



LHC-ATLAS実験におけるタウレプトン対に 崩壊するヒッグス粒子の探索

田中純一, 中村浩二, 井上竜一^A, 浅井祥仁^A, 川本辰男
東大素セ, 東大理^A



2011年3月25日

日本物理学会 第66回年次大会



目次

- Introduction
 - Motivation
 - Event Topology
- Data and MC samples
- Event Selection and Result
- BG estimation
 - $Z \rightarrow \tau\tau$ with embedding method
 - SS method for $\text{QCD} + "W + \text{jets}"$
- Final Results
- Summary and Prospect





Motivation

- 素粒子の質量の起源であるヒッグス粒子は未発見であり、このヒッグス粒子の発見はLHC・ATLAS実験において最も重要な研究課題の1つである。
- これまでの実験結果から比較的軽いヒッグス粒子(<200GeV)の存在が期待されており、特にLEPの直接探索のLimit付近(115GeV)が最も期待されている領域である。
- この領域でのヒッグス粒子探索では $H \rightarrow \gamma\gamma, \tau\tau, bb$ などが研究されているが、本研究では $H \rightarrow \tau\tau$ にフォーカス。
 - > 現状ではデータ量が十分でないため標準理論のヒッグスにはほとんど感度がないが、MSSMヒッグス探索には十分！
 - > 本研究では**MSSM $h/H/A \rightarrow \tau\tau \rightarrow lh$ の探索**を行った。
 - > 本研究では**実データを使ったBackground estimationの開発**を行った。
 - > 本研究は将来(今年!)、標準理論ヒッグスの探索に容易に延長できる。
- 2010年、LHC・ATLAS実験では **$\sqrt{s} = 7\text{TeV}$ で **36.1pb^{-1} のデータ**を取得した。
 - > 本研究ではこのデータを用いてヒッグス探索を行った。**





MSSM

- Supersymmetric models extend the Higgs sector.

- 5つのHiggs粒子

- **h, H, A** and H^\pm
- h/H ... CP even, A ... CP odd

- m_A と $\tan\beta$ の2つのパラメータ

- Production at LHC

- **gg**->**h/H/A** (以後、ggFと記述することがある。)

- **gg**->**bbh/H/A** (以後、bbA)

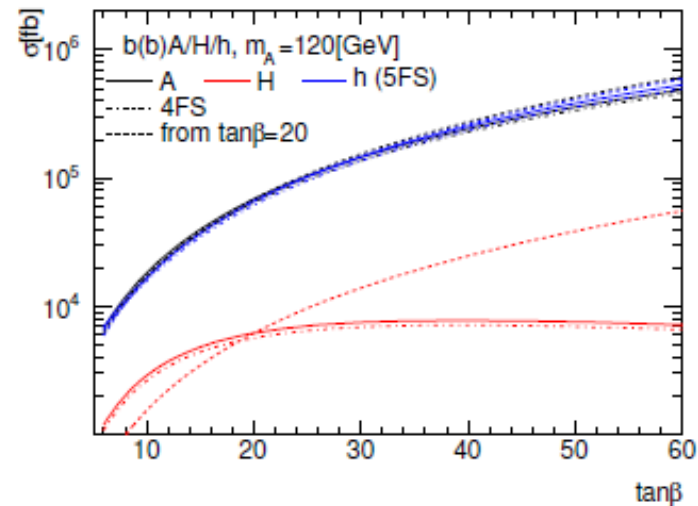
の2つの主な生成過程。後者の生成断面積は $\tan\beta$ の2乗に比例する。

($\tan\beta$ が大きくなるとdown typeのfermionとの結合が強くなる。)

- Branching ratio

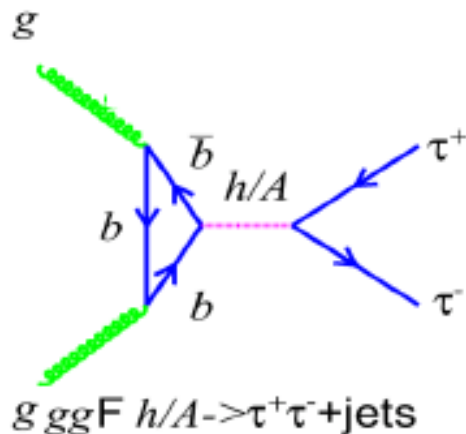
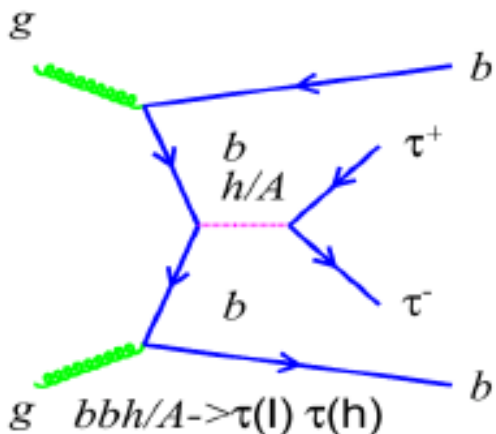
- bb ... ~90%

- **$\tau\tau$... ~10%** -> 片方、あるいは両方がレプトニック崩壊するとトリガーが簡単。また、bbと比較するとS/Nが良い。(bbはトリガーも困難)





Event Topology



タウ粒子の崩壊

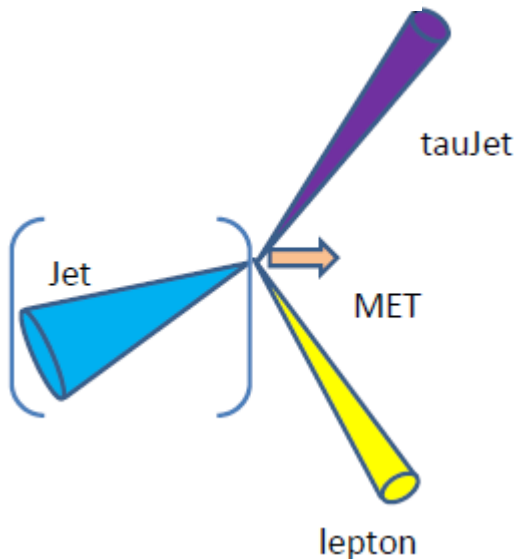
- 1/3がleptonic decay (l)
- 2/3がhadronic decay (h)

タウ粒子ペアの組み合わせ

- $\tau\tau \rightarrow ll \dots 1/9$ (small)
- $\tau\tau \rightarrow lh \dots 4/9$ (本研究)
- $\tau\tau \rightarrow hh \dots 4/9$ (bad S/N, trigger)

終状態

- Electron or muonが1つ
- Tau jet (hadronic decay)が1つ
- 比較的大きいMET (missing transverse energy)
- (ジェットを伴うことが多いが今回は見ない。将来(b-)ジェット数で解析を最適イズ。)



まとめ: **electron+taujet+MET or muon+taujet+MET** を探す。





Data and MC samples

- 実データ (data2010): $\sqrt{s}=7\text{TeV}$ 、 36.1 pb^{-1}
 - Luminosity uncertaintyは3.4%
- MCサンプル
 - Signal
 - bbA ... Sherpa
 - ggF ... MC@NLO
 - Background
 - W/Z+jets (up to 5 parton) ... Alpgen
 - ttbar ... MC@NLO
 - Single top and di-boson ... MC@NLO (gluon induced-loop WW ... gg2WW)
 - QCD ... Pythia (normalized to data, チェック用、最終結果には使っていない)

Process	Cross section \times BR [pb]
$bbA/H/h, A/H/h \rightarrow \tau^+\tau^- \rightarrow \ell\tau_h, m_A = 120 \text{ GeV}$	3.57/0.33/3.43
$bbA/H/h, A/H/h \rightarrow \tau^+\tau^- \rightarrow \ell\tau_h, m_A = 200 \text{ GeV}$	0.56/0.56/0.03
$gg \rightarrow A/H/h \rightarrow \tau^+\tau^- \rightarrow \ell\tau_h, m_A = 120 \text{ GeV}$	2.25/1.01/1.87
$gg \rightarrow A/H/h \rightarrow \tau^+\tau^- \rightarrow \ell\tau_h, m_A = 200 \text{ GeV}$	0.14/0.17/0.50
$W \rightarrow \ell+\text{jets} (\ell = e, \mu, \tau)$	10.46×10^3
$Z/\gamma^* \rightarrow \ell^+\ell^-+\text{jets} (m_{\ell\ell} > 10 \text{ GeV})$	4.96×10^3
$t\bar{t}$	164.6
Single- t ($t-$, $s-$ and Wt -channels)	58.7, 3.9, 13.1
Di-boson (WW, WZ and ZZ)	46.2, 18.0, 5.6





Event Selection

前述したイベントトポロジーから以下のような比較的単純なEvent selectionを行う。

[1] Trigger

- Single electron or single muon trigger is used.

[2] Event vertex requirement and Event cleaning

- Collision eventの選択

[3] 1 lepton requirement

- Electron $E_T > 20\text{GeV}$ or muon $p_T > 15\text{GeV}$

- Isolationを要求($dR < 0.4$ の中に6-10%以下のadditionalなactivity)

[4] Dilepton veto

- Zや $t\bar{t}$ のBGを落とす

$N_\tau = 1$ [5] 1 tau jet requirement (opposite sign to the lepton)

- $p_T > 20\text{GeV}$

$E_T^{\text{miss}} > 20\text{GeV}$ [6] MET $> 20\text{GeV}$

- QCDやZ $\rightarrow ee/\mu\mu$ を落とす

$M_T < 30\text{GeV}$ [7] Transverse mass M_T , $M_T < 30\text{GeV}$ $M_T = \sqrt{2p_T^{e/\mu} E_T^{\text{miss}} (1 - \cos \Delta\phi)}$

- Wを伴うBG(W, $t\bar{t}$, di-bosonなど)を落とす

[5]以降の結果 -> 次ページ





結果

	Electron channel		
	$N_\tau = 1$	$E_T^{\text{miss}} > 20 \text{ GeV}$	$M_T < 30 \text{ GeV}$
Observed data	1413	581	74
Total MC expectation (w/o QCD)	1350±10	700±10	70±3
W+jets	710±10	590±10	26±2
Di-boson	3.61±0.05	2.68±0.05	0.26±0.01
Single- <i>t</i>	4.4±0.1	3.9±0.1	0.40±0.06
$t\bar{t}$	26.3±0.4	23.8±0.4	2.8±0.1
$Z/\gamma^* \rightarrow e^+e^-, \mu^+\mu^-$	451±7	41±2	9.8±0.9
$Z/\gamma^* \rightarrow \tau^+\tau^-$	150±4	40±2	30±2
$A/H/h$ signal ($m_A = 120 \text{ GeV}, \tan\beta = 40$)	62±1	23.4±0.6	17.9±0.5
$A/H/h$ signal ($m_A = 200 \text{ GeV}, \tan\beta = 40$)	16.4±0.2	9.7±0.2	7.3±0.2

	Muon channel		
	$N_\tau = 1$	$E_T^{\text{miss}} > 20 \text{ GeV}$	$M_T < 30 \text{ GeV}$
Observed data	1627	841	132
Total MC expectation (w/o QCD)	1680±20	1050±10	137±4
W+jets	1030±10	860±10	41±2
Di-boson	4.88±0.07	3.93±0.06	0.42±0.02
Single- <i>t</i>	5.7±0.1	5.1±0.1	0.65±0.05
$t\bar{t}$	33.2±0.4	30.0±0.4	3.9±0.1
$Z/\gamma^* \rightarrow e^+e^-, \mu^+\mu^-$	253±5	48±2	11±1
$Z/\gamma^* \rightarrow \tau^+\tau^-$	350±20	97±3	81±3
$A/H/h$ signal ($m_A = 120 \text{ GeV}, \tan\beta = 40$)	103±1	42.9±0.9	35.4±0.8
$A/H/h$ signal ($m_A = 200 \text{ GeV}, \tan\beta = 40$)	23.8±0.3	14.6±0.2	11.4±0.2

- 最終的に74イベント、132イベント、それぞれ観測した。
- $M_T < 30 \text{ GeV}$ の時点、QCDを含まないMCの期待値にconsistent.

ここからの話題:

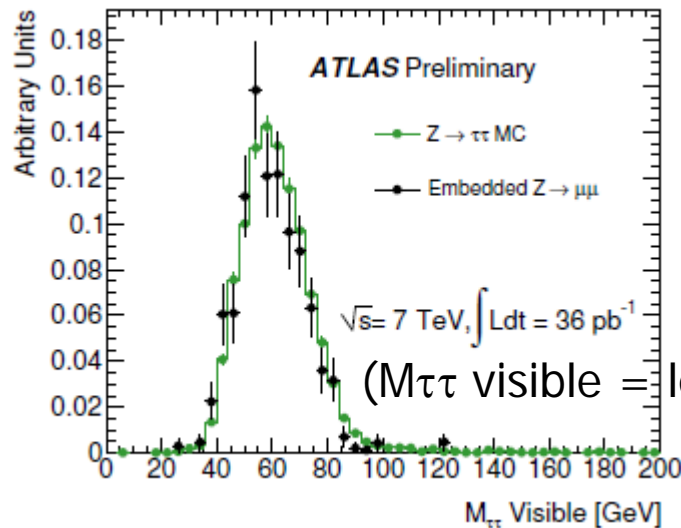
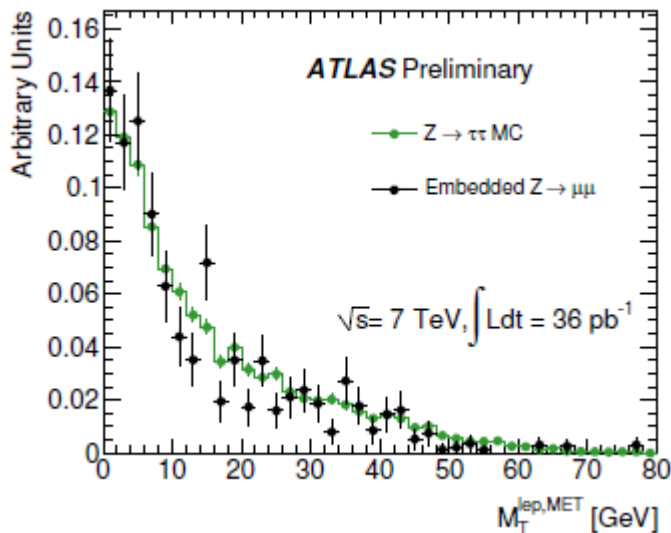
- Main BG $Z \rightarrow \tau\tau$ のcontribution、特にshapeをどう評価するか？
- QCDを含めたTau fake由来のBG (W+jets, QCD)をどう見積もるか？ MCだけで見積もると不定性が大きい。





Z- \rightarrow $\tau\tau$ with embedding method

- Embedding methodとは「実データのZ- \rightarrow $\mu\mu$ 候補からZ- \rightarrow $\tau\tau$ - \rightarrow lhのshapeを見積もる」手法のこと。手順は次の通り;
 - [1] 実データからZ- \rightarrow $\mu\mu$ 候補を選択する。(BGはほぼ無視できる) 現時点ではまだ数万イベント。
 - [2] この $\mu\mu$ を $\tau\tau$ に置き換えて、その部分だけGeant4 simulationを行う。
 - [3] 「実データ($\mu\mu$ の部分は除去)」+「 $\tau\tau$ simulation結果」を混ぜて、イベントをreconstructionする。



(上記の2つはMETのカットを書ける前の分布)

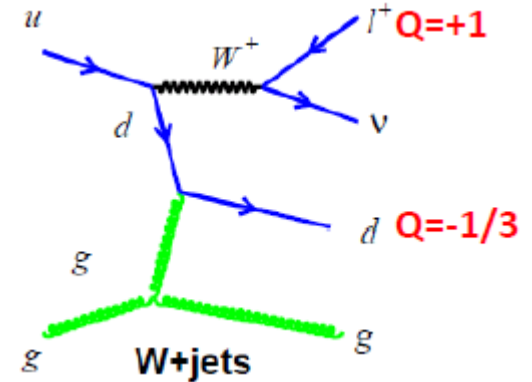
- 今回はZ- \rightarrow $\mu\mu$ 候補数があまり多くなかったため、チェックにのみ使った。(MCで手法確認済)
- 最終結果はMC Z- \rightarrow $\tau\tau$ を使った。



SS method for QCD + "W+jets" (1/2)



- シグナルはlepton(electron or muon)とtaujetの電荷の符号は反対(OS)。
- SS methodとは「符号が同じlepton+taujetのイベントを使ってBGを見積もる」手法。
 - 基本的なアイデアは、観測したSSイベントをフルに利用して、不足分はデータあるいはMCで補正する。
 - QCD OS=SS ... 補正の必要なし。ただし、この仮定がOKかどうか実データでチェック。
 - W+jets OS>SS ... LHCではOSが多い(2倍程度)。
 - > 補正すべき量、つまり、超過分"OS-SS"は $M_T > 50\text{GeV}$ (W dominant region)から見積もる。
 - その他のBGはMCから超過分"OS-SS"を見積もる。



観測したSSイベントそのもの。
(QCD, Wの一部, その他のBGの一部が入っていると仮定)

$$n_{OS}^{Bkg}(m_{vis}) = n_{SS}^{Bkg}(m_{vis}) + k_{W+jets} \cdot n_{SS}^{W+jets}(m_{vis}) + n_{OS}^{Z+jets}(m_{vis}) - n_{SS}^{Z+jets}(m_{vis}) + n_{OS}^{other}(m_{vis}) - n_{SS}^{other}(m_{vis})$$

Wの超過分
- 補正量は実データから。
- ShapeはMC。

その他のBGの超過分(with MC)





SS method for QCD+ "W+jets" (2/2)

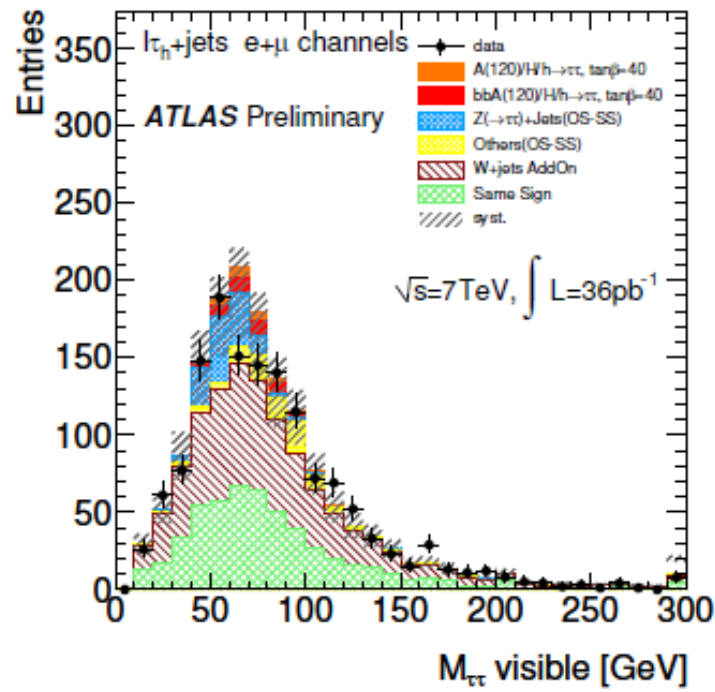
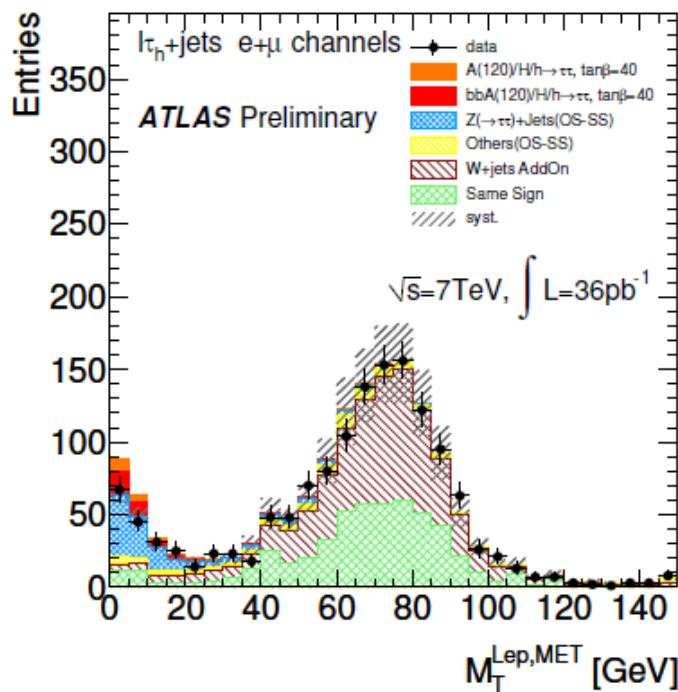
[1] QCD OS=SSのチェック

- Low MET region(QCD dominant)から算出。
OS/SS=1.16+-0.04+-0.09 => 1にコンシステント。

[2] Wの超過分

- $M_T > 50\text{GeV}$ (W dominant region)から見積もる。
 $k_{W+jets} = 1.43 \pm 0.15$

[3] 結果



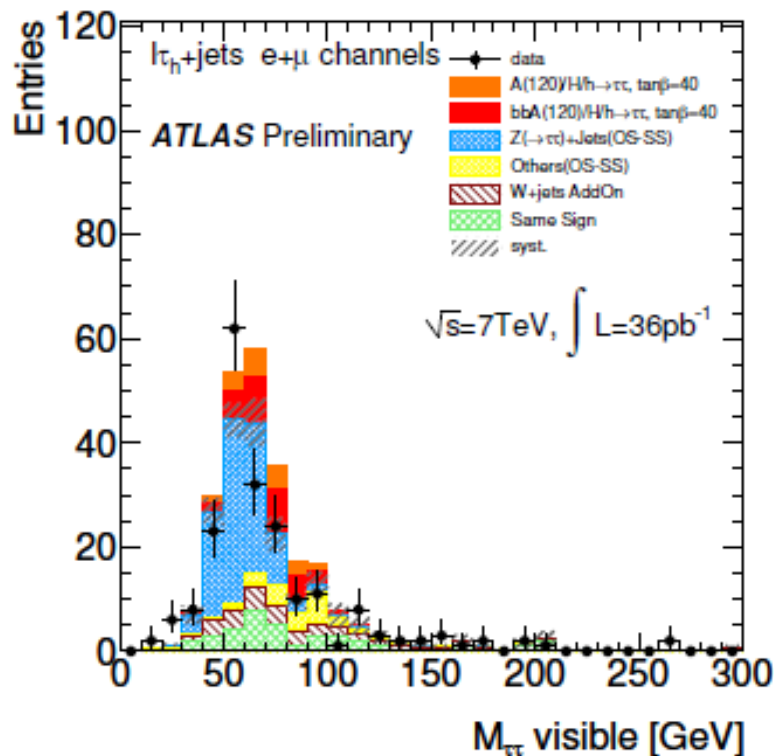
データはBG expectationによく一致している。





Result (1/2)

- すべてのカット後の $M_{\tau\tau}$ visible 分布
- 系統誤差(の一部)



Sources	Uncertainty
Same-sign component (n_{SS}^{Bkg})	
Same-sign statistics	17%
QCD OS/SS ratio r_{QCD}	19%
Add-on component ($k_{W+jets} \cdot n_{SS}^{W+jets}$)	
Add-on statistics n_{SS}^{W+jets}	4%
k_{W+jets} statistical error	11%
M_T dependence of k_{W+jets}	10%
Acceptance from simulation	
Renormalization and factorization scales for $t\bar{t}$	1.7%
Scales, PDF and MLM matching scheme for Z+jets	12.5%
Electron efficiency	1.8-7.8%
Muon efficiency	2%
τ efficiency	4.1%
Electron energy scale	0.7-2.5%
Electron energy resolution	<1.2%
τ and jet energy scale	1.4-31%
Luminosity	3.4%

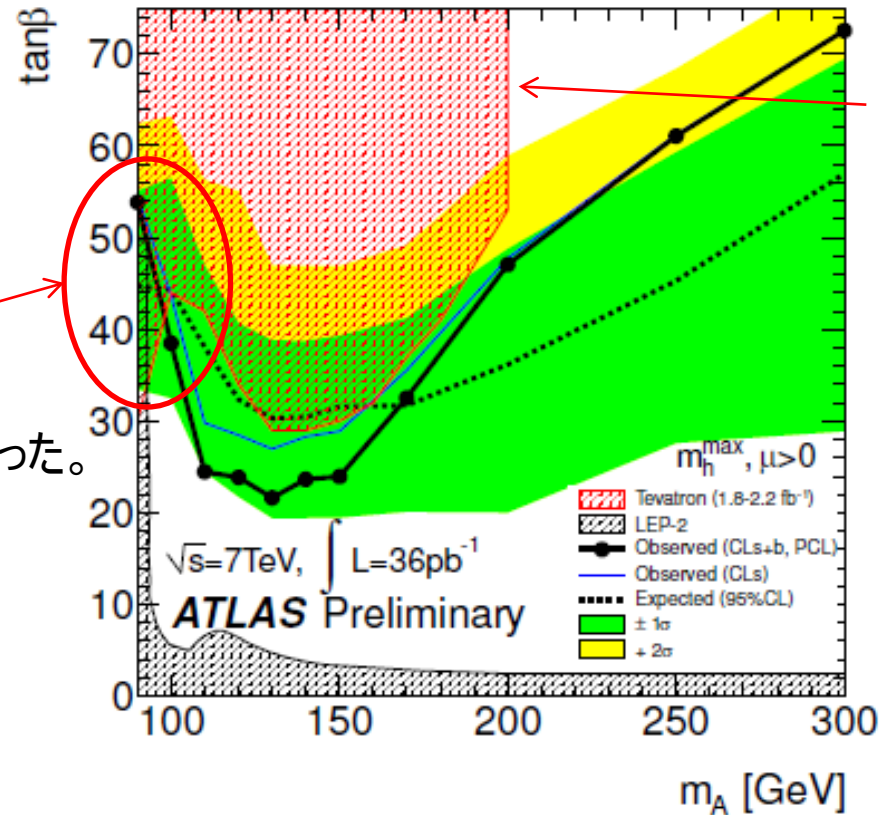
- データにBG expectationからの大きな excessはない。
- SSイベントの統計誤差がまだ大きい。
- QCD OS=SSの系統誤差の改善 ... 研究中
- Tau/jet energy scale ... 少なくともTauについては今後改善する。(Winter confに間に合わなかった。)





Result (2/2)

- m_A - $\tan\beta$ 平面でLimitを算出。
 - CLs+b PCL (Power constraint CL) ... ATLAS Higgs WGで標準(議論の余地あり)
 - CLs ... conservativeな見積もり。



Tevatron combination
は $m_A=200\text{GeV}$ までしか
提供されていない。

Zの不定性が大きい
ため、Signalとの分離が
できなかつた。

Low m_A regionを除いて、World best limit





まとめ

- 2010年の36.1 pb⁻¹データを用いて、H- \rightarrow $\tau\tau$ - \rightarrow lh探索を行った。
 - 2種類のBG estimationを開発した。
 - Z- \rightarrow $\tau\tau$ 用のembedding method
 - QCD+"W+jets"用のSS method
 - MSSM Higgsの兆候は見られなかった。
 - m_A - $\tan\beta$ 平面でLimitを算出 -> Low m_A regionを除いてWorld bestな結果を得た。

• 予定

- MSSM ... ll/hh-channel追加
- MSSMのみならず、 $\tau\tau$ でも本格的にSM Higgs探索を行う。
 - 夏(200-500pb⁻¹)までに公式な結果を出す予定。

• Higgs探索の展望(all channels)

- 2011年 ... 1-3fb⁻¹のデータ
 - >130GeVなら兆候が見える！
- 2012年 ... CMSと合わせてすべての領域で兆候を確認！

