

LHC-ATLAS実験における二光子への 崩壊過程を用いたHiggs粒子の性質測定

山口洋平, 田中純一,
増渕達也, 中村浩二, 浅井祥仁
東京大学
秋季大会 高知大学
2013年9月21日

Introduction

○ 今見えているHiggsはSM Higgsか？

○ Coupling測定

– $H \rightarrow \gamma\gamma$ チャンネルでは大きい信号量が測定されている

○ 自然幅の直接測定

– SMなら4 MeV

– $m_{\gamma\gamma}$ ピークの太さからupper limitをつける

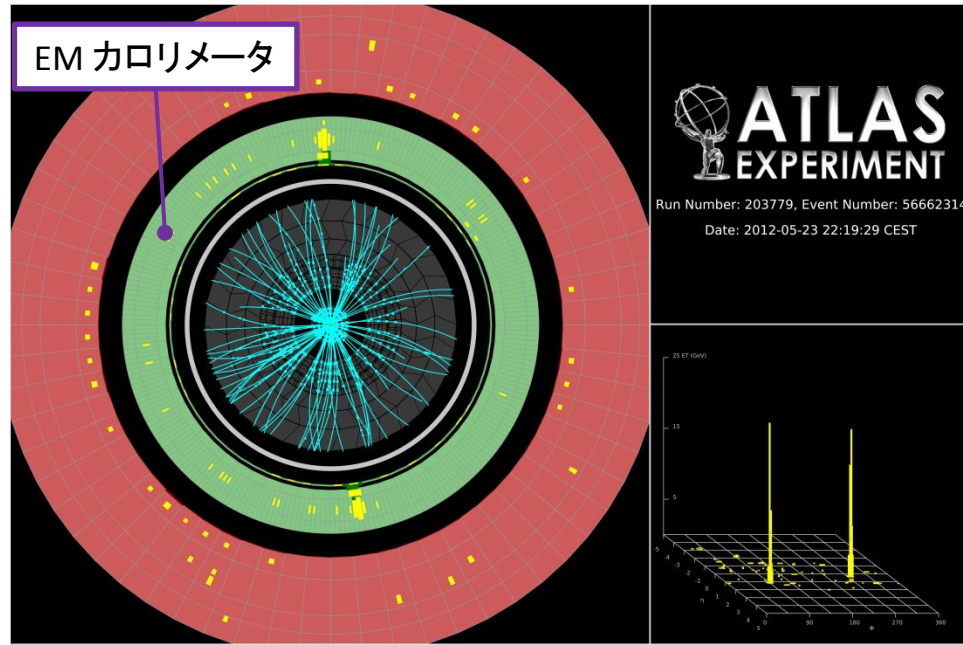
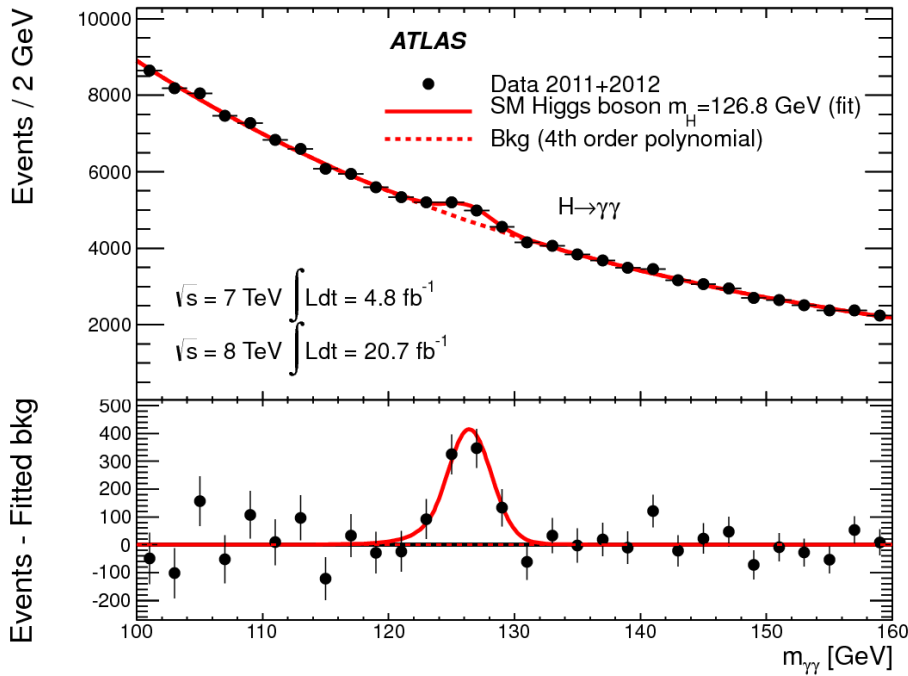
H → $\gamma\gamma$ チャンネル

- $m_{\gamma\gamma}$ 分布にヒッグス質量 (m_H) のピーク
ピーク幅 $1\sigma = 1.6 \text{ GeV}$ (FWHMで3.8 GeV)
- Event Selection
at least 2 photon
- ・ 2 photon イベントのpurity = 75% (他は π^0 由来のfake photon混じり)
- ・ SMで期待されるシグナル数: 4.8×10^2 events

photon selection

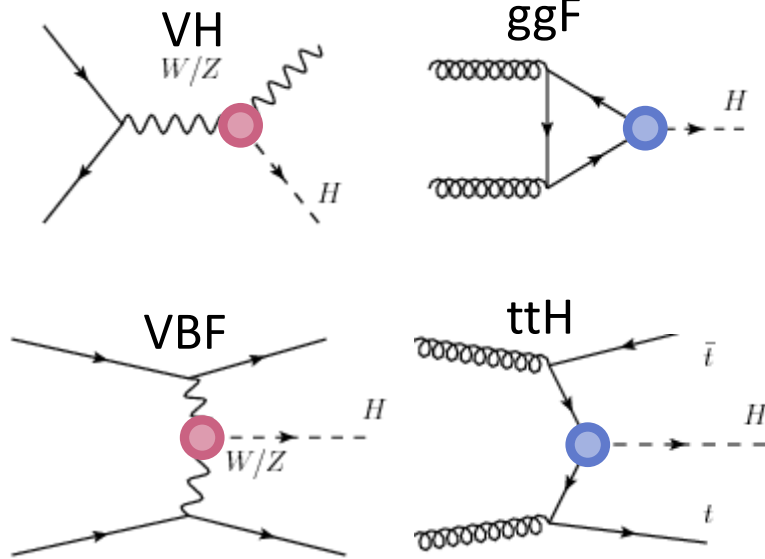
- $E_T^{1st} > 40 \text{ GeV}, E_T^{2nd} > 30 \text{ GeV}$
- $|\eta| < 2.37$
- “tight” ID (シャワーの形状)
- 他のactivityからisolateしている

2 photon event例

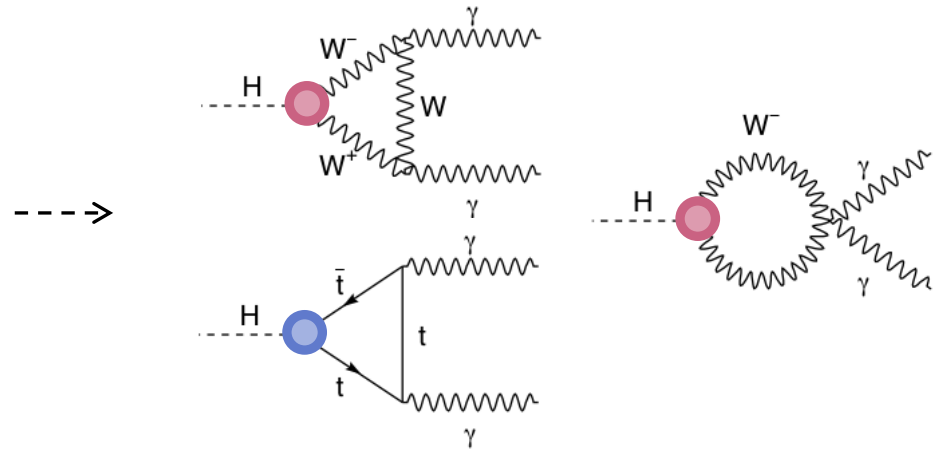


Productionとイベントカテゴリー

Production



Decay

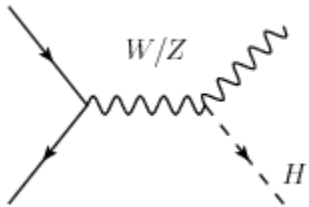


- Productionごとにcouplingが異なる
- それぞれ信号を選り分けられれば、各processに対して信号量が測定できる
- productionごとの断面積 x 分岐比 / SM expected = signal strength (μ_{ggF} , μ_{VBF} , ...) を測るのが、今回の目的
- process間の混ざり合いの無いような、カテゴリー分けが重要

Productionとイベントカテゴリー

VH

20 events expected*

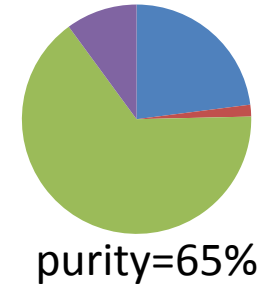


VH enriched カテゴリー

lepton, ν , jetでW/Zをタグ

1. at least 1-lepton
2. E_T^{miss} significance
3. low-mass 2-jet

シグナルのprocess比

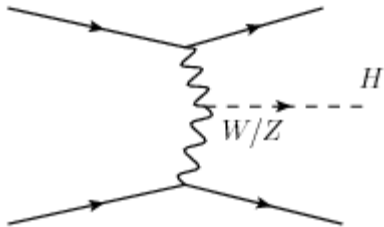


■ ggF
■ VBF
■ VH
■ ttH

→ μ_{VH}
 $\mu_{\text{ggF}}, \mu_{\text{ttH}}$

VBF

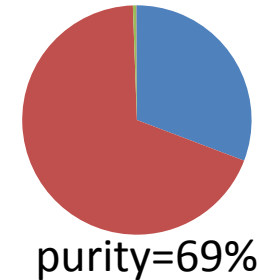
34 events expected*



VBF enriched カテゴリー

VBF由来のhigh mass 2-jet

1. MVAスコア high
2. MVAスコア low

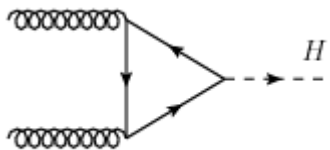


■ ggF
■ VBF
■ VH
■ ttH

→ μ_{VBF}
 μ_{ggF}

ggF

416 events expected*

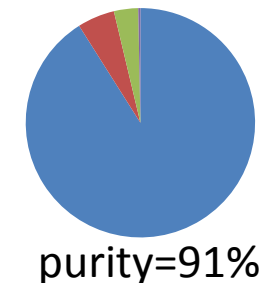


ggF enriched カテゴリー

= untagged カテゴリー

9 カテゴリー

η , conversion status, p_{Tt}



■ ggF
■ VBF
■ VH
■ ttH

→ μ_{ggF}

* $m_H=126.8$ GeVでの値

Coupling測定

- Signal strength (μ) を測定
- μ に対してmaximum likelihoodを探す

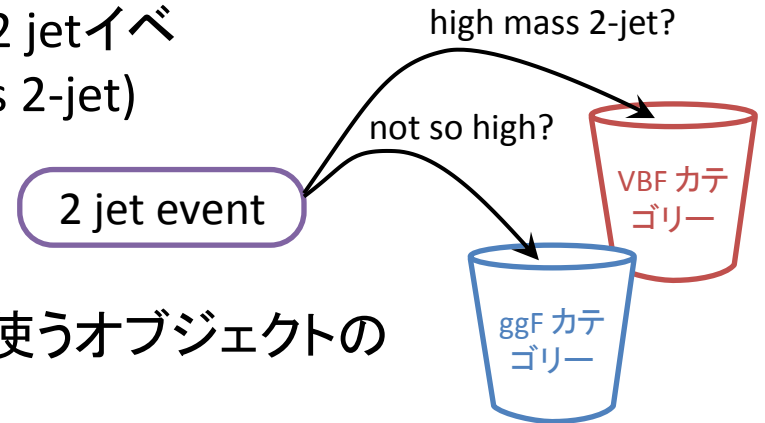
- ケース1: production processによらず、 μ が共通だと仮定
 - Higgs mass (m_H) はfree
 - test statistic: $q_\mu = -2 \ln \lambda(\mu) = -2 \ln \frac{L(\mu, \hat{m}_H, \hat{\theta})}{L(\hat{\mu}, \hat{m}_H, \hat{\theta})}$, $\hat{\cdot}$ はbest fit value

- ケース2: production processごとに μ を設定 ($\mu_{\text{ggF+ttH}}, \mu_{\text{VBF}}, \mu_{\text{VH}}$)
 - VBFの μ を調べるときは、ggF, VH, ttHの μ はfree
 - ggF, VHの場合も同様

系統誤差

1 Event migration = イベントのカテゴリー分けの不確かさ

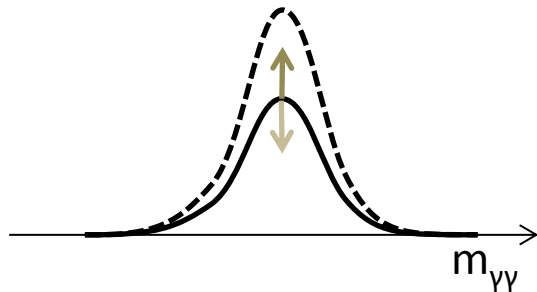
例) Jet energy scaleの系統誤差が、2光子 + 2 jetイベントの m_{jj} に寄与し、VBFカテゴリー (high mass 2-jet)に入るかどうかを13%不確かにする



- Jet, lepton, E_T^{miss} など、カテゴリー分けに使うオブジェクトの系統誤差が効く

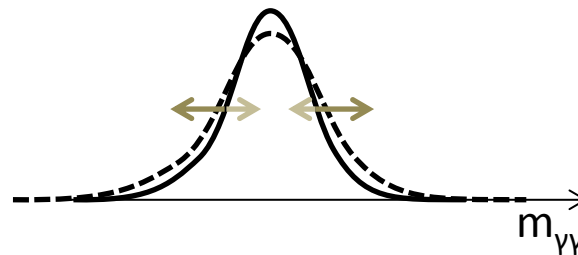
2 Signal yield

4% (experimental)
~10% (theory)



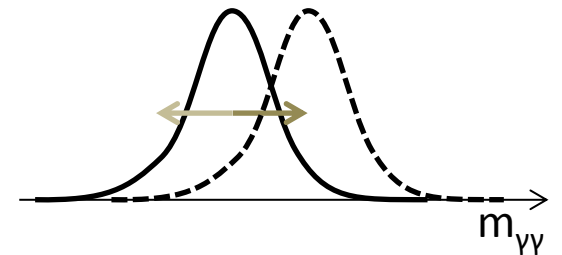
3 mass resolution

0.3 - 0.4 GeV

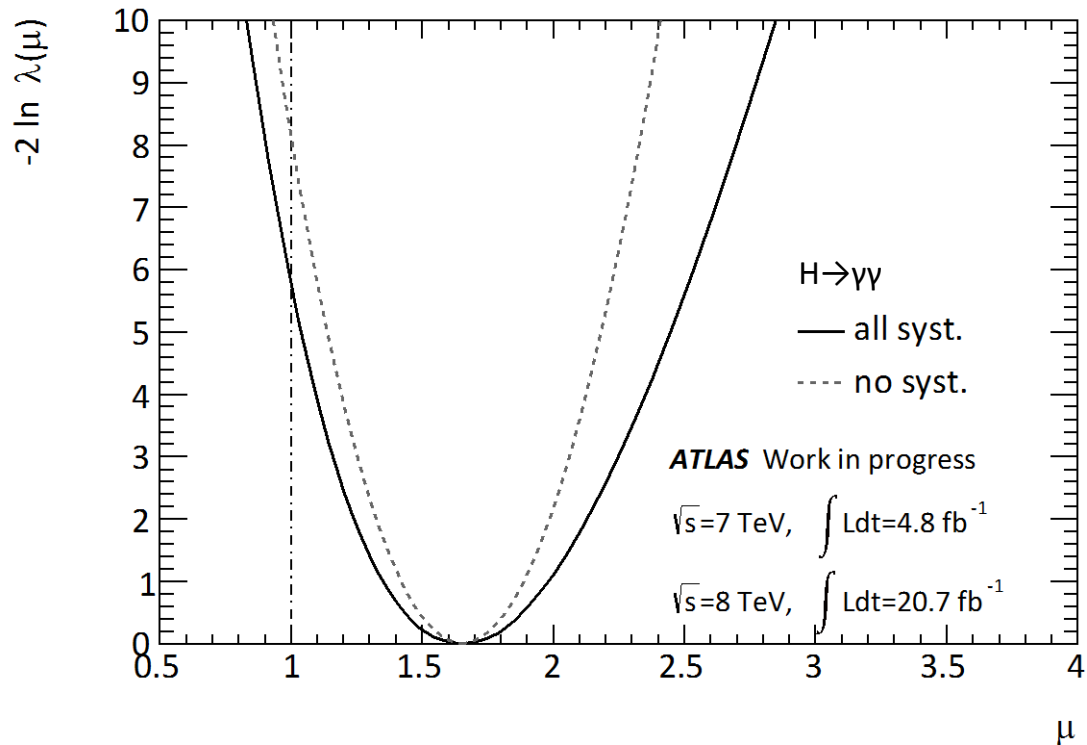


4 mass scale

0.6 - 1.1 GeV



測定結果(ケース1)



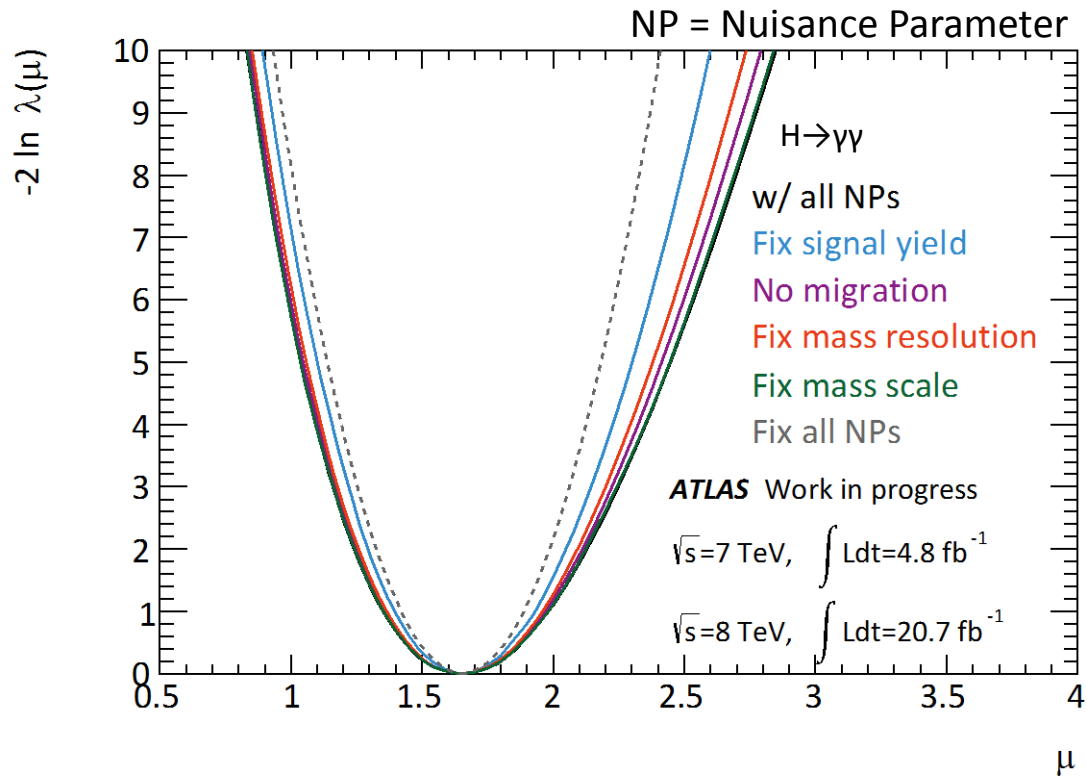
μの最尤値: $\hat{\mu} = 1.65 \pm 0.24(\text{stat.}) \begin{matrix} +0.25 \\ -0.18 \end{matrix} (\text{syst.})$

SM ($\mu = 1$) が正しい場合、これほど1から離れたμが測定される確率: $p_{S+B} = 1.6\%$
(2.4σ)

統計誤差 ~ 系統誤差 → 系統誤差の評価が非常に重要

系統誤差の評価

fitの条件変更



系統誤差の内訳

Signal yield	+ 0.18 - 0.15
Event migration	+ 0.09 - 0.07
Mass resolution	+ 0.11 - 0.10
Mass scale	+ 0.00 - 0.03

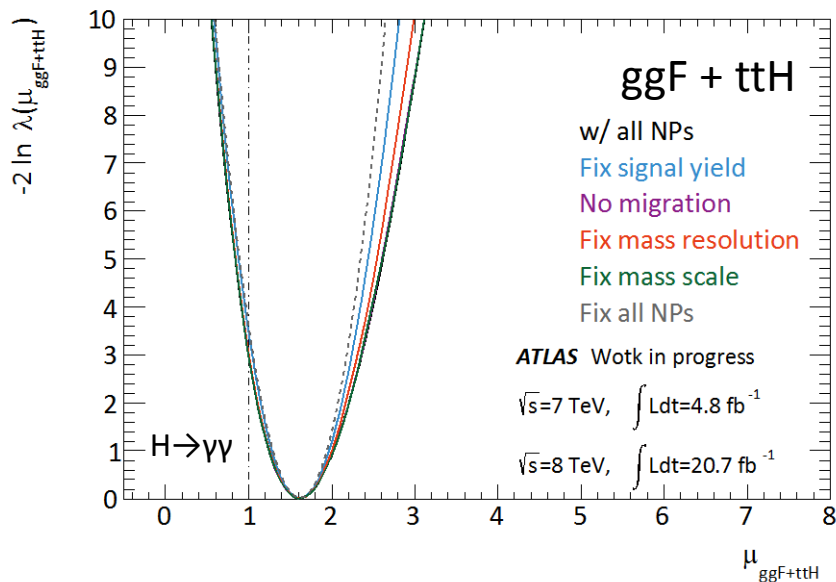
Signal yieldの系統誤差が最も μ に効く

中でも、断面積と分岐比の theory uncertaintyが大きい

theoryなので、解析の努力で減らせない → 他の系統誤差をつぶしていくしかない

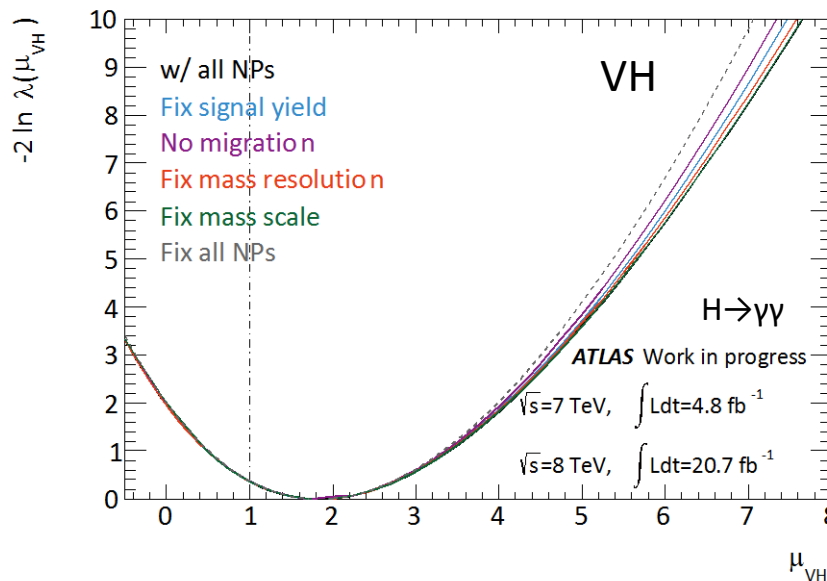
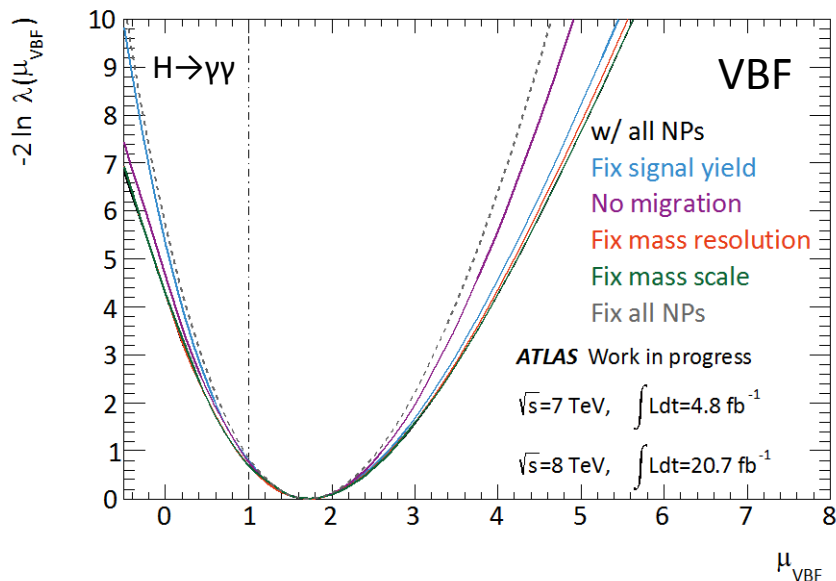
例えばphoton ID uncertainty ($\pm 2.4\%$ on signal yield) は、EMカロリメータ内のシャワー形状のData/MCの一致を改善させて、減らせるかもしれない

Production別のsignal strength (ケース2)



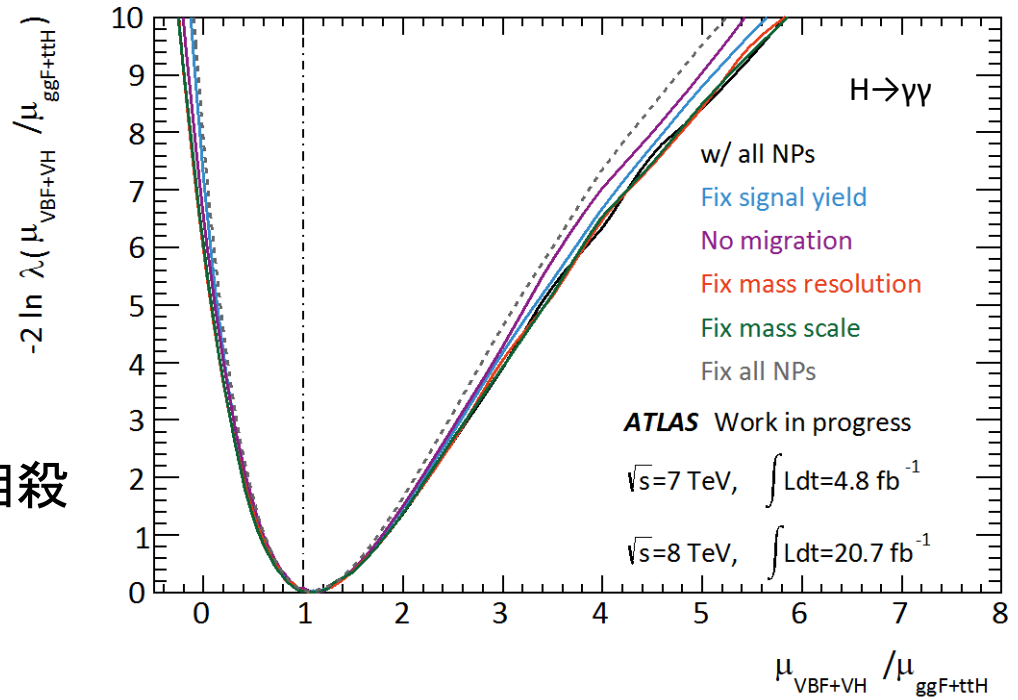
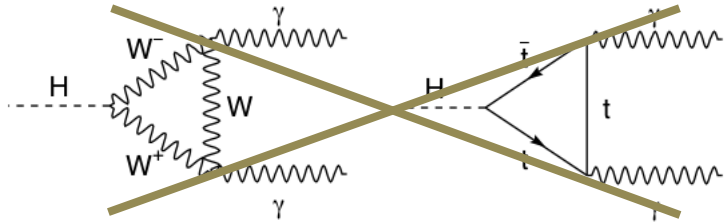
$\hat{\mu}_{ggF+ttH} = 1.6$	$+0.3$	(stat.)	$+0.3$	(syst.)
	-0.3		-0.2	
$\hat{\mu}_{VBF} = 1.7$	$+0.8$	(stat.)	$+0.5$	(syst.)
	-0.8		-0.4	
$\hat{\mu}_{VH} = 1.8$	$+1.5$	(stat.)	$+0.3$	(syst.)
	-1.3		-0.3	

- processによらず $\mu > 1$
- VBF, VHは統計誤差が支配的
- VBFには、event migrationも効いている (+0.4 -0.3)



$$\mu_{ggH+ttH} / \mu_{VBF+VH}$$

μ は各processで一定か? $\rightarrow \mu$ の比をscanする



比を取ることで、分岐比の影響を相殺

$$\mu_{ggF+ttH} / \mu_{VBF+VH} = 1.1 \begin{matrix} +0.7 \\ -0.5 \end{matrix} \text{ (stat.) } \begin{matrix} +0.3 \\ -0.2 \end{matrix} \text{ (syst.)}$$

生成側はSMと無矛盾
SMとの差を作っているのは崩壊側か?

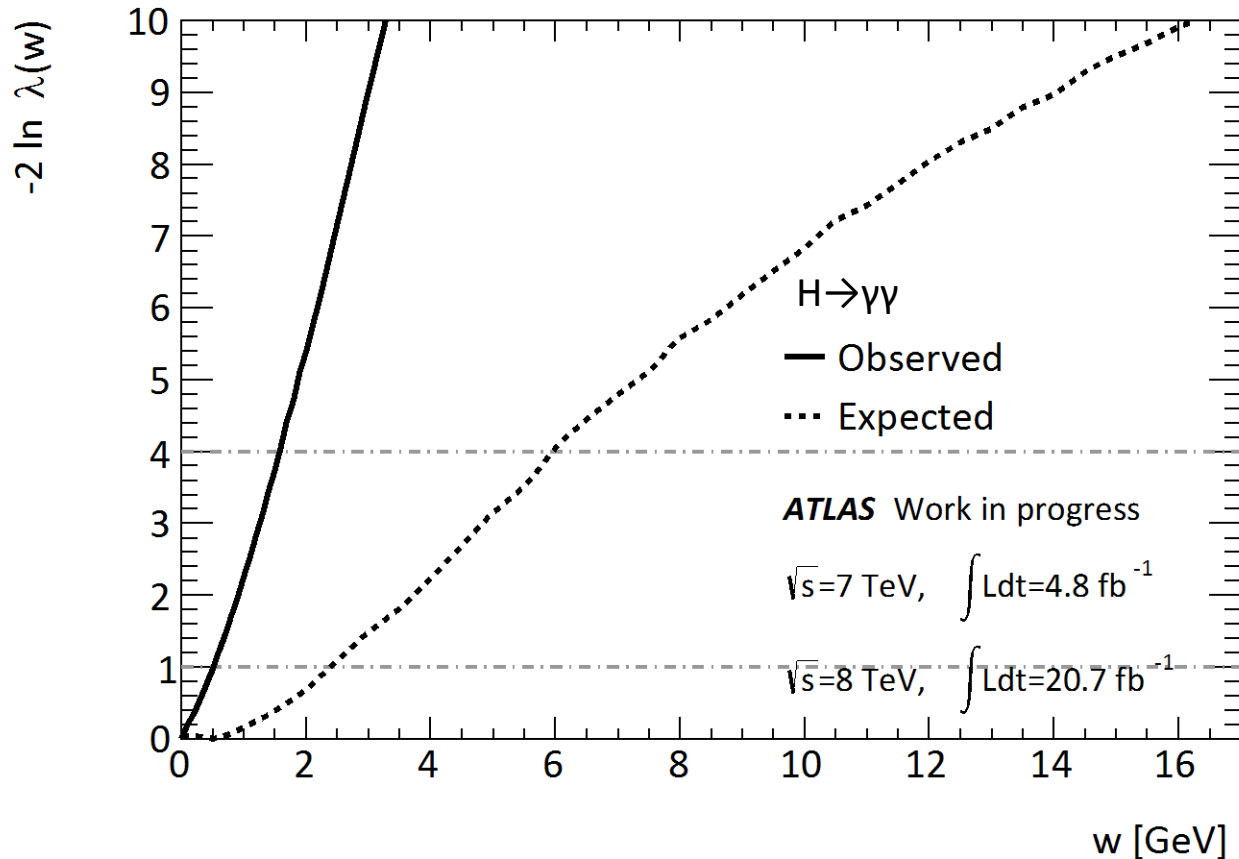
自然幅の直接測定

SMでの自然幅 = 4 MeV $\xrightarrow{+3\sigma}$ Mass resolution = 1.6 GeV
resolution uncertainty $\sim 20\%$

- $m_{\gamma\gamma}$ のピーク \rightarrow SMの自然幅を測れるほど感度はない
- しかしSMでなければ、太い自然幅が見える可能性も
- Higgsの自然幅をscanし、maximum likelihoodを探す
- test statistic:
$$q_w = -2 \ln \lambda(w) = -2 \ln \frac{L(w, \hat{\mu}, \hat{m}_H, \hat{\theta})}{L(\hat{w}, \hat{\mu}, \hat{m}_H, \hat{\theta})}$$

w: 自然幅
 μ, m_H はfree

測定結果



自然幅の上限:

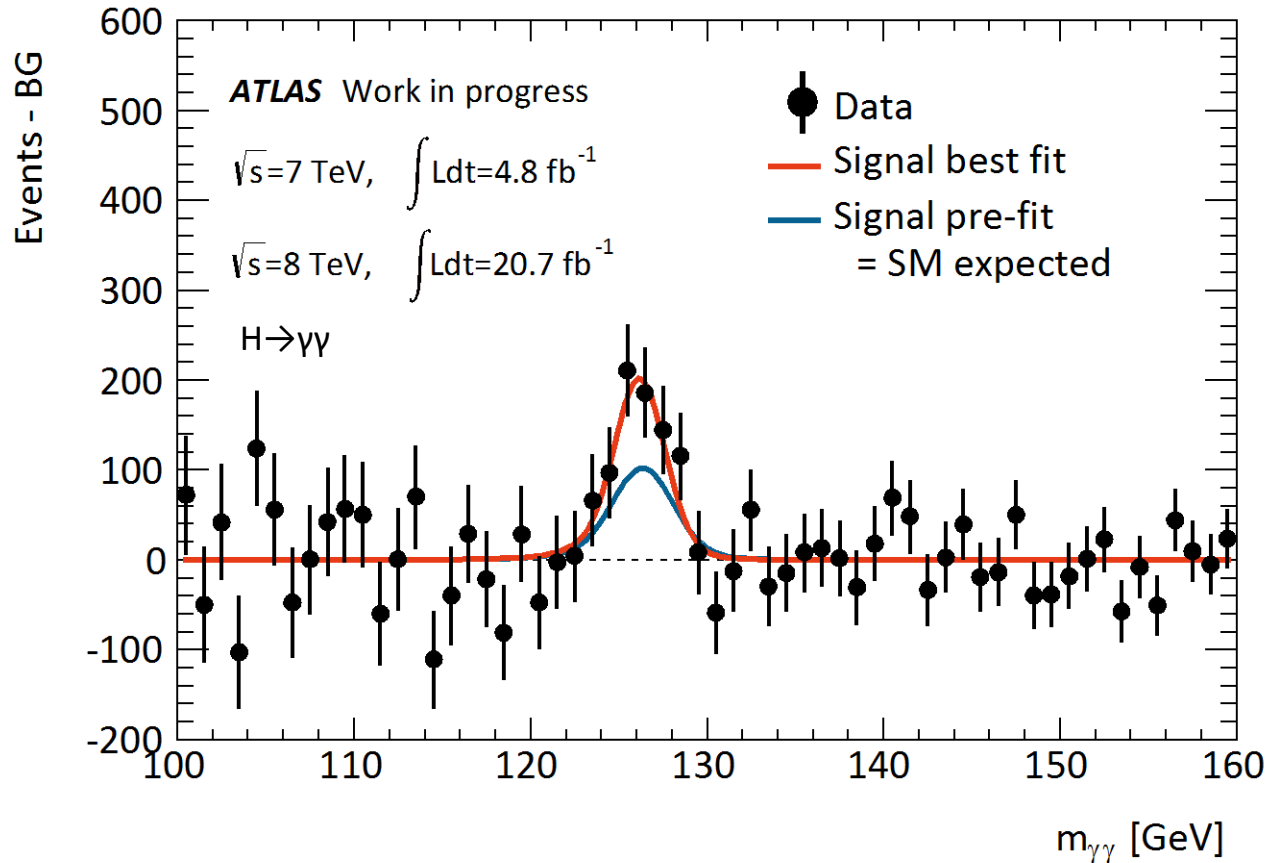
1.7 GeV (observed)
 5.8 GeV (expected) (95% CL)

from toy MC study

[CMSでは、 { 6.9 GeV (observed)
 5.9 GeV (expected) }]

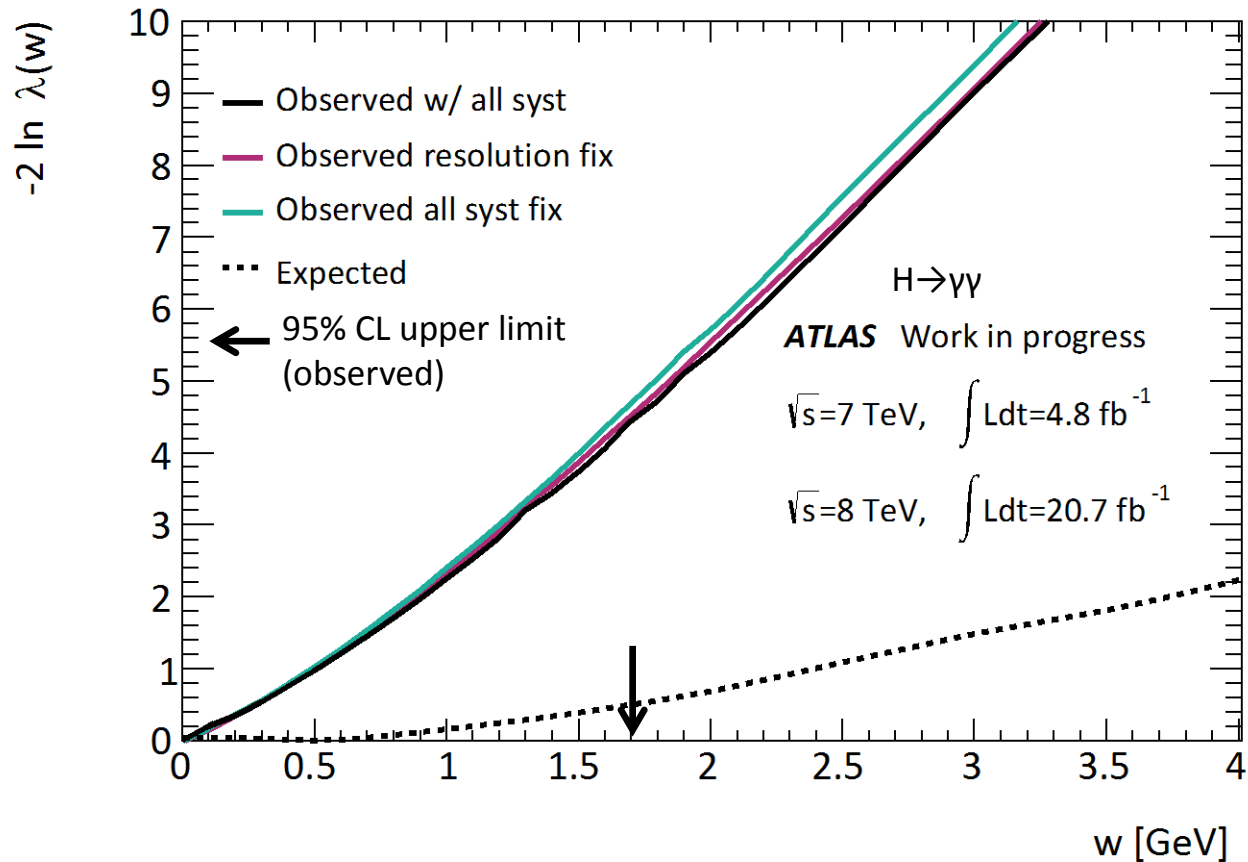
ObservedがSM expectedより数倍良い → なぜ???

$m_{\gamma\gamma}$ ピーク



- SM expectedの信号量より多く ($\mu = 1.65$)、期待されるmass resolutionより 0.3 GeV小さい (resolution uncertainty 0.97σ 分)
- 大きい μ と細かいピークが自然幅の上限値を下げている

系統誤差



- 統計誤差が支配的
- 系統誤差 ~ 100 MeV $<$ 統計誤差 / 10
- 系統誤差には mass resolution の uncertainty が効く

まとめ

- H → $\gamma\gamma$ チャンネルで 7 + 8 TeV (4.8 + 20.7 fb⁻¹) のデータを解析
- Coupling測定

$$\hat{\mu} = 1.65 \pm 0.24(\text{stat.}) \begin{matrix} +0.25 \\ -0.18 \end{matrix} (\text{syst.})$$

- process別に μ を見ると、

$$\hat{\mu}_{ggF+ttH} = 1.6 \begin{matrix} +0.3 \\ -0.3 \end{matrix} (\text{stat.}) \begin{matrix} +0.3 \\ -0.2 \end{matrix} (\text{syst.})$$

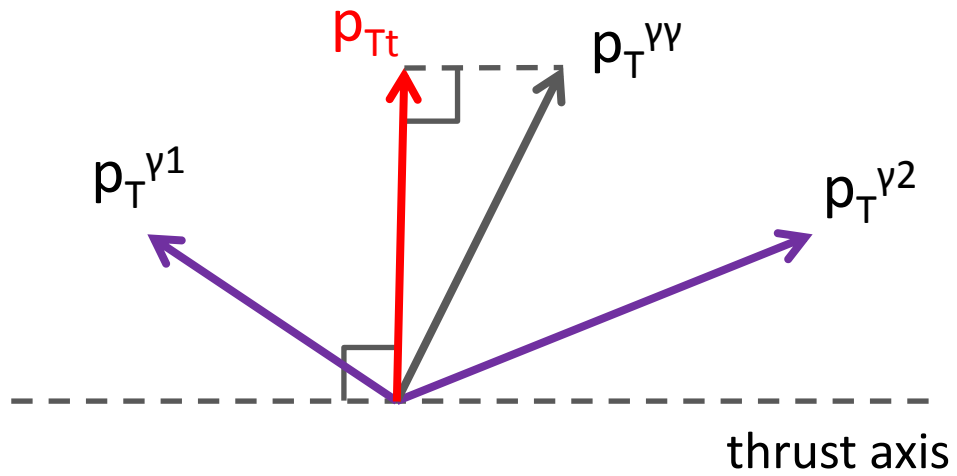
$$\hat{\mu}_{VBF} = 1.7 \begin{matrix} +0.8 \\ -0.8 \end{matrix} (\text{stat.}) \begin{matrix} +0.5 \\ -0.4 \end{matrix} (\text{syst.})$$

$$\hat{\mu}_{VH} = 1.8 \begin{matrix} +1.5 \\ -1.3 \end{matrix} (\text{stat.}) \begin{matrix} +0.3 \\ -0.3 \end{matrix} (\text{syst.})$$

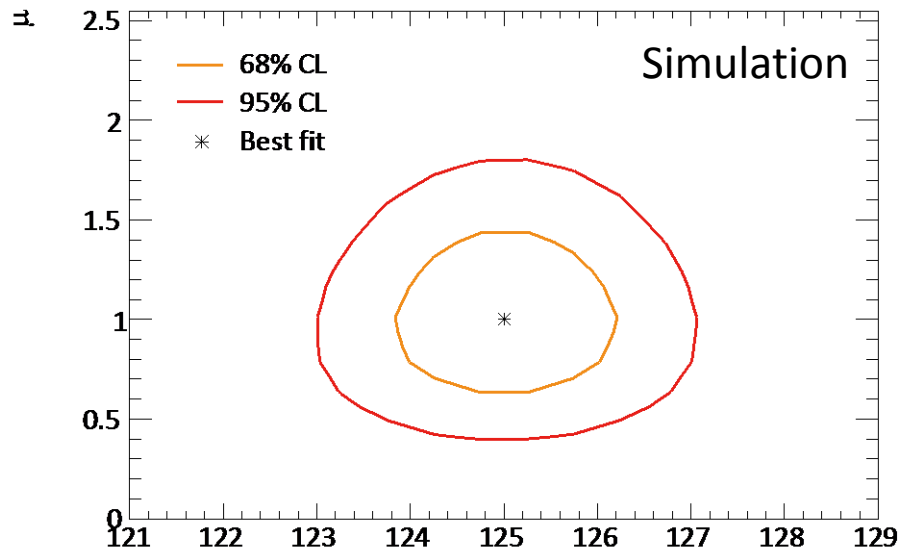
- 系統誤差はtheoryが支配的
- VBF, VHのcouplingにはevent migrationのstudyが重要
- 自然幅の直接測定
 - 上限値: 1.7 GeV (observed), 5.8 GeV (SM expected)
 - 統計誤差が支配的
 - 大きい信号量、狭い $m_{\gamma\gamma}$ ピークが上限を小さくしている
- さらなるデータ (14 TeV) が期待される

back up

p_{Tt}



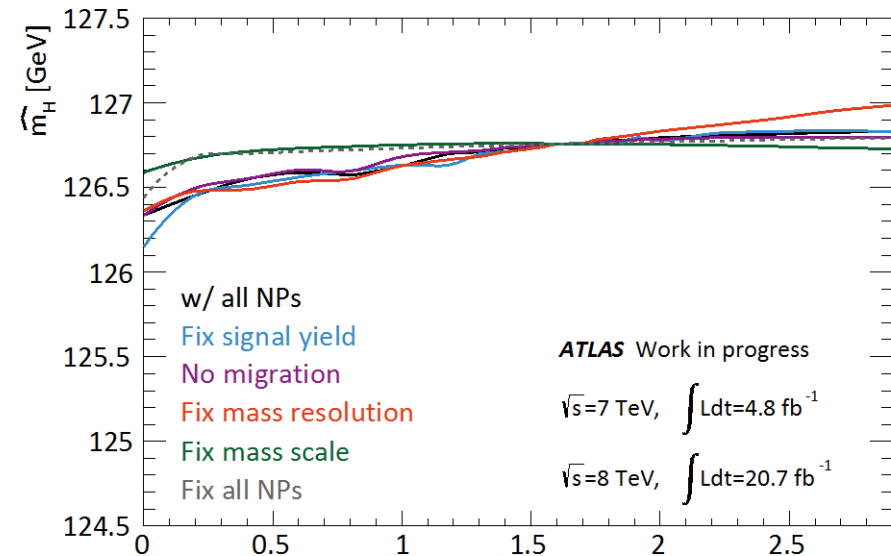
μ と m_H の相関



Expected

$\mu = 1$
 $m_H = 125 \text{ GeV}$ } でpseudo dataを生成し、相関を調べた

→ 相関は極めて弱い



Observed

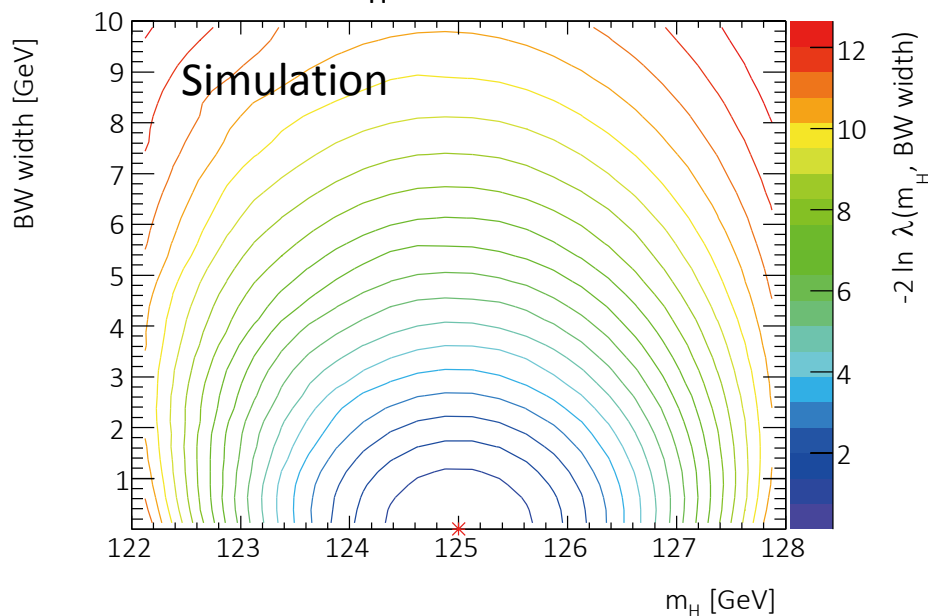
mass scaleに関するsystematicsにより、 m_H のbest fit valueは $\sim 0.1 \text{ GeV}$ 変化する

原因は $m_{\gamma\gamma}$ 分布の統計のふらつき

自然幅と m_H , μ の相関

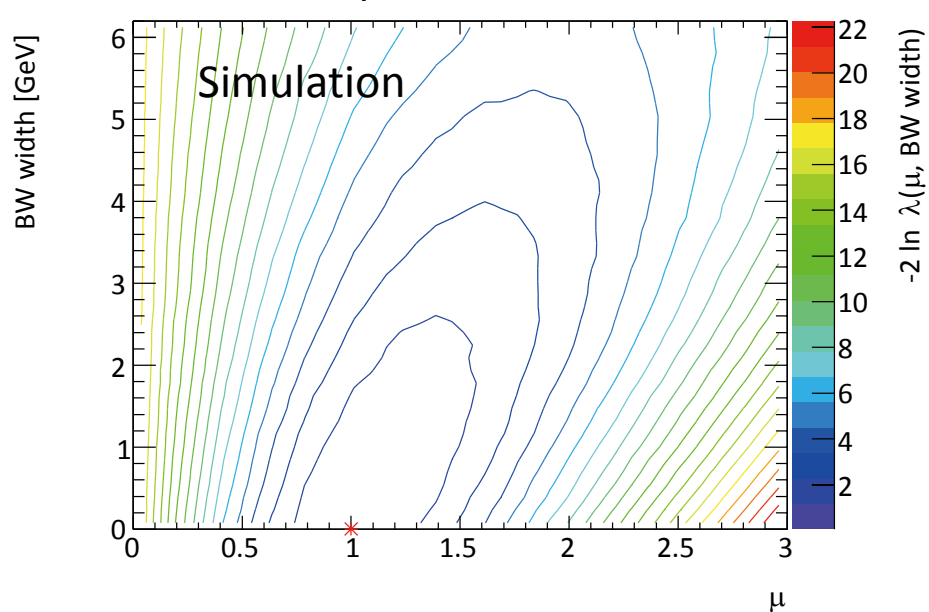
SM expected ($m_H = 125$ GeV) について計算

m_H との相関



m_H とは無相関

μ との相関



μ とは正の相関

Coupling測定 (詳細)

○ Signal strength (μ , SMとの信号量の比) をscanし、maximum likelihoodを探す

○ ケース1: production processによらず、断面積が一定だと仮定

– productionに共通の μ を使用

– Higgs mass (m_H) はfree

– test statistic: $q_\mu = -2 \ln \lambda(\mu) = -2 \ln \frac{L(\mu, \hat{m}_H, \hat{\theta})}{L(\hat{\mu}, \hat{m}_H, \hat{\theta})}$ $\hat{}$ は μ のときのbest fit value
 $\hat{}$ は $\hat{\mu}$ でのbest fit value

○ ケース2: production processごとに μ を設定 ($\mu_{ggF+ttH}$, μ_{VBF} , μ_{VH})

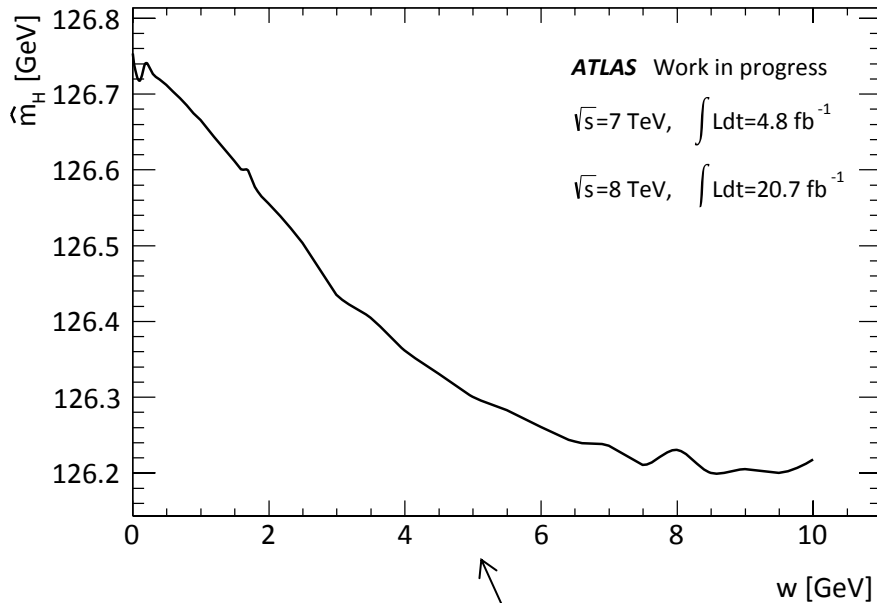
– VBF用のtest statistic: $q_{\mu_{VBF}} = -2 \ln \lambda(\mu_{VBF}) = -2 \ln \frac{L(\mu_{VBF}, \hat{\mu}_{ggF+ttH}, \hat{\mu}_{VH}, \hat{m}_H, \hat{\theta})}{L(\hat{\mu}_{VBF}, \hat{\mu}_{ggF+ttH}, \hat{\mu}_{VH}, \hat{m}_H, \hat{\theta})}$

– VBFの μ を調べるときは、ggF, VH, ttHの μ はfree

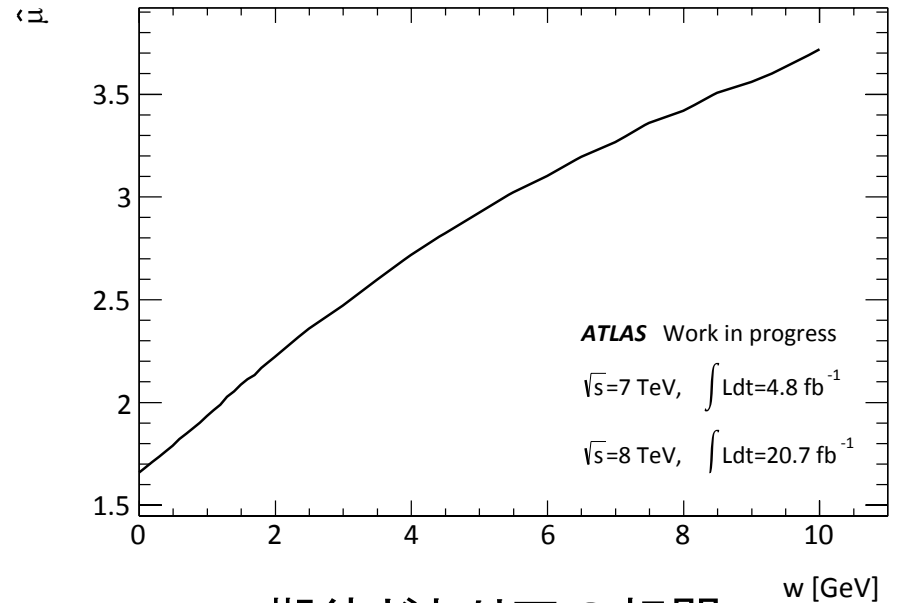
– ggF, VHの場合も同様

自然幅と m_H , μ の相関 (observed)

m_H との相関



μ との相関



期待どおり正の相関

- 本来無相関のはずだが m_H は自然幅によって変わる
- $m_{\gamma\gamma}$ 分布が統計のふらつきで、相関があるように見えている