

LHC-ATLAS実験における $H \rightarrow \tau\tau \rightarrow \text{hadron-hadron}$ 崩壊チャンネルを用いたヒッグス粒子の探索

津野総司 (KEK)

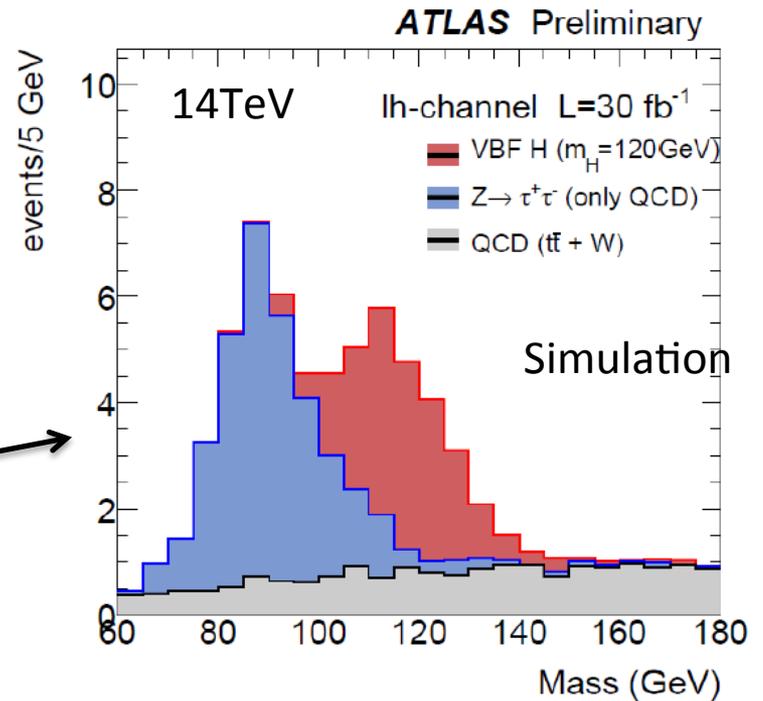
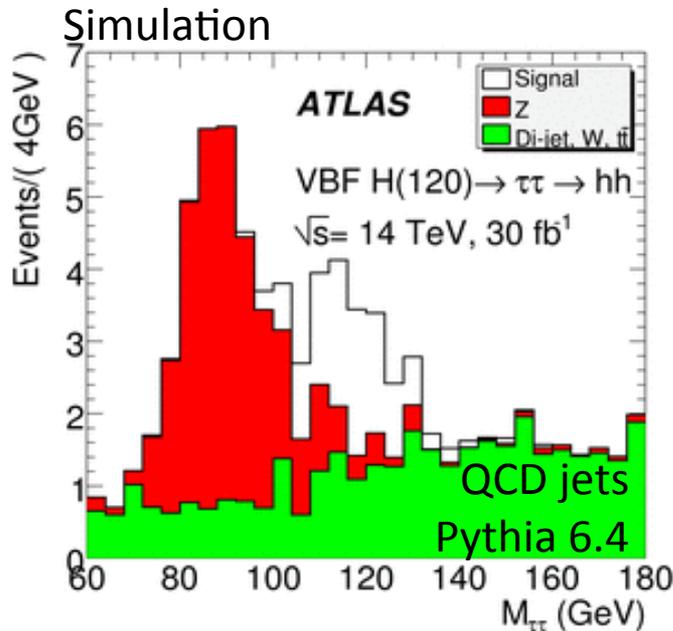
約6年前...

LHC実験が始まる前 (2008)。。。

シミュレーションによる評価:

CERN-OPEN-2008-020, Geneva, 2008

arXiv:0901.0512 (いわゆるCSC Book)



← 当時、 $H \rightarrow \tau\tau \rightarrow hh$ の結果はあったが、論文には使われなかった。。。

“QCD MCは、2、3倍合わない”

的な風潮が主な理由。

登壇者はこのhh結果をもみ消した張本人。

ところが実験が始まってみると。。。

2010年, 7TeV

PYTHIA 6.4で十分??

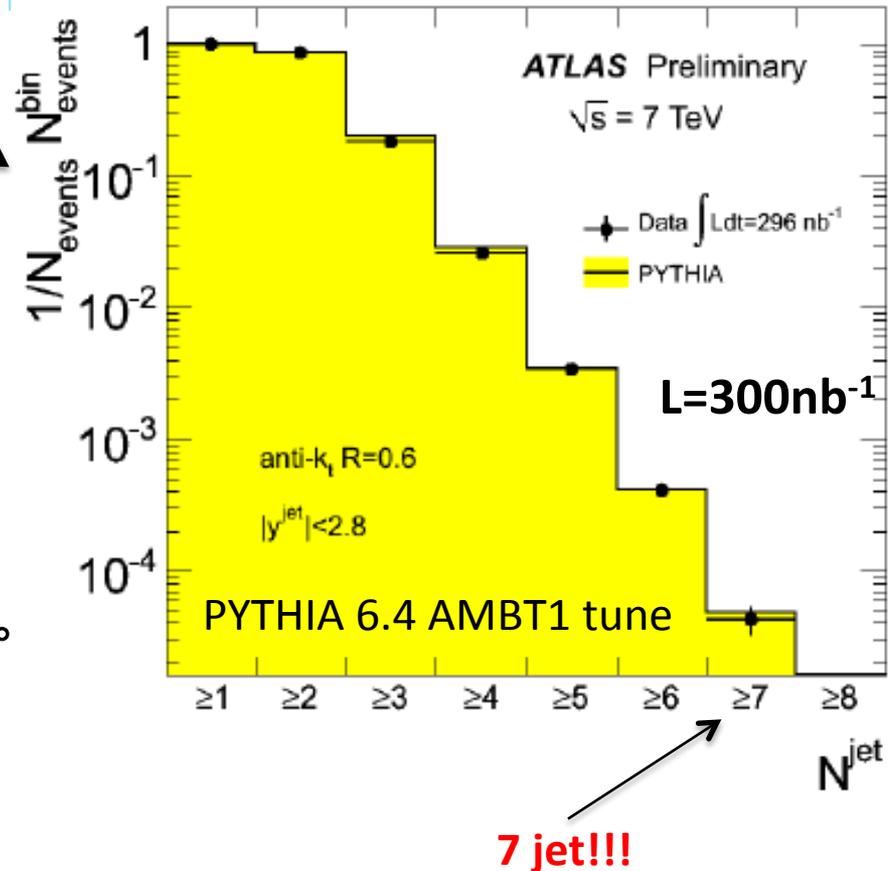
データと良く合っている。
むしろ、ジェットを作りすぎている?

“Normalization”も“NLO”で、
大体オーダー合っている。

→ 6年前の結果は正しかった?

さらに、CMSには、タウトリガーがない。

→ CMSに水をあけるチャンス

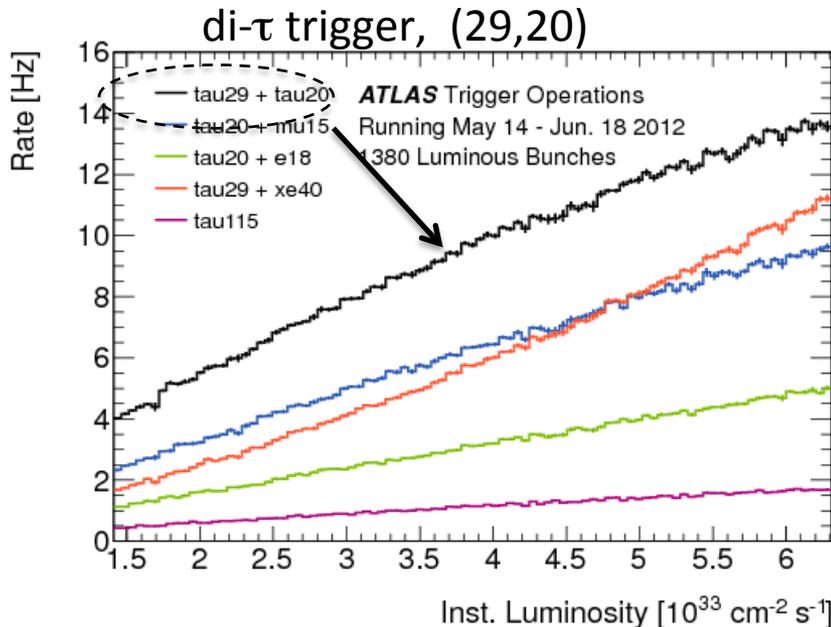


First result of $H \rightarrow \tau\tau \rightarrow hh$ at LHC (2011) 3年前。。

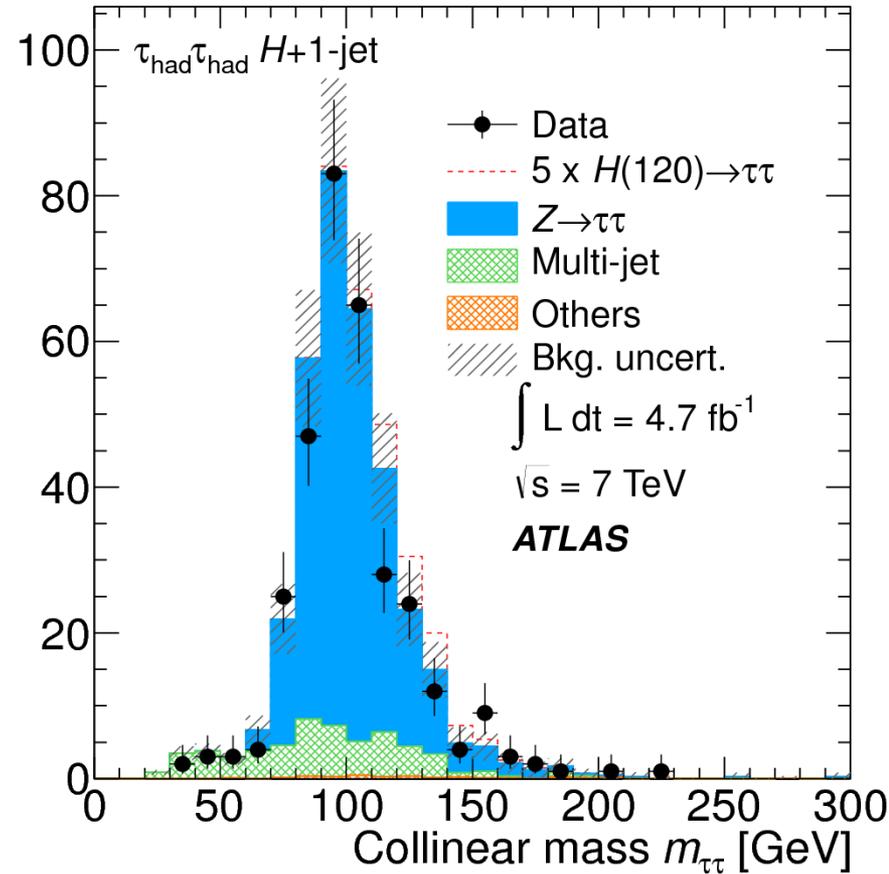
7TeV解析, 2011

2012年にATLASが論文を出した時点では、CMSは、まだ、hadhad-channelの結果を持っていなかった。  **ATLASの圧勝**
(誰もできるとは期待していなかった。)

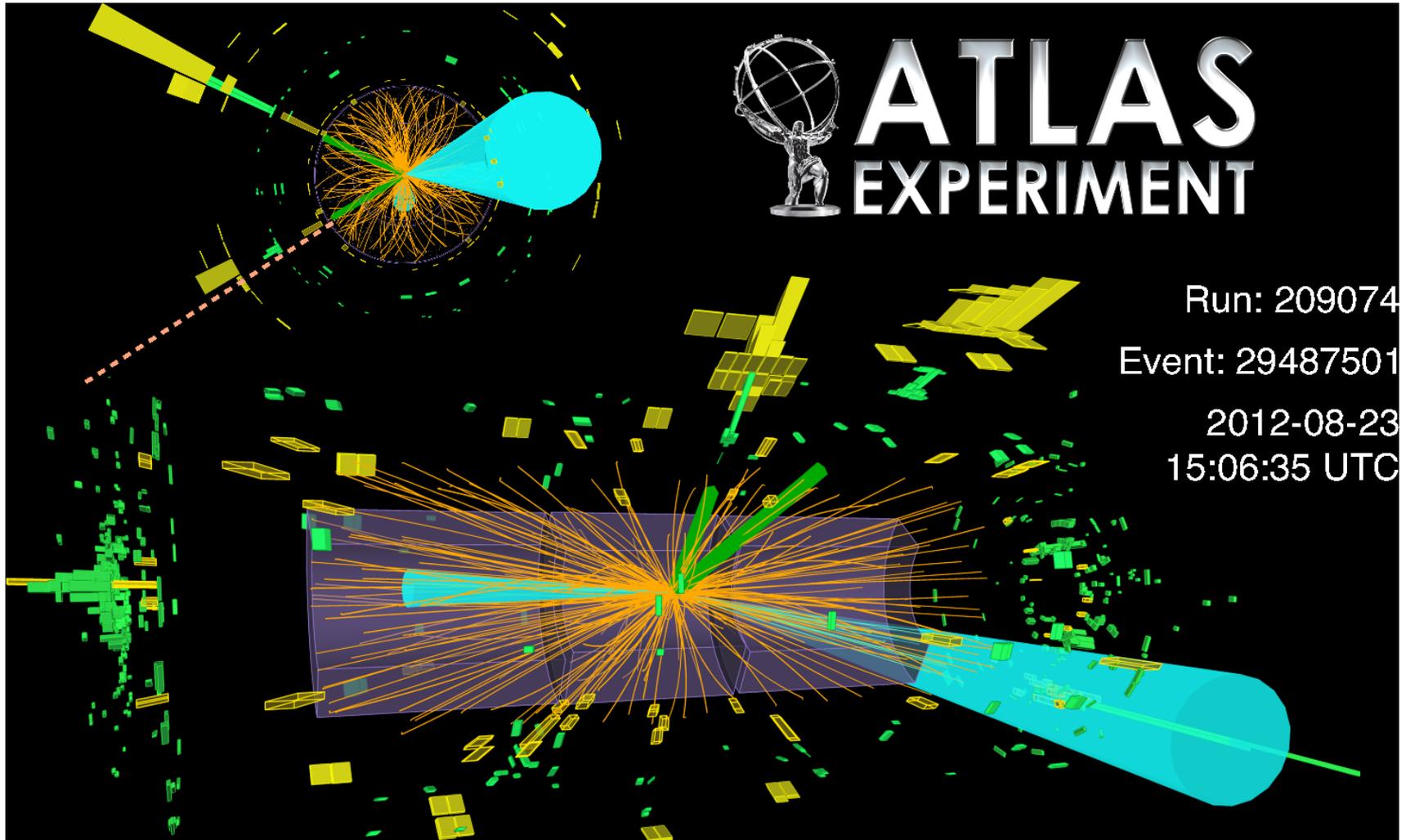
タウトリガー: 8-12Hzでデータ収集



Events / 10 GeV



最新結果



解析概要

事象選別: 基本選別

1. di-tau トリガー $p_T > 29, 20 \text{ GeV}$
2. $\tau p_T > 35, 25 \text{ GeV}$
3. no electron, muon in the event
4. $\Delta R(\tau, \tau) < 2.8$
5. $\text{MET} > 20 \text{ GeV}$, $\min. \Delta\phi(\text{MET}, \tau) < \pi/2$

VBF category:

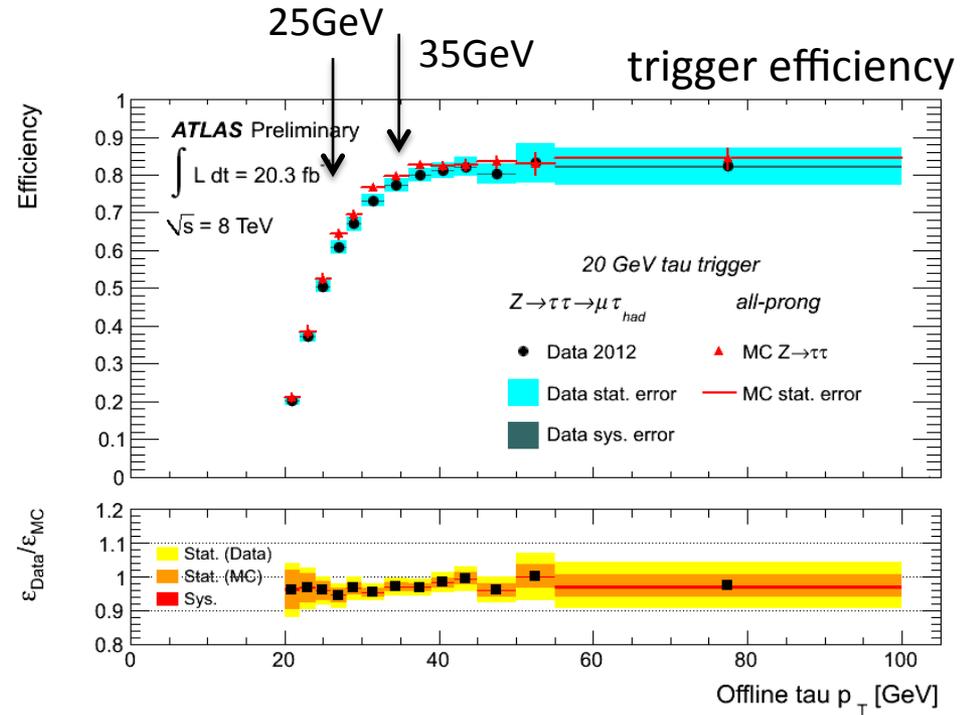
- jet $p_T > 50, 30 \text{ GeV}$
- $\Delta\eta(j, j) > 2.0$, $p_T(H) > 40 \text{ GeV}$

Boosted category:

- not.VBF selection
- $p_T(H) > 100 \text{ GeV}$

Control Region: (background estimation)

- not.VBF && not.Boosted selection



Multi-variate analysis: BDT

VBF; 8-variables

$m_{\tau\tau}$, $\Delta R(\tau, \tau)$, $\Delta\eta(j, j)$, m_{jj} , $\eta_1 \times \eta_2$,
 $p_T(\text{tot})$, $\Delta\phi(\text{MET}, \tau)$, $\Delta\eta(\tau, j)$

Boosted; 5-variables

$m_{\tau\tau}$, $p_T(H)$, $\Delta\phi(\text{MET}, \tau)$, x_1 , x_2

バックグラウンド見積り

バックグラウンド モデル:

- $Z \rightarrow \tau\tau$... embedding (DATA)
- multi-jet ... same-sign(*) events (DATA)
- Others (top, di-boson etc.) ... MC

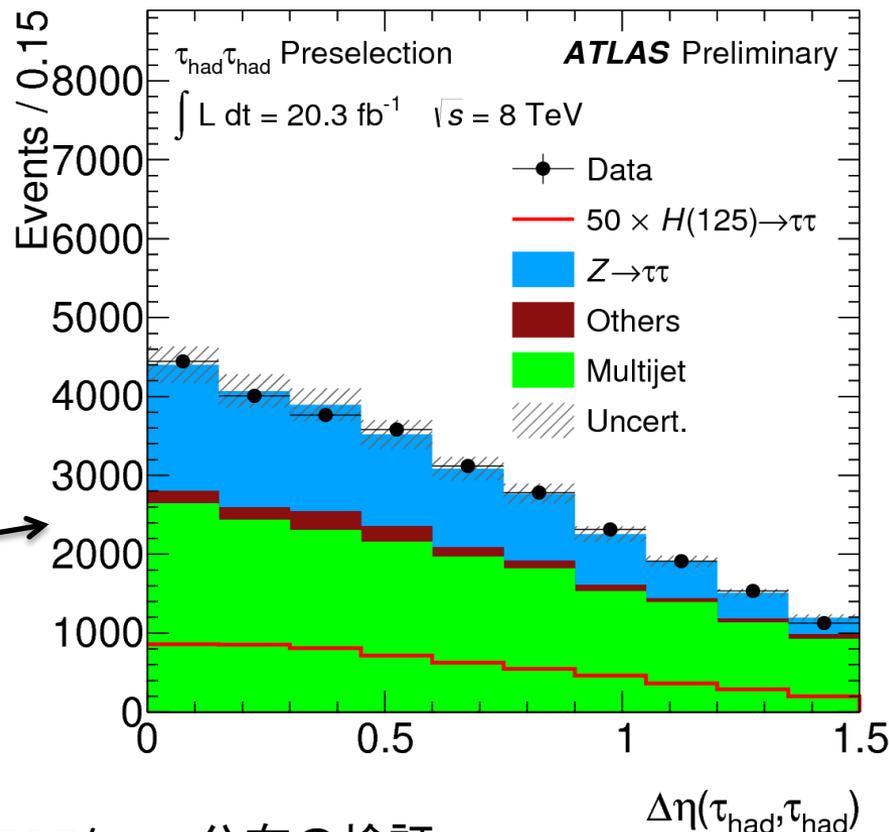
規格化:

Control Region (CR)で $\Delta\eta(\tau,\tau)$ 分布を
テンプレートフィット。

モデルの検証:

- CRでの様々なkinematicsの検証、
- Signal Region(SR)でのmass window外のBDT/mass分布の検証、
- SRでのバックグラウンド優勢領域でのBDT/mass分布の検証。

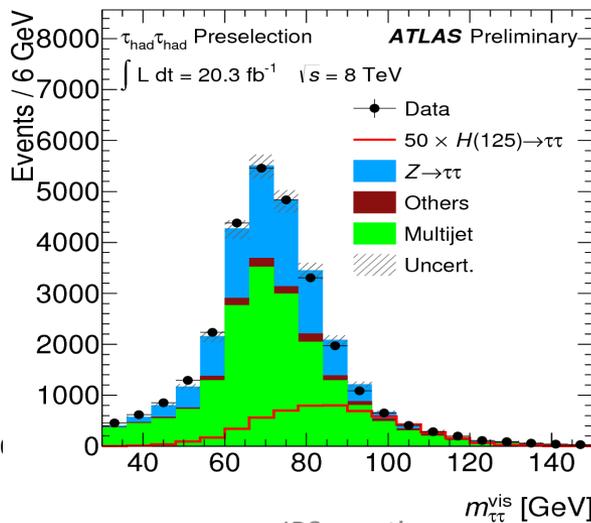
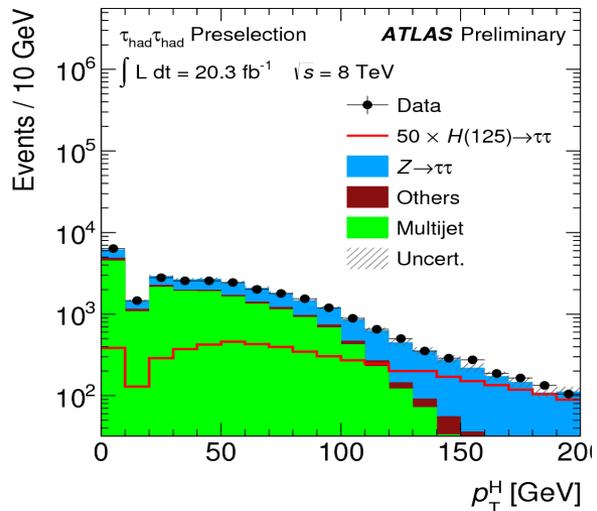
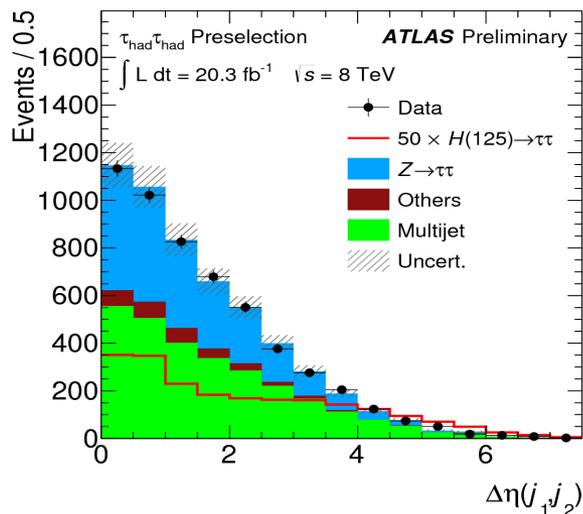
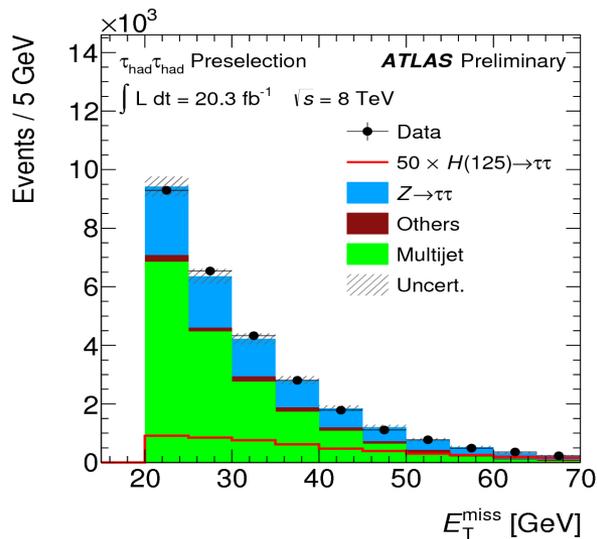
上記検証をパスして初めて、Signal Regionのデータをopen。



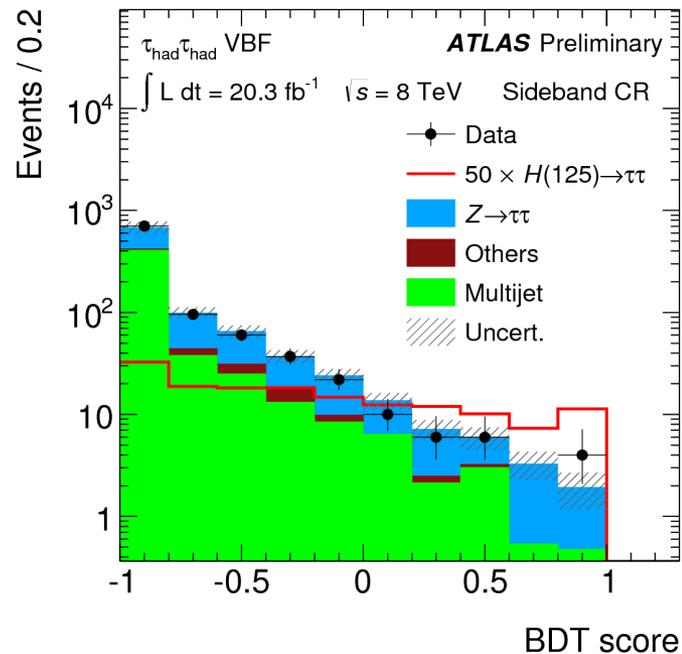
(*) 正確には、Not-Opposite-Sign event。

バックグラウンドの検証 (一例)

Control Regionでのkinematic分布 (一例)



mass side-band領域のBDT score分布



系統誤差

主な系統誤差：

トリガー ~15%

Jet energy scale (MC) ~10%

Theory : QCD / UE ~30%

VBF category

Source of uncertainty	VBF	ggF	Z → $\tau^+\tau^-$	Multijet	Others
Luminosity	2.8%	2.8%			2.8%
Trigger	15.7%	13.8%	8.1%		11.0%
Embedding procedure			6.0%		
Multijet modeling				15.3%	
Tau identification	8.8%	8.8%	<1%		6.2%
Tau mis-identification	<1%	<1%	<1%		6.4%
Tau energy scale	1.0%	1.9%	3.4%		2.5%
Jet energy scale	9.0%	13.6%			6.5%
PDF	3.0%	8.0%			4.0%
QCD scale	2.0%	31.0%			1.0%
Underlying event	6.0%	30.0%			

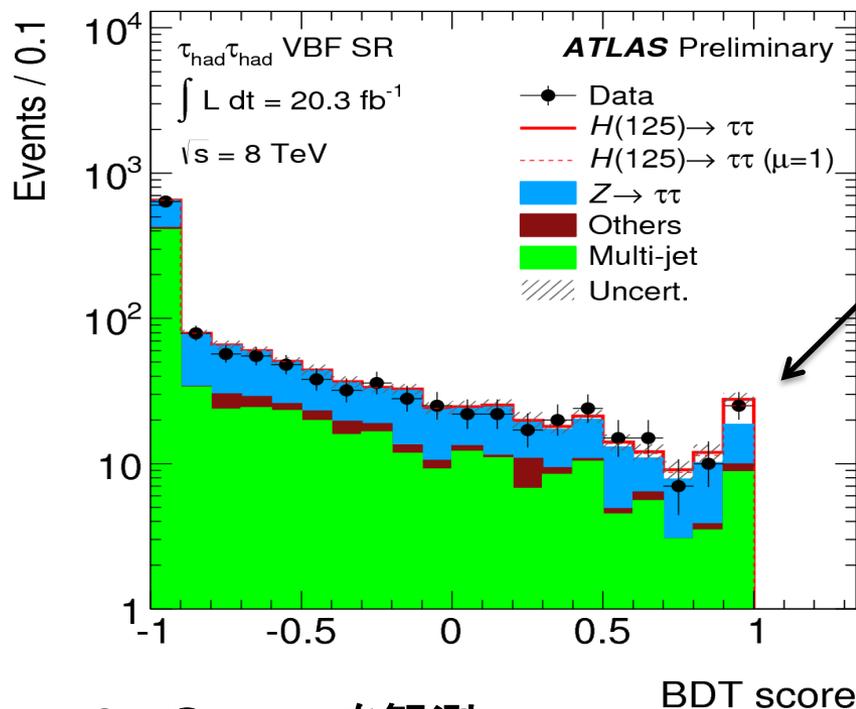
VBF categoryでは、ggFのUEに対する systematicsは、計40%以上。

(今後、CMSとのcoherentな扱いが重要。)

Signal Regionでのデータ分布

(*) Last bin entries

Dataをopen.



Category	VBF	Boosted
ggF	2.0 ± 0.9	2.3 ± 0.9
VBF	5.9 ± 1.8	0.57 ± 0.17
WH	< 0.05	0.44 ± 0.14
ZH	< 0.05	0.22 ± 0.07
$Z \rightarrow \tau^+\tau^-$	5.3 ± 1.0	9.7 ± 1.6
Multijet	5.9 ± 0.9	1.40 ± 0.22
Others	0.64 ± 0.13	0.07 ± 0.02
Total Background	11.8 ± 2.6	11.2 ± 1.9
Total Signal	8.0 ± 2.2	3.6 ± 1.1
S/B	0.67	0.32
Data	19	15

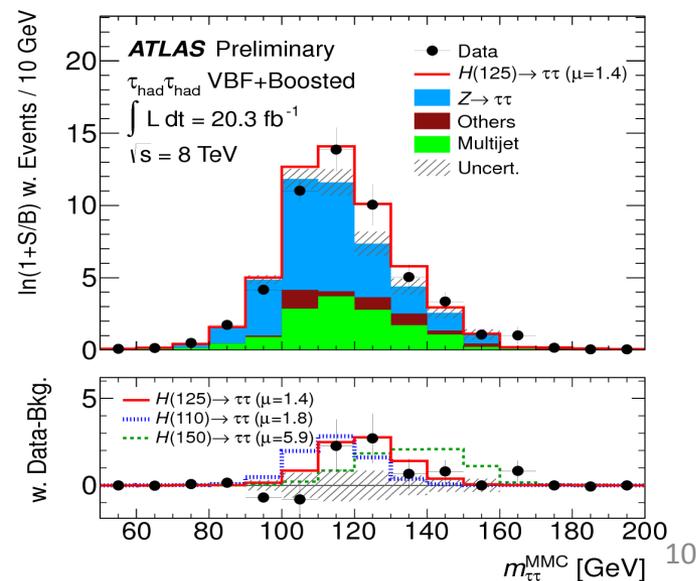
(注* 分布のbin sizeと実際のfitting bin sizeとは必ずしも対応しない。)

~2 σ のexcessを観測。

標準模型から予言される生成断面積と無矛盾。

$$\mu = 1.0^{+0.8}_{-0.6} \text{ (hadhad-channel)}$$

(CMSは、 1.31 ± 0.63)



結果とまとめ

標準模型からのずれ、 $\mu = \sigma(\text{obs}) / \sigma(\text{SM})$

$$\mu = 1.0^{+0.8}_{-0.6} \quad (\text{hadhad-channel})$$

単独で、 2σ のsensitivity (@ 20fb^{-1} at 8TeV)

➡ lephad-channelに次ぐ感度。

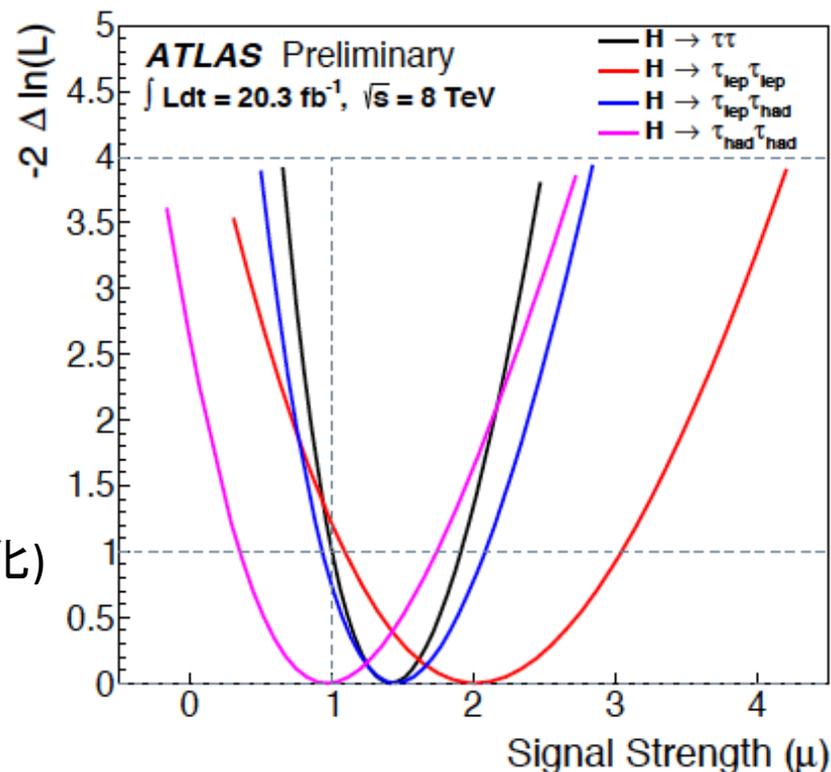
なぜhadhad-channelが感度が良いのか？

1. 簡素なバックグラウンド。 (簡単なモデル化)
(W +jetsのようなバックグラウンドがない。)
2. 良い質量分解能。
($Z \rightarrow \tau\tau$ に対して分離が良い。)

13(4) TeV (高統計)では、さらにhadhad-channelは、重要。

➡ 質量測定、CP測定

14TeVトリガー準備：次トーク、三谷



6年後。。。



固定観念に縛られてはいけない良い例。

Backup

