

LHC-ATLAS実験における $H \rightarrow \tau\tau \rightarrow lh$ を用いた ヒッグス粒子の探索

日本物理学会 春季大会

関西学院大学

2012年3月27日

はなわ けいた
塙 慶太、中村浩二^A

金信弘、受川史彦、原和彦

筑波大数理、東大セ^A



筑波大学

University of Tsukuba

導入

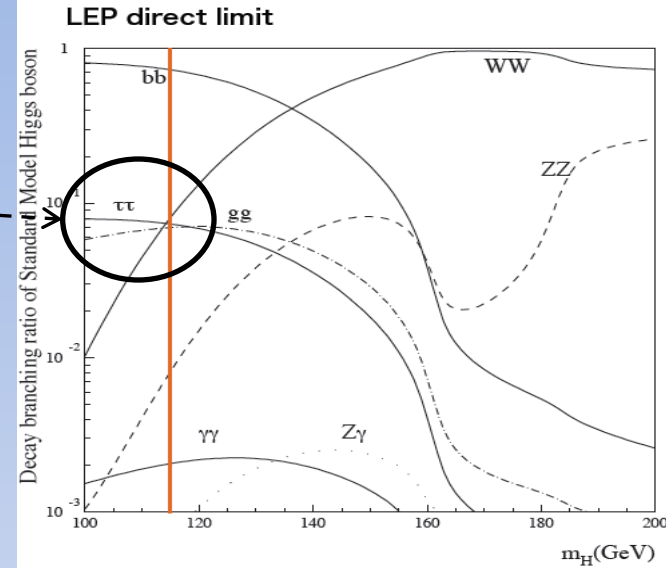
τ を用いたHiggs探索

•標準模型ヒッグスが τ 粒子対に崩壊する過程は、ヒッグスの質量が低い時の主要発見モード

(τ : $\sim 7.1\%$, b : $\sim 64.8\%$ $M_H=120\text{GeV}$)

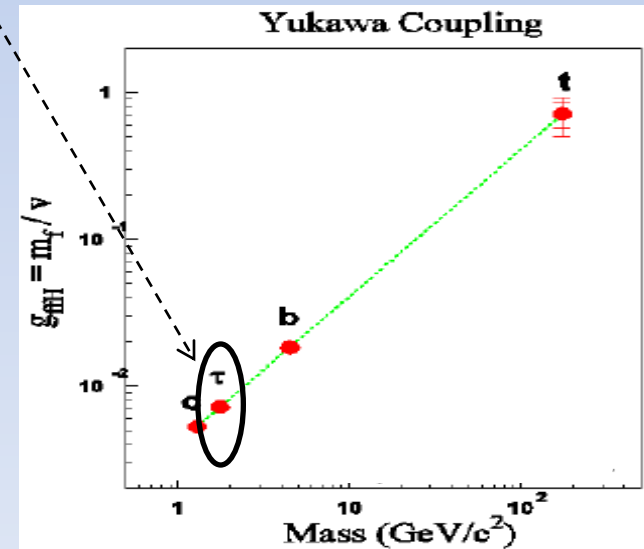
•ヒッグスとフェルミ粒子との結合の測定

->結合定数の測定は、ヒッグスモデルの検証に重要



崩壊モード	分岐比	特徴
lep-lep (ll)	$\sim 1/9$	Clean but Small stat.
lep-had (lh)	$\sim 4/9$	Large stat. and sensitivity
had-had(hh)	$\sim 4/9$	Large background

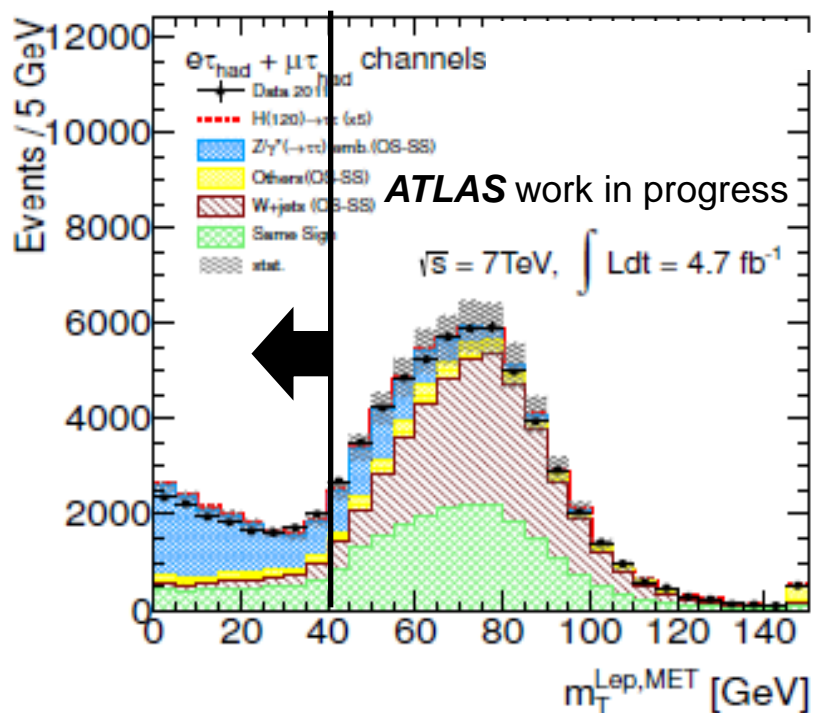
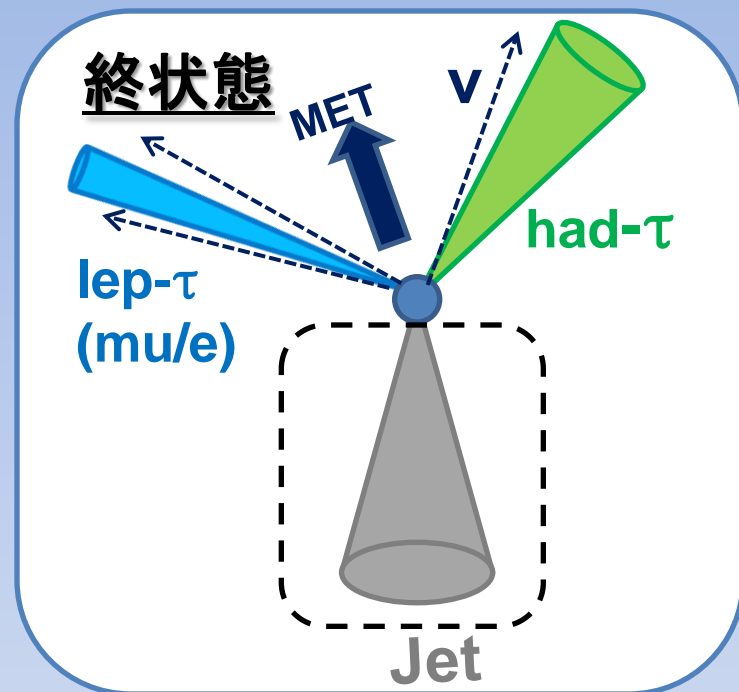
-本研究では一方の τ が μ/e へ、もう一方が hadronicに崩壊するモード(lh)を研究する。



事象選択

- 終状態オブジェクトに応じた事象選択

1. Trigger: electron ($>22\text{GeV}$), mu ($>18\text{GeV}$)
2. 横運動量: $P_{T_e} > 25$, $P_{T_\mu} > 20$, $P_{T(\tau)} > 20\text{GeV}$
3. 異符号のleptonとhadronic τ
4. leptonと横方向消失エネルギー(MET)の横方向質量($m_T < 40\text{GeV}$)



主な背景事象

- Z \rightarrow $\tau\tau$
- Z \rightarrow ee/mumu, ttbar, diboson
- W+jets, QCD multi-jets
→ MCやデータを用いて見積もる。
(詳細は後述)

事象選択2

標準模型ヒッグスに特化した事象選択

→事象中のジェットの数で場合分けする。

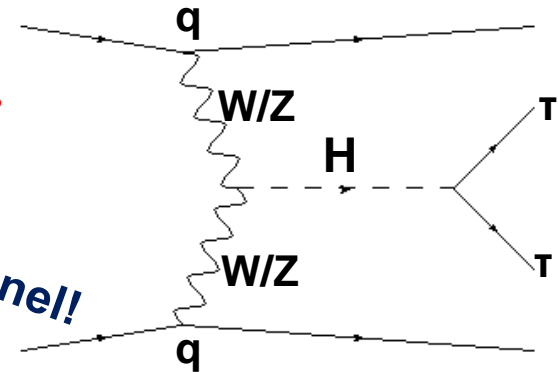
VBF category (≥ 2 jets)

VBF過程の特徴的である前後方のジェット等を要求。

→Z+jets等を効率的に落とす。

- Rapidity gap : $\Delta\eta(j1,j2)>3.0$
- Large dijet mass : $M(j1,j2)>500\text{GeV}$
- Central jet veto

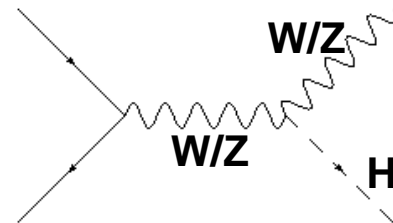
Sensitive channel!



≥ 1 jets

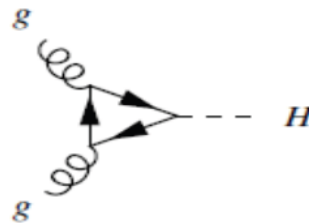
VBF category以外のjetをもったcategory。

→ ggF, VH過程のsignal領域



0jet

ggFによるsignal領域

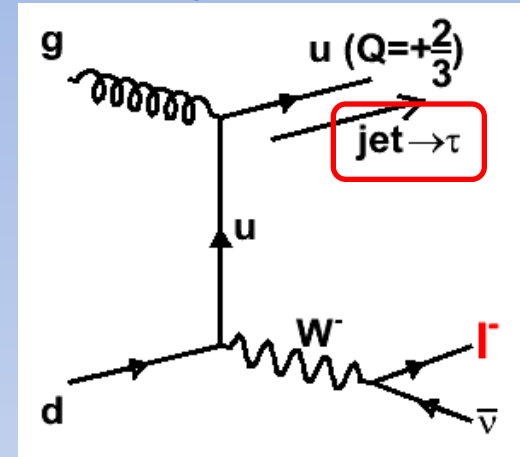


背景事象の見積もり

1. Fake background

- ▶ Jetが τ に誤認識(fake)されるもの
(W+jets, QCD multi-jets等)
- ▶ MCでのfake τ のモデリングは困難。
→データをを用いて評価する。(後述)

W+jetsの例



2. Physics background

- 事象選択では落とせない、終状態にlepton, τ and MET.
 - ▶ ttbar , di-boson等
MC simulationより見積もる。
 - ▶ $Z \rightarrow \tau \tau$ (主背景事象)
 - 分布: $Z \rightarrow \mu\mu$ のデータを用いて、 μ をシミュレーション τ に置き換えることで
 $Z \rightarrow \tau \tau$ の分布を作る。
 - 事象数: 事象選択の途中(lepton+ τ 選択後)で理論予想に規格化。
- * VBF selection後の統計が少ない→MCによる評価。

Fake backgroundの見積もり

データを用いた2種類の評価法:

1. OS/SS method

→ Same sign(SS)eventを使ってQCD/W+jetsを見積もる。

① QCD (OS=SS)

SS事象をOS事象の背景事象として使う。

→ 14%の精度でOS/SS=1

② W+jets(OS>SS)

Wとjetには電荷の相関がある。→ 補正が必要
補正量(OSの超過分: **Add On**)はWのcontrol regionから見積もる。→ 10%精度

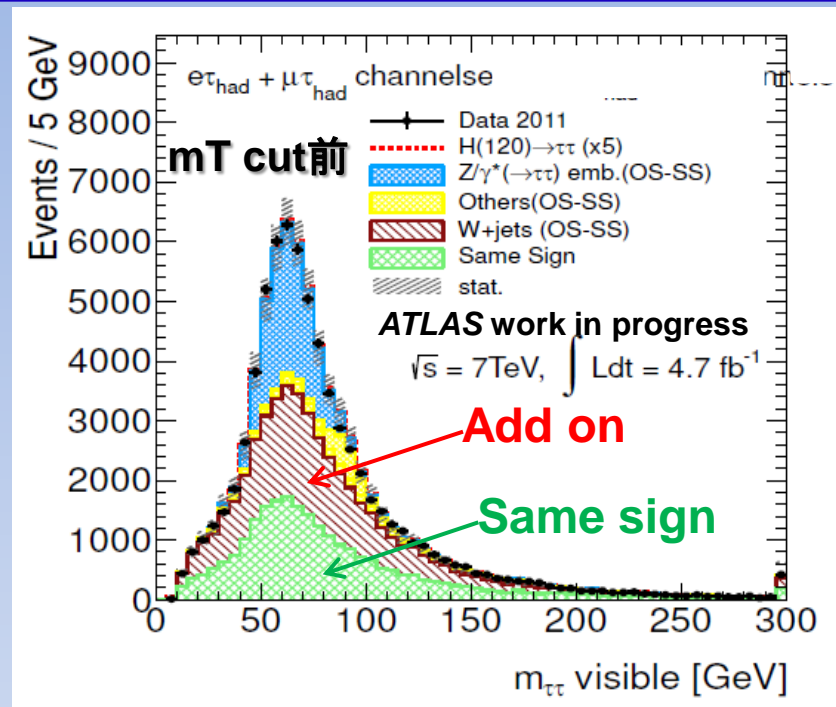
→ 少ない系統誤差でコントロール!

* VBF選択後にSSが少ないため、系統誤差も大きく、分布も正しく見積もれない。

2. Fake Factor method

• 系統誤差大きい。

• 小統計でも分布を含めて見積もることが可能。



Fake Factor(F.F) Method

τ として同定(ID)されない事象(W+jets/QCD dominant)に、Jet $\rightarrow\tau$ のfake factor をかけることで、fake τ の背景事象を見積もる。

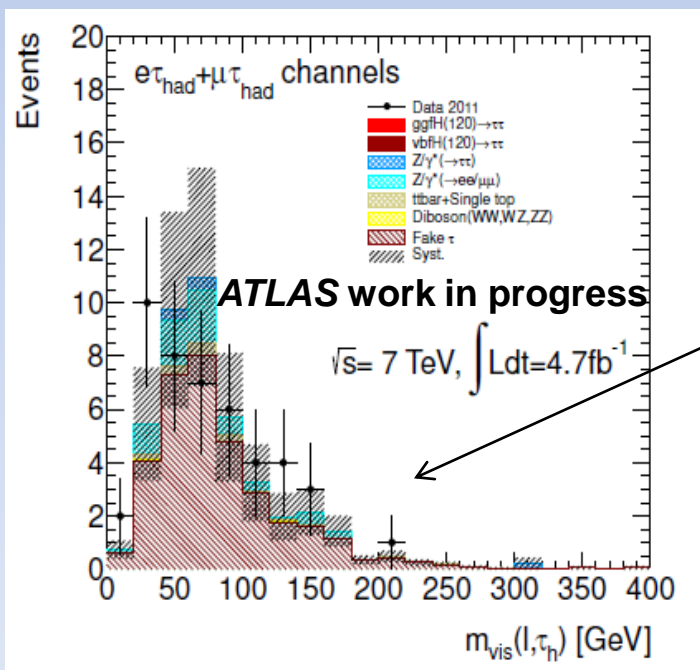
$$N_{\text{Bkg.}}^{\text{Est.}} = (N_{\text{anti-}\tau}^{\text{data}} - N_{\text{anti-}\tau}^{Z\rightarrow\tau\tau} - N_{\text{anti-}\tau}^{\text{others}}) \times \frac{F.F_{\text{MIX}}}{1 - F.F_{\text{MIX}}}$$

F.F_{MIX}

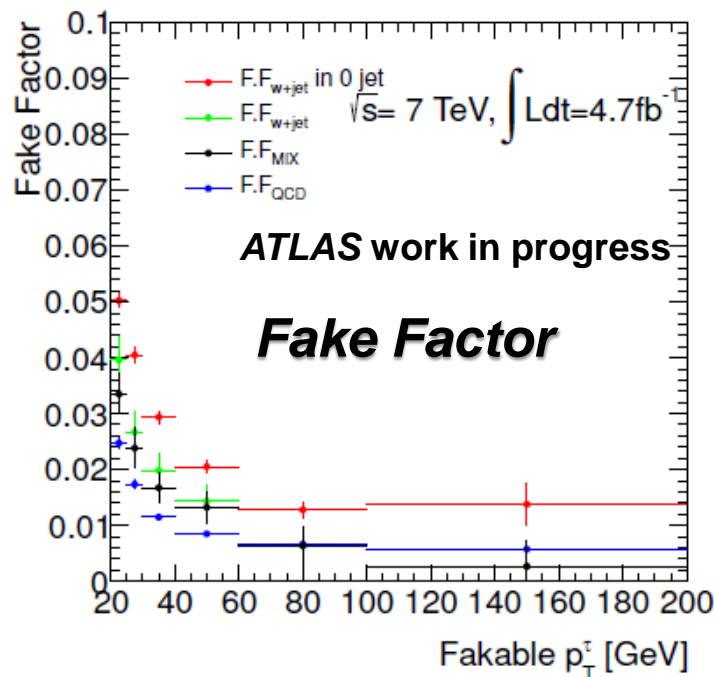
W+jets,QCDのCRで求めたそれぞれのF.Fを、Anti- τ event中のW+jets/QCD比で混ぜたもの。

Anti- τ events

- τ IDにかからなかった事象



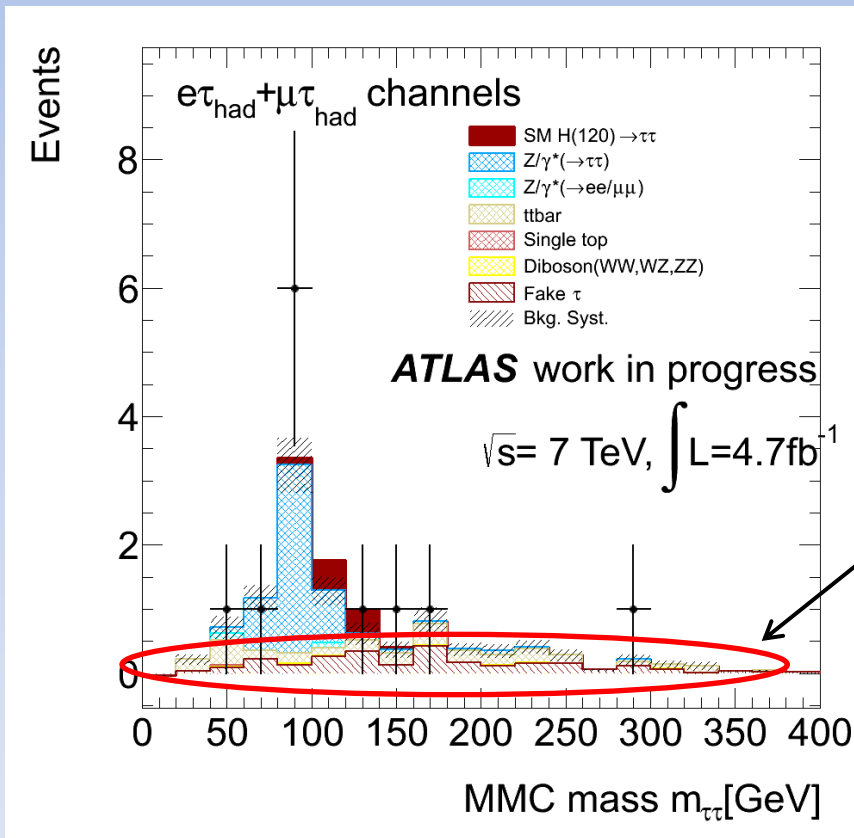
SS事象を用いた Cross-check。



M $\tau\tau$ 分布:VBF category

★Missing mass calculator(MMC)

- 最終的なdiscriminant variableとして使う。
- タウ粒子の方向と再構成可能な崩壊粒子の角度分布(θ_{3D})を仮定して質量解を探したもの。



	Number
Estimation	10.5 ± 1.8
Observed	12

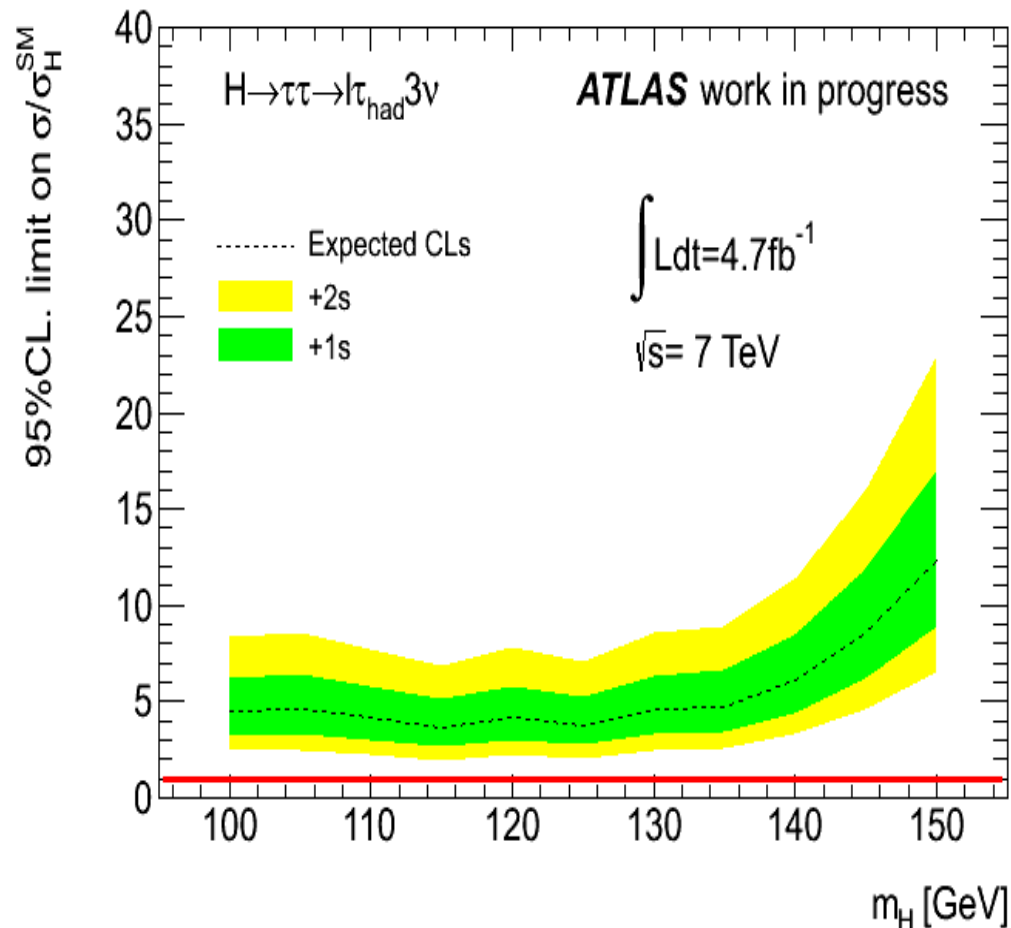
Jet/ τ
energy scale等

Fake τ

- F.F methodを用いた予想は 2.5 ± 1.3 。
- 分布決定精度もよい。
- * OS/SS methodを使った場合:
 - SS事象が1eventのみ
 - 連続的な分布として評価できない。

95% C.L. Cross Section Limit

- すべてのcategoryをコンバインして、標準模型Higgsの生成断面積上限値を算出。



Moriond結果から約30%改善
3.86 @ 125GeV

主な改善点:

VBF事象(最も感度が高い)に適したF.F.法を開発し、バックグラウンド評価 → VBF cutの最適化。

まとめと今後の予定

- 2011年秋までのデータ(4.7fb^{-1})を用いて τ 粒子を用いた Higgsの探索を行った(lepton hadron channel).
- 標準模型Higgs探索に最適化した解析法を開発した。
- 背景事象の見積もりは、誤差の範囲でデータと一致する
- Higgs生成の上限を算出した。
→ $\sigma/\sigma(\text{SM}) < 3.9$ (95%CL @ $m_H=125\text{GeV}$)
(これは従来の解析を30%向上)

予定

- VH categoryでのboosted Higgs解析
- Multivariate analysis
- 2012年8TeVデータの解析
→ $\tau\tau$ channel(ll, lh, hh combine)単独で 2σ の発見感度、もしくは exclusionを目指す。

Back up

Jet \rightarrow τ fake estimation: OS-SS method

MCによるモデルは非常に困難(Fake rate等)

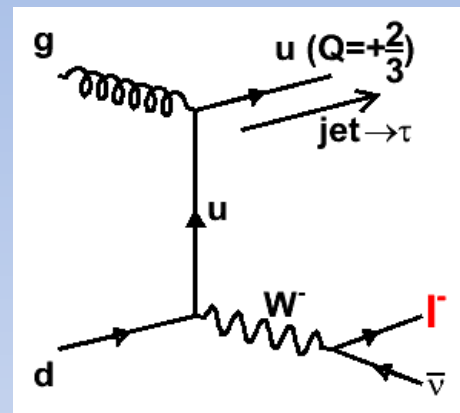
\rightarrow Same sign(SS)eventを使ってdataからQCD/W+jetsを見積もる。

① QCD (OS=SS)

補正を加えずにSS事象をOS事象の背景事象として使う。
(14%の精度でOS/SS=1)

② W+jets(OS>SS)

Wとjetには電荷の相関がある。 \rightarrow 補正が必要
補正量(OSの超過分)はMT>50GeV (W dominant region)
から見積もる。



データ中のSS events

▶ QCD, W+jetsの一部, 他の背景事象の一部が含まれる。

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

Wの補正量(Add-on)

その他の背景事象の超過分(MCから)

Z → ττ background : embedding method

Embedding method

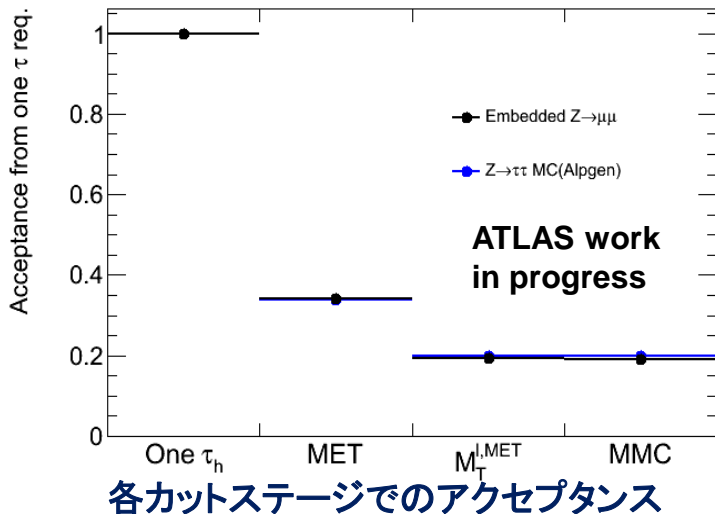
- 実データのZ → μμからZ → ττの”shape”を見積もる手法(**NormalizationはMC**)
- 1. データからZ → μμ候補を選択する。
- 2. このμμをττに置き換えて、その部分だけGeant4simulationを行う。
- 3. [実データ(μμの部分は除去)]+[ττ simulation結果]を混ぜて、イベントを再構成する。



τ 以外は全てdata-driven(pile-up , underlying and Jet activity)
 → Jet energy scaleの不定性等を減らすことができる(**34% → 11%**)。

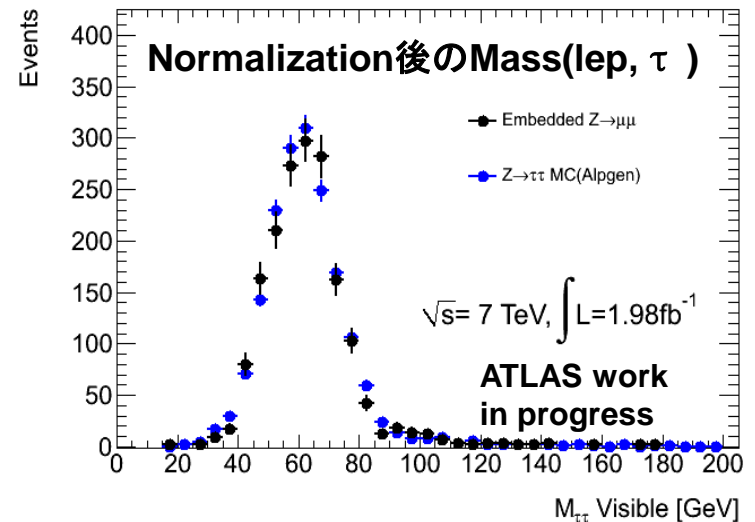
Normalization

- τ 要求後のMCの数に合わせる。
 (Jet, MET等の不定性を防げる)



Shape

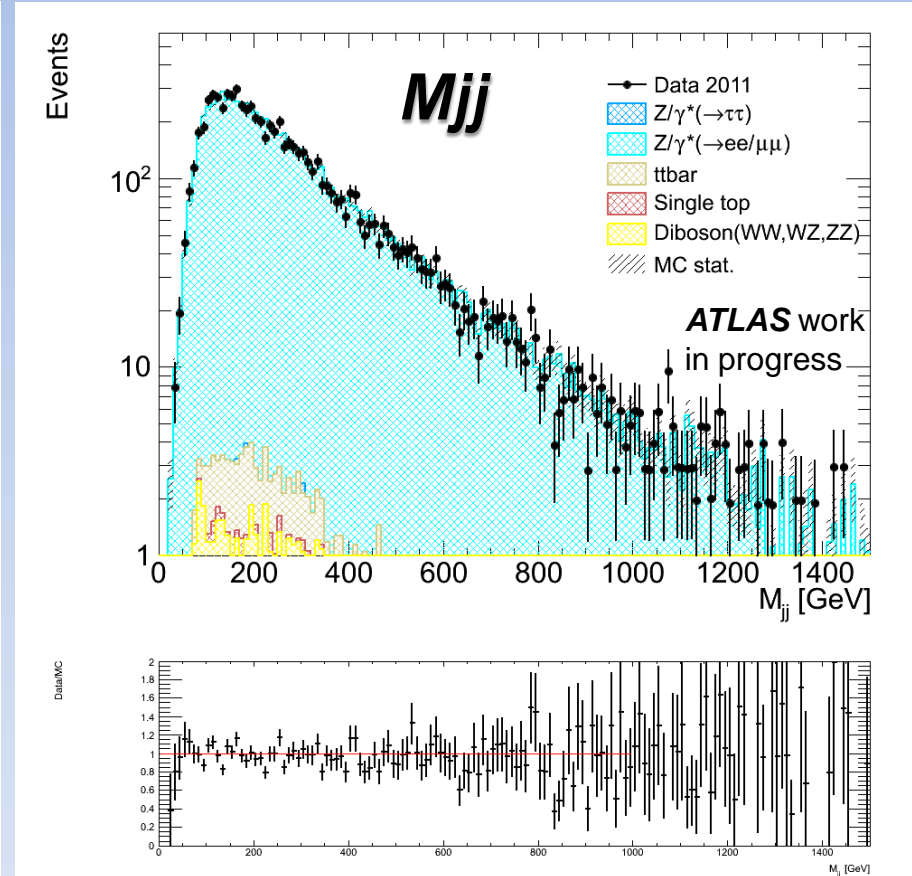
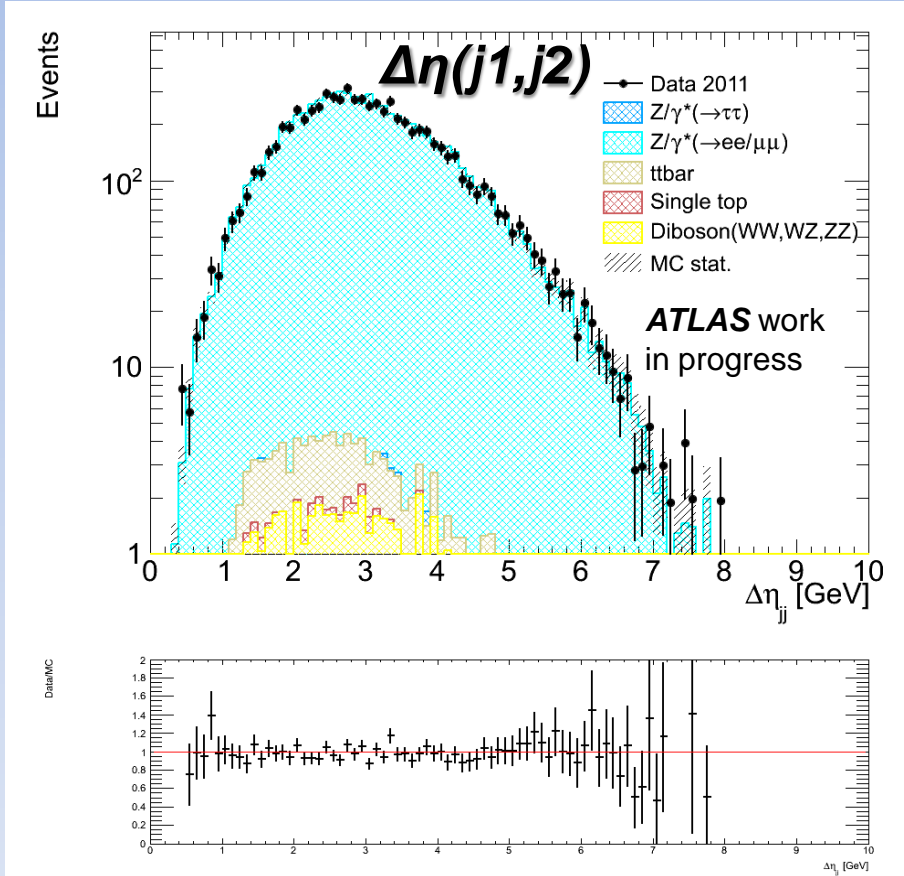
- τ 以外全てデータなのでMCより信頼できる。



Jet modeling

✓ $Z \rightarrow \mu\mu$ 事象を使ってMCのjet modelingのcheck

DataとMCを $\Delta\eta_{jj}$ 分布で補正。以下の分布は補正後のもの。



VBF cutで使う変数はデータとMCシミュレーションと良い一致。

系統誤差(MC)

- 事象数に対する不定性(VBF category)

主な系統誤差	Signal (VBF)	Z $\rightarrow\tau\tau$	ttbar
Jet/ τ energy scale	16%	18%	9.0%
τ 同定効率	4.0%	4.2%	4.8%
Electron同定効率	2.9%	2.9%	2.9%
Muon同定効率	0.7%	0.4%	0.9%
Luminosity	3.7%	3.7%	3.7%
生成断面積	1.0%	4.0%	5.0%
Generator	4.0%	13%	3.0%

VBF $H \rightarrow \tau\tau \rightarrow lh$ Candidate

