



LHC-ATLAS実験における 二光子に崩壊するヒッグス粒子の探索

山村 大樹、田中 純一、増淵 達也、中村 浩二、浅井 祥仁^A

東大素セ、東大理^A



日本物理学会 2011年秋季大会

16/09/2011



Outline

◆ $H \rightarrow \gamma\gamma$ 解析の概要

- Introduction
- 背景事象 (Background)
- Event selection / Event categorization

◆ $H \rightarrow \gamma\gamma$ 探索

- Background study
- Signal modeling
- 系統誤差
- ヒッグス生成断面積の上限値の結果

◆ 今後の展望

◆ まとめ

(i) $H \rightarrow \gamma\gamma$ 解析の概要

Introduction

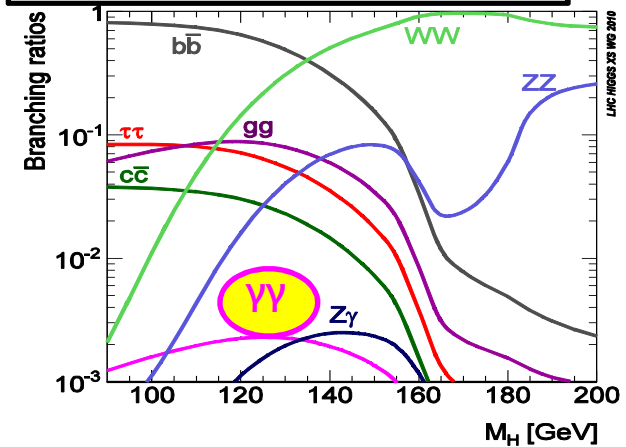
◆ $H \rightarrow \gamma\gamma$ の特徴

- 崩壊分岐比は0.1-0.2%程度。
- 高い横運動量の光子を2つ持つ事象であるため、選択効率が良く、イベントセレクション後にも十分イベントが残ることが期待される。
- $M(\gamma\gamma)$ 分布において、鋭いシグナルピークを観測することが可能。
- $110 < m_H < 125 \text{ GeV}$ において、最も感度が良いチャンネル。

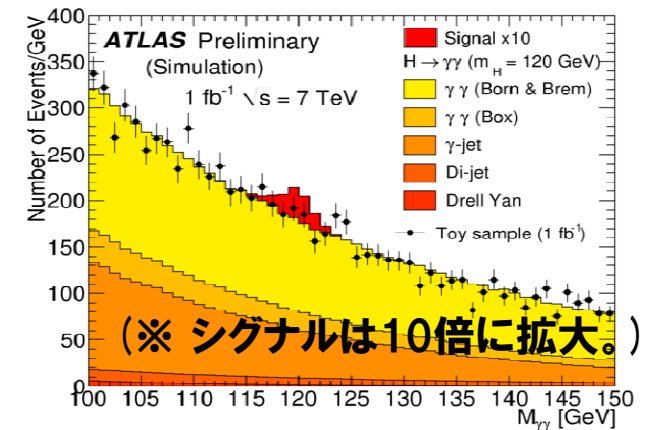
本talk内容

- ATLAS実験における、 1.08 fb^{-1} のdataを用いた $H \rightarrow \gamma\gamma$ の探索
- 探索領域： $110 < m_H < 150 \text{ GeV}$

ヒッグス粒子の崩壊分岐比



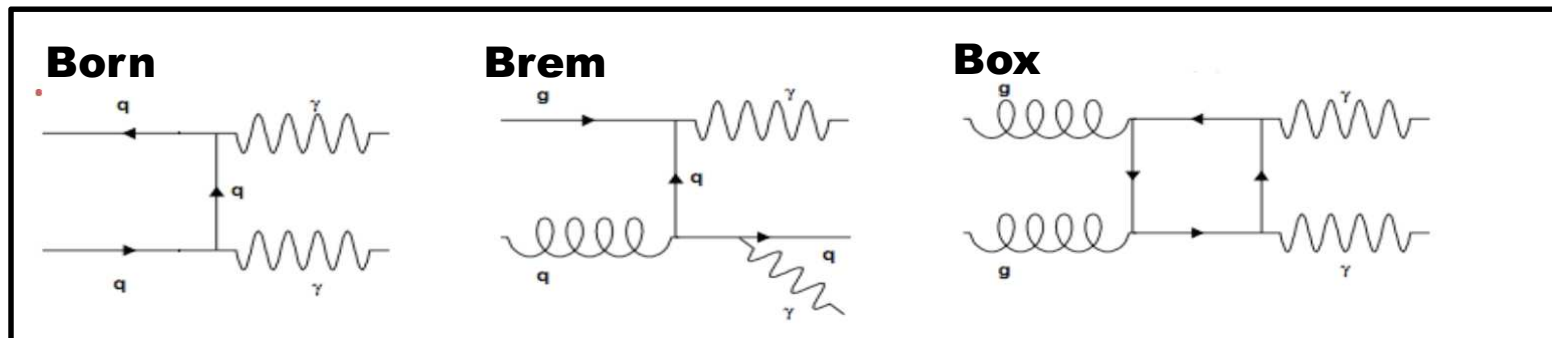
MCを用いて予想した $M(\gamma\gamma)$ スペクトル (1 fb^{-1})



背景事象 (backgrounds)

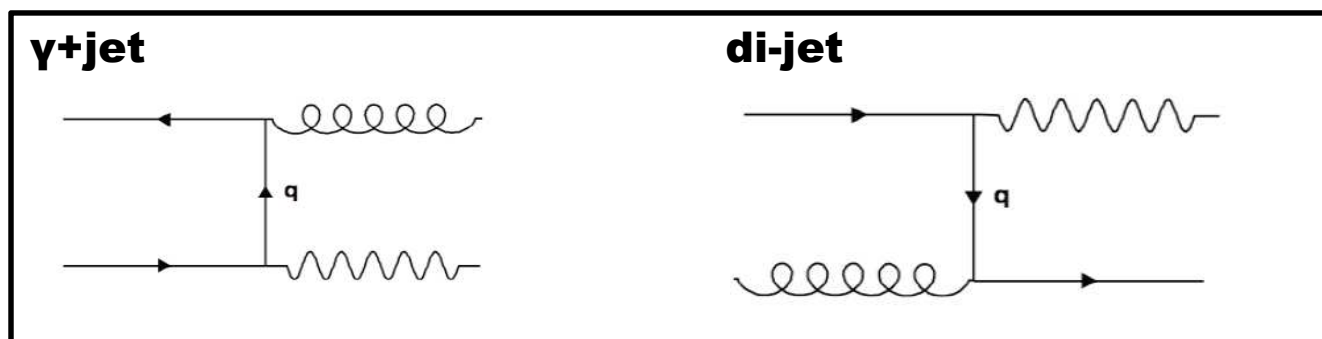
◆ Irreducible background ($\gamma\gamma$)

SMプロセスからくる di-photon事象



◆ Reducible background (γ +jet , di-jet)

jet内のneutral meson(π^0 , η etc.)が fake photonを作る。



◆ Drell-Yan ($Z \rightarrow ee$) ... Very small contribution.

液体アルゴン電磁カロリメータ

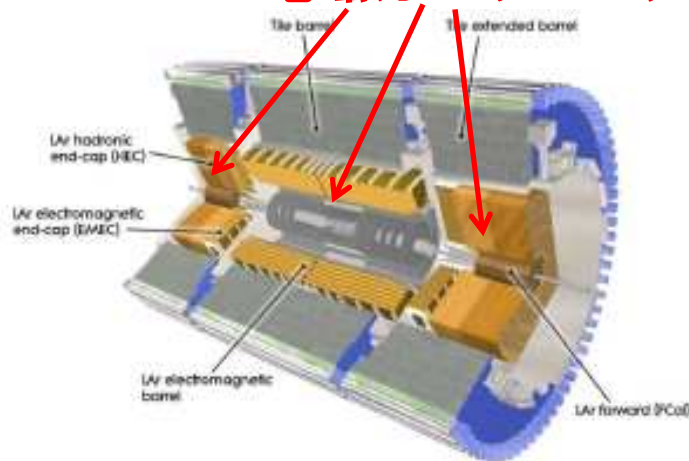
◆ 3 layers からの構造

- Strip (1st layer) :
 - Fine granularity in η
- Middle (2nd layer)
- Back (3rd layer)
- $|\eta| < 1.8$ には、pre-samplerもある。

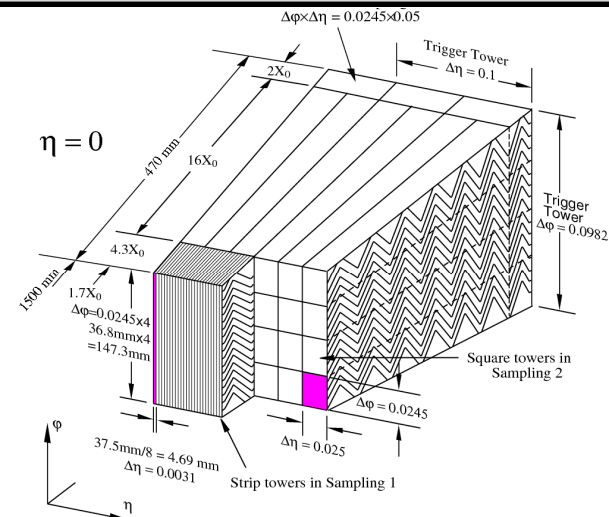
< $\Delta\eta \times \Delta\phi$ granularity in each compartment (barrel)>

	Pre-sampler	Strip(1 st)	Middle(2 nd)	Back(3 rd)
$\Delta\eta \times \Delta\phi$	0.025×0.1	0.003×0.1	0.025×0.025	0.05×0.025

電磁カロリメータ



<アトラス検出器>



<電磁カロリメータ>

M($\gamma\gamma$) reconstructionについて

Peak resolutionがよいほど、 $H \rightarrow \gamma\gamma$ の感度は高くなる。

◆ Primary vertex (z) の再構成

Photonの位置情報を基に再構成する。(Pile-upの影響を受けにくい。)

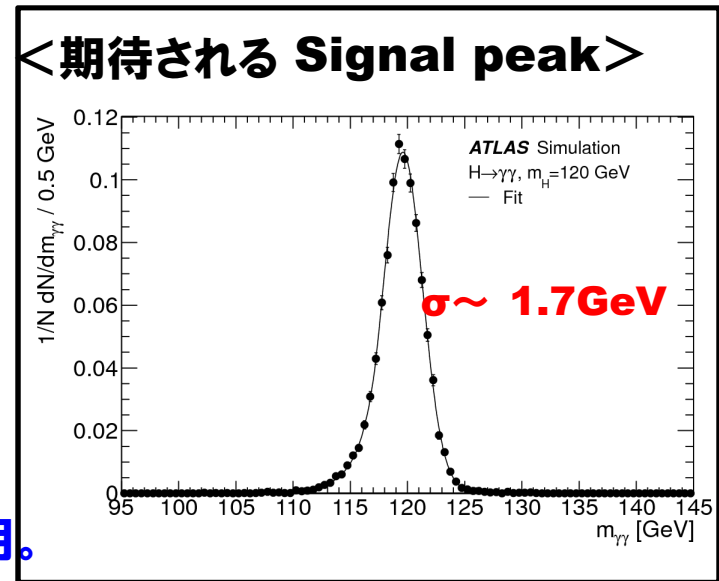
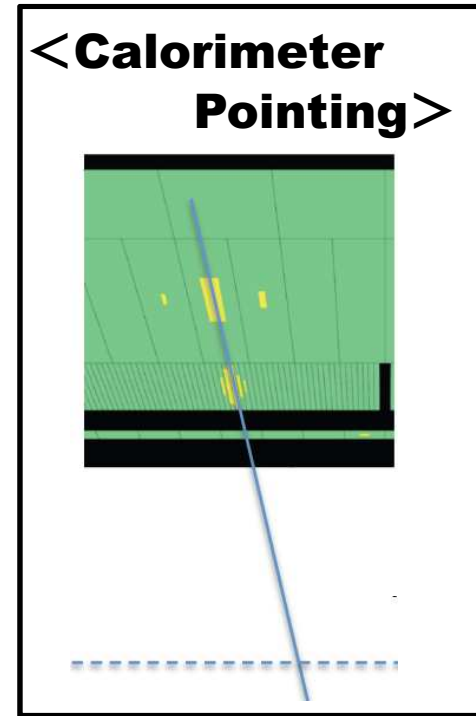
- **Unconverted photon :**
“**Calorimeter pointing method**”
(the 1st and 2nd layer of EM calorimeter)

- **Converted photon :**
“**the 1st layer of EM calorimeter**”
+ “**conversion point**”



得られたvertex positionをもとに、
photonの η を決定。

◆ Energy scale calibration : $Z \rightarrow ee$ を使用。



Event selection

2つの高横運動量の光子の存在を要求。[$p_T(\gamma_1) > 40\text{GeV}$ $p_T(\gamma_2) > 25\text{GeV}$]

Selection criteria

- ◆ 2 photon トリガー ($E_T > 20\text{GeV}$)
- ◆ Event vertexセレクション (Collision事象のセレクション)
- ◆ 2光子事象のセレクション

以下を満たす光子が2つ存在する事象の選択。

- $|\eta| < 1.37$ or $1.52 < |\eta| < 2.37$
- $p_T(\gamma_1) > 40\text{GeV}$, $p_T(\gamma_2) > 25\text{GeV}$
- photon-ID (電磁カロリメータ内のクラスター形状を用いたIDセレクション。)
- isolation cut (Calorimeter isolation)

Event categorization

イベントを以下の5つに分類する。

- **Unconv/Conv**
 - $(\eta(\gamma_1), \eta(\gamma_2))$
- を用いた分類。

	Unconv/Conv	$(\eta(\gamma_1), \eta(\gamma_2))$
(1) Unconverted - Central	Unconv	Central
(2) Unconverted - Rest	Unconv	Medium or Transition
(3) Converted - Central	Conv	Central
(4) Converted - Transition	Conv	Transition
(5) Converted - Rest	Conv	Medium

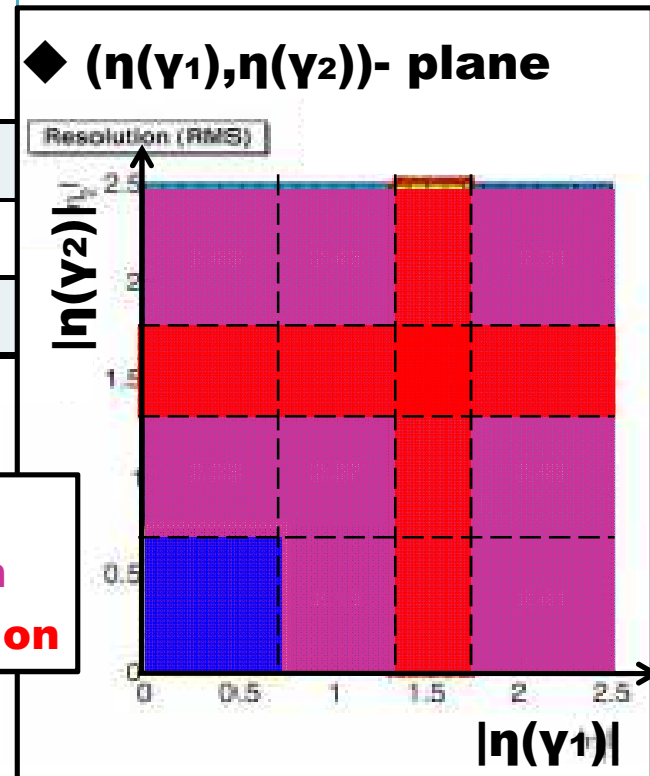
◆ Unconv/ Conv :

- **Unconv :**
2光子とも**Unconverted**。
- **Conv :**
少なくとも一方の光子が**Converted**。

Diphotonの mass resolution

に応じた分類をすることで、

Significanceが上がる。



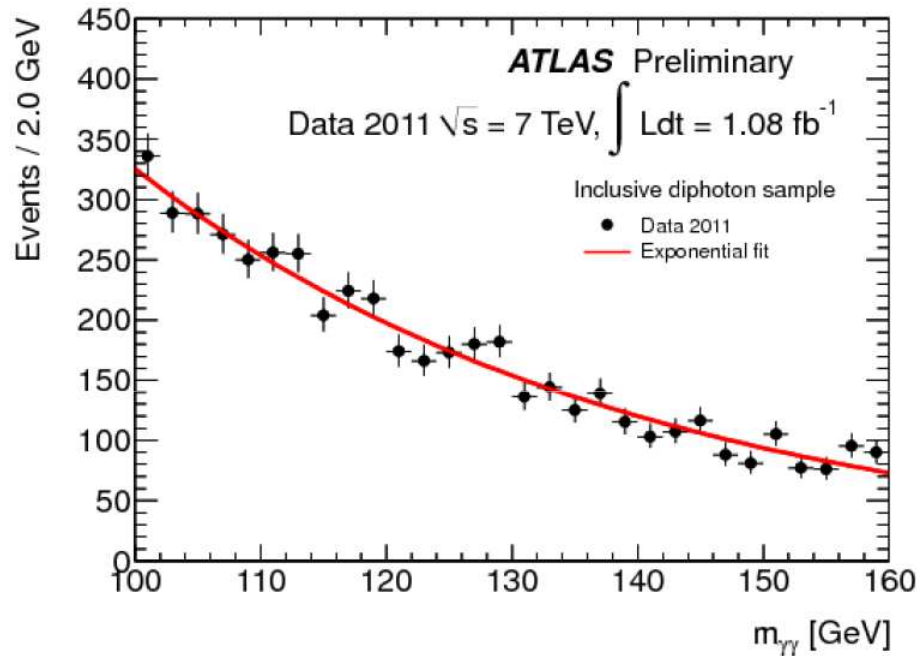
Central
Medium
Transition

(ii) $H \rightarrow \gamma\gamma$ 探索の結果

Background study

セクション後に得られた $M(\gamma\gamma)$ 分布 ($100 < M(\gamma\gamma) < 160 \text{ GeV}$)

まずは、event categorizationを行う前の分布を解析。



Background modeling

• **100-160 GeV領域の $M(\gamma\gamma)$ 分布をexponentialでfit。**

➡ **バックグラウンドレベルを決定。**

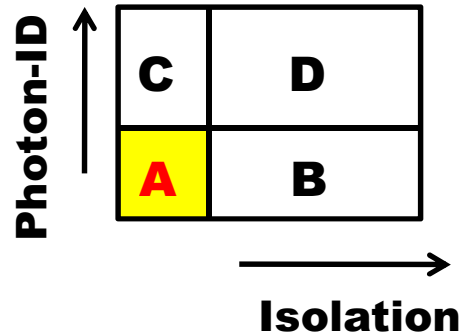
• **ヒッグス粒子の兆候は見えない。**

各BG成分の理解 (BG decomposition)

H $\rightarrow\gamma\gamma$ 探索の最終結果には、全く使わないが、

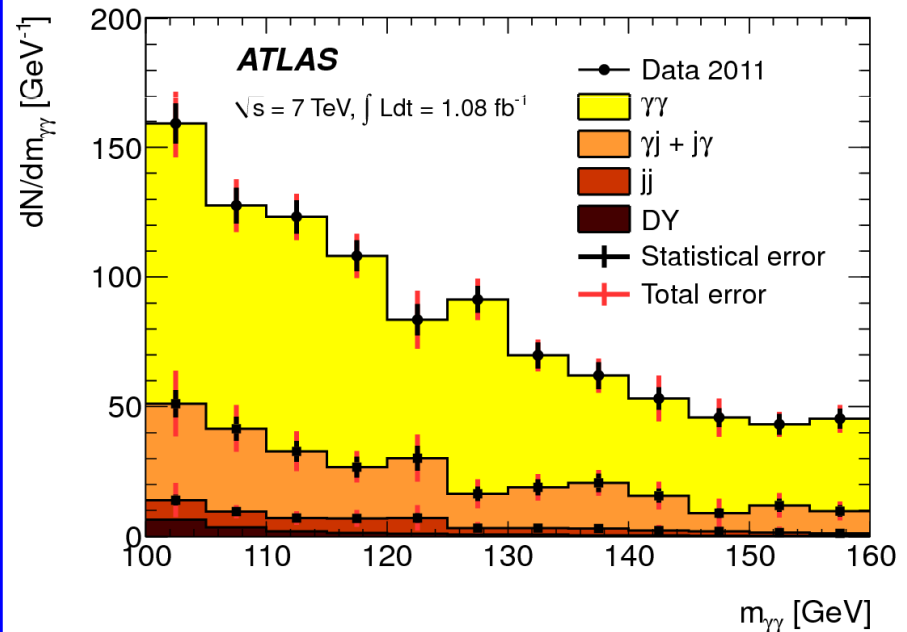
reducible BGが十分抑えられているか等をcheckできる。

BG decomposition



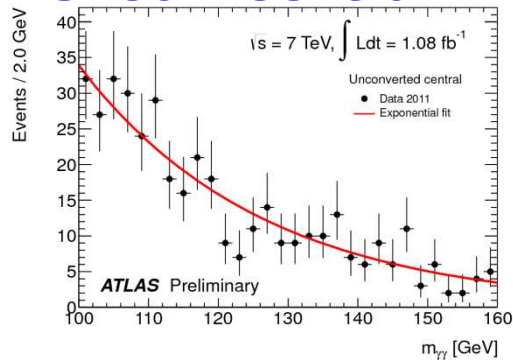
- ABCD法を使って、“ID+isolated”領域の Fake photon数を評価。
- これを γ_1, γ_2 にiterativeに適用することで、シグナル領域における $\gamma\gamma, \gamma+jets, di-jets$ の イベント数をextractすることができる。

結果

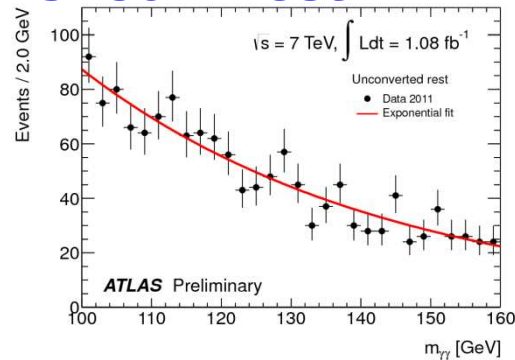


Event categorization後のM($\gamma\gamma$)分布

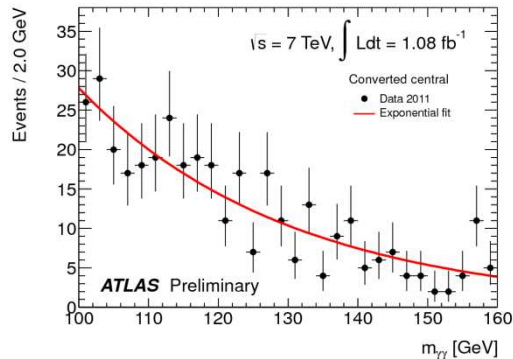
UnconvCentral



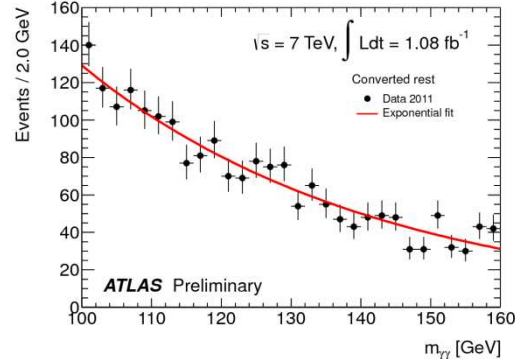
UnconvRest



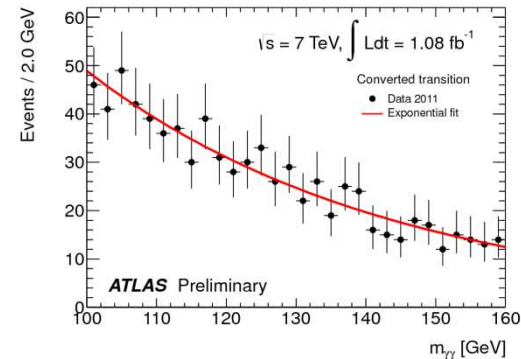
ConvCentral



ConvMedium



ConvRest



どのcategoryでも、ヒッグス粒子の兆候は見えない。

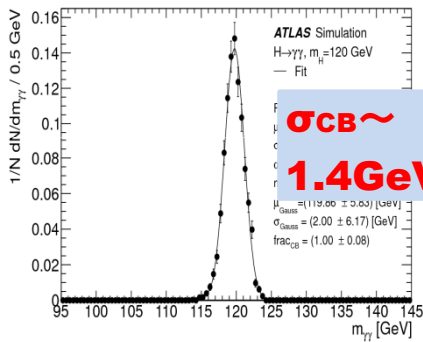
シグナル($H \rightarrow \gamma\gamma$) 探索

Signal modeling

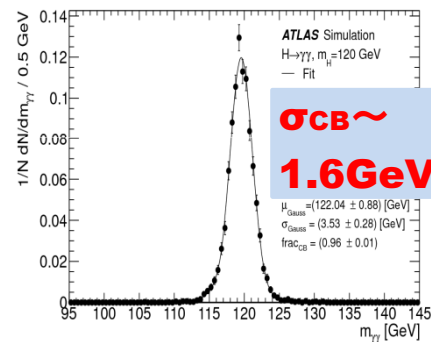
Signal shape (ex.) $m_H=120\text{GeV}$

“Crystal Ball + Gaussian”
での modeling.

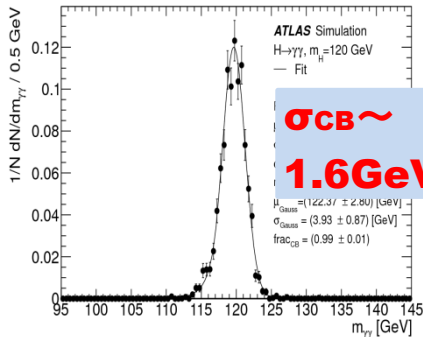
UnconvCentral



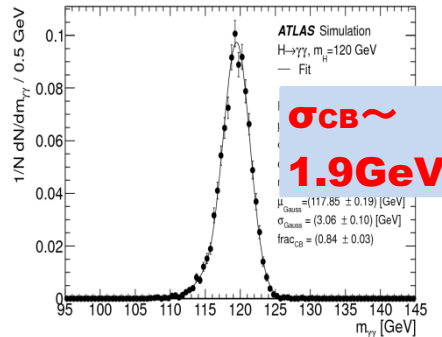
UnconvRest



ConvCentral



ConvTransition



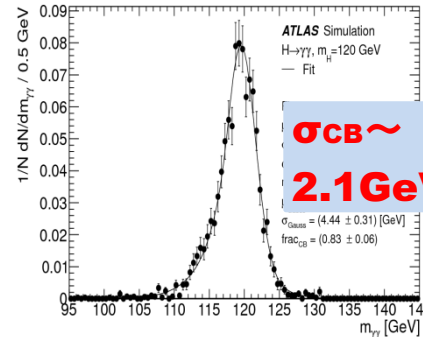
期待されるシグナル事象数 (1.08fb^{-1})

Total signal yield $\sim 7-18\text{evts}$
(for $m_H=110-150\text{GeV}$)

m_H [GeV]	110	120	130	140	150
$\sigma \times \text{BR}$ [fb]	44.7	42.8	36.5	26.9	16.4
Signal yield	17.0	17.6	15.8	12.1	7.65
Unconverted central	2.55	2.64	2.30	1.71	1.11
Unconverted rest	4.55	4.74	4.18	3.38	2.08
Converted central	1.98	1.96	1.71	1.34	0.82
Converted transition	2.32	2.23	2.09	1.52	0.97
Converted rest	5.62	6.04	5.56	4.19	2.67

各カテゴリでの Signal yield

ConvRest



系統誤差

(i) シグナル事象数の不定性 : **+23%/-19%**

- Theory : **+20%/-15%**
- photon-ID eff. : **±11%**
- Iso-cut eff. : **±3%**
- Luminosity : **±3.7%**
- Trigger : **±1%**
- Higgs p_T modeling : **±1%**

(ii) シグナルピーク幅の不定性 : **±14%**

- Cluster energy resolutionの不定性 : **±12%**
(Constant term)
- Calibrationの不定性 : **±6%**
- Pileup : **±3%**
- 角度(位置)分解能の不定性 : **±1%**

(iii) BG modeling

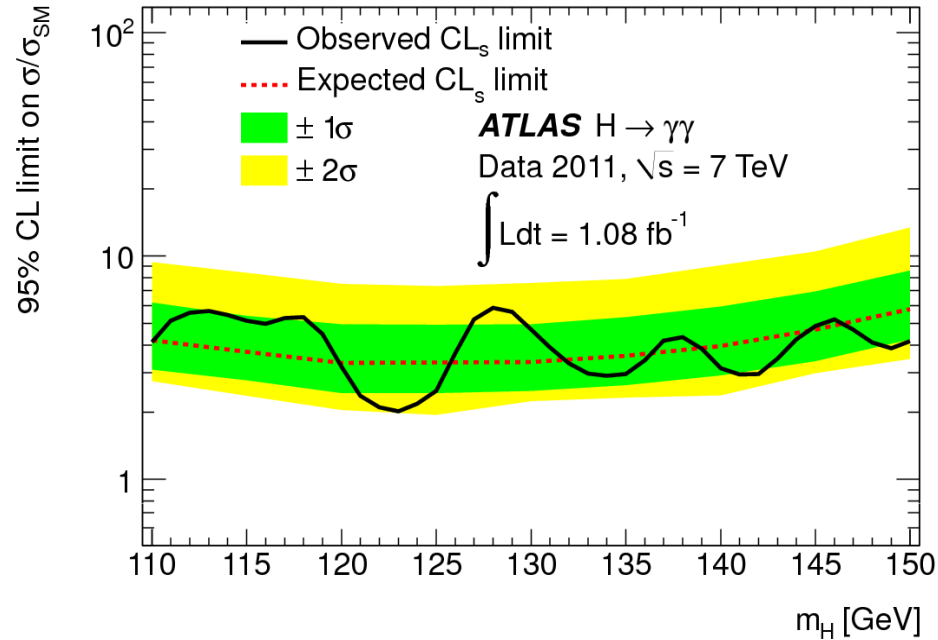
- Backgroundのmodeling (function formをexponentialで仮定していること) に起因する不定性を考慮。
- 様々な関数モデルを用いた場合でfit結果がどう変わるかをcheckし、これをuncertainty とする。

$$\left(\begin{array}{l} \exp[a-bx-c \cdot \log(x)], \\ \exp[a-bx]+\exp[c-dx], \\ \exp(a-bx) \times (c+dx+ex^2), \\ \exp[a-bx+cx^2] \end{array} \right)$$

<Result> (total sig #の不定性)

$$\delta N = \begin{cases} \pm 5 & \text{(for 110GeV)} \\ \pm 3 & \text{(for 150GeV)} \end{cases}$$

H → γγ 探索の最終結果



<系統誤差>

	Error
シグナル事象数	+23%/-19%
シグナルピーク幅	$\pm 14\%$
BG modeling ($M_{\gamma\gamma} = 110 [150]$ GeV)	$\pm 5 [\pm 3]$ events

◆ ヒッグス生成断面積に対する上限値 (@95% C.L. with CL_s)

- **Expected : (3.3-5.8) × SM**
- **Observed : (2.0-5.8) × SM**

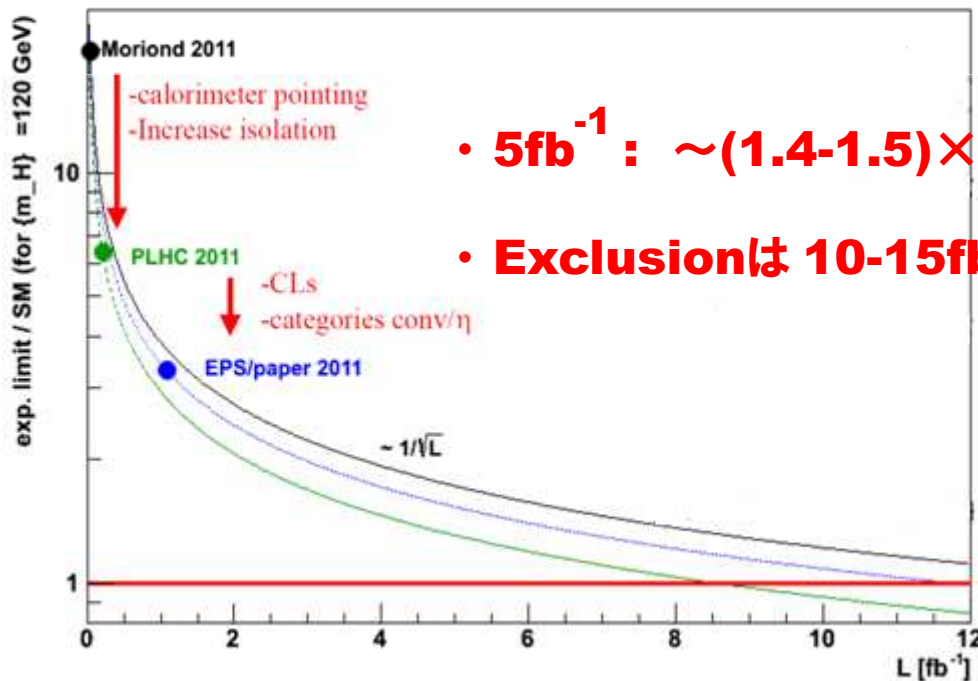
(iii) $H \rightarrow \gamma\gamma$ 今後の展望

H→γγ 今後の展望

◆ $\gamma\gamma$ チャンネルで重要となる m_H region : $m_H=110-130\text{GeV}$

特に $m_H=110-125\text{GeV}$ であれば、 $H\rightarrow\gamma\gamma$ チャンネルが
発見の決め手となるはず。

Exclusionに関して今後期待される成果 ($m_H=120\text{GeV}$ の場合
のroughな展望)



• 5fb^{-1} : $\sim(1.4-1.5)\times\text{SM?}$

• Exclusionは $10-15\text{fb}^{-1}$ 程度。

今年終わりまででの展望は？

- データ量： 5fb^{-1} 程度になるみこみ。
- 他のdecay channel (WW, tautau etc.)や、CMSの結果もcombineすることで、low mass region($m_H \sim 120\text{GeV}$ etc.)でのexclusionの可能性もあり？

H $\rightarrow\gamma\gamma$ 解析の今後

**Exclusionやobservationの達成を早めるためにも、
今後はsensitivityの改善が非常に重要。**

- **Exclusive analysis (H+0/1/2 jets) の導入。**
- **MVA (Multi-Variate Analysis)**
 - ✓ **photon-ID**
 - ✓ **$\cos\theta^*$ や $p_T(\gamma\gamma)$ の使用** $\left[\cos\theta^* : 2\text{光子間の角度に関するパラメータ} \right]$

まとめ

◆ 2011年の 1.08fb^{-1} のデータを用いて、 $H \rightarrow \gamma\gamma$ 探索を行った。

- 探索領域： $m_H = 110\text{-}150\text{GeV}$
- ヒッグス粒子の兆候は見られなかった。
- 生成断面積に対する上限値 (@95% C.L.)
 - ✓ Expected : $(3.3\text{-}5.8) \times \text{SM}$
 - ✓ Observed : $(2.0\text{-}5.8) \times \text{SM}$

◆ $H \rightarrow \gamma\gamma$ 解析の今後

- $m_H = 110\text{-}125\text{GeV}$ であれば、 $H \rightarrow \gamma\gamma$ チャンネルが発見の決め手となるはず。
- exclusionやobservationの早期達成を目指すべく、今後はsensitivityを上げていくことが重要。
 - ✓ Exclusive analysis
 - ✓ MVA

Backup

Data および MCサンプル

<Data>

- ・ $\sqrt{s} = 7\text{TeV}$, 1.08fb^{-1} (2011 data)
- ・ ルミノシティの不定性は、3.7%。

<MC>

◆ シグナル ($H \rightarrow \gamma\gamma$)

- ・ ggF, VBF : PowHeg
- ・ WH, ZH, ttH : Pythia
- ・ 110-150GeV with 5GeV step

<Normalization>

- ・ ggF, VBF, WH, ZH : Using NNLO
- ・ ttH : Using NLO

◆ バックグラウンド

M($\gamma\gamma$)分布をfitすることにより、BGレベルを評価できるため、基本的にはMCは不要。

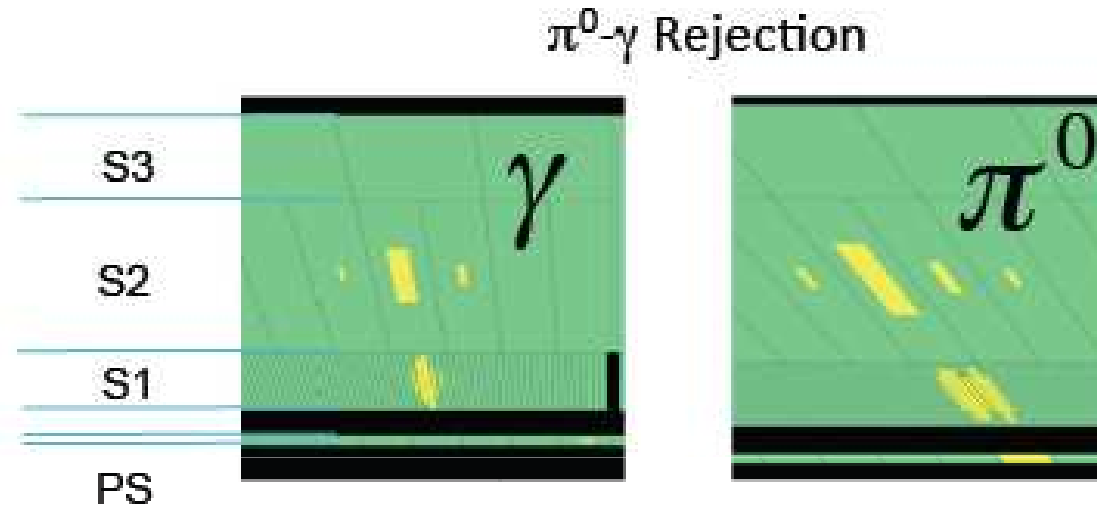
〔但し、BGの詳細を理解するためのチェック用として、PythiaとAlpGenを使用。〕

Photon rec., ID and isolation cut

Longitudinal segmentation :

Energy reconstruction

Photon Cluster based on 3x5 (unconverted γ) and 3x7 (converted γ)
- for barrel photons -



Lateral segmentation :

- Shower shape variable in S2
- Fine S1 granularity ~ 0.003 in pseudo rapidity
- Excellent γ - π^0 rejection
- Simple cuts technique

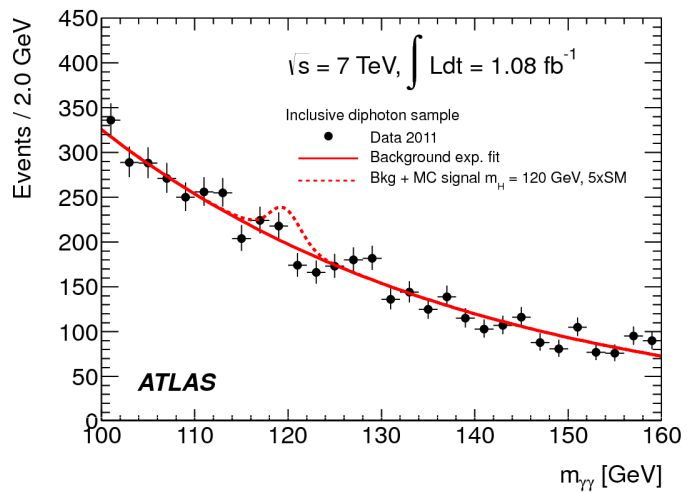
Photon isolation :

- Calorimeter based (0.4 cone)
- Out-of-(inner)-cone leakage corrections
- Underlying event and pile-up (PU) correction event based (using a Jet-Area type of algorithm)

4

M($\gamma\gamma$)分布

(点線 : “BG fit result”
+ “5×SM higgs”)



1-CL_b

