

# ATLAS初期に於ける $\tau$ 粒子同定の研究

日本物理学会秋季大会

九州工業大学

2010年9月14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

埜 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

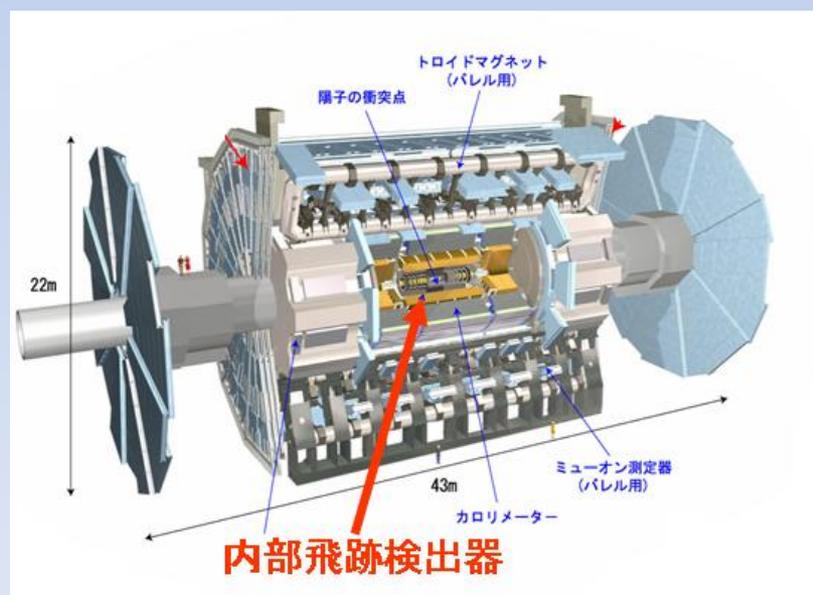
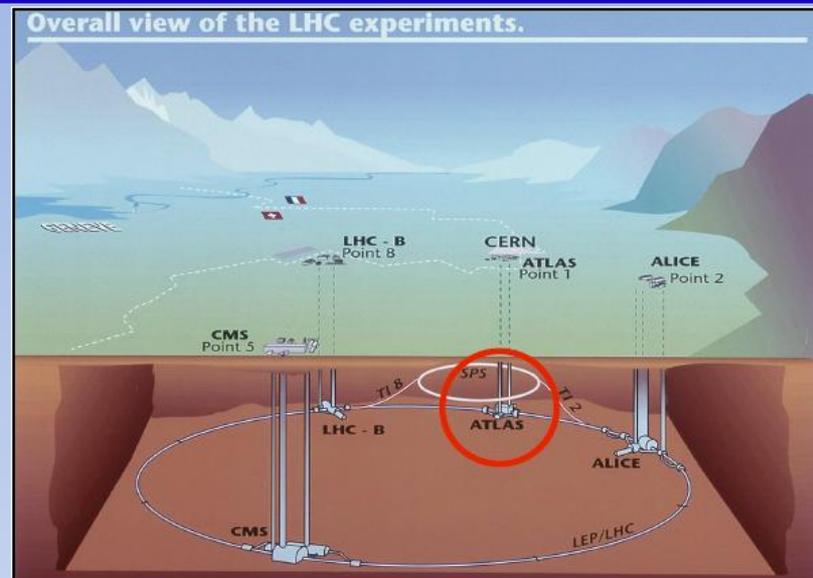
## Large Hadron Collider(LHC)

- 陽子陽子衝突型加速器
- 積分ルミノシティ:  $\sim 3.5 \text{pb}^{-1}$

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

## ATLAS検出器

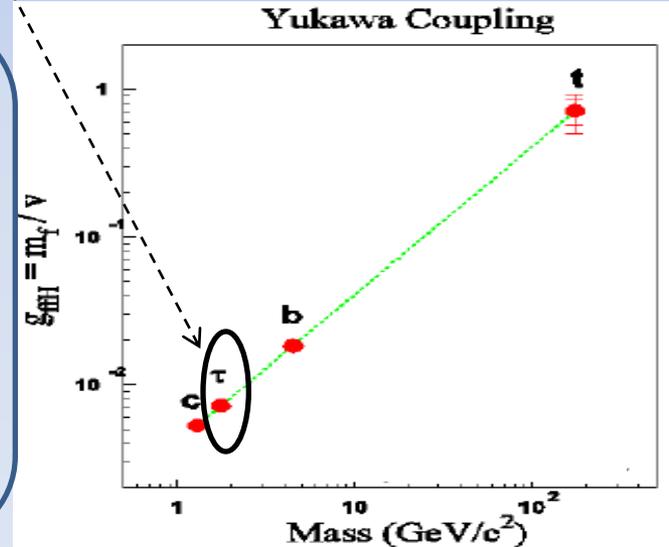
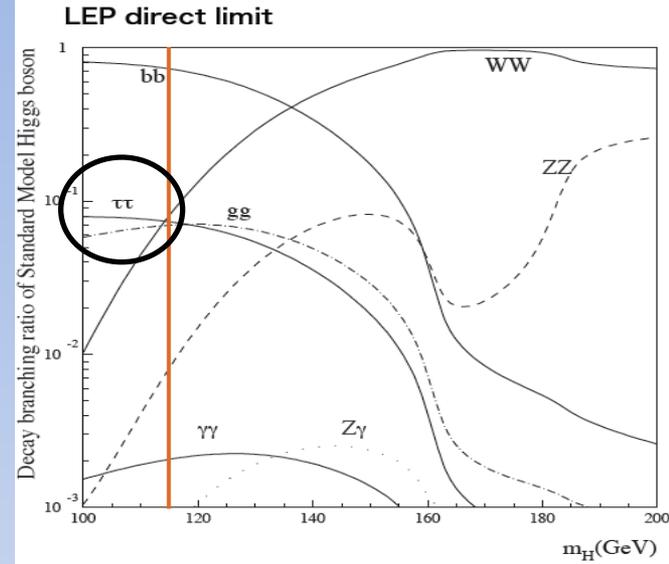
- LHCに設置されている汎用型検出器
- Higgs粒子、超対称性粒子、余剰次元の探索などが行われている。



# 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)  $\sigma \propto \frac{N_{data}}{Lumi \times Acc \times SF}$

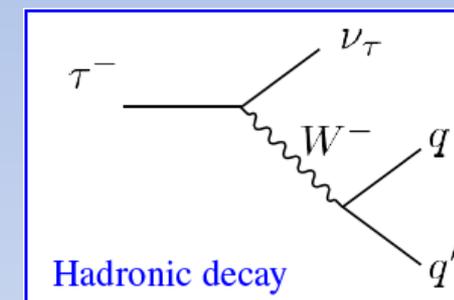
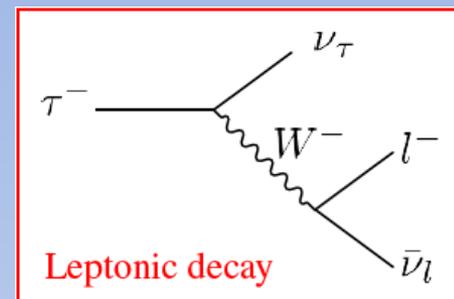
Tau ID Scale Factor(SF)の測定は、H->tautau過程の研究等の重要な鍵になる。

# 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	$\tau^- \rightarrow l^- \nu \bar{\nu}$	35.2%
<b>Hadronic</b>		64.8%
1-prong	$\tau^- \rightarrow \pi^- \nu_{\tau} + N\pi^0 \quad (N=0,1,2)$	- 46.7%
3-prong	$\tau^- \rightarrow \pi^- \pi^+ \pi^- \nu_{\tau} + N\pi^0 \quad (N=0,1)$	- 11.7%

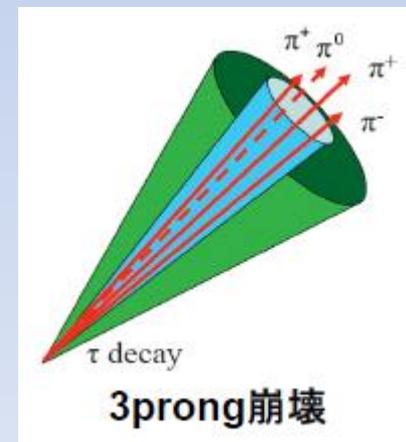


## Hadronic tauの特徴

- ☑ 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。



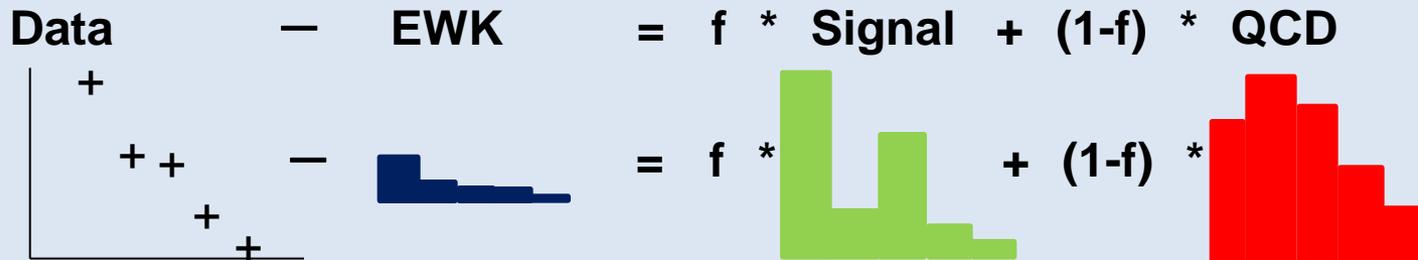
# 研究方法

## ～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

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** : MC (W-> $\tau\nu$ ) after All cuts
- **QCD** : 分布はデータから評価する(次ページ)
- **EWK** : W/Zがtau以外に崩壊する場合 (normalized by MC cross sections)

3. フィットで得られたf からTau ID Scale Factor SFを導出。

$$\text{SF} = \frac{\text{fraction} * (N_{\text{obs}} - N_{\text{EWK}})}{\sigma(W \rightarrow \text{enu}) * \text{積分ルミノシティ} * \text{アクセプタンス}}$$

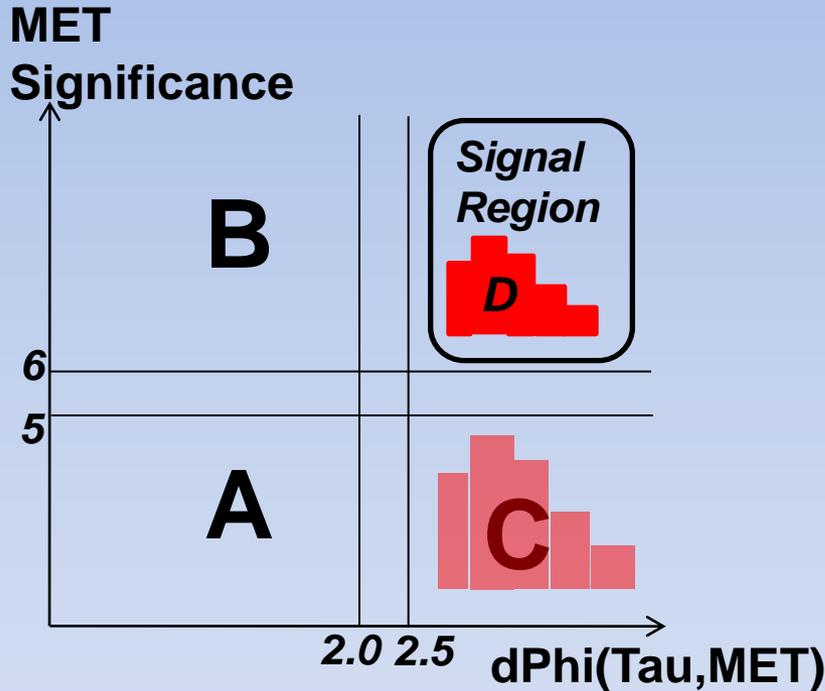
この方法で評価したtau数

測定されている $\sigma(W \rightarrow \text{enu})$ 断面積とMCアクセプタンスから期待されるtau数

# 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。



C: Control region

\*A,BもMCとdataのチェックに使う。

## QCD shape in Signal region: $D^{data}$

$$D^{data} = C^{data} \times \frac{D^{MC}}{C^{MC}}$$

### $C^{data}$

- MET significance はMETやdPhiに比べてトラック数分布への影響が少ない

- MET > 25 GeV
- dPhi(tau, Met) > 2.5
- MET Significance < 5

### Correction factor ( $\frac{D^{MC}}{C^{MC}}$ )

- MCを用いてcontrol region とsignal regionでのトラック数分布の比

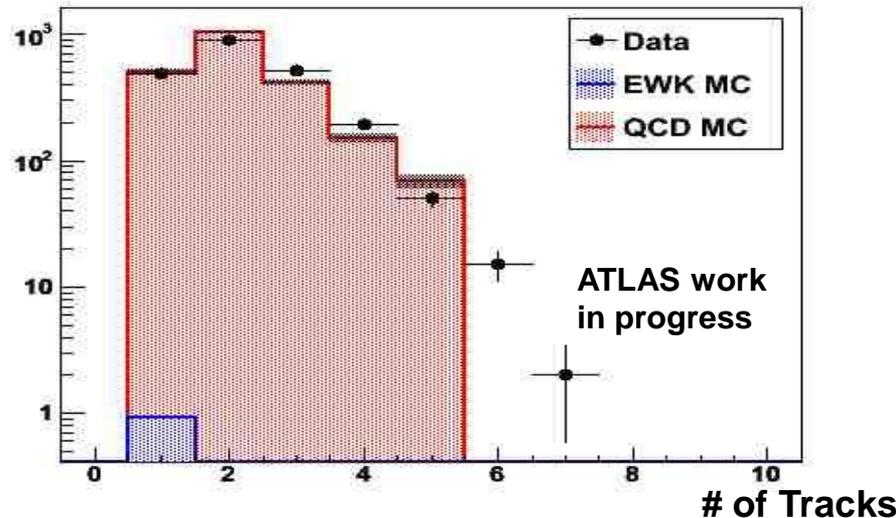
# DataとQCD MCの比較

## - control regionでトラック数分布をdataとMCで比較

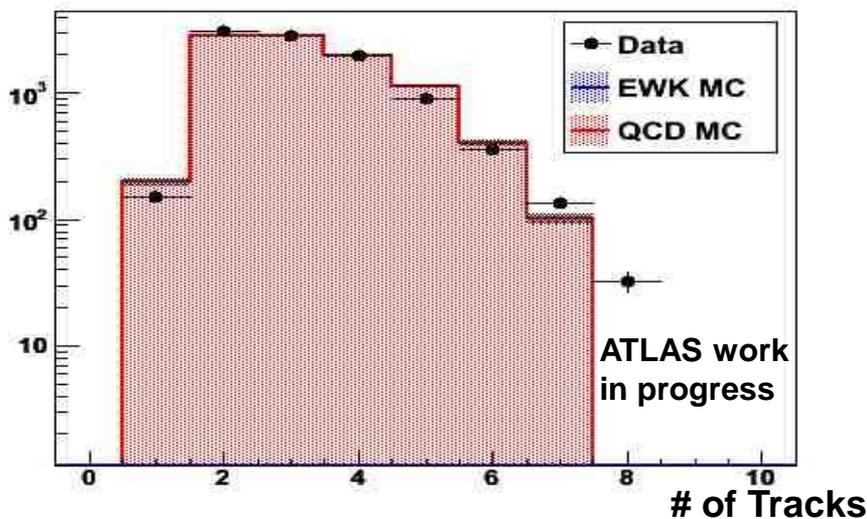
- EWK MCはMCのcross sectionで規格化。
- QCD MCはdataの事象数で規格化。

- ☑全control regionにおいてQCDが支配的。
- ☑MCとdataで良い一致を示す。
- ☑MCとdataのずれはQCDモデリングの系統誤差として評価する。

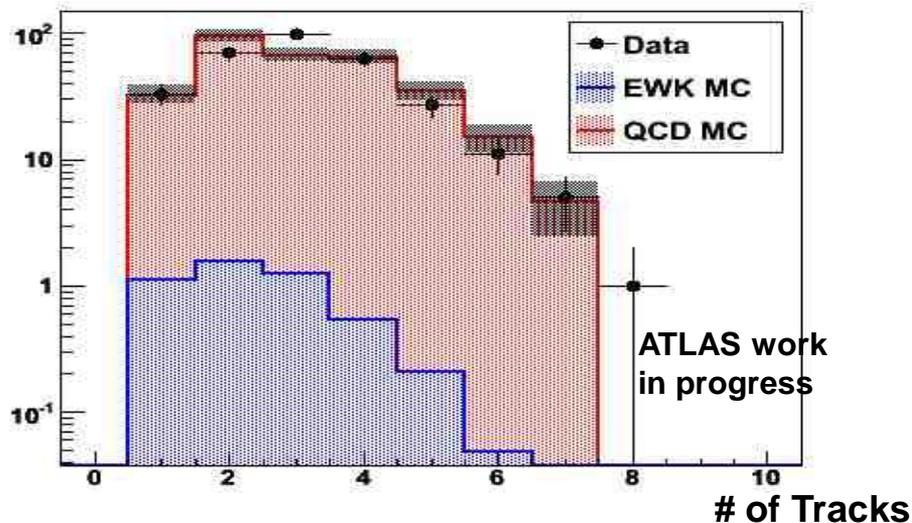
Control region:C



Control region:A

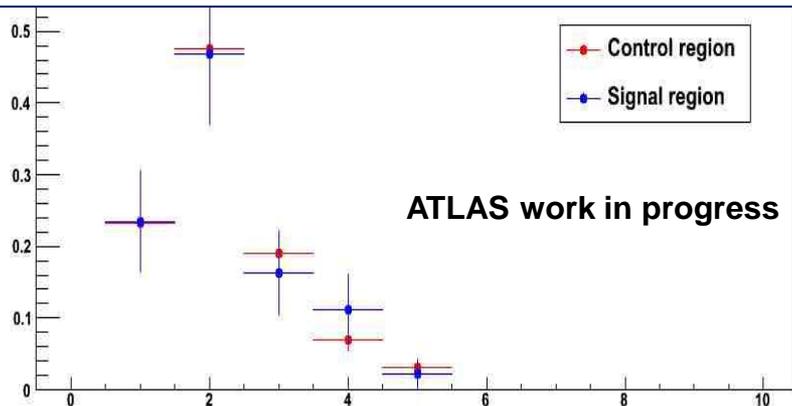


Control region:B

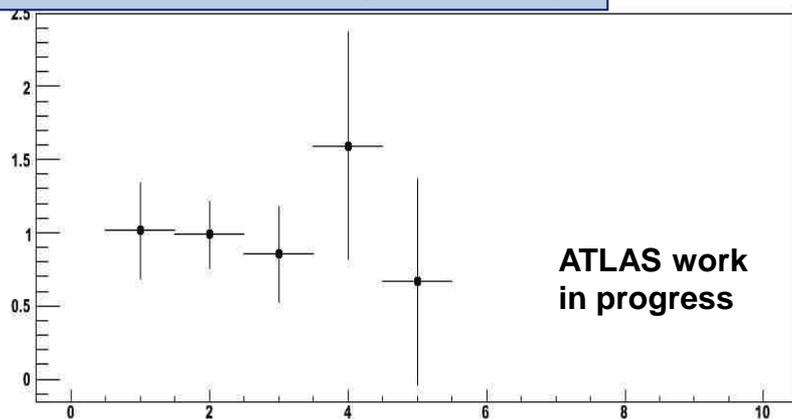


# MCを用いたQCDトラック数分布の研究

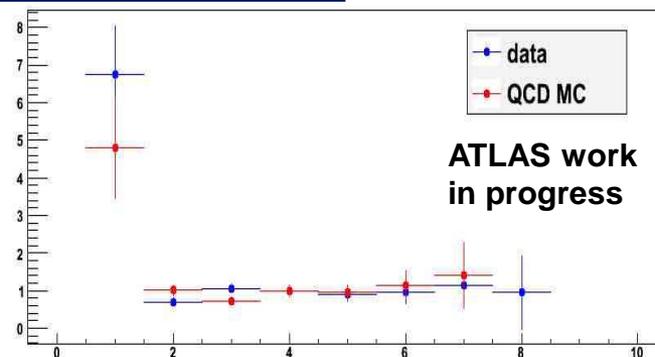
## CとDでのトラック数分布(全体を1に規格化)



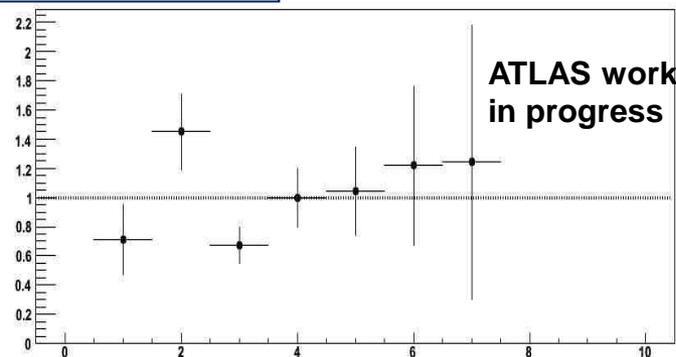
## トラック数分布の比( $D^{MC}/C^{MC}$ )



## A/BのDataとMC比較



## DataとMCの比

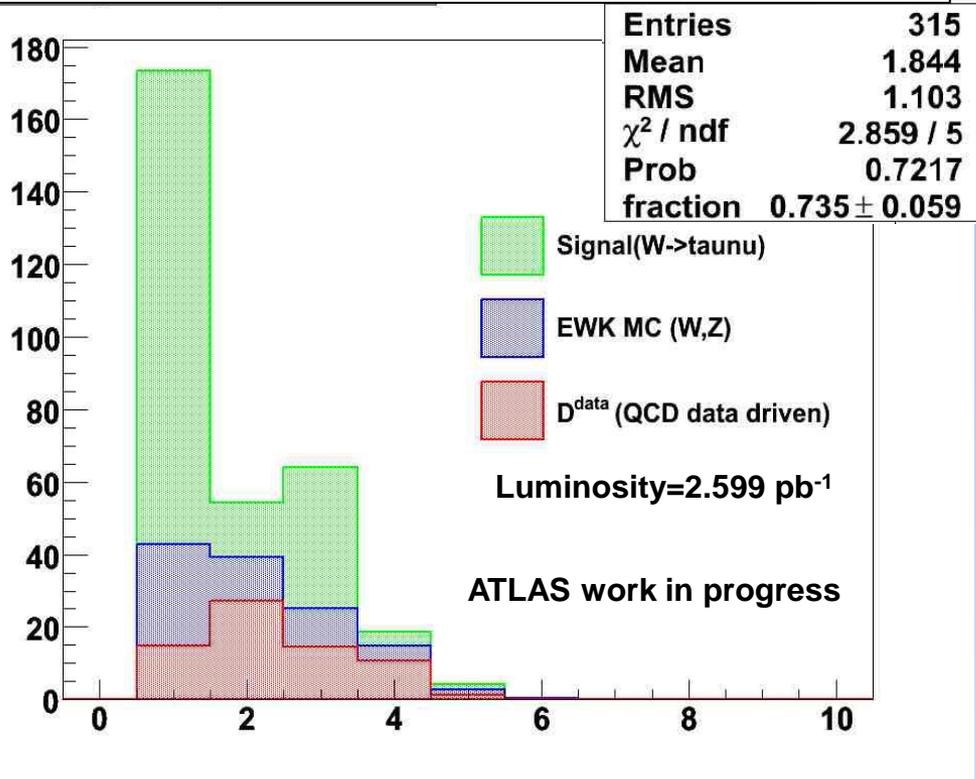


MET significanceが高い領域と低い領域でのトラック分布の比はDataとMCに明らかな違いは見られない。

- $D^{data}$ 導出のためのトラック数比の分布を見積もった。
- MCの統計誤差はQCDモデリングの系統誤差とする。

# tau fractionの評価

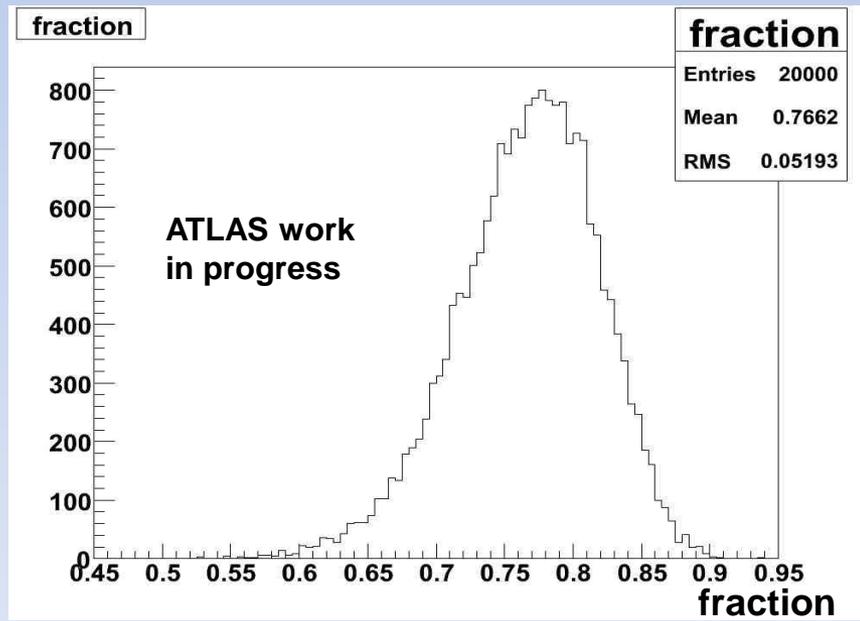
Tau fraction  $f$  のみをパラメーターにしてfitting



**QCD modelingの系統誤差**

- MCの統計誤差
- Control region のdataの統計誤差
- Control regionのMCとdataのずれ

Track数 毎に以上を考慮してガウス分布で乱数を振ってfittingを20000回行った。  
->この時のRMSをQCDモデルの系統誤差とする。



tau jet cone 内のトラック数の分布をfittingすることでtauのfractionを実験データから測定

->fraction :0.735

- フィッティング誤差 8.05%
- QCD 系統誤差 6.78%

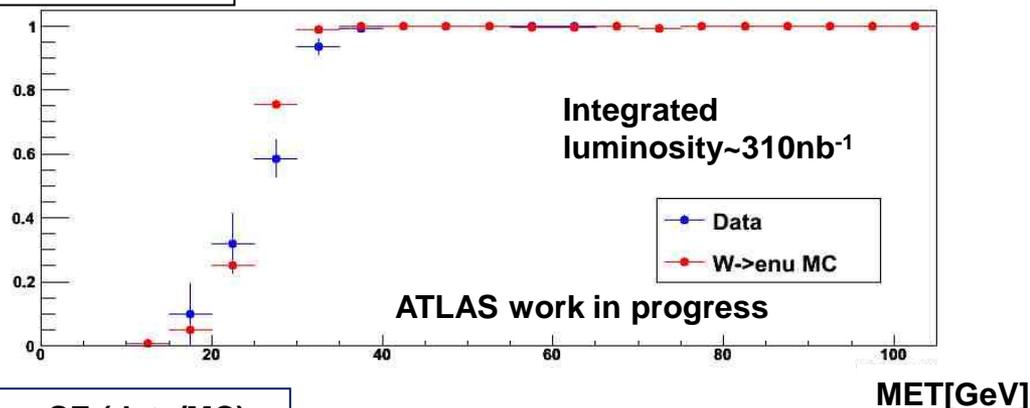
# W->enu を用いたMET Trigger 効率の評価

## Motivation

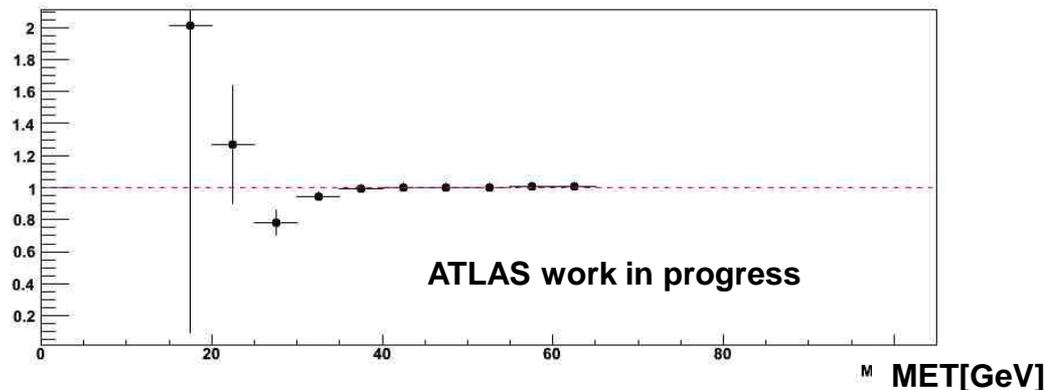
☑ tau候補はMET triggerを用いている。MET trigger 効率のSF(MCとdataのtrigger efficiencyの比)を求めることで、trigger効率を含まないtauID SFを評価できる。

**方法:** Lepton triggerでW->enu eventを捕まえ、その事象で、MET trigger efficiencyを評価。

Trigger efficiency



TriggerSF:(data/MC)



**MET Trigger efficiency**

$$= \frac{\text{Met trigger \&\& Lepton trigger}}{\text{Lepton trigger}}$$

**Trigger Scale factor**

$$= \frac{\text{efficiency with data}}{\text{efficiency with W->enu MC}}$$

# TauID scale factorの結果

parameter	
$N_{obs}$	315.
fraction	0.735
$\sigma(w \rightarrow e\nu)$	9.30 nb
Luminosity	2598 nb <sup>-1</sup>
A:Acceptance	0.0110

source	Error[%]
<b><u>Fraction</u></b>	
fit	8.05
QCD modeling	6.78
<b><u>Acceptance</u></b>	
tauJES	5.29
MC stat	0.751
Trigger scale factor(stat only)	0.054
<b><u><math>\sigma(w \rightarrow e\nu)</math></u></b>	
Stat	9.7
Sys	6.5

## Result:

$$\text{Tau ID Scale Factor} = \frac{\text{fraction} * N_{obs}}{\sigma(w \rightarrow e\nu) * \text{integrated lumi} * A} = \underline{0.87 \pm 0.07(\text{stat}) \pm 0.12(\text{sys})}$$

# Conclusion and plan

## Conclusion

- データからTau IDの同定効率を見積もる方法を考案した。
- 本研究より得たTau ID scale factorは $0.87 \pm 0.07(\text{stat}) \pm 0.12(\text{sys})$

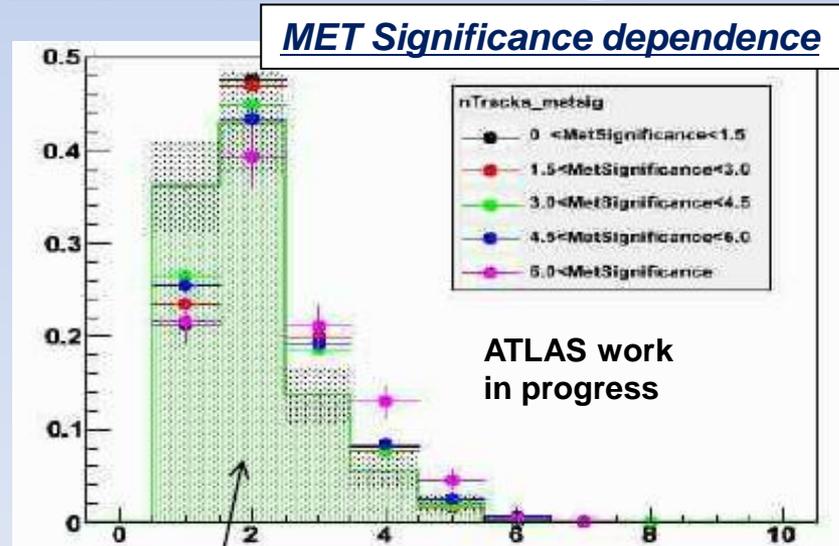
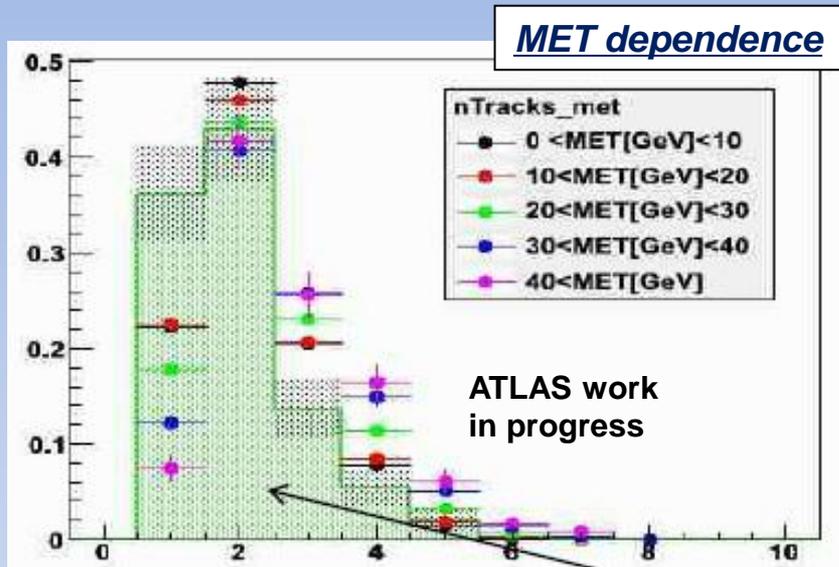
## Plan

- Trigger scale factorの系統誤差
- EWK background の系統誤差
- b-jet fractionの系統誤差

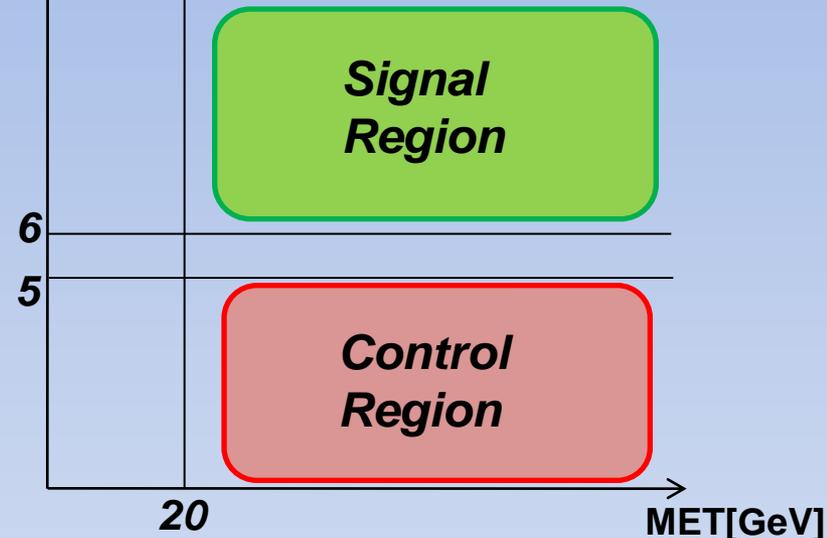
# Back up

# QCD modeling 1

## Dependence of nTrack distribution on MET and MET Significance



MET Significance



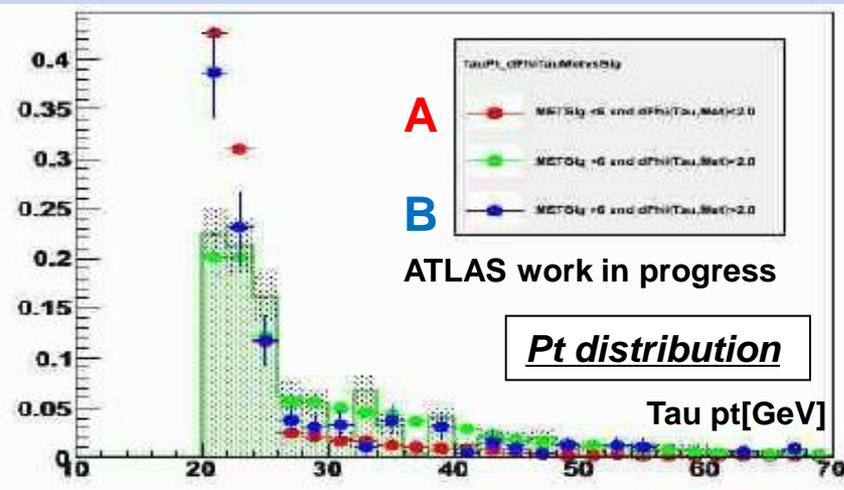
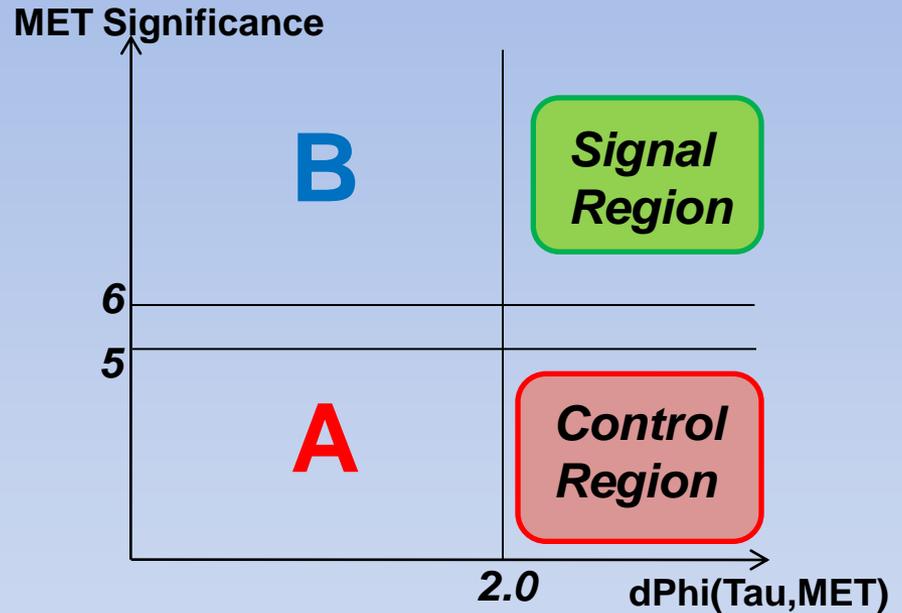
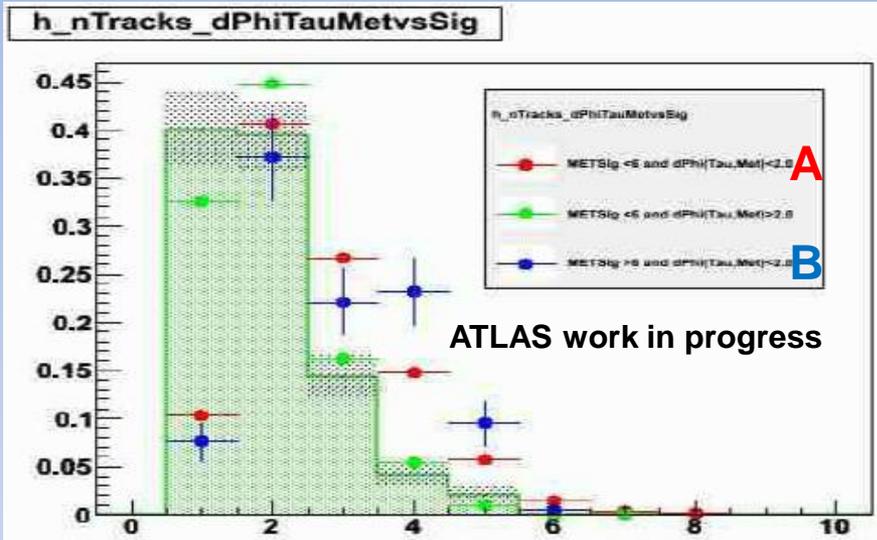
- Track multiplicity distribution depends on MET
- But dependence is less on MET significance.

Select MET > 20 and METSig < 5 as control region.

# QCD modeling 2

## Dependence on $d\Phi(\text{Tau}, \text{MET})$

After MET requirement ( $\text{MET} > 20$ ) because nTrack depends on MET.



• Select the following region as control region .  
 $\text{MET} > 20 + \text{METSig} < 5 + d\Phi(\text{Tau}, \text{MET}) > 2.0$

- Tau pt distribution is not much dependent in these regions.
- fitted to the data nTrack distribution with taking this control region for the QCD shape.

# W->enu candidate

## Goal

Get pure W event which is unbiased to MET.

## Cut flow

### 1. Object Selection

Electron :  $Pt > 20 \text{ GeV}, |\eta| < 1.37$  or  $1.5 < |\eta| < 2.5$ , electron medium ,  $\text{author} = 1$  or  $3$

Jet : AntiKtTopoJet ,  $pt > 20, |\eta| < 4.4$

### 2. Overlap removal

### 3. Event selection

(1) GRL(HSG4)

(2) Trigger (EF\_g10\_loose)

(3) at least one vertex with  $n\text{Tracks} \geq 3$

(4) bad jet

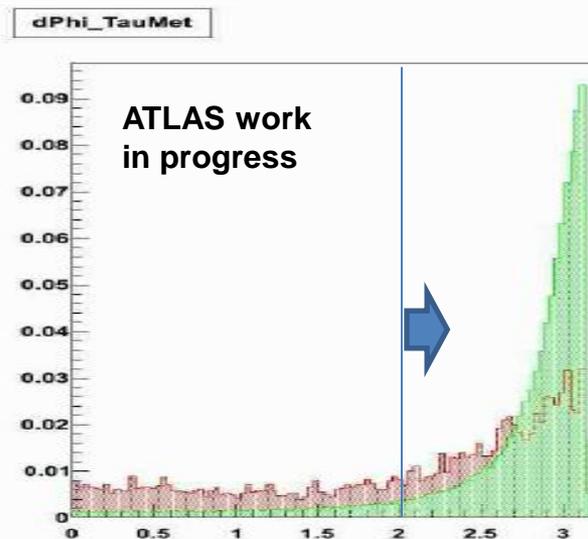
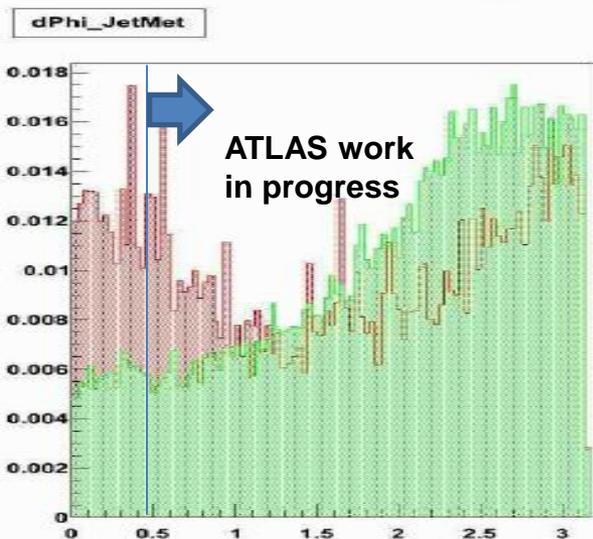
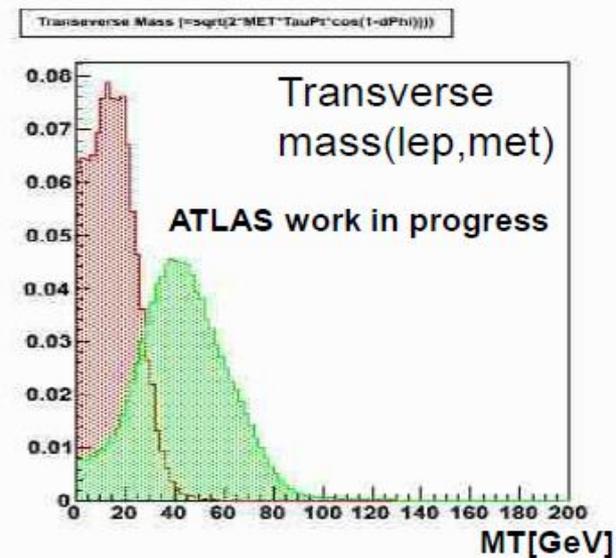
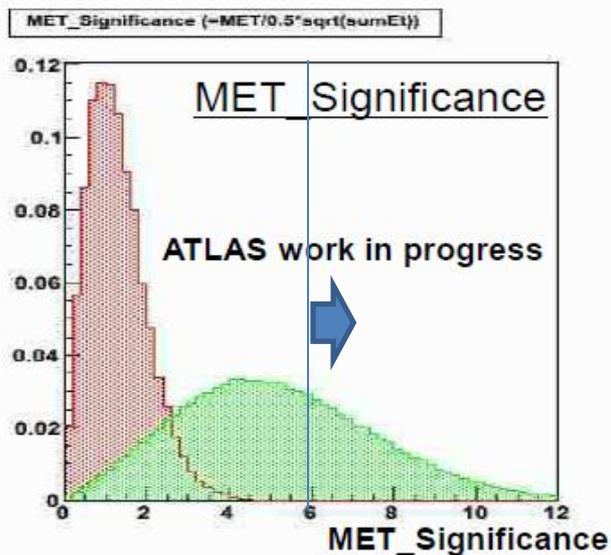
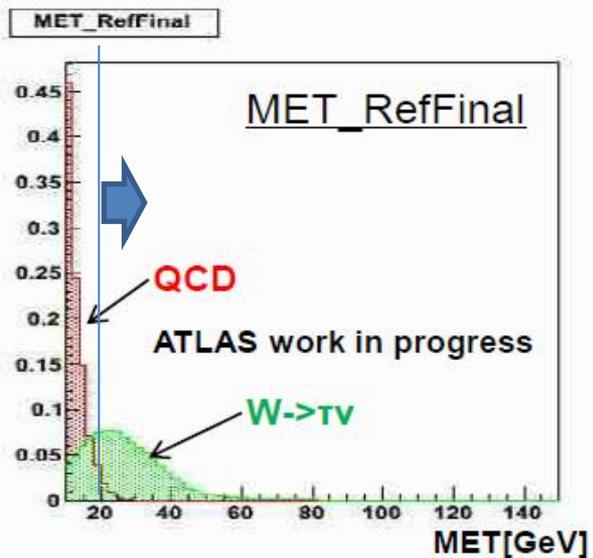
(5) electron tight  $== 1 \ \&\& \ pt > 25$

(6) JetVeto

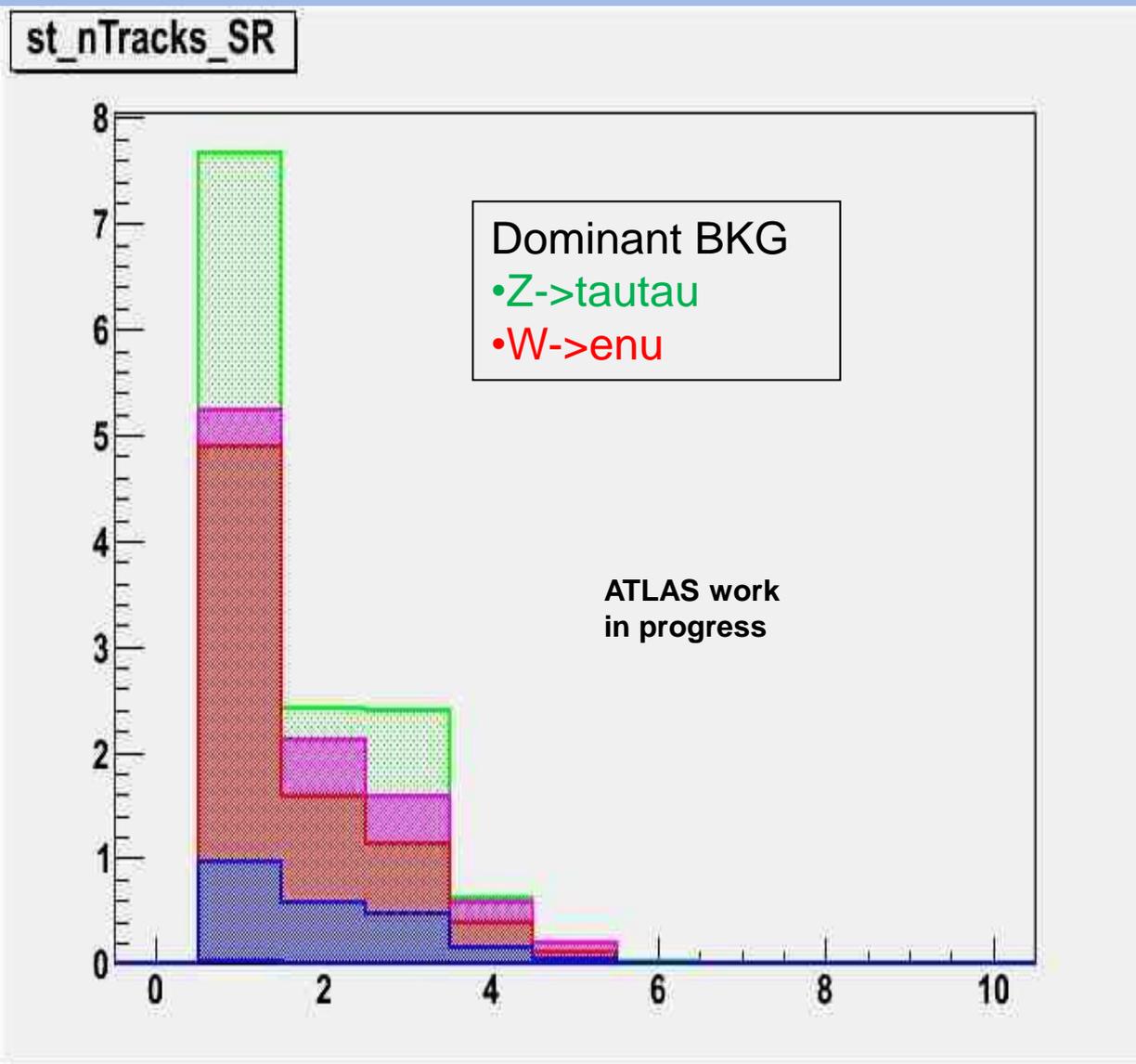
(7)  $\cos(|d\text{Phi}(\text{lep}, \text{met})|) < -0.9$

# Signal vs QCD in several kinematics

- Apply Trigger ,PV,JetCleaning,Tau,LeptonVeto,CrackJetVeto

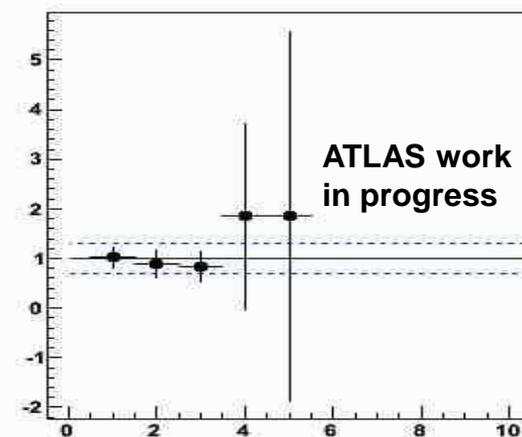
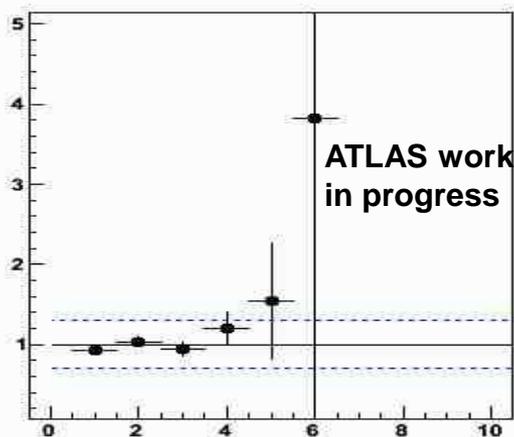
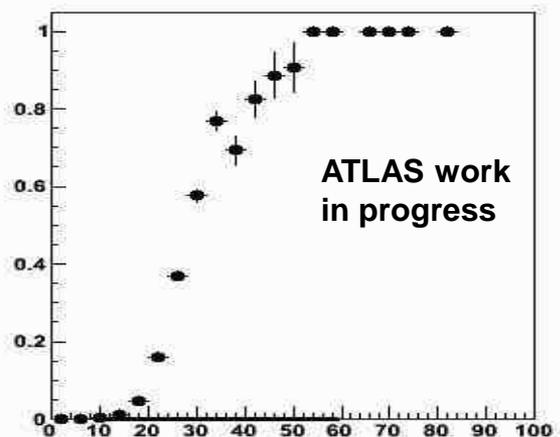
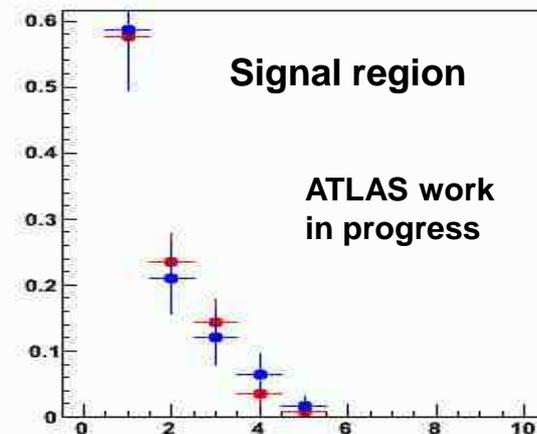
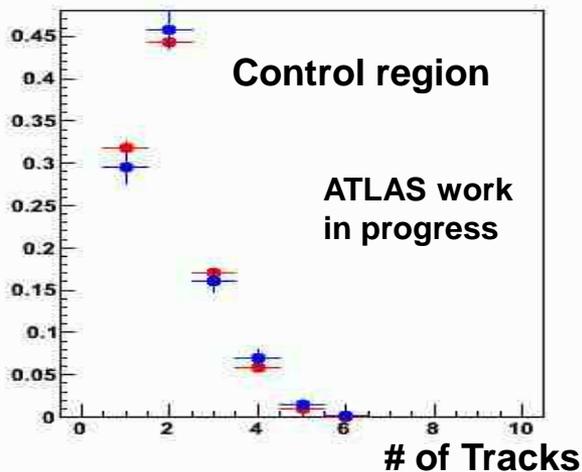
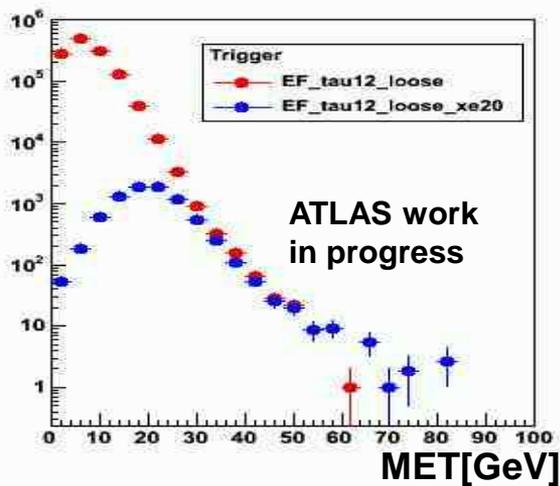


# Physics bacckgroud



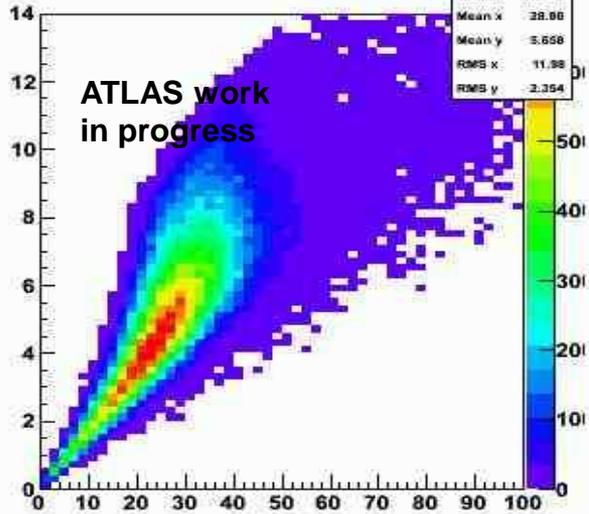
# Impact on EF\_tau12\_loose\_xe20

- EF\_tau12\_loose is prescaled from period D ,I use 'EF tau12 loose xe20' .
- Up to E2 ,about 550 nb<sup>-1</sup> with EF tau12 loose xe20 (about 300 nb<sup>-1</sup>:EF\_tau12\_loose)



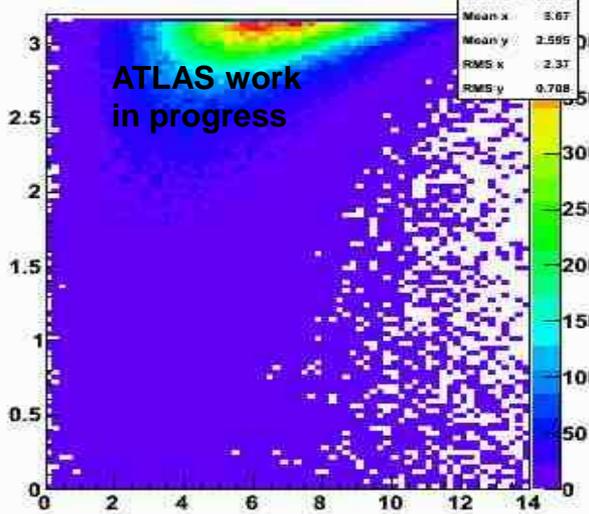
# 2D plots in several plan

METvsMETSig



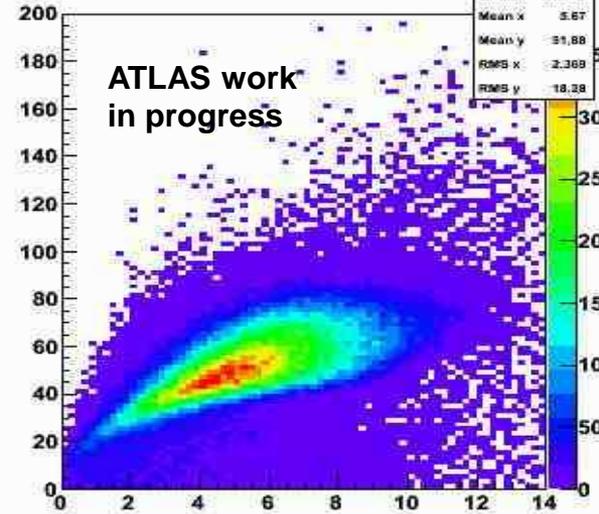
ATLAS work  
in progress

METSigvsdPhiTauMet



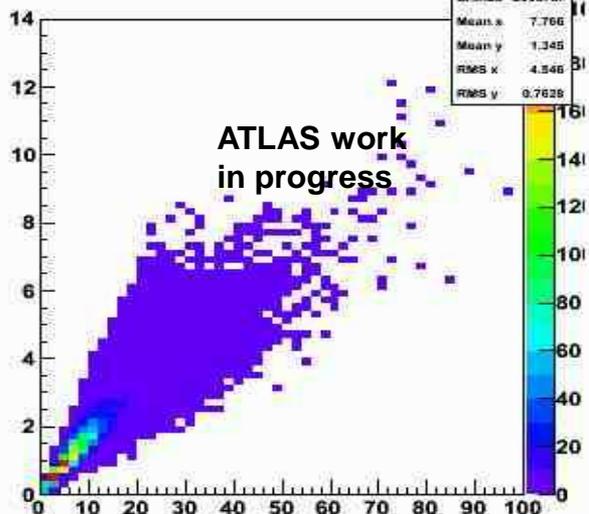
ATLAS work  
in progress

METSigvsMt



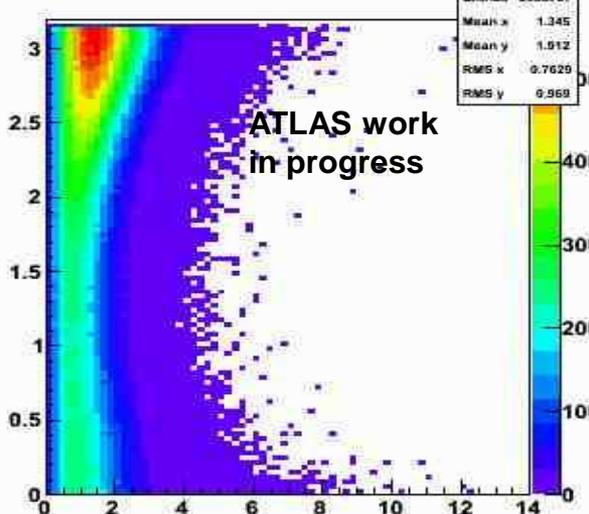
ATLAS work  
in progress

METvsMETSig



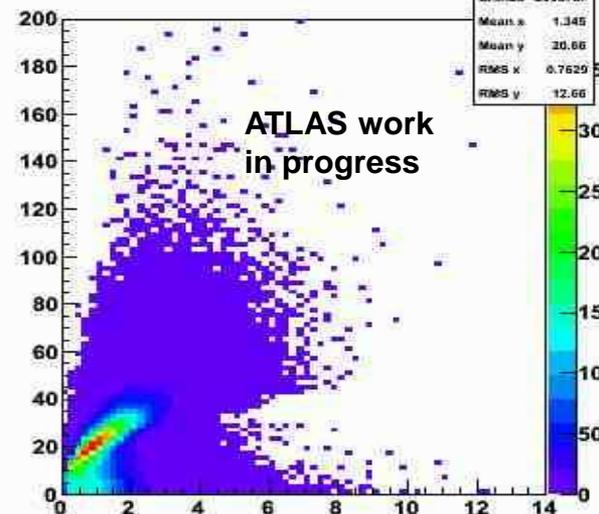
ATLAS work  
in progress

METSigvsdPhiTauMet



ATLAS work  
in progress

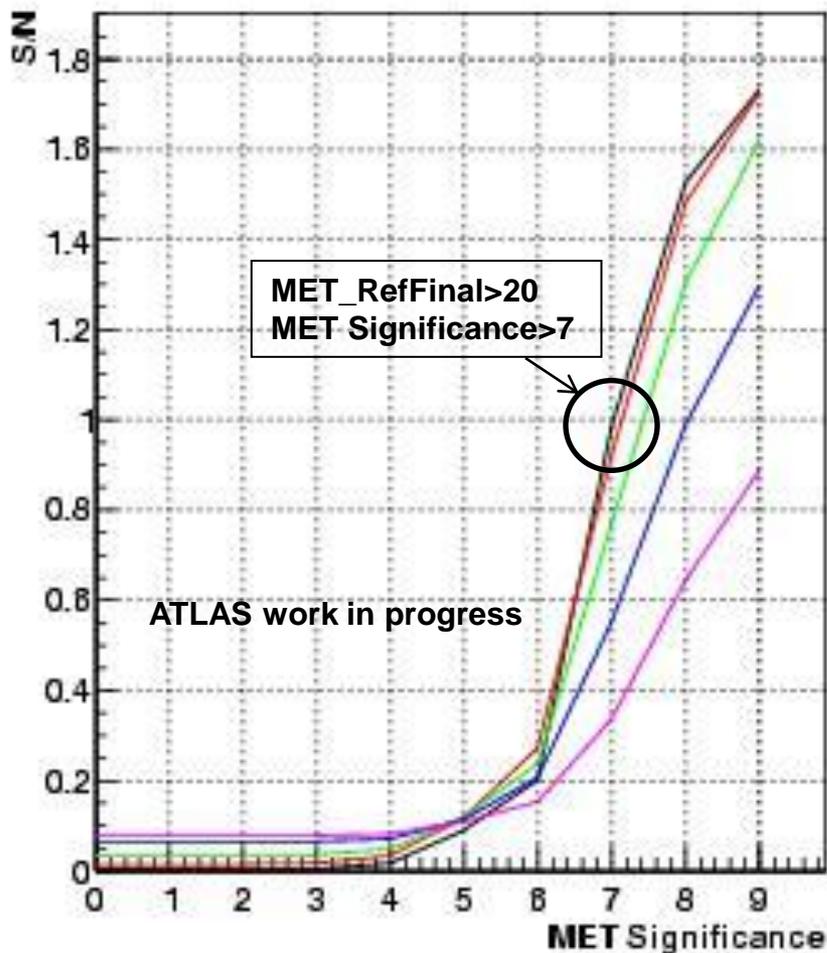
METSigvsMt



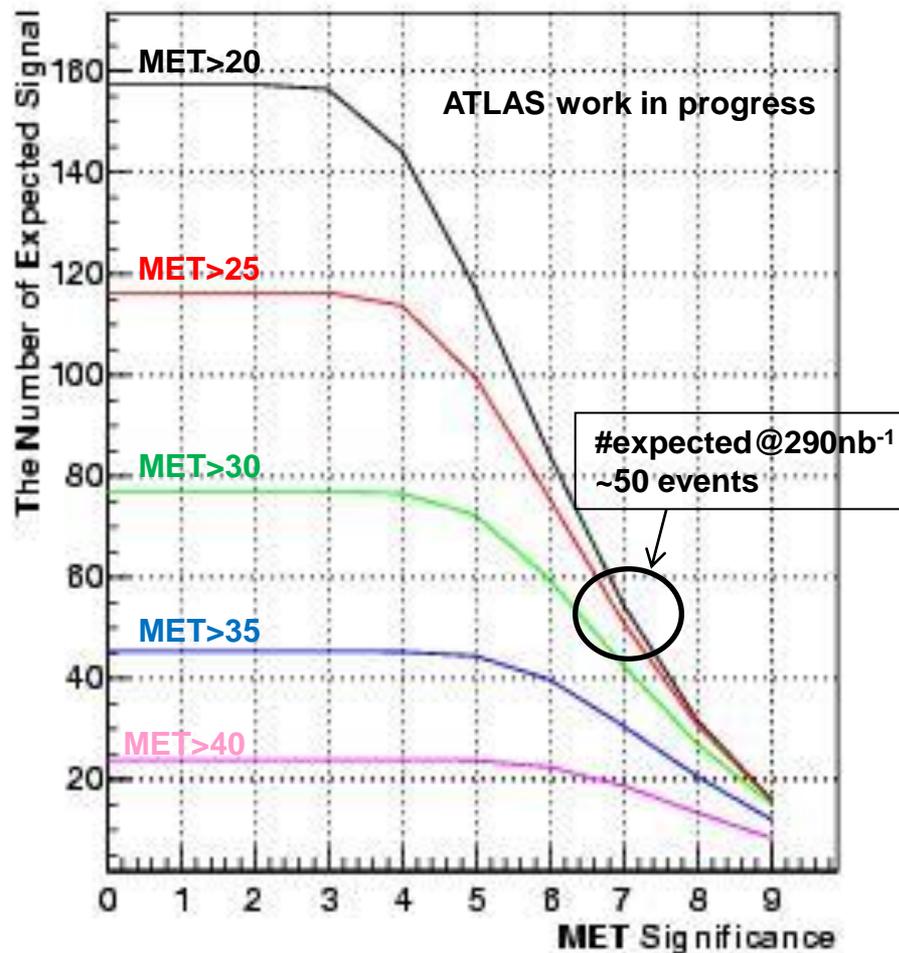
ATLAS work  
in progress

# SB ratio vs MET and MET Significance

S/N vs MET Significance

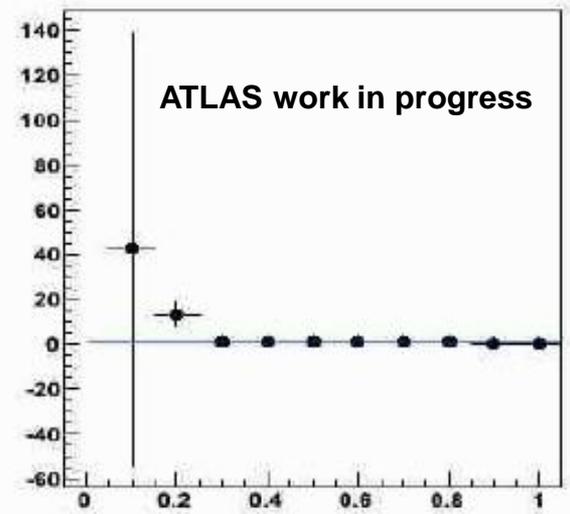
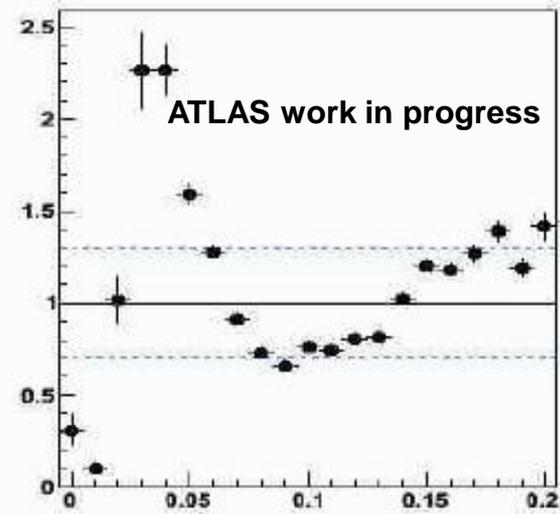
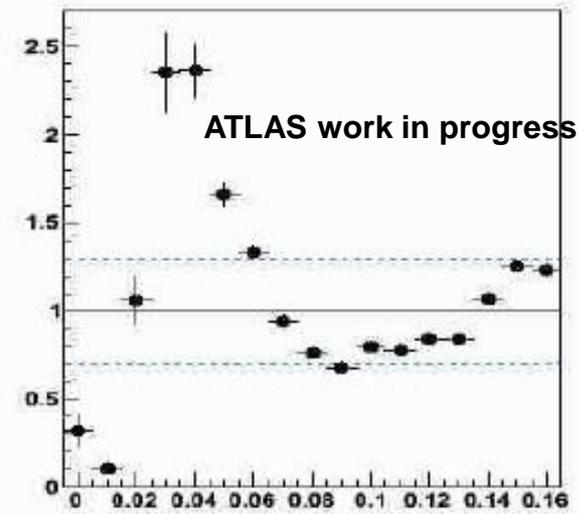
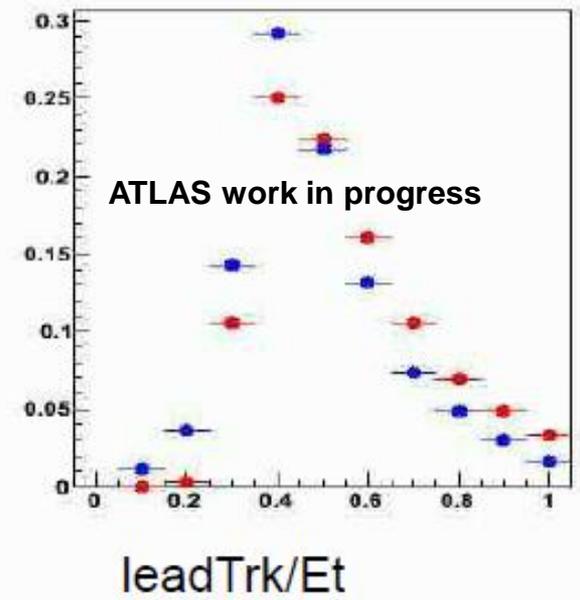
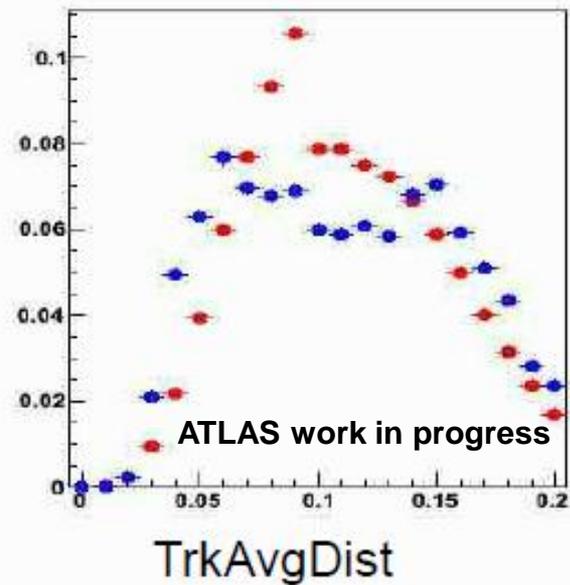
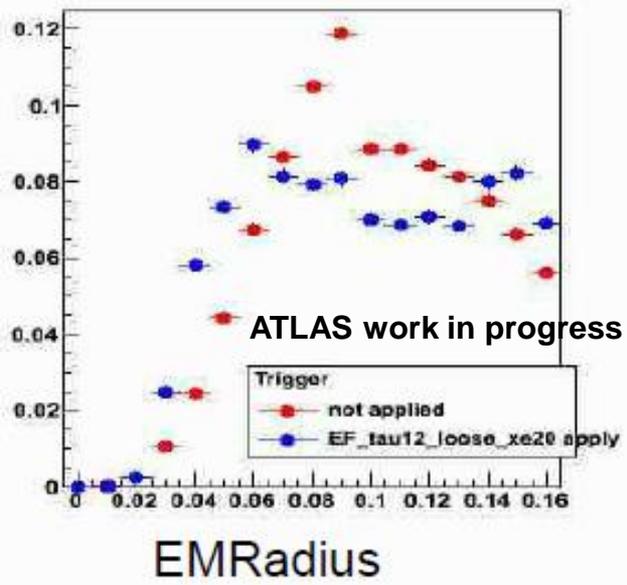


The Number of Expected Signal vs MET Significance



Apply the criteria as follows ,  
after Crack Jet Veto+MET RefFinal > 20 + MET Significance > 7

# Trigger bias



# Cut Flow

## 1.Object Selection

Tau:  $pt > 20 \text{ GeV}$ ,  $|\eta| < 2.5$ , TauSafeCutMedium, electron veto , muon veto

Jet: AntiKt\*EMScale  $> 20 \text{ GeV}$ ,  $|\eta| < 4.4$

## 2.Overlap removal

Jet removal if match to tau object in  $dR(\text{jet}, \text{tau}) < 0.2$

## 3.Event Selection

1.GRL(HSG4)

2.Trigger( EF\_xe25\_noMu)

3.At least one vertex with nTracks  $> 3$

4.Event Veto with Bad or Ugly Jet(not “isGood” )

5. Tau Pt  $> 20 \text{ GeV}$

6. LeptonVeto:

no electron(egammaPID:ElectronLoose and author  $\neq 8$ ) with  $pt > 5 \text{ GeV}$

no muon (STACO and isCombined) with  $pt > 5 \text{ GeV}$

7.Jet Veto in crack region

8.JetObject  $< 2 + d\Phi(\text{Jet}, \text{Met}) > 1.0$

9.dPhi(Tau, Met)  $> 2.5$

10.MET\_RefFinal  $> 25 \text{ GeV}$

11.MET Significance  $> 6(\text{MET}/0.5 * \sqrt{\text{sumEt}})$

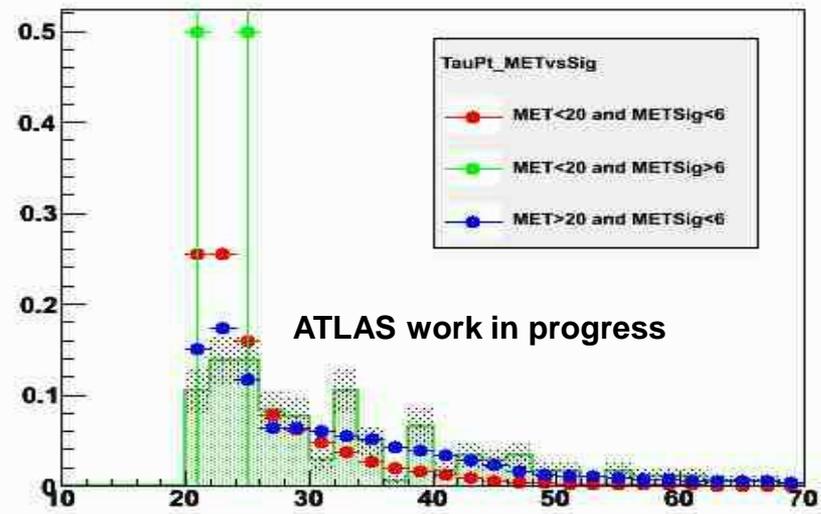
# Acceptance

	evts(err[%])	Acceptance	+TauJES	-TauJES
Initial	998869(0.10)	100.	-	-
GRL	998869(0.10)	100.	-	-
Trigger	121507(0.28)	12.1	-	-
PrimaryVert	121138(0.28)	12.1	-	-
JetCleaning	120191(0.28)	12.0	-	-
LeadingTau	66678.(0.38)	6.67	5.44	7.00
LeptonVeto	60338.(0.40)	6.04	4.99	6.60
JetVeto	50740.(0.44)	5.07	4.74	6.36
dPhi(Jet, Met)	47516.(0.45)	4.75	4.30	6.12
dPhi(Tau, Met)	43735.(0.47)	4.37	3.26	5.35
MissingEt	43572.(0.47)	4.36	3.27	5.37
METSignific	31060.(0.56)	3.10	3.40	5.29

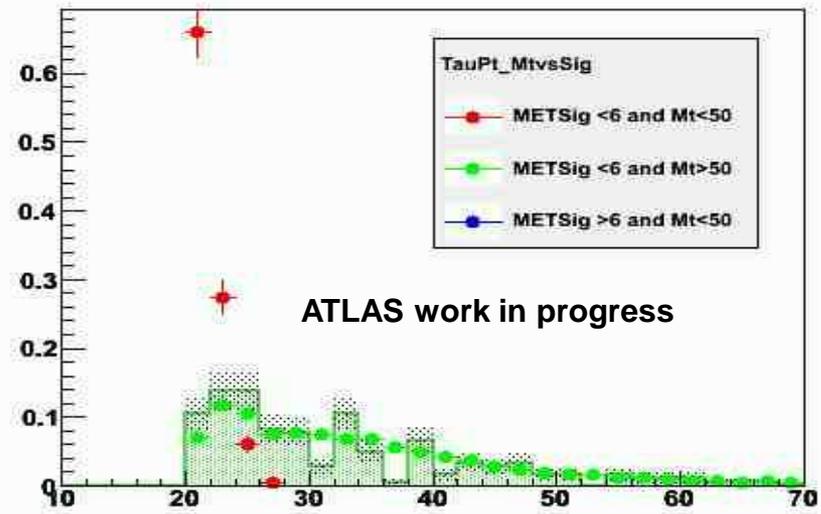
TauJES: 5.3%  
MC stat : 0.6%

# Pt distribution

TauPt\_METvsSig



TauPt\_MtvsSig



TauPt\_dPhiTauMetvsSig

