

# ATLAS 実験におけるW事象を用いた $\tau$ 粒子同定効率の評価

日本物理学会春季大会

新潟大学

2011年3月25日

## 目次

### 1. 導入

-LHC・ATLAS実験, 研究の動機

### 2. 研究方法

-Event selection , QCD モデリング

### 3. 結果

-フィッティング、系統誤差

### 4. まとめと今後

埴 慶太、金信弘、受川史彦、原和彦、  
望月和也、津野総司<sup>A</sup>、中村浩二<sup>B</sup>  
筑波大数理、高工研<sup>A</sup>、東大セ<sup>B</sup>

# LHC・ATLAS実験

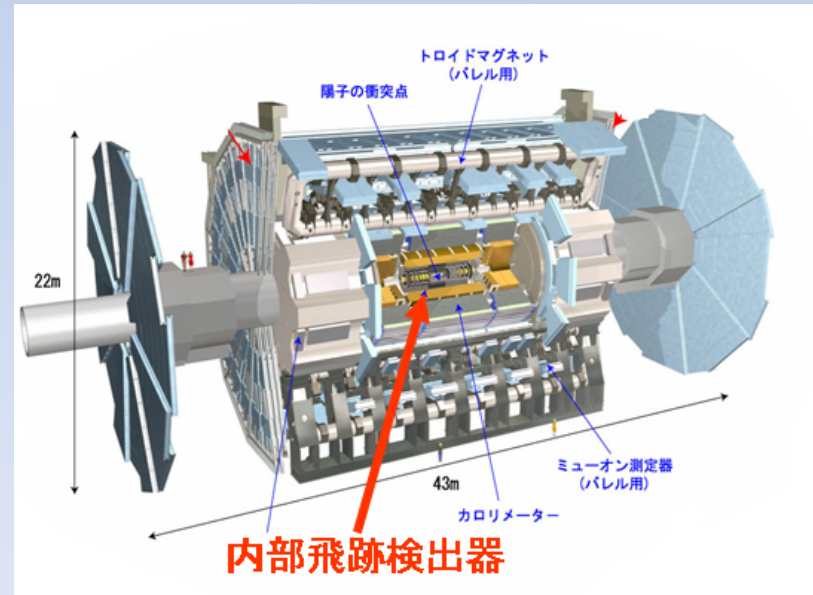
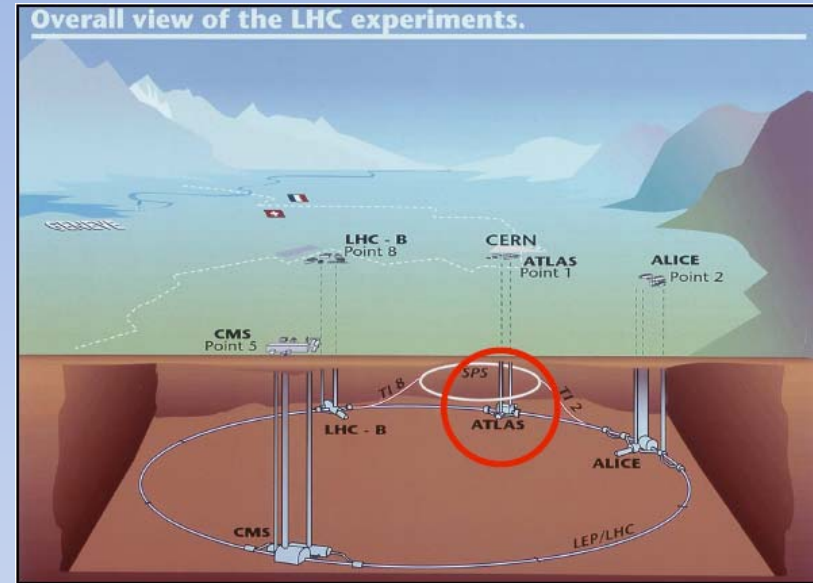
## Large Hadron Collider(LHC)

- 陽子陽子衝突型加速器
- 積分ルミノシティー(2010年分): $\sim 35\text{pb}^{-1}$

	設計値	現在
重心系エネルギー [TeV]	14	7
ルミノシティー [cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ]	$1.0 \times 10^{34}$	$1.0 \times 10^{31}$

## ATLAS検出器

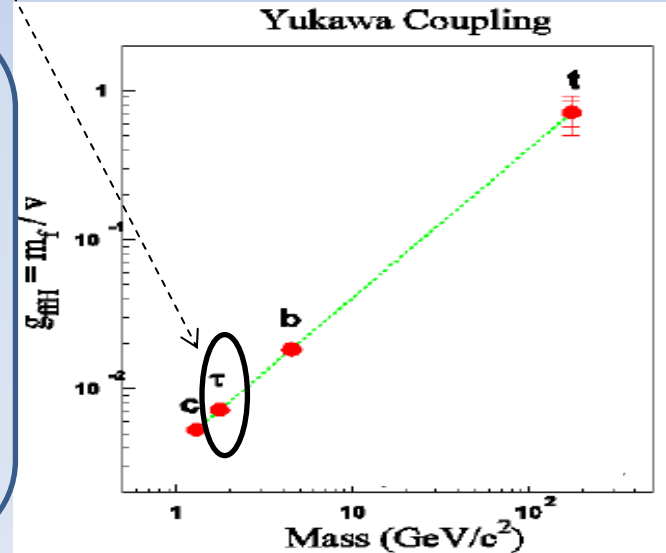
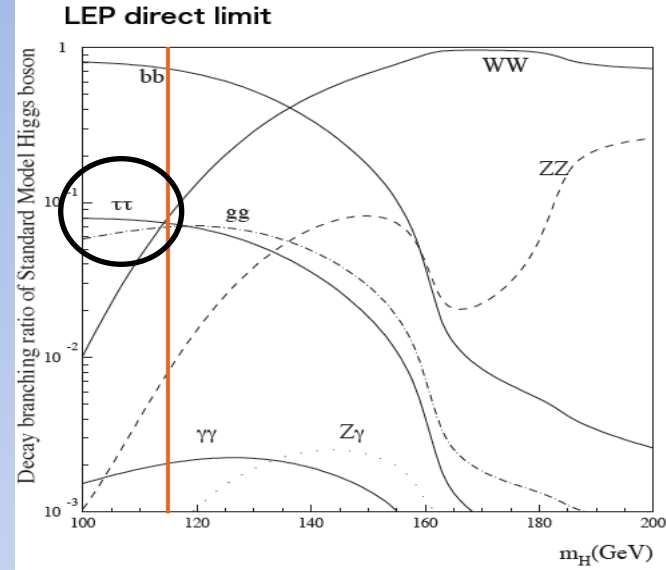
- LHCに設置されている汎用型検出器
- Higgs粒子、超対称性粒子、余剰次元の探索などが行われている。



# 研究の動機

## Why tau ?

- 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
- 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  
SUSYのモデルやパラメーターによってはtauが多く生成されるので、結合定数の測定により、モデルやパラメーターの絞り込みが可能。



## 本研究では

- W->tau nu事象を用いてtau同定効率のモンテカルロとデータの比(Tau ID Scale Factor=data/MC )を測定する。

- tauの生成断面積  $\sigma$  :  
(アクセプタンスAccはMCで評価) 
$$\sigma = \frac{N_{data}}{\text{Lumi} \times \text{Acc} \times \text{SF}}$$

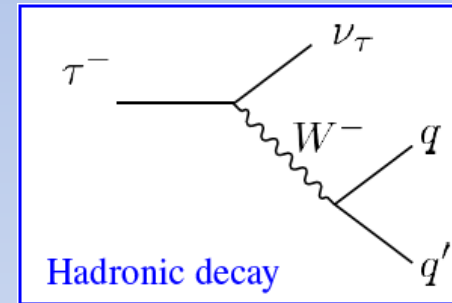
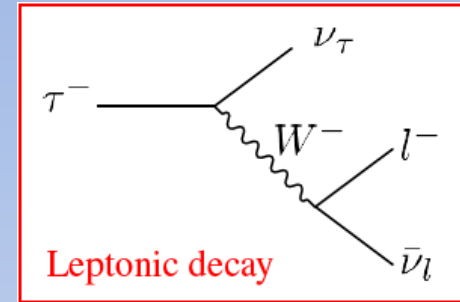
Tau ID Scale Factor(SF)の測定は、標準模型(SM)H->tautauやMSSM h/A->tautau過程の研究等の重要な鍵になる。

# Tau の同定

## Tauの崩壊モードと特徴

leptonic崩壊モードでのleptonはprompt leptonと見分け難い。  
 -> 本研究では、hadronic tauの同定(以下tauID)のみ考える。  
 (ATLAS実験でもhadronic tauが主対象モード)

	主な崩壊モード	Br
Leptonic	$\tau^- \rightarrow l^- \nu \nu$	35.2%
<b>Hadronic</b>		64.8%
1-prong	$\tau^- \rightarrow \pi^- \nu_\tau + N \pi^0$ (N=0,1,2)	- 46.7%
3-prong	$\tau^- \rightarrow \pi^- \pi^+ \pi^- \nu_\tau + N \pi^0$ (N=0,1)	- 11.7%

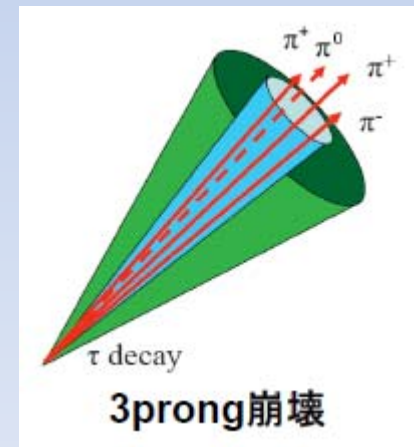


## Hadronic tauの特徴

- ☑ 1本または3本の荷電トラック
- ☑  $\pi^\pm, \pi^0$ がブースト (tau質量に対し、 $\pi$ が極めて軽いため)
- 細い領域に1または3荷電粒子が存在するJet



しかし、QCDからのbackgroundが多く、その評価が困難。  
 -> 実験データから実際にtauIDを評価することは、tauを含む物理解析において非常に重要。



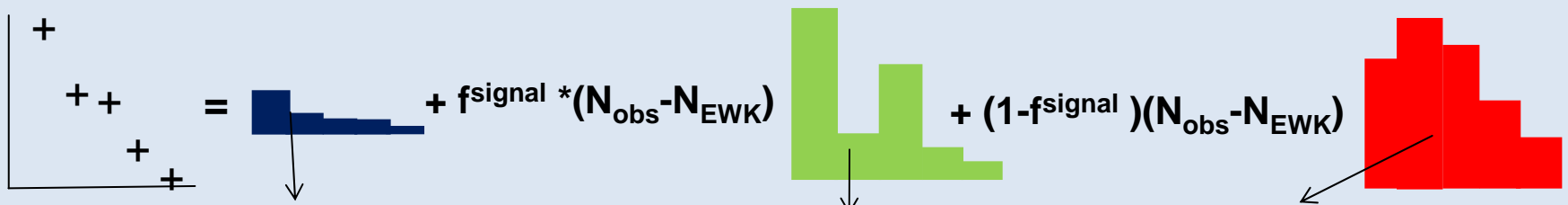
# 研究方法

## ～W->tau nu事象を用いたTau ID Scale Factor の測定～

1. W->taunu eventを効率よく捕まえる。

- nu=消失エネルギー(MET)の要求: エネルギーのベクトル和から評価
- tau jetの要求: tau jetの細さの特徴を用いる
- 横方向質量(Mt)の要求: tauの横方向運動量とMETで組んだ質量がWの質量に近い。

2. 上記のイベントセレクションで残った事象のtau候補について、飛跡(track)数分布をbackgroundを含めた分布でフィットし、Wからのtauの割合f(=fraction)を求める。



- **Signal** : 確率分布関数 → MC (W->τν) を用いる
- **QCD** : 確率分布関数 → 分布はデータから評価する(後述)
- **EWK** : W/Zが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. フィットで得られたf からTau ID Scale Factor SFを導出。

$$SF = \frac{f * (N_{obs} - N_{EWK})}{\sigma(W \rightarrow l\nu) * \int \text{ミノシティー} * \text{アクセプタンス}}$$

← 上記の方法から評価した実験データ中のtau数

← 測定されているσ(W->lν)断面積とMCアクセプタンスから期待されるtau数

# Dataset and event selection

## Trigger

- tauIDの影響を小さくするためMET triggerを使用
- MCから期待されるtau数を出すため右図のようにPeriod毎にunprescaled triggerを使用

### \*Trigger menu

EF\_xe30\_noMu(EF\_xe40\_noMu)

-MET閾値>30GeV(>40GeV)のtrigger

Period	EF_xe30_noMu	EF_xe40_noMu
E	1.0	-
F	1.8	-
G	5.4	-
H	-	5.5
I	-	20
Total	8.3	26

## カテゴリー分け

-Triggerやeventに付随するjetの数によって,kinematicsやtauのpurityが大きく違うため以下のような3つのカテゴリーに分けて,pre-section 後さらに下のtableのようなselectionをかける。

- 0jet in EF\_xe30\_noMu
- 1 or 2jets in EF\_xe30\_noMu
- 0,1 or 2jets in EF\_xe40\_noMu

	EF_xe30_noMu	EF_xe40_noMu
no jet	$E_T^{\text{miss}} > 30 \text{ GeV}$ $60 < m_T < 100 \text{ GeV}$ $VtxE_T^{\text{miss}} \text{ significance} > 6$	$E_T^{\text{miss}} > 40 \text{ GeV}$ $20 < m_T < 80 \text{ GeV}$ $VtxE_T^{\text{miss}} \text{ significance} > 8$
1 or 2 jets	$E_T^{\text{miss}} > 30 \text{ GeV}$ $30 < m_T < 90 \text{ GeV}$ $VtxE_T^{\text{miss}} \text{ significance} > 7$	$VtxE_T^{\text{miss}} \text{ significance} > 8$

ただし各変数は以下に従う。

$$m_T = \sqrt{2 p_T^{\text{lep}} E_T^{\text{miss}} (1 - \cos \Delta \phi)}$$

$$\rightarrow VtxE_T^{\text{miss}} \text{ significance} = \frac{E_T^{\text{miss}}}{\sqrt{\Sigma p_T}}$$



# QCD shapeのモデリングの研究

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

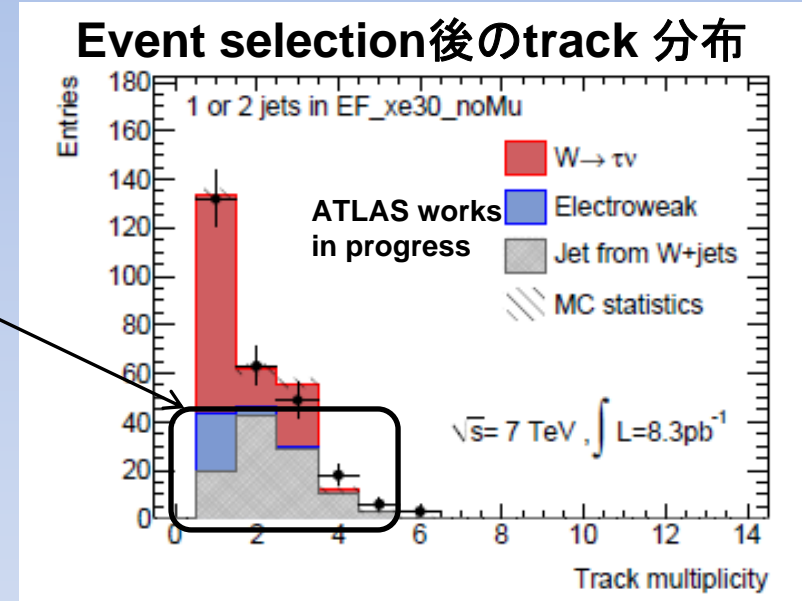
右図よりW  $\rightarrow$   $\nu$ 過程に付随するjet がtauにfakeするeventがQCD backgroundとして支配的。

$\rightarrow$  dataからW  $\rightarrow$   $\nu$ +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。

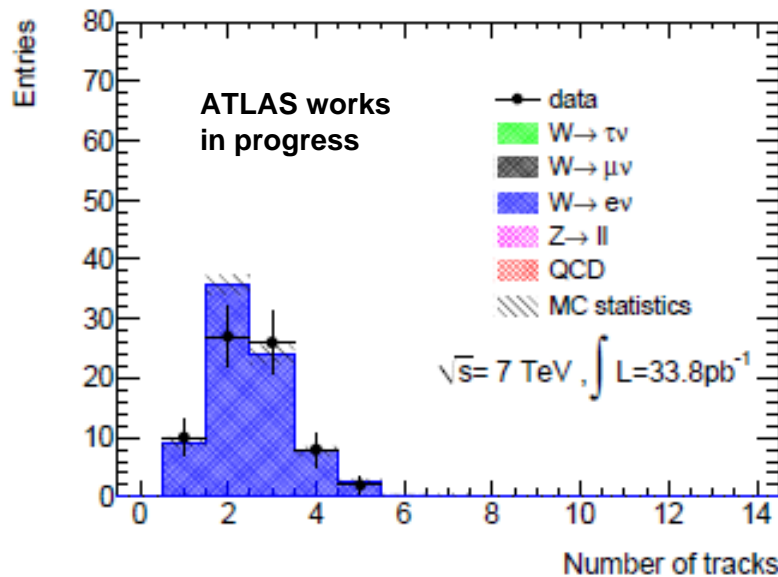
\*track分布はsignal領域とcontrol領域の横方向運動量の違いを補正したものを使う。



# Based on W+jets modeling

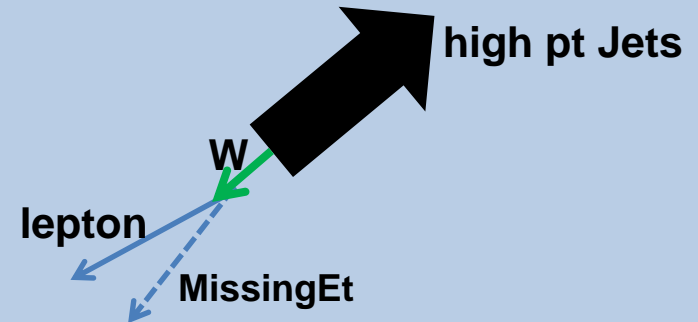
- 前述のように本解析において主要なback groundは右図のようなW+jet事象である。
- そこでW->enu+jet事象を用いて、この過程におけるjetがtauにfakeした時のtrack分布をsignal regionのQCD modeling とする。

W->e $\nu$  selection後のfake jetのTrack分布



## Property in large MET events

-> High Pt jet and boosted W boson



•Mt and dPhi(Jet, 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。

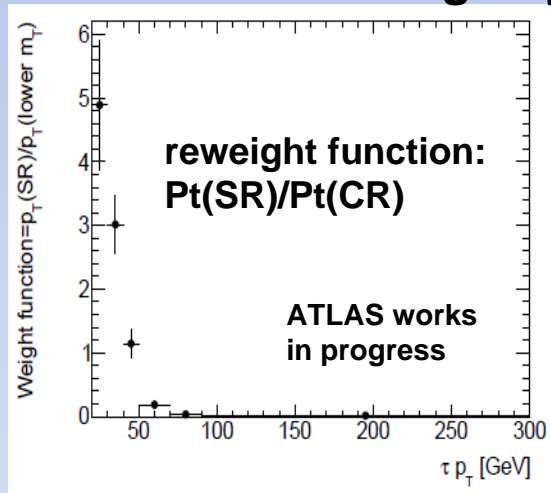
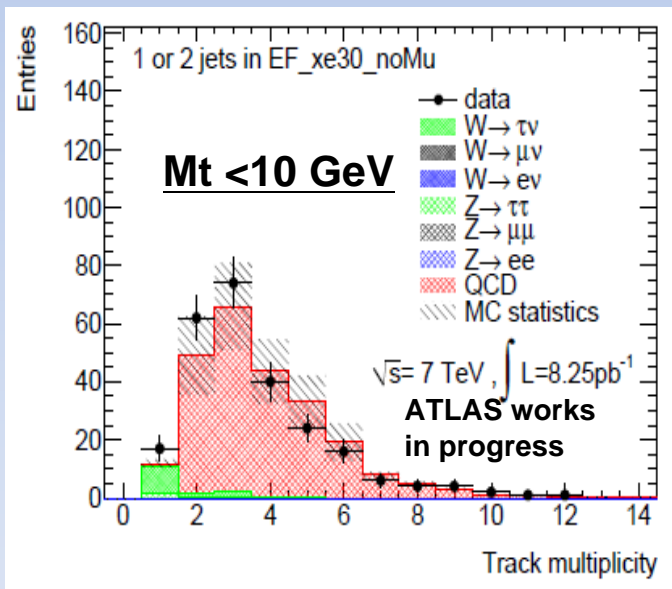
(主にq-jet, g-jetの違い等, 前述のW+jet事象はLHCではq-jet dominant)

-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。

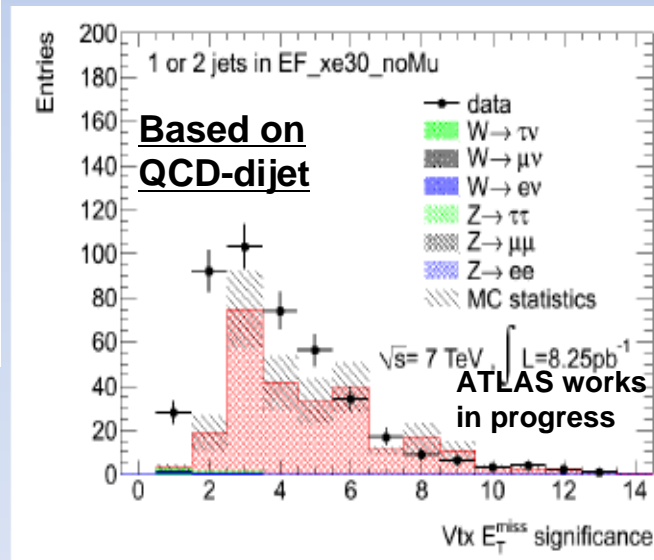
SR, CRはMt領域で以下のように定義  
 •SR : Mt window (page 6)  
 •CR : Mt < 10 GeV



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.

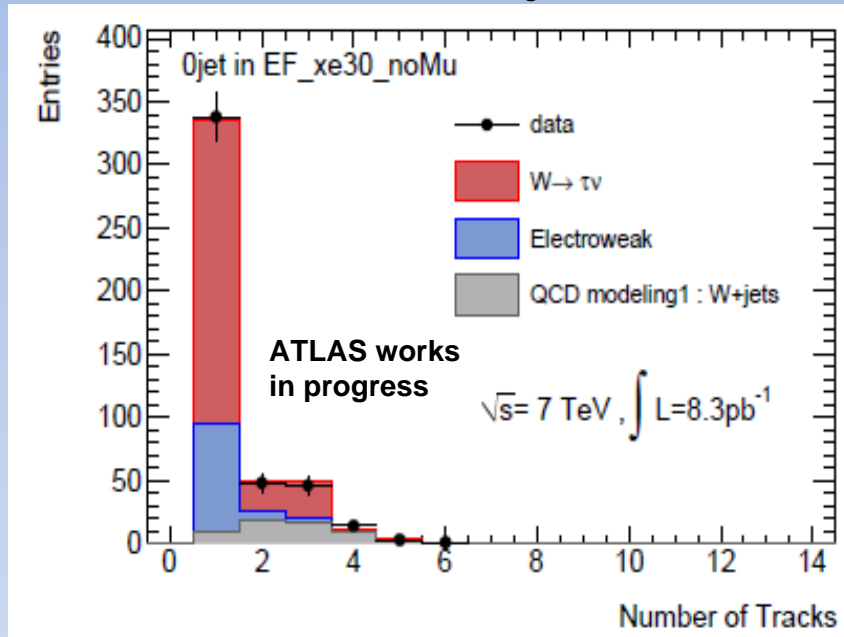


- Mtの低い量式ではQCD(赤)di-jet eventが支配的であり、dataもよく再現する。
- W/Z等のelectroweakはMCのpredictionを使って引く。

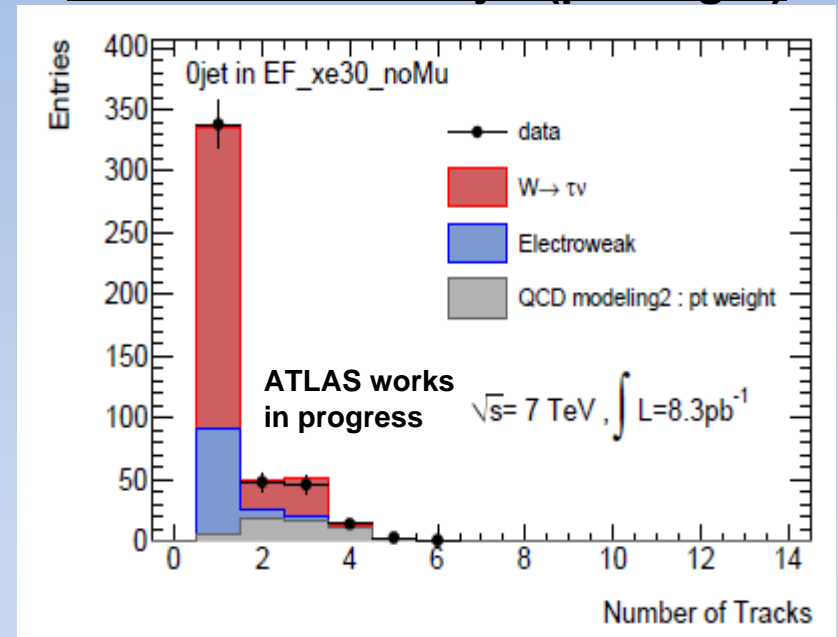
# Fitting result

-Tau fraction  $f$  のみをパラメーターにしたfitting結果

Based on  $W$ +jets



Based on QCD di-jet (pt weight)



上のfittingから測定したデータ中のtau数:

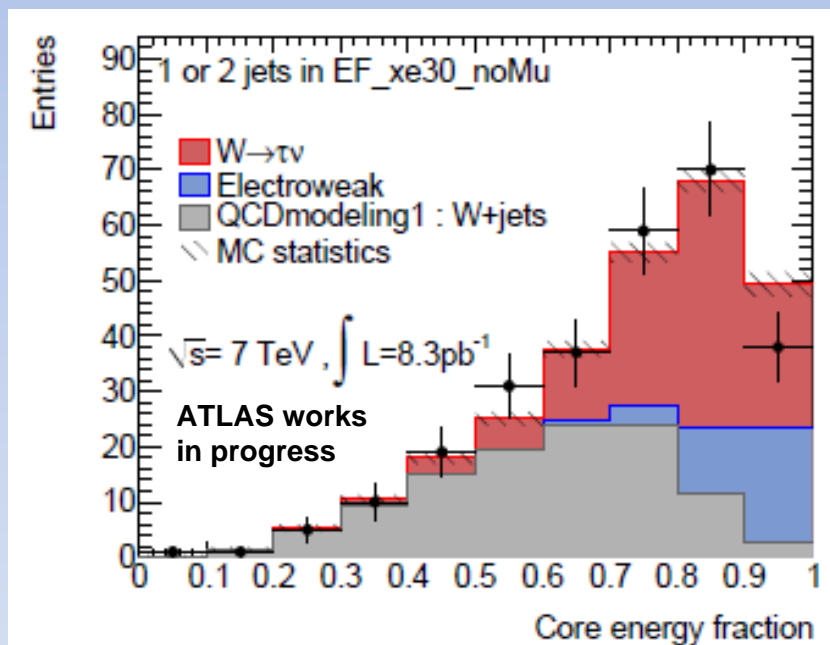
category	Number of signals	
	Fake from $W + j$	$p_T$ weight
0jet in EF_xe30_noMu	$295.1 \pm 13.2$	$298.2 \pm 11.4$

- どちらのmodelingもよくmodelされている。
- Modelingによるtau数の違いは系統誤差としてSFの誤差へいれる。

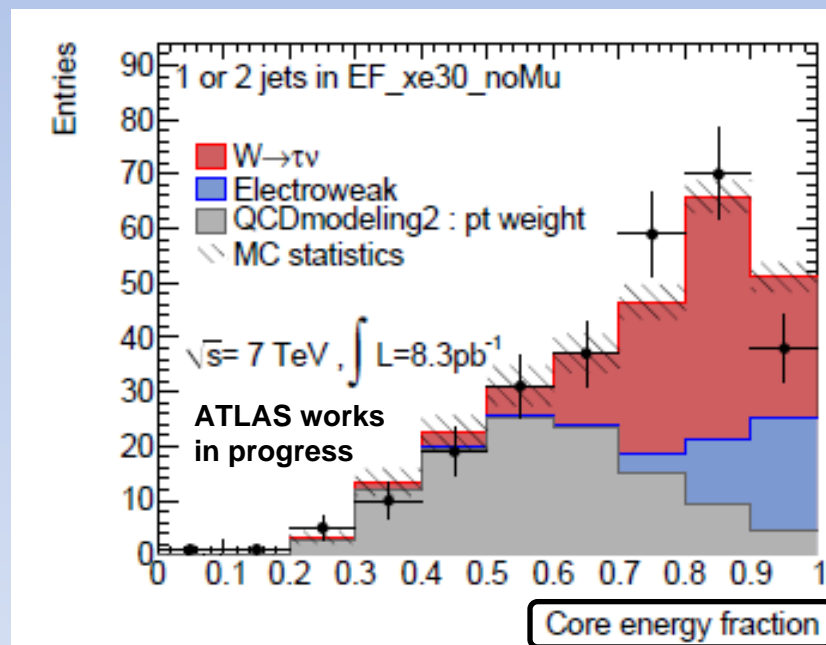
# Verification using central fraction

Fittingに使われたTau候補のcalorimeterのshapeをfittingから得られたsignal fractionを用いて規格化した分布。

## Based on W+jets modeling



## Based on QCD di-jet modeling



**Both modeling are good agreement with data !**

Fraction of transverse energy in the cone ( $dR < 0.1$ ) about the  $t$  candidate normalized by that about the cone ( $dR < 0.4$ )

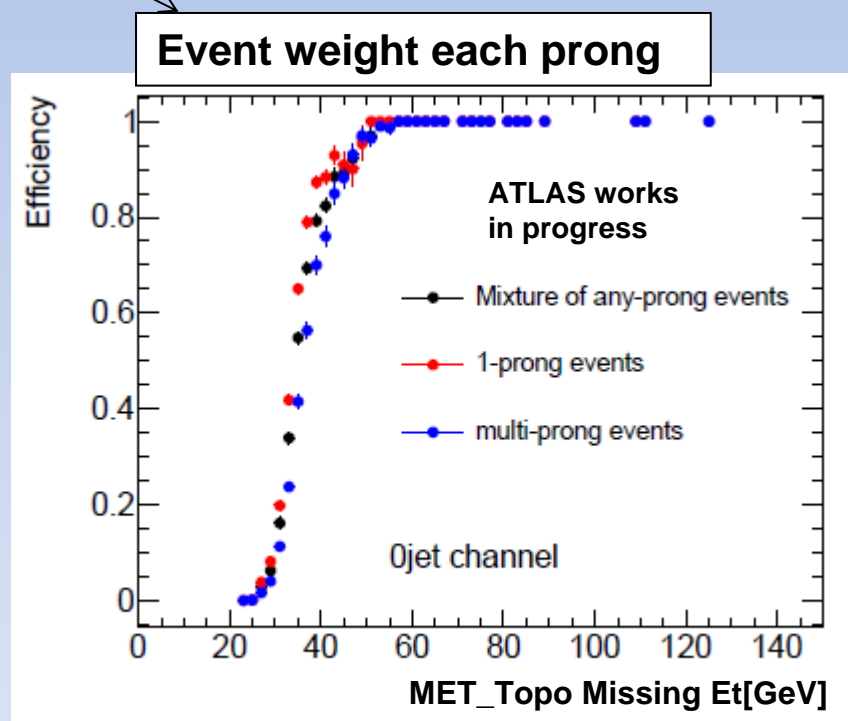
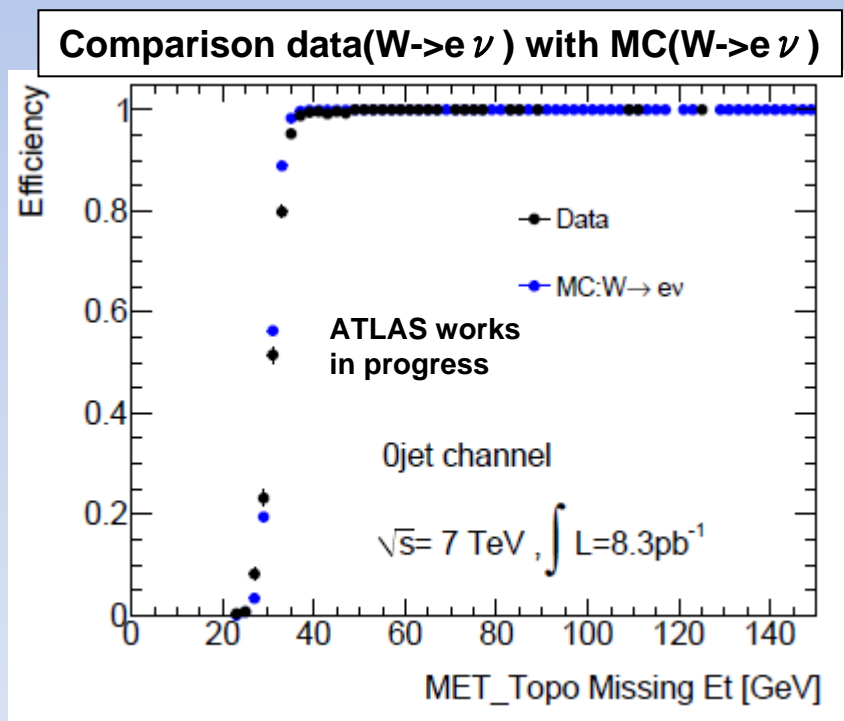
# MET Trigger 効率の評価

-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。

# Result with all uncertainties

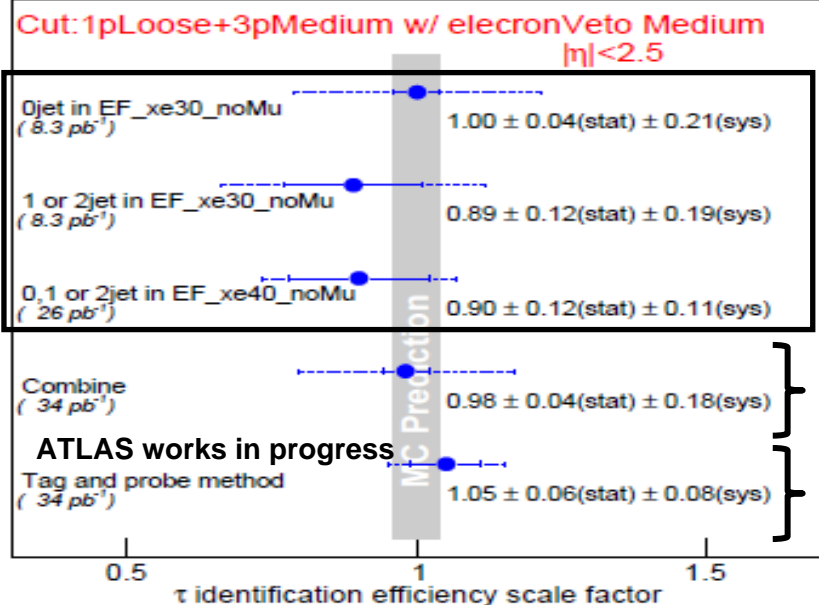
## MCの予想とdataの比較

category	Expected number with MC	Number of tau in data
0jet in EF_xe30_noMu	295.6	295.1 ± 13.2
1 or 2 jets in EF_xe30_noMu	135.9	121.2 ± 16.9
0,1 or 2 jets in EF_xe40_noMu	78.8	111.6 ± 15.0

各カテゴリのTauID SF

3つのカテゴリをcombineしたTauID SF

他の方法を用いた結果



### 系統誤差のソース:

以下の3つが支配的なもの

- Tau jet energy scale
- Generatorの違い
- $\sigma_{\text{obs}}(W \rightarrow l\nu)$ の不定性

Sources	Uncertainty			
	Combined	0jet in EF_xe30_noMu	1 or 2 jets in EF_xe30_noMu	0,1 or 2jets in EF_xe40_noMu
Jet modeling	1.0%	1.1%	11.5%	3.0%
Observed cross section of $W$ boson	7.9%	5.8%	5.8%	5.8%
Trigger efficiency	3.8%	4.8%	1.3%	0.4%
Electron fake rate	4.0%	4.0%	4.7%	4.4%
Generator	12.3%	16.0%	5.5%	7.5%
Tau energy scale	10.0%	10.4%	15.6%	6.3%
Jet energy scale	0.1%	1.0%	6.6%	0.1%
Electron energy scale	0.8%	0.5%	2.0%	2.2%
vtxMET significance	0.2%	0.1%	0.1%	0.1%
Total	18.6%	21.0%	22.6%	12.8%

# Summary

## Conclusion

- ATLASで2010年に取得されたデータを用いてTau IDの同定効率を見積もる方法を考案した。
- $W \rightarrow \tau \nu$  eventを用いて、tau中の荷電トラックの数をフィットすることでデータ中のtauの数( $N_{\tau}^{\text{data}}$ )を見積もる。
- 本研究より得たTau ID scale factor( $N_{\tau}^{\text{data}}/N_{\tau}^{\text{MC}}$ )は  
 **$0.98 \pm 0.04(\text{stat}) \pm 0.18(\text{sys})$**
- 他の方法の値ともよい一致を示す。

## Plan

- 2011年に取得予定の高統計のデータからも見積もる。
- 新たに考案されたMET significance(=MET/sqrt(sumET)) triggerを使うことで測定精度の向上を狙う。
- 測定されたTauID SFを用いてH $\rightarrow$ tautauの解析を行う。