

# ATLAS実験におけるWボソン事象を用いた $\tau$ 粒子同定効率の測定とその改善

早大理工, KEK<sup>A</sup>

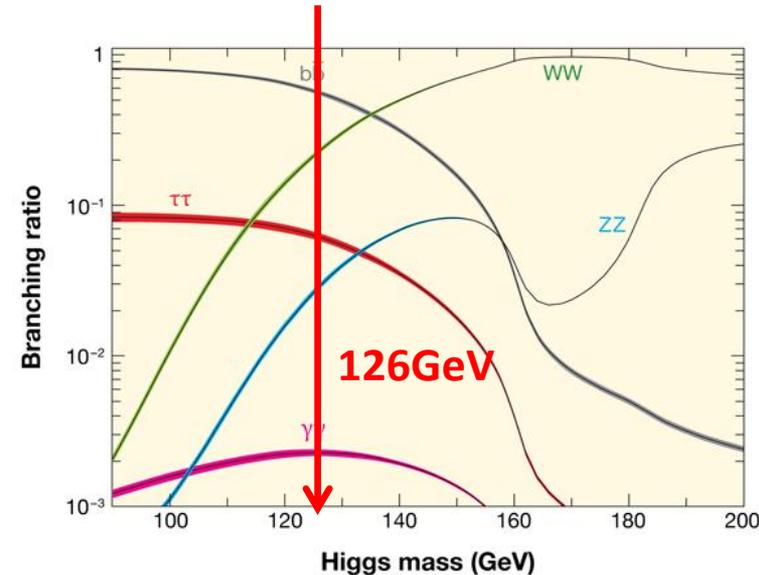
三谷貴志, 寄田浩平, 津野総司<sup>A</sup>,

他アトラス・タウグループ

2012年9月11日(火)日本物理学会2012年秋季大会  
@京都産業大学

# 研究動機

- Higgsらしき粒子が126GeV付近で発見された。低質量領域において、 $\tau$ 粒子対崩壊はヒッグスの主要チャンネルの1つである。
- SUSYにおけるパラメータによっては、新粒子の $\tau$ への崩壊の分岐比が非常に大きくなる。



ヒッグス粒子や新粒子探索を行う際に、 $\tau$ は重要な粒子である。

- 本研究では、実データから $W \rightarrow \tau\nu$ 事象を効率的に取り出し、 $\tau$ 粒子同定効率( $\varepsilon_{ID}$ )を測定し、 $SF_{ID} = \varepsilon_{ID}^{Data} / \varepsilon_{ID}^{MC}$  を求める。

$$\sigma = \frac{N}{L \times A \times \varepsilon_{ID}^{MC} \times SF_{ID} \dots}$$

特に断面積 $\sigma$ 、分岐比を精度よく測定するためには、IDの理解、SFの高精度の決定は極めて重要である。

# $\tau$ 粒子の特徴

## • 崩壊モード

- Leptonic tau ( $\tau_l$ ): BR~35%  
prompt leptonとほとんど区別がつかない。
- Hadronic tau ( $\tau_h$ ): BR~65%  
1-prong (1p):  $\tau^- \rightarrow \pi^- \nu + N\pi^0$  ( $N=0,1,2\dots$ )  
multi-prong (mp):  $\tau^- \rightarrow \pi^- \pi^+ \pi^- \nu + N\pi^0$  ( $N=0,1,2\dots$ )

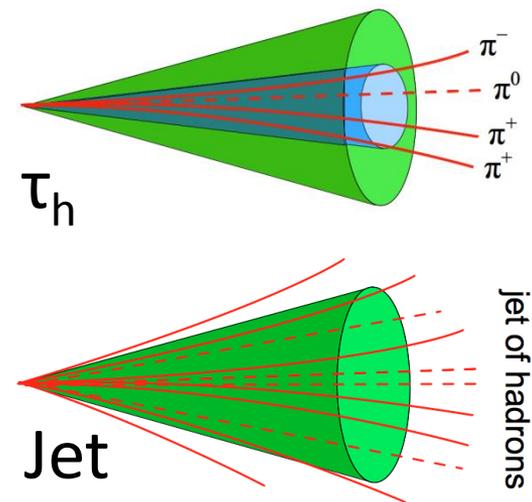
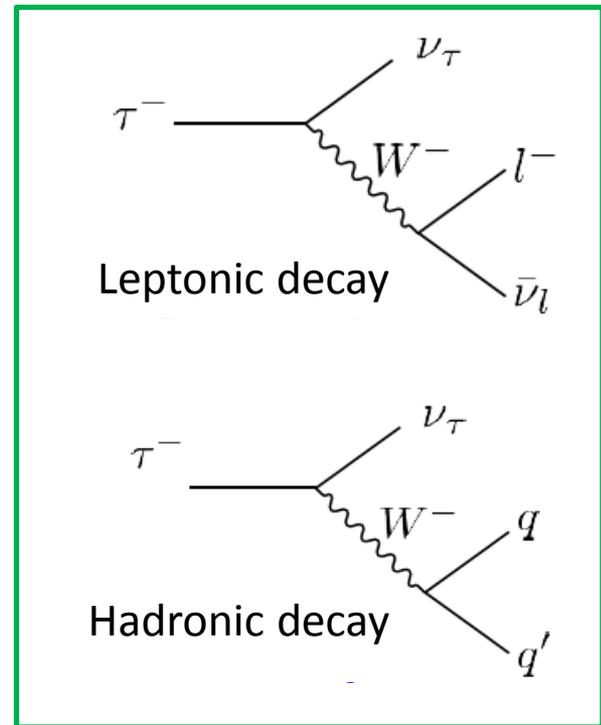
➡ 本研究では $\tau_h$ の粒子同定のみ考える。

## • $\tau_h$ の特徴

- 崩壊後, 奇数本の荷電粒子(主に $\pi^\pm$ )を含む。
- 細いジェットになり易い。

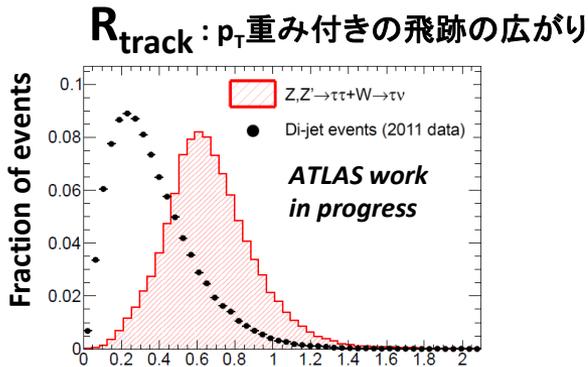
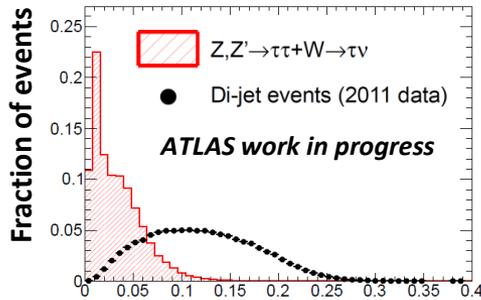
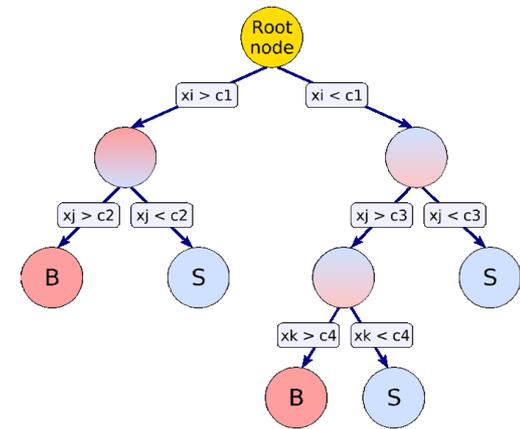
ATLAS実験では,  $\tau_h$ の特徴を最大限に生かし,  
多変量解析(BDT)により $\tau_h$ を同定している。

→ 詳細は次ページ

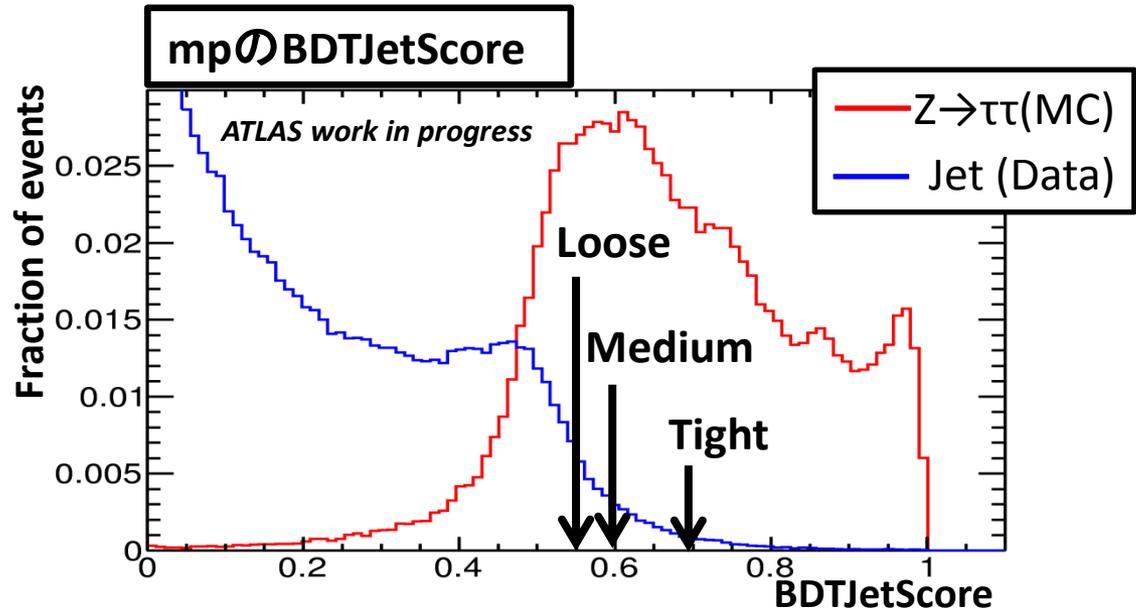


# BDTによる粒子同定

- BDT (Boosted Decision Tree)とは
  - 決定木を用いた多変量解析のこと。
  - 事前に $\tau_h$ とジェットの各変数分布でトレーニングを行い、入力データの $\tau_h$ らしさ(**BDTJetScore**)を判定する。



$f_{\text{track}}$  : leading飛跡のもつ  
運動量の割合  
: 5(1p)/6(mp)個の変数



ATLAS実験では3つのWorking Pointが用意されている。  
Loose : 70%/65%, Medium: 65%/55%  
Tight: 40%/35% for 1p/mp tau object

# 解析方法

$$SF_{ID} = \frac{\boxed{\varepsilon_{ID}^{Data}}}{\boxed{\varepsilon_{ID}^{MC}}}$$

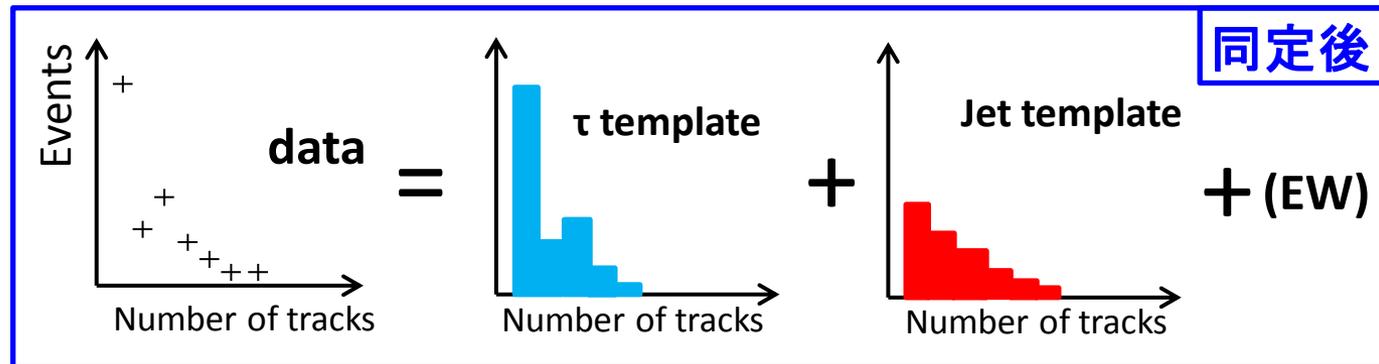
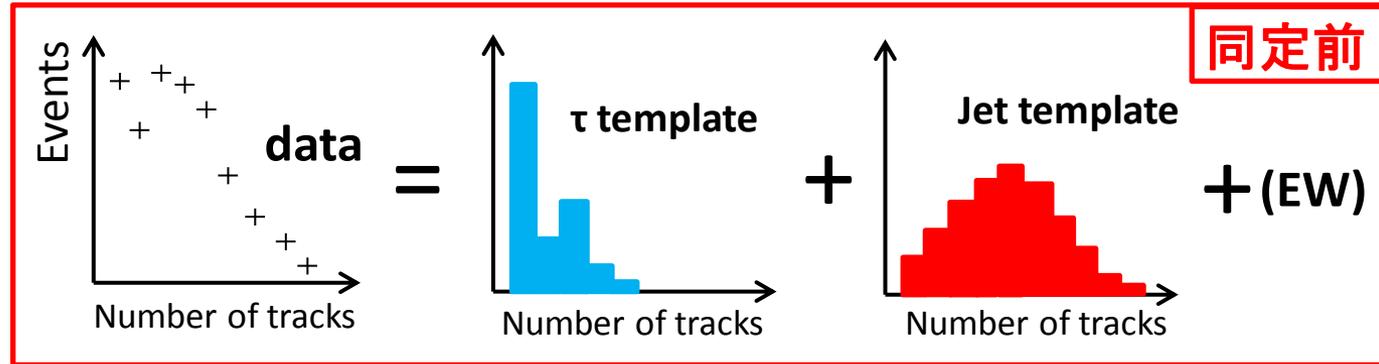
— 実データを用いて測定する。  
— MCによって測定する。

- …実データ内には本物の $\tau$ とともに大量のジェットが含まれている。
- $\tau_h$ とジェットの飛跡数の分布の違いを用いて、実データ中に含まれる $\tau_h$ の量を見積もる。…**nTrack Fitting method**

## 必要なtemplate

- $\tau$  template
- Jet template
- (EW template)

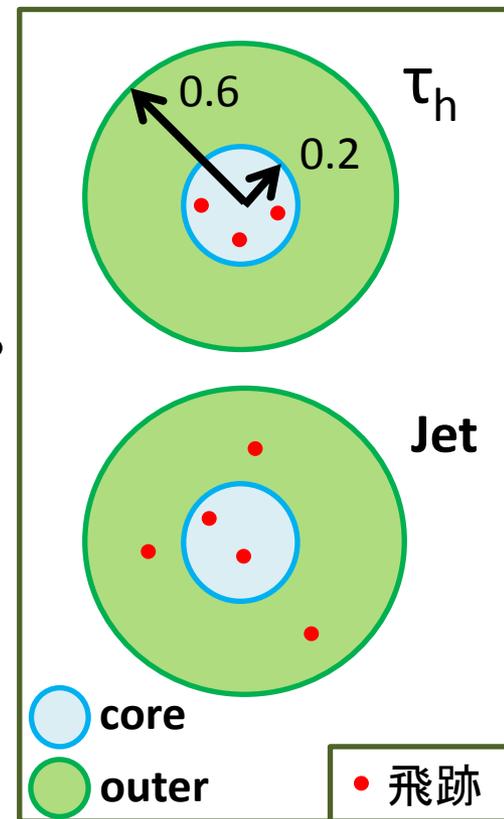
Fit結果で得られる  
同定前後の  
 $\tau$  template比を  
 $\varepsilon_{ID}^{Data}$  として測定。



# nTrackの再定義

- $\tau_h$ とジェットをよりよく選別するため、コーンサイズを $\Delta R < 0.2 \rightarrow 0.6$ に広げ飛跡を数える。
  - 細いジェットのような振る舞いから、 $\tau_h$ の飛跡数はコーンサイズを広げることで大きく変化しない。

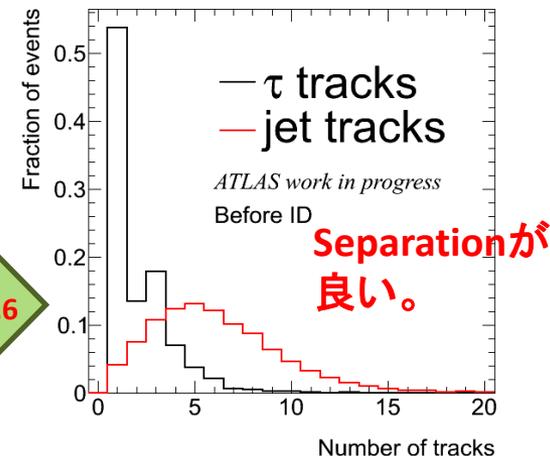
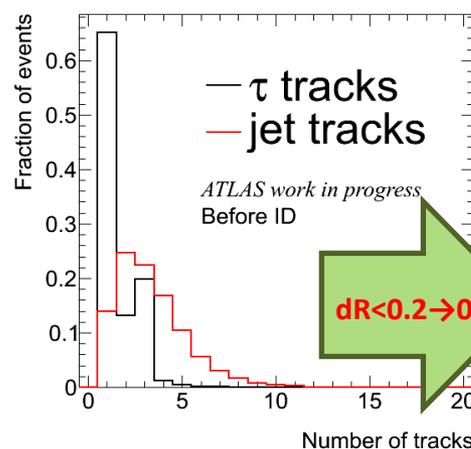
	$\Delta R < 0.2$	$0.2 < \Delta R < 0.6$	D
$\tau_h$	1 or 3	無し or pile-up (soft)	大
Jet	n(n>0)	比較的大きい $p_T$ を持つ飛跡	小



0.2 < dR < 0.6内の飛跡を数える条件

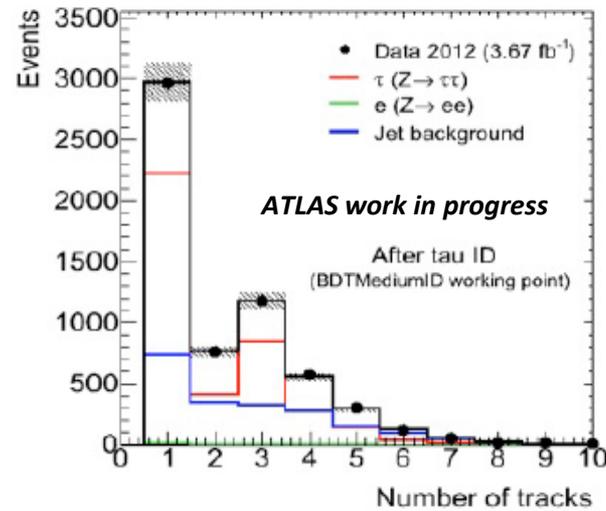
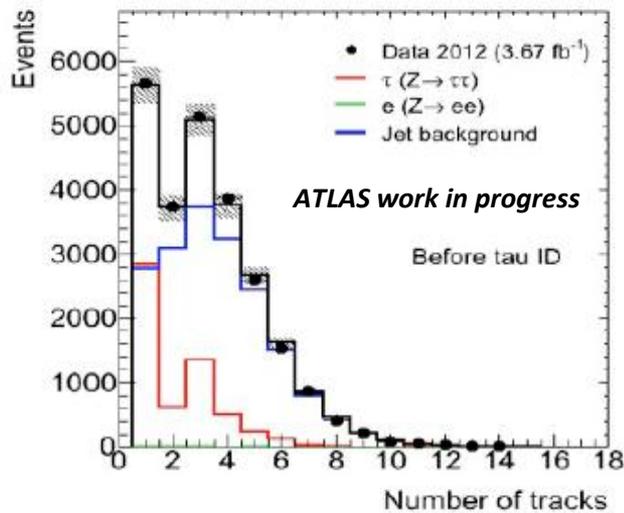
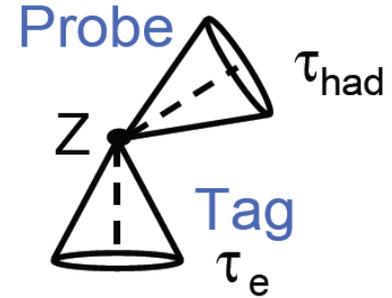
$$D = \frac{p_T^{core} \Delta R(core, outer)}{p_T^{outer}} < 4$$

core :  $\Delta R < 0.2$ 内の飛跡  
 outer :  $0.2 < \Delta R < 0.6$ の飛跡



# (例) $Z \rightarrow \tau_e \tau_h$ の解析

- $Z \rightarrow \tau_e \tau_h$  事象を用いた解析 (早大桜井の成果)
  - Tag & Probe method : Electron トリガーによる事象選択
  - データ : 8TeV 2012  $\int L = 3.67 \text{fb}^{-1}$



$Z \rightarrow \tau_\mu \tau_h$  の解析結果と統合して以下の結果を得ている。

$$\text{SF} = 0.977 \pm 0.018(\text{stat}) \pm 0.015(\text{Sys}) \quad @ \text{BDT Medium ID}$$

データをよりよく理解するためにも、全く独立の他の事象での確認が重要である。

**➡  $W \rightarrow \tau \nu$  事象**

# W→τν事象の選択

- データサンプル

2012 8TeV Run  $\int L=5.8\text{fb}^{-1}$  (4月-6月)

- Tag & Probe method

- 大きな消失横運動量(MET)トリガー(tag)によって  
**W→τν+jet事象**を選択。

- 事象選択

Signal Region: τ template, EW template作成。  
(EWは全体の~0.5%の寄与)

## Selection

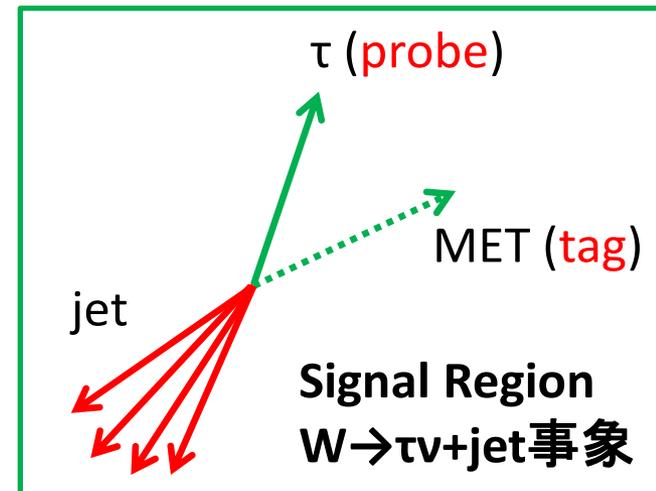
MET Trigger > 80GeV,  $\Delta\phi(\text{jet}, \text{MET}) > 0.5$

#Lepton = 0

MET > 100 GeV, b-jet veto

$0.5 < \Delta\phi(\tau, \text{MET}) < 2.0$ ,  $m_T < 80\text{GeV}$

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



W→lv+jet Region: Jet template作成。  
(jet→τ<sub>h</sub> fake)

## Selection

Signal Regionと同様。

ただし

#Lepton = 0 → 1に変更。

# $\tau$ template

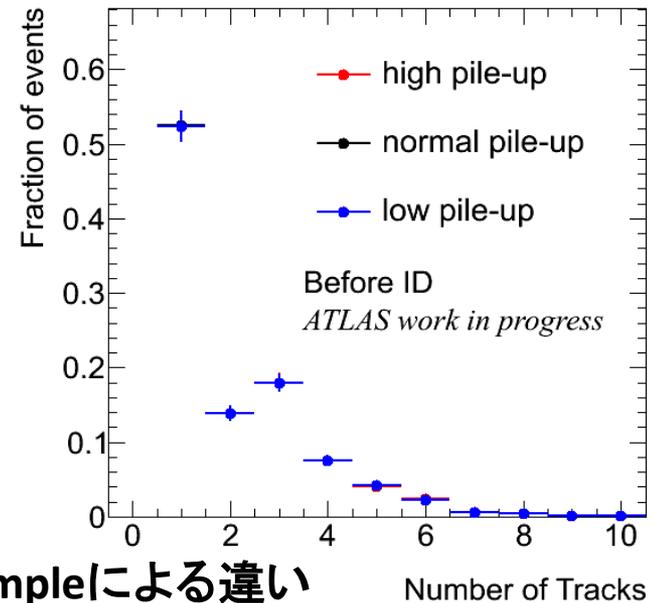
- MCを使用:  $W \rightarrow \tau\nu$ 事象(Pythia)
- 事象選択: Signal Region
  - $\tau_h$ 候補とTruth情報とのMatchingをとることで  $\tau$  templateを作成。

- **系統誤差**

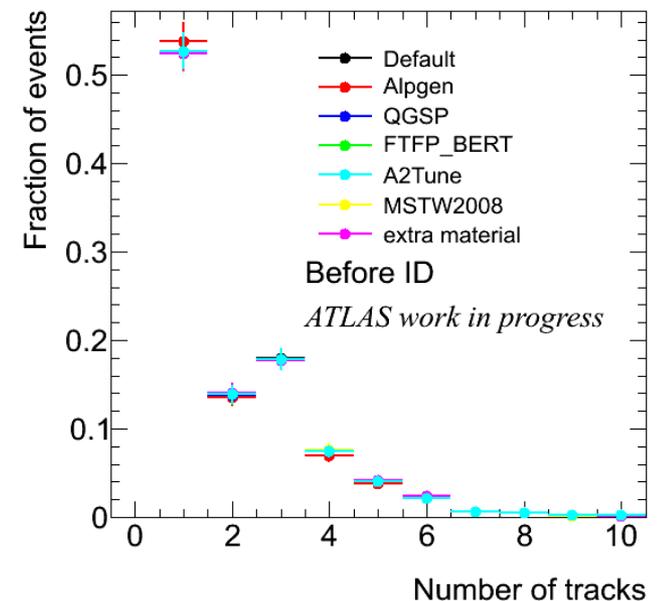
- Pile-up
- MC sample
  - ✓ Generator : PYTHIA8 vs Alpgen
  - ✓ Shower Models : QGSP vs FTFP\_BERT
  - ✓ MC tuning : Default vs A2 tune
  - ✓ PDF model : CTEQ6L vs MSTW 2008
  - ✓ Detector geometry : Extra material

デフォルトの $\tau$  templateを用いたFit結果との差を系統誤差として考慮に入れる。

## Pile-upによる違い



## MC sampleによる違い



# Jet template

- データサンプル：実データ

2012 8TeV Run  $\int L=5.8\text{fb}^{-1}$  (4月—6月)

- 事象選択:  $W \rightarrow l\nu + \text{jet}$  Region

—  $\tau_h$  に fake した jet を用いて Jet template を作成。

— Signal Region と  $W \rightarrow l\nu + \text{jet}$  Region で  $p_T$  分布が良く合う。

- 系統誤差

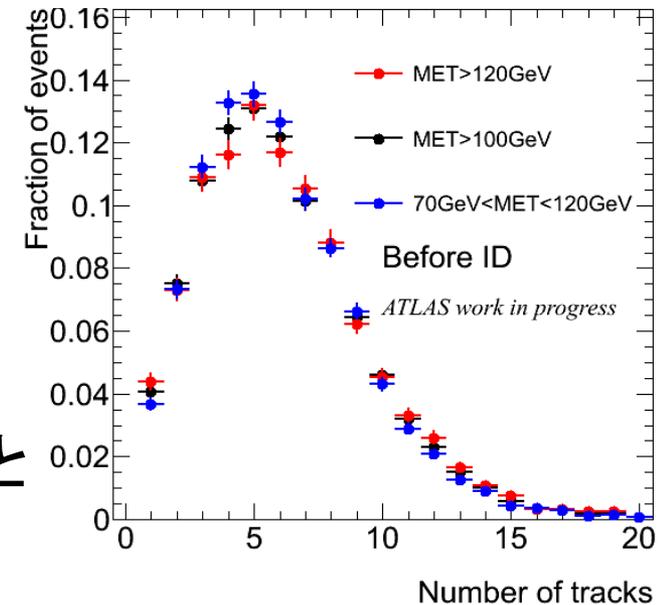
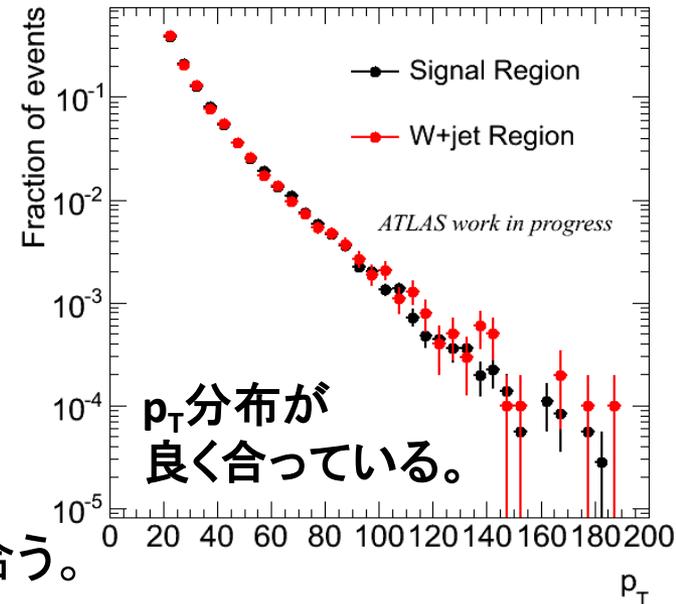
— QCD jet の不定性 (q/g fraction 等) を考慮

□ 低 MET Region :  $70\text{GeV} < \text{MET} < 120\text{GeV}$

□ デフォルト :  $\text{MET} > 100\text{GeV}$

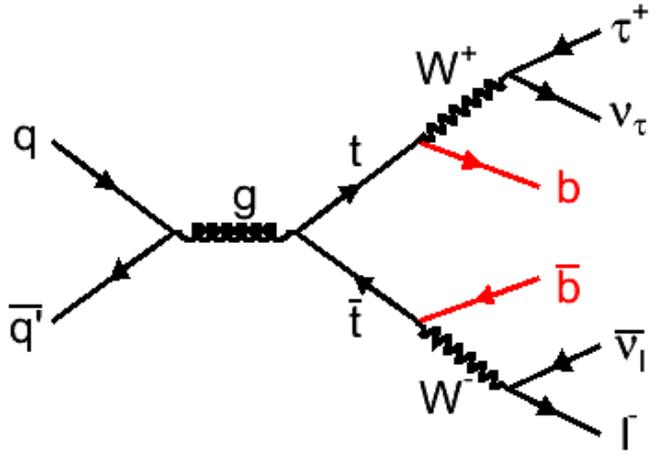
□ 高 MET Region :  $\text{MET} > 120\text{GeV}$

デフォルトの Jet template を用いた Fit 結果との差を系統誤差として考慮に入れる。

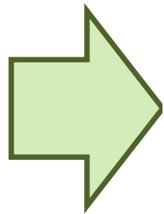
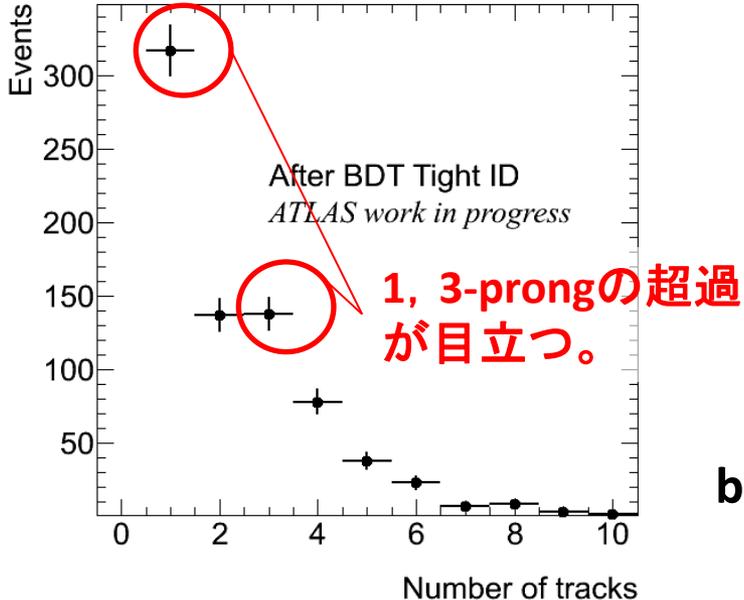


# Top事象の除去

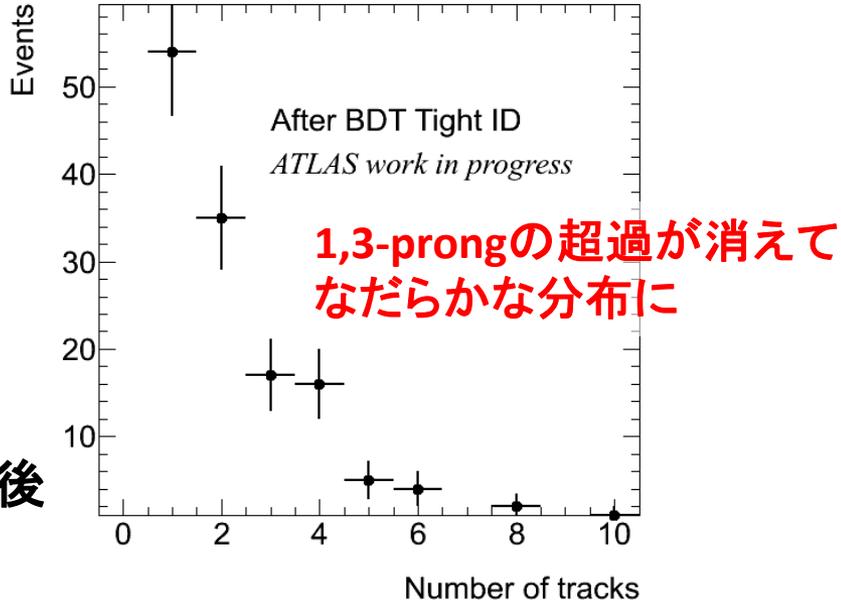
- Jet templateは、tt事象を含んでしまう。  
...Jet template中に本物の $\tau$ が混在する。



b-jetを含む事象を除去することで、  
tt事象を排除し、Jet templateから本物の $\tau$ を取り除く。



b-jet veto後



# Fit結果

## BDT Loose

$$SF = 1.22 \pm 0.12(\text{stat}) \pm 0.18(\text{Sys})$$

## BDT Medium

$$SF = 1.22 \pm 0.13(\text{stat}) \pm 0.21(\text{Sys})$$

## BDT Tight

$$SF = 1.13 \pm 0.15(\text{stat}) \pm 0.19(\text{Sys})$$

e.g.)  $Z \rightarrow \tau\tau$  (BDT Medium)

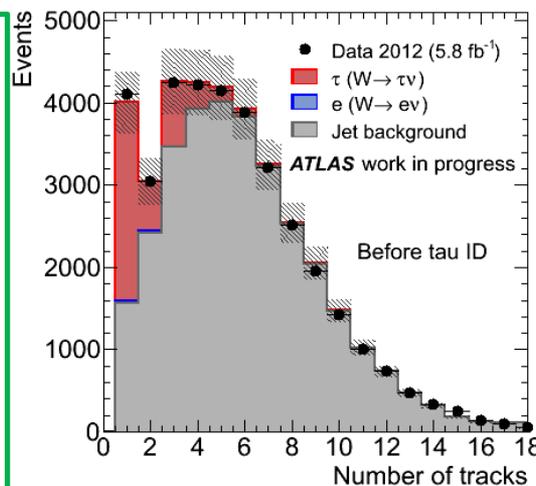
$$SF = 0.977 \pm 0.018(\text{stat}) \pm 0.015(\text{Sys})$$

$W \rightarrow \tau\nu$ 事象による解析では  
Jet templateの系統誤差が  
大きな割合を占めている。

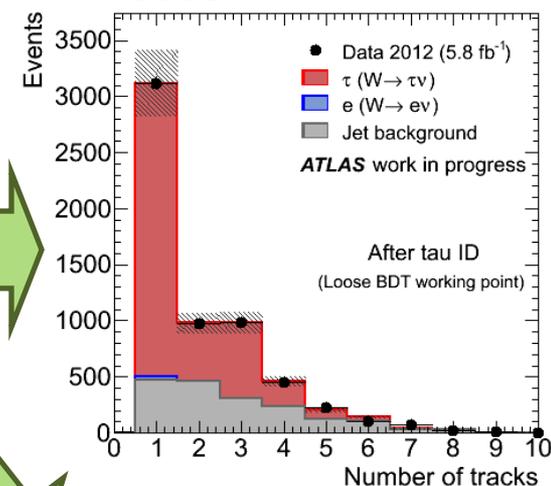
**改善すべき今後の課題**

他の解析と矛盾の無い結果を  
得た。

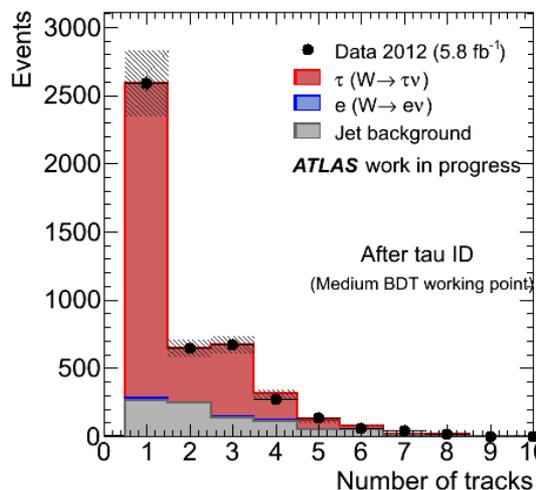
### Before ID



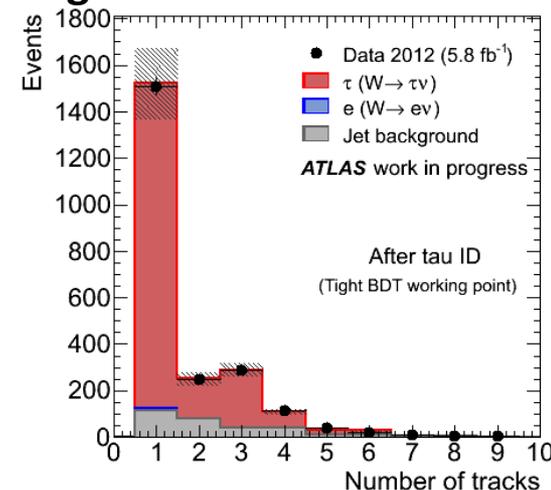
### Loose ID



### Medium ID



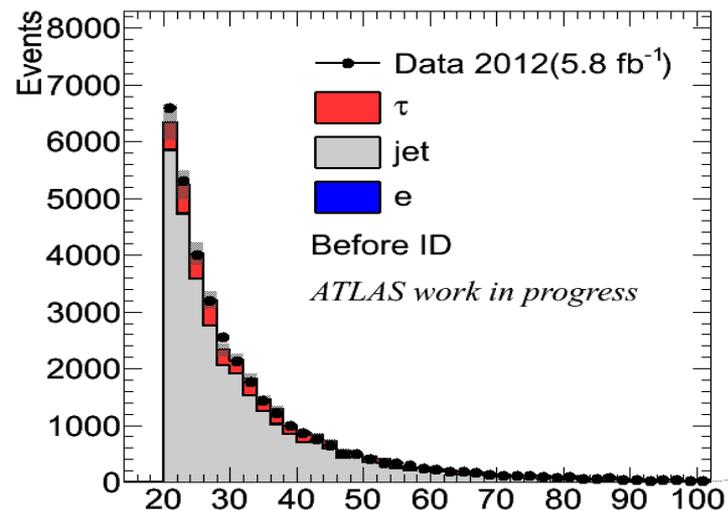
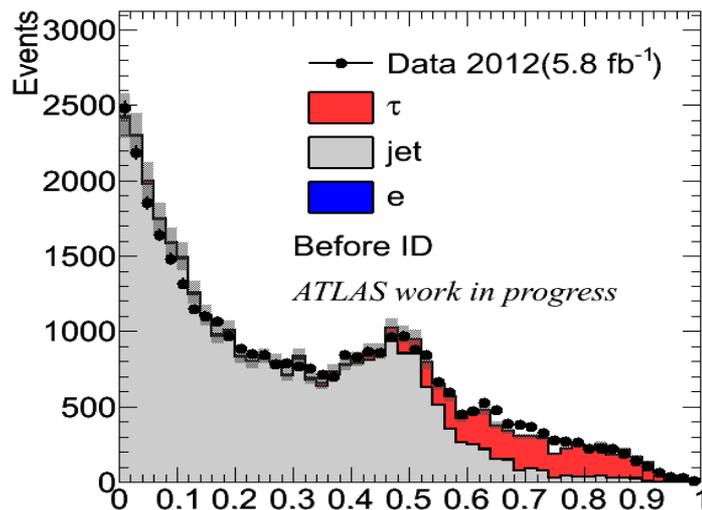
### Tight ID



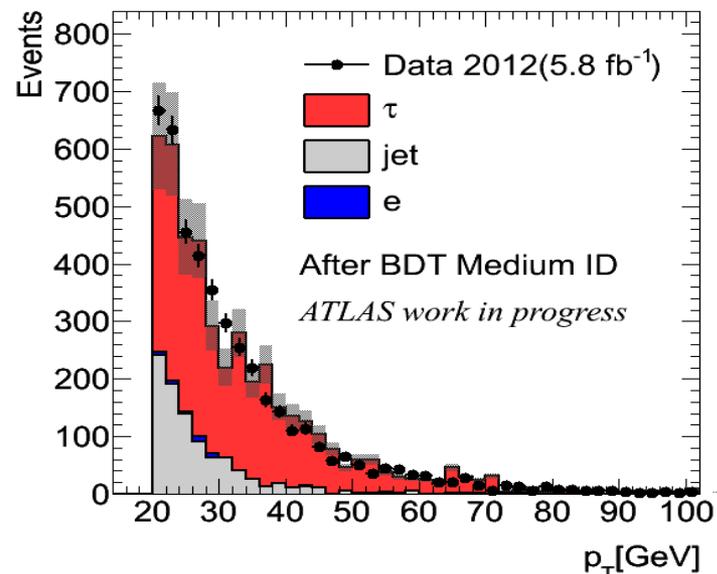
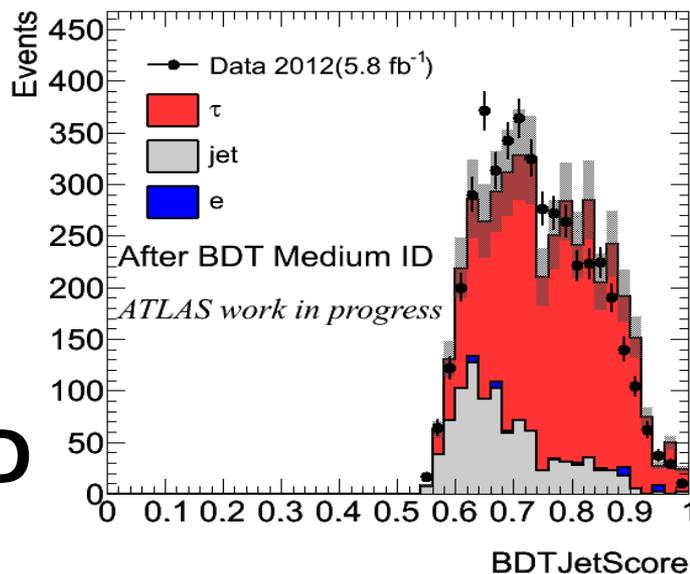
# Fit結果の検証

## BDTJetScore

## $p_T$



### Before ID



### After BDT Medium ID

# Summary

- 消失横運動量METを用いて、実データから $W \rightarrow \tau\nu$ 事象を効率的に取り出し、それを用いて $\tau$ 粒子同定効率 $\epsilon_{ID}$ 、 $SF_{ID}$ を測定した。
- QCD jetの不定性や、pile-upの状態、MCのGeneratorの違いを系統誤差として考慮に入れている。
- 他の解析と矛盾のない結果を得た。  
統計誤差が $\sim 10\%$ 、系統誤差が $\sim 20\%$ と比較的大きい。

# Future Plan

- Jet templateの系統誤差が大きな割合を占めているので、Jet templateの理解を深めて系統誤差を小さくする。
- SFの $p_T$ ,  $\eta$ ,  $\langle \mu \rangle$ 依存性を測定する。
- 2012年全データも使用し $X \rightarrow \tau + X$ の物理解析に重要な役割を果たしていく。

---

# Backup

---

