

LHCでのヒッグス探索

戸本 誠

名古屋大学大学院理学研究科
タウ・レプトン物理研究センター



Nagoya University

タウ・レプトン物理研究センター
Tau Lepton Physics Research Center

本日の内容

2012年(平成24年)7月5日(木曜日) 中日新聞社 2012 (日刊) 第4895号

「ヒッグス粒子」発見

万物をつくる 質量の起源



「ジュネーブ共同」を贈った。●面参照
ヒッグス粒子がみられ、最初に発表した男性は、研究チームの発表に詰まり、緊張して、は、割れんばかりの拍手に包まれた。会場の「わん」といふ人々の立ち上がり、拍手が、ヒッグス粒子発見が確定したかのような祝いのムードに包まれた。半世紀近く前、ヒッグス粒子を提唱したピーター・ヒッグス英エディンバラ大名誉教授(81)は、座席で発表を聴き、「おめでとう」と祝辞を述べた。

「ヒッグス粒子」は、質量の起源を説明する。ヒッグス粒子は、物質の質量を生み出す。ヒッグス粒子は、物質の質量を生み出す。ヒッグス粒子は、物質の質量を生み出す。

国際チーム 年内にも断定

THE YOMIURI SHIMBUN 2012年(平成24年)7月5日 木曜日

読賣新聞

「ヒッグス粒子」発見

質量与える役割 現代物理の枠組み証明

名大など参加チーム

欧州合同原子核研究所(CERN)、スイス・ジュネーブ郊外に4日、「ヒッグス粒子」発見の発表が行われ、ヒッグス粒子の存在が確認された。世界は約40年以上にわたって続いていた「現代物理学の枠組み」が、この発見によって証明された。ヒッグス粒子は、物質の質量を生み出す役割を果たしている。発見されたのは、名大など参加した国際チームによるものだ。

取り調べ可相 特捜事件では

質量の起源を説明する。ヒッグス粒子は、物質の質量を生み出す。ヒッグス粒子は、物質の質量を生み出す。

提唱者おめでとう

スイスの 沸き立ち拍手の嵐

「ジュネーブ共同」を贈った。●面参照
ヒッグス粒子がみられ、最初に発表した男性は、研究チームの発表に詰まり、緊張して、は、割れんばかりの拍手に包まれた。会場の「わん」といふ人々の立ち上がり、拍手が、ヒッグス粒子発見が確定したかのような祝いのムードに包まれた。半世紀近く前、ヒッグス粒子を提唱したピーター・ヒッグス英エディンバラ大名誉教授(81)は、座席で発表を聴き、「おめでとう」と祝辞を述べた。

益川さん「物理学に新時代」

CERNの発表を受けて名古屋大で4日夕方、ヒッグス粒子の発見を受けて記者会見を終え、資料を手に笑顔を見せる益川敏英さん(82)。

「国際チームに名大関係者」

益川敏英さんは、名古屋大の物理学教授で、国際チームの一員として参加した。彼は、この発見を「物理学に新時代をもたらす」と語り、今後の研究に意気込みを示している。

これをバネに「新発見期待」

「ヒッグス粒子」発見「名大でも喜び」

ヒッグス粒子の研究チームの一つ「ATLAS」には、名古屋大からも研究者や学生が参加している。ヒッグス粒子とみられる素粒子が見つかったという知らせに、4日、関係者からは喜びや「これからが大事」といった声が上がった。

2006年からチームに参加し、実験で使った長さ44メートル、直径20センチある検出器の組み立てに携わってきたという名大理学部の本間浩二教授は、「ヒッグス粒子発見の可能性が高まったことは、素粒子物理学にとって大きな前進だ」と語り、今後の研究に意気込みを示している。

ヒッグス粒子が 発見

国際チーム 年内にも確定へ

万物の重さの起源

ヒッグス粒子は、1964年に理論的に予測された。この発見は、現代物理学の枠組みを証明し、物質の質量の起源を説明する。ヒッグス粒子は、物質の質量を生み出す役割を果たしている。

名大など参加チーム

益川敏英さんは、名古屋大の物理学教授で、国際チームの一員として参加した。彼は、この発見を「物理学に新時代をもたらす」と語り、今後の研究に意気込みを示している。

朝日新聞 2012年(平成24年)7月5日 木曜日

天気 6 9 12 15 18 21 24

名古屋 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

朝日新聞名古屋本社 発行所:〒460-8488 名古屋市中区栄1-3-3 電話:052-231-8131 www.asahi.com

新しい高齢者マンション SunCity 0120-66-2526 (株)ハーフ・センチュリー・モア

オピニオン・社説・声 12.13面

■社説 年金の代行廃止を/消費税増額の課題
■対話なき政治 平田オリザ氏が語る「言葉」

原発 動かぬ福島第二に人と金

事故が起きた東京電力福島第一原発にほど近い第二原発。再び動く見通しはないにもかかわらず、維持に多くの人と金がかぎ込まれ、その

本日の内容



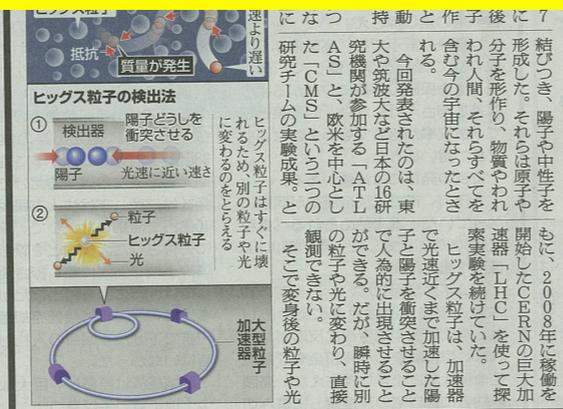
ヒッグス粒子探索に関する最新結果 Preliminary results

126GeV付近の質量領域に、 5σ 程度の、
顕著な新粒子の信号を観測した。

ATLASの結果をメインに話します。

新発見期待
「発見」名大でも喜び

ATLASに「発見」の兆候が見つかっている。ヒッグス粒子の質量領域に、 5σ 程度の、顕著な新粒子の信号を観測した。これは、素粒子物理学にとって大きな前進である。名大現象解析研究センター長を務める飯嶋徹教授は「ヒッグス粒子発見の可能性が高まったことは、素粒子物理学にとって大きな前進である」と喜んでいる。ヒッグス粒子の質量領域に、 5σ 程度の、顕著な新粒子の信号を観測した。これは、素粒子物理学にとって大きな前進である。名大現象解析研究センター長を務める飯嶋徹教授は「ヒッグス粒子発見の可能性が高まったことは、素粒子物理学にとって大きな前進である」と喜んでいる。



の重さの起源

ヒッグス粒子は、2008年に核融合に形成された。それらは原子や分子を形作り、物質やわれわれ人間、それらすべてを含む今の宇宙になったとされる。

今回発表されたのは、東大や筑波大など日本の16研究機関が参加する「ATLAS」と、欧米を中心とした「CMS」の共同実験結果。ヒッグス粒子は、加速器で光速近くまで加速した陽子と陽子を衝突させることで人為的に出現させることができる。だが、瞬時に別の粒子や光に変わり、直接観測できない。

3面=宇宙の謎迫った40年
34面=名大でも喜び

新しい高齢者マンション SunCity
0120-66-2526 (株) ハーフ・セフチュリー・モア

オピニオン・社説・声 12.13面
■社説 年金の代行廃止を/消費税転嫁の課題
■対話なき政治 平田オリザ氏が語る「言葉」

原 発 動かぬ福島第二に人と金
事故が起きた東京電力福島第一原発にほど近い第二原発。再び動く見通しはないにもかかわらず、維持に多くの人と金がつぎ込まれ、その

慎重な姿勢だったが、一方、東京都文京区准教授は「何かが見え、うなずく」と冗談交えて、交えながら説明した。力が表を告げ、大きな人の研究者や報道関係、それがヒッグス粒子か

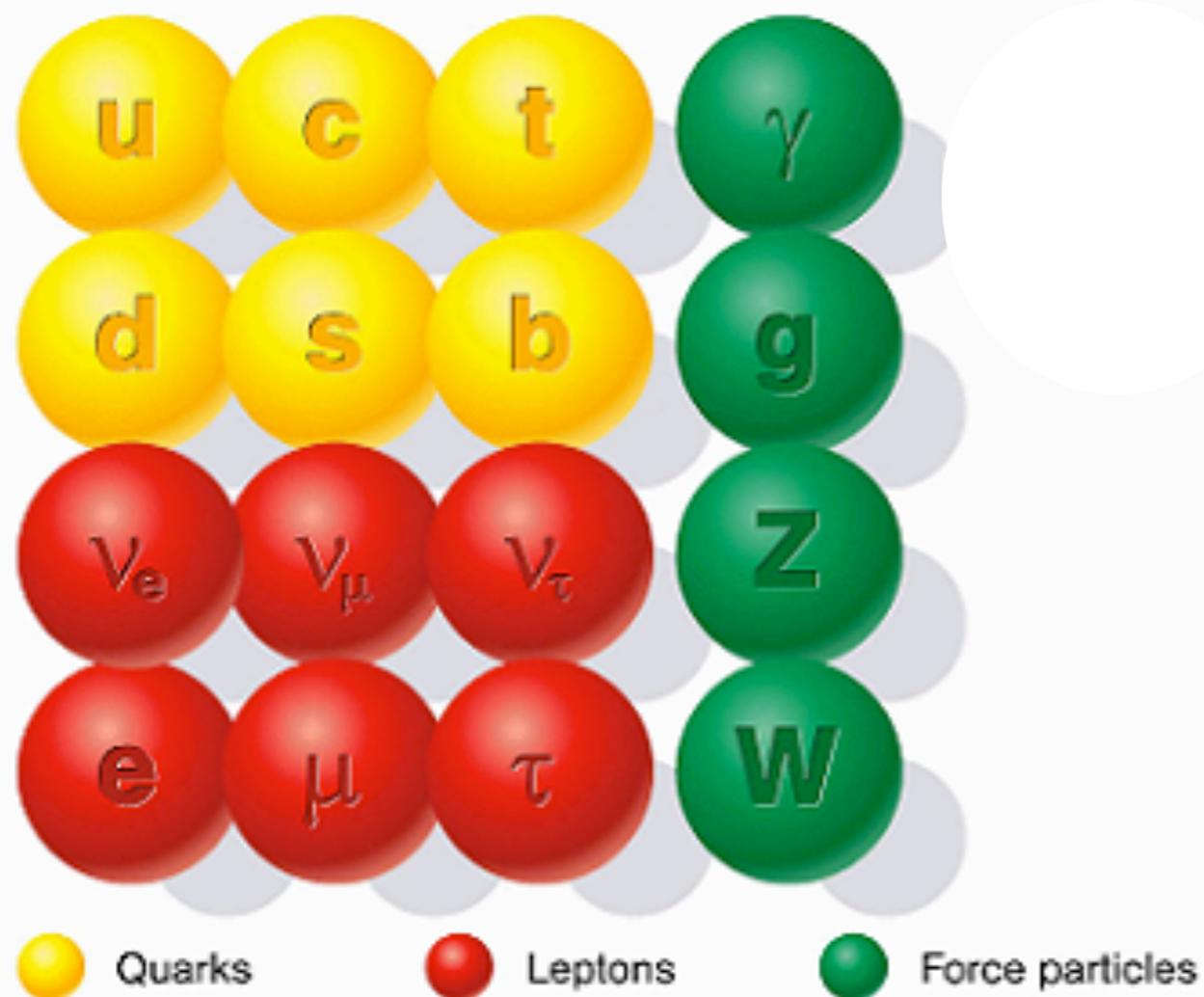
ヒッグス粒子

LHC

紹介

素粒子の標準模型

Standard particles



1897年：電子

1900年： γ 線

1932年：陽電子

1937年： μ 粒子

1956年：ニュートリノ

1962年： ν_e と ν_μ 別物

1969年：u,d,sクォーク (パートン模型)

1974年：cクォーク

1975年： τ 粒子

1977年：bクォーク

1979年：グルーオン

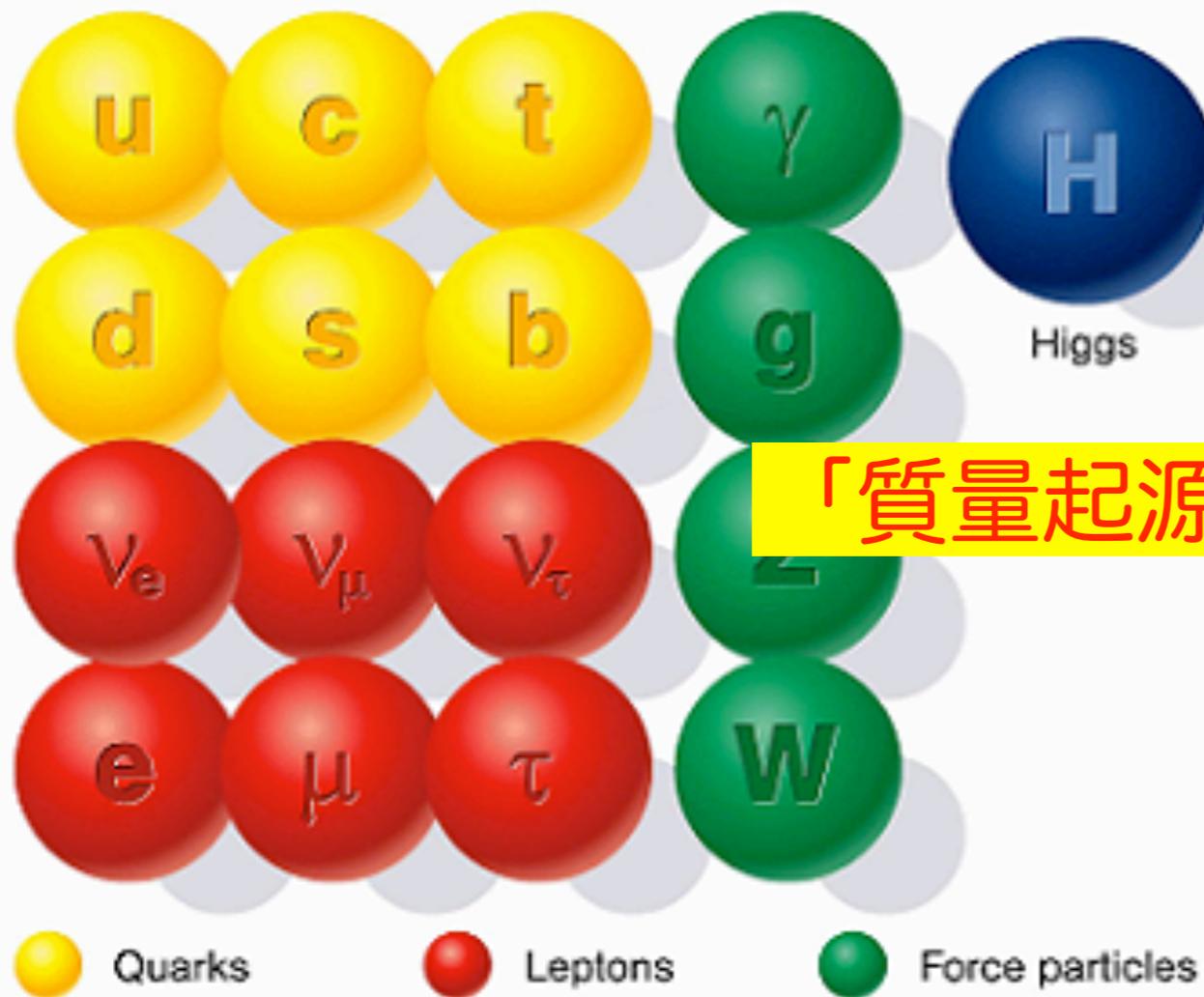
1983年：W/Zボゾン

1995年：tクォーク

2000年： τ ニュートリノ

素粒子の標準模型

Standard particles



「質量起源の謎」

- 1897年：電子
- 1900年： γ 線
- 1932年：陽電子
- 1937年： μ 粒子
- 1956年：ニュートリノ
- 1962年： ν_e と ν_μ 別物
- 1969年：u,d,sクォーク (パートン模型)
- 1971年：cクォーク
- 1975年： τ 粒子
- 1977年：bクォーク
- 1979年：グルーオン
- 1983年：W/Zボゾン
- 1995年：tクォーク
- 2000年： τ ニュートリノ

2012年：ヒッグス粒子？

LHC加速器

LHC加速器

周長27kmの加速器 (~名古屋市地下鉄名城線)

8.33T(今は4.2T)の超伝導双極磁石1,232台

7TeVの陽子と7TeV陽子のコライダー

今は4TeVと4TeV

経緯：

1994年に建設を決定

2000年のLEP運転の終了後建設開始

2008年9月：初のビーム周回

ヘリウム漏れ事故、修復開始

2009年11月：2.36TeV衝突

2010, 2011年；3.5+3.5=7TeVの衝突

2012年：4+4=8TeVの衝突

ATLAS実験とCMS実験

共に3000人規模の国際共同実験

日本はATLAS実験に参加

15大学・研究機関、100名の研究者が参加

N研ATLASチームは2006年より参加

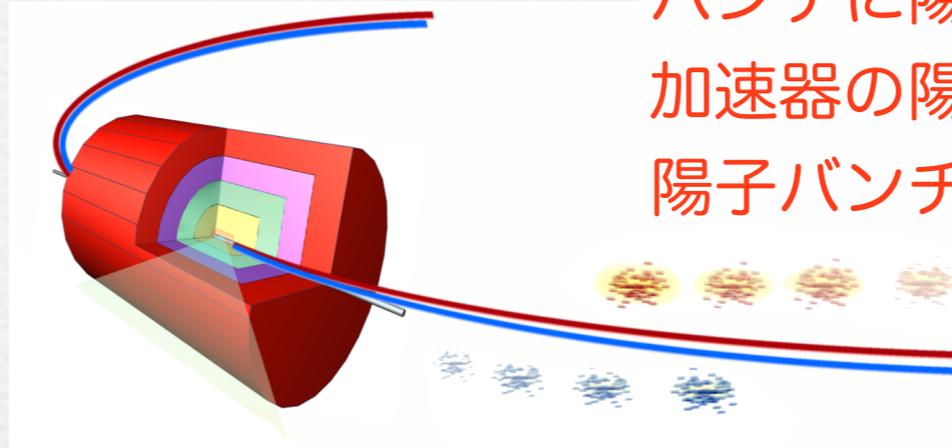
→ 学生を中心に存在感を発揮



陽子陽子衝突 ルミノシティ

瞬間ルミノシティ

$$L = \frac{n_1 n_2 f}{4\pi \sigma_x \sigma_y}$$



バンチに陽子をつめる (n)
 加速器の陽子バンチを増やす (f)
 陽子バンチを絞って衝突 (σ)

2011
 運転

$$3.5 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$n \sim 1.4 \times 10^{11}$$

$$\sigma \sim 23 \mu\text{m}$$

$$f = 20 \text{ MHz}$$

(1380バンチ)

$$\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$$

2012
 運転

$$6.8 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$n \sim 1.4 \times 10^{11}$$

$$\sigma \sim 15 \mu\text{m}$$

$$f = 20 \text{ MHz}$$

(1380バンチ)

$$\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$$

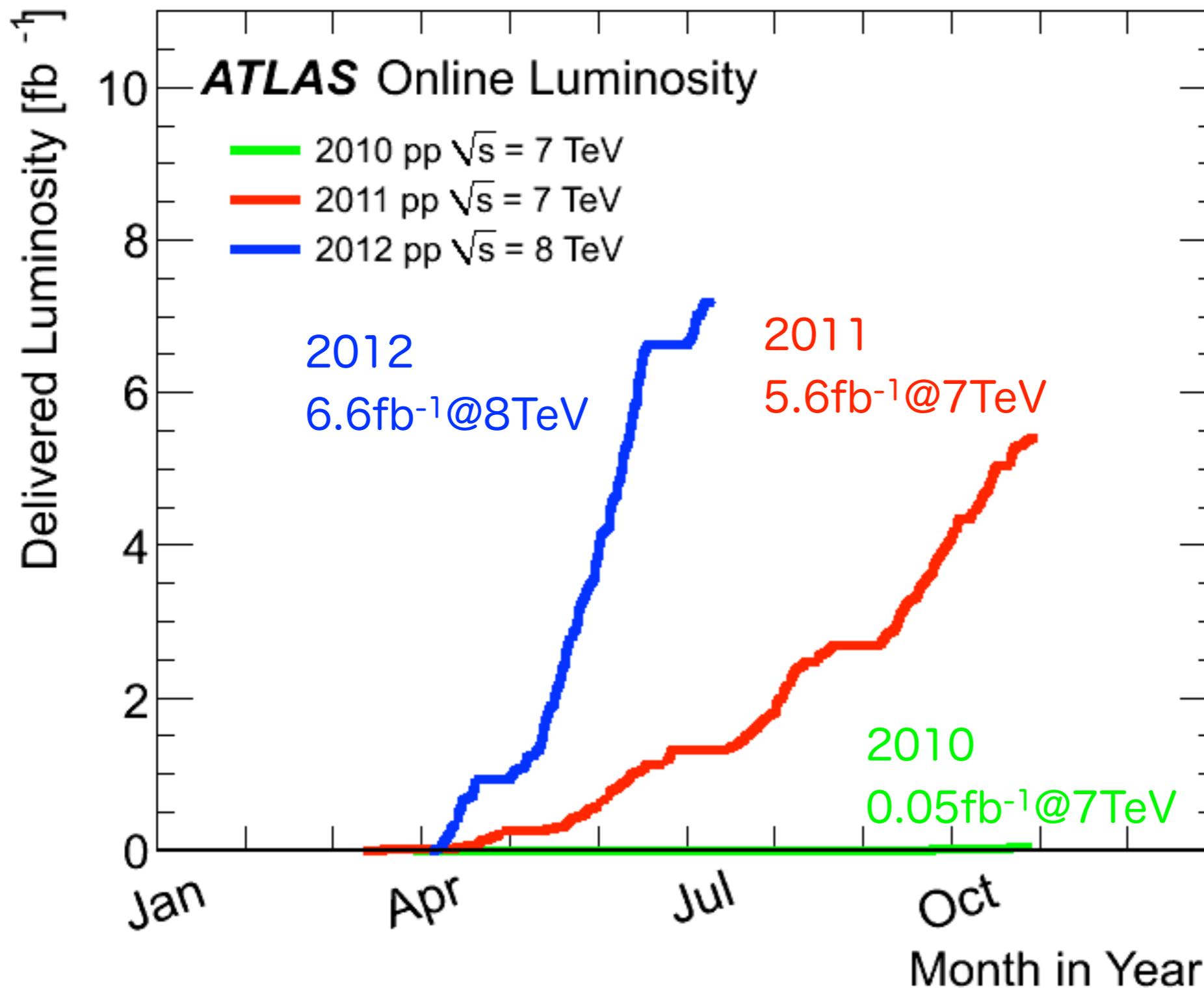
積分ルミノシティ

$$\int L dt \simeq L_{peak} \times T_{physics} \times HF$$

$5 \sim 6 \text{ fb}^{-1}$
時間
Hubner factor

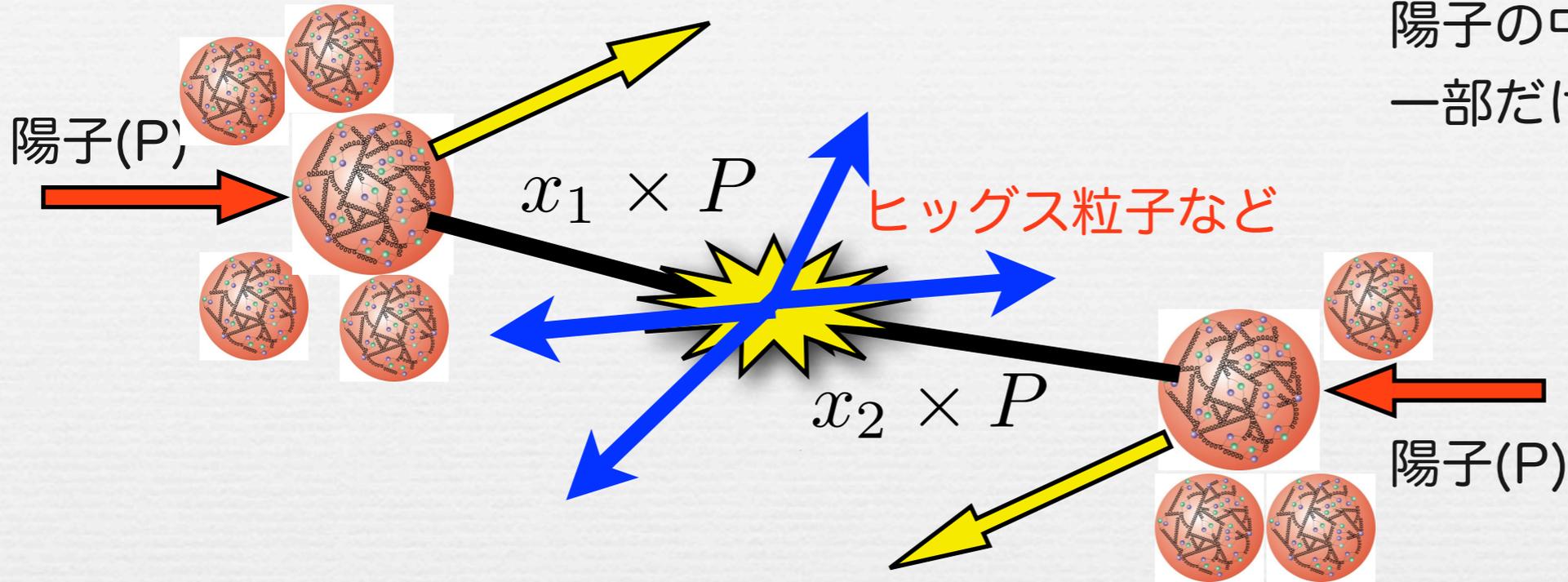
$\sim 100 \text{ 日/年}$
 ~ 0.2

積分ルミノシティ

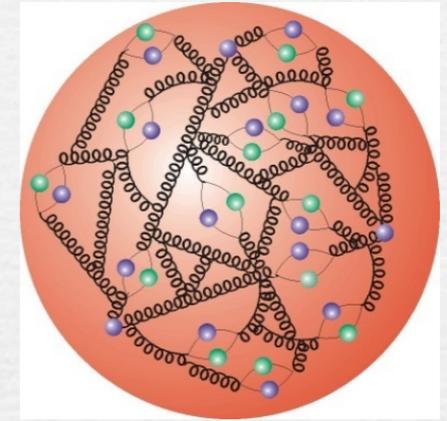


統計が増える→ヒッグス事象も増える

陽子・陽子衝突



陽子の中は沢山のquark/gluon
一部だけが衝突による反応に関与



反応に使われる
実効エネルギー

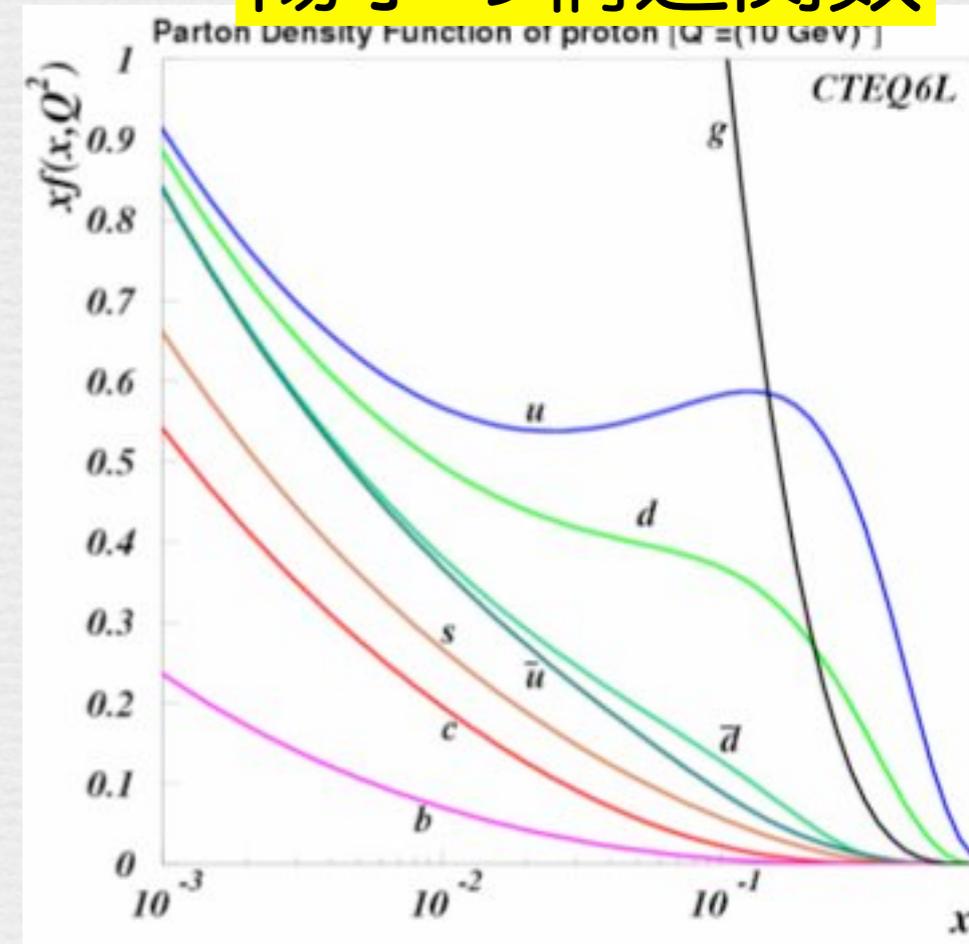
陽子衝突の全エネルギー
7~8 TeV

$$\sqrt{\hat{s}} = \sqrt{x_1 x_2} \sqrt{s_{pp}}$$

$M_{\text{Higgs}} \sim 125 \text{ GeV}$ $x > 0.018$ (at 7 TeV)

に対して、 $x > 0.016$ (at 8 TeV)

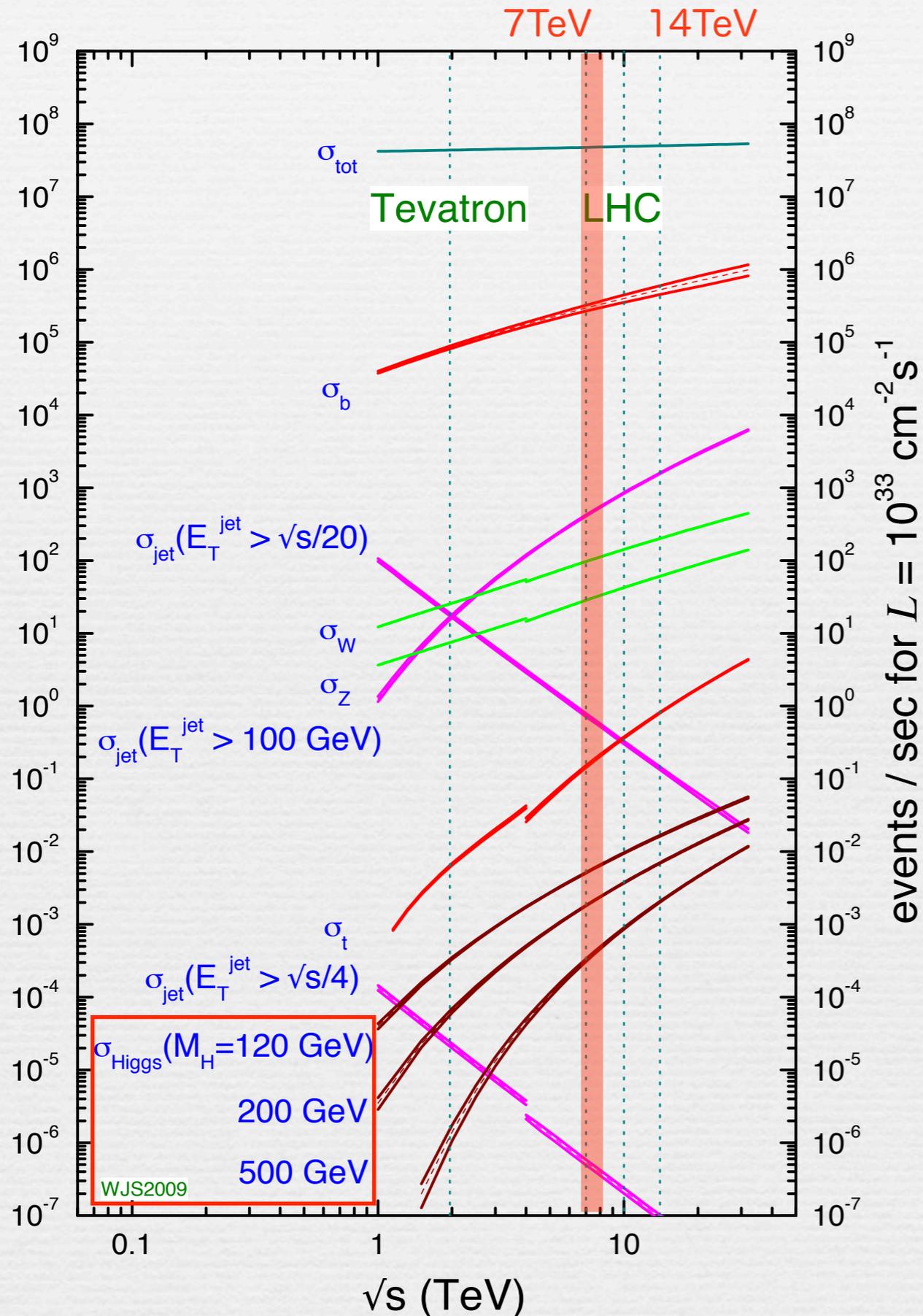
陽子の構造関数



$\sqrt{s_{pp}}$ 高い \rightarrow 沢山のヒッグス粒子

陽子・陽子衝突

事象生成頻度 (nb)



全事象

断面積×ルミノシティ

> 100MHzの頻度

実際の衝突頻度は20MHz

同時に複数の陽子衝突
(pileup事象)の増加

ヒッグス事象

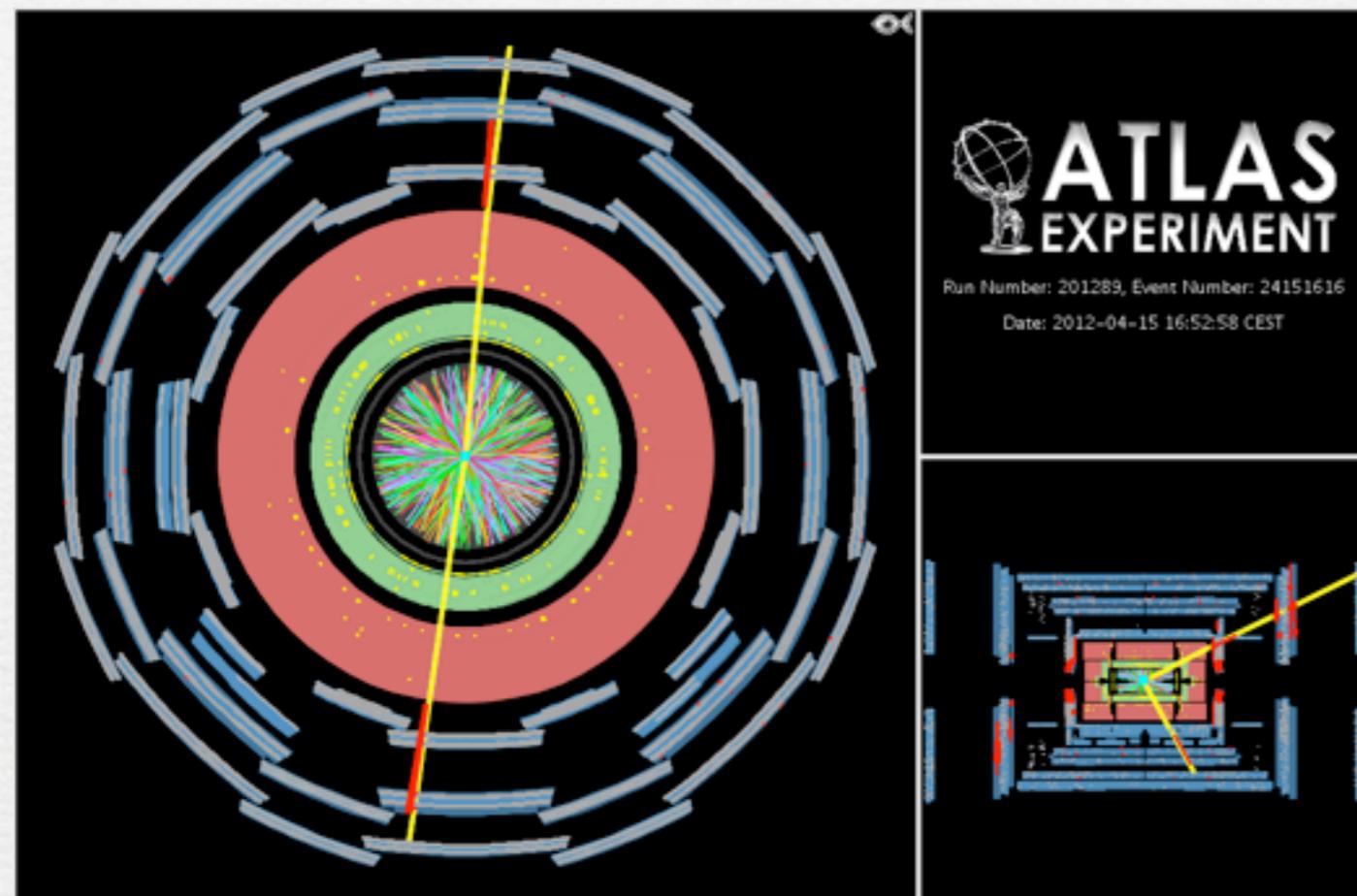
QCD事象より9桁下

\sqrt{s} ↑ で生成頻度 ↑↑

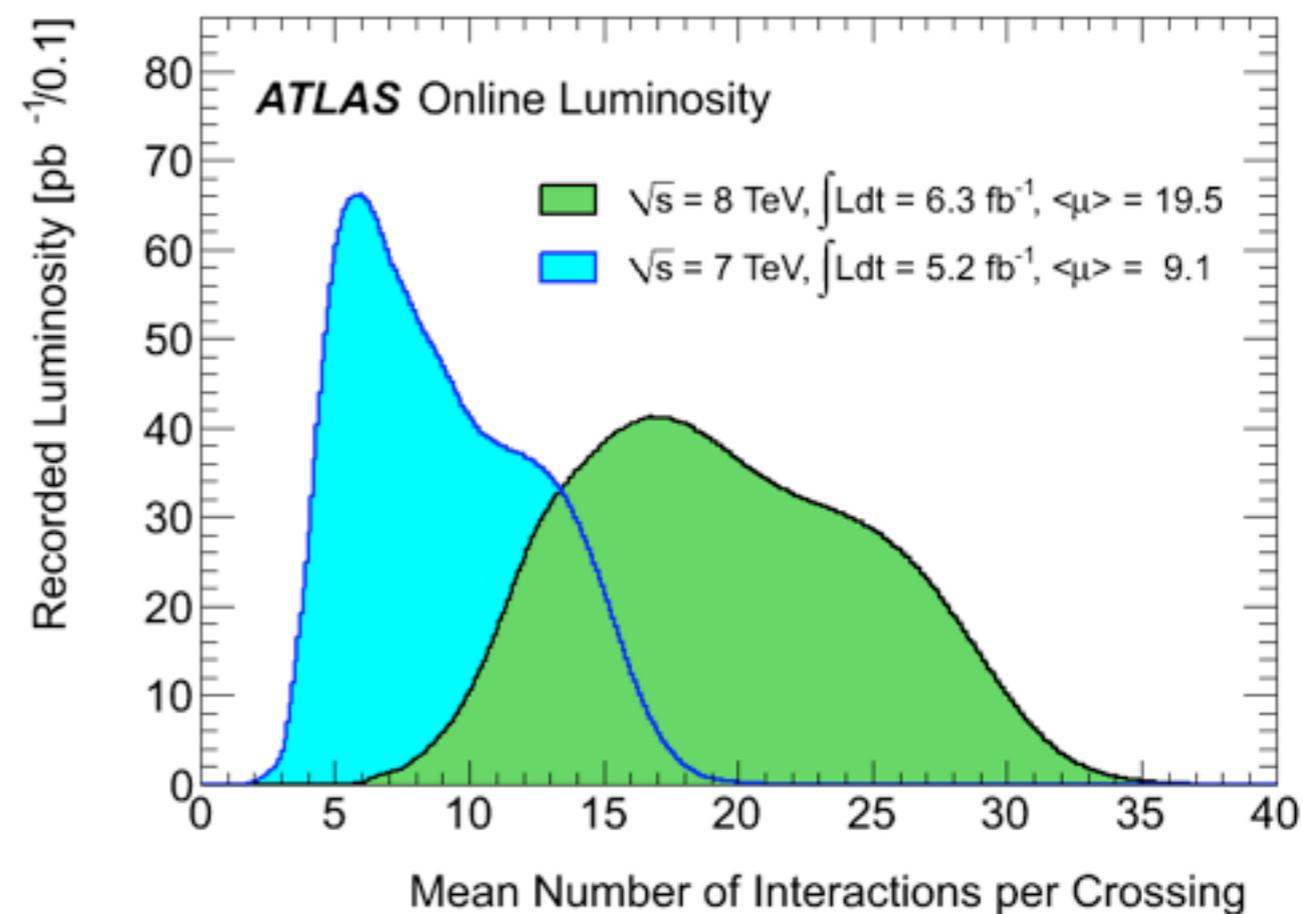
L ↑ で生成頻度 ↑

パイラアップ事象

$Z \rightarrow \mu\mu$ with 25 reconstructed vertex



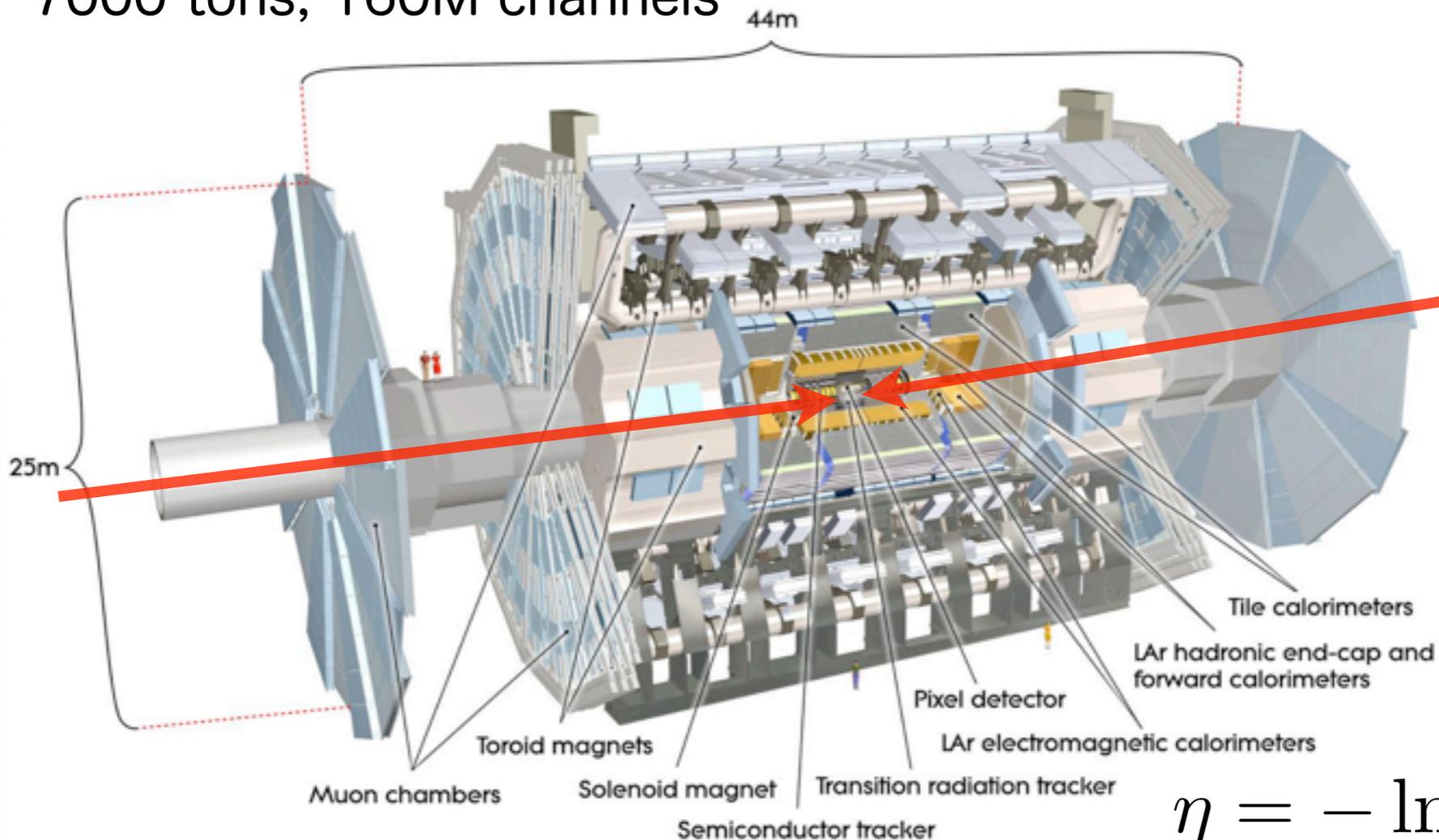
$$\sigma_z = 5 \sim 6 \text{ cm}$$



粒子識別や分解能に影響
特に、ハドロンジェット、欠損エネルギー

LHC-ATLAS detector

7000 tons, 160M channels



proton

proton

$$\eta = -\ln \left[\tan \left(\frac{\theta}{2} \right) \right]$$

ATLAS p-p run: April-June 2012

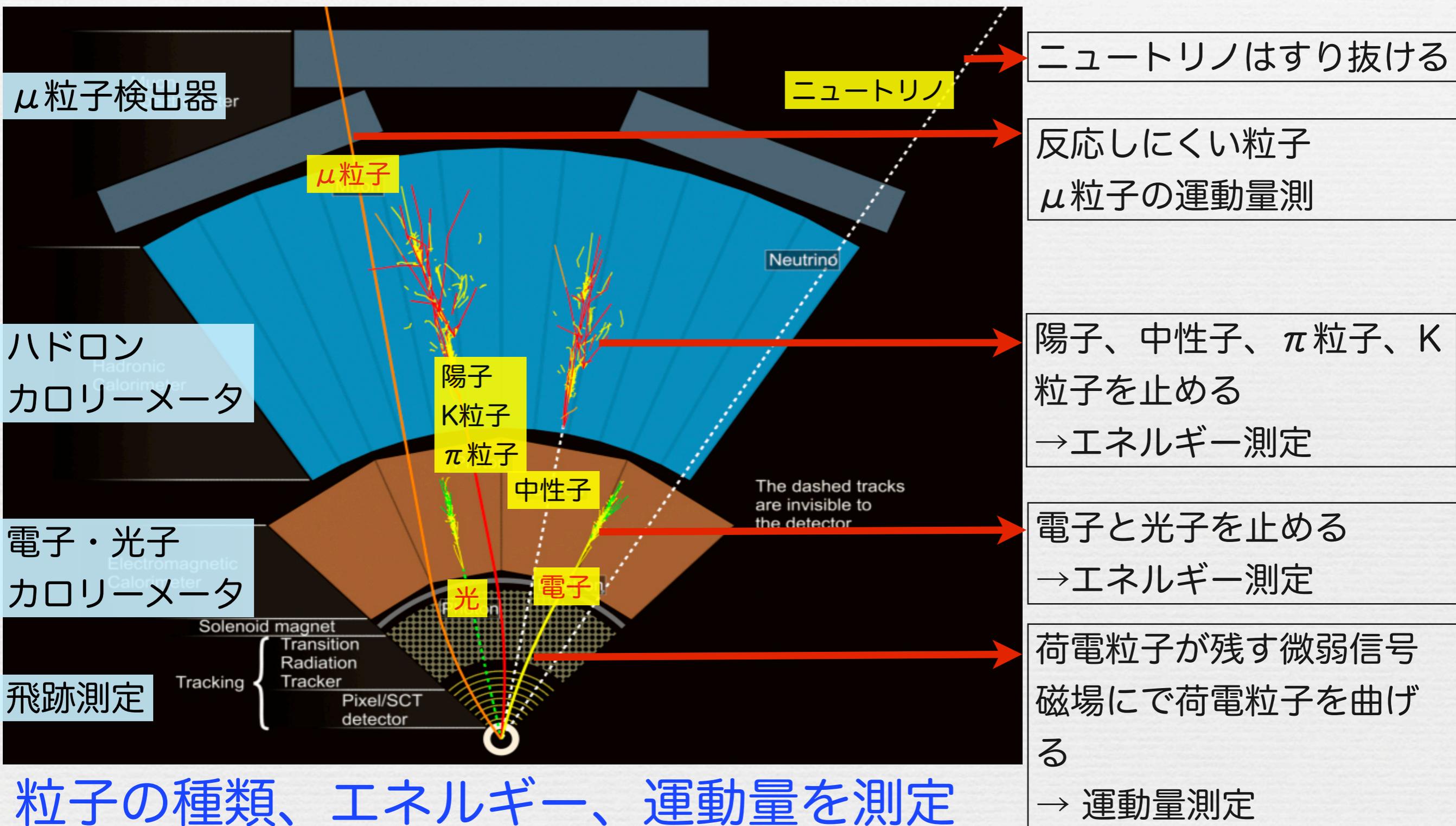
Inner Tracker			Calorimeters		Muon Spectrometer				Magnets	
Pixel	SCT	TRT	LAr	Tile	MDT	RPC	CSC	TGC	Solenoid	Toroid
100	99.6	100	96.2	99.1	100	99.6	100	100	99.4	100

All good for physics: 93.6%

Luminosity weighted relative detector uptime and good quality data delivery during 2012 stable beams in pp collisions at $\sqrt{s}=8$ TeV between April 4th and June 18th (in %) – corresponding to 6.3 fb⁻¹ of recorded data. The inefficiencies in the LAr calorimeter will partially be recovered in the future.

検出器の原理

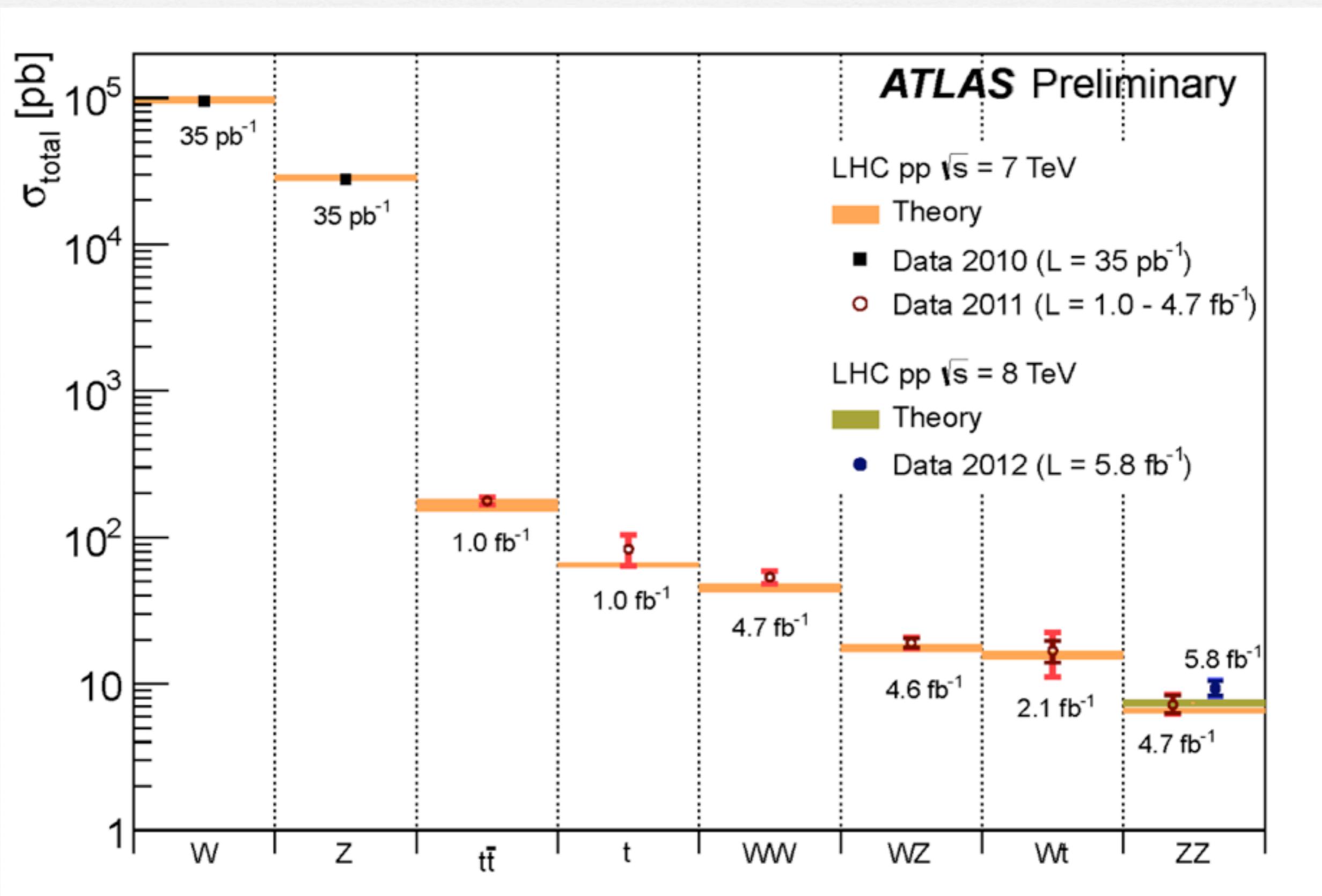
検出器の物質と粒子との相互作用を利用する



粒子の種類、エネルギー、運動量を測定

特に、電子、光、μ粒子が測定しやすく重要。

標準模型事象の測定



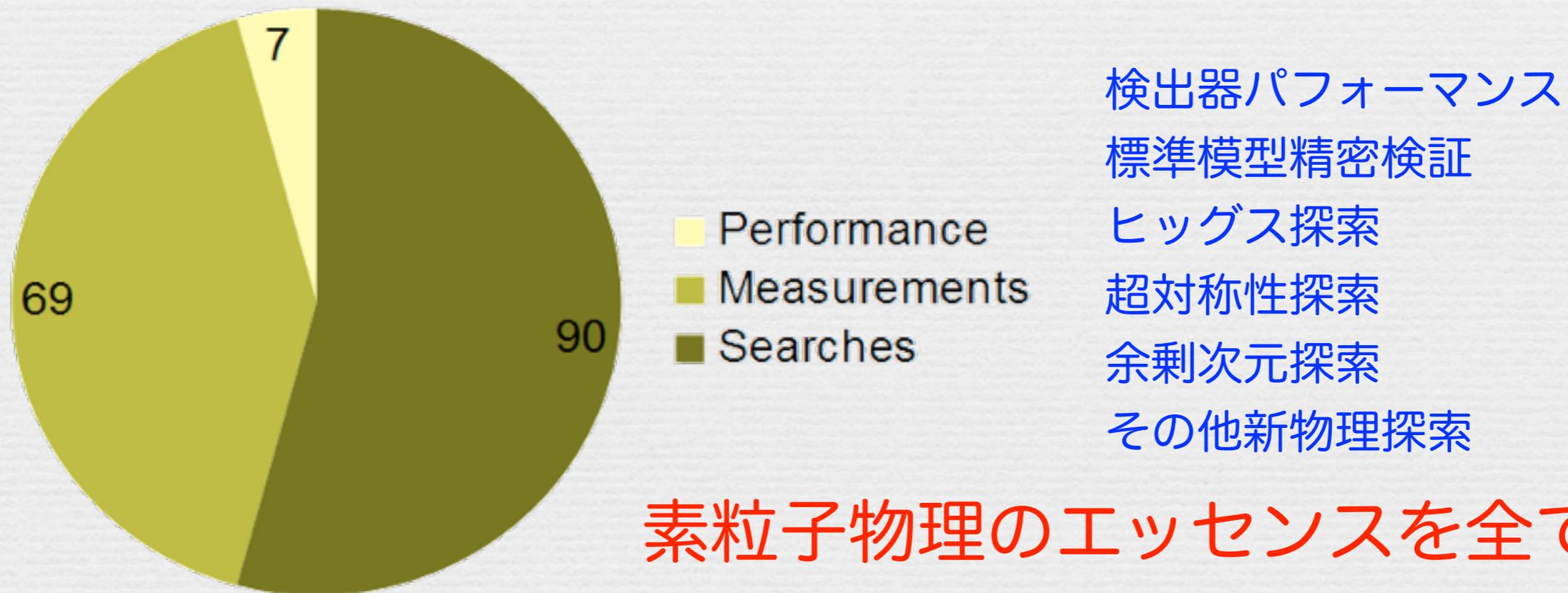
これまでの物理解析と論文発表

陽子陽子衝突から166 の論文投稿

平均2 papers/week のペース (今年)

363のコンファレンス用のノートも作成済み

<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/AtlasPublic>



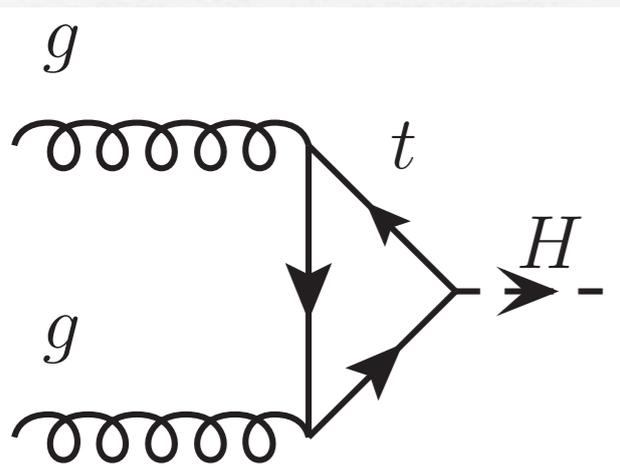
素粒子物理のエッセンスを全てカバー

3000人/166 ~ 1paperあたり18人のauthor

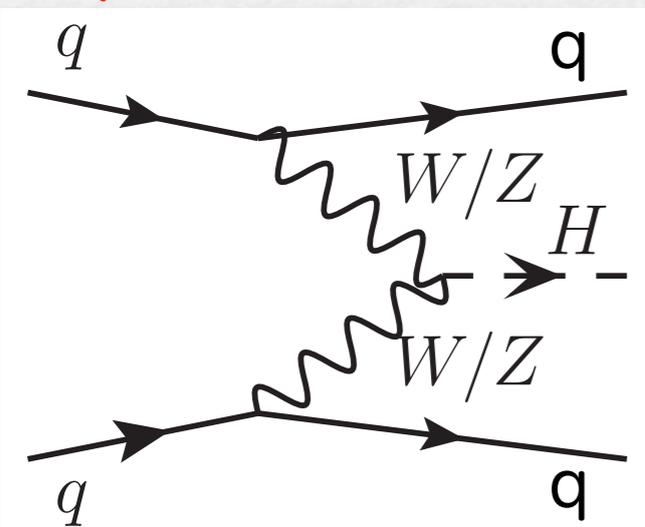
ヒッグス探索

ヒッグス粒子生成

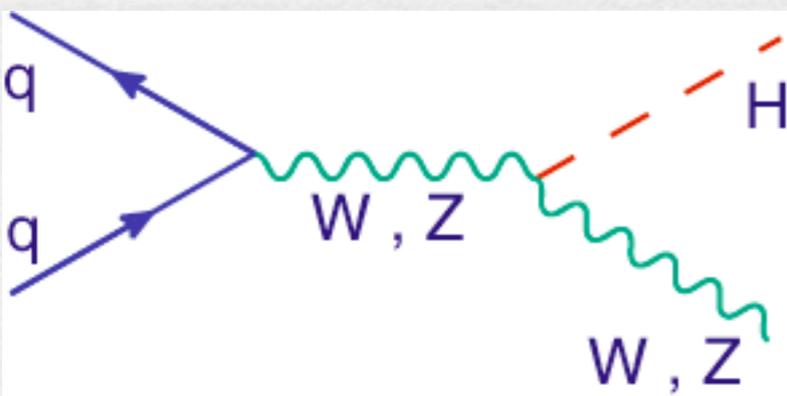
gluon fusion



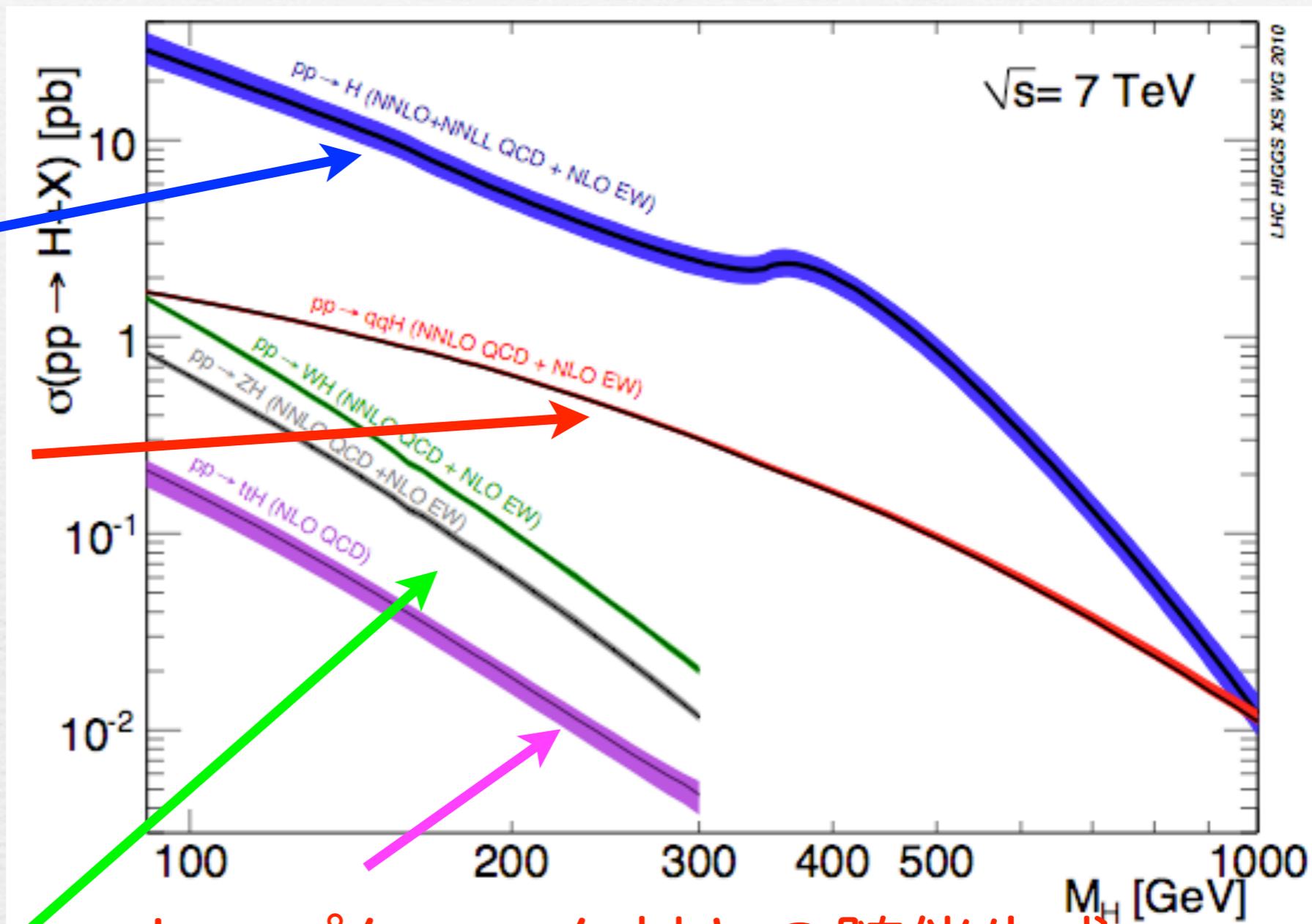
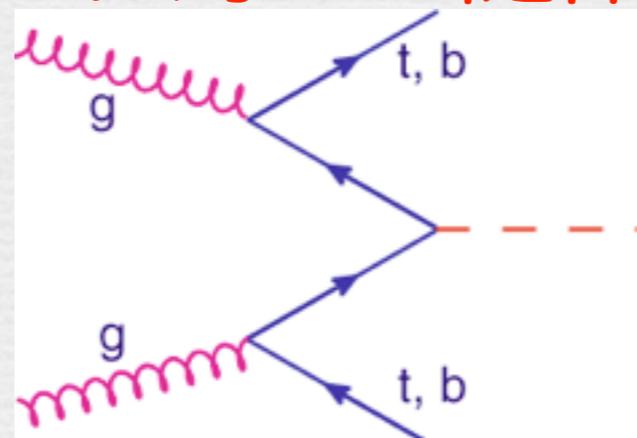
W/Z boson fusion



W/Zとの随伴生成

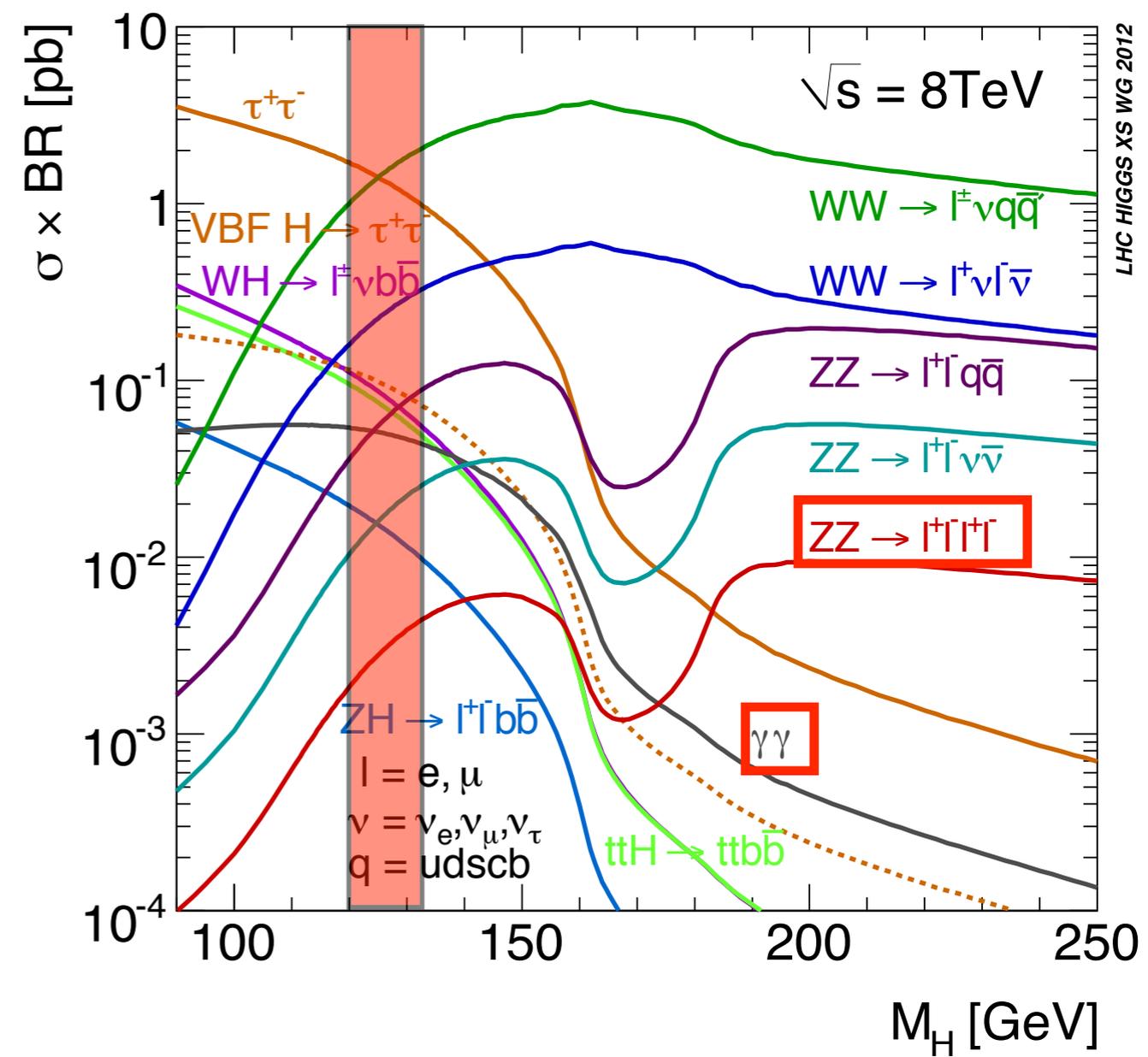
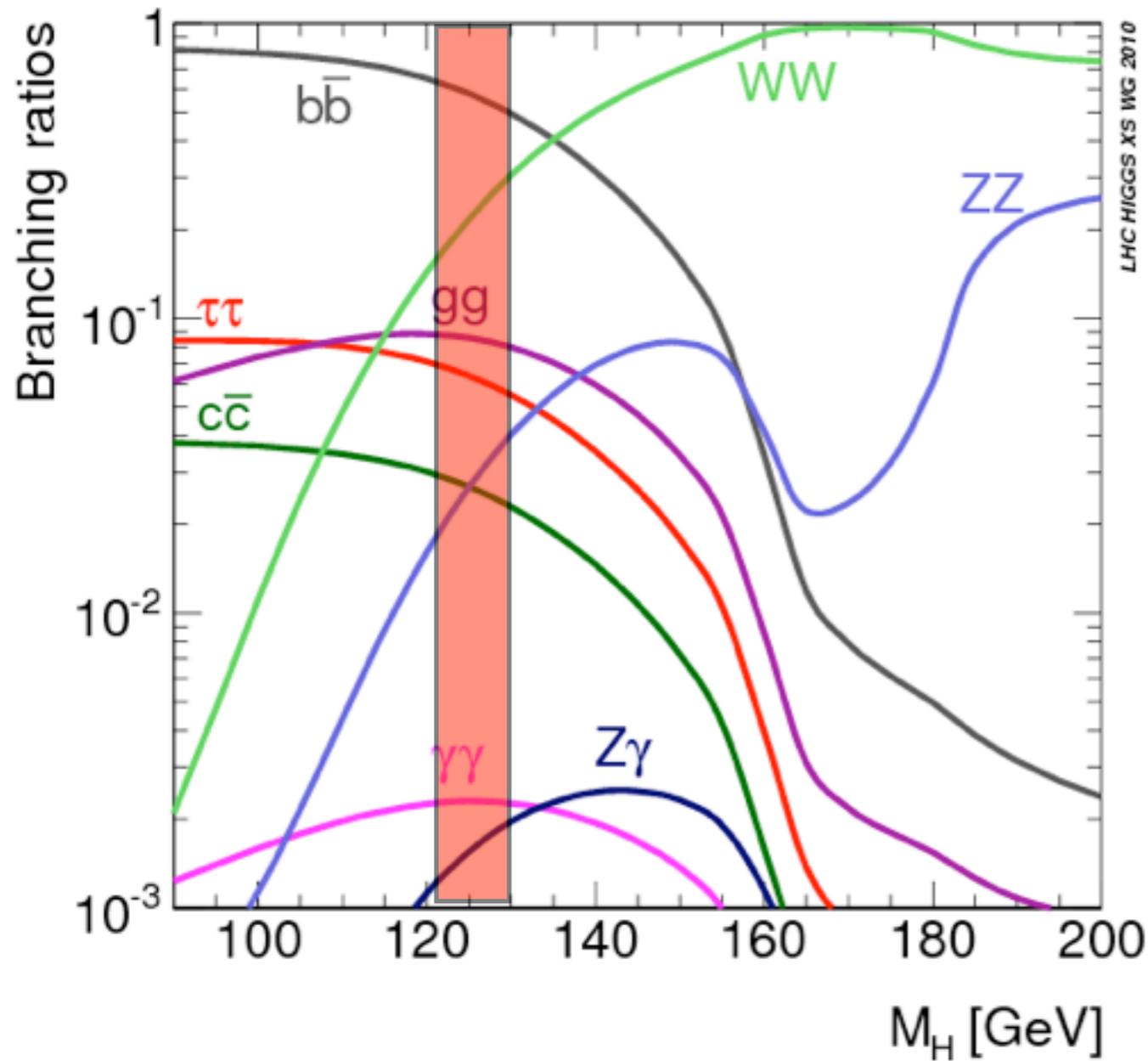


トップクォーク対との随伴生成



LHC HIGGS XS WG 2010

ヒッグス粒子崩壊



120~130GeVに感度

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

$H \rightarrow \gamma\gamma$ 、 $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4 \text{ lepton}$

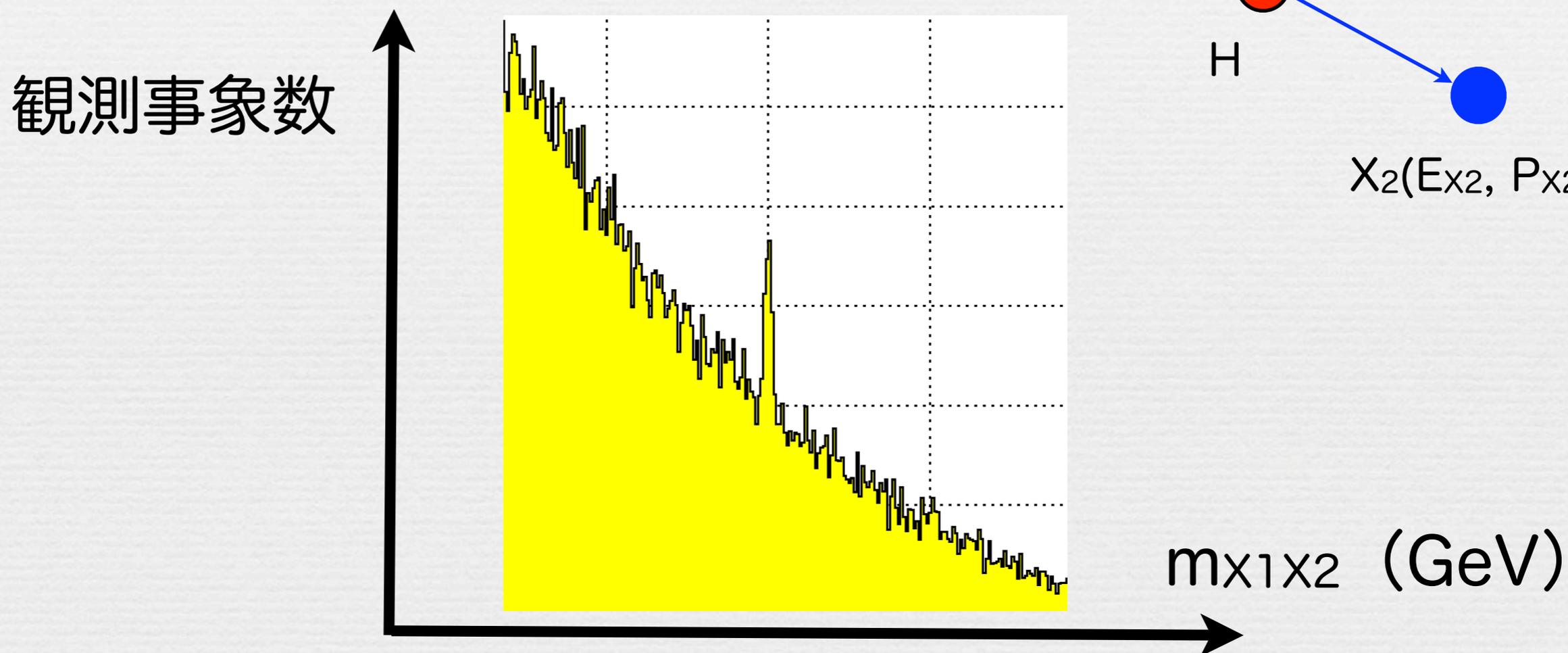
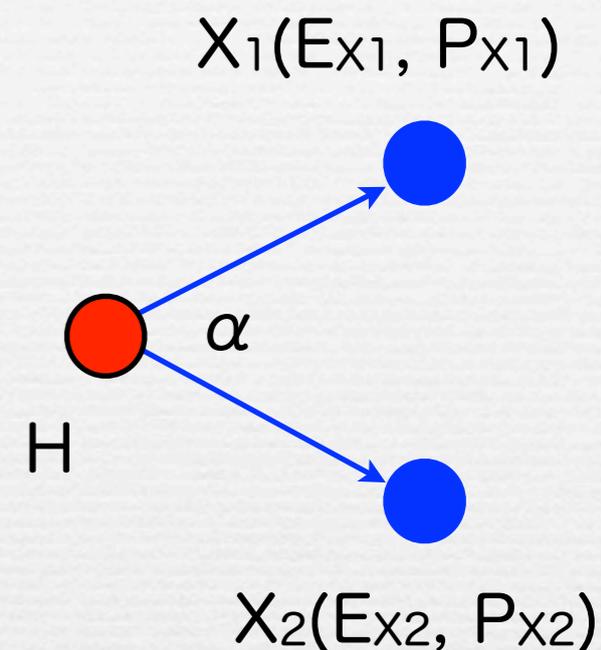
$H \rightarrow \tau\tau$ 、 $W/ZH \rightarrow W/Z bb$

ヒッグスの探索手法

$H \rightarrow X_1 + X_2$ に崩壊

$$m_{X_1 X_2}^2 = (E_{X_1} + E_{X_2})^2 - (P_{X_1} + P_{X_2})^2$$

$$= 2E_{X_1} E_{X_2} (1 - \cos \alpha)$$



背景事象のふらつき：標準偏差

信号 $> 5\sigma$ (ふらつきで起こる確率 100万分の1以下) 発見

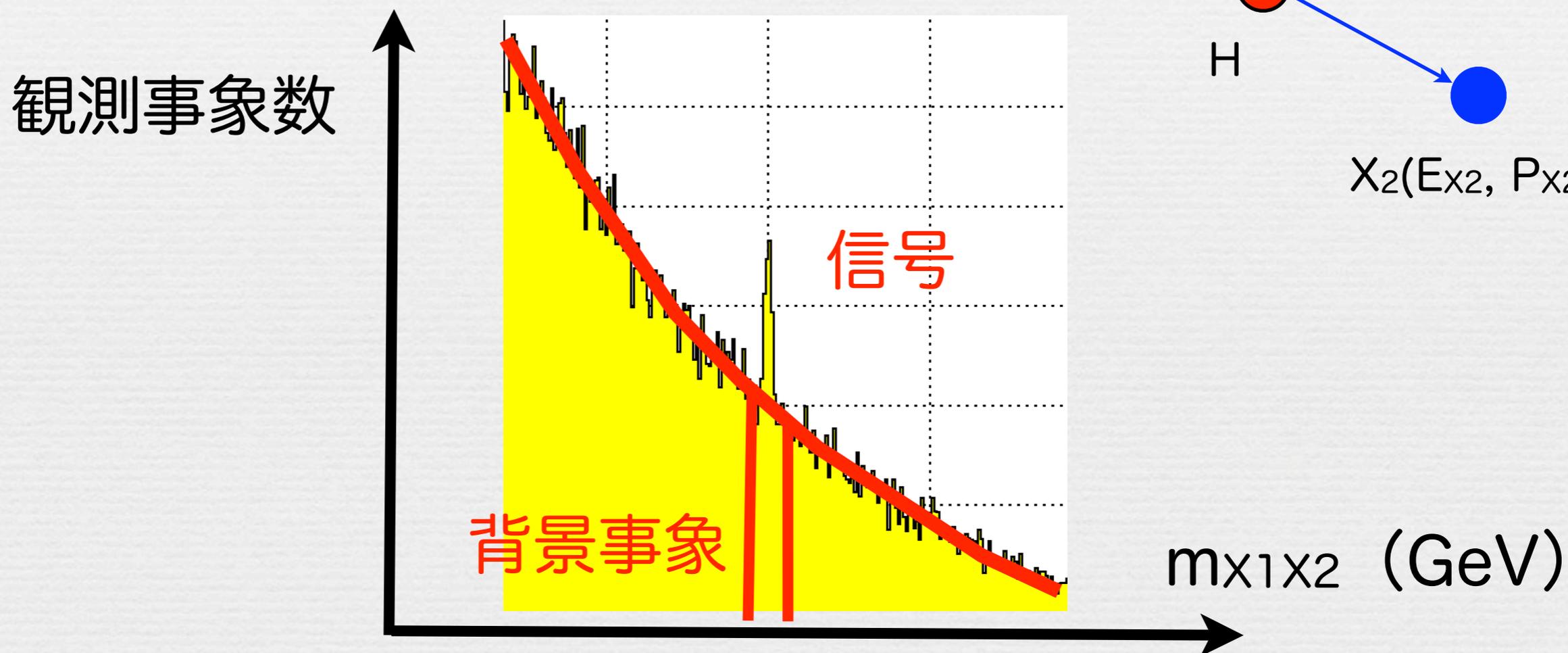
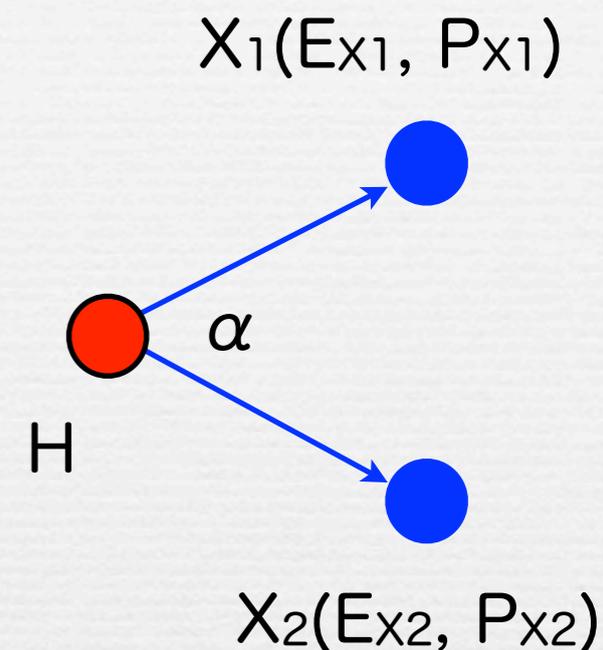
信号 $> 3\sigma$ (ふらつきで起こる確率 0.1%) 兆候

ヒッグスの探索手法

$H \rightarrow X_1 + X_2$ に崩壊

$$m_{X_1 X_2}^2 = (E_{X_1} + E_{X_2})^2 - (P_{X_1} + P_{X_2})^2$$

$$= 2E_{X_1} E_{X_2} (1 - \cos \alpha)$$



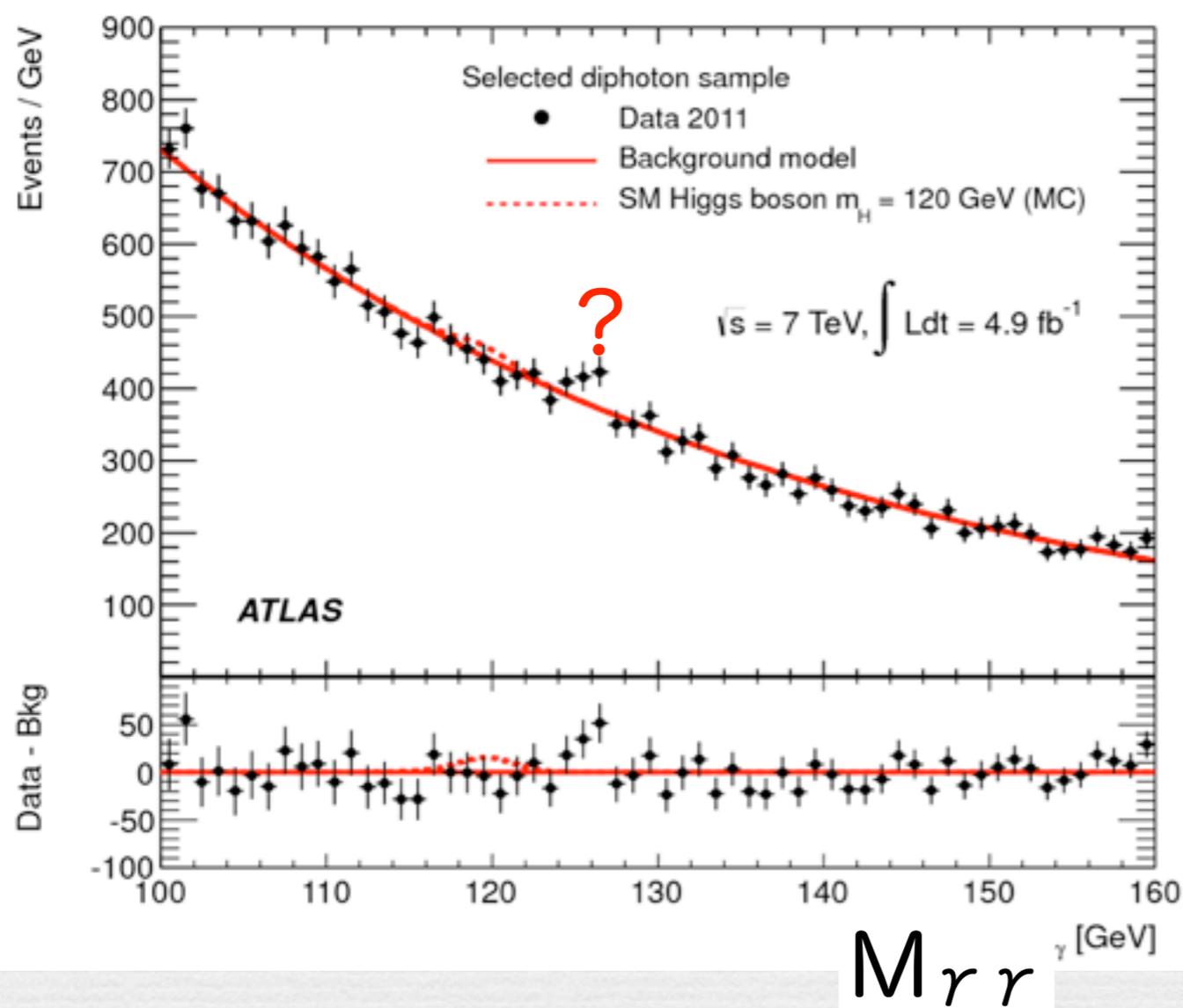
背景事象のふらつき：標準偏差

信号 $> 5\sigma$ (ふらつきで起こる確率 100万分の1以下) 発見

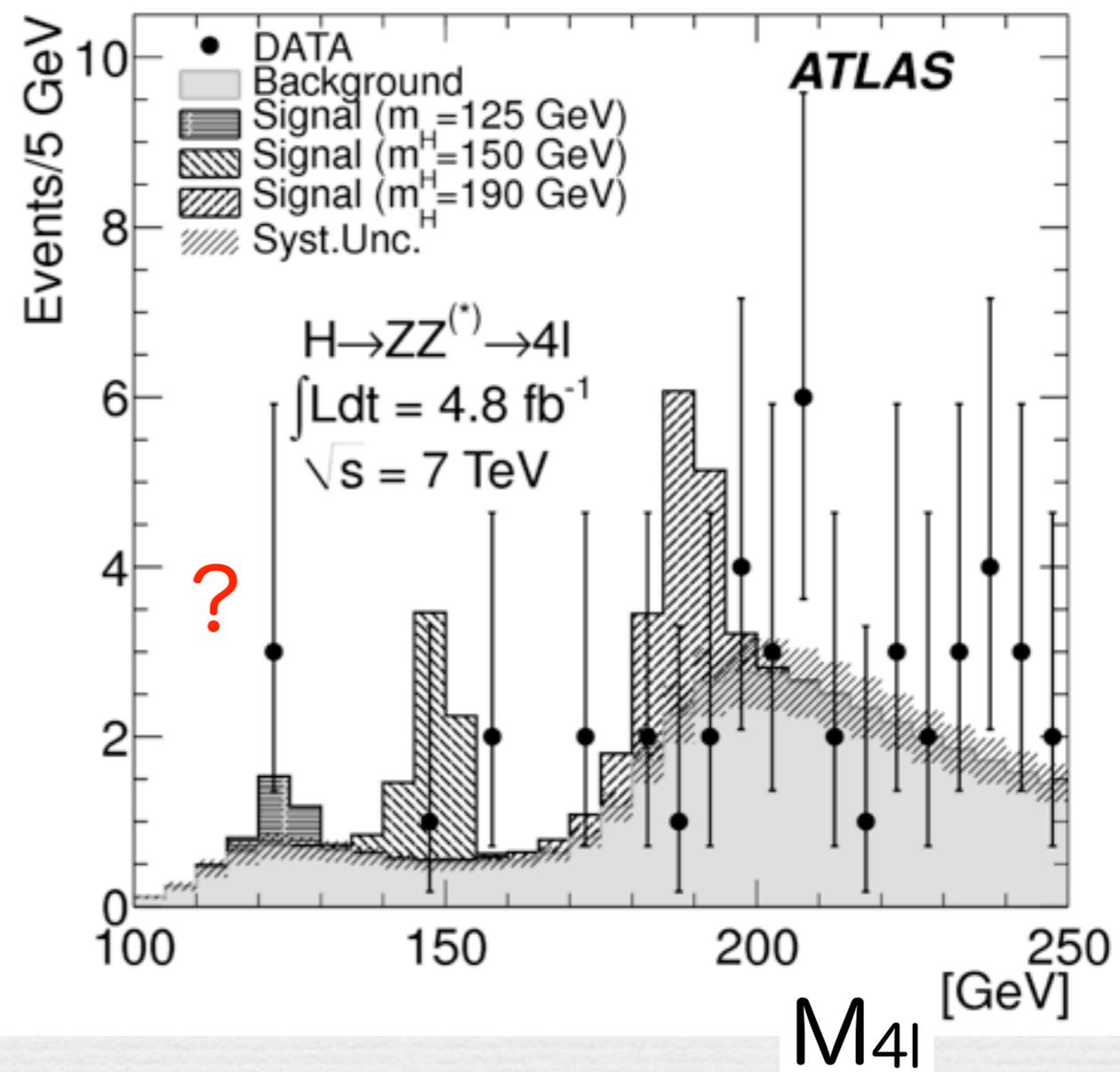
信号 $> 3\sigma$ (ふらつきで起こる確率 0.1%) 兆候

2011年の結果

$H \rightarrow \gamma\gamma$

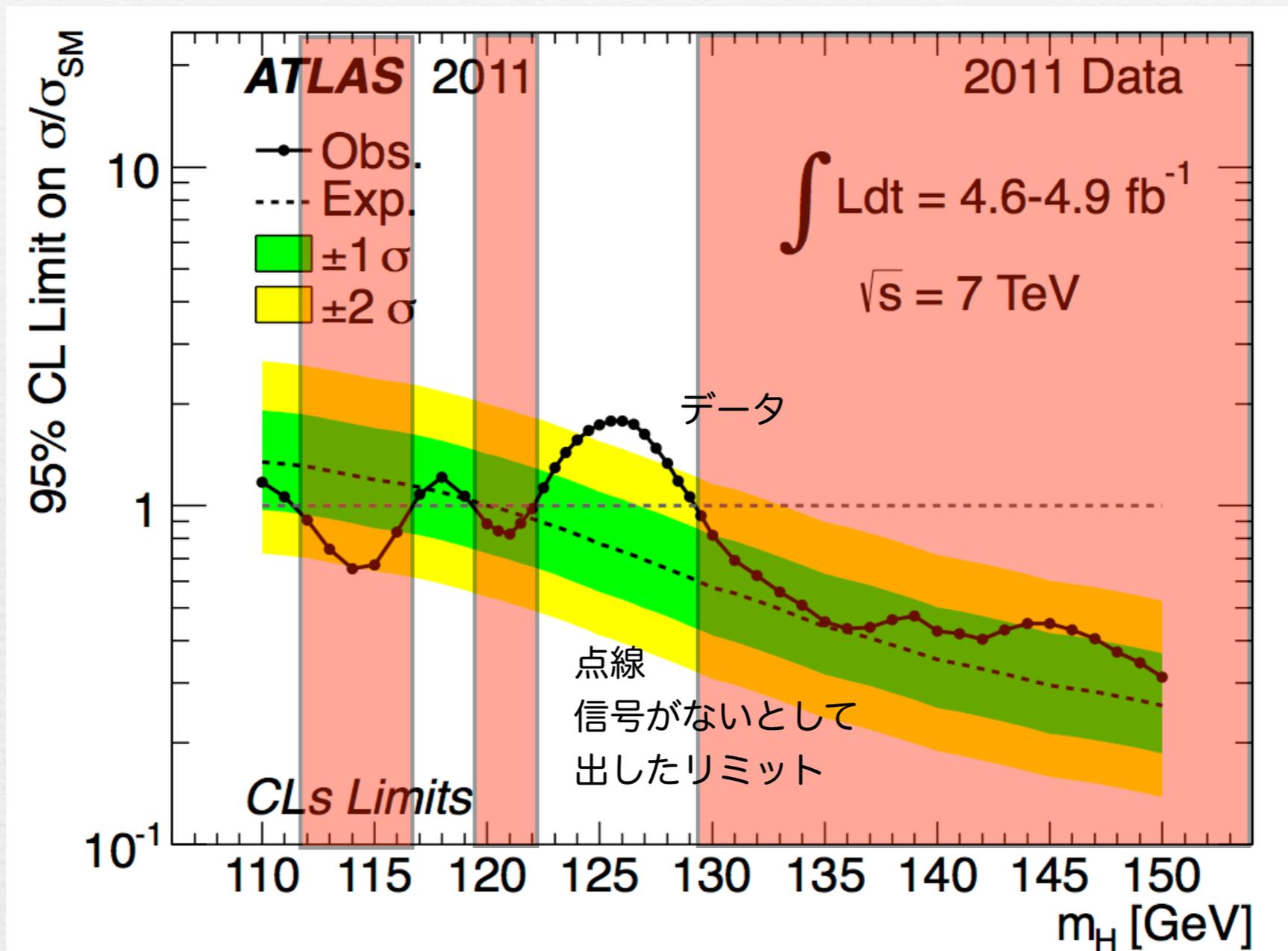


$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4$ leptons



2011年の結果

標準模型ヒッグスの断面積で規格化した断面積のリミット



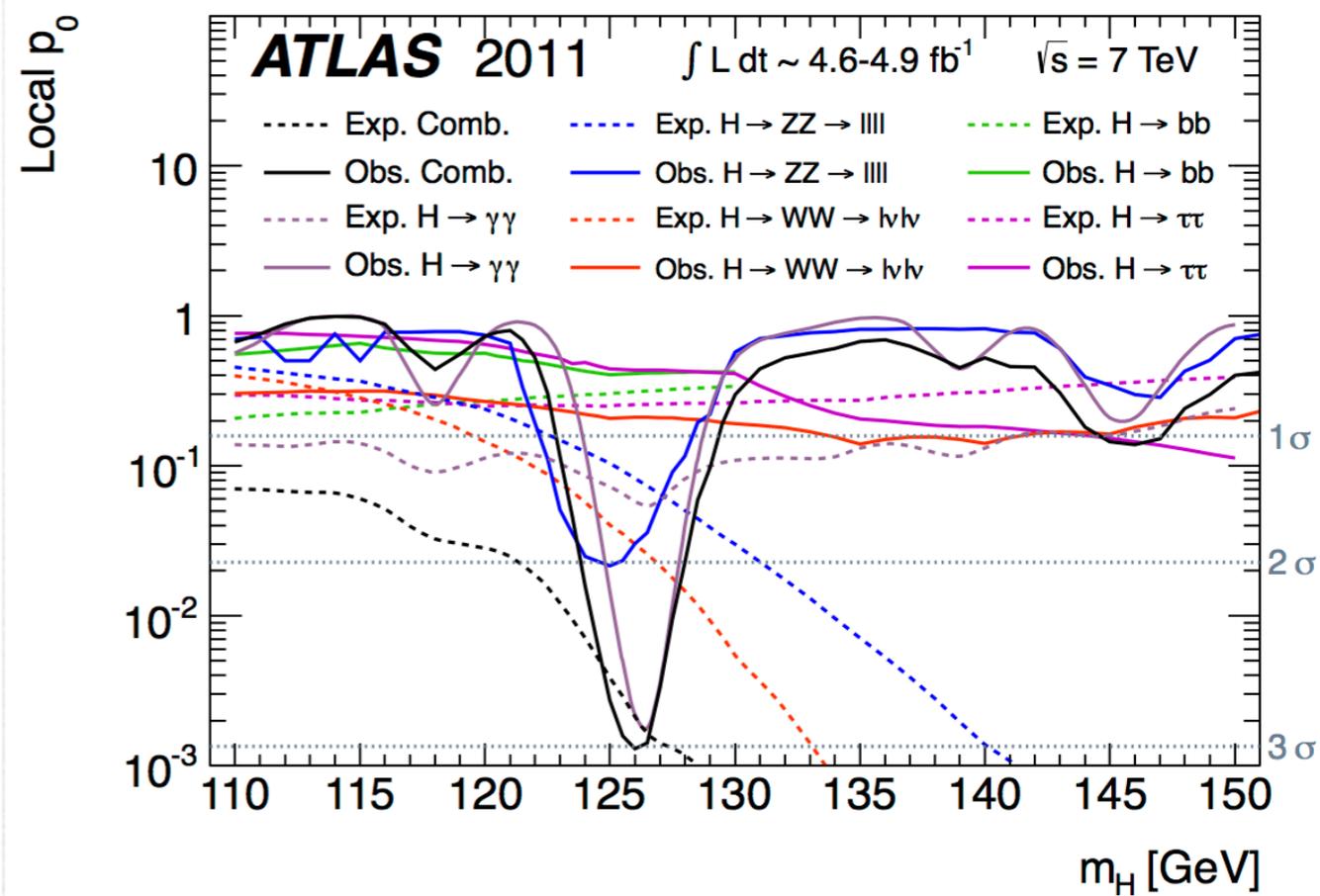
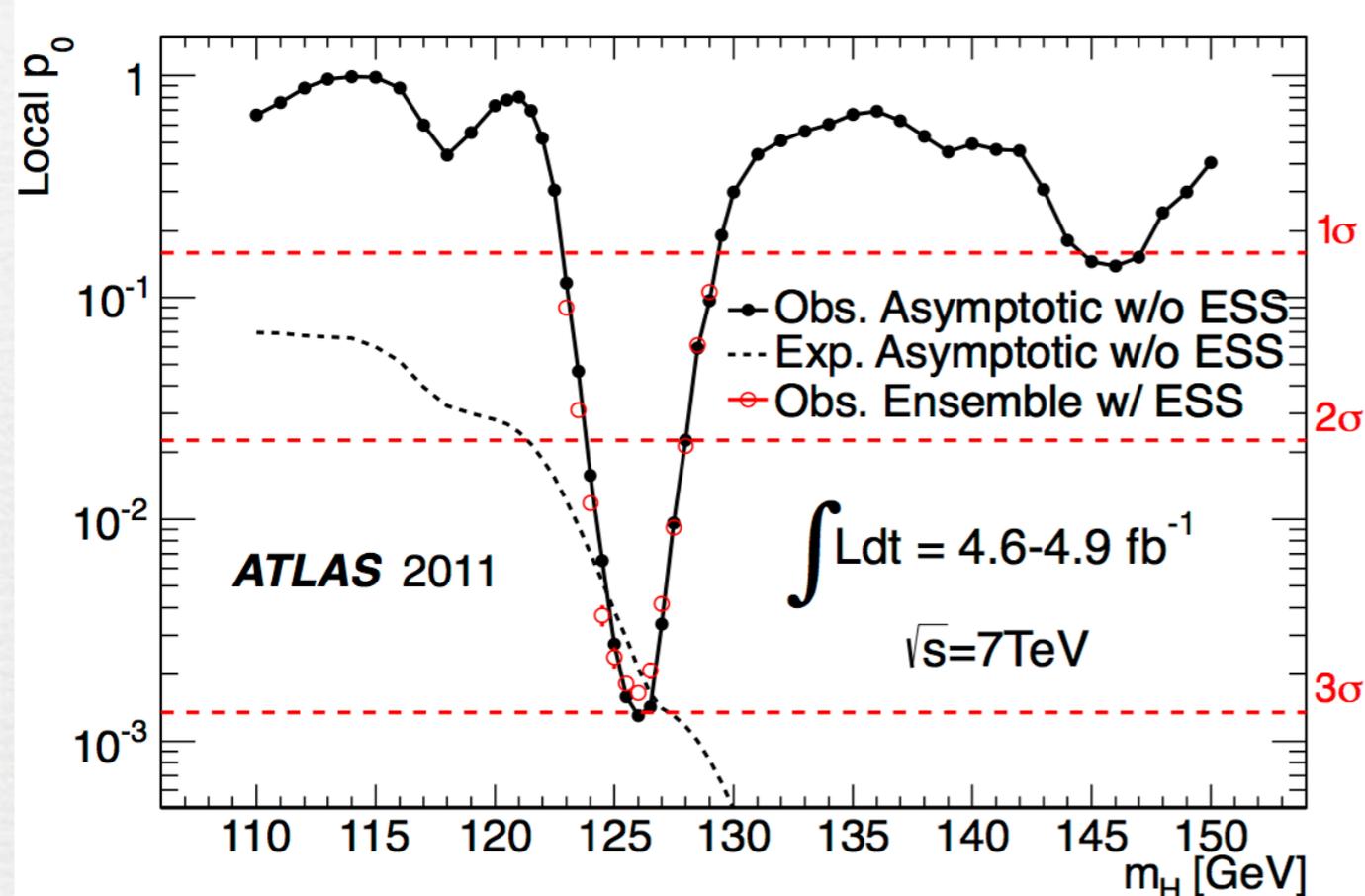
排除 (95% C.L.)

$111.4 \text{ GeV} < m_H < 122.1 \text{ GeV}$ (except 116.6-119.4)

$129.2 \text{ GeV} < m_H < 541 \text{ GeV}$

2011年の結果

p-value : バックグラウンドのふらつきでピークが見える確率



signal significance	Observed	Expected
Total	2.9 σ	2.9 σ
$H \rightarrow \gamma\gamma$	2.8 σ	1.4 σ
$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$	2.1 σ	1.4 σ
$H \rightarrow WW \rightarrow \text{lvlv}$	0.8 σ	1.6 σ

最新結果

$$H \rightarrow \gamma \gamma$$

7TeV data (4.8 fb^{-1}) : Improved

8TeV data (5.9 fb^{-1}) : New



\sqrt{s}	m_H	$\mathcal{B}(H \rightarrow \gamma\gamma)$	$\sigma(pp \rightarrow H)$	$\sigma(gg \rightarrow H)$	σ_{VBF}
7 TeV	125 GeV	2.3×10^{-3}	17.5 pb	15.3 pb	1.2 pb
8 TeV	125 GeV	2.3×10^{-3}	22.3 pb	19.5 pb	1.6 pb

事象選別 :

$$\sigma \times \text{Br} \sim 50 \text{ fb}$$

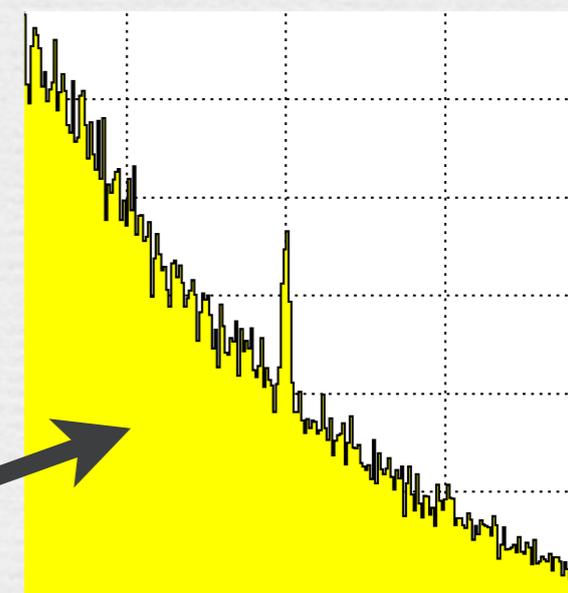
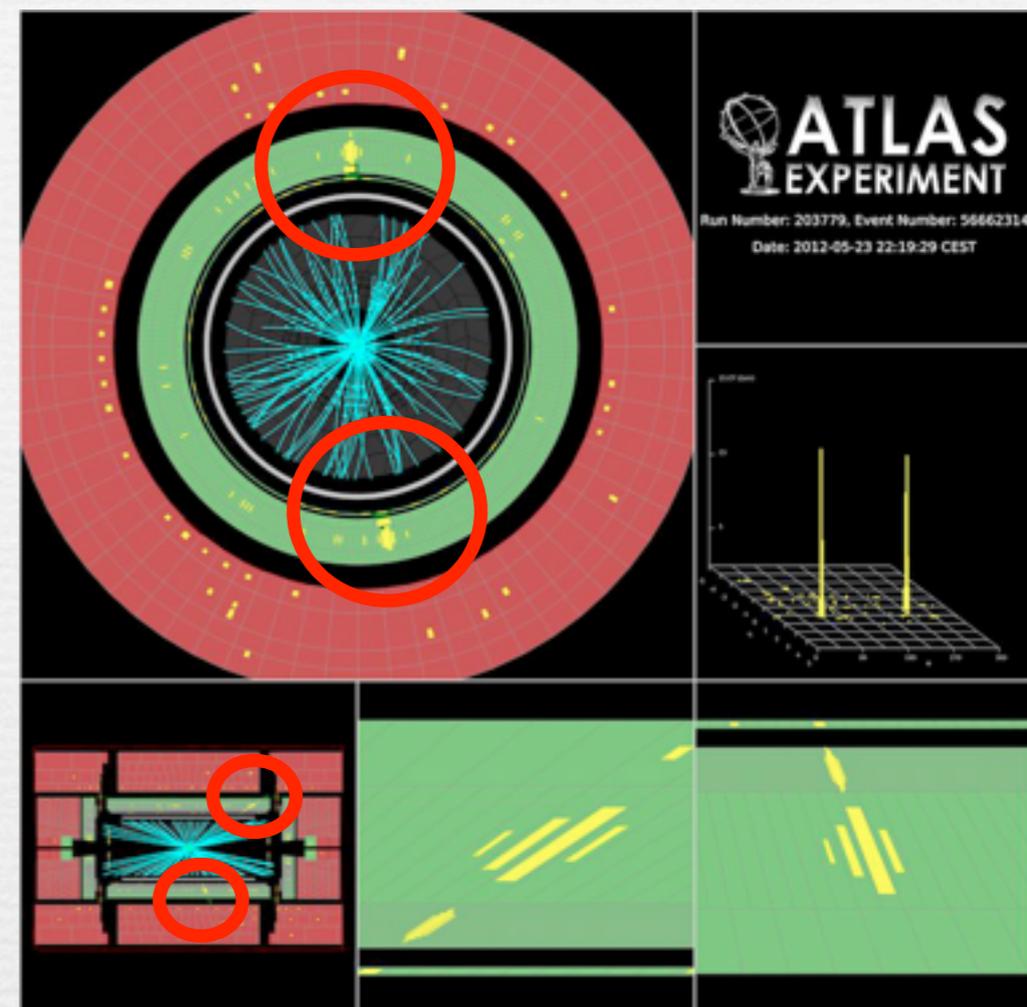
Neural Net γ ID(2011),

Cut base γ ID(2012)

$p_T(\gamma_1) > 40 \text{ GeV}$, $p_T(\gamma_2) > 30 \text{ GeV}$

光子 :

高検出効率 & 良工エネルギー分解能



期待

$H \rightarrow \gamma \gamma$: イベントの分類分け

10個のカテゴリー分け

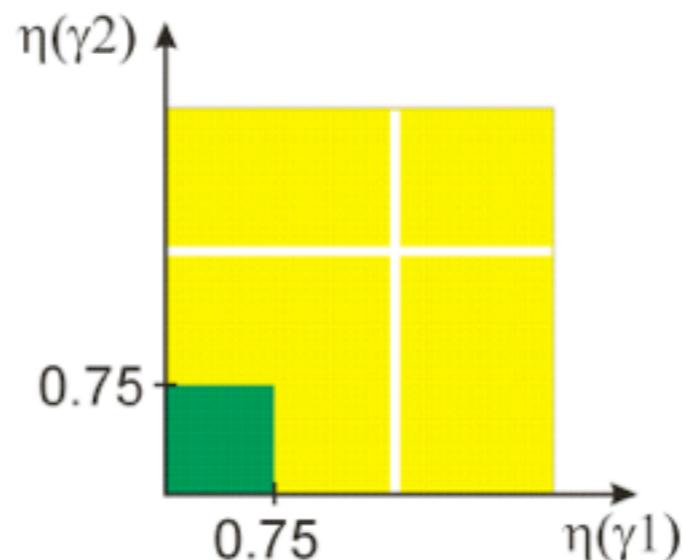
Both unconverted:

- Central
- Rest

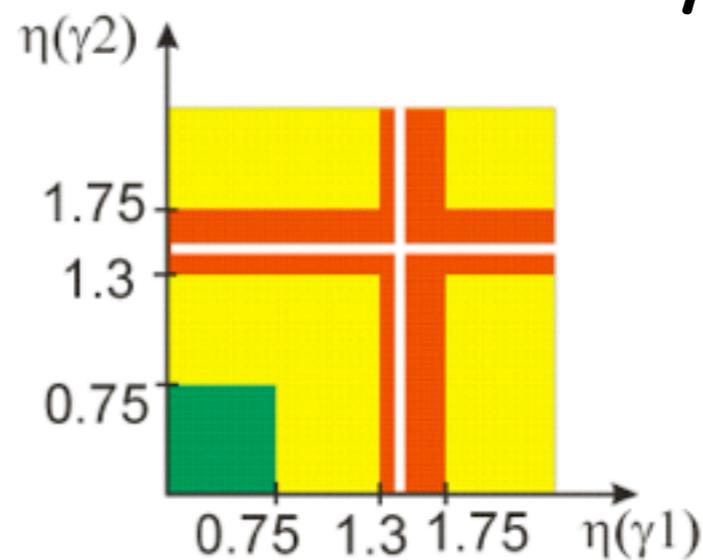
At least one converted:

- Central
- Transition
- Rest

2 unconverted:



≥ 1 converted:

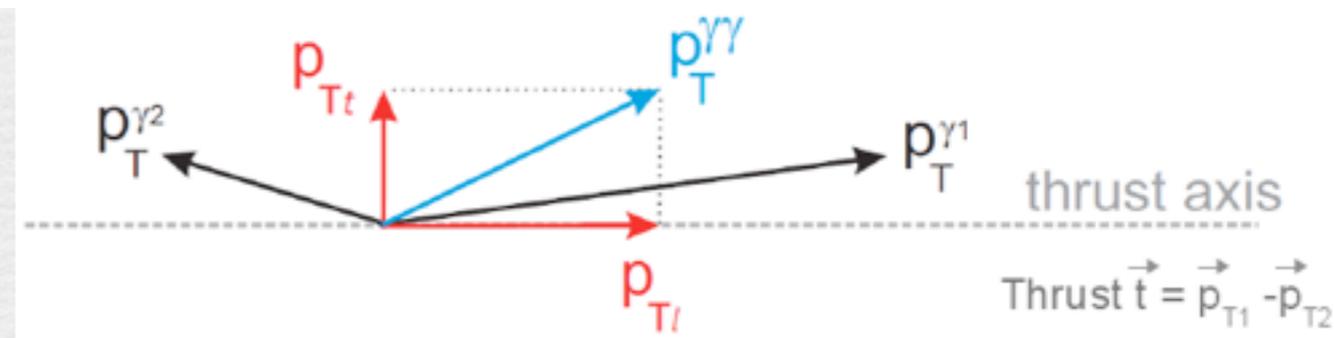


$\gamma \rightarrow e^+e^-$

Resolution:

- Good
- Medium
- Poor

Central and Rest はさらに、
 $p_{Tt} < 60\text{GeV}$ and $p_{Tt} > 60\text{GeV}$

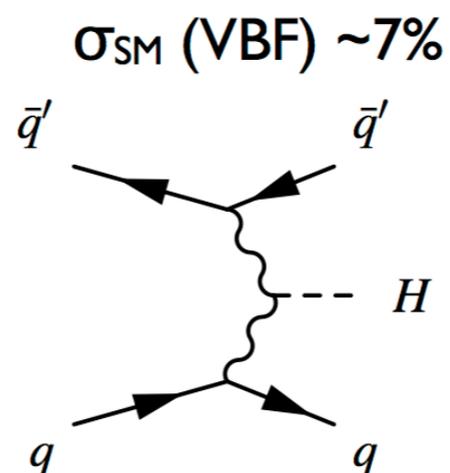


2 jet category (New) :

2 jets with $p_T > 25 \sim 30\text{GeV}$

$|\eta| < 4.5$ 、 $|\Delta \eta|_{jj} > 2.8$

$M_{jj} > 400\text{GeV}$ 、 $\Delta \Phi(jj - \gamma \gamma) > 2.6$



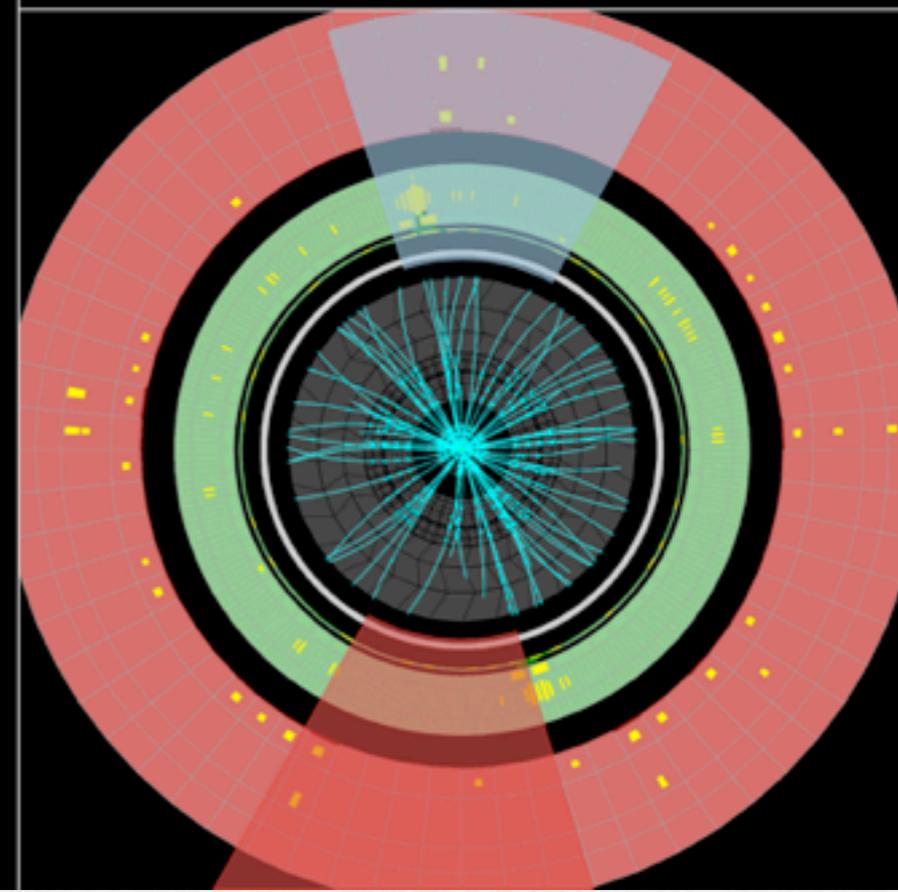
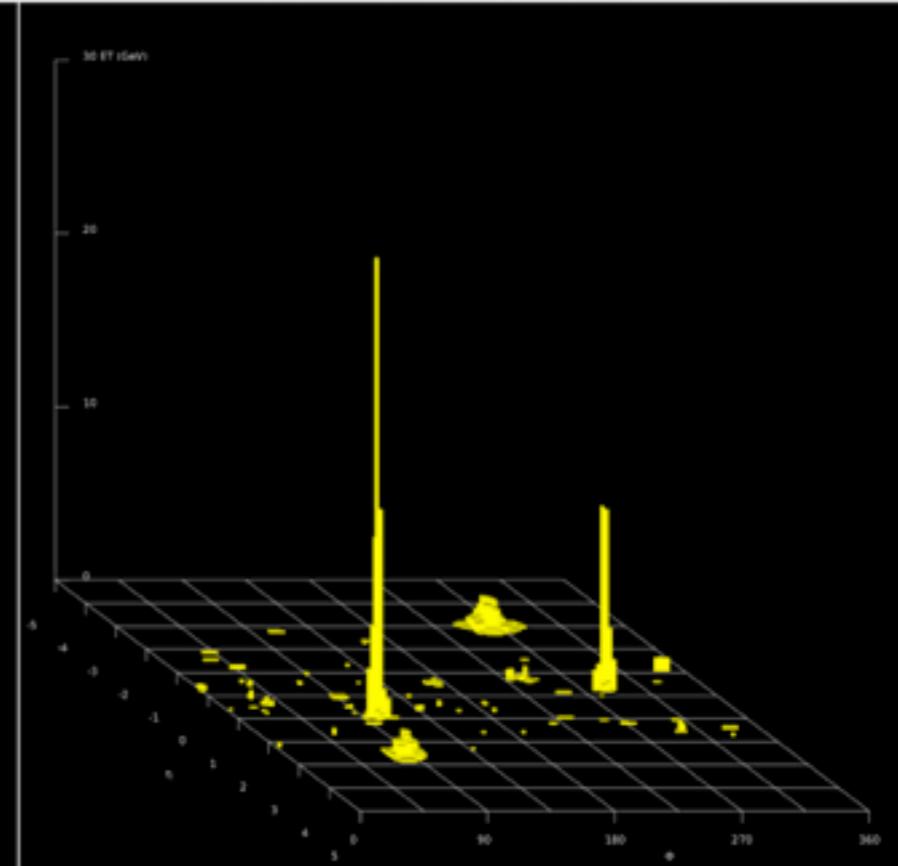
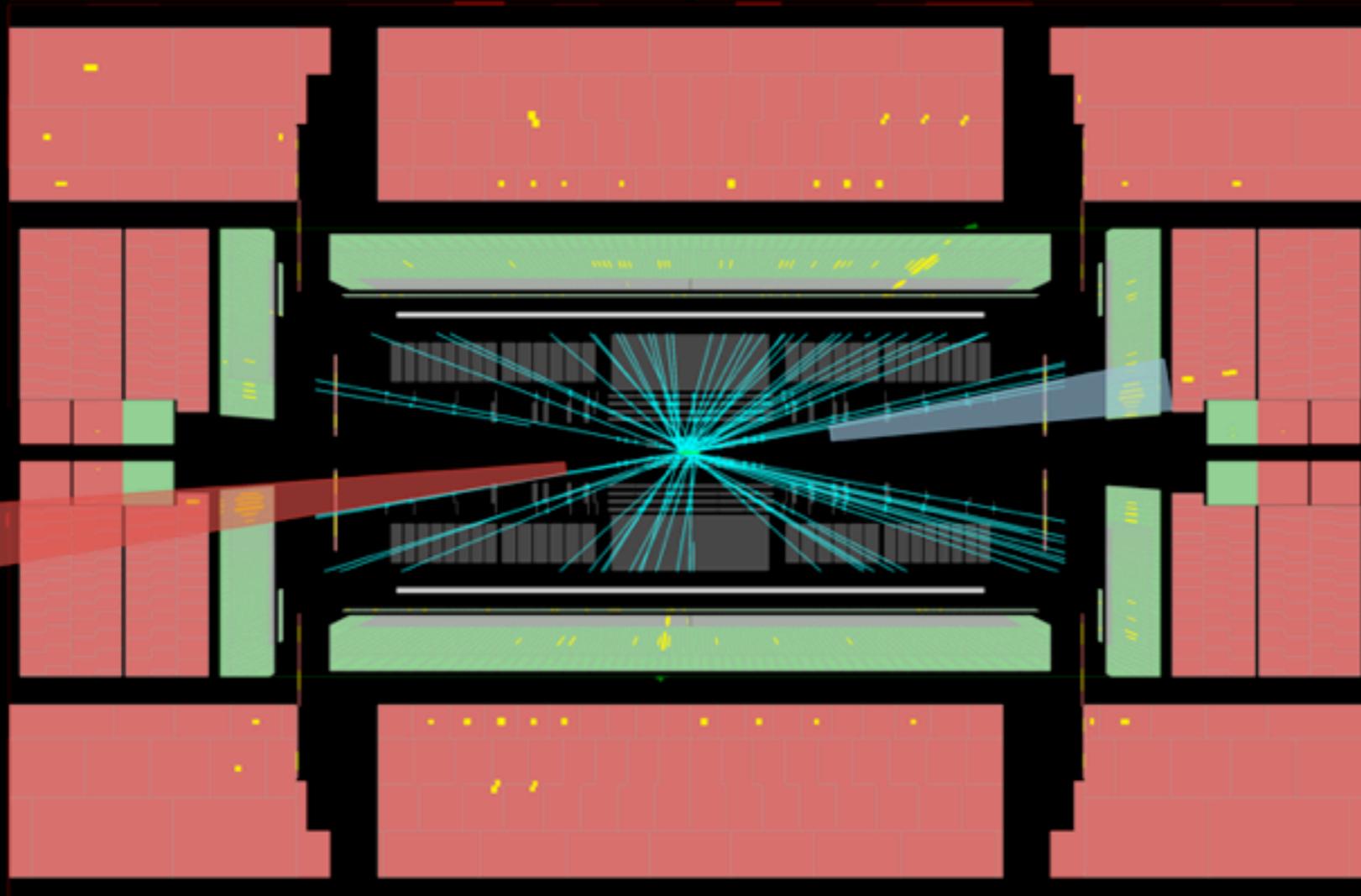
前後方向にジェット
 中央に $H \rightarrow \gamma \gamma$

2 photons + 2 jets event candidate



Run Number: 204769, Event Number: 24947130

Date: 2012-06-10 08:17:12 UTC



$H \rightarrow \gamma \gamma$: Energy resolution

$$m_{\gamma\gamma}^2 = 2 E_{\gamma_1} E_{\gamma_2} (1 - \cos \alpha)$$

Z、J/ $\psi \rightarrow ee$ 、 $W \rightarrow e\nu$ で
キャリブレーション

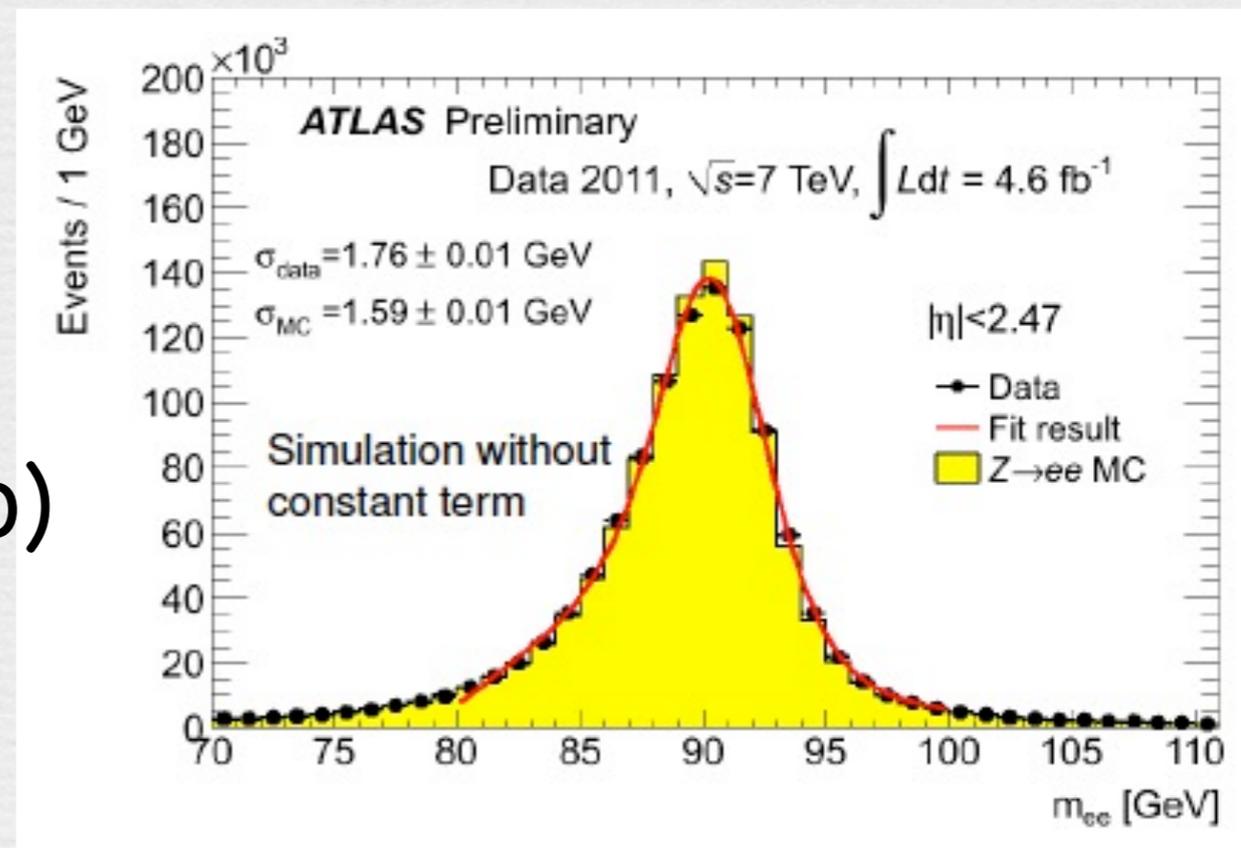
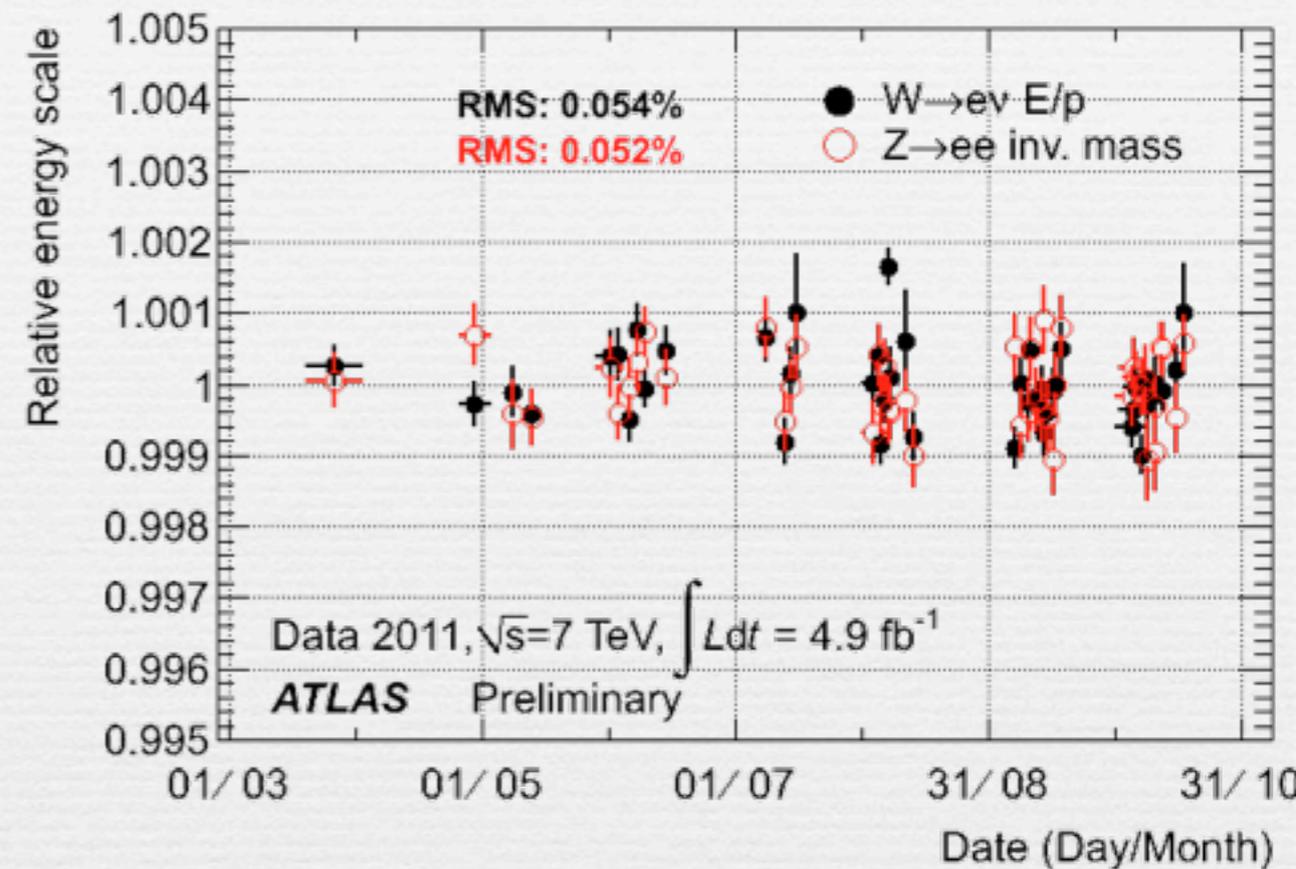
Stability of E response < 0.1%

Energy scale at $m_z \sim 0.3\%$

Linearity < 1% (few-100GeV)

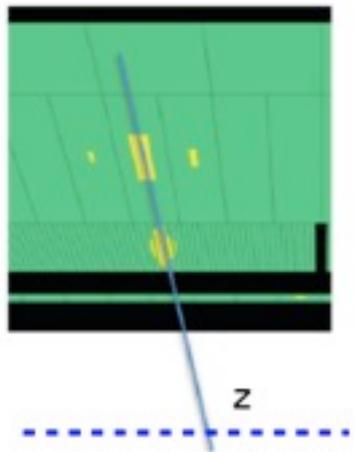
Uniformity $\sim 1\%$ (Barrel)

$\sim 1.2-2.1\%$ (endcap)

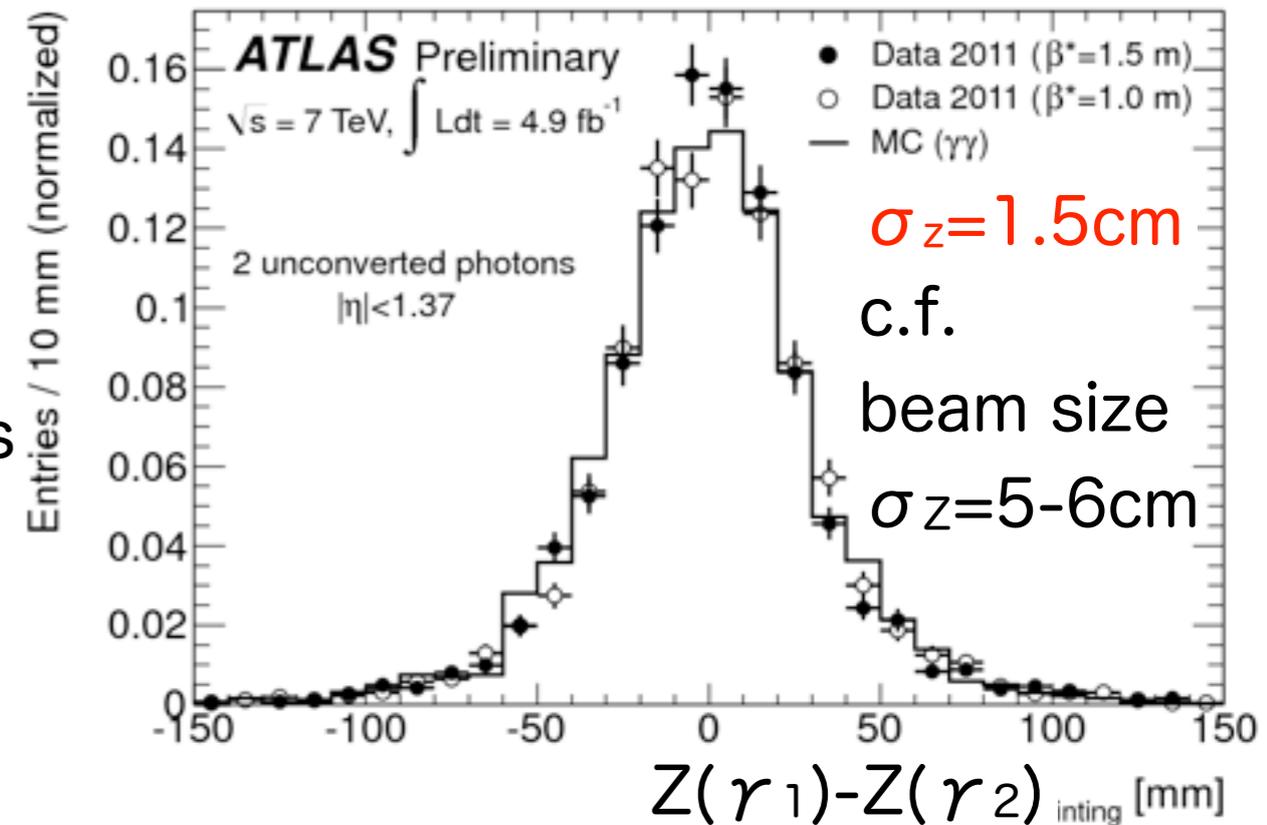


$H \rightarrow \gamma \gamma$: Photon Pointing

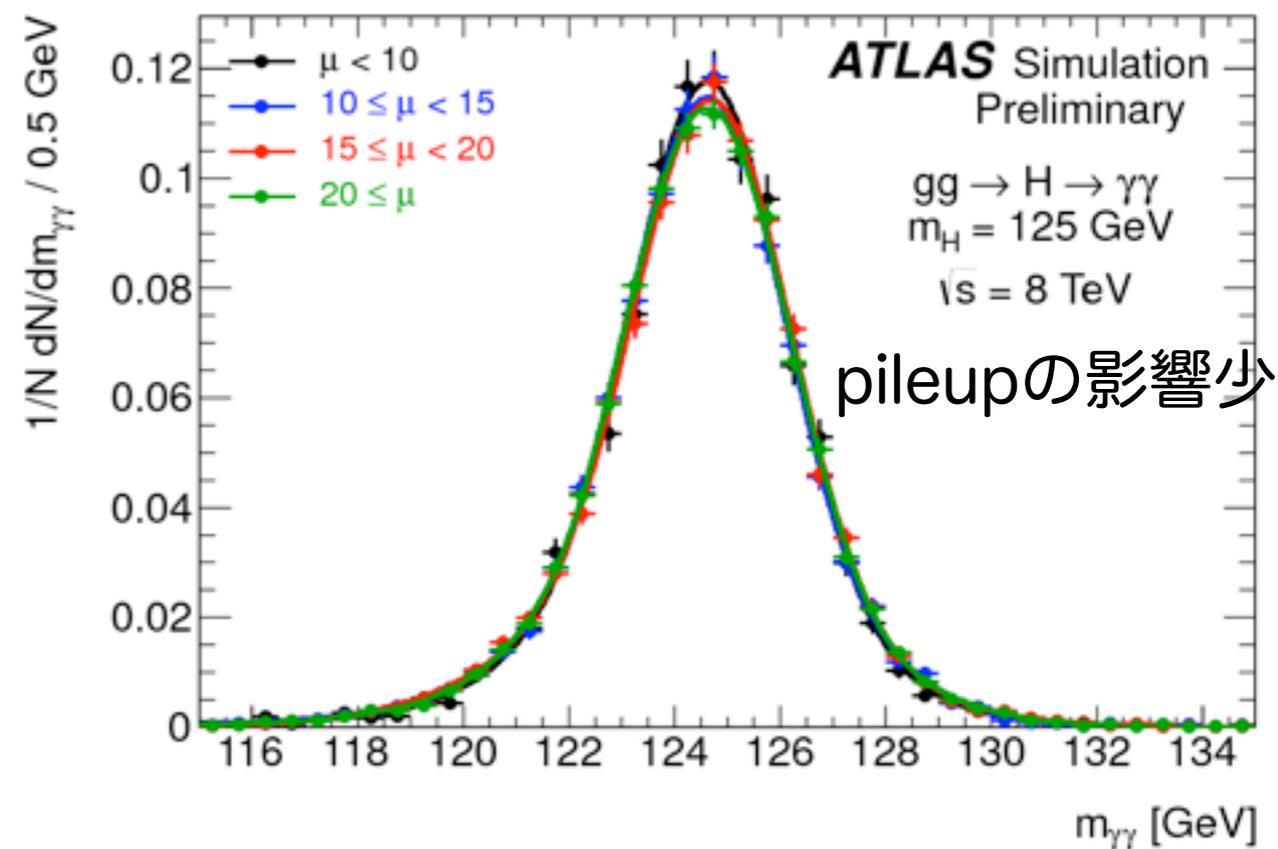
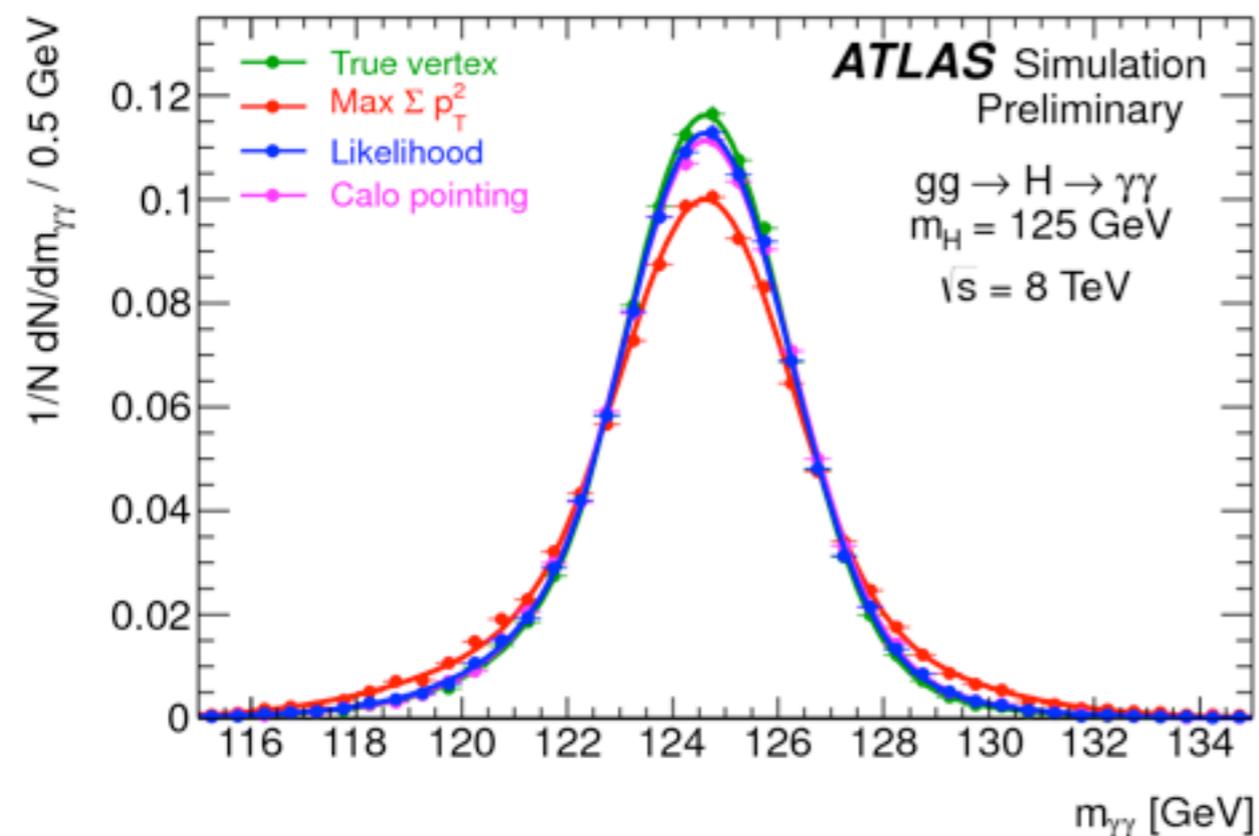
$$m_{\gamma\gamma}^2 = 2E_{\gamma_1}E_{\gamma_2}(1 - \cos \alpha)$$



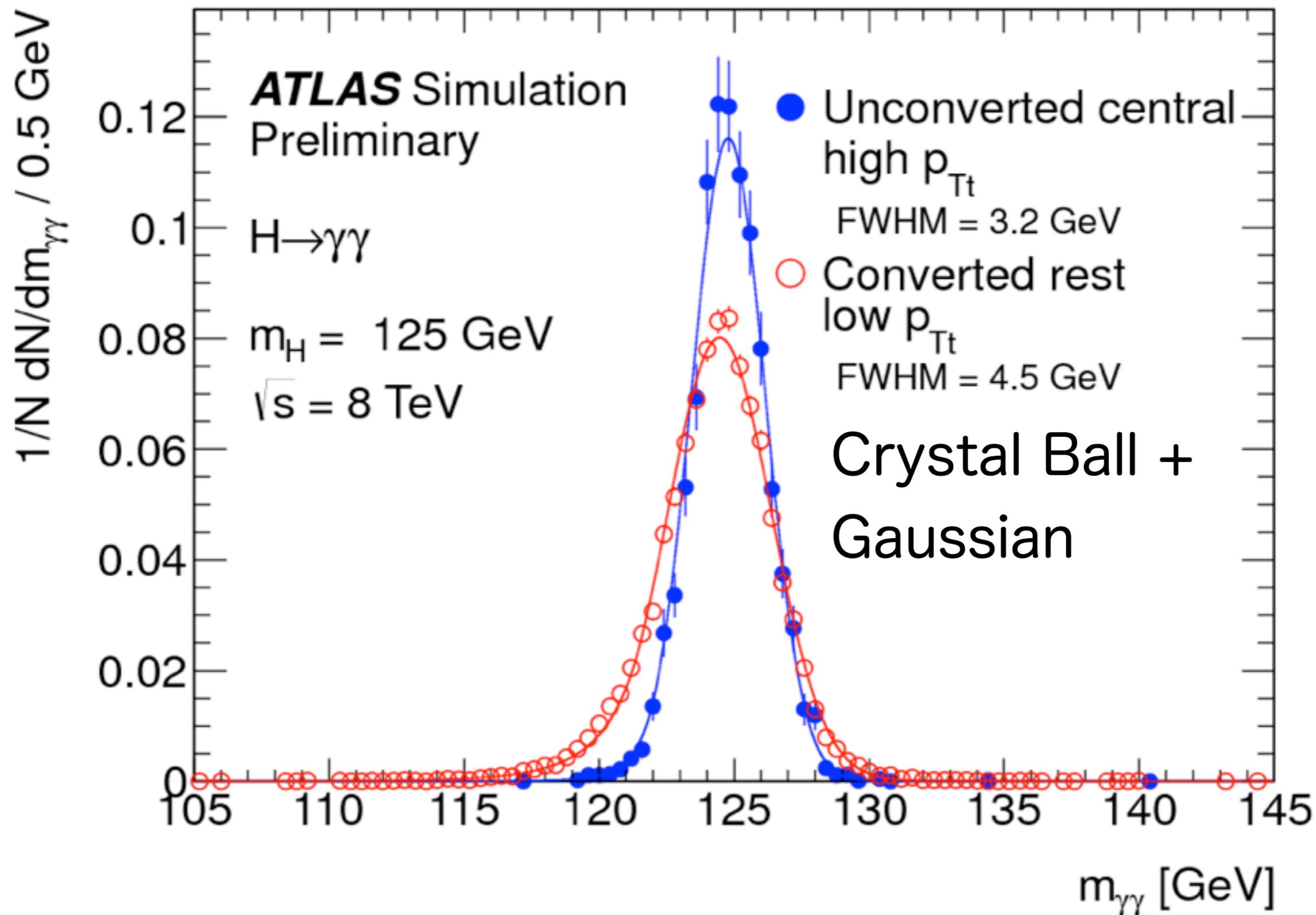
Primary vertex from
EM cal. longitudinal segment
tracks from converted photons



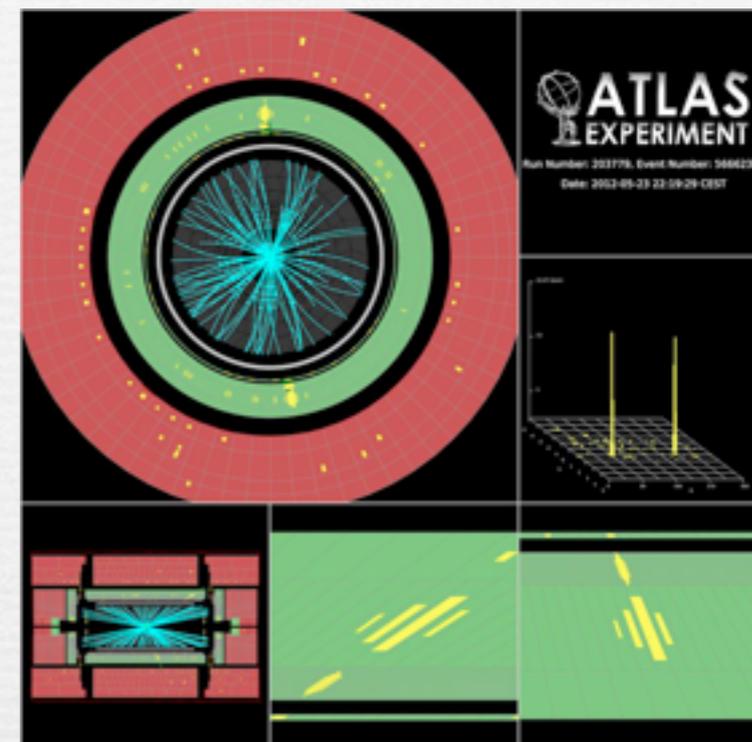
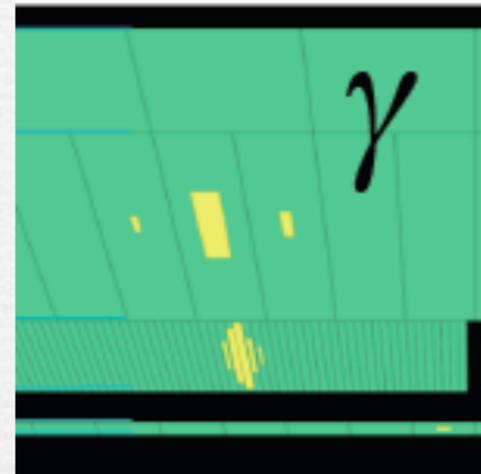
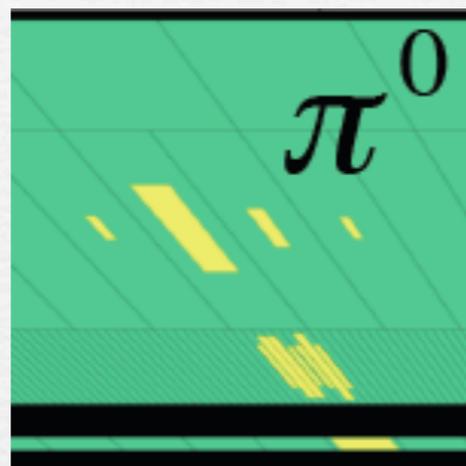
Max Σp_T^2 : Highest p_T sum PV from tracking



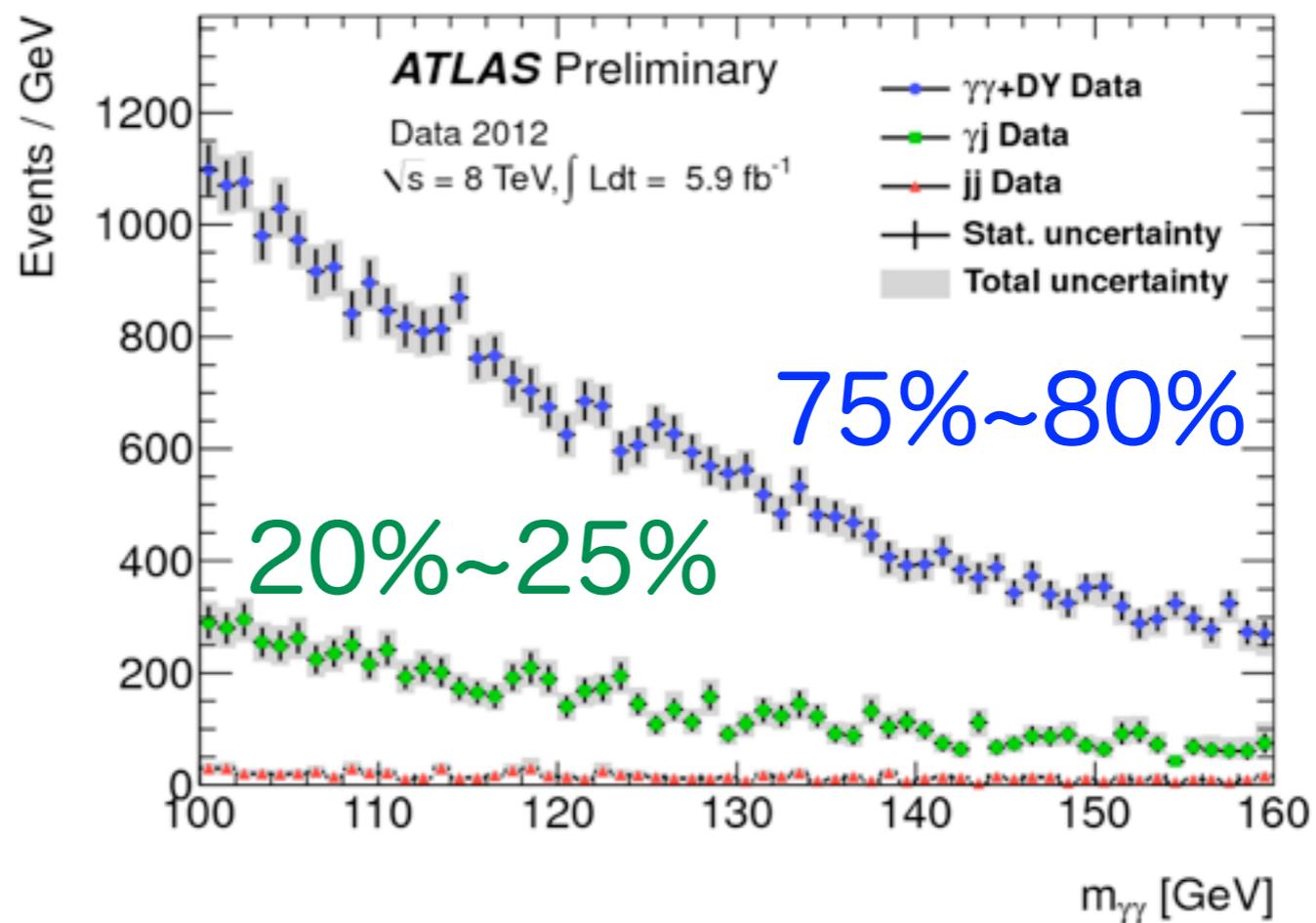
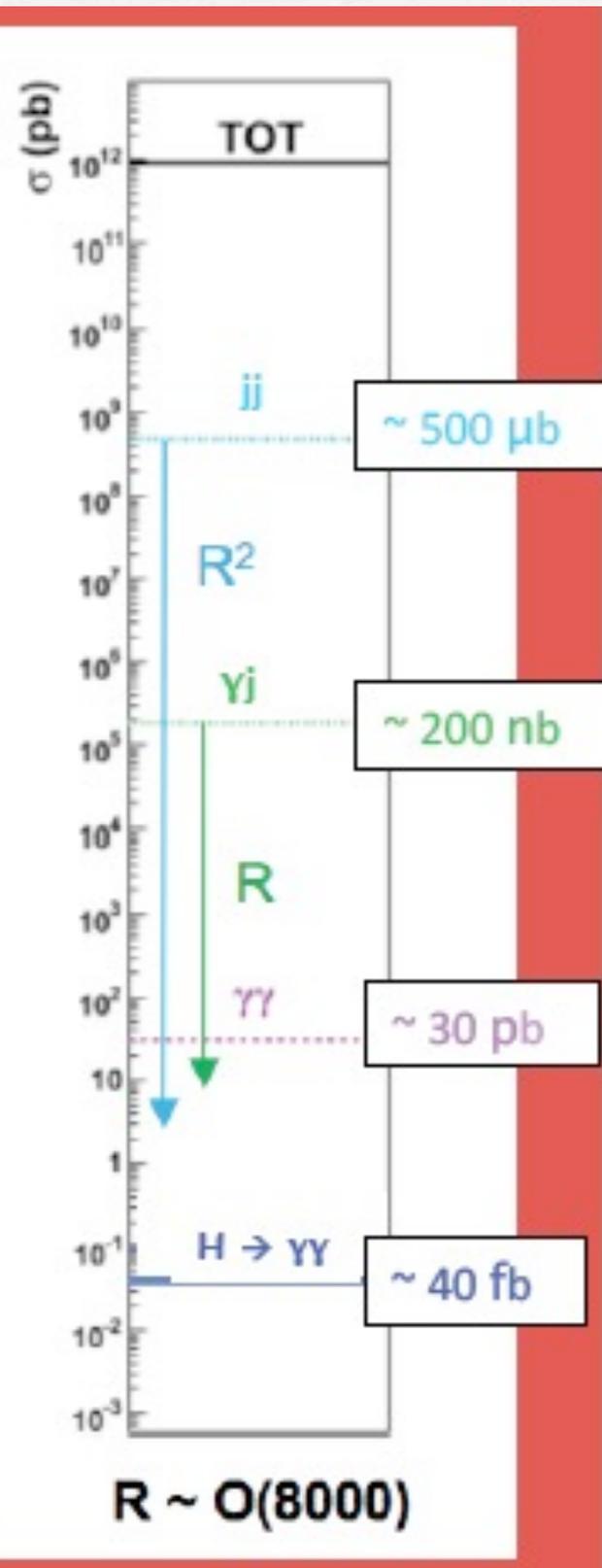
$H \rightarrow \gamma\gamma$: Mass Resolution



$H \rightarrow \gamma \gamma$: Background



$$\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$$



H \rightarrow $\gamma\gamma$: 10カテゴリーの内訳

8TeV(2012) sample

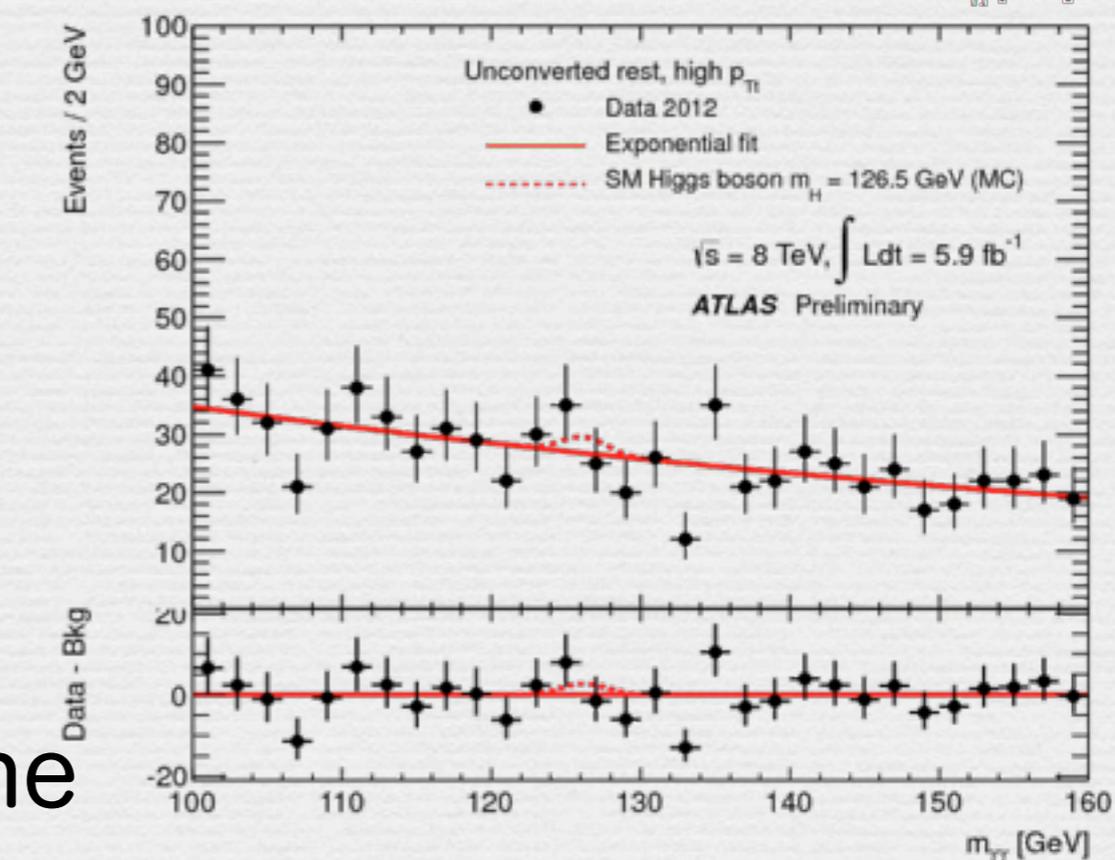
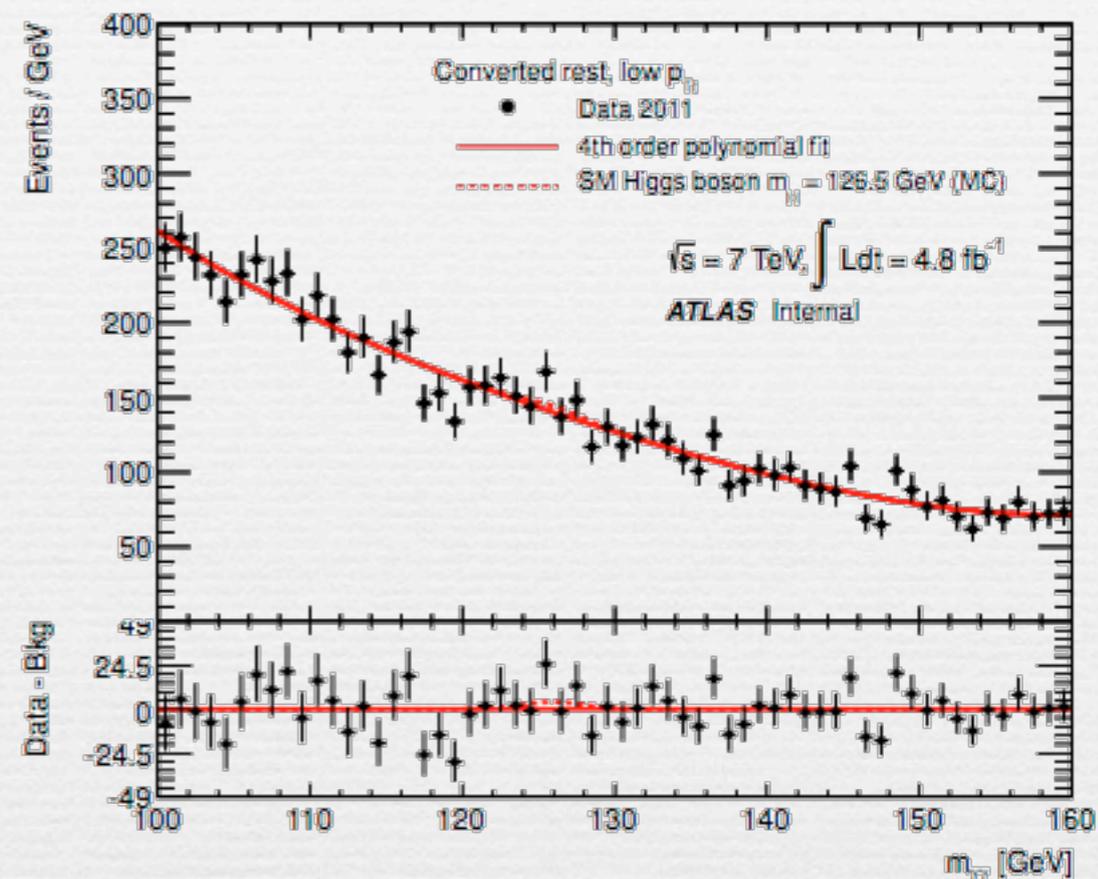
Category	σ_{CB} [GeV]	FWHM [GeV]	Observed [N_{evt}]	S [N_{evt}]	B [N_{evt}]
Inclusive	1.63	3.87	3693	100.4	3635
Unconverted central, low $p_{T\ell}$	1.45	3.42	235	13.0	215
Unconverted central, high $p_{T\ell}$	1.37	3.23	15	2.3	14
Unconverted rest, low $p_{T\ell}$	1.57	3.72	1131	28.3	1133
Unconverted rest, high $p_{T\ell}$	1.51	3.55	75	4.8	68
Converted central, low $p_{T\ell}$	1.67	3.94	208	8.2	193
Converted central, high $p_{T\ell}$	1.50	3.54	13	1.5	10
Converted rest, low $p_{T\ell}$	1.93	4.54	1350	24.6	1346
Converted rest, high $p_{T\ell}$	1.68	3.96	69	4.1	72
Converted transition	2.65	6.24	880	11.7	845
2-jets	1.57	3.70	18	2.6	12

mH=126.5GeVで、90%の信号を含むmass window

$H \rightarrow \gamma \gamma$: background parametrization

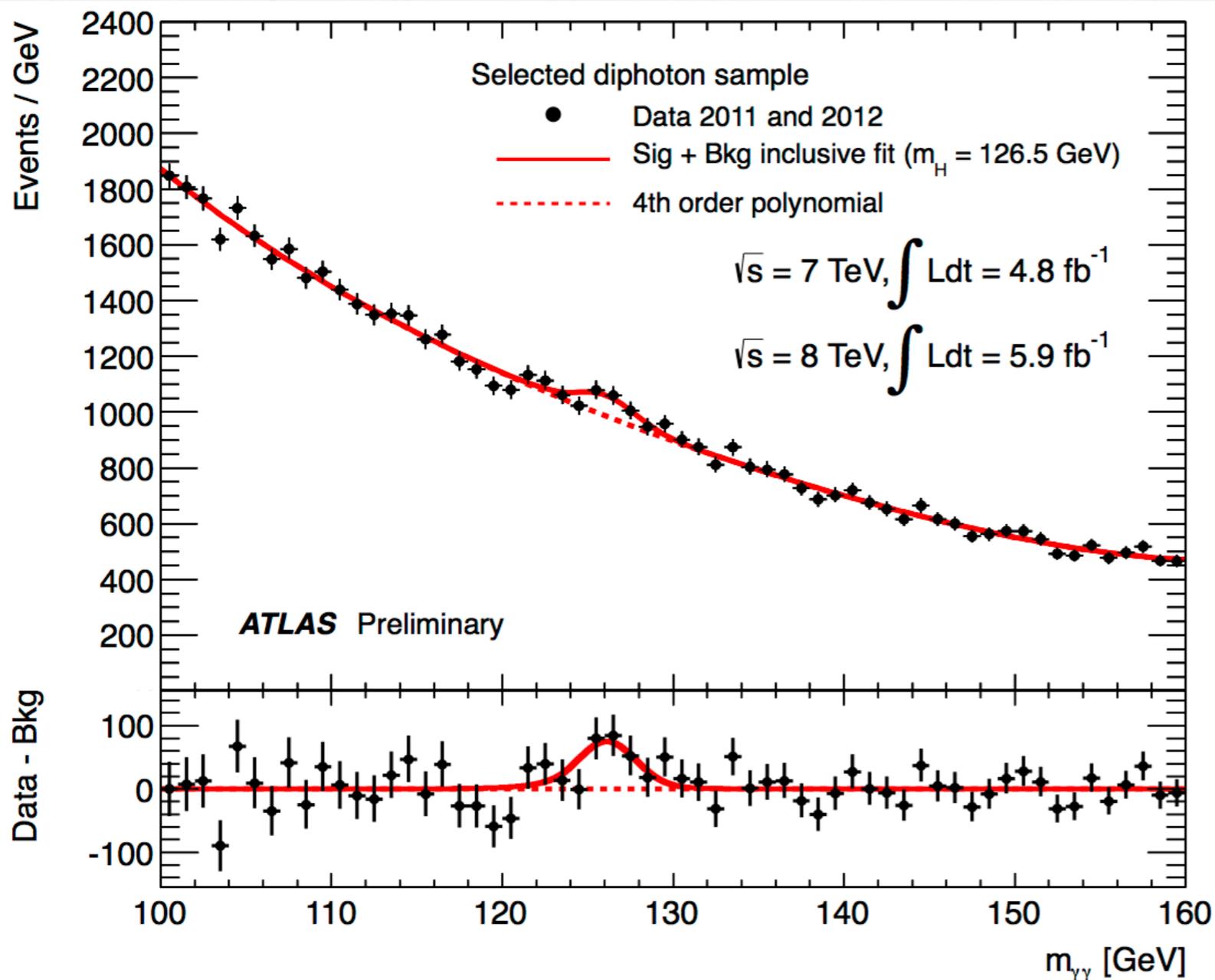
カテゴリー毎に異なる Background modeling

Category	Parametrization	Uncertainty [N_{evt}]	
		$\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$	$\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$
Inclusive	4th order pol.	7.3	10.6
Unconverted central, low $p_{T\ell}$	Exp. of 2nd order pol.	2.1	3.0
Unconverted central, high $p_{T\ell}$	Exponential	0.2	0.3
Unconverted rest, low $p_{T\ell}$	4th order pol.	2.2	3.3
Unconverted rest, high $p_{T\ell}$	Exponential	0.5	0.8
Converted central, low $p_{T\ell}$	Exp. of 2nd order pol.	1.6	2.3
Converted central, high $p_{T\ell}$	Exponential	0.3	0.4
Converted rest, low $p_{T\ell}$	4th order pol.	4.6	6.8
Converted rest, high $p_{T\ell}$	Exponential	0.5	0.7
Converted transition	Exp. of 2nd order pol.	3.2	4.6
2-jets	Exponential	0.4	0.6



個々のカテゴリで
background + signalをfitしcombine

$H \rightarrow \gamma\gamma$: 質量分布



23788 events (7TeV)

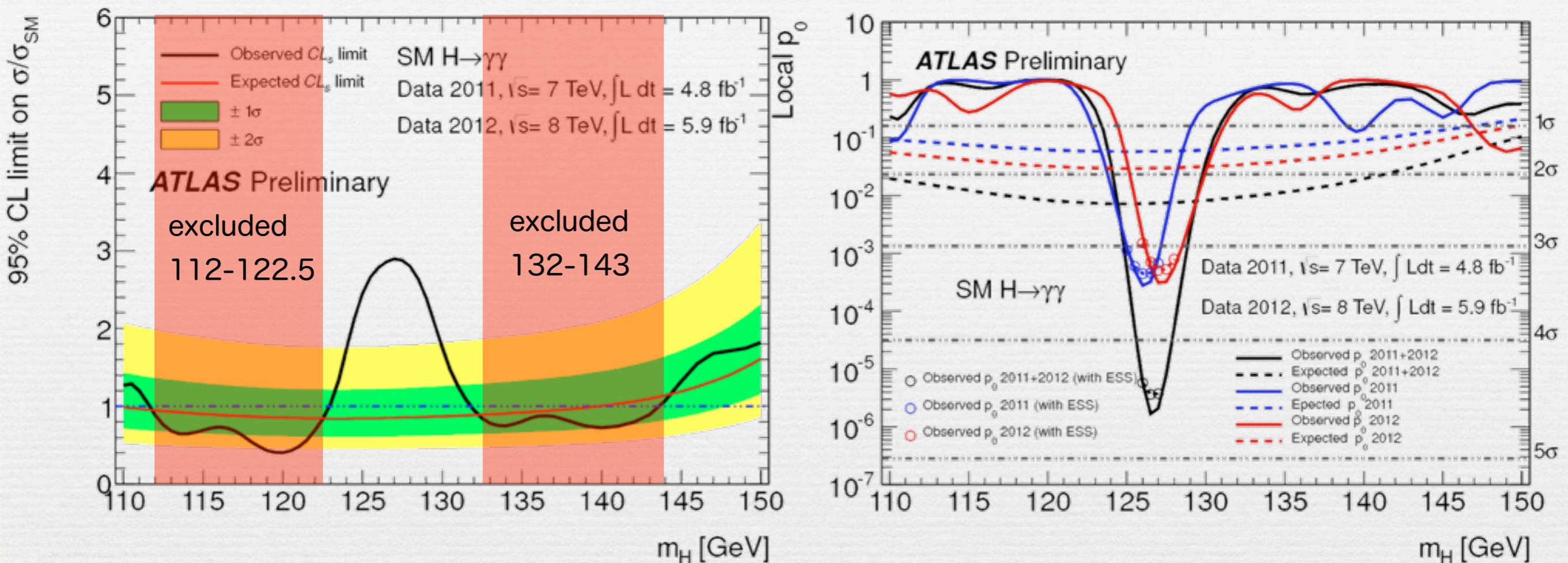
35271 events (8TeV)

Largest uncertainties

	7 TeV	8 TeV
Photon id efficiency	8.4%	10.8%
Theory	up to 25%	
	<i>(gg → H + 2 jets)</i>	
Jet E-scale (2-jets)	9-18%	
Underl. evt. (2-jets)	6-30%	
Higgs p_T	up to 12.5%	
Bkgd Param (evts)	0.2-4.6	0.3-6.8
$m_{\gamma\gamma}$ resolution	14%	
γ energy scale	0.6%	

Inclusive fit ($m_H=126.5$ GeV)

$H \rightarrow \gamma\gamma$: Limit & p-value



Local significance 4.5σ (exp 2.4σ) at $m_H=126.5\text{GeV}$

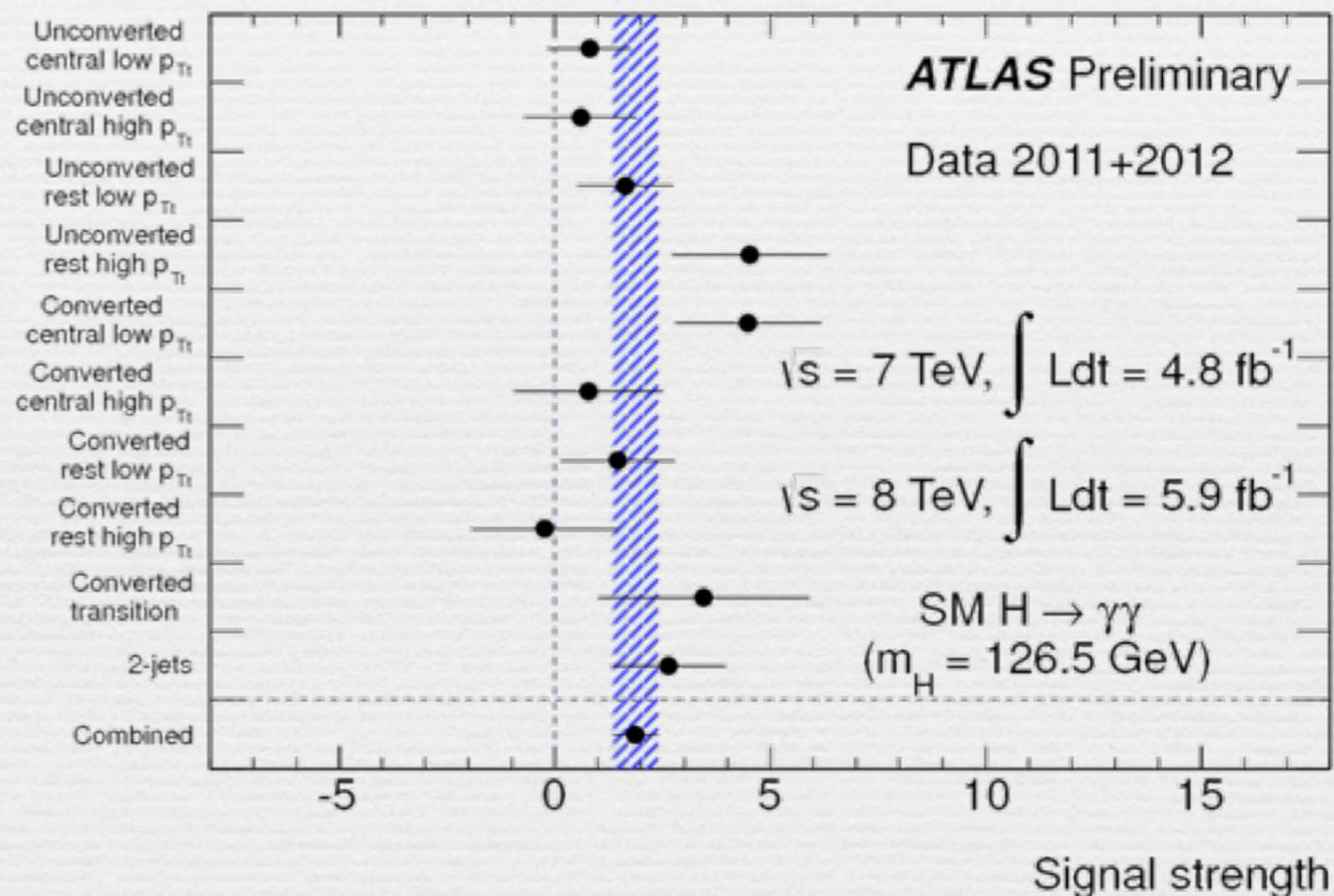
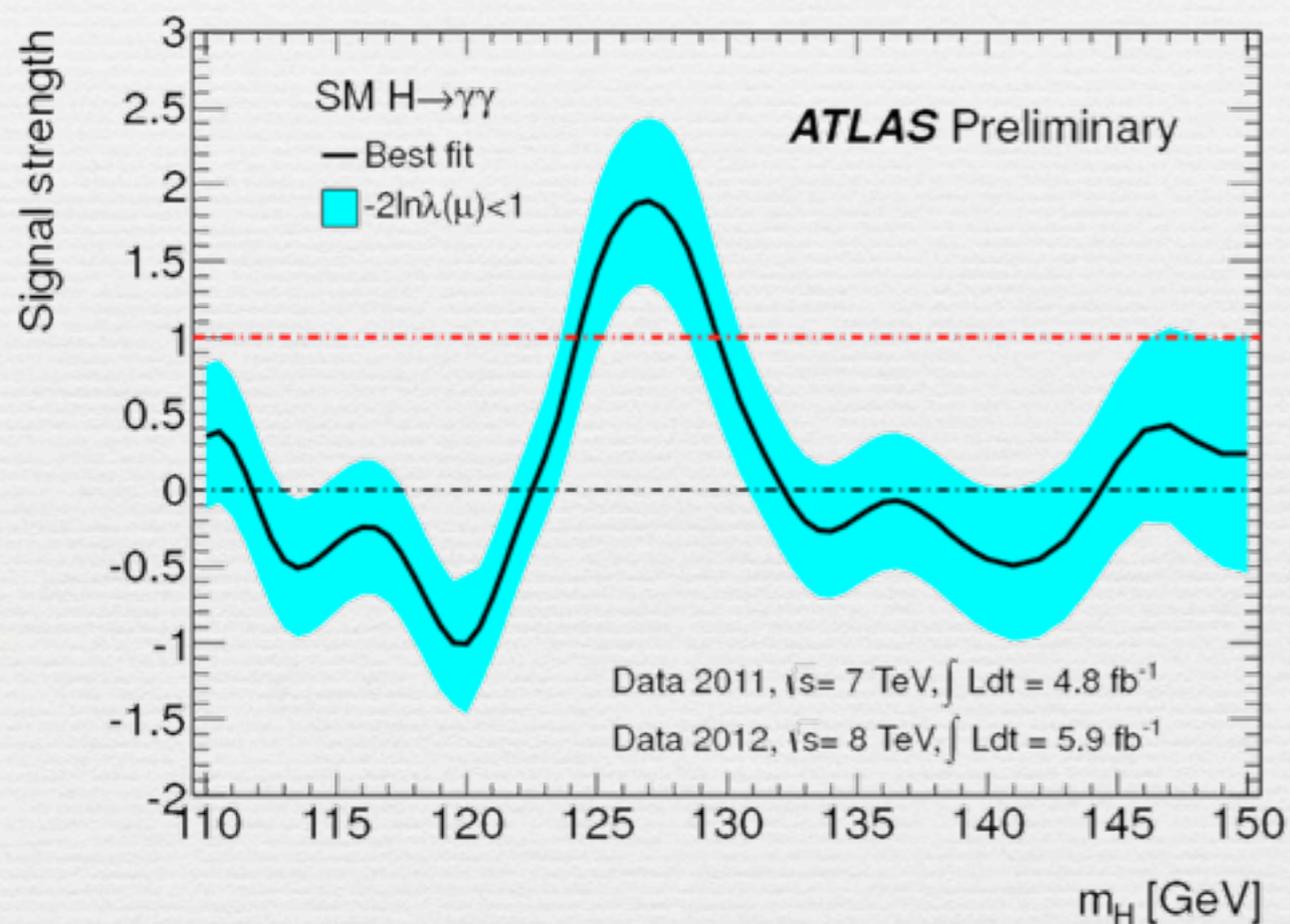
7TeV 3.3σ (exp 1.6σ) 126GeV

8TeV 3.3σ (exp 1.9σ) 127GeV

Global significance (fluctuation anywhere in 110-150GeV) : 3.6

$H \rightarrow \gamma \gamma$: Signal Strength

$\mu \times (\text{Signal}) + (\text{Background})$: fitの最適値
 signal strength



Best fit for $m_H = 126.5 \text{ GeV}$

$$\mu = 1.9 \pm 0.5$$

$H \rightarrow ZZ(*) \rightarrow 4 \text{ lepton} (4e, 4\mu, 2e2\mu)$

7TeV data (4.8 fb^{-1}) : Improved

8TeV data (5.8 fb^{-1}) : New

m_H [GeV]	$\sigma(gg \rightarrow H)$ [pb]	$\sigma(qq' \rightarrow Hqq')$ [pb]	$\sigma(q\bar{q} \rightarrow WH)$ [pb]	$\sigma(q\bar{q} \rightarrow ZH)$ [pb]	BR($H \rightarrow ZZ(*) \rightarrow 4\ell$) [10^{-3}]
$\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$					
125	$15.3^{+3.0}_{-2.3}$	1.21 ± 0.03	$0.57^{+0.02}_{-0.03}$	0.32 ± 0.02	0.13

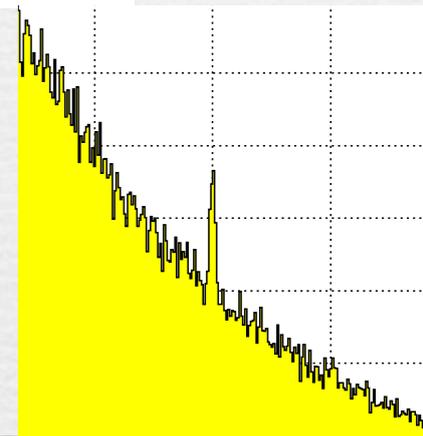
$\sigma \times \text{Br} \sim 2.5 \text{ fb} @ 125 \text{ GeV}$

good mass resolution and S/N

期待



Low mass Higgs用に事象選択をoptimize



selection	Original	Optimized
Lepton pT (e/ μ) (GeV)	20,20,7,7	20,15,10,7/6
m_{12} selection (GeV)	$ m_{12} - m_Z < 15$	$50 < m_{12} < 106$
m_{34} selection (GeV)	$m_{\min} < m_{34} < 115$	$m_{\min} < m_{34} < 115$

$m_{4\ell}$ (GeV)	≤ 120	130	150	160	165	180	≥ 190
m_{34} threshold (GeV)	17.5	22.5	30	30	35	40	50

→ Gain : 20% (4μ)
30% (4e)

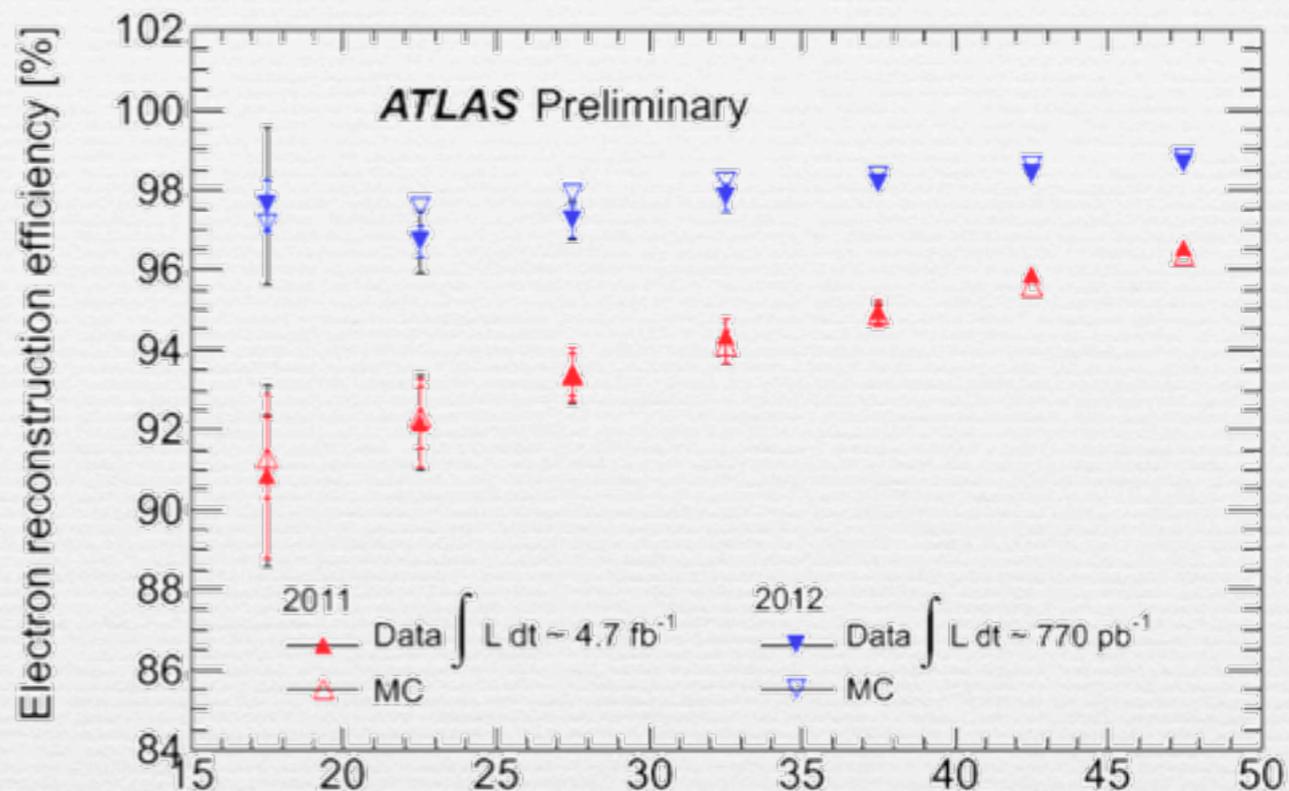
H \rightarrow 4l : Lepton identification

Electron:

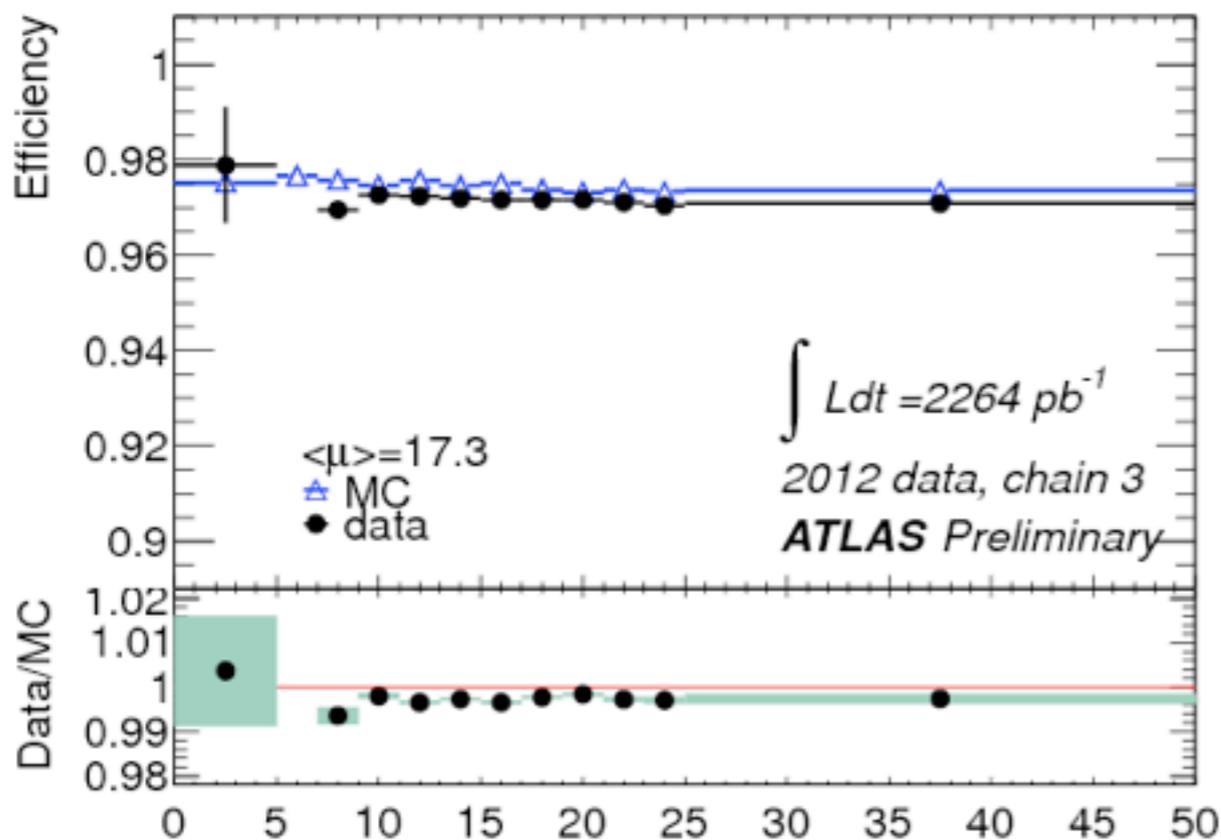
制動放射を受けた e^\pm をrecoverする
track pattern recognition & fitting
pileupに対して強いID

Muon:

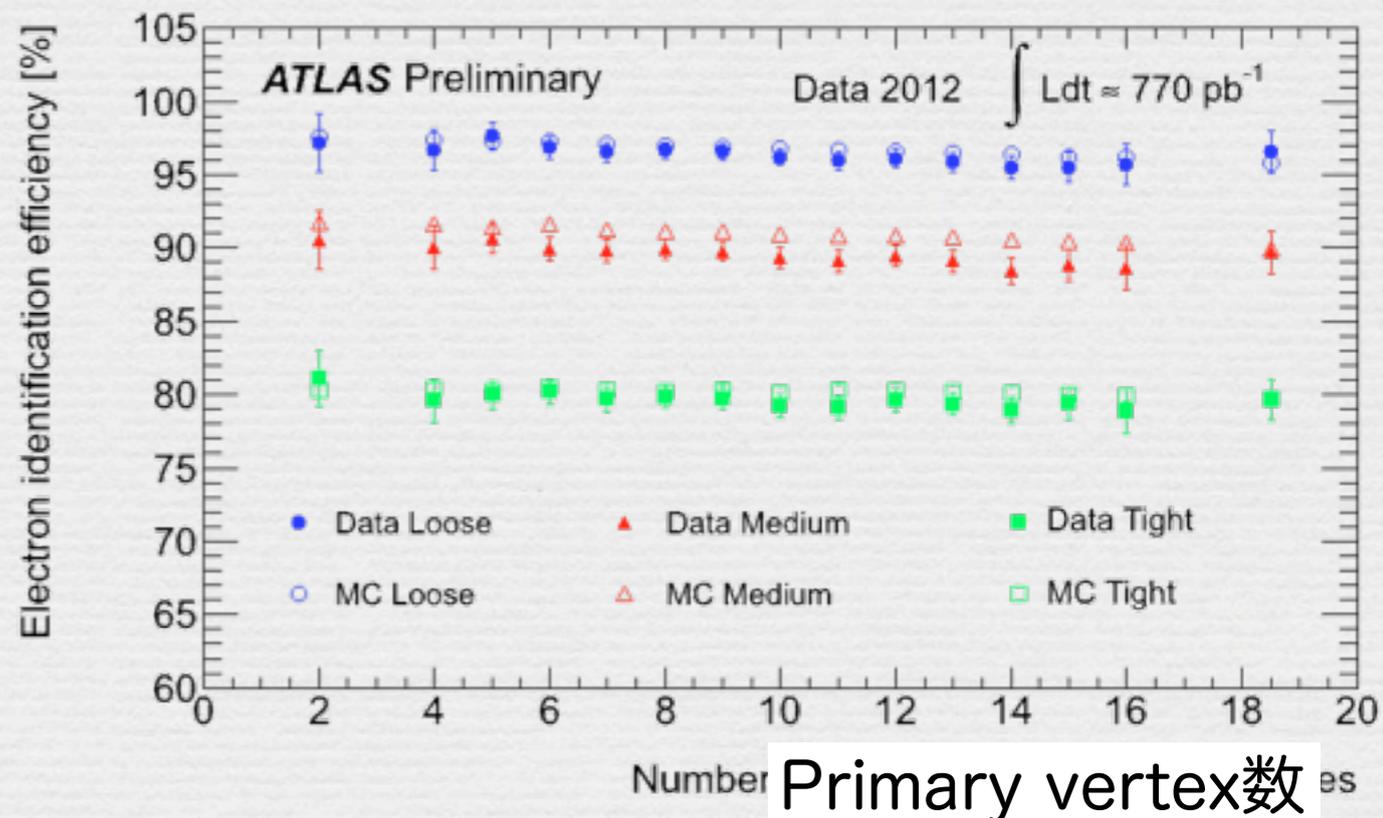
$p_T > 6\text{GeV}$, $|\eta| < 2.7$ までIDを可能に
pileupに対して強いID



電子のエネルギー (GeV)



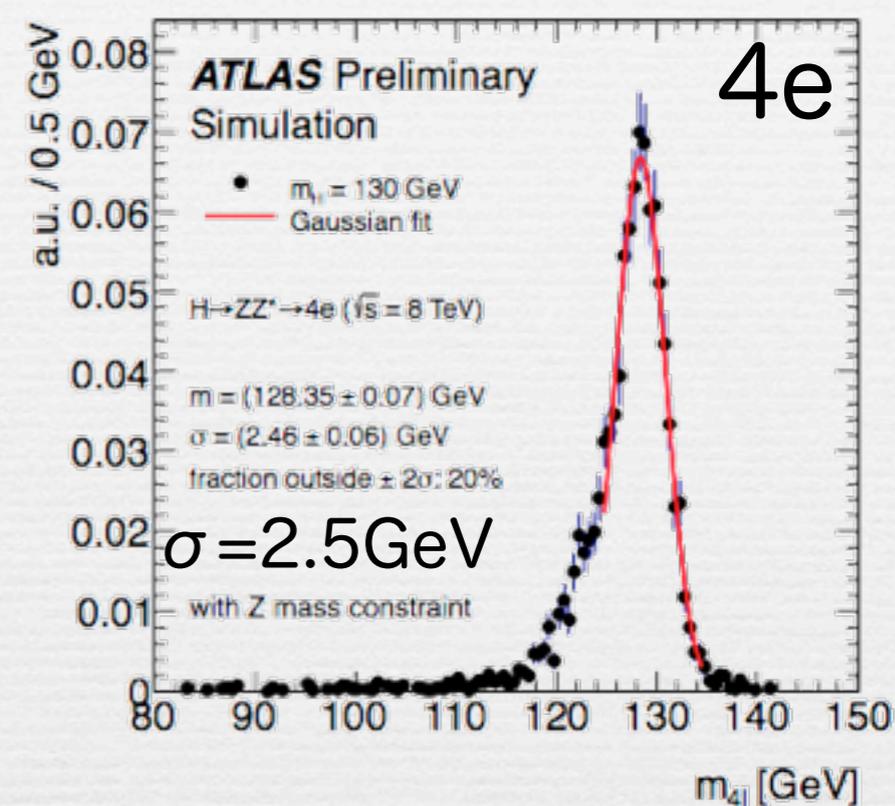
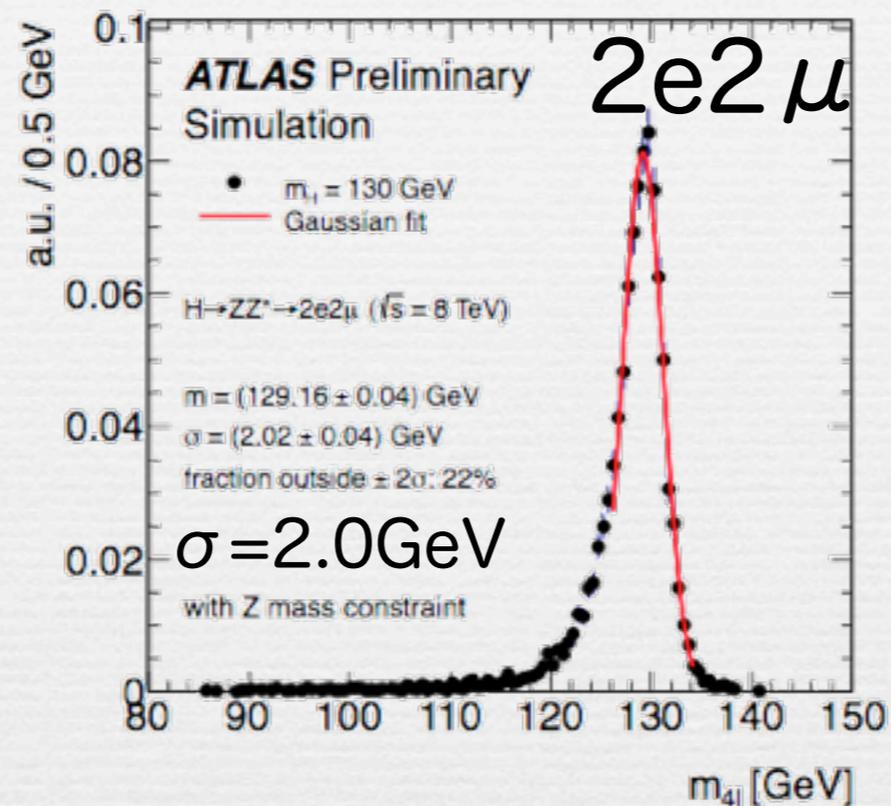
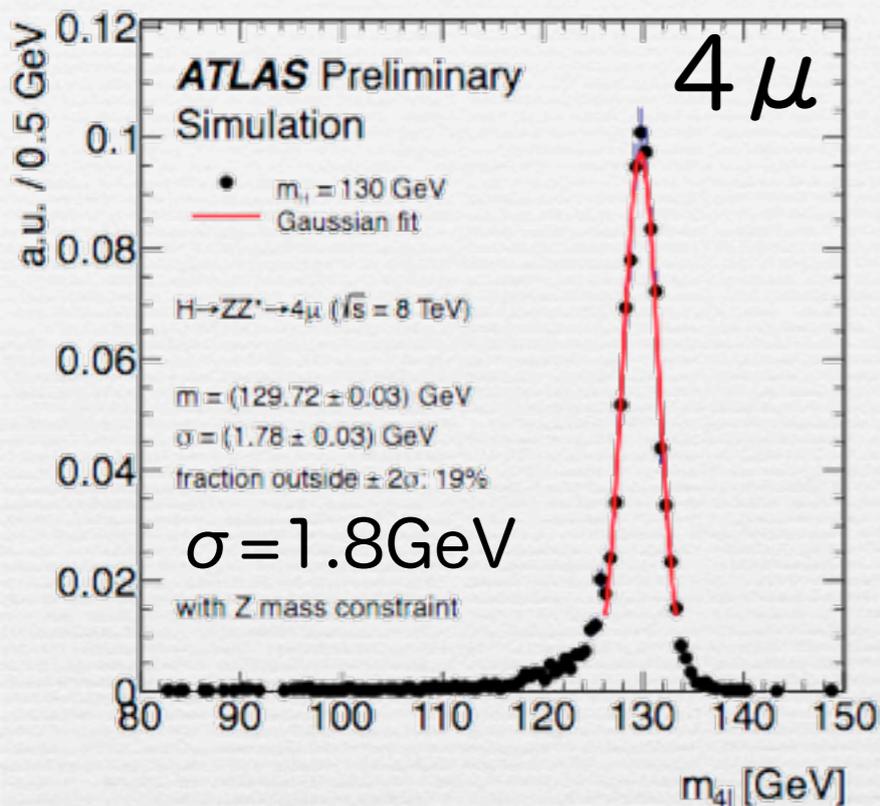
パイルアップ数



Primary vertex数

H \rightarrow 4l : Mass resolution and efficiency

Mass resolution



Signal efficiency ($m_H = 130 \text{ GeV}$)

effi.(%)	4μ	$2e2\mu$	$4e$
2011 (old)	27	18	14
2011 (new)	43	23	17
2012 (new)	41	27	23

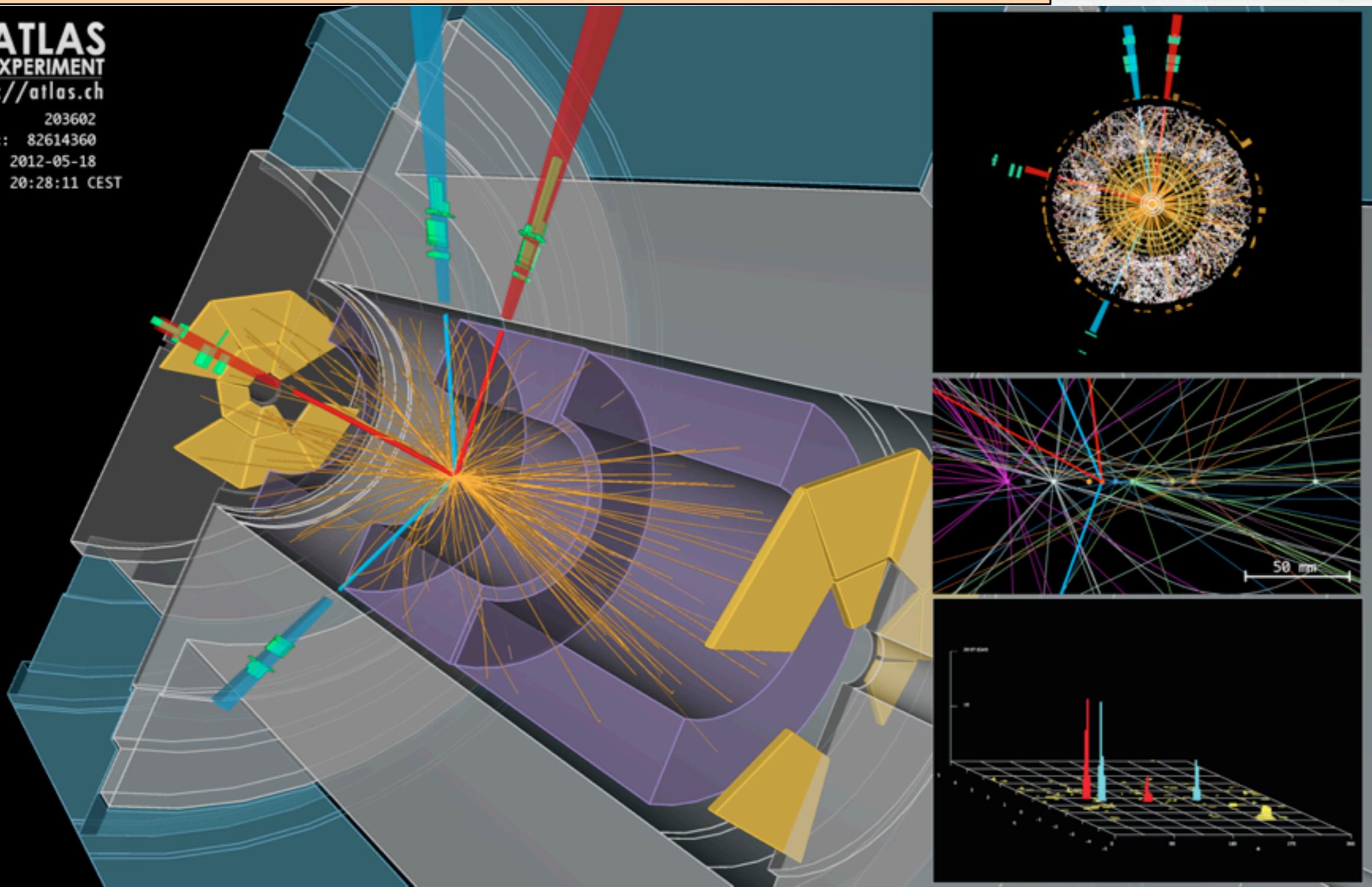
4e 候補事象

4e candidate with $m_{4e} = 124.6 \text{ GeV}$

p_T (electrons) = 24.9, 53.9, 61.9, 17.8 GeV $m_{12} = 70.6 \text{ GeV}$, $m_{34} = 44.7 \text{ GeV}$
12 reconstructed vertices

ATLAS
EXPERIMENT
<http://atlas.ch>

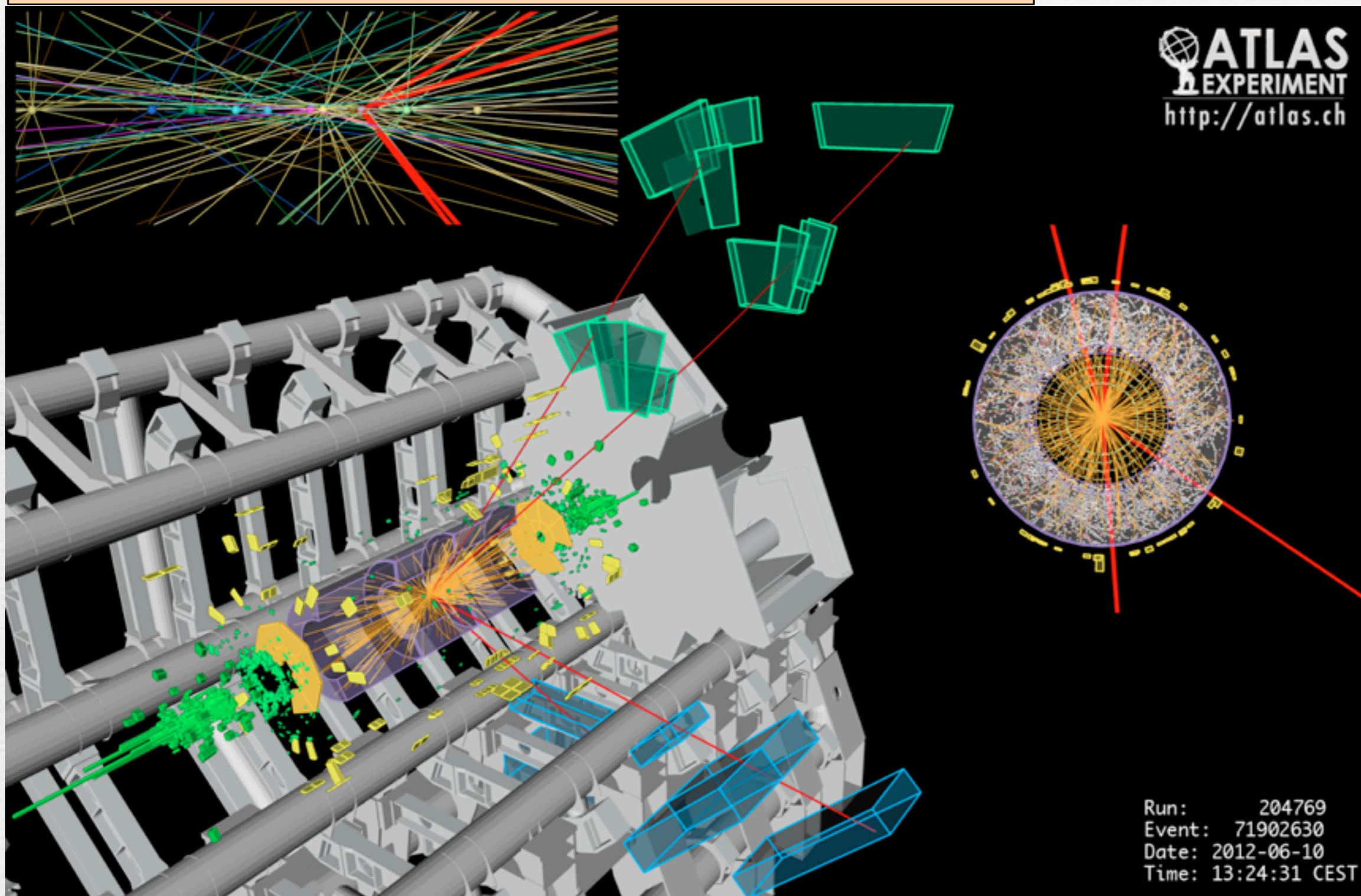
Run: 203602
Event: 82614360
Date: 2012-05-18
Time: 20:28:11 CEST



4 μ 候補事象

4 μ candidate with $m_{4\mu} = 125.1 \text{ GeV}$

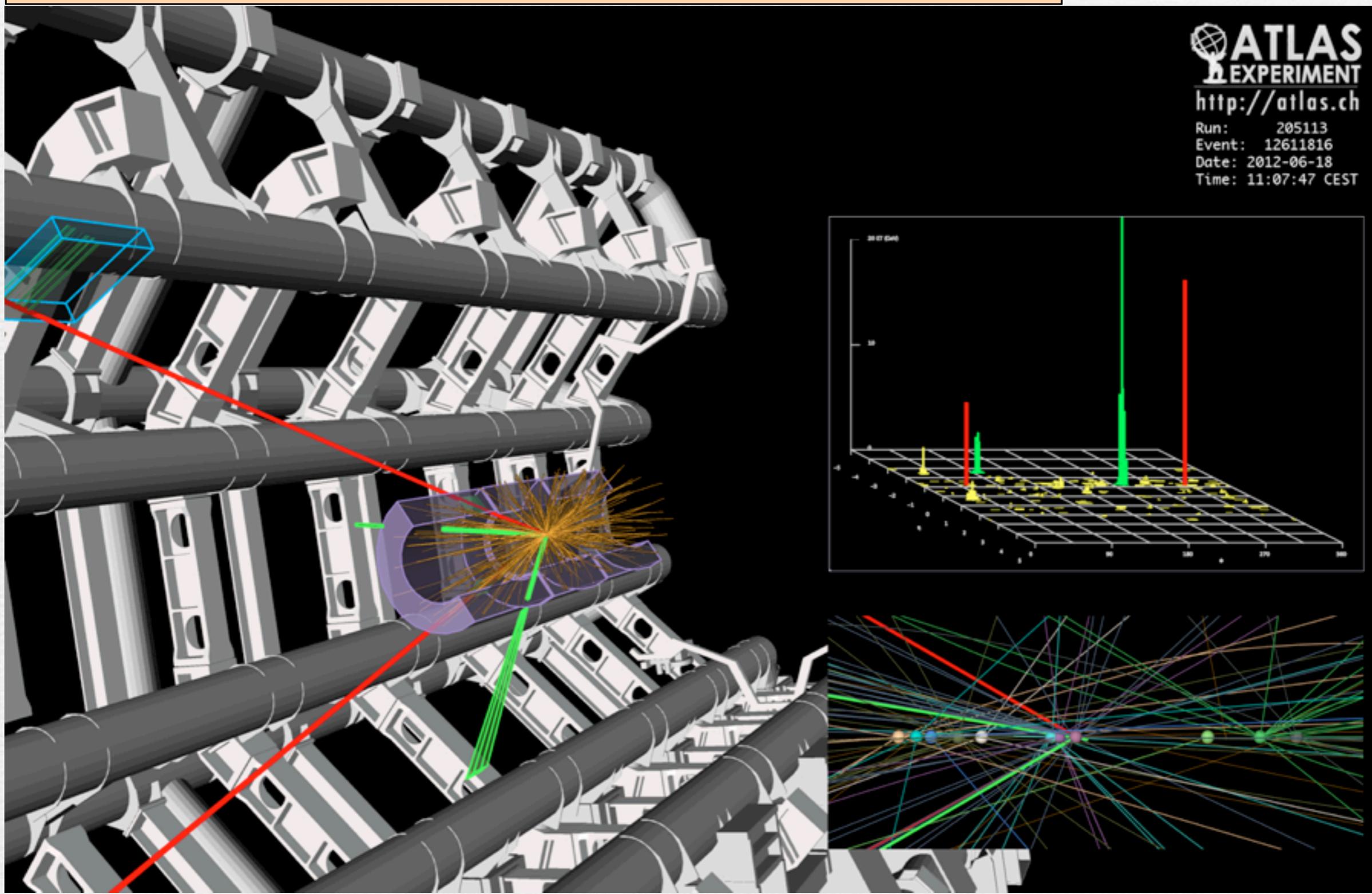
p_T (muons) = 36.1, 47.5, 26.4, 71.7 GeV $m_{12} = 86.3 \text{ GeV}$, $m_{34} = 31.6 \text{ GeV}$
15 reconstructed vertices



2e2 μ 候補事象

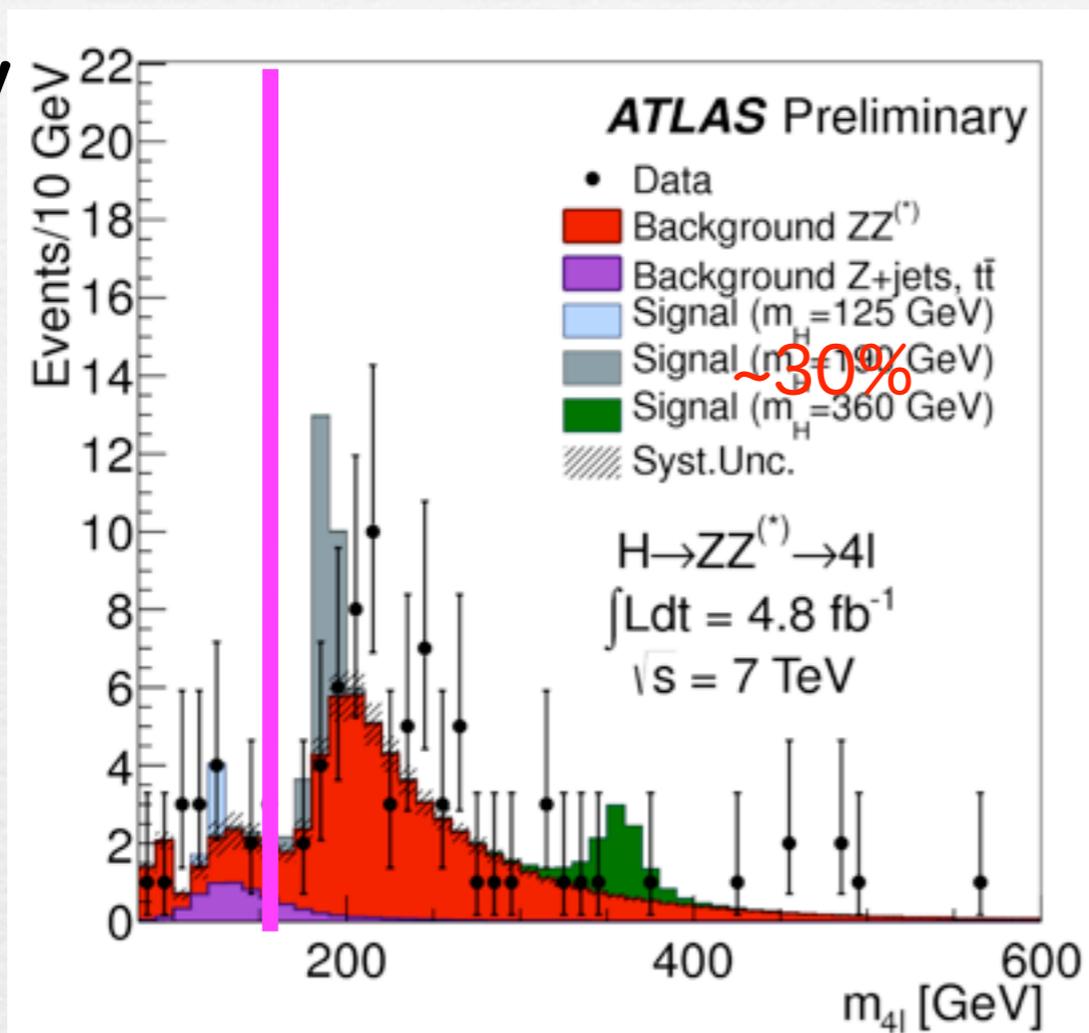
2e2 μ candidate with $m_{2e2\mu} = 123.9 \text{ GeV}$

$p_T(e,e,\mu,\mu) = 18.7, 76, 19.6, 7.9 \text{ GeV}$, $m(e^+e^-) = 87.9 \text{ GeV}$, $m(\mu^+\mu^-) = 19.6 \text{ GeV}$
12 reconstructed vertices

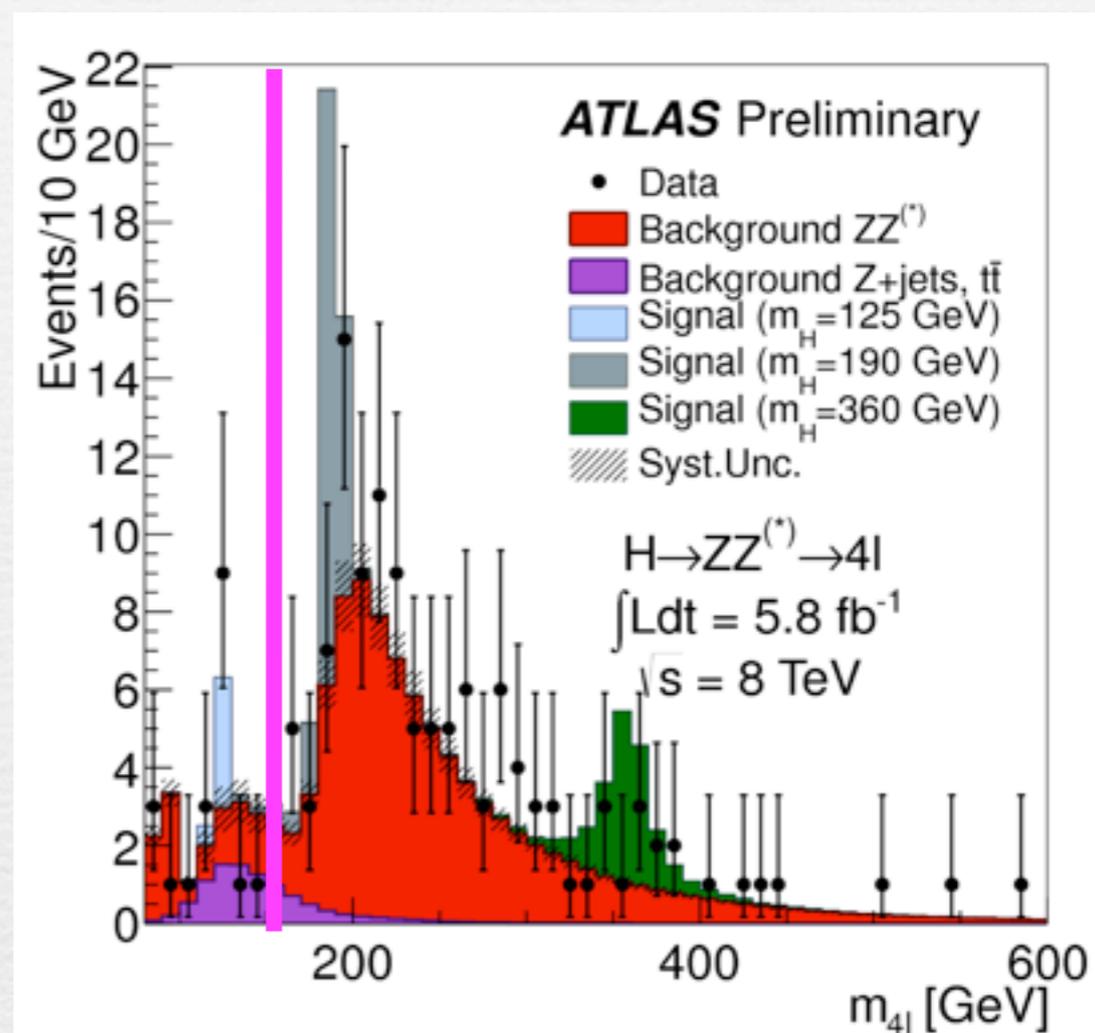


H \rightarrow 4l : 質量分布 (全体)

7TeV



8TeV

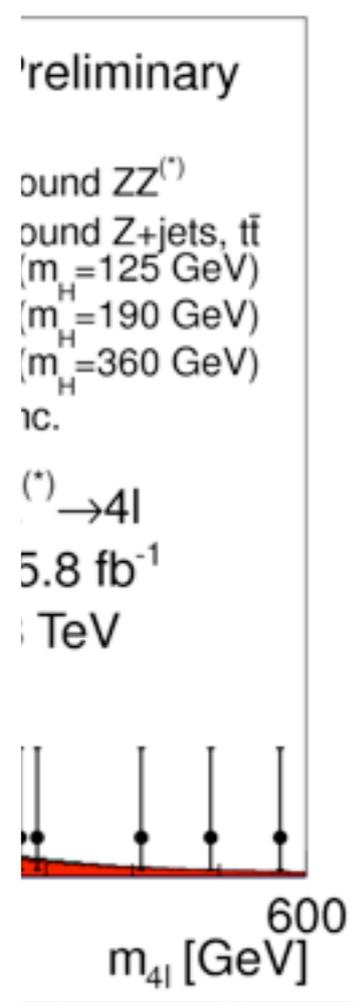
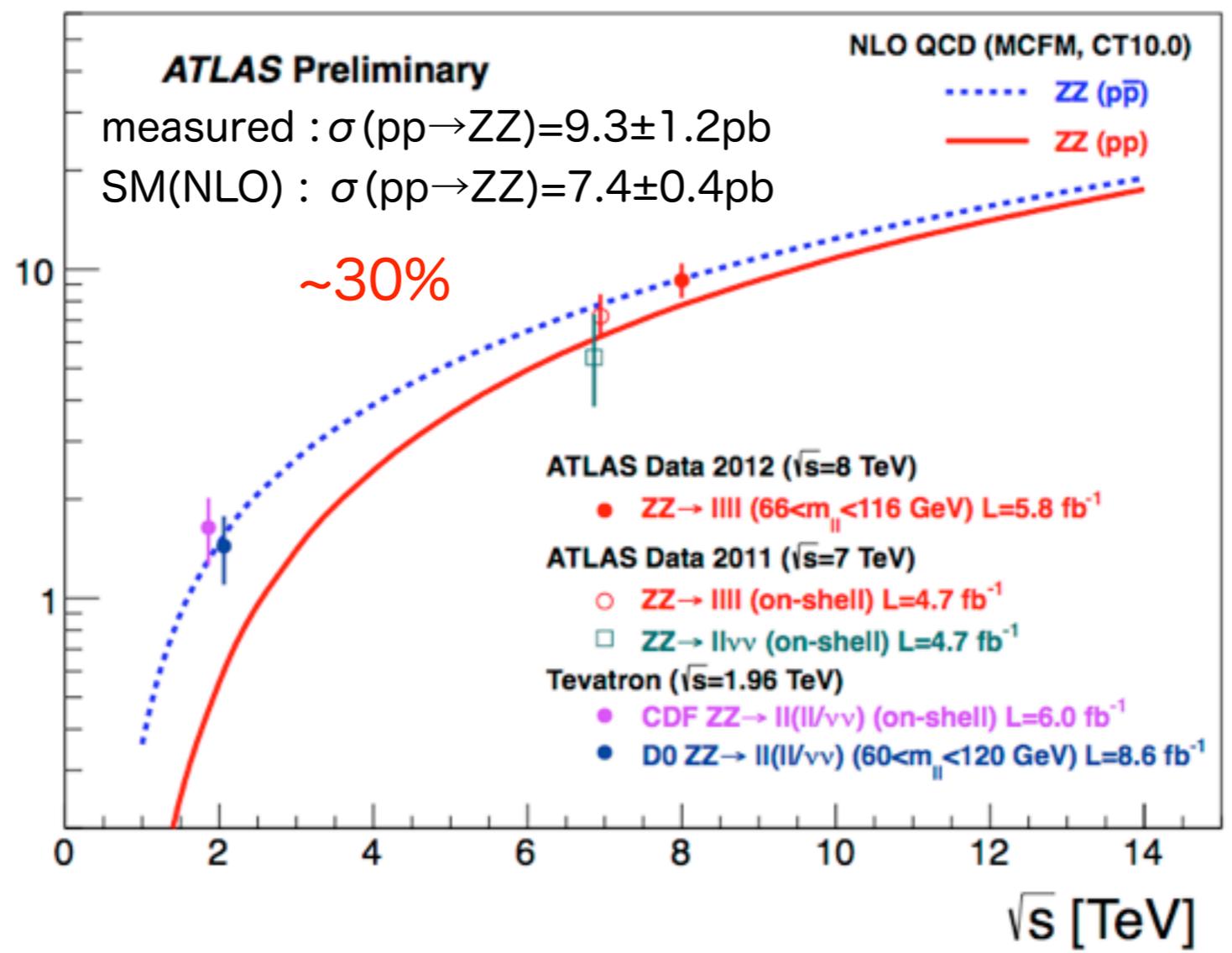


事象数	4 μ		2e2 μ		4e	
	<160GeV	>160GeV	<160GeV	>160GeV	<160GeV	>160GeV
Background	11.8	45.8	12.7	71.1	9.6	29.8
Data	12	59	16	89	11	43
$M_H = 125 \text{ GeV}$	2.4		2.7		1.2	

H → 4l : 質量分布 (全体)

7TeV

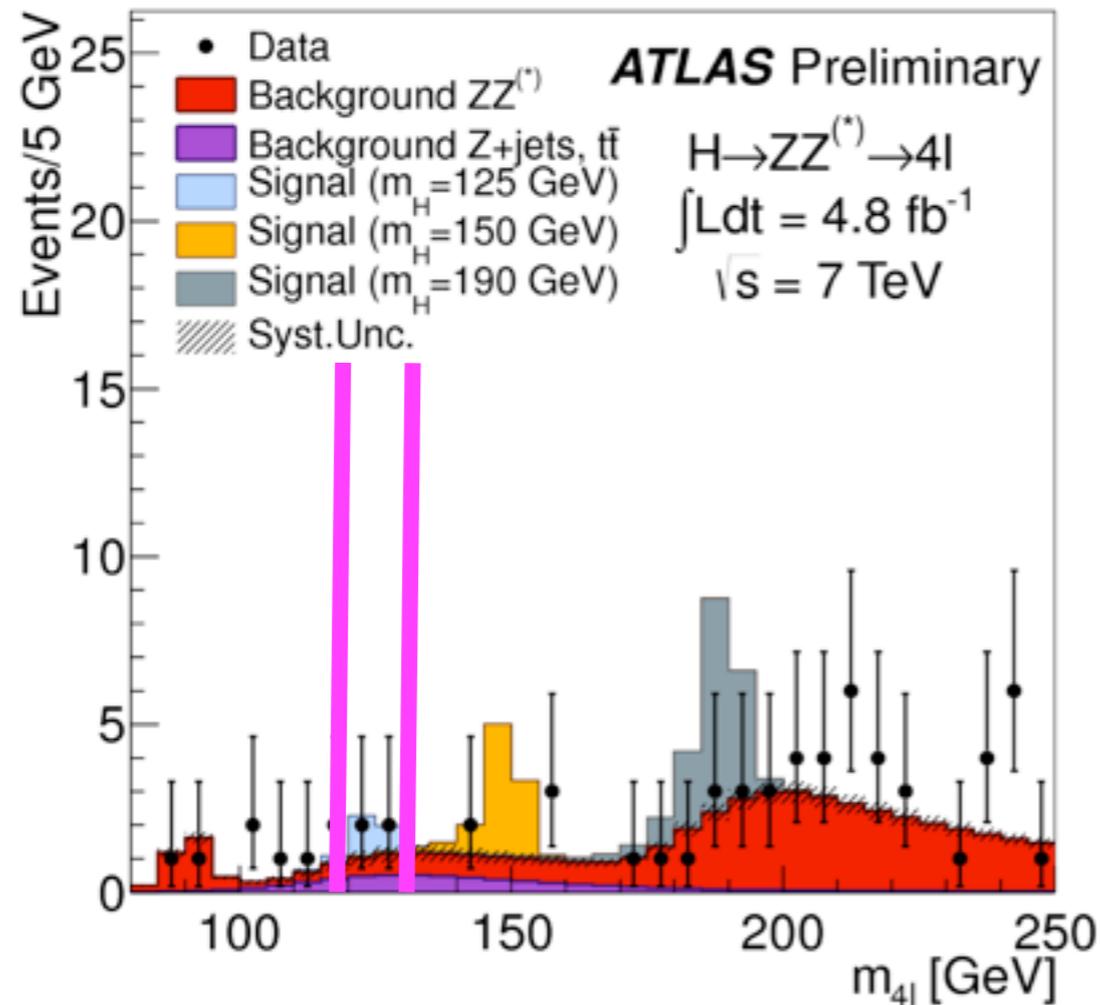
8TeV



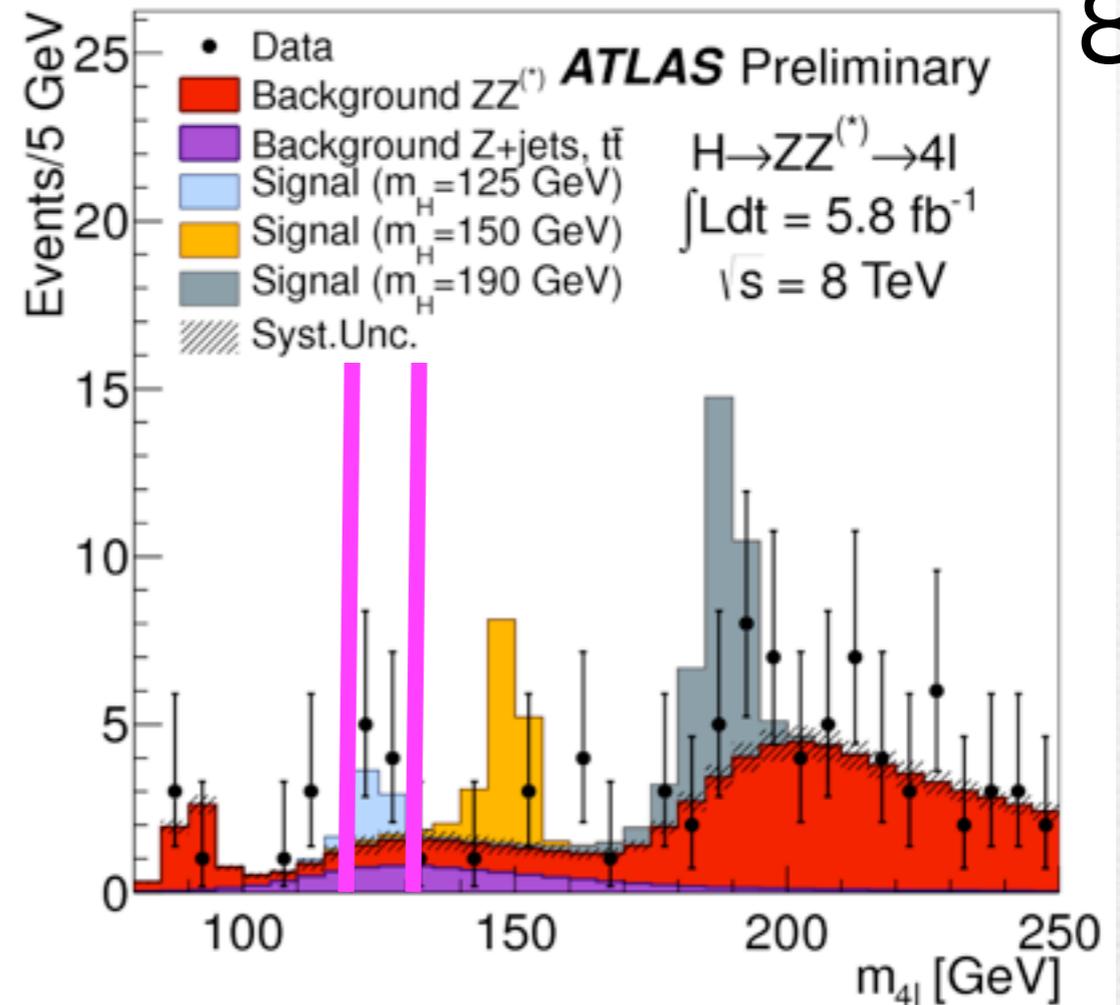
事象数	7TeV		8TeV		4e	
	<160GeV	>160GeV	<160GeV	>160GeV	<160GeV	>160GeV
Background	11.8	45.8	12.7	71.1	9.6	29.8
Data	12	59	16	89	11	43
M _H =125GeV	2.4		2.7		1.2	

H \rightarrow 4l : 質量分布 (low mass region)

7TeV

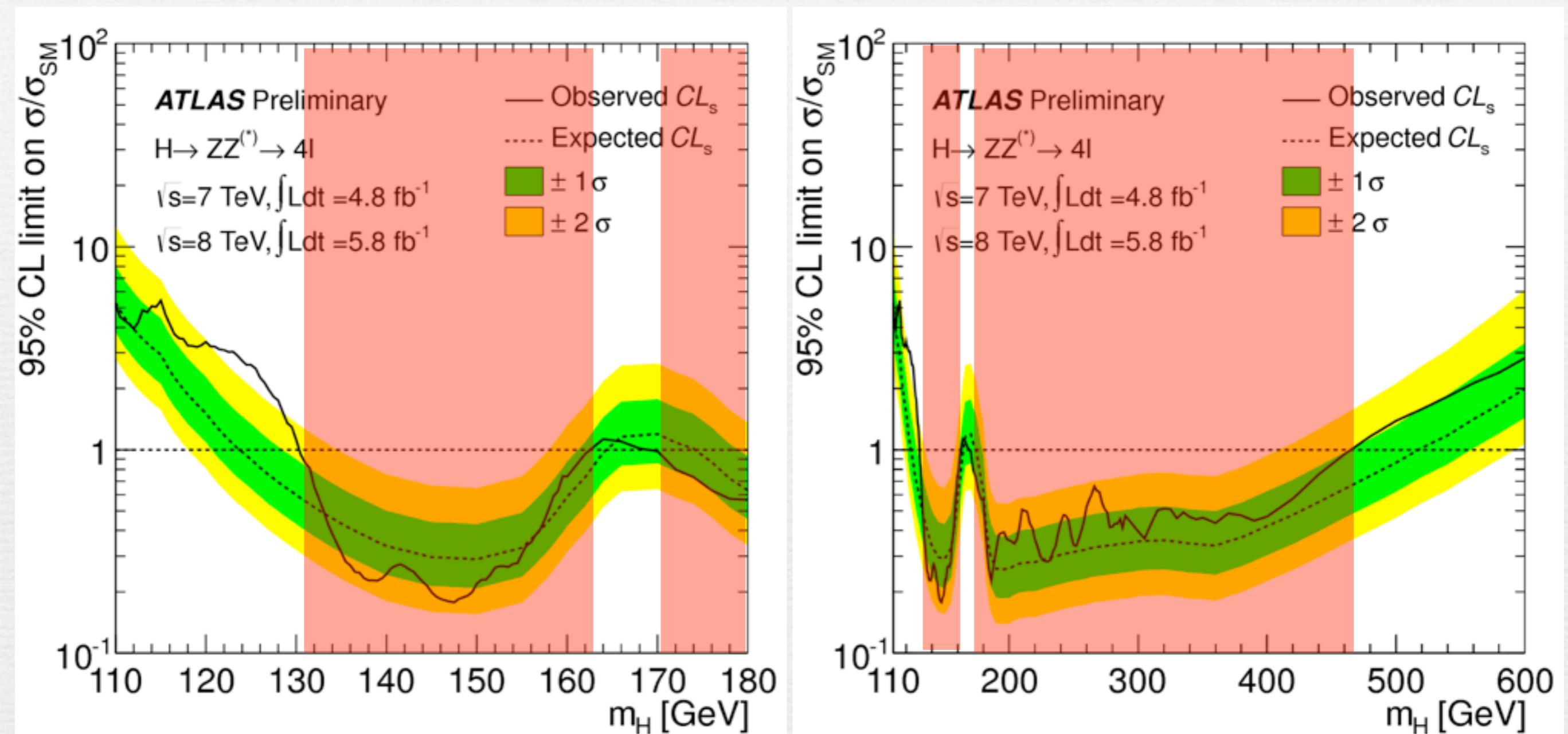


8TeV



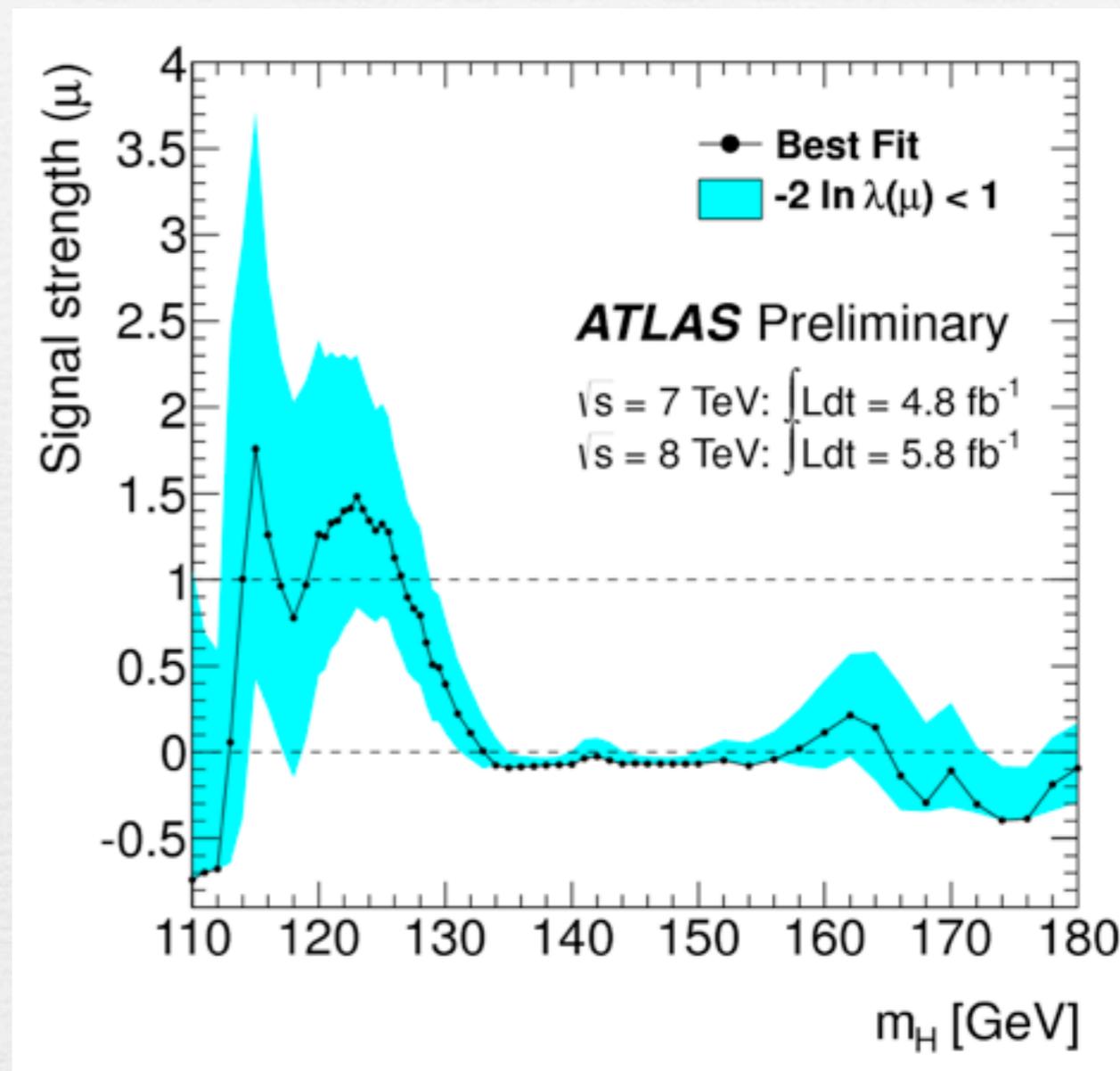
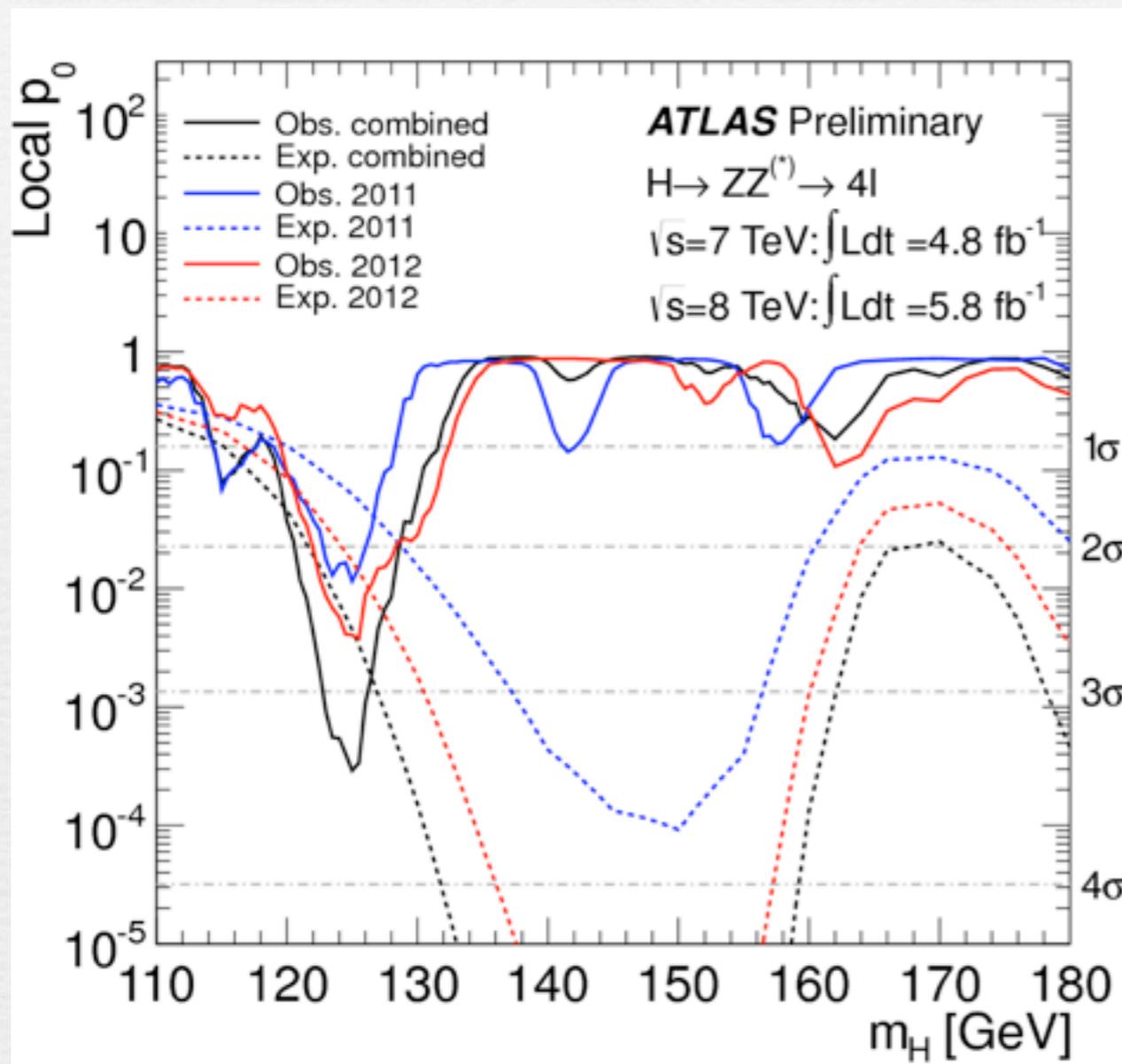
事象数	4μ	$2e2\mu$	$4e$
Background	1.3 ± 0.1	2.2 ± 0.2	1.6 ± 0.2
Data	6	5	2
$M_H = 125 \text{ GeV}$	2.1 ± 0.3	2.3 ± 0.3	0.9 ± 0.1
S/B	1.6	1.0	0.6

H → 4l : Limits



95 CL. exclusion: 131-162GeV and 170-460GeV
 (Expected 124-164 GeV and 176-500GeV)

$H \rightarrow 4l$: p-value & signal strength



Local significance 3.4σ (exp 2.6σ) at $m_H=125$ GeV

7 TeV 2.3σ (exp 1.5σ) 125 GeV

8 TeV 2.7σ (exp 2.1σ) 125.5 GeV

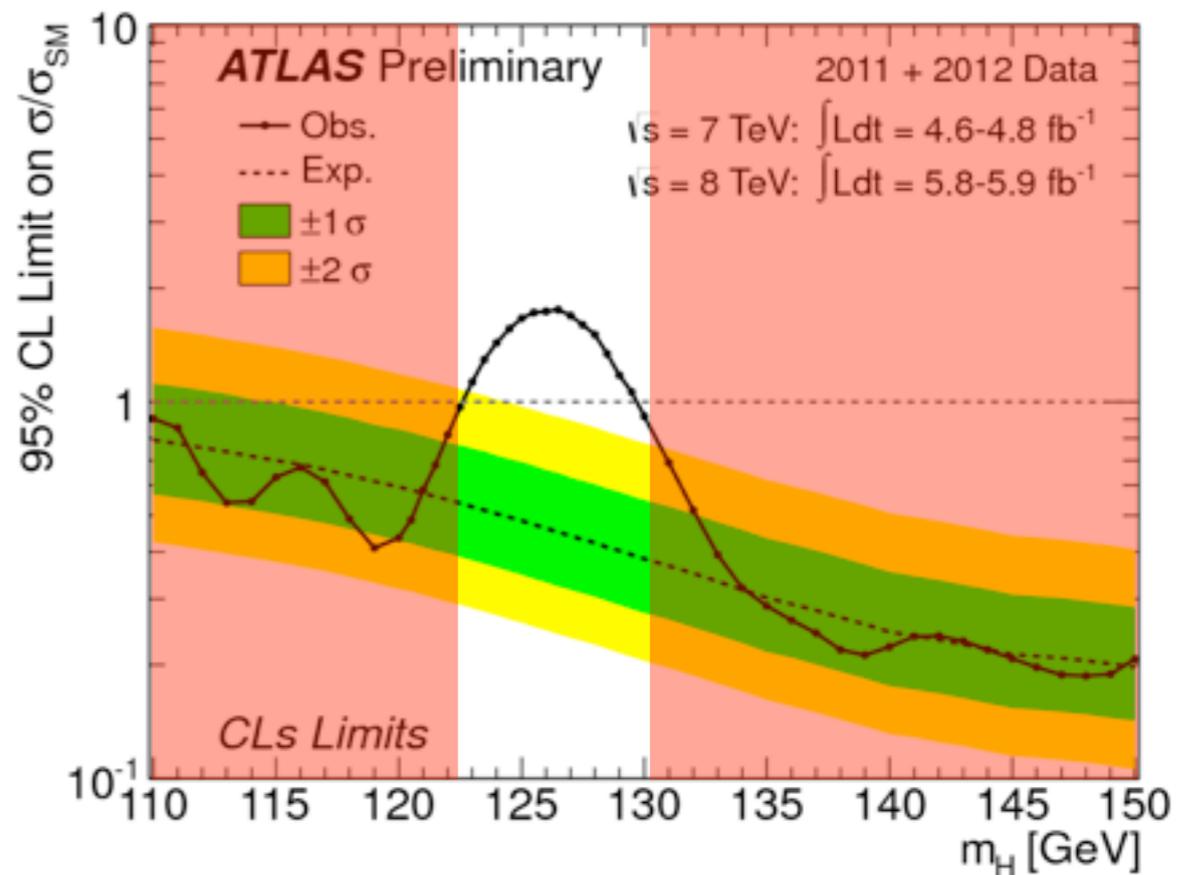
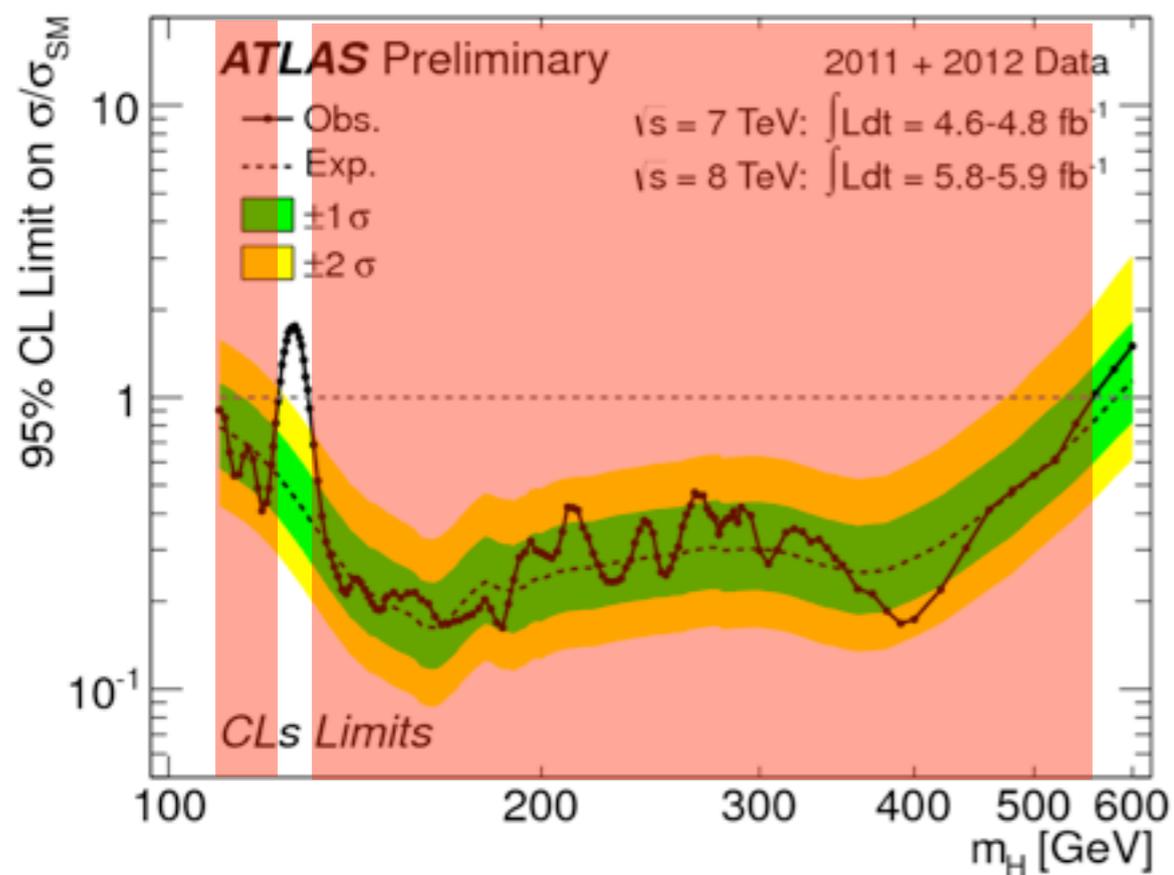
Global significance (fluctuation anywhere in 110-141 GeV) : 2.5σ

Combination: Limits

2011年+2012年(10.7fb^{-1}) : $H \rightarrow 4l$, $H \rightarrow \gamma \gamma$

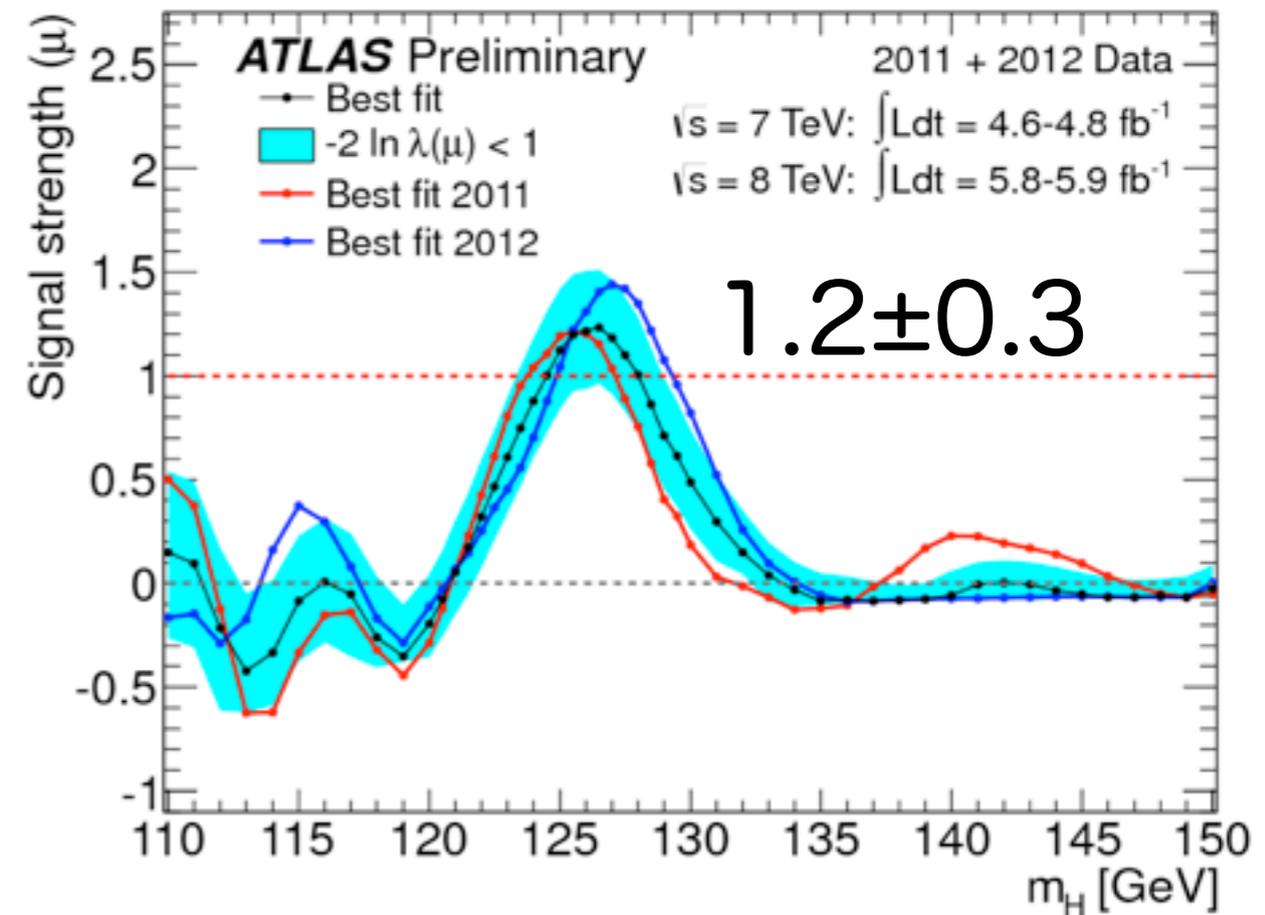
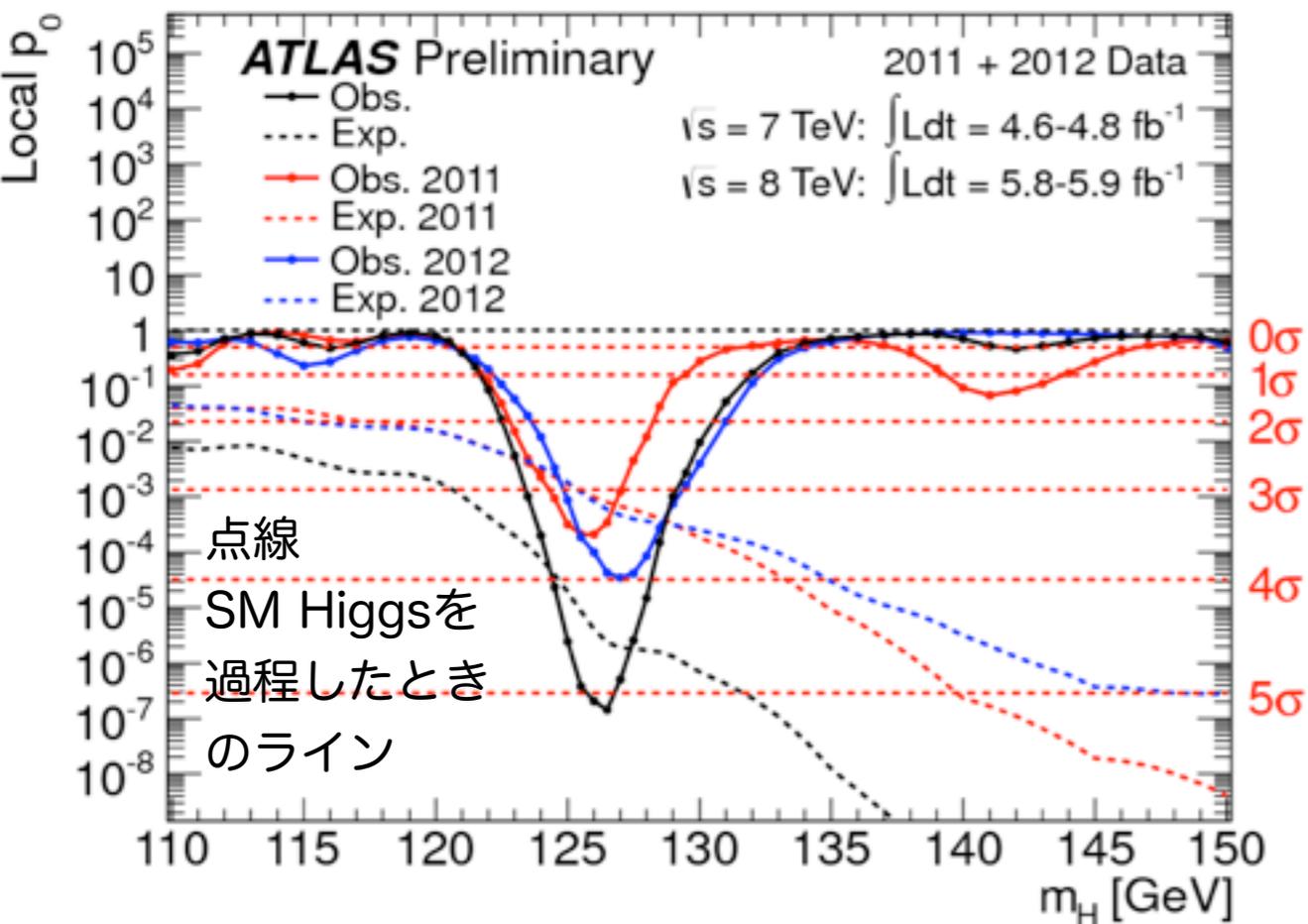
2011年 $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu l\nu / l\nu qq$, $H \rightarrow \tau \tau$, $WH \rightarrow l\nu bb$,

$ZH \rightarrow llbb / \nu \nu bb$, $H \rightarrow ZZ \rightarrow ll\nu \nu / llqq$



Excluded: 110GeV-122.6GeV, 129.7GeV-558GeV

local significance & signal strength

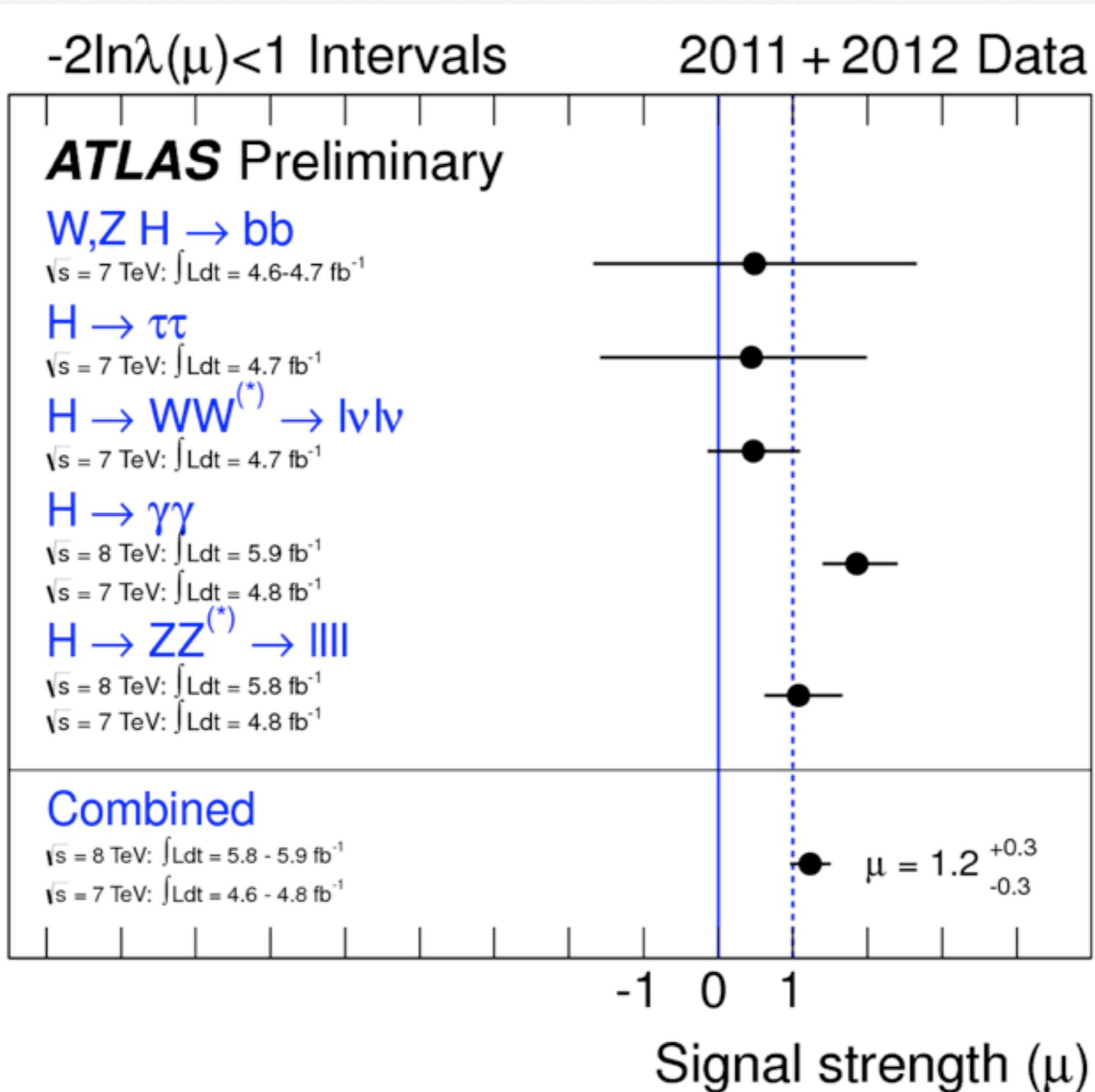


$m_H \sim 125$ GeVを除いて、 2σ より良い精度でBackground consistent

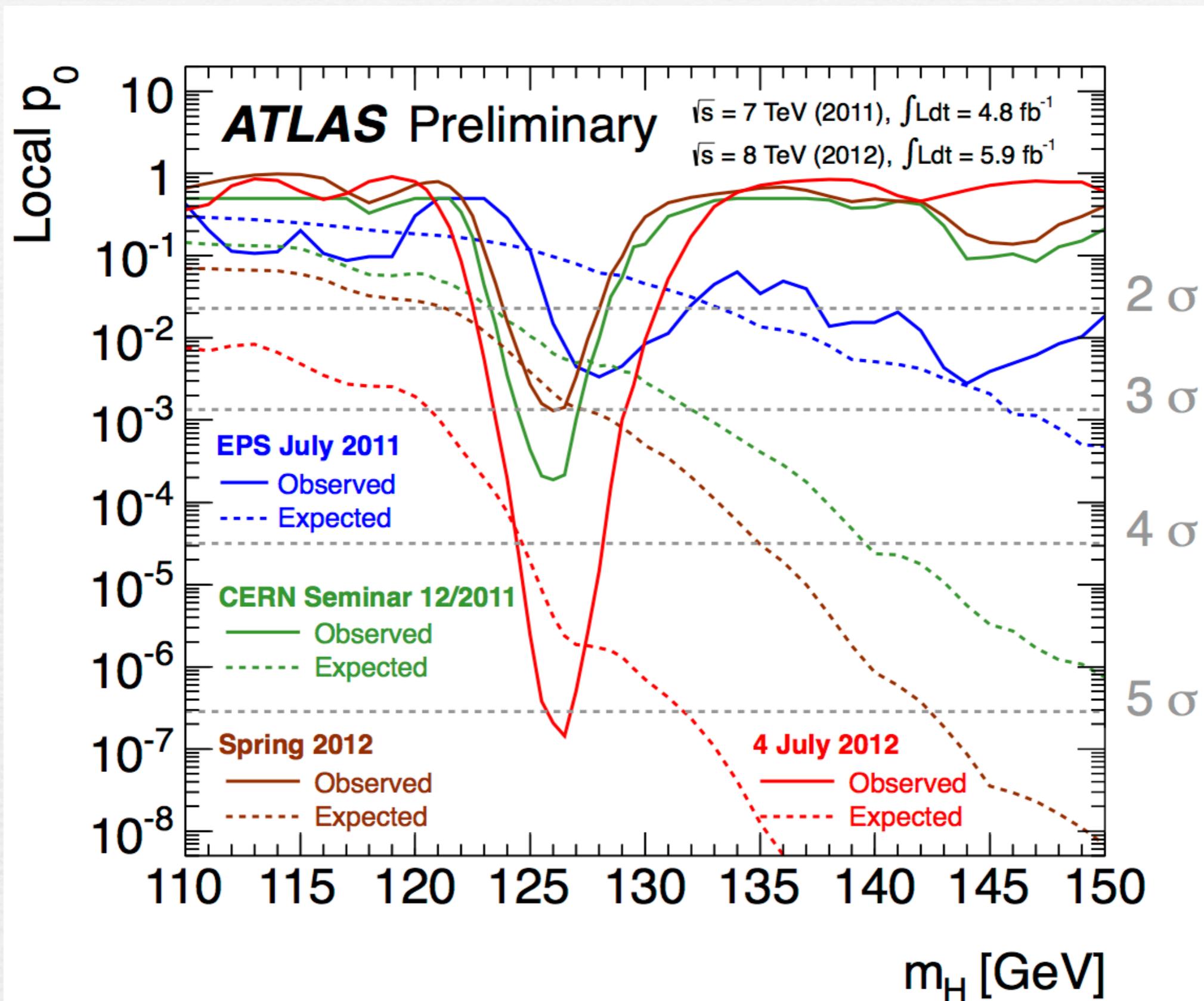
Local significance : 5.0σ (expected 4.6σ) at 126.5 GeV

Global significance : $4.1-4.3 \sigma$ (for LEE over 110-600 or 110-150 GeV)

チャンネル毎の寄与

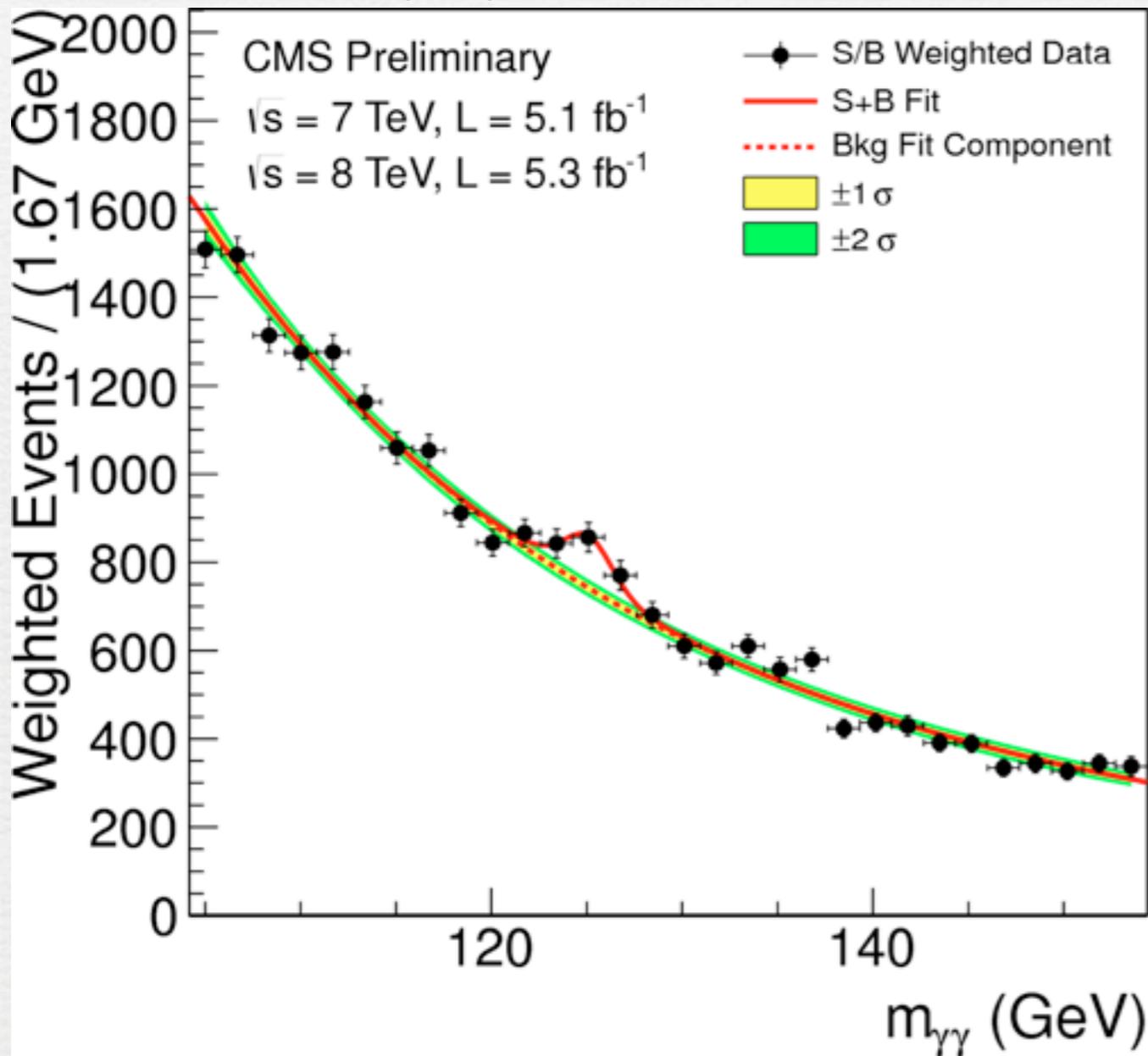


local significanceの時間変遷

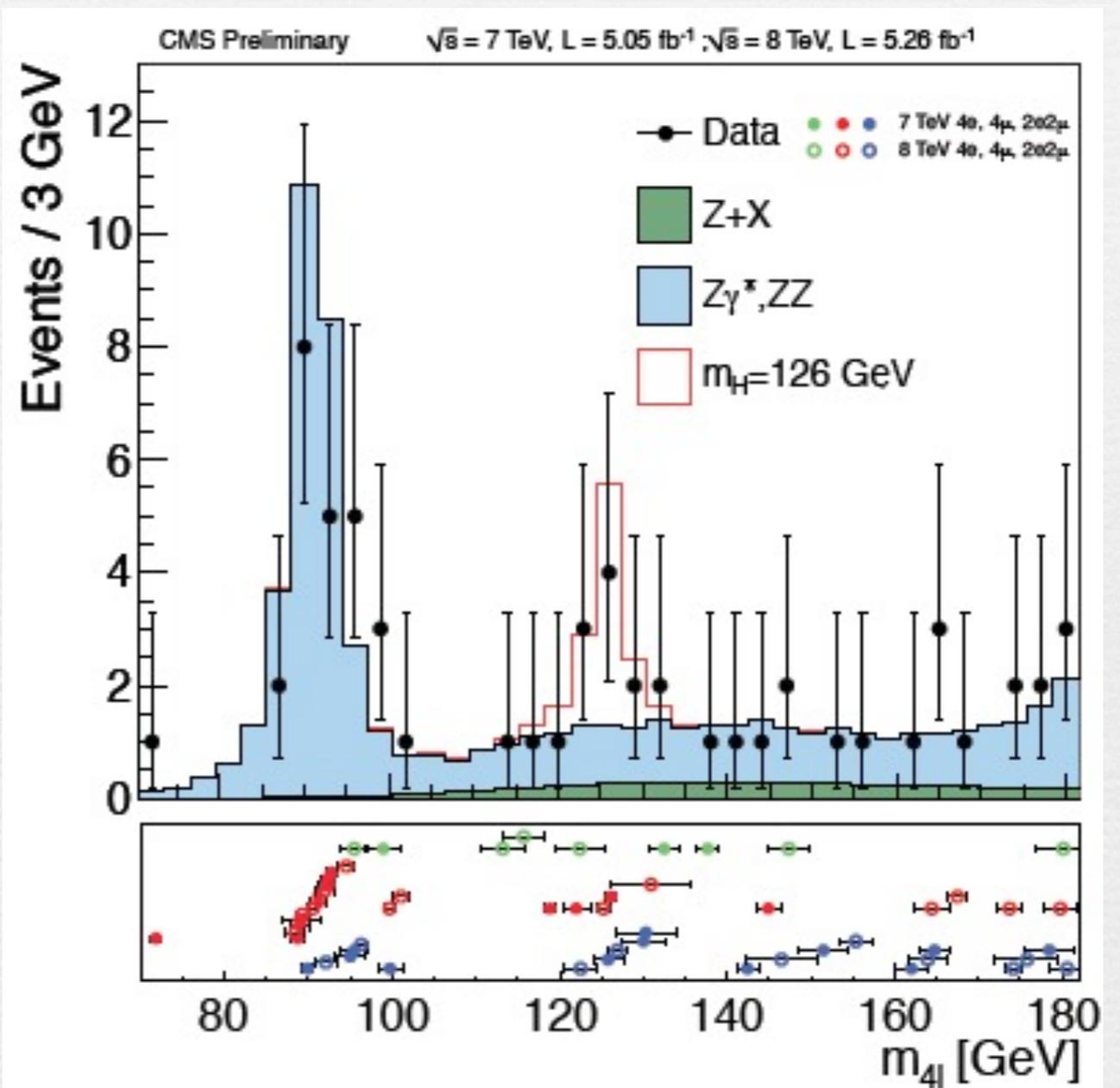


CMS : 質量分布

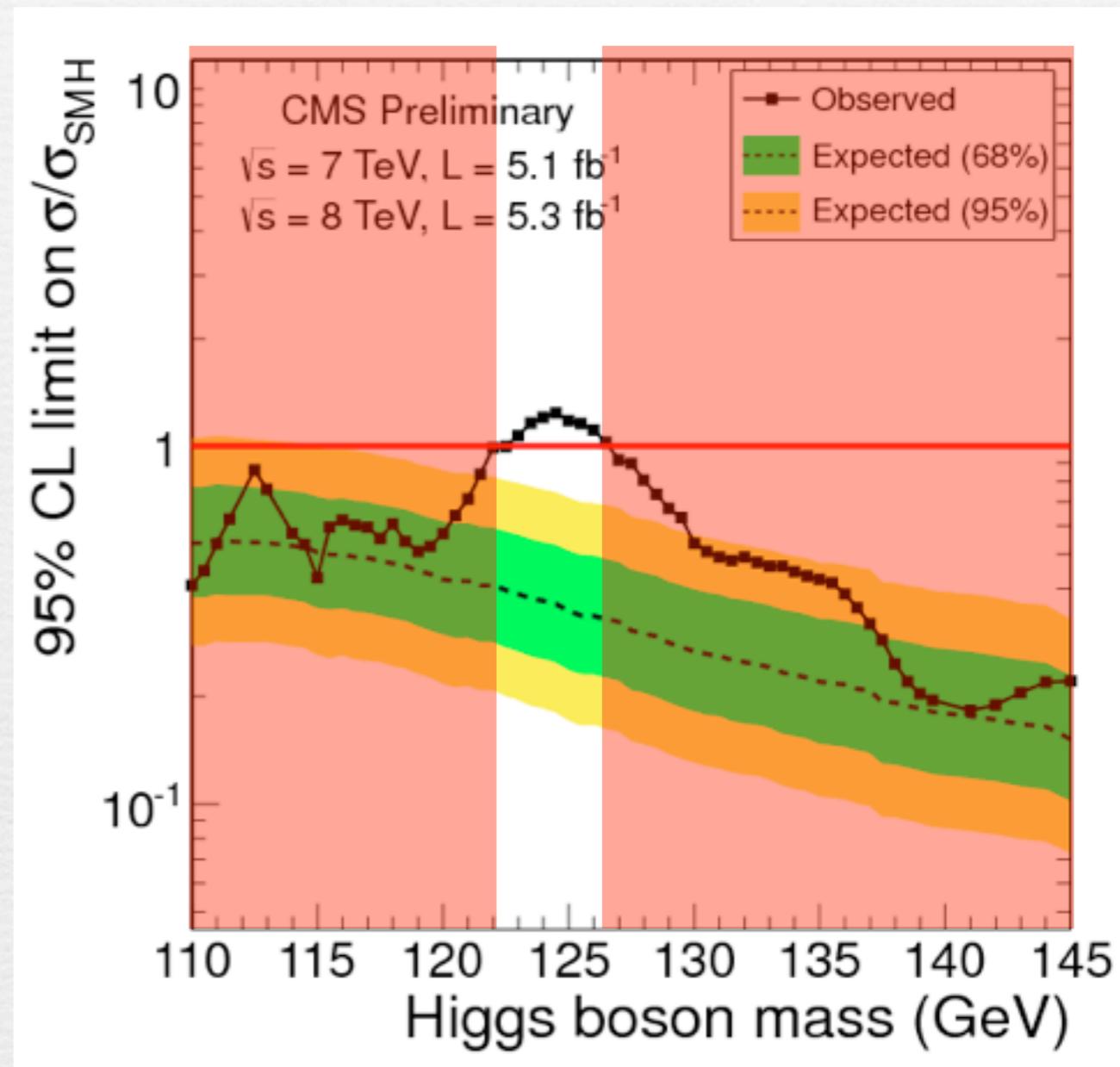
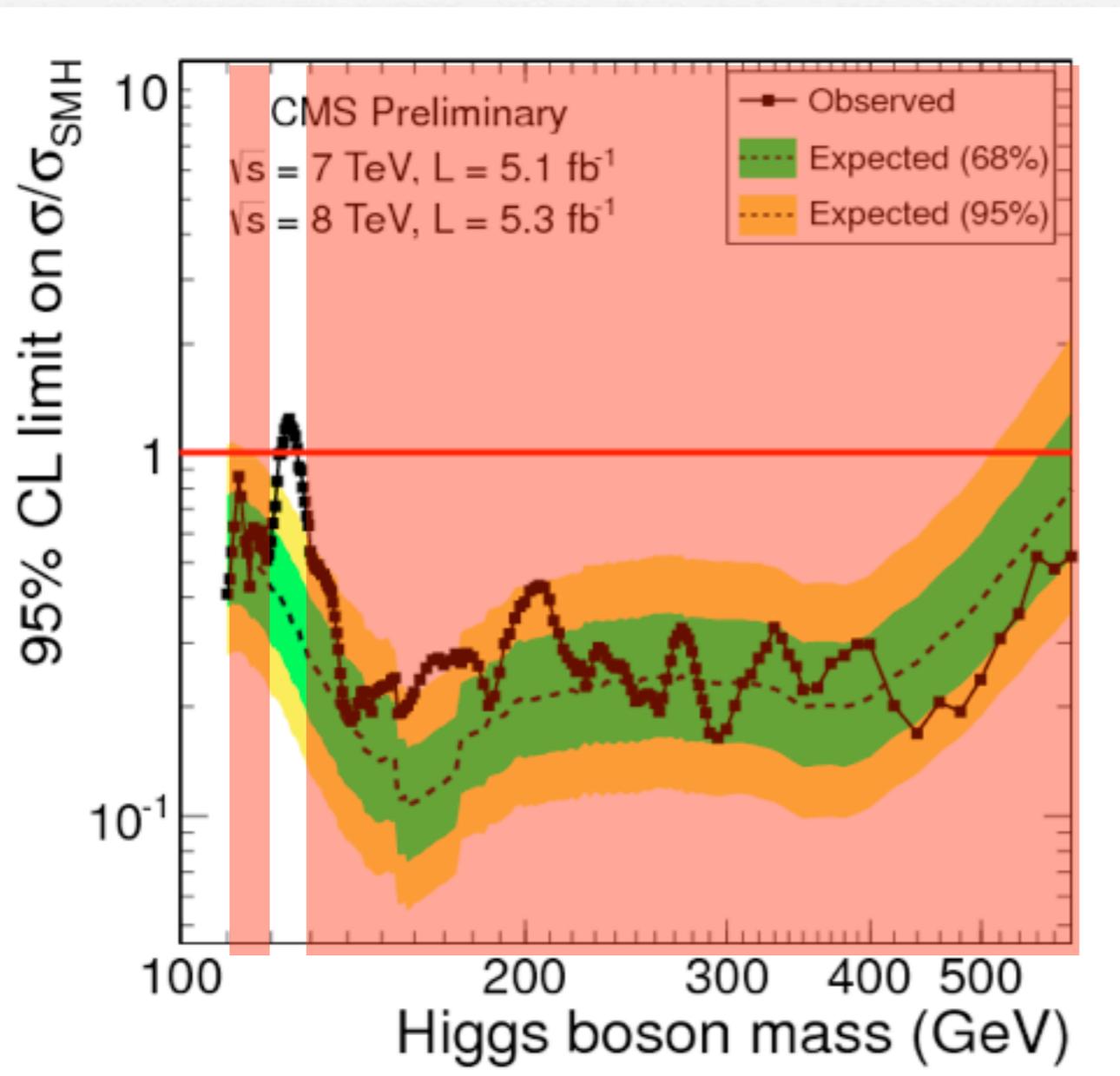
$H \rightarrow \gamma \gamma$



$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4 \text{ lepton}$

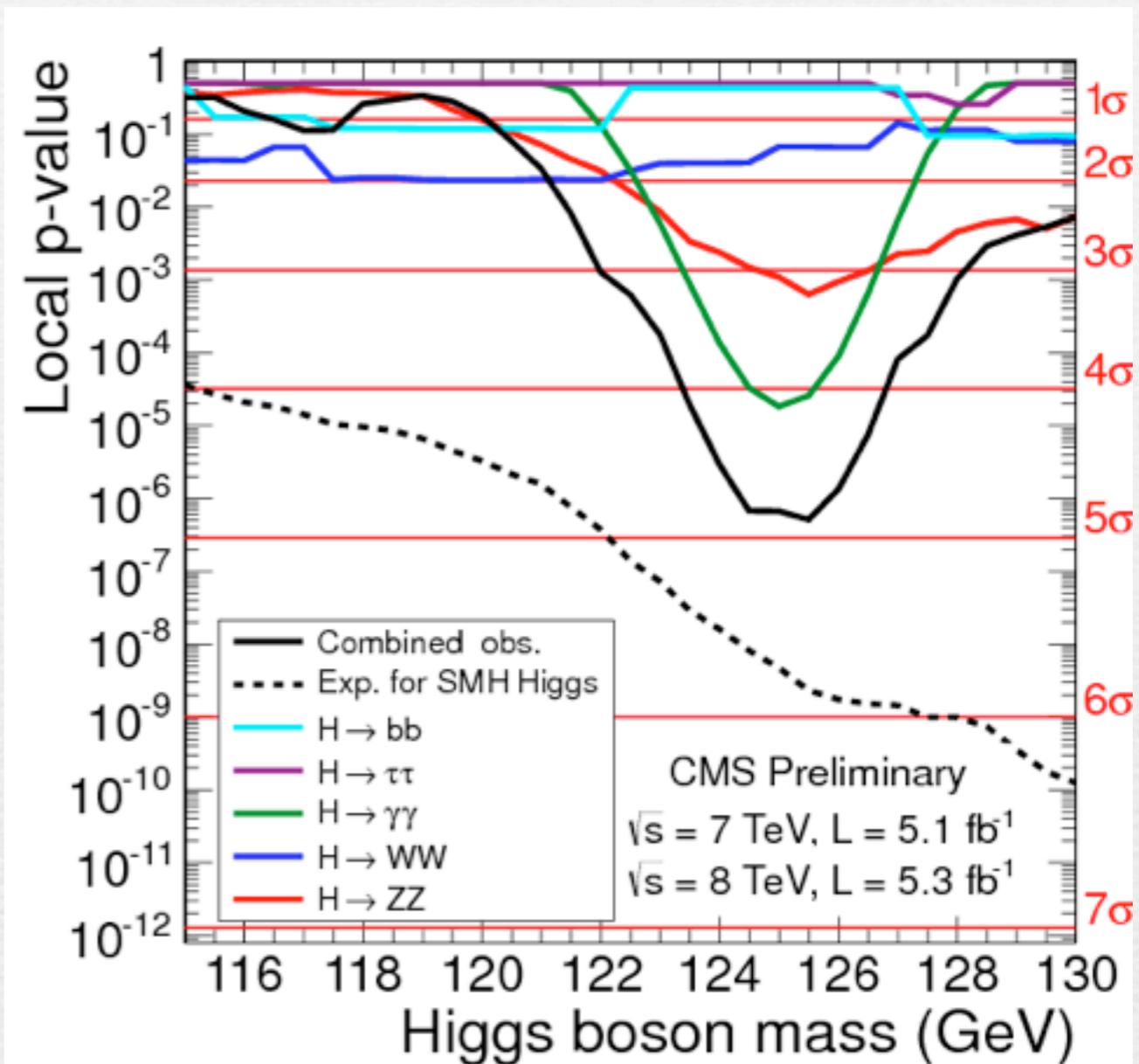
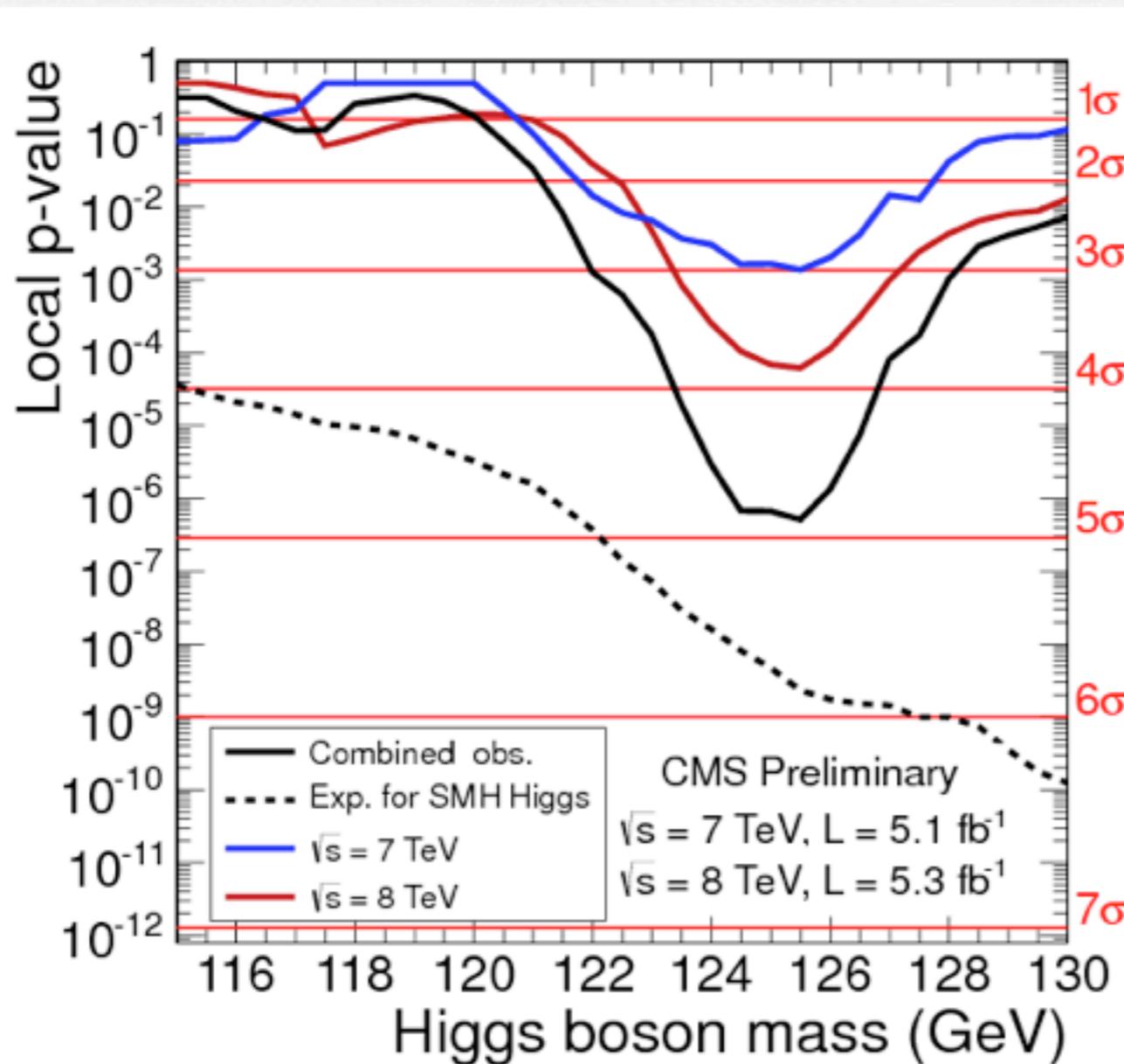


CMS : Limit



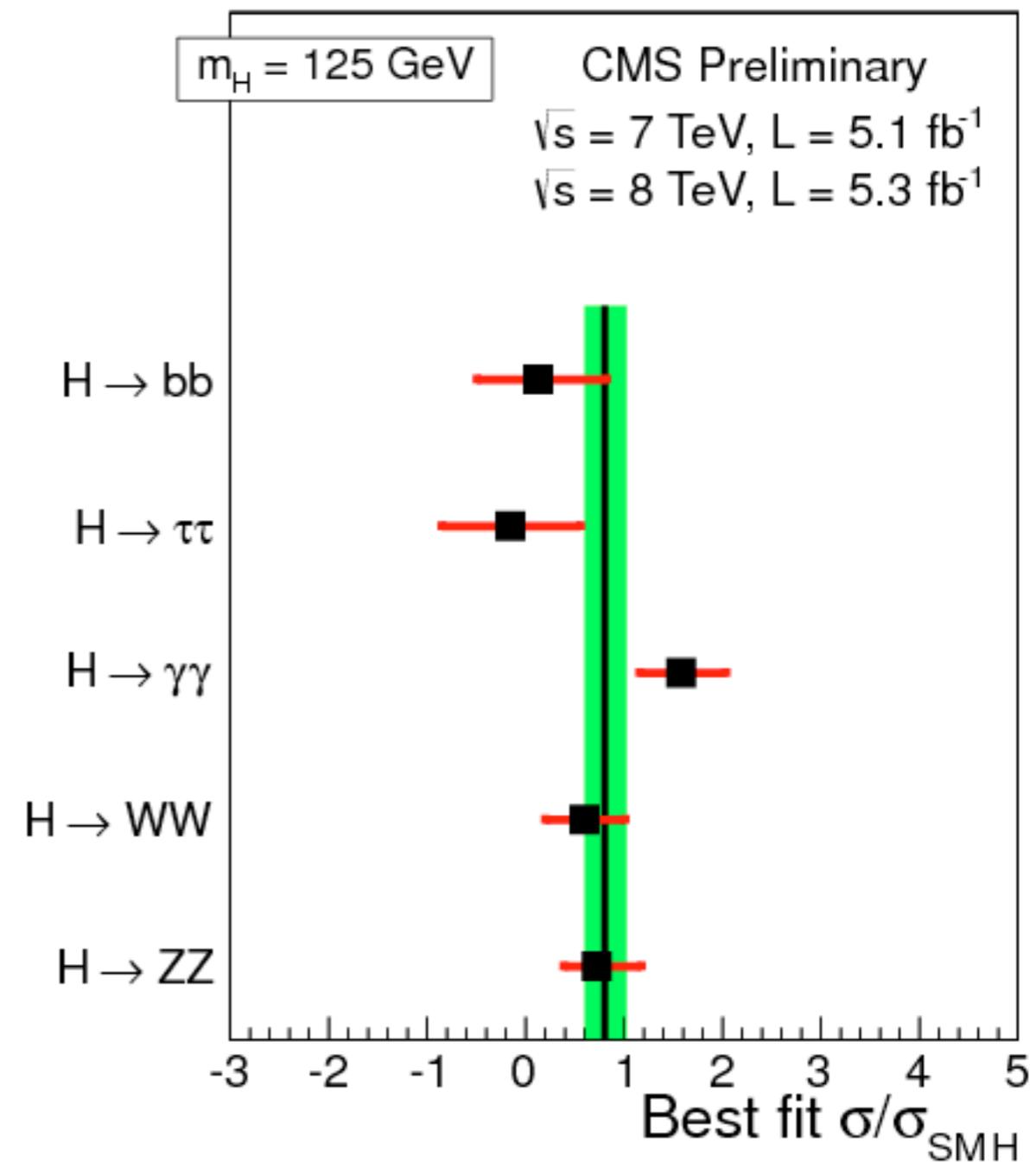
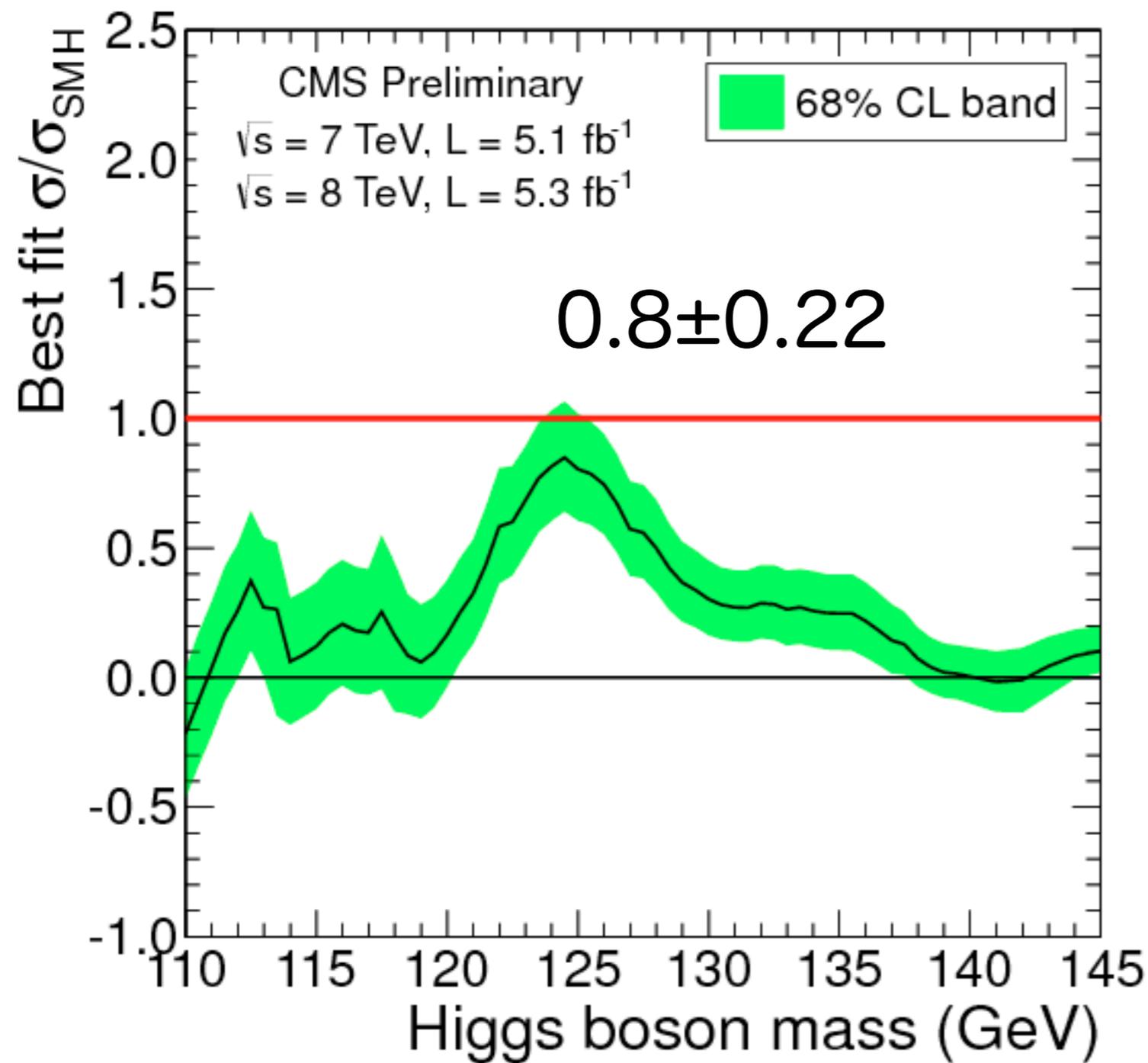
Exclusion : 110-122.5GeV , 127-600GeV

CMS : Local significance



Local significance : 4.9σ (expected 5.9σ)

CMS : signal strength



まとめ

LHC実験は、
126GeV付近の質量領域に、 5σ 程度の、
顕著な新粒子の信号を観測した。

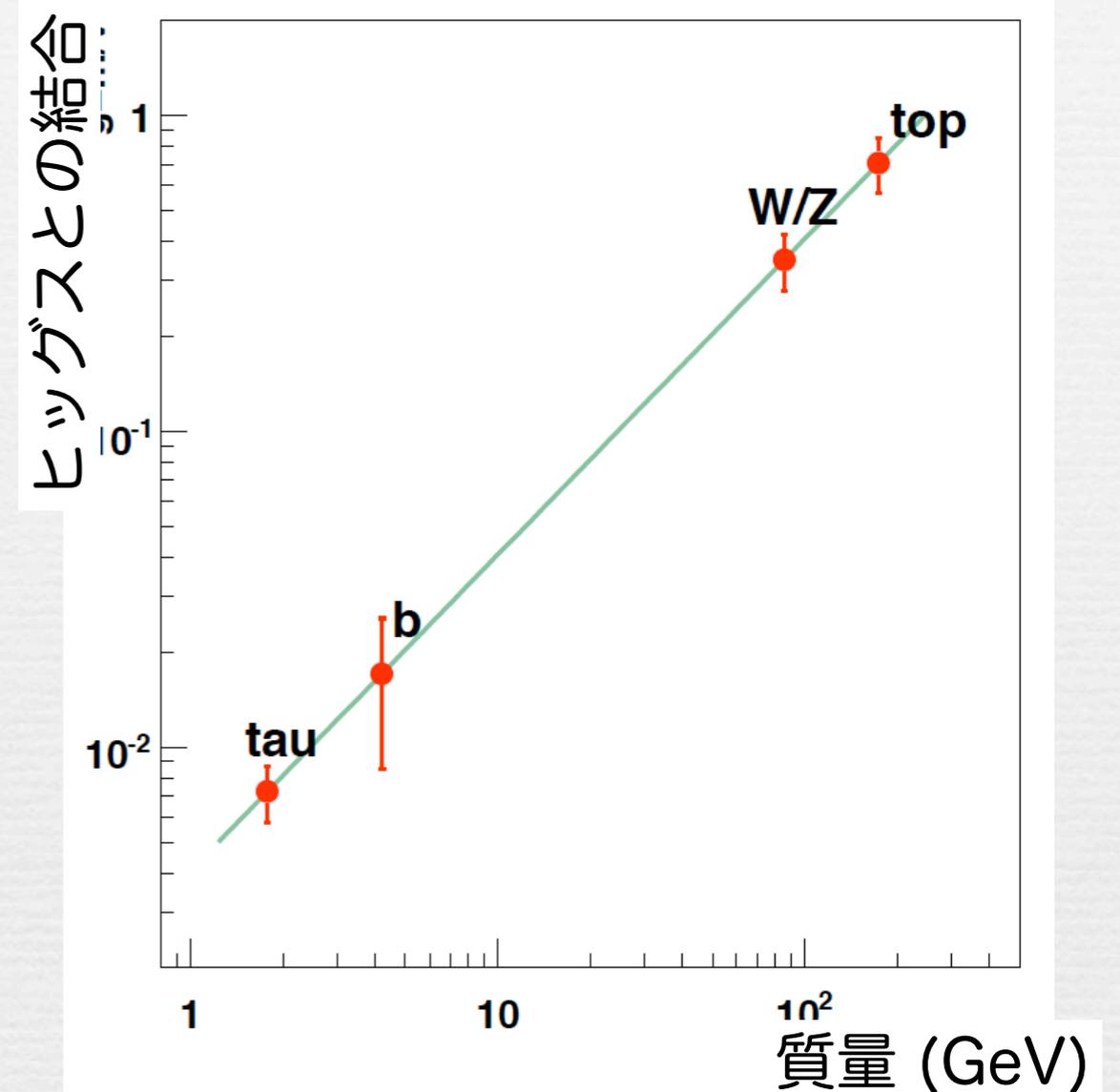
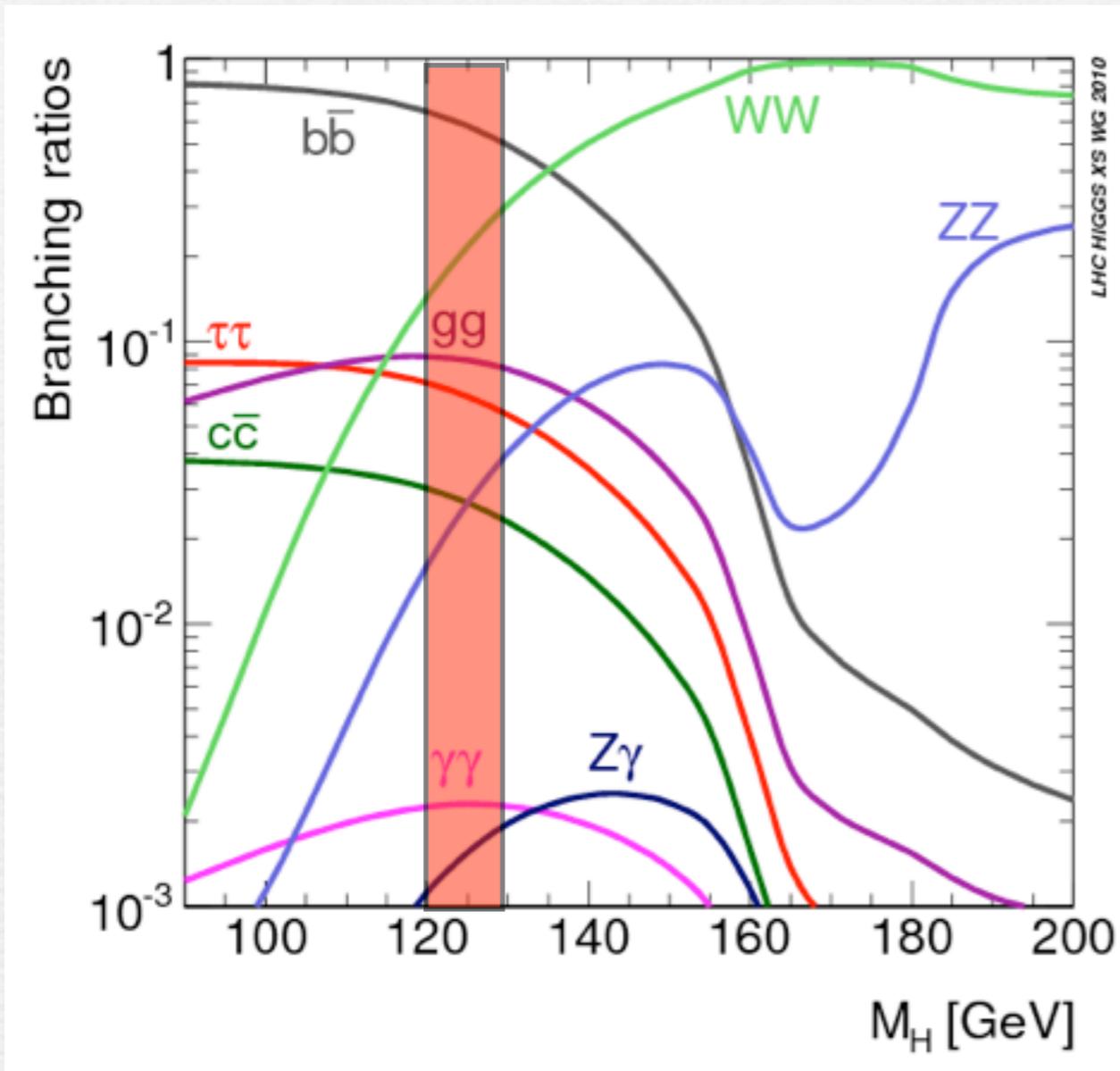
$\gamma\gamma$ 、 $ZZ \rightarrow 4 \text{ lepton}$ に崩壊する
ATLAS と CMSで良い一致

→ SM ヒッグス粒子の質量や崩壊っぽい

$H \rightarrow WW$, $H \rightarrow W/ZH$, $H \rightarrow \tau\tau$, ...などのupdateに期待

今後のupdateが楽しみ

これからの展開



$\gamma\gamma$ 、 ZZ の他に、 WW 、 bb 、 $\tau\tau$ などでも確認

質量の精密測定、スピンの測定、結合力と質量との関係など → 「質量起源の謎」に挑戦

SM Higgs? 別物? → 別物ならば新物理、SM Higgsでも先に新物理がある可能性

素粒子物理学の新たな展開に大きく期待!! → LHC, ILCへ

バックアップ

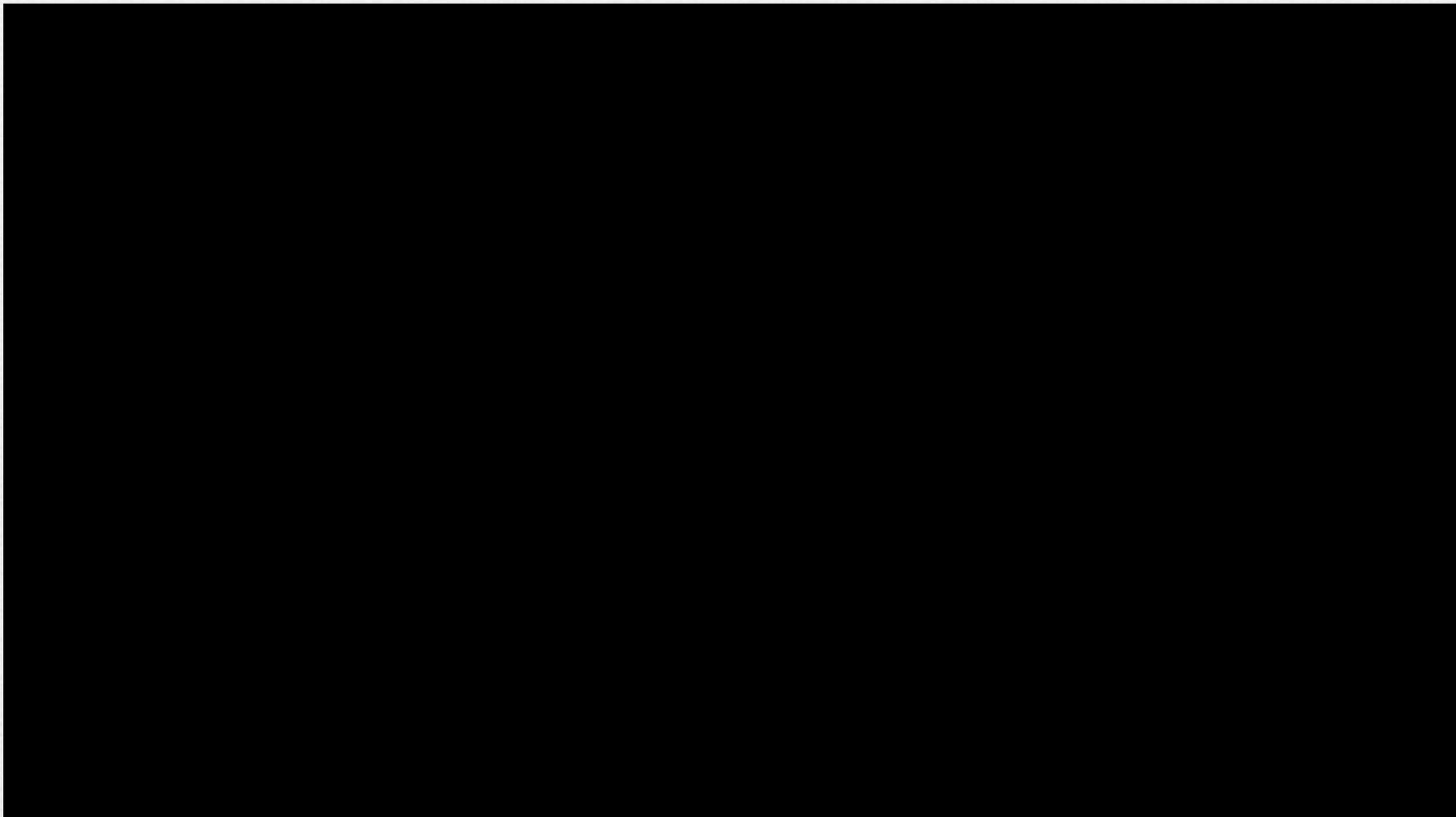
ATLAS collaboration

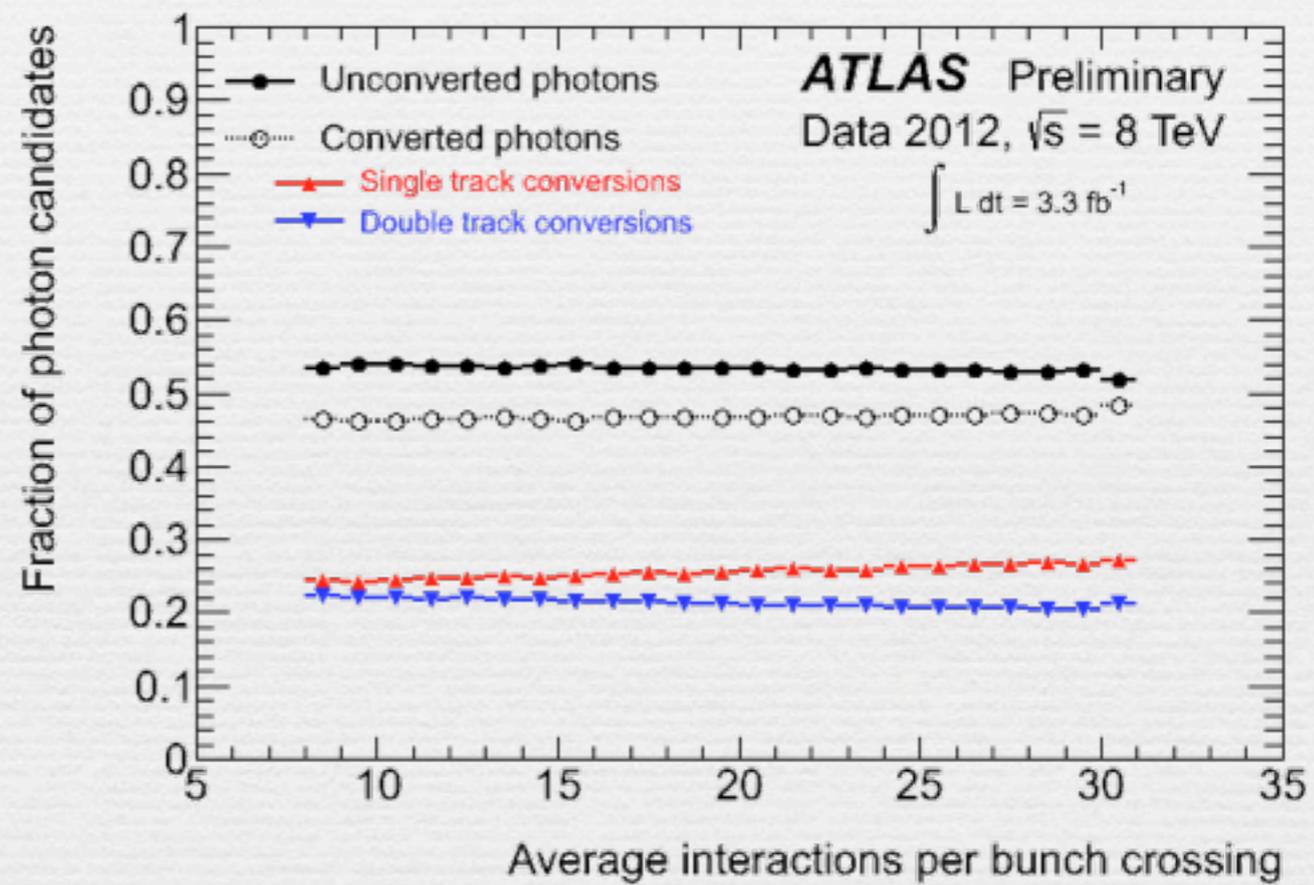
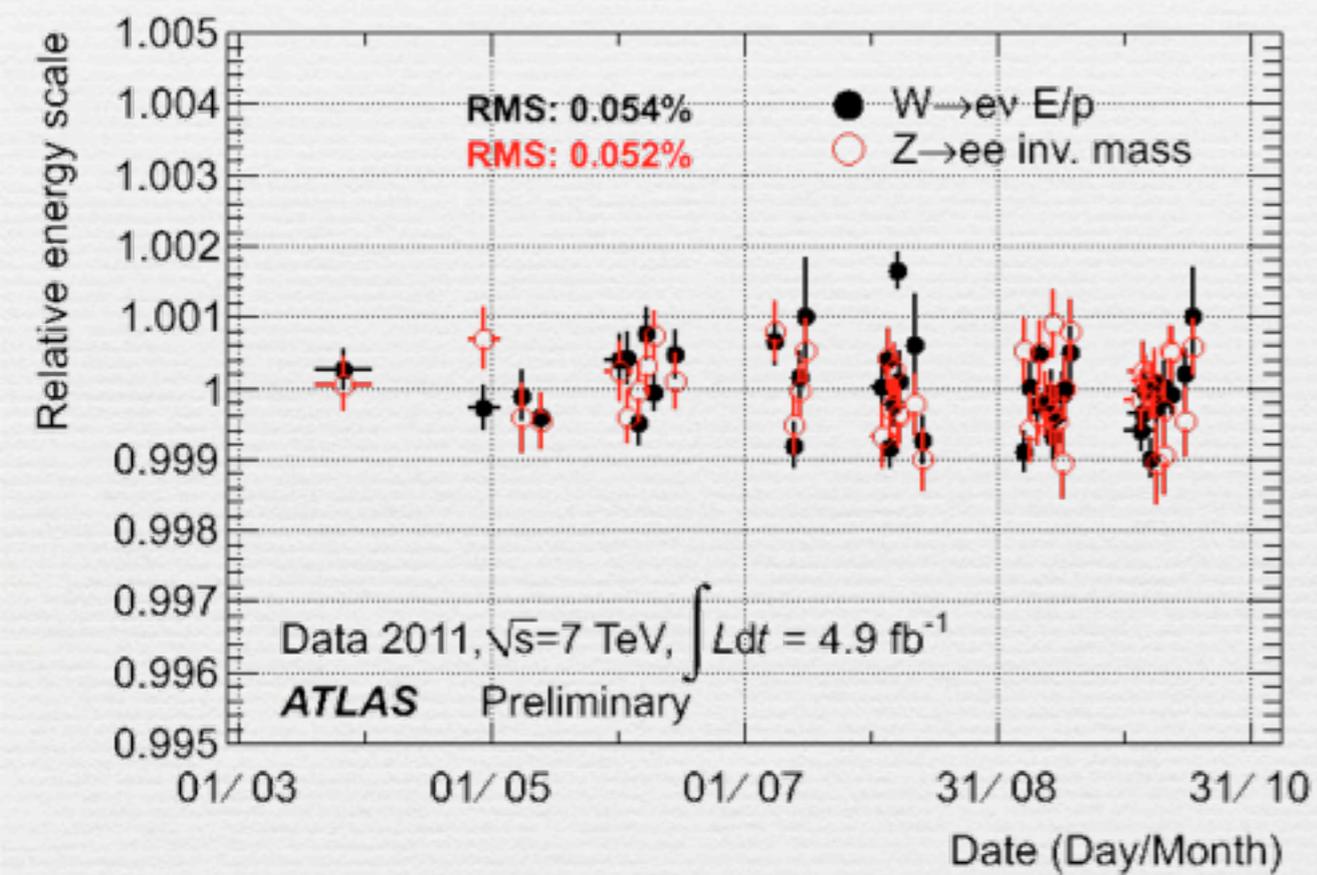
What an extraordinary time !

Argentina	Morocco
Armenia	Netherlands
Australia	Norway
Austria	Poland
Azerbaijan	Portugal
Belarus	Romania
Brazil	Russia
Canada	Serbia
Chile	Slovakia
China	Slovenia
Colombia	South Africa
Czech Republic	Spain
Denmark	Sweden
France	Switzerland
Georgia	Taiwan
Germany	Turkey
Greece	UK
Israel	USA
Italy	CERN
Japan	JINR

ATLAS
Collaboration







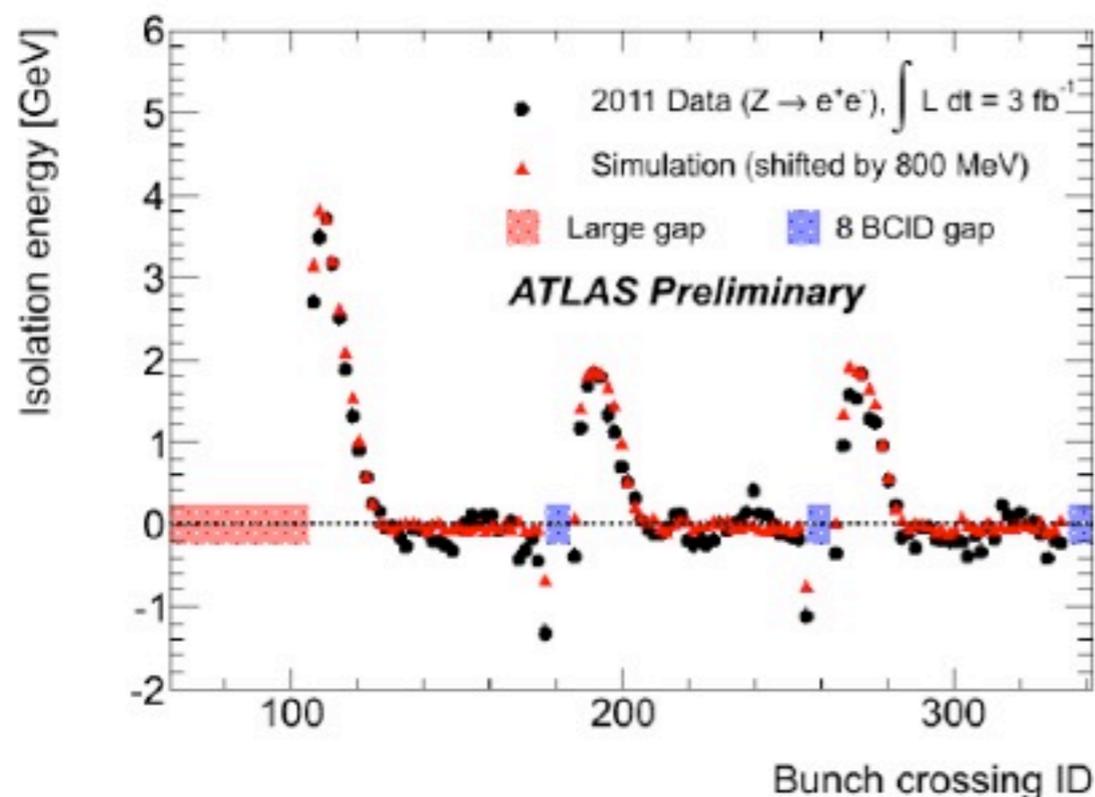
Photon Isolation

Photon isolation computed from positive-energy topological clusters in calorimeter with $\Delta R < 0.4$

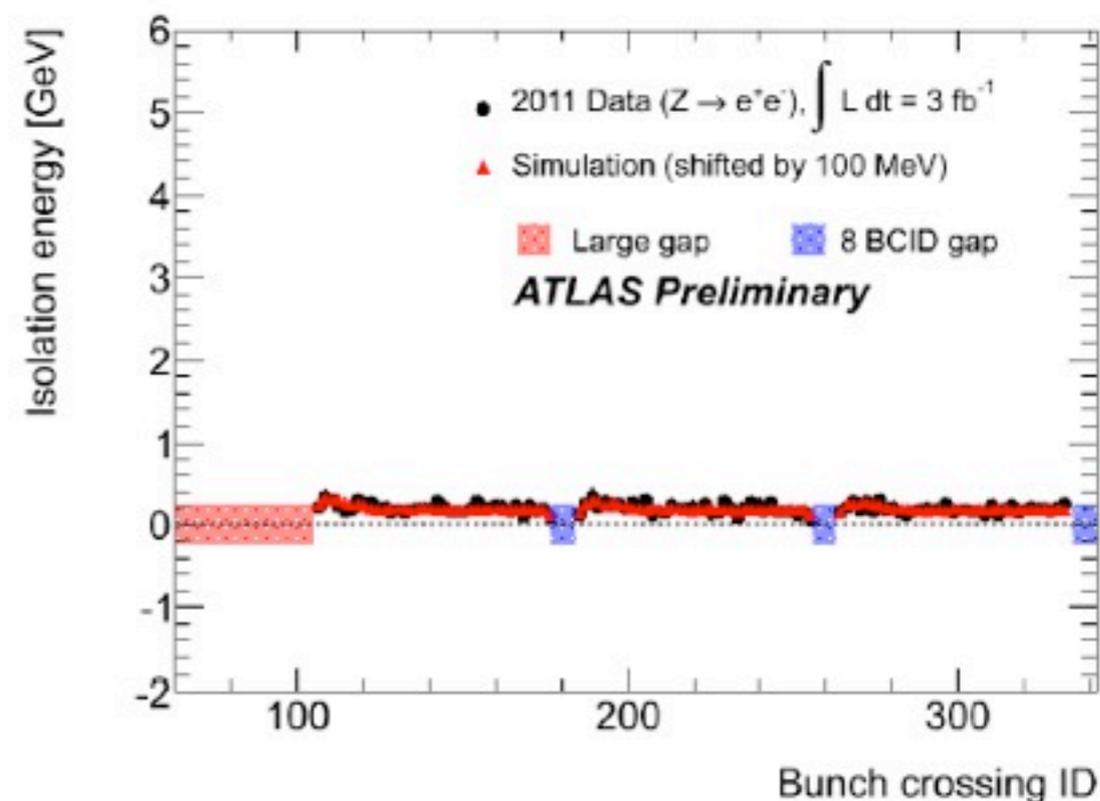
- Corrected for pileup and underlying event contributions by subtracting ambient energy density event-by-event

Good stability with position of colliding bunches in train \rightarrow robust with pileup

Cell-based isolation (old)



Cluster-based isolation (new)

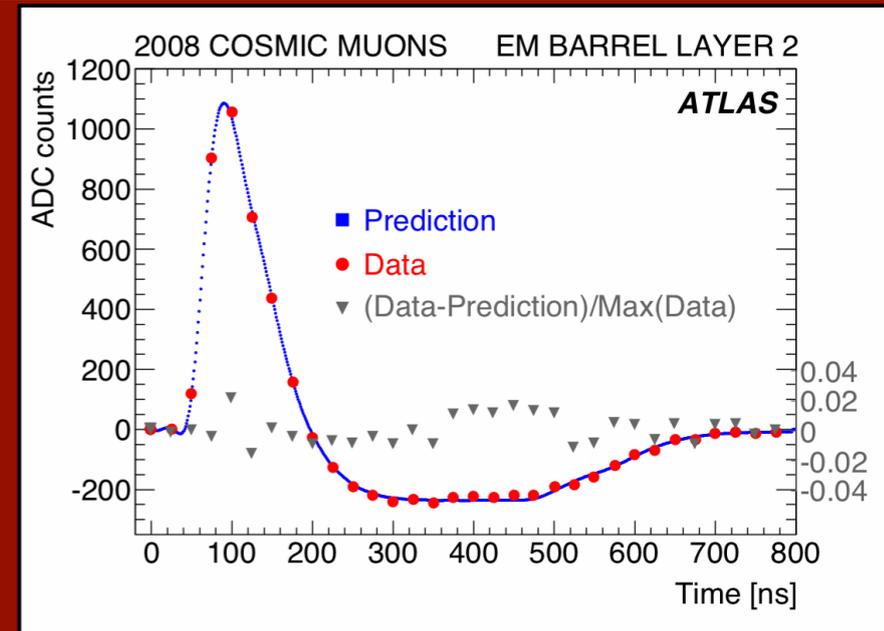


Imperfect cancellation of in-time
and out-of-time pileup

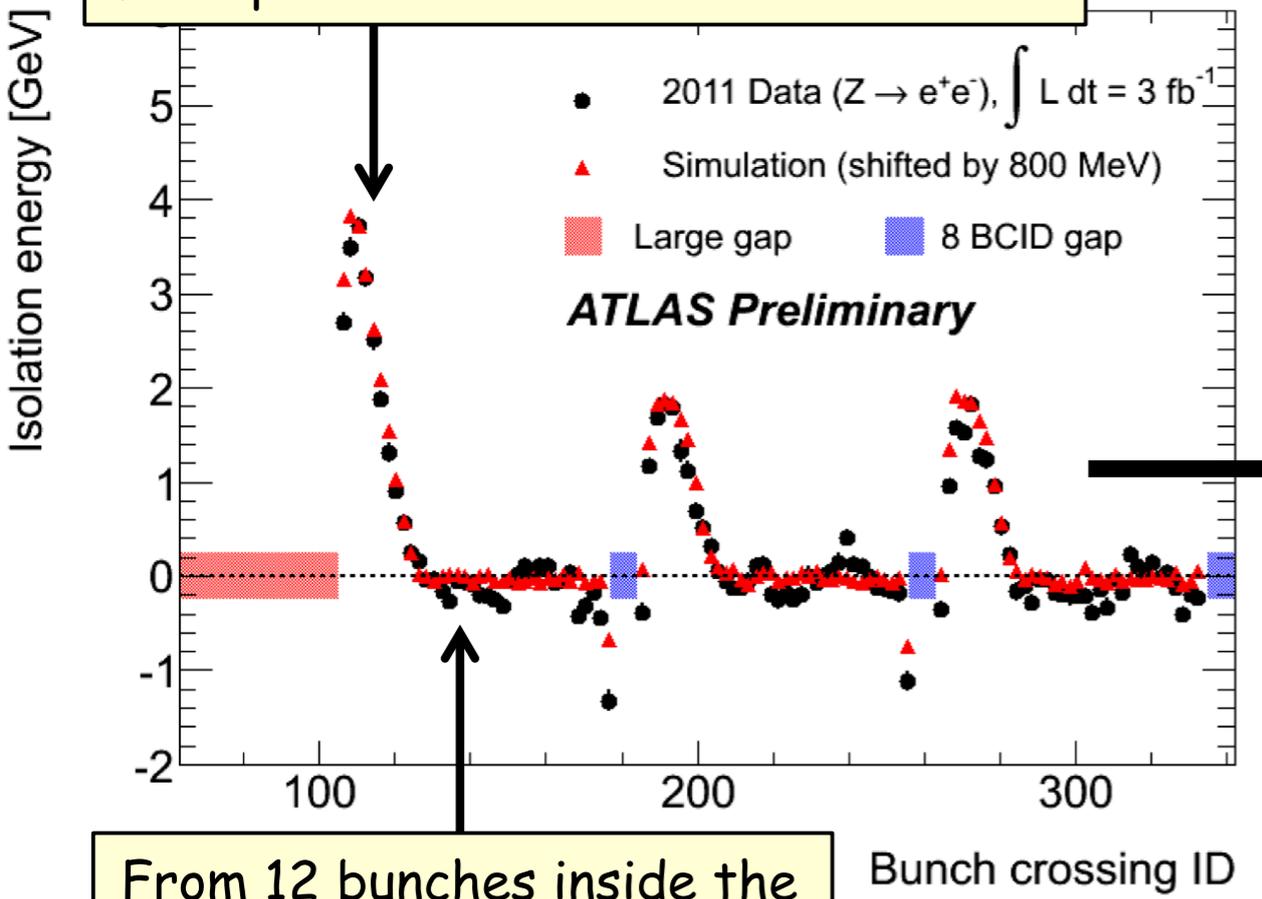
Photon isolation requirement: $E_T < 4 \text{ GeV}$ inside cone $\Delta R < 0.4$ around γ direction.
 Pile-up contribution subtracted using an "ambient energy density" event-by-event

If subtraction is not perfect, residual dependence of the isolation energy on the bunch position in the train observed, due to impact of out-of-time pile-up from neighbouring bunches convolved with EM calorimeter pulse shape.

Calorimeter bipolar pulse shape: average pile-up is zero over $\sim 600 \text{ ns}$ (~ 12 bunches)

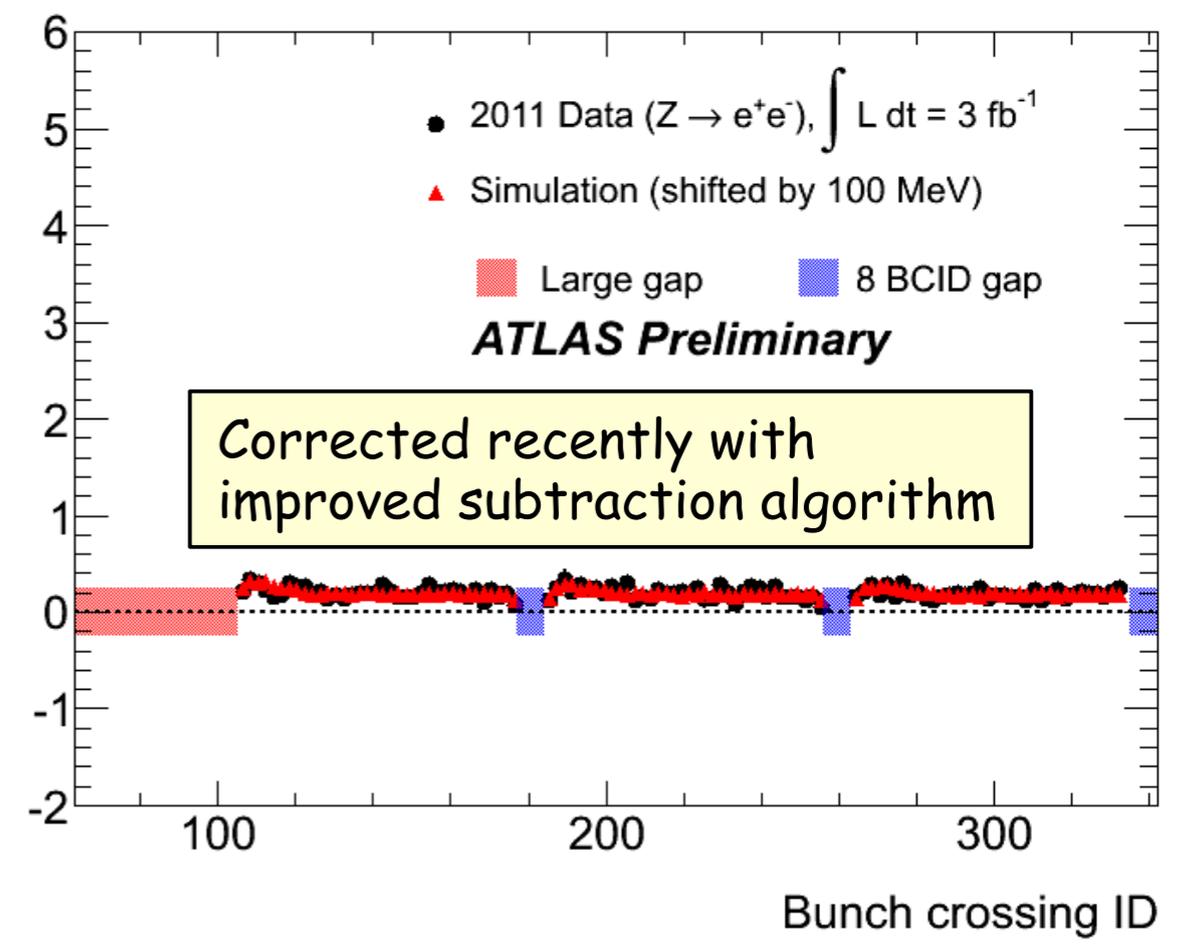


Beginning of the train: no cancellation from previous bunches



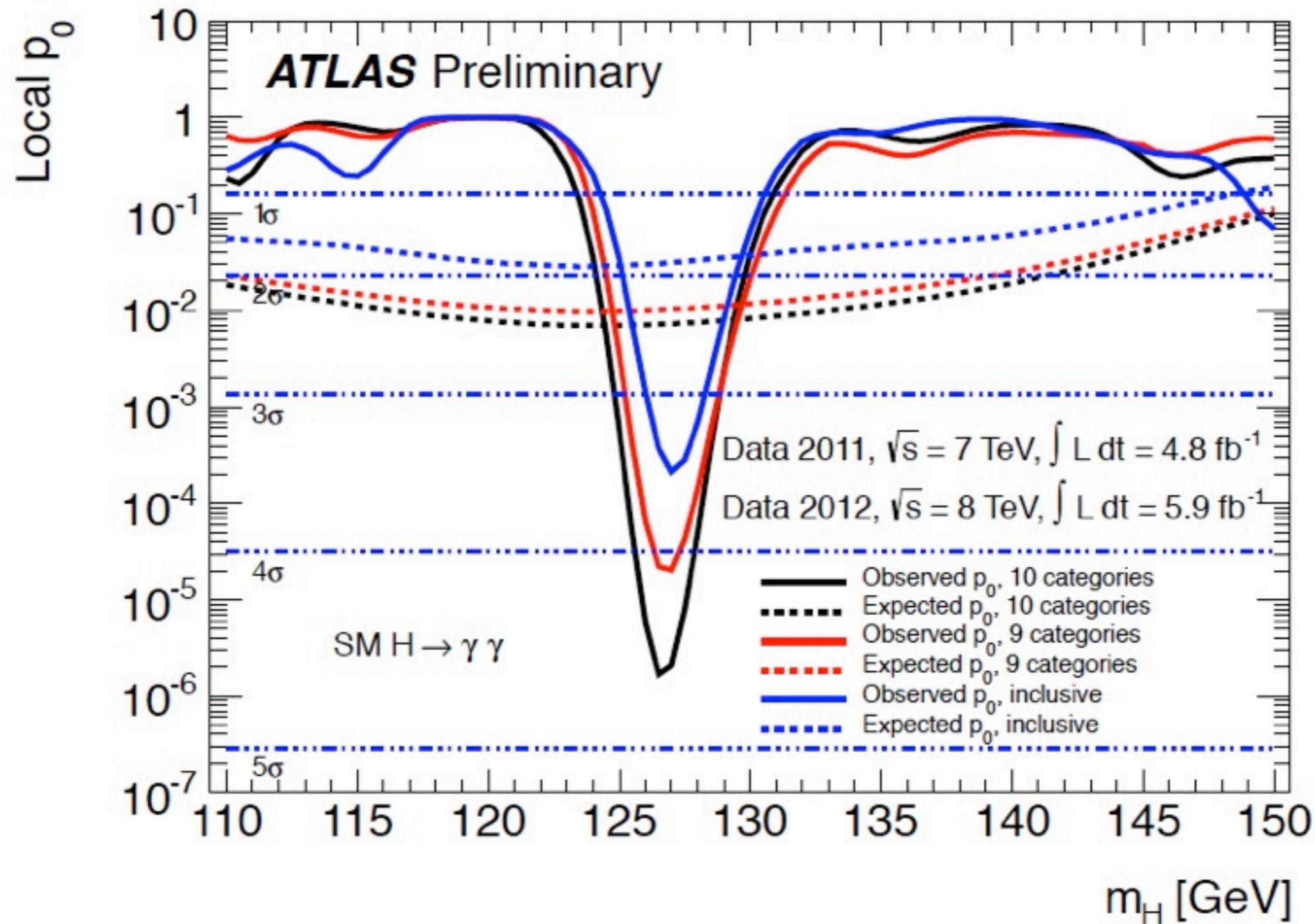
From 12 bunches inside the train: full cancellation

Isolation energy [GeV]



Effect well described by (detailed!) ATLAS simulation

Comparison to Inclusive Analysis



and with 9 categories (no 2-jets category)

$pp \rightarrow ZZ$ cross section measurement

