

# LHC-ATLAS 実験での $\tau$ 粒子を用いた Higgs 粒子の探索

日本物理学会 秋季大会

弘前大学

2011年9月17日

埴 慶太、中村浩二<sup>A</sup>

金信弘、受川史彦、原和彦

筑波大数理、東大セ<sup>A</sup>



筑波大学

University of Tsukuba

# LHC・ATLAS実験

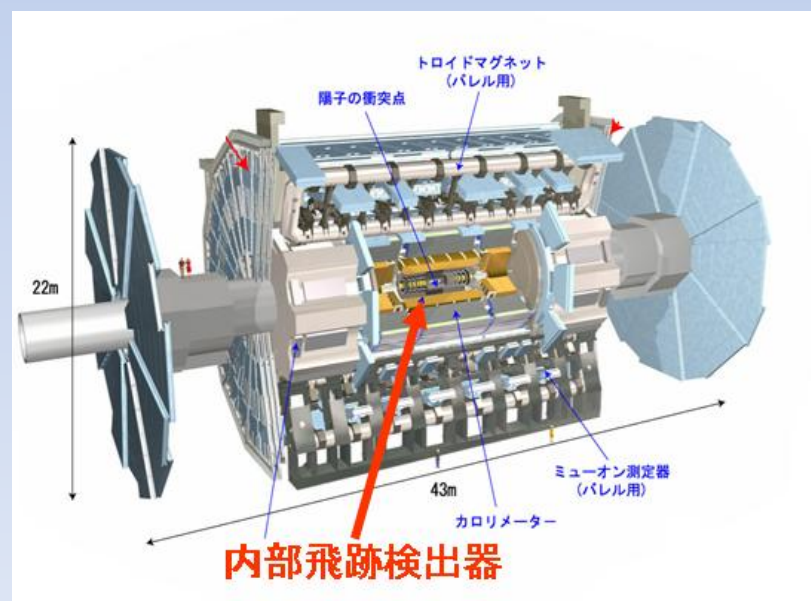
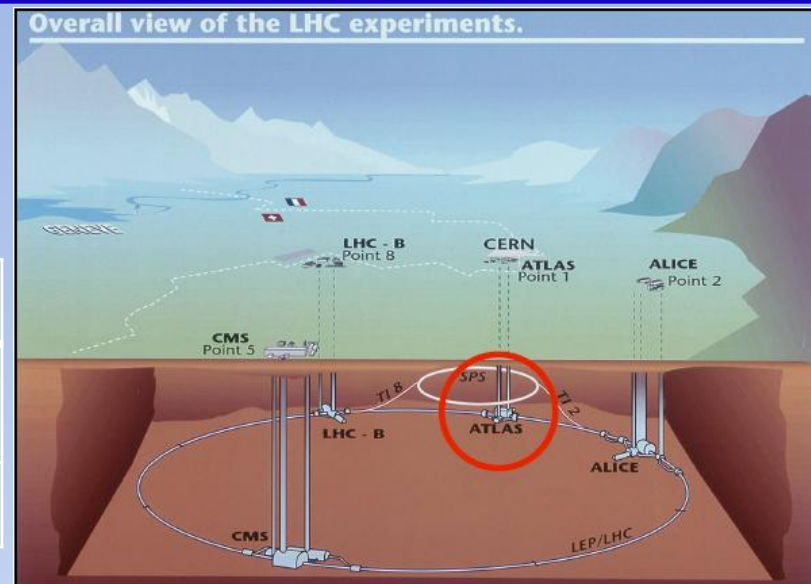
## Large Hadron Collider(LHC)

- 陽子陽子衝突型加速器
- 積分ルミノシティ(2011年分):  $\sim 2.5\text{fb}^{-1}$

	設計値	2011
重心系エネルギー[TeV]	14	7
瞬間ルミノシティ [ $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ]	$1.0 \times 10^{34}$	$\sim 3 \times 10^{33}$

## ATLAS検出器

- LHCに設置されている汎用型検出器
- Higgs粒子、超対称性粒子、余剰次元の探索などが行われている。



# 導入

## Tauを用いたHiggs探索

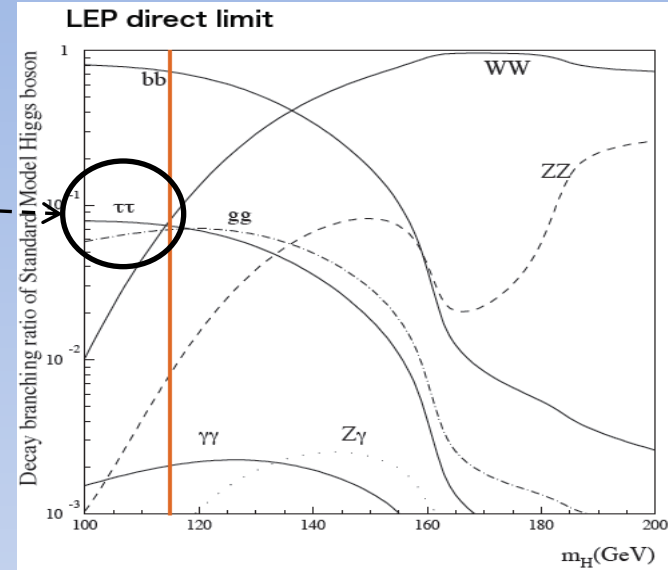
•標準模型ヒッグスがtau粒子対に崩壊する過程は、ヒッグスの質量が低い時の主要発見モード

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

•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

•本研究は $h$ チャンネル(後述)



## Tauの理解が本研究の鍵!

### 1.同定効率

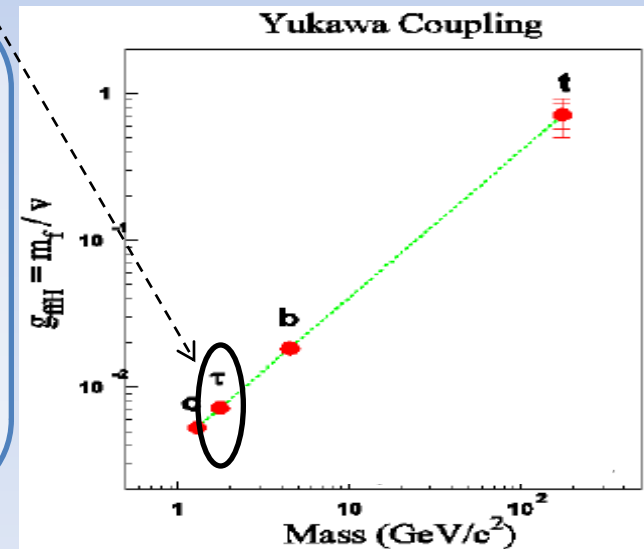
▶ Signal,  $Z \rightarrow \tau\tau$ (主背景事象)の数を正確に見積もることが重要。

▶ 本研究では $W/Z$ を使って同定効率を測定する。

### 2.Jet(粒子群)がtauに誤認識される確率

▶ 背景事象(QCD, $W$ +jet等)を見積もる際に重要

▶ 本研究ではcontrol regionから見積もる(後述)



\* $1\text{fb}^{-1}$ での結果は中村浩二氏の講演を参照(16pSE5)

# Tau粒子同定と効率測定法

## Tauの崩壊の特徴

- Tauの崩壊モードは大きく分けて二種類。レプトニック:~35%,ハドロニック:~65%
  - 奇数本の荷電トラック(tauが電荷をもつため)
  - jetの細さ (QCD jetは真空からqqbarを拾って広がる)
- } これらの情報より同定

## 同定効率測定法

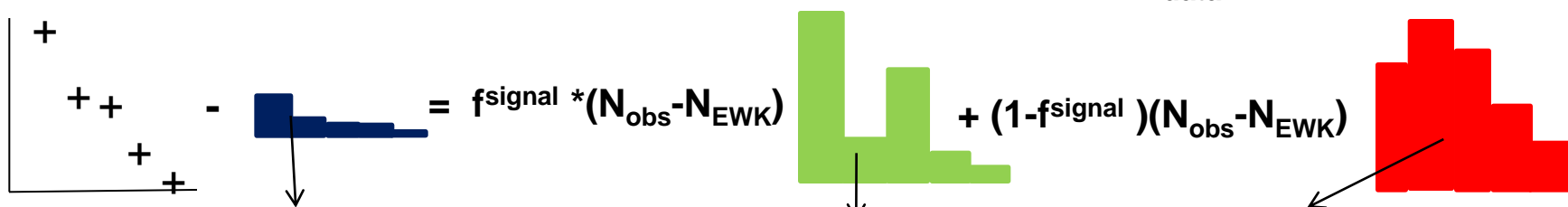
- 2つの方法:Wを使うか,Zを使うか

▶ 本研究では実験初期に統計的に有利なWを使った解析。方法は以下

### 1.W->taunu eventを効率よく捕まえる。

- 消失エネルギー(MET),横方向質量(Mt)またtau jet等の要求

### 2.飛跡(track)数分布を用いたフィッティングよりデータ中のtau( $N_{data}$ )の数を見積もる。



- **Signal** : 確率分布関数 → MC (W->TV) を用いる
- **QCD** : 確率分布関数 → 分布はデータから評価する(次項)
- **EWK** : W/Zがtau又はtau以外に崩壊する場合の過程でshapeはMC, normalizeは observed cross section(W/Z) .

### 3. 2で求めた $N_{data}$ とMCの期待値との比較より同定効率のずれ(Scale factor)を評価。

# QCD modeling

QCD過程はEWK過程と比較して、MCで実験事実を詳細に記述するのは困難であり、不定性も大きい。

→データからtau Signal regionのトラック分布の形を抽出する。

## QCD modeling

以下の2つのmodelingを用いる

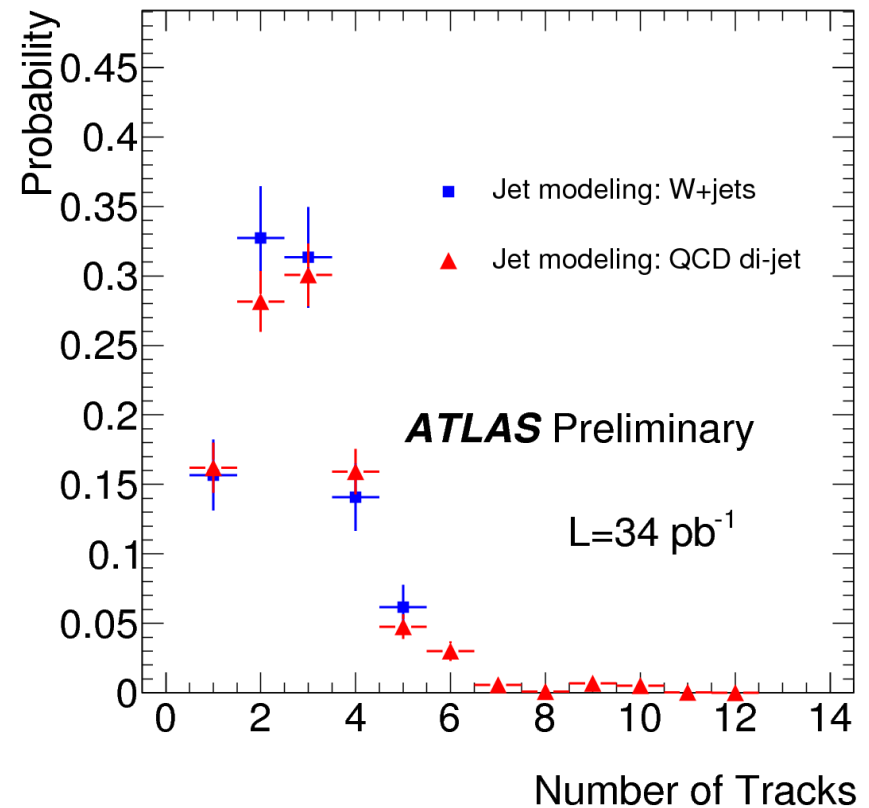
### 1. based on W+jets (中心値)

W  $\rightarrow$  lnu過程に付随するjet がtauにfakeするeventがQCD backgroundとして支配的。  
→dataからW $\rightarrow$ enu+jet eventを選別しそれに付随するjetがtauへfakeした時のtrack分布をQCD modelingとする。

### 2. Based on QCD-dijet

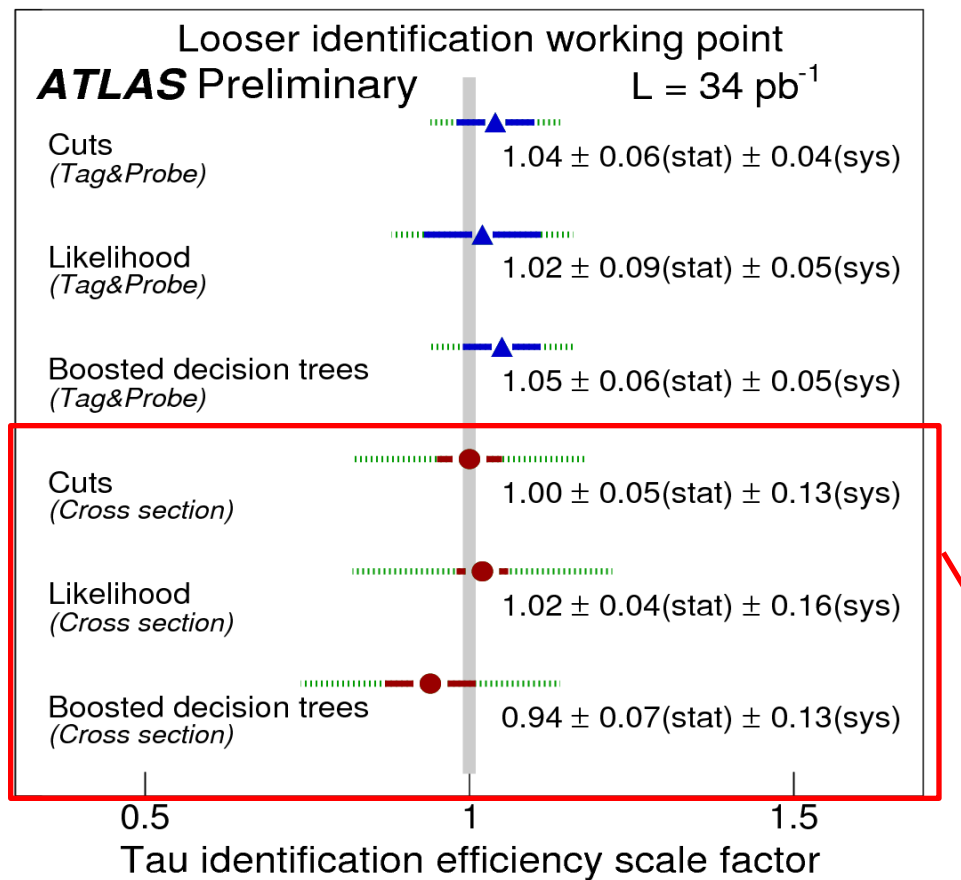
方法1のcross check(MC predictionが間違っている可能性もあるため)としてQCD di-jet eventが支配的な領域のtrack分布を使う。

\*track分布はsignal領域とcontrol領域の横方向運動量の違いを補正したものを使う。

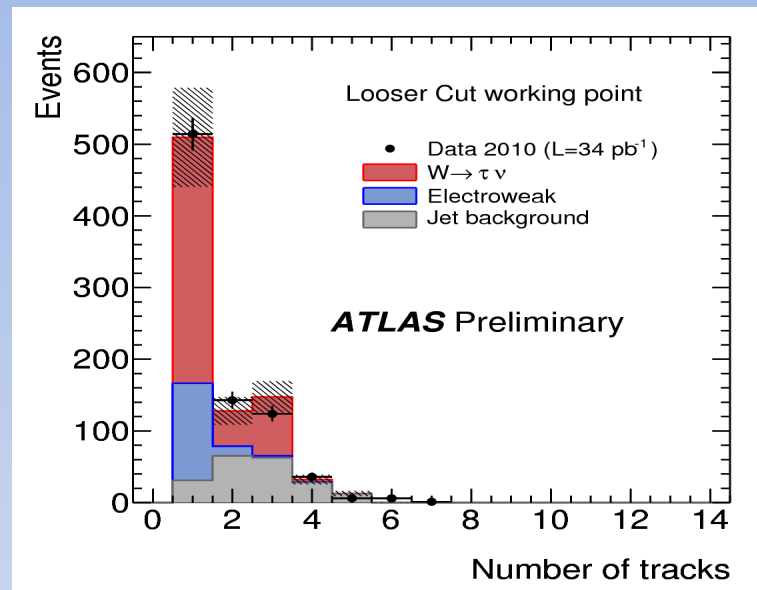


# $\tau$ 同定効率の測定結果

## Tau同定効率の結果(Scale factor:SF)



## フィッティング例



- MCはdataを良く再現(エラー内でSF~1)
- tauエネルギースケールの不定性が支配的(~10%)

- 測定結果はSF=1にコンシステント→**SF=1とする。**
- 2011年の高統計のデータではZからSFを出したものがもっとも不定性が小さい。  
→Higgs探索に用いたtauIDの不定性は~9%

# Higgs探索: dataset and event selection

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

•Luminosity :  $2.0\text{fb}^{-1}$

•Trigger : “single lepton trigger”

(muon)  $pt > 18\text{GeV}$

(electron)  $pt > 22\text{GeV}$

•Event selection

1. Isolated lepton

(muon)  $pt > 20\text{GeV}$

(electron)  $pt > 25\text{GeV}$

2. 二つのレプトンが存在しない。

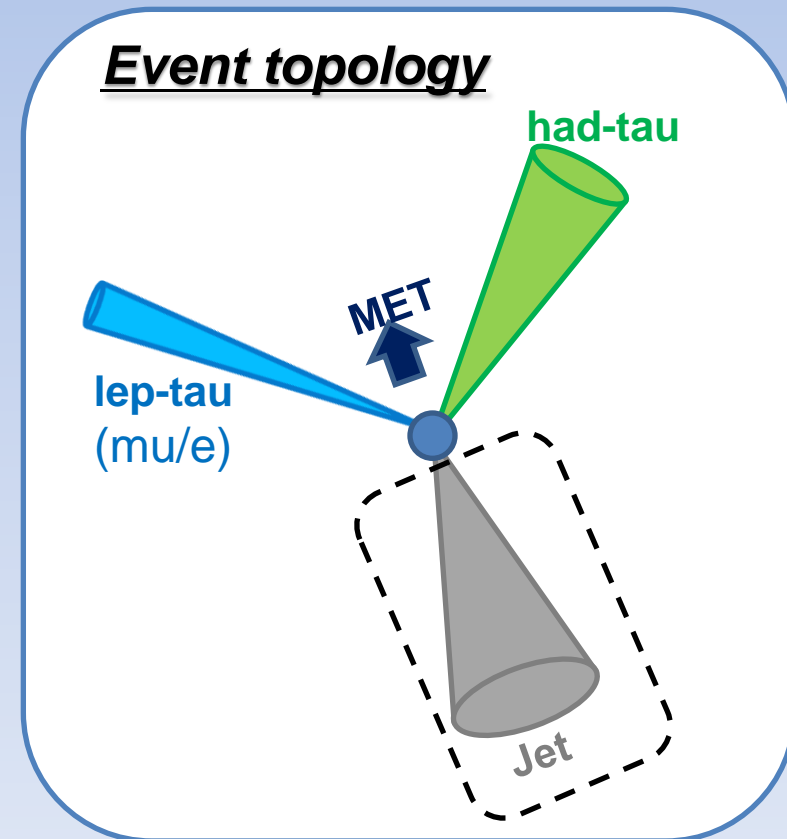
(Zやttbarを落とす)

3. レプトンと異符号(opposite sign:OS)のtauが存在する。

4. Missing  $E_t > 20\text{GeV}$

5. Transverse mass(lepton, MET)  $< 30\text{GeV}$

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





# Backgrounds

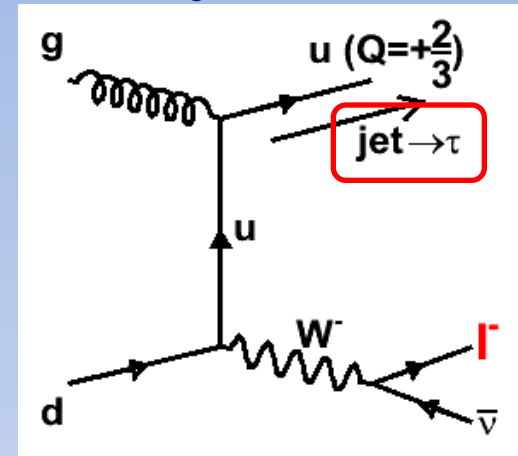
## 1. Fake background

- Jetがtauに誤認識されるもの

▶ QCD and W+jets

レプトンとtauのchargeが同電荷(same sign)のeventを使って見積もる。(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, tau and MET.

▶  $Z \rightarrow \tau\tau$

主背景事象、embedding method(後述)で見積もる。

▶  $Z \rightarrow ee/\mu\mu$ ,  $t\bar{t}$  and di-boson

MC simulationより見積もる。



# Jet $\rightarrow$ $\tau$ fake estimation: OS-SS method

MCによるモデルは非常に困難(Fake rate等)

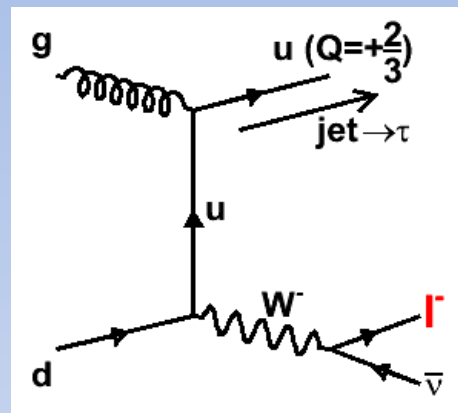
$\rightarrow$  Same sign(SS)eventを使ってdataからQCD/W+jetsを見積もる。

## 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->mumuからZ->tautauの”**shape**”を見積もる手法(**NormalizationはMC**)

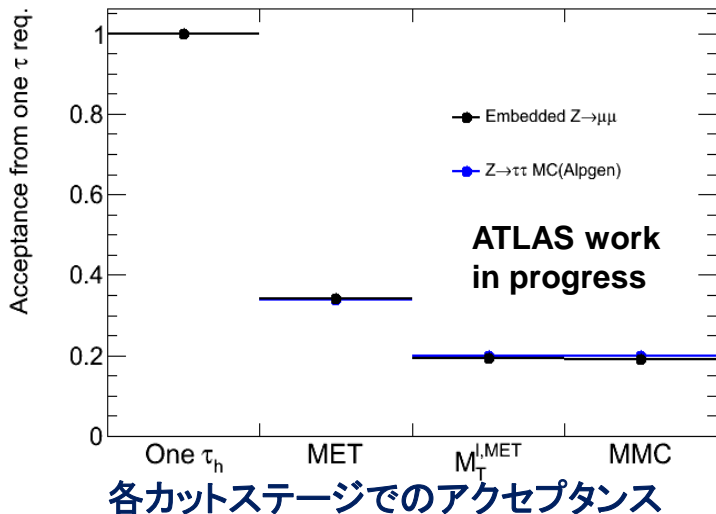
1. データからZ->mumu候補を選択する。
2. このmumuをtautauに置き換えて、その部分だけGeant4simulationを行う。
3. [実データ(mumuの部分は除去)]+[tautau simulation結果]を混ぜて、イベントを再構成する。



**Tau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%)**。

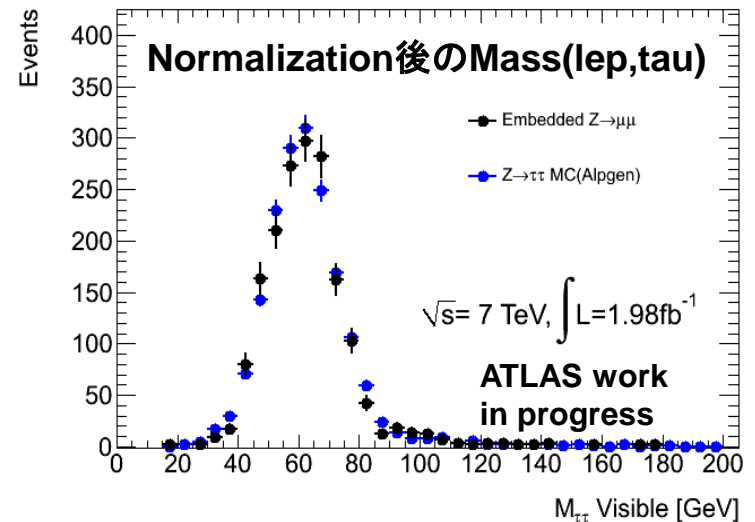
## Normalization

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



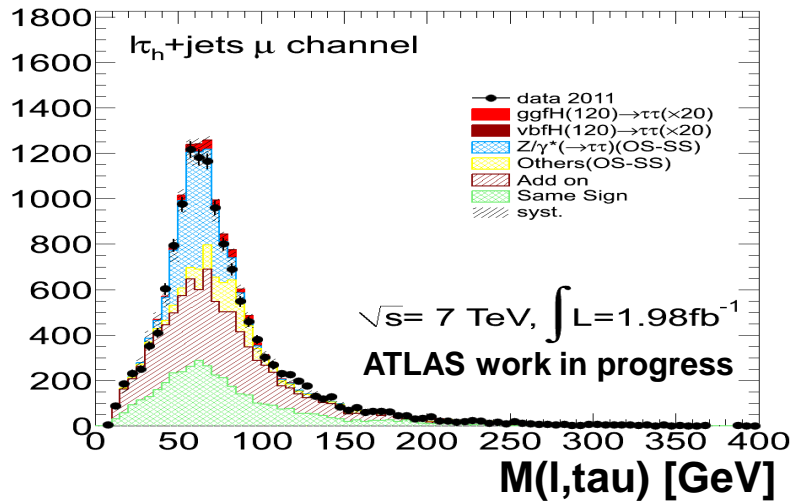
## Shape

- Tau以外全てデータなのでMCより信頼できる。

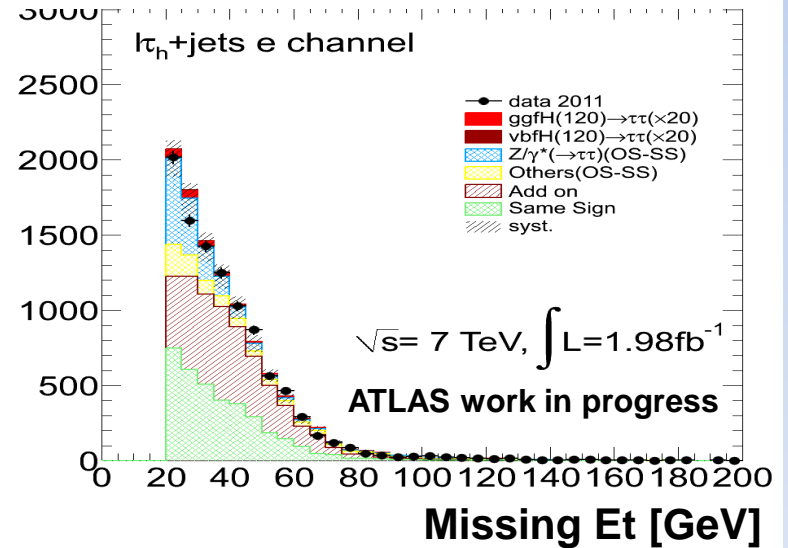
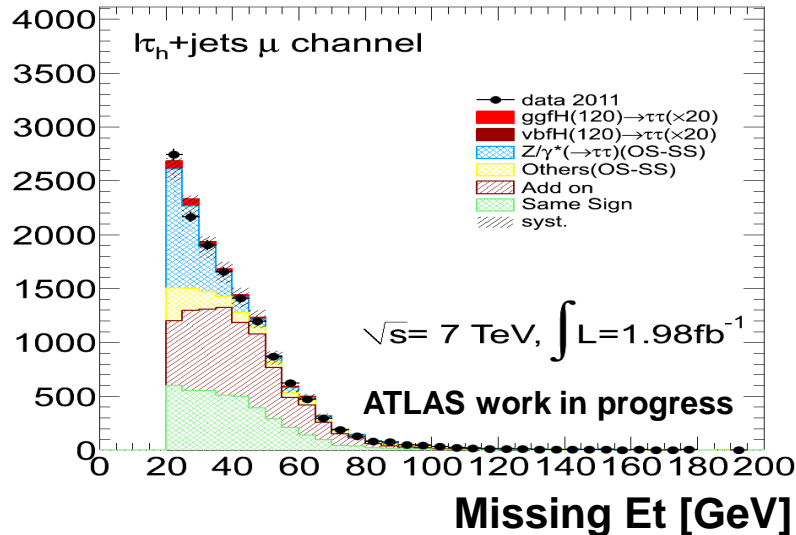
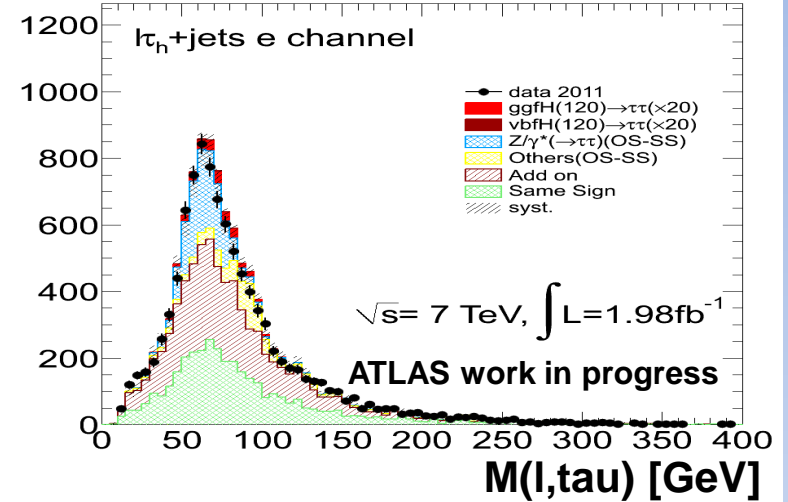


# Kinematics : Mass(lep,tau) and Missing Et

muon channel



electron channel



いずれのチャンネルもestimationとデータが不定性の範囲内で合っている。

# Results

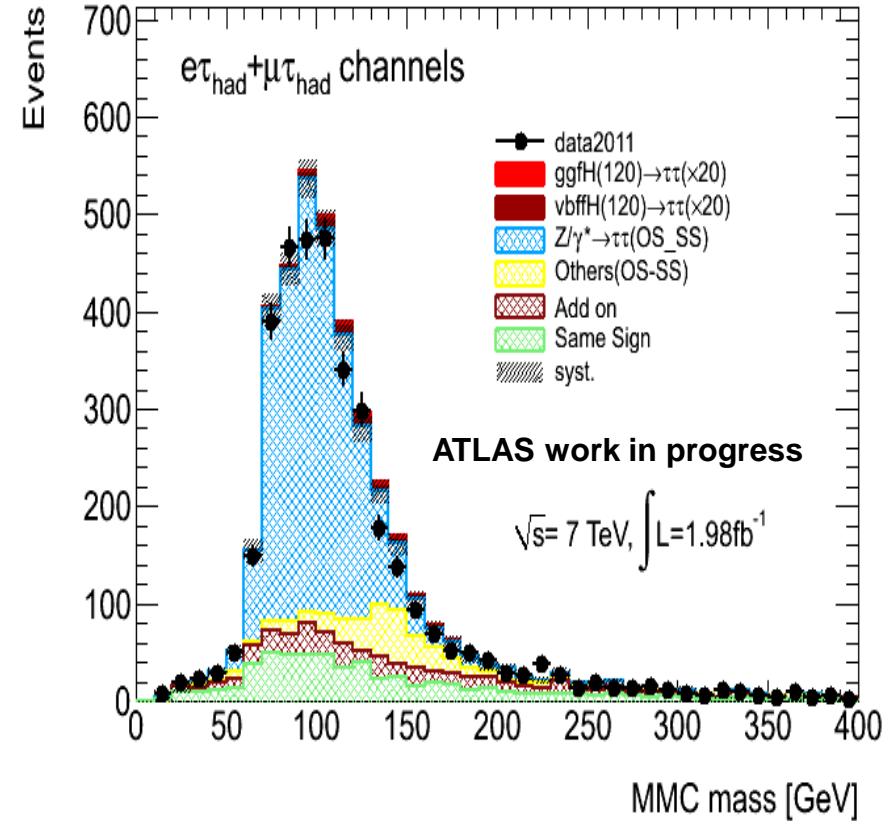
## ★Missing mass calculator(MMC)

- 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( $\theta_{3D}$ )を仮定して質量解を探したもの。

## ★系統誤差

- Tau/Jet エネルギースケール, Tau同定効率の不定性が支配的。

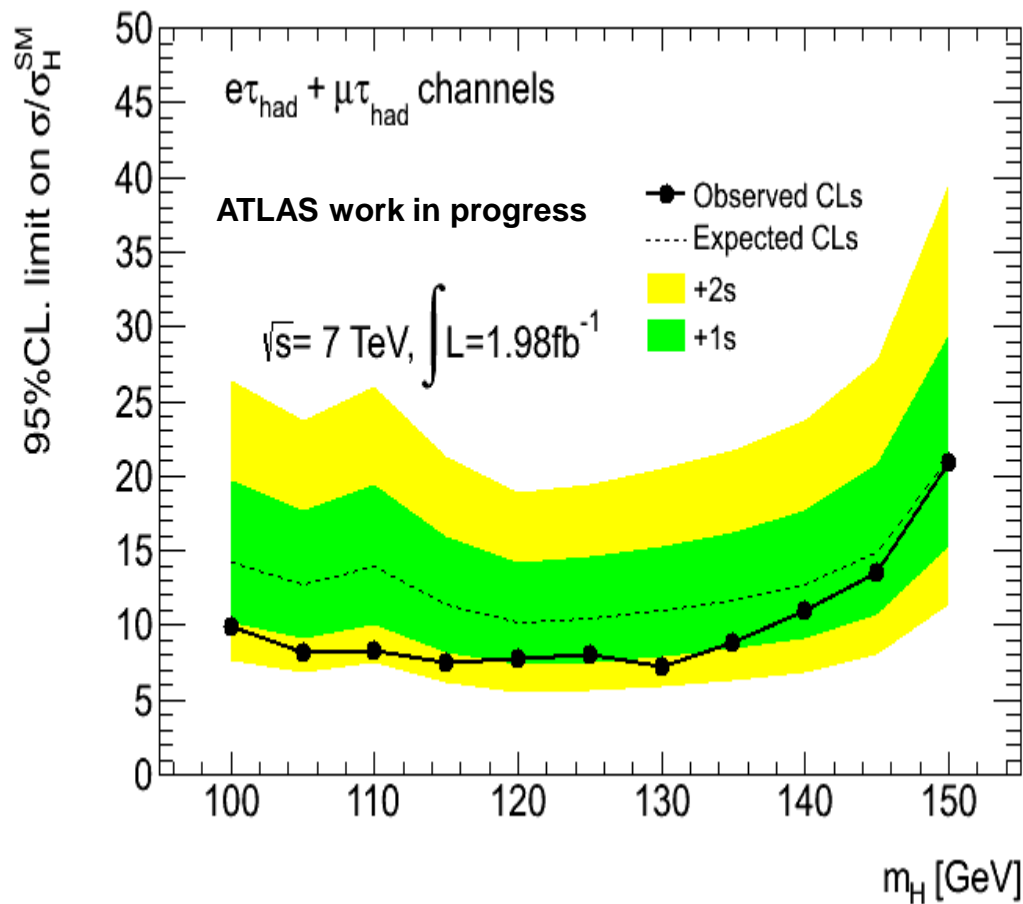
	Signal	Z $\rightarrow\tau\tau$	Typical value
Jet/tau energy scale	21%	11%	5-10%
Tau 同定効率	9.1%	9.1%	9.1%



- データにbackground expectationからの大きなexcessはない。
- 95% C.L.のlimitを算出(次項)

# 95% C.L. Cross Section Limit

e+tau channelとmu+tau channelをコンバインして、  
Higgsの生成断面積上限値を算出。



- 標準理論( $M_H=120\text{GeV}/c^2$ )の約8倍の制限(expectedは約10倍)
- すでに系統誤差が支配的。
- 解析のimproveが必要  
→VBF eventなど(将来)

\* $1\text{fb}^{-1}$ での結果は中村浩二氏の講演を参照(16pSE5)

# Summary and plan

## TauID efficiencyの測定

- W事象を用いてhadronic tau 同定効率の測定を行った。
- 約15%の測定精度でMCの期待値とコンシステント

## Higgs探索

- 2fb-1のdataを用いてTau粒子を用いたHiggsの探索を行った(lh channel).
- Background(Jet->tau fake ,Z->tautau)の評価を行った。  
→エラーの範囲内でdataをよく再現。
- Higgs Massに対してlimitを算出(8倍のlimit@120GeV)。

## 予定

- Vector boson fusion processの研究
- Low stat.のbackgroundを見積もるため, $\tau$  fake rateを用いた背景事象の見積もり
- Tau energy測定の改善(trackの情報を用いる)

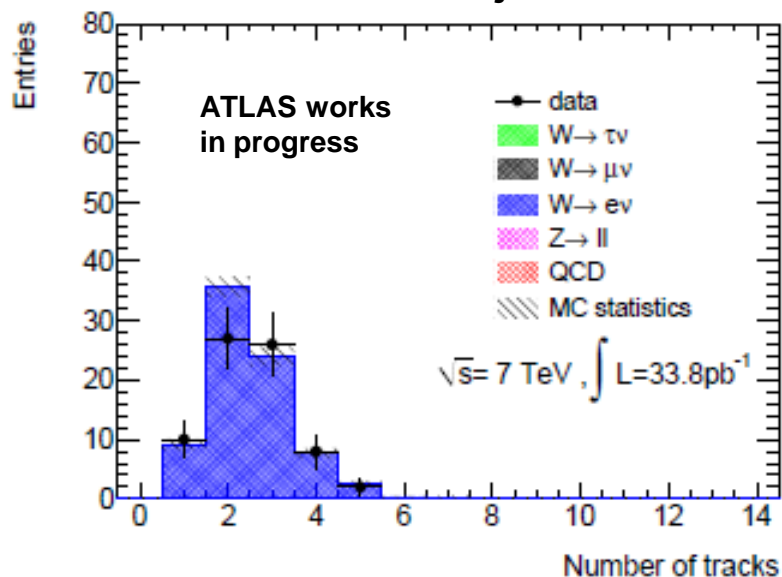
# Back up



# Based on W+jets modeling

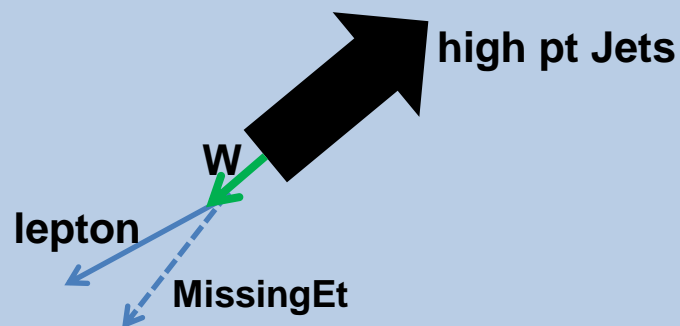
- 前述のように本解析において主要なback groundは右図のようなW+jet事象である。
- そこでW→enu+jet事象を用いて、この過程におけるjetがtauにfakeした時のtrack分布をsignal regionのQCD modeling とする。

W→ev selection後のfake jetのTrack分布



## Property in large MET events

-> High Pt jet and boosted W boson



•  $M_T$  and  $d\Phi(\text{Jet}, \text{Met})$  are background like.

- 左図より、event selection後のfake jetはMCとdataで良い一致を示す。
- data plotをQCD modelingとして使う。

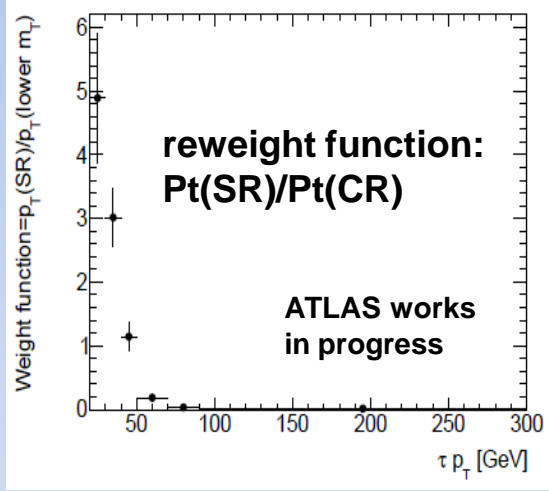
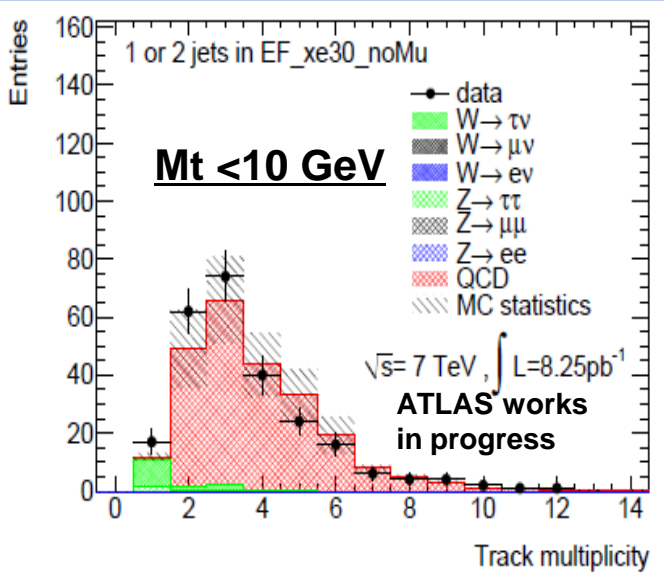
# Based on di-jet for modeling systematic

- 前述のようにMC predictionが間違ってることも考えられる。  
(主にq-jet, g-jetの違い等, 前述のW+jet事象はLHCではq-jet dominant)
- そこでMtの低いregionのtrack分布をreweight function  $\{Pt(SR)/Pt(CR)\}$  を使ってevent毎に補正した分布をsignal regionのtrack分布として用いる。

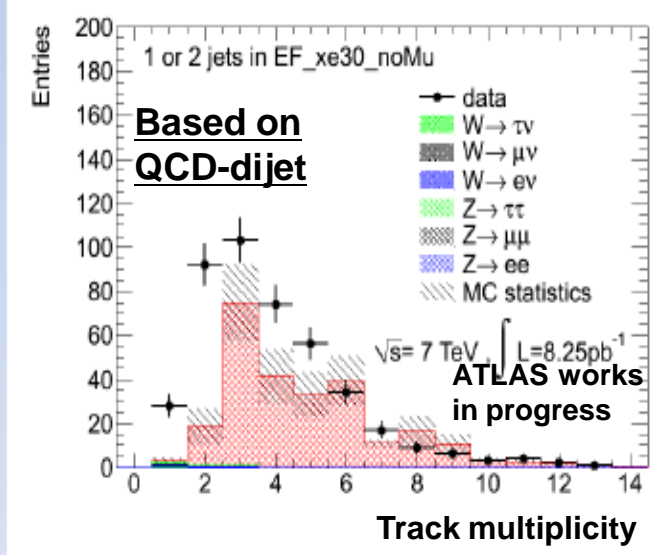
SR, CRはMt領域で以下のように定義  
 •SR : Mt window (page 6)  
 •CR : Mt < 10 GeV



二つのmodelingのTauID SFの違いをQCD modelingのsystematic uncertaintyとする。



- Reweight event by event.
- EWKs are subtracted.



- Mtの低い量式ではQCD(赤)di-jet eventが支配的であり、dataもよく再現する。
- W/Z等のelectroweakはMCのpredictionを使って引く。

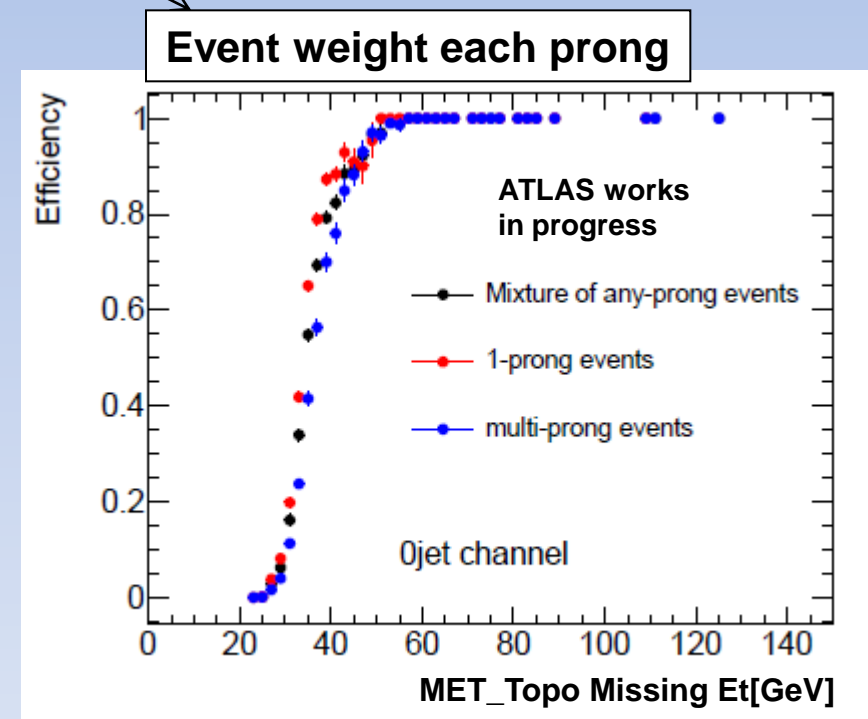
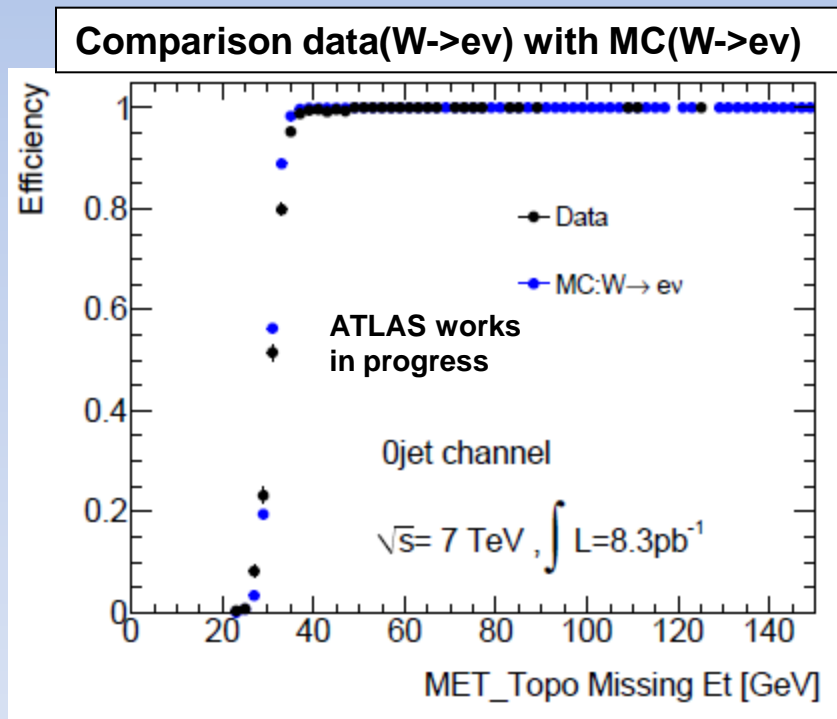
# MET Trigger 効率の評価

-Trigger効率を含まないtauID SFを評価するため、MET trigger 効率を求める。

## 方法

Lepton triggerでW->enu eventを捕まえ、その事象を使い、以下の式のようにしてMET trigger efficiencyを評価する。

$$\text{EventWeight} = \text{data}(W \rightarrow e\nu) \frac{\text{MC}(W \rightarrow \tau\nu)}{\text{MC}(W \rightarrow e\nu)}$$

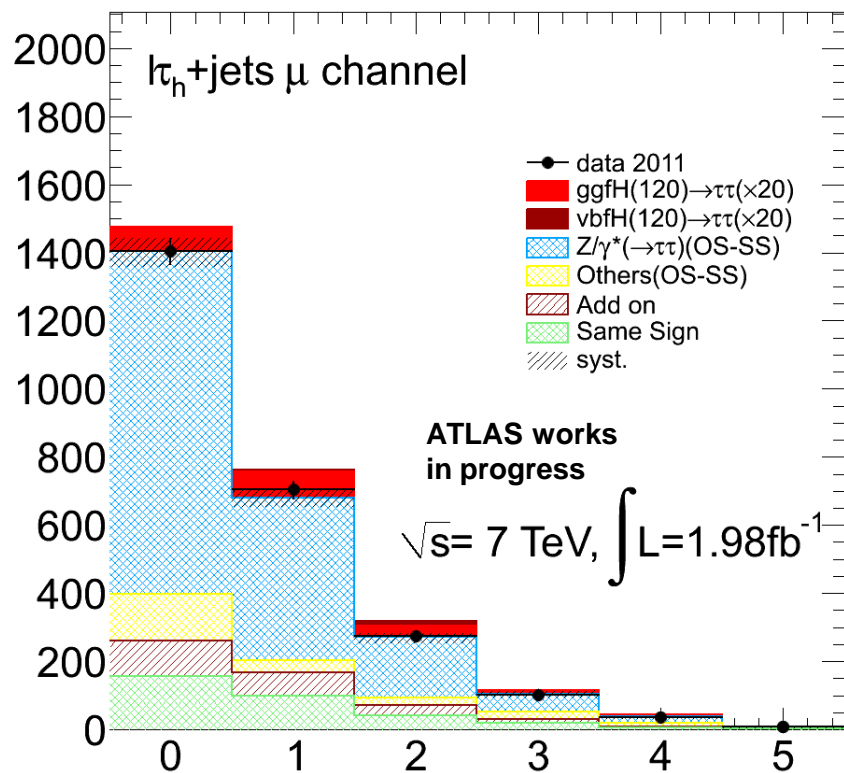


Event毎に右plotのevent weightを適用する。

また系統誤差の評価としてprong(tau cone中のtrack数)毎のevent weightを用いる。

# Jet multiplicity

## Signal region



## Mt cut前

