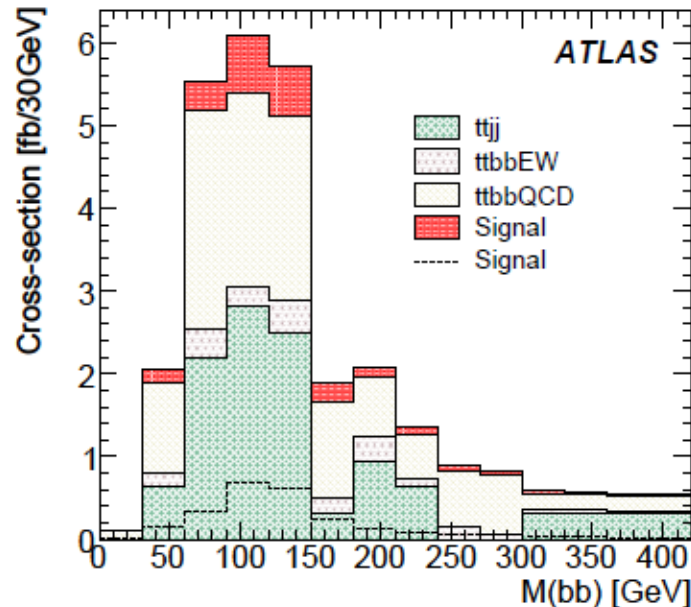
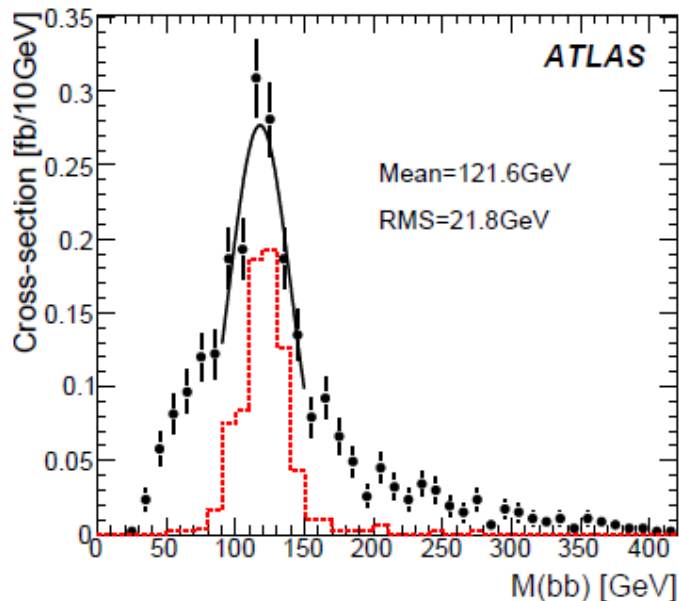




消えた ttH , $H \rightarrow bb$



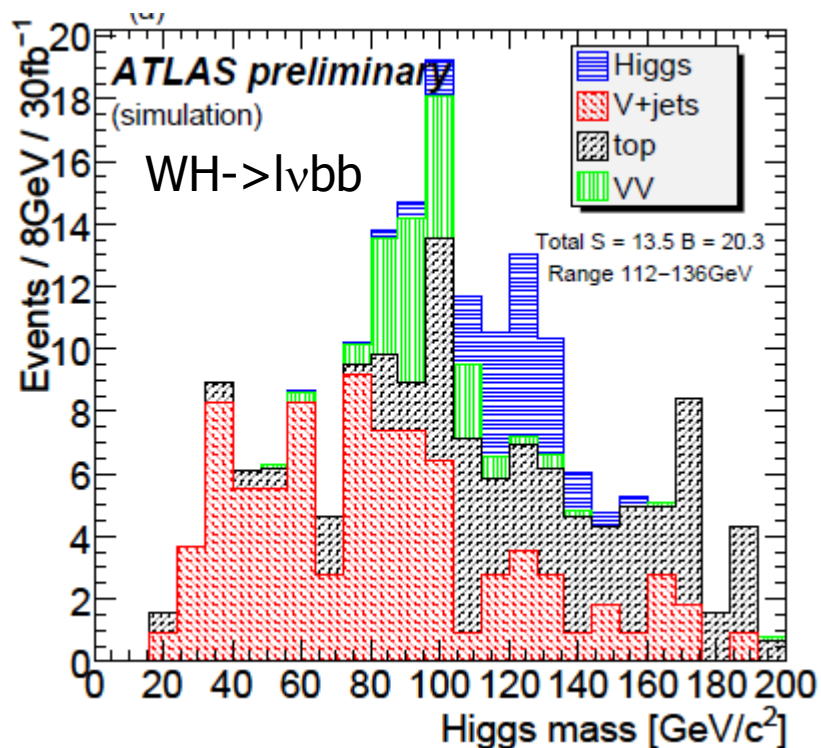
- This process was one of discovery channels for low mass Higgs.
- With more realistic Monte Carlo studies, we found that
 - The combinatorial background from the signal degrades the mass resolution badly.
 - Difficulty of estimation of both background shape and normalization by using real data. -> difficult to separate signal from background.
- Now this is not a discovery channel but important for bottom Yukawa coupling measurement.





WH, H- > bb

- シグナルも減るがBGを効果的に落とすため、High pT Higgsを利用するアイデア
 - pT(H) > 200 GeVでシグナルは5%しか残らない。
- Subjet analysis(磯部さんのトーク参照)を用いてHiggs candidateを再構成する。
 - Higgs candidate pT > 200 GeV



Channel	signal	t_i	w_i	z_i	S/\sqrt{B}
$l\bar{l}b\bar{b}$	5.34	0.98	0.0	11.2	1.5
$l\nu b\bar{b}$	13.5	7.02	12.5	0.78	3.0
$\nu\nu b\bar{b}$	16.3	45.2	27.4	31.6	1.6
Combined					3.7

30fb⁻¹の数とSignificance

σ_t	σ_w	σ_z	Significance
Perfect	Perfect	Perfect	3.7
5%	5%	5%	3.5
10%	10%	10%	3.2
15%	15%	15%	3.0
20%	20%	20%	2.8
30%	30%	30%	2.5
50%	50%	50%	2.2
75%	75%	50%	2.0
50%	10%	10%	2.8

←
BGの見積
もりの不確
定性を入れた場合

ttH, H->bbでも同じ手法に?
ZH/WH, H->ττは?



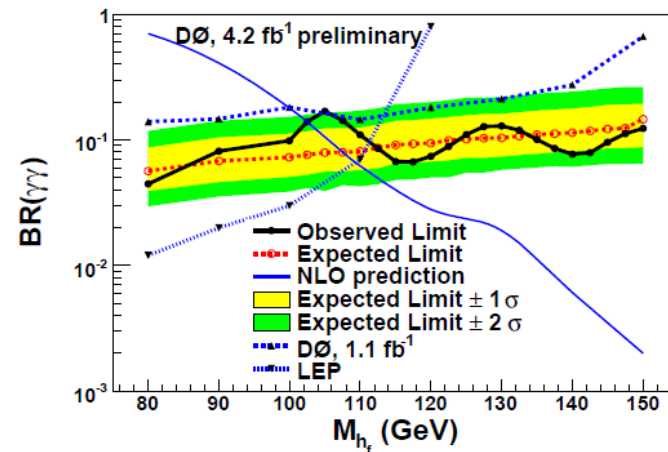
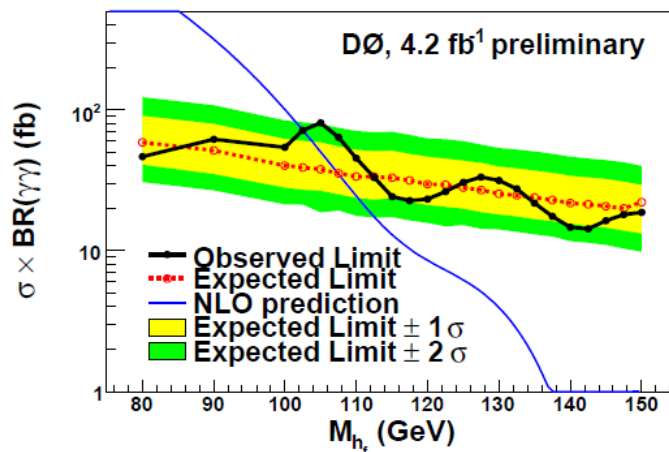


Fermiophobic Higgs

- フェルミオンとの結合が全くないモデルで計算した $H \rightarrow \gamma\gamma$ のBR
 - Two Higgs doublet model (type1)などのモデルで実現可能。

Mass(GeV)	SM	Femiophobic	何倍？
100	0.00157	0.18	110
110	0.00194	0.062	32
120	0.00223	0.028	13
130	0.00227	0.019	8.4

- メインであるGluon fusionのプロセスがなくなって、VBFやWHがメインになるためにHiggs p_T が高くなる。



- D0の結果 : femiophobic Higgs mass > 102.5 GeV
- LEP combinedの結果 : > 109.7 GeV





ゲージボソンとの結合しかない場合

Production	Decay	Mass region (<200GeV) and "couplings"	
 Gluon fusion	$H \rightarrow \gamma\gamma$	110-140GeV	$g_{\tau} g_W$
	$H \rightarrow ZZ$	120-200GeV	$g_{\tau} g_Z$
	$H \rightarrow WW$	130-190 GeV	$g_{\tau} g_W$
Vector Boson Fusion	$H \rightarrow \tau\tau$	110-150GeV	$g_W g_Z g_{\tau}$
	$H \rightarrow WW$	130-190GeV	$g_W g_Z$
	$H \rightarrow \gamma\gamma$	110-140GeV	$g_W g_Z g_{\tau}$
	$H \rightarrow ZZ$	120-200GeV	$g_W g_Z$
	$H \rightarrow bb$	110-130GeV	$g_W g_Z g_b$
 tau fusion	$H \rightarrow bb$	110-130GeV	$g_{\tau} g_b$
	$H \rightarrow \tau\tau$	110-140GeV	$g_{\tau} g_{\tau}$
	$H \rightarrow WW$	130-190GeV	$g_{\tau} g_W$
	$H \rightarrow \gamma\gamma$	110-140GeV	$g_{\tau} g_W$
WH(/ZH)	$H \rightarrow WW$	140-170GeV	$g_{W(Z)}$
	$H \rightarrow \gamma\gamma$	110-140GeV	$g_{W(Z)}, g_{\tau}$
	$H \rightarrow bb$	110-130GeV	$g_{W(Z)}, g_b$
	$H \rightarrow \tau\tau$	110-140GeV	$g_{W(Z)}, g_{\tau}$

$H \rightarrow \gamma\gamma$ のtop loopはなくなる。





Gaugephobic Higgs

- Randall-Sundrumモデルなどで実現可能。
 - ゲージ粒子との結合が弱くなる。(フェルミオンとの結合も弱くなる)
 - この場合、114GeV(LEP limit)より軽くてもいい。理論側からのupper limitもゆるくなる。
- 細谷機構でも同様の効果が見える。
 - 極端な例ではHiggsはゲージ粒子にもフェルミオンにも結合しないため観測できない。
- 一般に、ヒッグスが見えにくいほど、新しい粒子が発見しやすい。
 - W' や Z' など。



(Gaugephobicとは直接は関係しないが)

- 一般に、ある新しいモデルを考えたときヒッグスが見えにくくなる方向になる。





ゲージボソンとの結合がない場合

Production	Decay	Mass region (<200GeV) and "couplings"	
Gluon Fusion	$H \rightarrow \gamma\gamma$	110-140GeV	g_{tr}, g_W
	$H \rightarrow ZZ$	120-200GeV	g_{tr}, g_Z
	$H \rightarrow WW$	130-190 GeV	g_{tr}, g_W
Vector boson fusion 	$H \rightarrow \tau\tau$	110-150GeV	g_W, g_Z, g_τ
	$H \rightarrow WW$	130-190GeV	g_W, g_Z
	$H \rightarrow \gamma\gamma$	110-140GeV	g_W, g_Z, g_τ
	$H \rightarrow ZZ$	120-200GeV	g_W, g_Z
	$H \rightarrow bb$	110-130GeV	g_W, g_Z, g_b
ttH	$H \rightarrow bb$	110-130GeV	g_{tr}, g_b
	$H \rightarrow \tau\tau$	110-140GeV	g_{tr}, g_τ
	$H \rightarrow WW$	130-190GeV	g_{tr}, g_W
	$H \rightarrow \gamma\gamma$	110-140GeV	g_{tr}, g_W
	$H \rightarrow WW$	140-170GeV	$g_{W(Z)}$
	$H \rightarrow \gamma\gamma$	110-140GeV	$g_{W(Z)}, g_\tau$
	$H \rightarrow bb$	110-130GeV	$g_{W(Z)}, g_b$
	$H \rightarrow \tau\tau$	110-140GeV	$g_{W(Z)}, g_\tau$

$H \rightarrow \gamma\gamma$ のW loopはなくなる。

$H \rightarrow \gamma\gamma$ はどちらのシナリオでもみることができる。

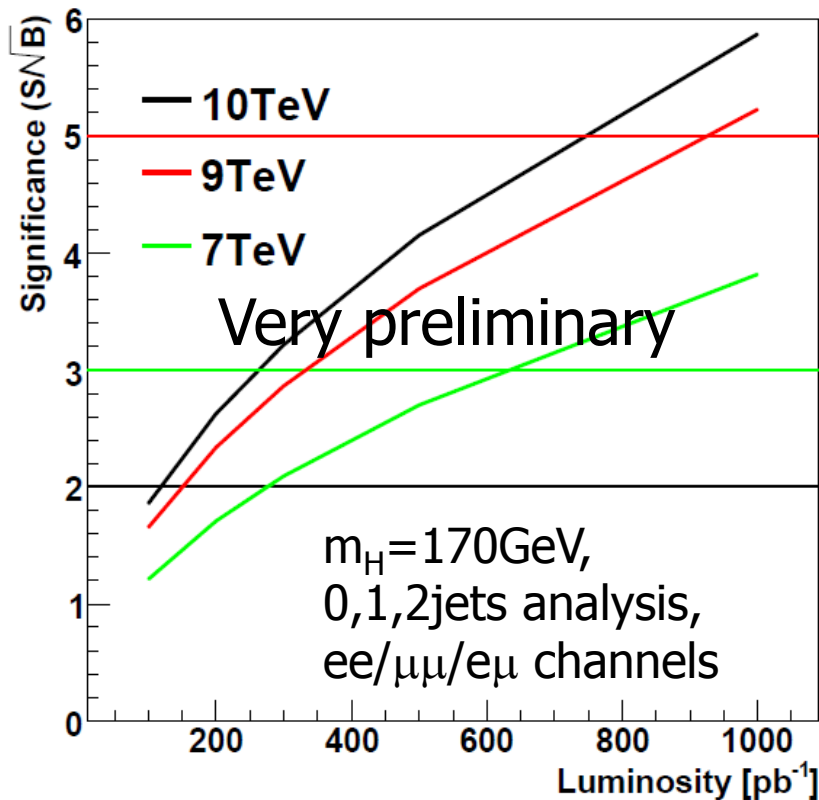




どう動くか？

- H->WW

- 7TeVでは300pb⁻¹以上必要(170GeVはexcludeされたポイントです)。10TeV以上はほしい。
- これが想定したルミノシティで見えなくても、SM以外のモデルには影響ない？



- H-> $\gamma\gamma$

- BRがenhanceされることがある。(珍しい)
- ゲージ粒子との結合なくともいいし、フェルミオンとの結合がなくともいい。
 - ループ故の性質などで、理論からの不定性が大きい？
- 10fb⁻¹オーダーのデータが必要...

もしSMでないならヒッグスがどうこうというより、先に高い部分に何か見えるでしょう。





まとめ

- “ヒッグス”粒子発見 -> “ヒッグス”粒子の性質の測定
 - 質量、崩壊幅
 - スピン、CP、結合定数 → SM Higgs同定の鍵
- 湯川結合を測定するためには軽いヒッグスが望ましい。
- LHC(ATLAS+CMS)の測定精度

	30fb ⁻¹ x2	300fb ⁻¹ x2
Top	15-40%	13-20%
Bottom	32-50%	21-45%
Tau	20-50%	13-25%
W	7-25%	6-16%
Z	5-20%	5-12%

- この精度(x3)以上の差がないとLHCでは何も言えない。湯川で言うのは大変。
- ttH, H->bbモードの観測は非常に難しい。(ATLASもCMSも同じ結論)
- 新しい解析手法の確立: High boosted Higgs+Subjet -> WH, H->bb
- Fermiophobic HiggsならH-> $\gamma\gamma$ はenhanceされる。
- Gaugephobic Higgsなら一般にヒッグスは見えにくくなる。
 - 新しい粒子(W', Z'等)が発見できるはず。





バックアップ



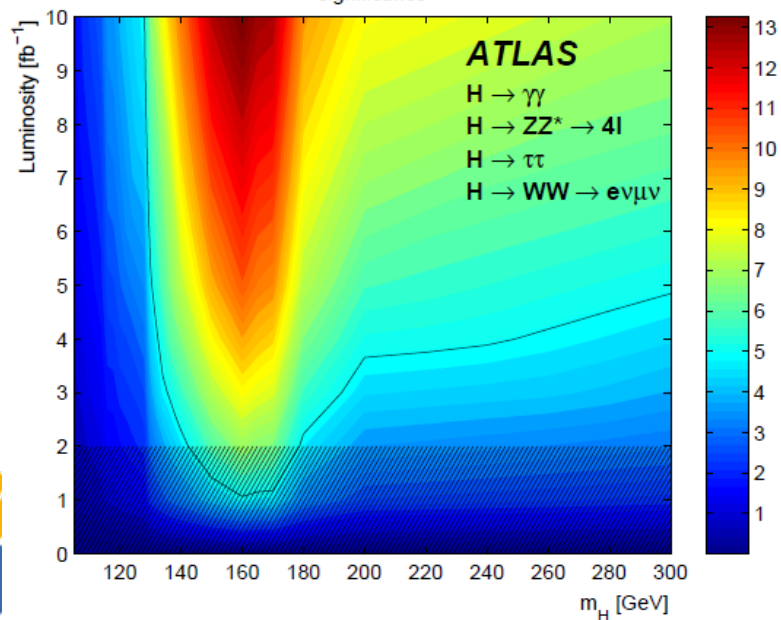
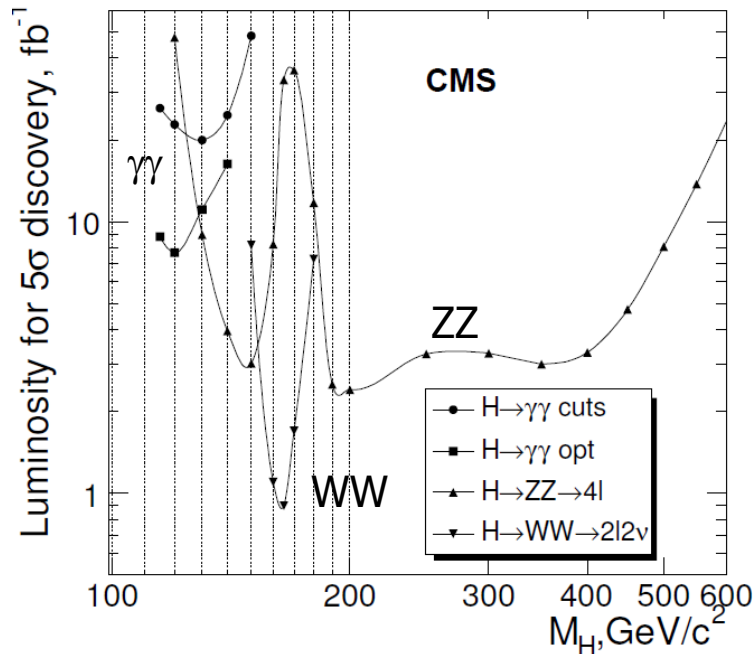
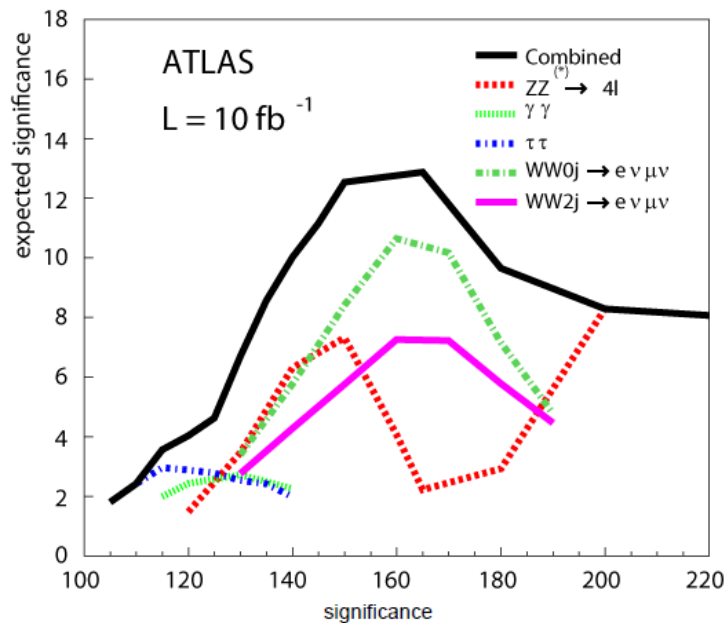
2009/9/7

余剰次元@LHC研究会

21



LHCの発見能力

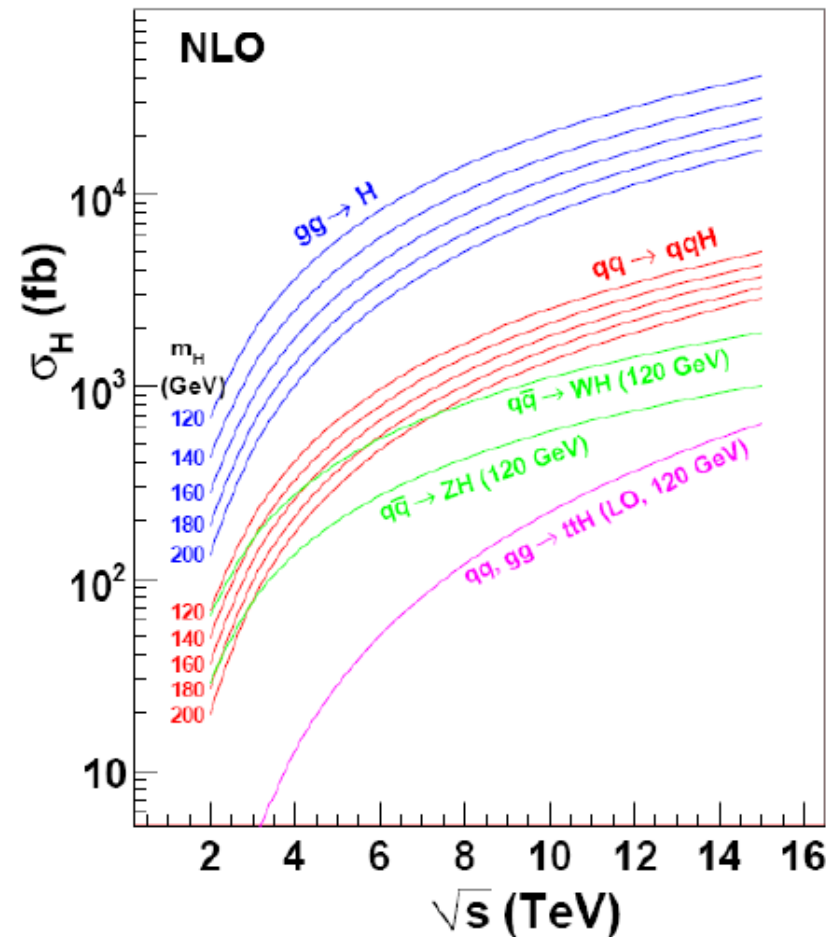
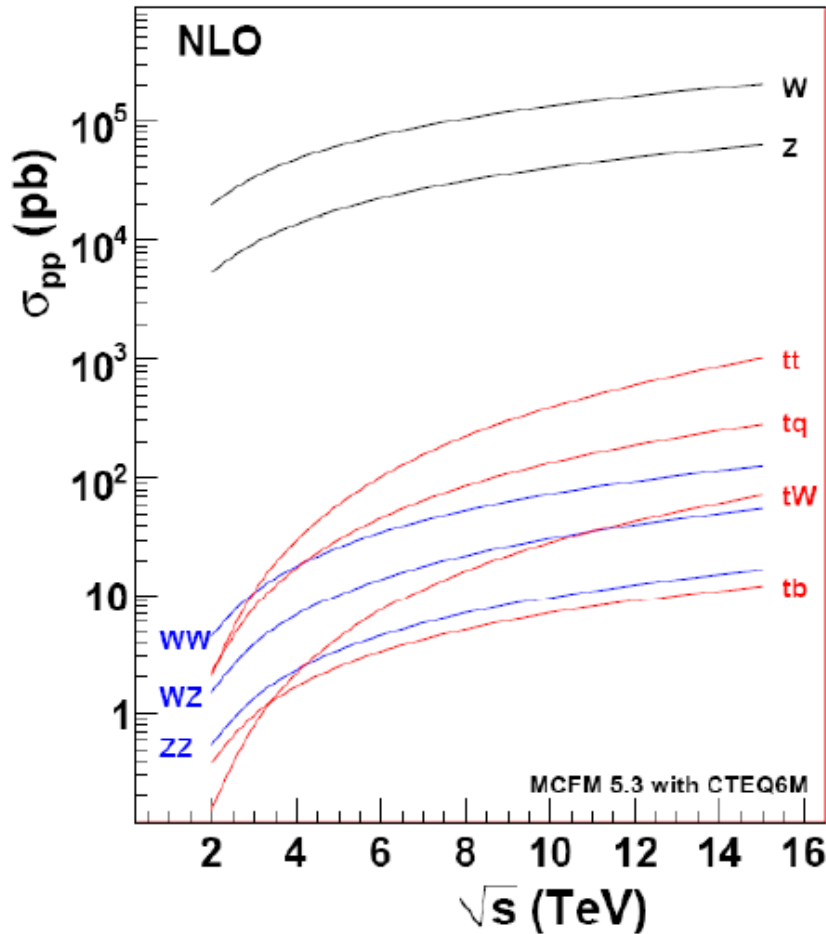


- 5fb^{-1} あれば軽いヒッグス以外は発見可能。
 - 130GeV 以下は $10\text{-}30\text{fb}^{-1}$ のデータが必要。





14TeV -> 10TeV -> 7TeV



- W^+ : 109nb -> 78nb (72%), W^- : 80nb -> 55nb (69%), Z: 58nb->40nb (69%)
 $t\bar{t}$: 876pb -> 396pb (45%) -> 156pb (18%)
- $gg \rightarrow H(120)$: 37pb -> 21pb (57%) -> 11 (30%)
- $qq \rightarrow qqH(120)$: 4.6pb -> 2.6pb (57%) -> 1.3 (30%)

