

ATLAS実験における実データを用いた タウ粒子トリガーの性能評価

早大理工、KEK^A 桜井雄基、寄田浩平、津野総司^A
他アトラスタウトリガーグループ

11aSK-2

2012年物理学会秋季大会

2012年9月11日@京都産業大学

研究の動機(タウの重要性)

✓ ヒッグス粒子らしきボソンの発見

フェルミ粒子(タウ粒子、ボトムクォーク)による発見が非常に重要である。

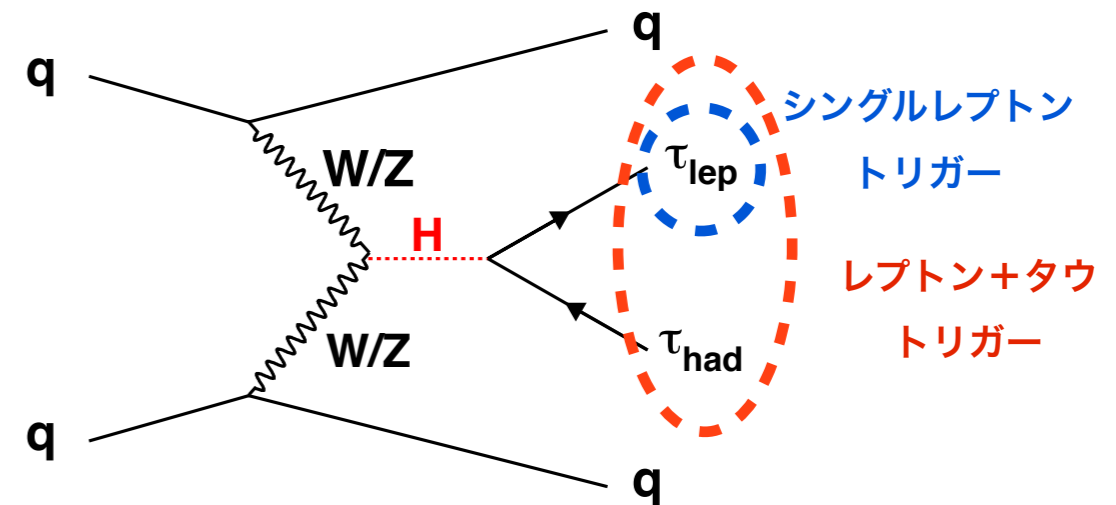
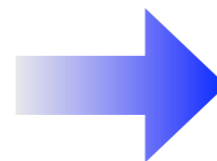
2011年の $H \rightarrow \tau\tau$ 探索では $\sim 4 \times \sigma_{SM}$

崩壊過程	分岐比
$H \rightarrow \tau\tau \rightarrow \text{lepton} + \text{lepton}$	12%
$H \rightarrow \tau\tau \rightarrow \text{lepton} + \text{hadron}$ (主チャンネル)	46%
$H \rightarrow \tau\tau \rightarrow \text{hadron} + \text{hadron}$	42%

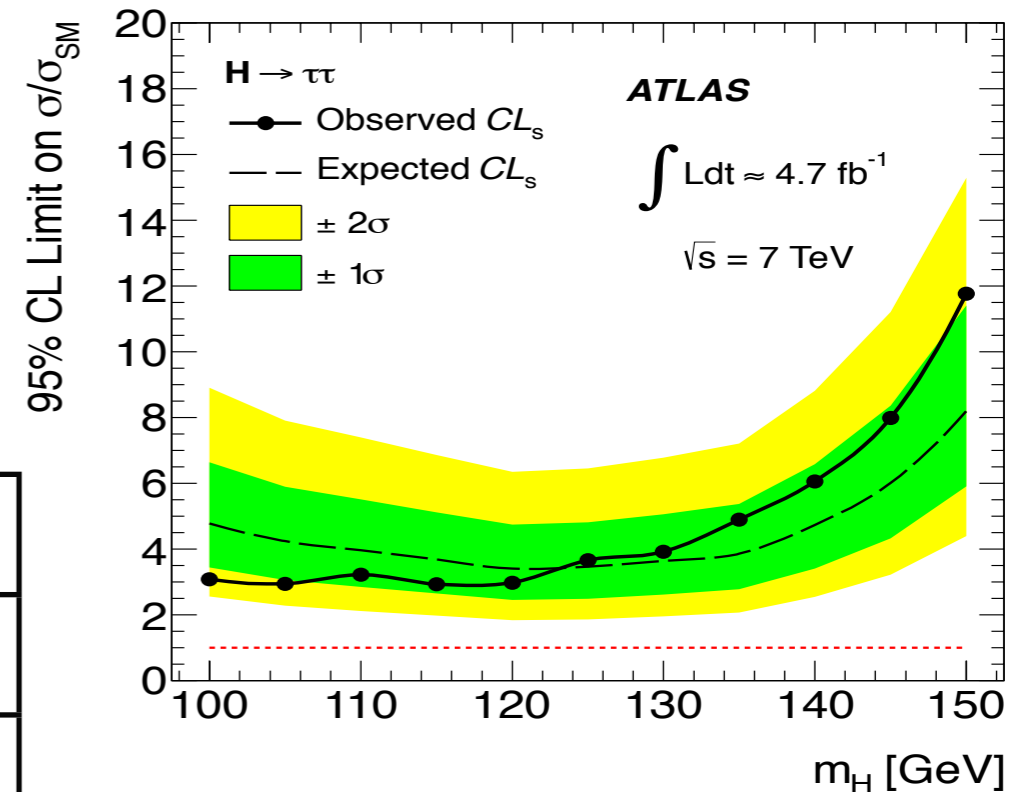
lepton-hadronチャンネルで考えられるトリガー

シングルレプトントリガー

レプトン+タウトリガー



ヒッグス粒子の生成断面積上限値



✓ SUSYの様な新物理においても、あるパラメータ空間では新粒子がタウ粒子に崩壊するモードの感度が高くなる

タウトリガー戦略の推移@ATLAS

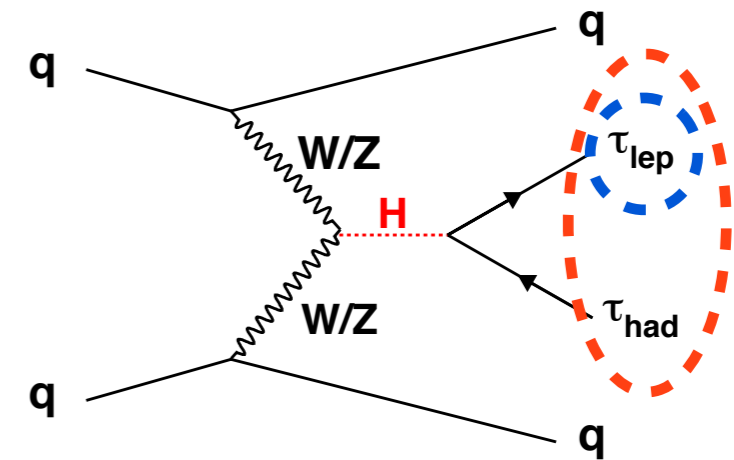
✓ シングルレプトントリガーのみ使用

→レプトン+タウトリガーも新たに追加使用

✓ タウ物理の重要性から、**Trigger**

Band Widthを当初の計画より増加

→エネルギー閾値を下げ、トリガー効率を高めるように変更した。



< 本研究の内容 >

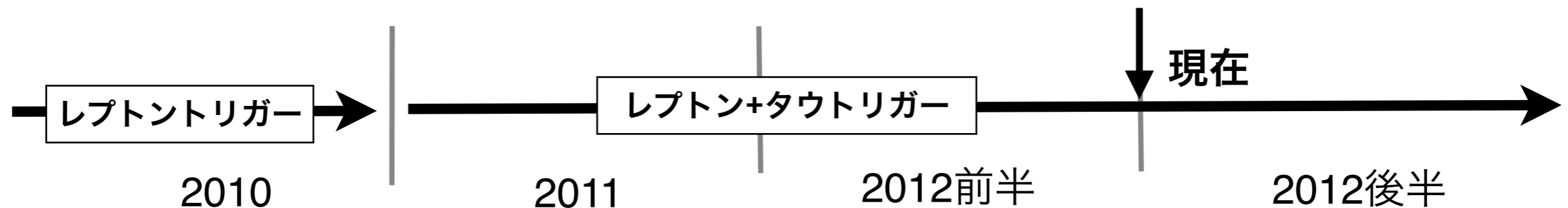
1. 現行トリガーの性能評価

2. これからのトリガーの最適化

例) $H \rightarrow \tau\tau \rightarrow l\tau_h$ (主チャンネル)での使用トリガー

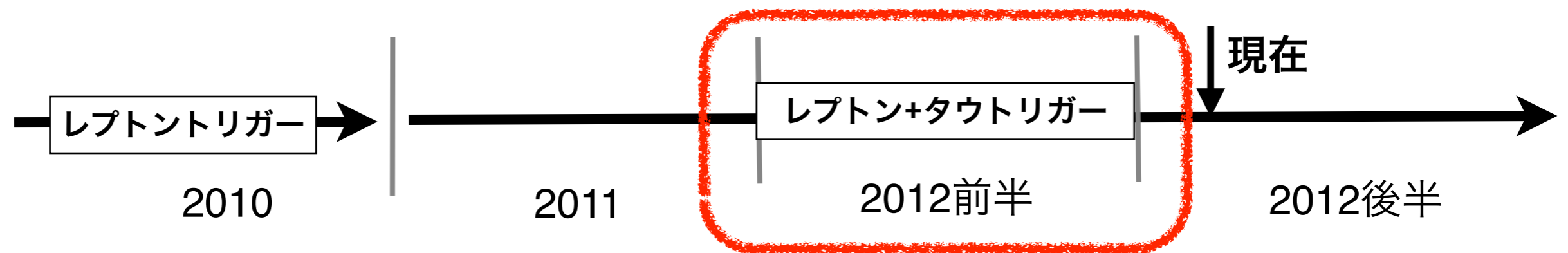
レプトン+タウトリガー追加使用

タウトリガー閾値の低下



現行タウトリガーの性能評価

例) $H \rightarrow \tau\tau \rightarrow l\tau_h$ (主チャンネル)での使用トリガー



ATLAS実験におけるタウトリガーシステム

ATLAS実験ではトリガーを三段階(Level 1, Level2, Event Filter)に分け、各段階で取得率を落としデータを取得している。

Level 1

Tau Trigger Rate: $\sim 24\text{kHz}@L=6.5 \times 10^{33} [\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$

カロリメータのエネルギー閾値によってトリガーする

Level 2

Tau Trigger Rate: $\sim 770\text{Hz}@L=6.5 \times 10^{33} [\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$

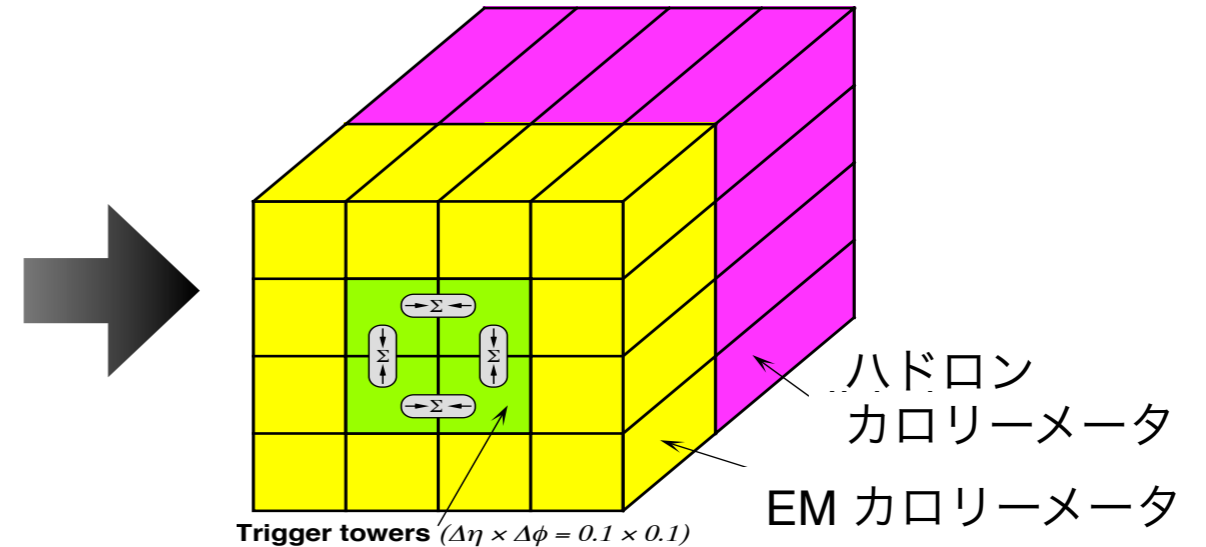
エネルギー(2種)と飛跡(4種)の変数を使用したカットベーストリガー

Event Filter

Tau Trigger Rate: $\sim 30\text{Hz}@L=6.5 \times 10^{33} [\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$

多変量解析(Boosted Decision Tree)を使用

★Tau Trigger Rate = τ_h を含むトリガーの総和

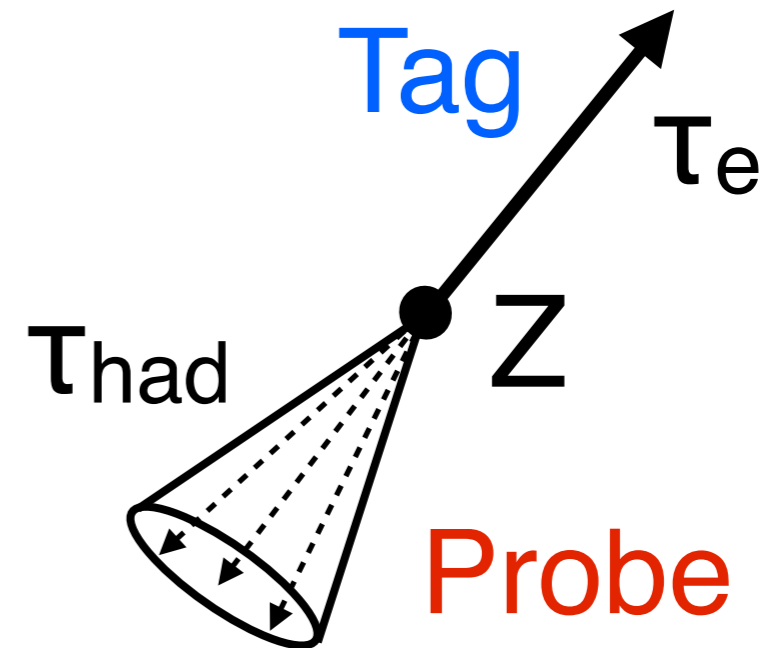


例) e/μ + τ トリガーマニュー(2012)

レベル	e/μ エネルギー閾値[GeV]	τ エネルギー閾値[GeV]	アルゴリズム
L1	>14(10)	>11	Cut base
L2	>18(15)	>15	Cut base
EF	>18(15)	>20	BDT

タウトリガー取得効率測定

- ✓ レプトン+タウトリガー等に用いられているタウトリガーの取得効率、及びデータ/MCスケールファクターを測定。
- ✓ $Z \rightarrow \tau \tau \rightarrow e \tau_{had}$ 事象を使用：
電子をトリガー(Tag)することで、タウがトリガーフリーな状態(Probe)で測定を行う。



タウトリガー取得効率の定義

$$\epsilon_{trig} = \frac{\text{事象数 (事象選択後 \& \text{タウトリガーを鳴らす})}}{\text{事象数 (事象選択後)}}$$

スケールファクターの定義

$$SF_{trig} = \frac{\epsilon_{trig}^{data}}{\epsilon_{trig}^{MC}}$$

- ✓ トリガーはL1~EFまでの各トリガーを鳴らしていることを要求。
- ✓ MCに関してはトリガーシミュレーションの情報を使用。

タウトリガー取得効率測定

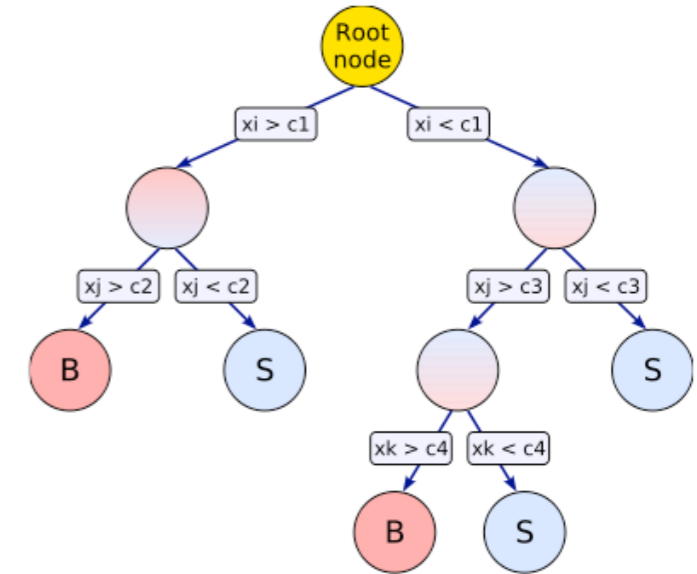
データサンプル

データ：2012年4月～6月に取得, $\sqrt{s} = 8\text{TeV}$, $\int L = 3.0[\text{fb}^{-1}]$, peak $L = 5.5 \times 10^{33} [\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$

シミュレーション： $Z \rightarrow \tau\tau$ PYTHIA MC サンプル

タウ粒子同定

タウ粒子同定には多変量解析(Boosted Decision Tree)を用いる。同定効率: 35%、フェイク率: 0.05%の同定ポイント(純度の高いタウ同定)を使用。



Boosted Decision Tree概念図

事象選択 **選別による純度: ~90%**

$W \rightarrow e/\mu + \nu$ & QCDを抑制するための選別

$$25\text{GeV}/c < e_{le} p_T < 40\text{GeV}/c$$

$$m_T < 40\text{GeV}/c^2$$

$$-0.15 < \sum \cos \Delta \phi < 0.3$$

Opposite Sign

$Z \rightarrow ee$ を抑制するための選別

$$\text{Number of electron} == 1$$

$$40 < M(ele, \tau) < 80\text{GeV}/^2$$

$$m_T = \sqrt{2 p_{Tlep} E_T^{miss} (1 - \cos \Delta \phi)}$$

$$\sum \cos \Delta \phi = \cos \Delta \phi(ele, E_T^{miss}) + \cos \Delta \phi(\tau, E_T^{miss})$$

タウトリガー取得効率測定

データサンプル

データ：2012年4月～6月に取得, $\sqrt{s} = 8\text{TeV}$, $\int L = 3.0[\text{fb}^{-1}]$, peak $L = 5.5 \times 10^{33} [\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$

シミュレーション： $Z \rightarrow \tau\tau$ PYTHIA MC サンプル

タウ粒子同定

タウ粒子同定には多変量解析(Boosted Decision Tree)を用いる。同定効率: 35%、フェイク率: 0.05%の同定ポイント(純度の高いタウ同定)を使用。

事象選択 (選別による純度: ~90%)

$W \rightarrow e/\mu + \nu$ & QCDを抑制するための選別

$$25\text{GeV}/c < e_{le} p_T < 40\text{GeV}/c$$

$$m_T < 40\text{GeV}/c^2$$

$$-0.15 < \sum \cos \Delta \phi < 0.3$$

Opposite Sign

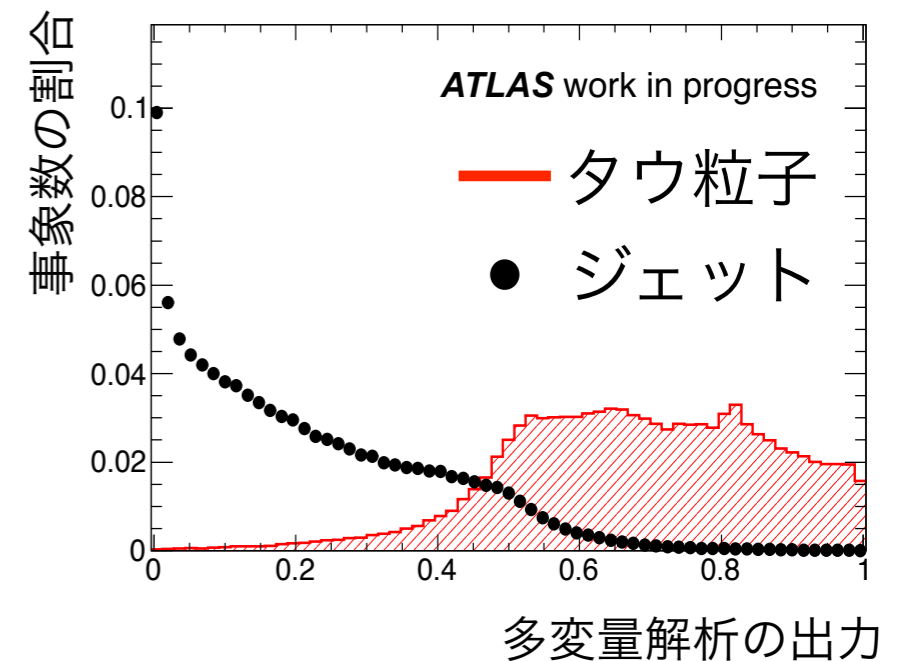
$Z \rightarrow ee$ を抑制するための選別

$$\text{Number of electron} == 1$$

$$40 < M(e, \tau) < 80\text{GeV}/c^2$$

$$m_T = \sqrt{2 p_{Tlep} E_T^{miss} (1 - \cos \Delta \phi)}$$

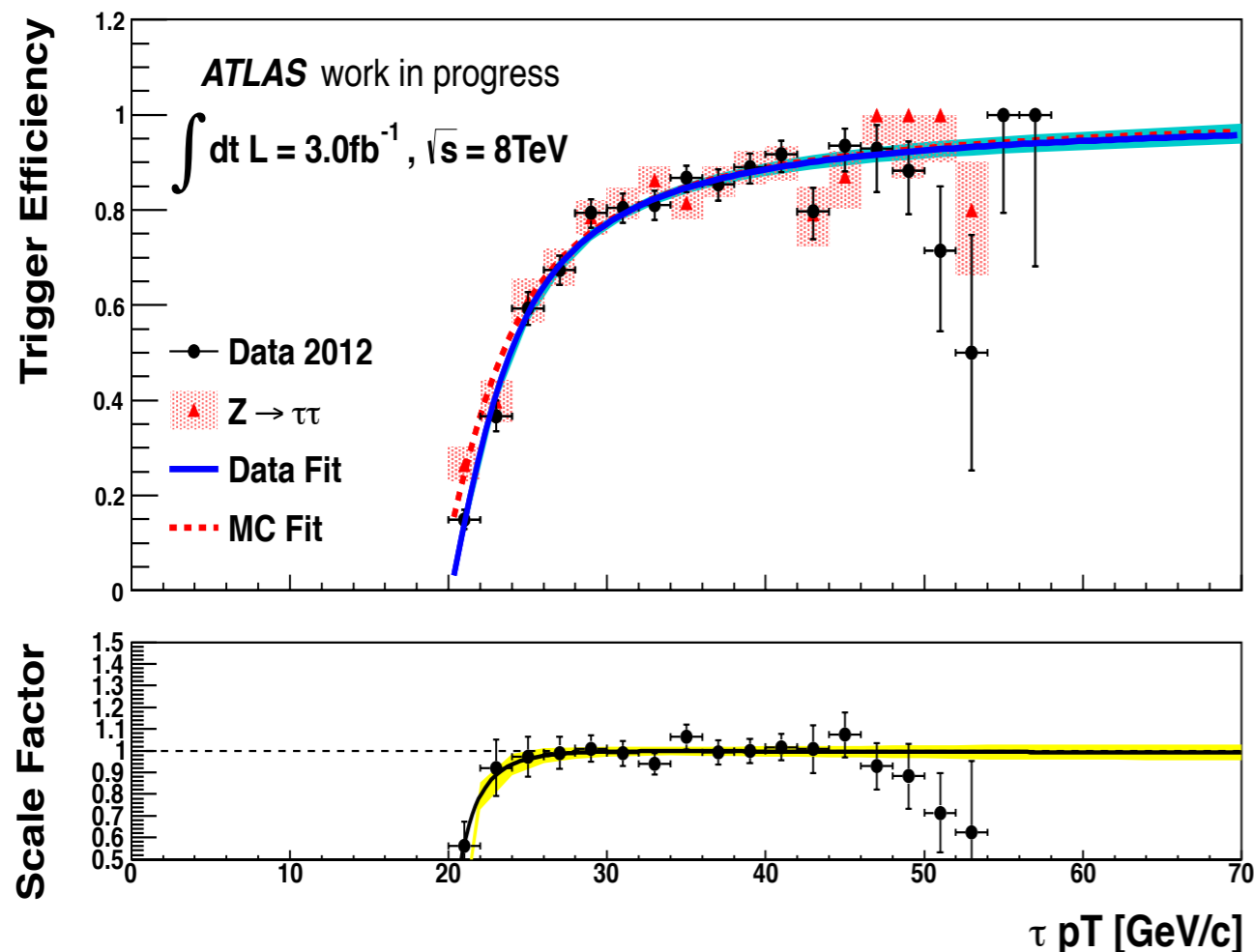
$$\sum \cos \Delta \phi = \cos \Delta \phi(e, E_T^{miss}) + \cos \Delta \phi(\tau, E_T^{miss})$$



タウトリガー効率測定

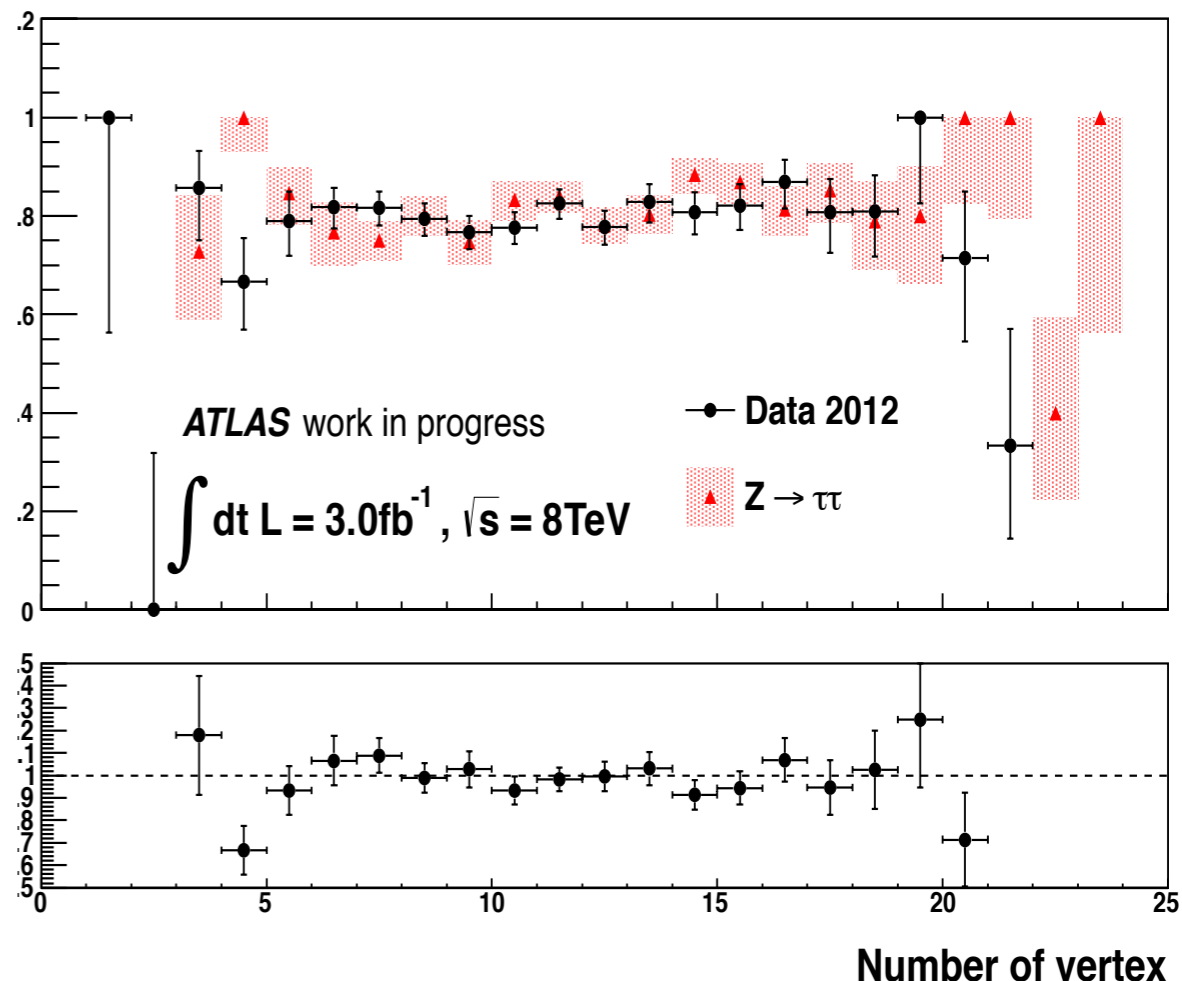
～ 結果 ～

tau pT 依存性



Pile-up 依存性

τ pT > 25 GeV/c peak $L = 5.5 \times 10^{33} [\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$



✓ DataとMCシミュレーションが良い一致を見せている。

✓ Pile-up依存性に関して、vertexの数が20個までは取得効率を保持している。

→ さらに高いルミノシティでの測定が進行中 ($L = 7 \times 10^{33} [\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$)。

レプトンとタウの相関について

レプトン+タウトリガーの取得効率

角度相関がある (MCシミュレーション)

バレル領域の要求により検出器による依存性なし

$$\rightarrow \epsilon_{trig}^{e/\mu+\tau} \neq \epsilon_{trig}^{e/\mu} \times \epsilon_{trig}^{\tau}$$



実データによる確認をするためには
レプトンとタウがトリガーフリーな事象
が必要。

シングルレプトントリガー (エネルギー閾値: 24GeV)

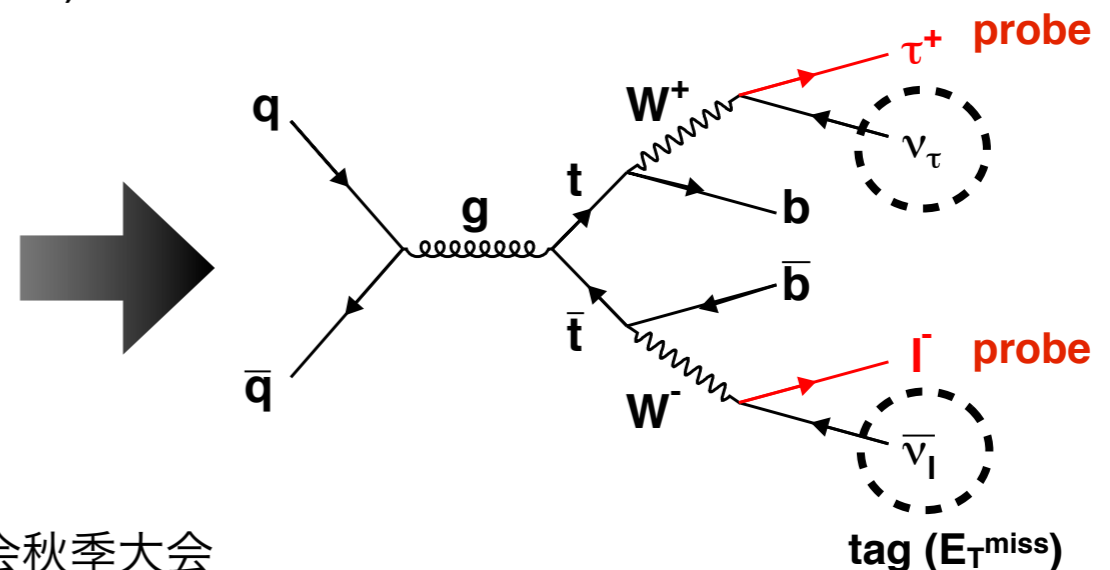
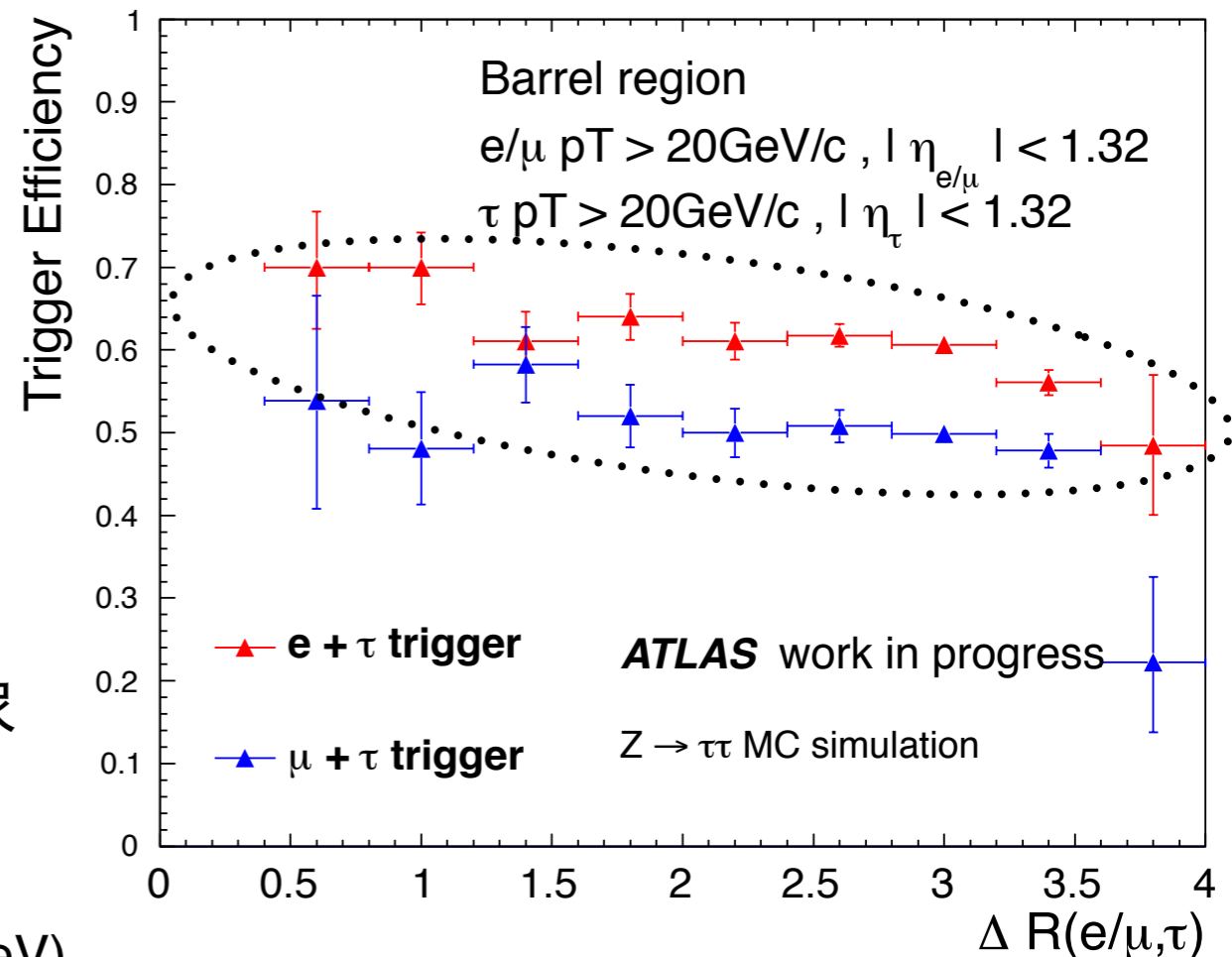
$e/\mu E_T(pT) > 24\text{GeV} : \bigcirc$

$18/15 < e/\mu E_T(pT) < 24\text{GeV} : \times$

Missing E_T トリガー (レプトン、タウフリー)

$15/18 < e/\mu E_T(pT) : \bigcirc$

取得効率の角度相関 $\Delta R = \sqrt{\Delta\eta^2 + \Delta\phi^2}$



これからのタウトリガー最適化

例) $H \rightarrow \tau\tau \rightarrow l\tau_h$ (主チャンネル)での使用トリガー



タウトリガーの最適化

タウ物理の重要性からタウトリガーの**Band Width**が計画よりも増加した。

→ エネルギー閾値を下げることで効率化を図る。

(Level2 : 15GeV→10GeV / EF : 20GeV→18GeV)

(レプトン/タウ)+タウトリガーのTrigger Rate: ~200Hz増加

Band Widthにまだ~100Hz猶予が存在する。

→ Level 2 トリガーの変数閾値に注目。

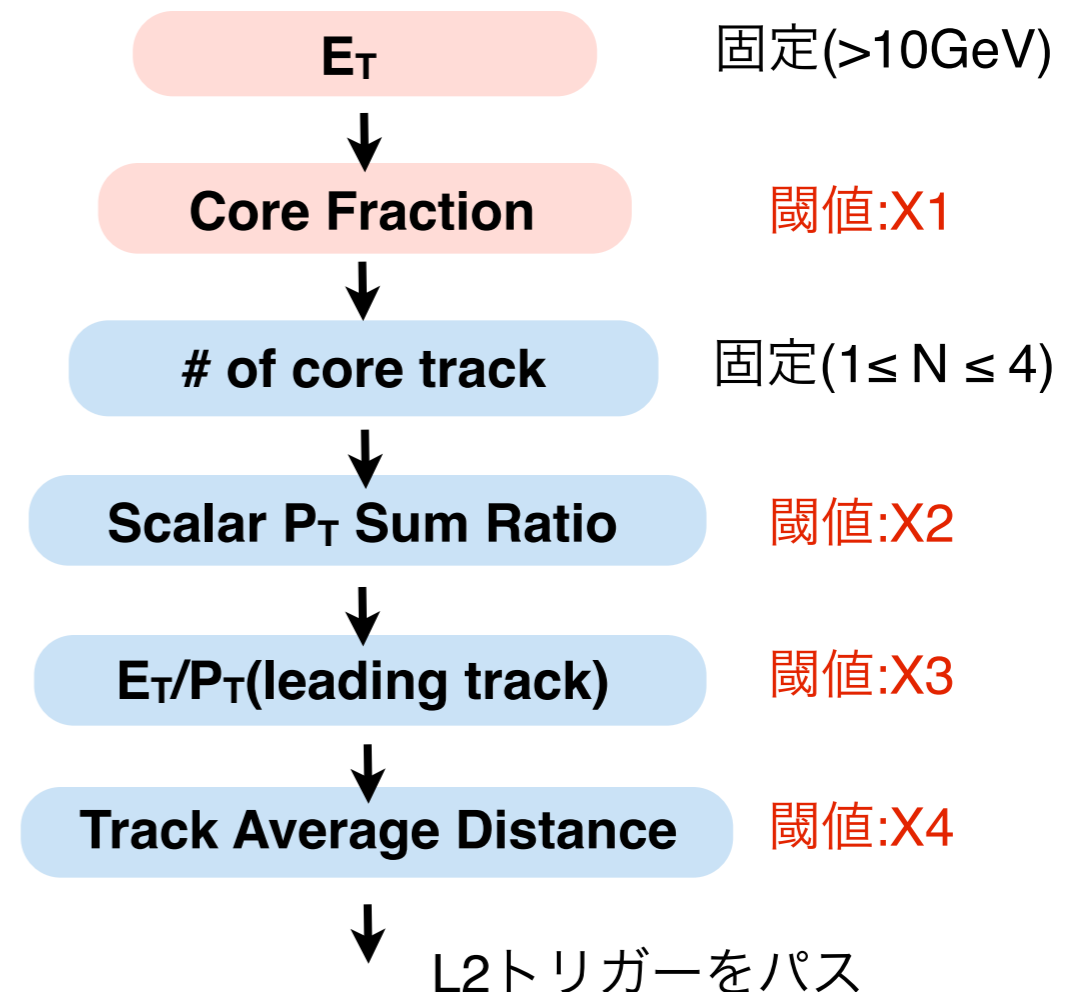


[研究目的]

(エネルギー閾値低下) + (変数閾値の変更)

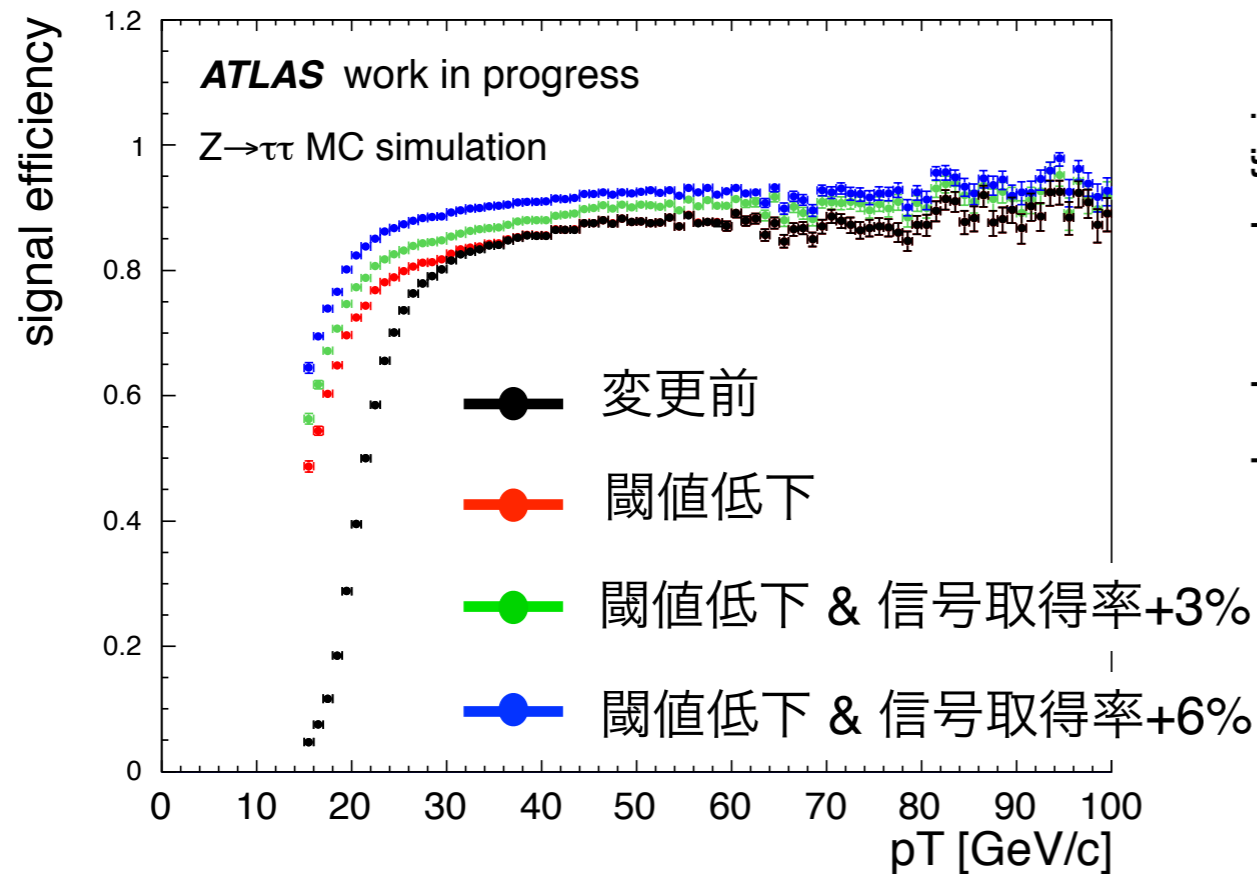
によって、シグナル取得率のさらなる
効率化を図る。

● エネルギー変数
● 飛跡変数

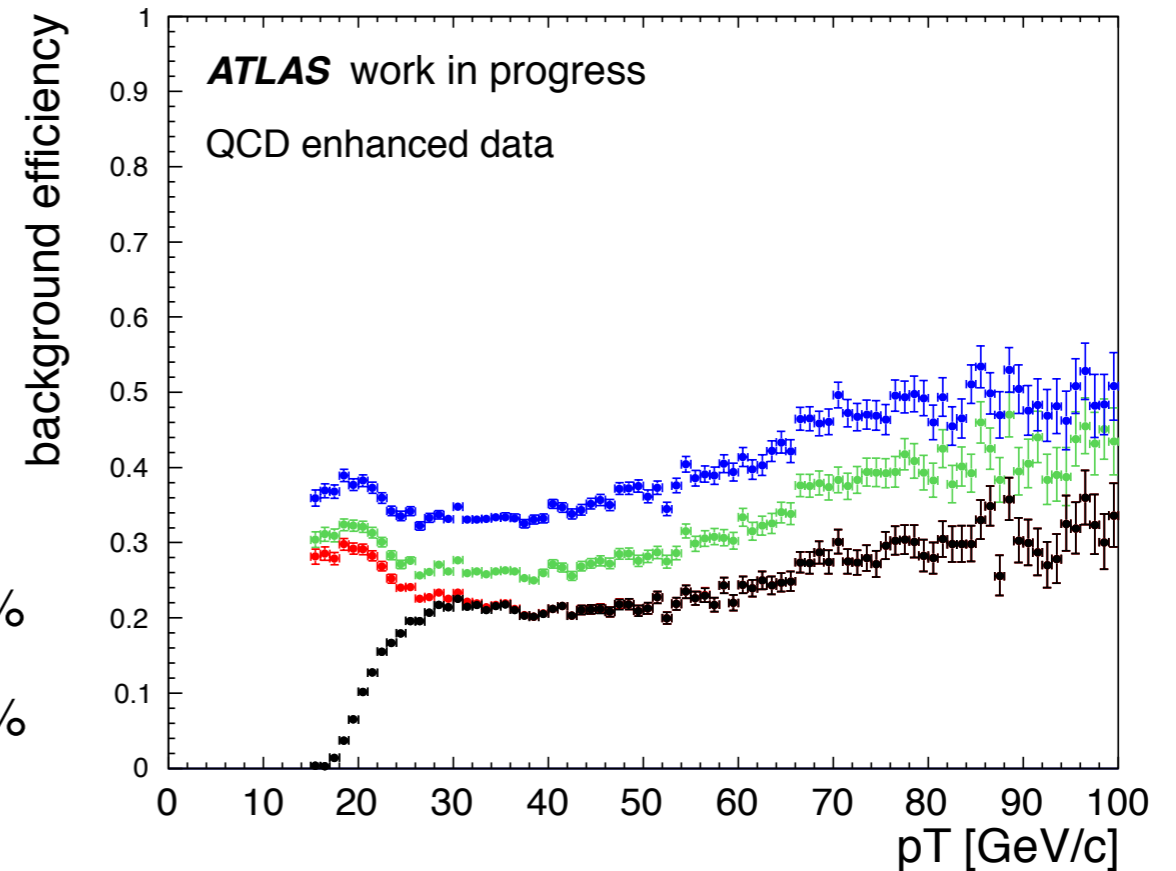


タウトリガーの最適化

シグナル取得効率



ジェットフェイク率



エネルギー閾値低下に加え、信号取得効率を+3%~+6%向上させる
変数閾値を設定した (フェイク率が最小になるように最適化)。

現在、各設定におけるTrigger Rateを見積っている。

**Band Widthの許容量に対応した最適化閾値を採用し、
実際のデータ取得を行うべく研究を遂行中。**

まとめと展望

現行タウトリガーの性能評価

実データ($Z \rightarrow \tau\tau \rightarrow e\tau_h$ 事象)によりタウトリガー取得効率を測定。

→ データとMCで非常に良い一致が見られた。

レプトン+タウトリガー取得効率の角度相関が存在(MCシミュレーション)。

→ 実データ中のトップ対生成事象で再現性の検証を行う予定。

これからのタウトリガーの最適化

Level 2 タウトリガーの変数閾値の最適化(エネルギー閾値低下に対応)。

→ 全体のトリガー率を考慮の上、最適化を図る。

タウトリガーは安定動作しており、データの理解も進んでいる。

“ヒッグスらしい粒子”の性質解明に邁進中！

Backup

タウ粒子の特徴

タウ粒子の崩壊過程

- 本研究では主要モードであるハドロン崩壊のみ考える。
- レプトン崩壊でのレプトンはタウ粒子由来かの判別が困難

レプトン崩壊	$\tau^+ \rightarrow l^+ \nu_l \nu_\tau$	35.2%
ハドロン崩壊	$\tau^+ \rightarrow \pi^+ \nu_\tau + n\pi^0 \ (n=0,1,2\dots)$	46.7%
	$\tau^+ \rightarrow \pi^+\pi\pi^+ \nu_\tau + n\pi^0 \ (n=0,1,2\dots)$	11.7%

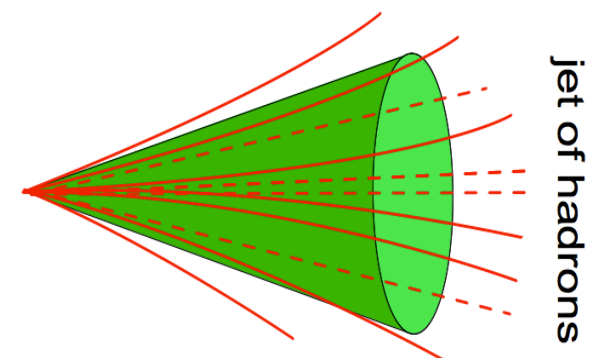
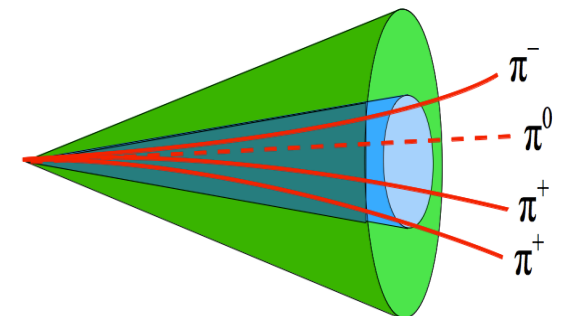
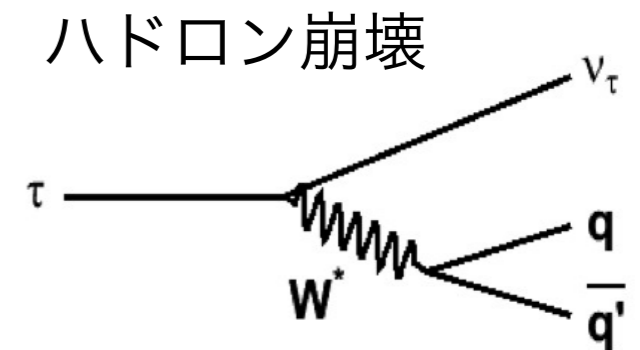
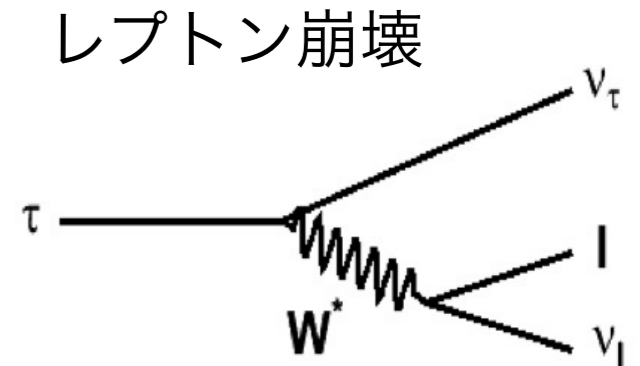
ハドロン崩壊の特徴

- パイオン(K粒子)による奇数本の荷電飛跡。
- 細いハドロンの束として観測される。



これらの特徴を利用し、ハドロン崩壊するタウ粒子をトリガーする。

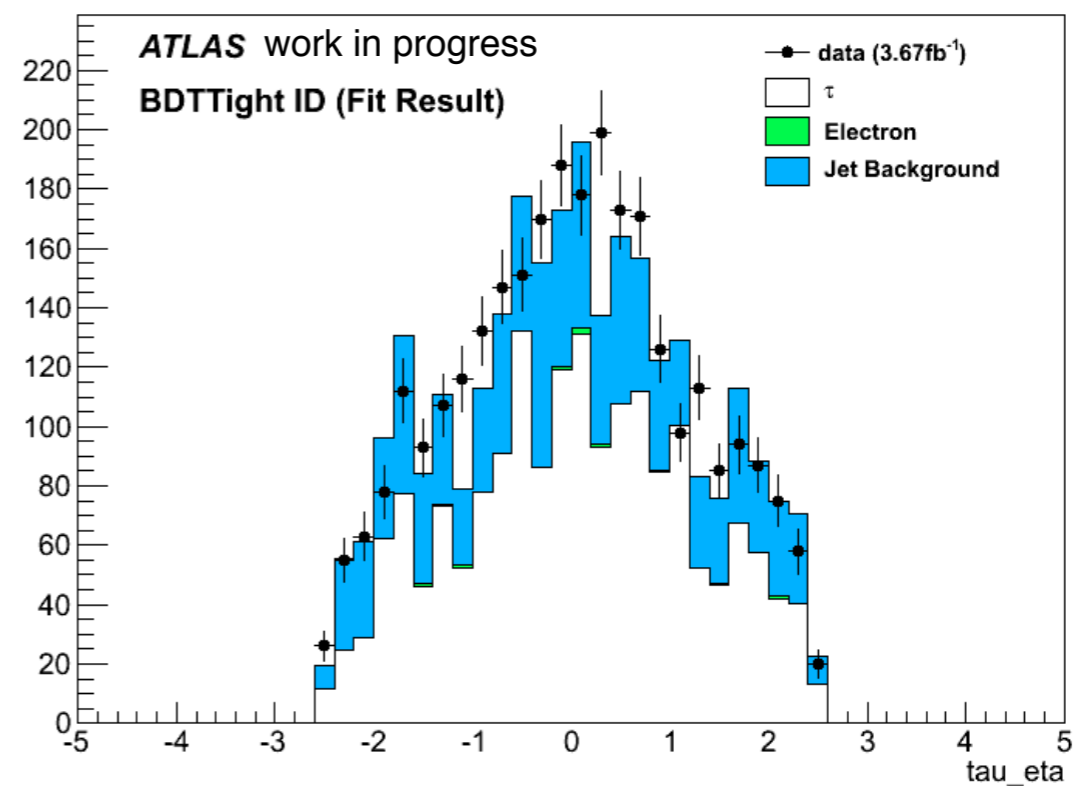
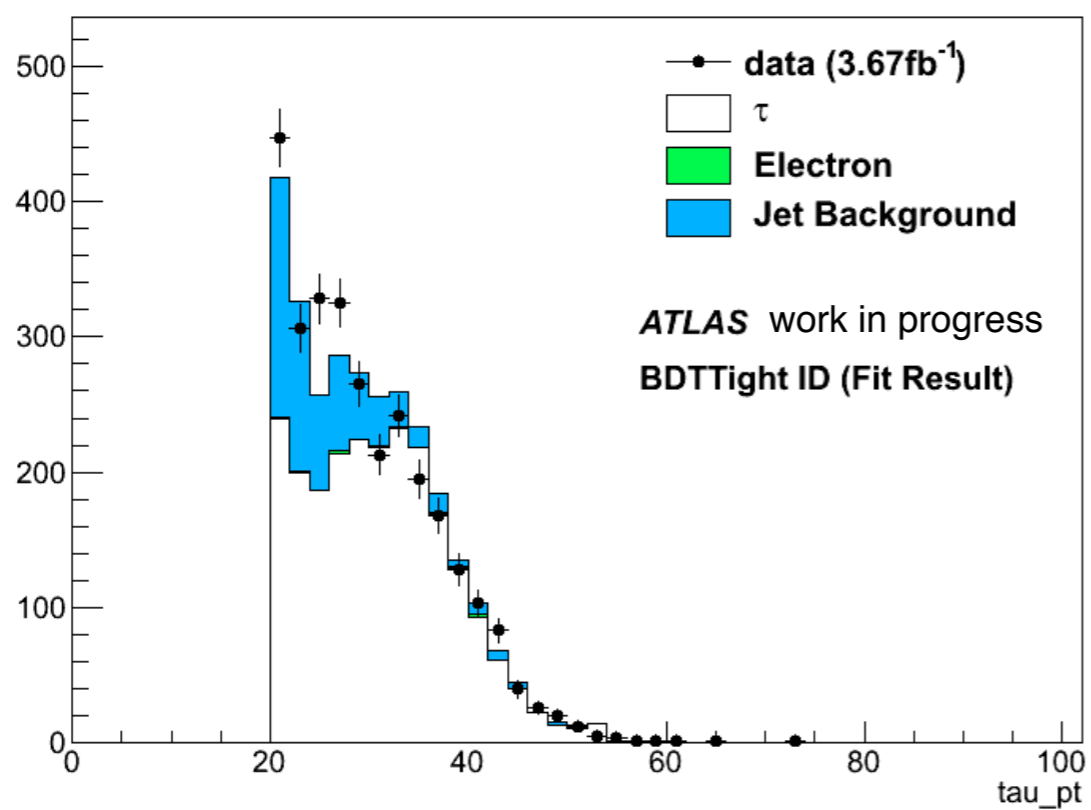
QCDジェットの背景事象との識別が重要。



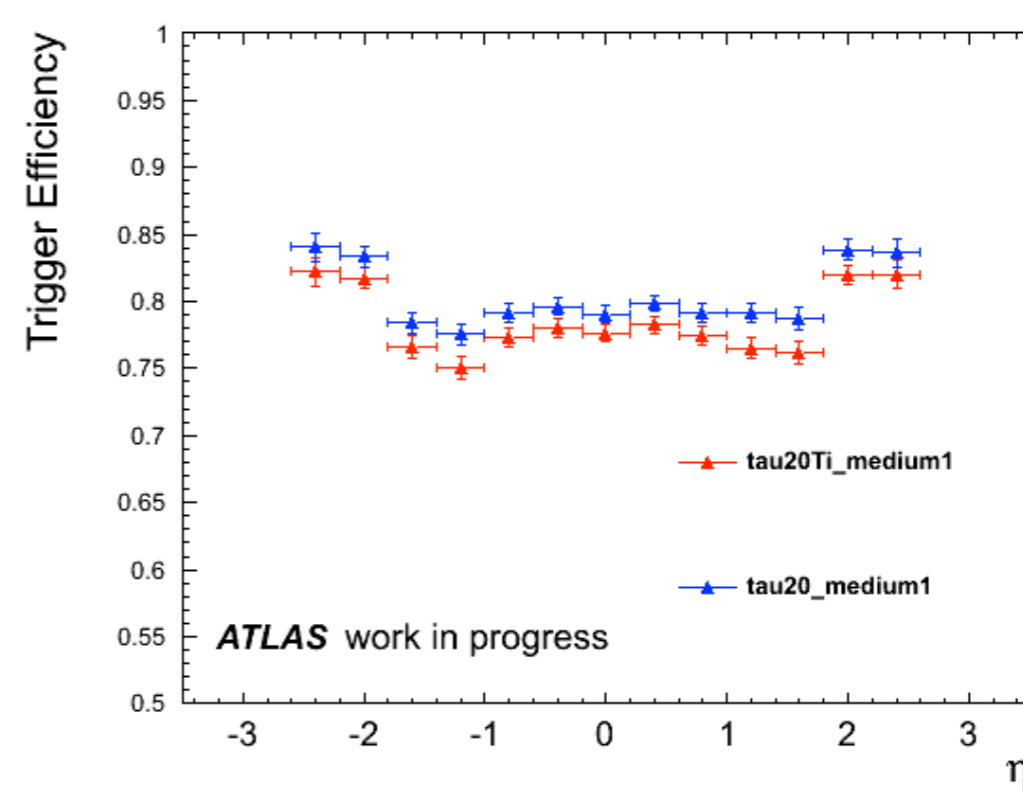
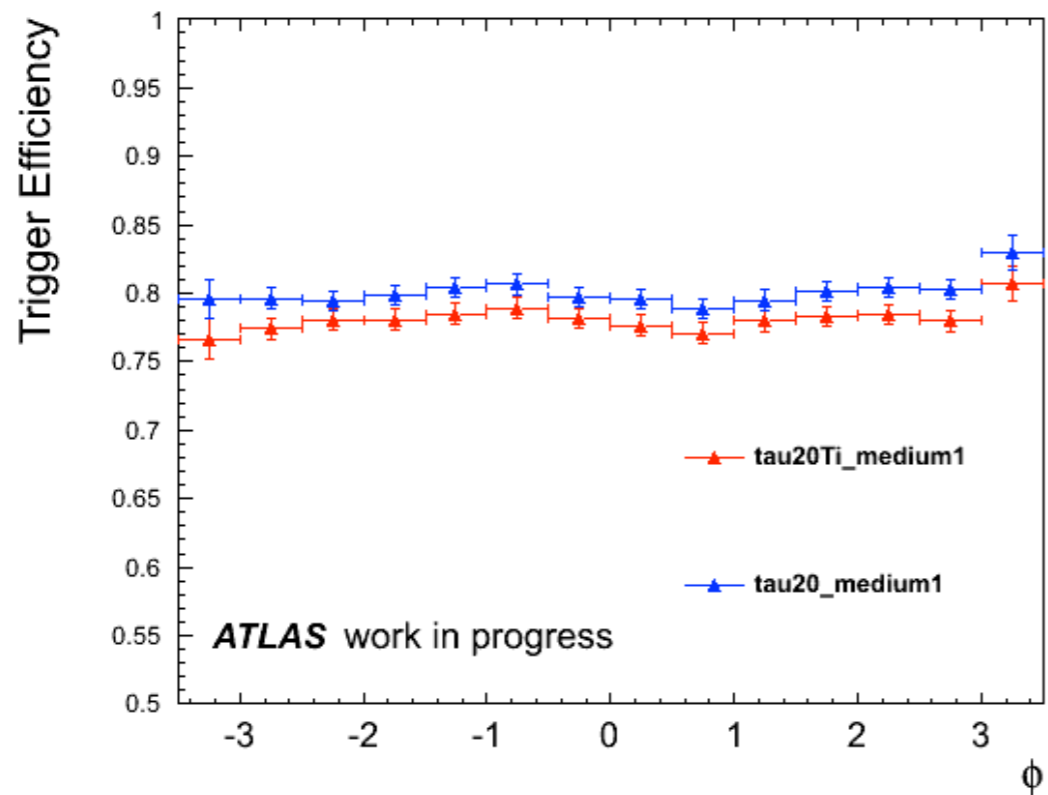
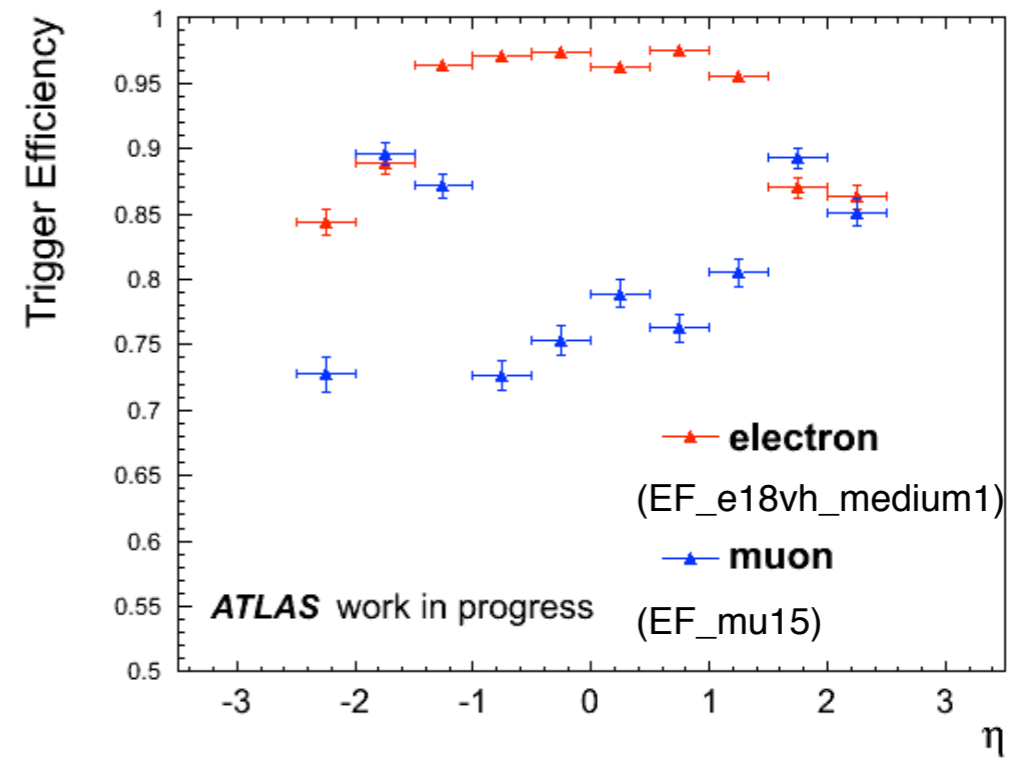
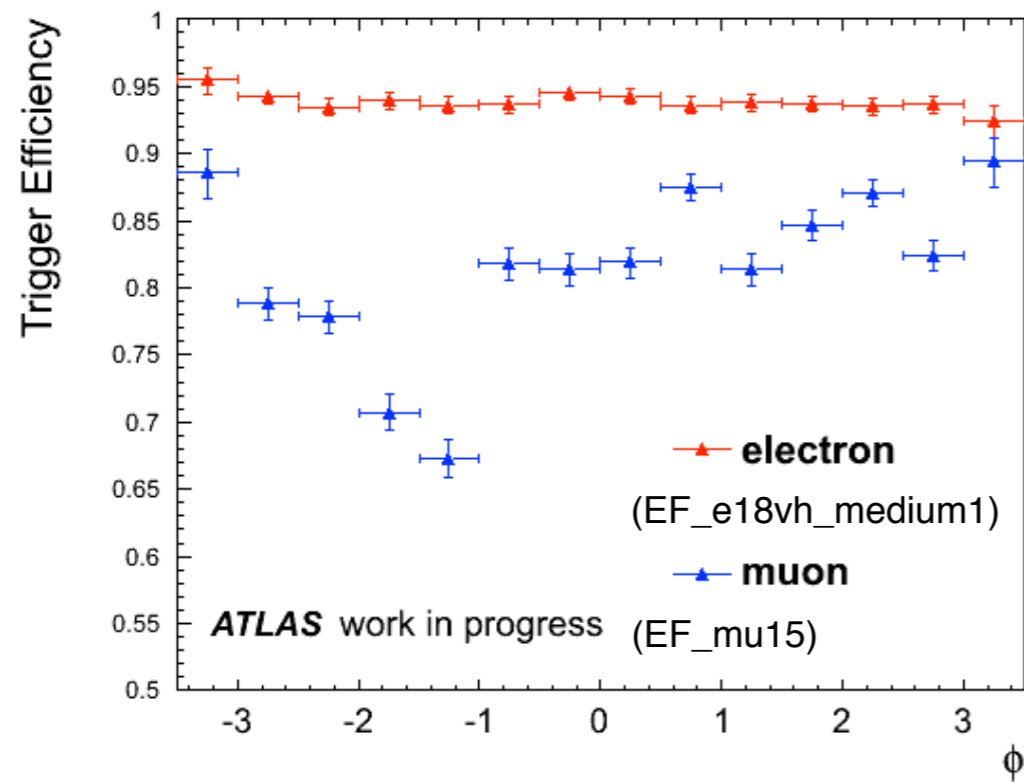
タウトリガーメニュー

Triggers for Tau		Peak lumi: 7.0x10 ³³		Avg lumi: 5.0x10 ³³
		Peak	Peak	Average
Chain name	L1 item	L1 rate	L2 rate	EF rate
Baseline Triggers:				
EF_2tau38T_medium1	L1_2TAU20	5600	30	1.1
EF_2tau38T_medium1_llh	L1_2TAU20	5600	30	1.7
EF_tau100_loose1_tau70_loose1	L1_2TAU20	5600	10	2.5
EF_tau115_medium1	L1_TAU40	5000	30	1.3
EF_tau115_medium1_llh	L1_TAU40	5000	30	2.7
EF_tau20T_medium1_mu15i	L1_TAU11_MU10	1600	60	2.5
EF_tau20Ti_medium1_e18vh_medium1	L1_2TAU11I_EM14VH	5800	160	3.9
EF_tau20_medium1_mu15	L1_TAU8_MU10	3100	60	7.9
EF_tau20_medium1_mu15i	L1_TAU8_MU10	3100	60	2.7
EF_tau20_medium1_mu18	L1_TAU8_MU10	3100	30	4.9
EF_tau29T_medium1_xe55_tclcw_tight	L1_TAU15_XE40	1400	80	3.3
EF_tau29Ti_medium1_tau20Ti_medium1	L1_2TAU11I_TAU15	12100	430	11.1
EF_tau29Ti_medium1_xe55_tclcw	L1_TAU15I_XE35	1900	60	4.5
EF_tau38T_medium1_e18vh_medium1	L1_2TAU11_TAU20_EM14VH	7100	40	1.9
EF_tau38T_medium1_xe55_tclcw_tight	L1_TAU20_XE40	1300	60	2.5
Total		24300	770	31.3

事象数の見積り

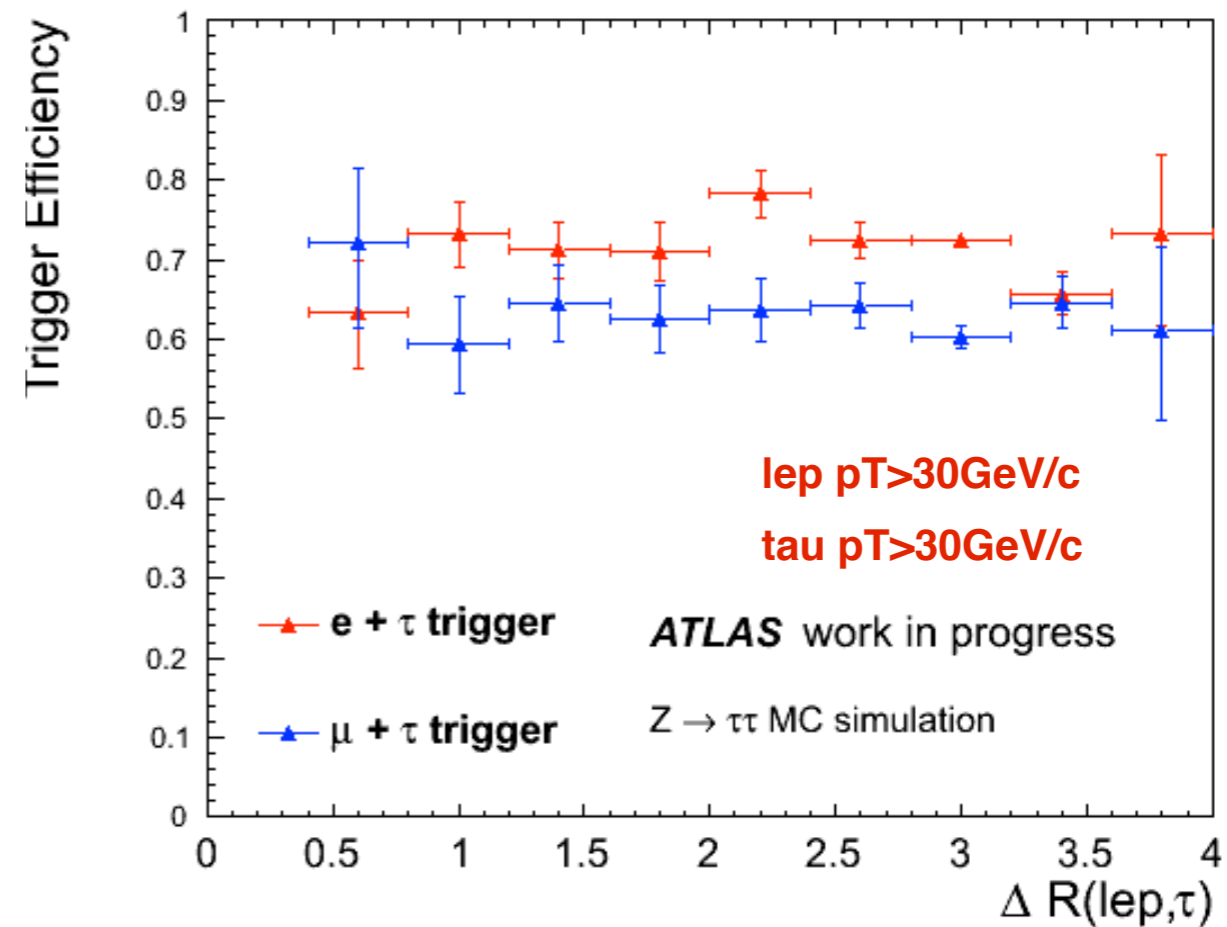
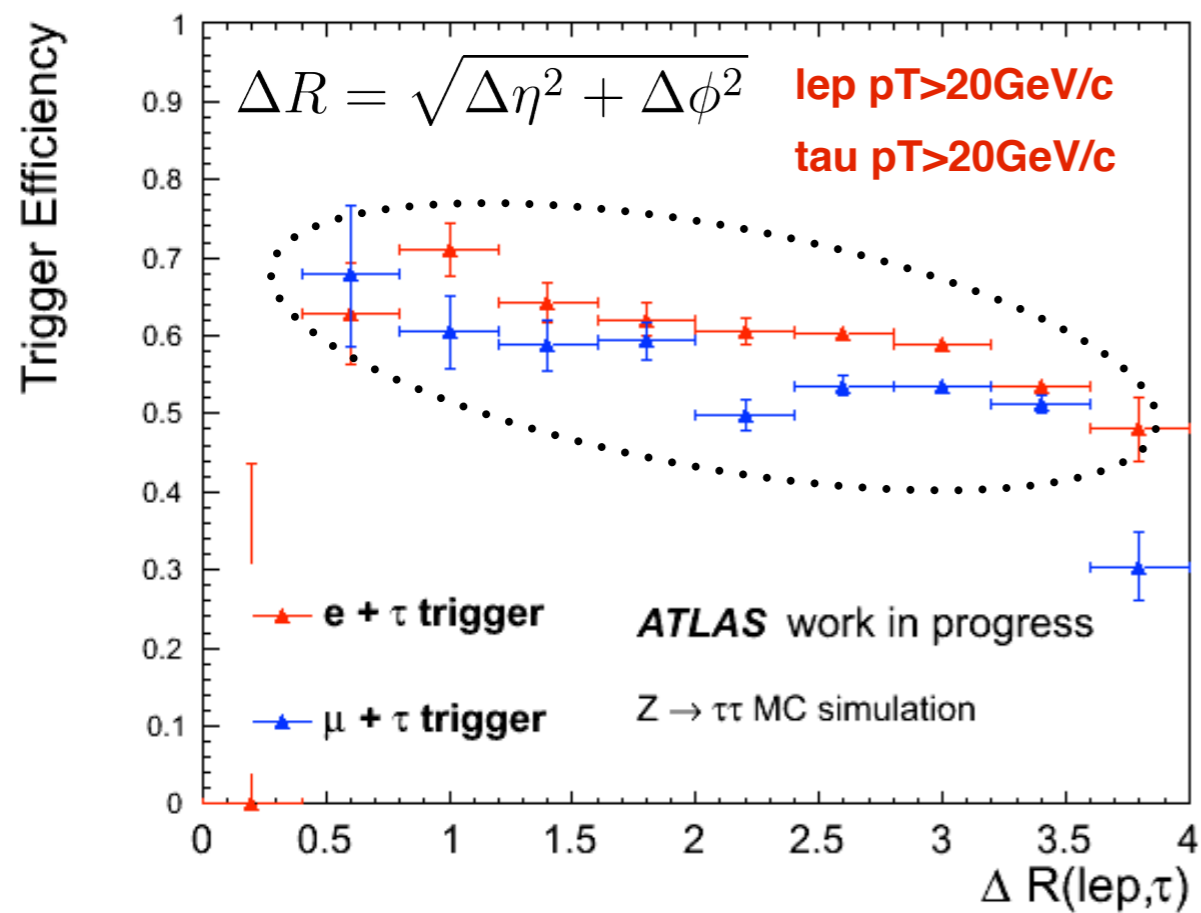


シングルレプトン・タウトリガー取得効率

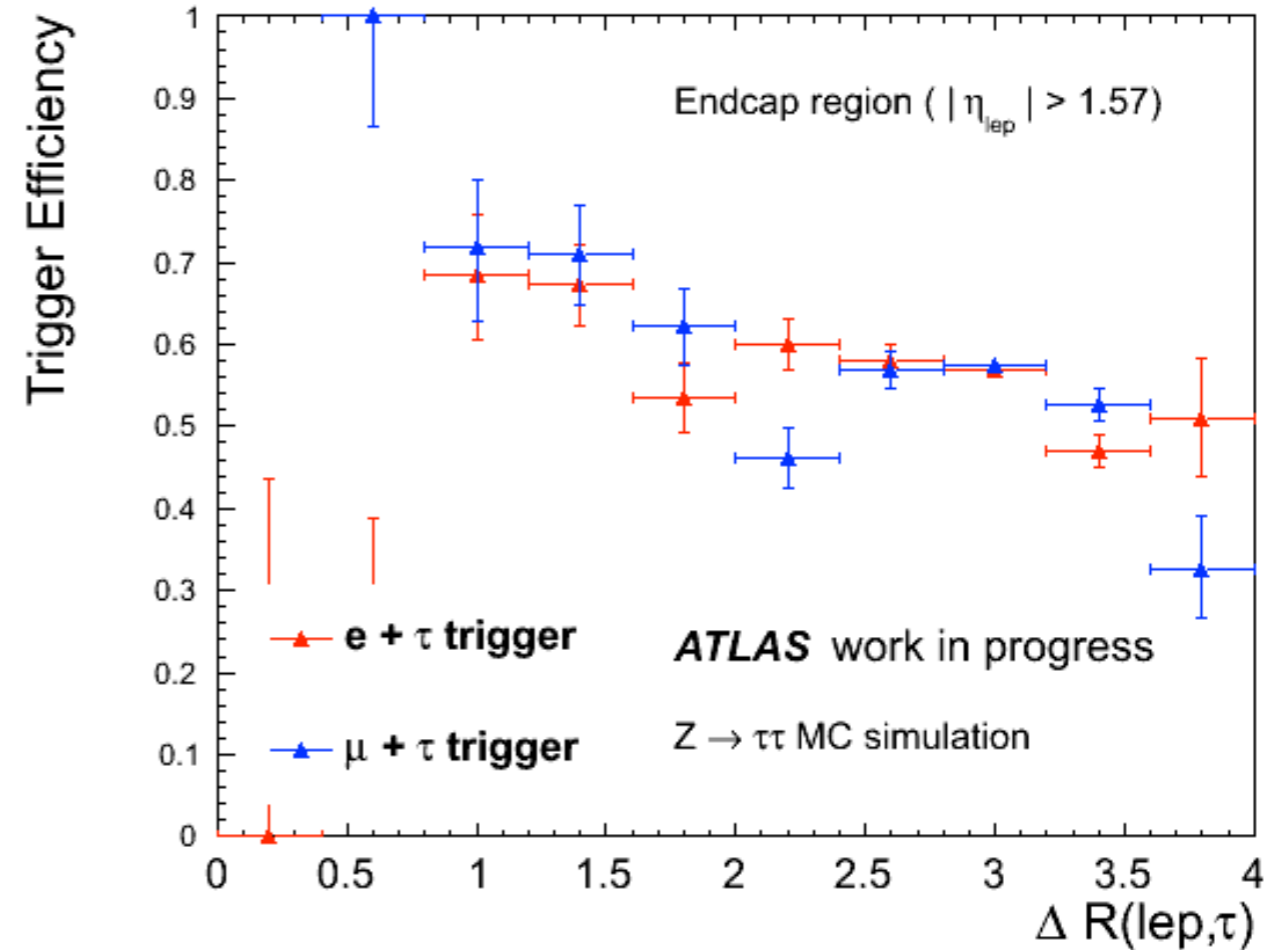
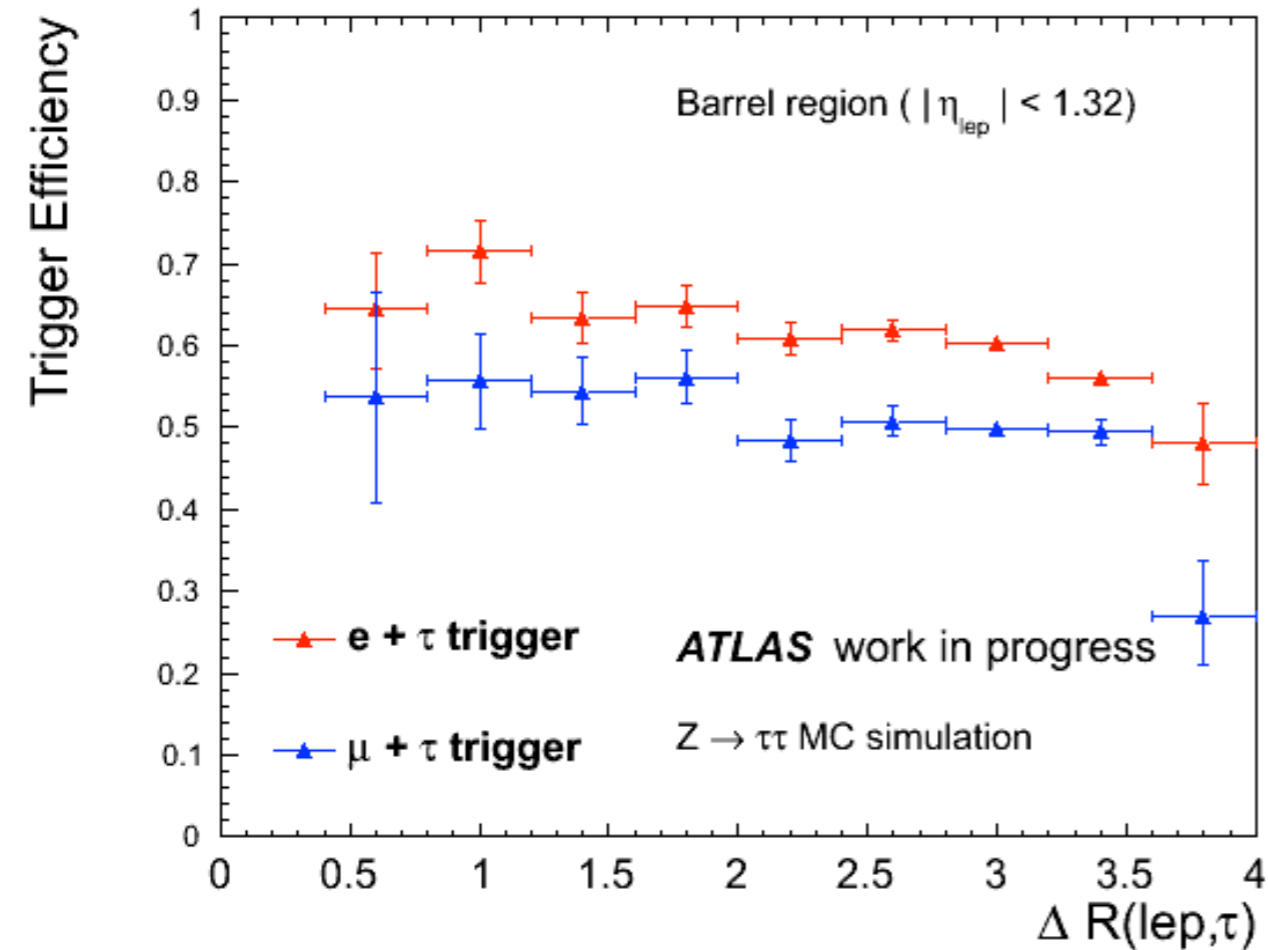


レプトン+タウトリガー取得効率

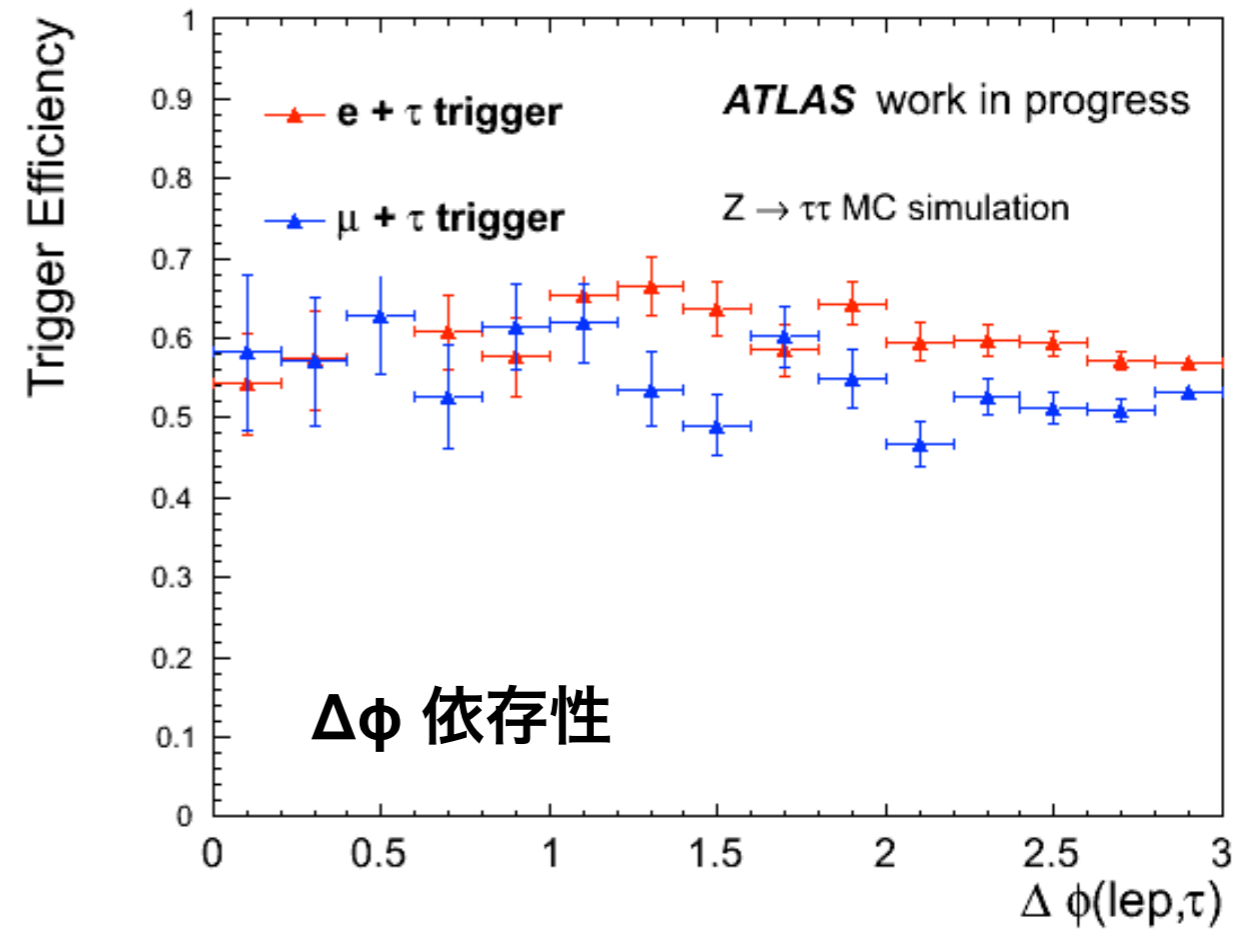
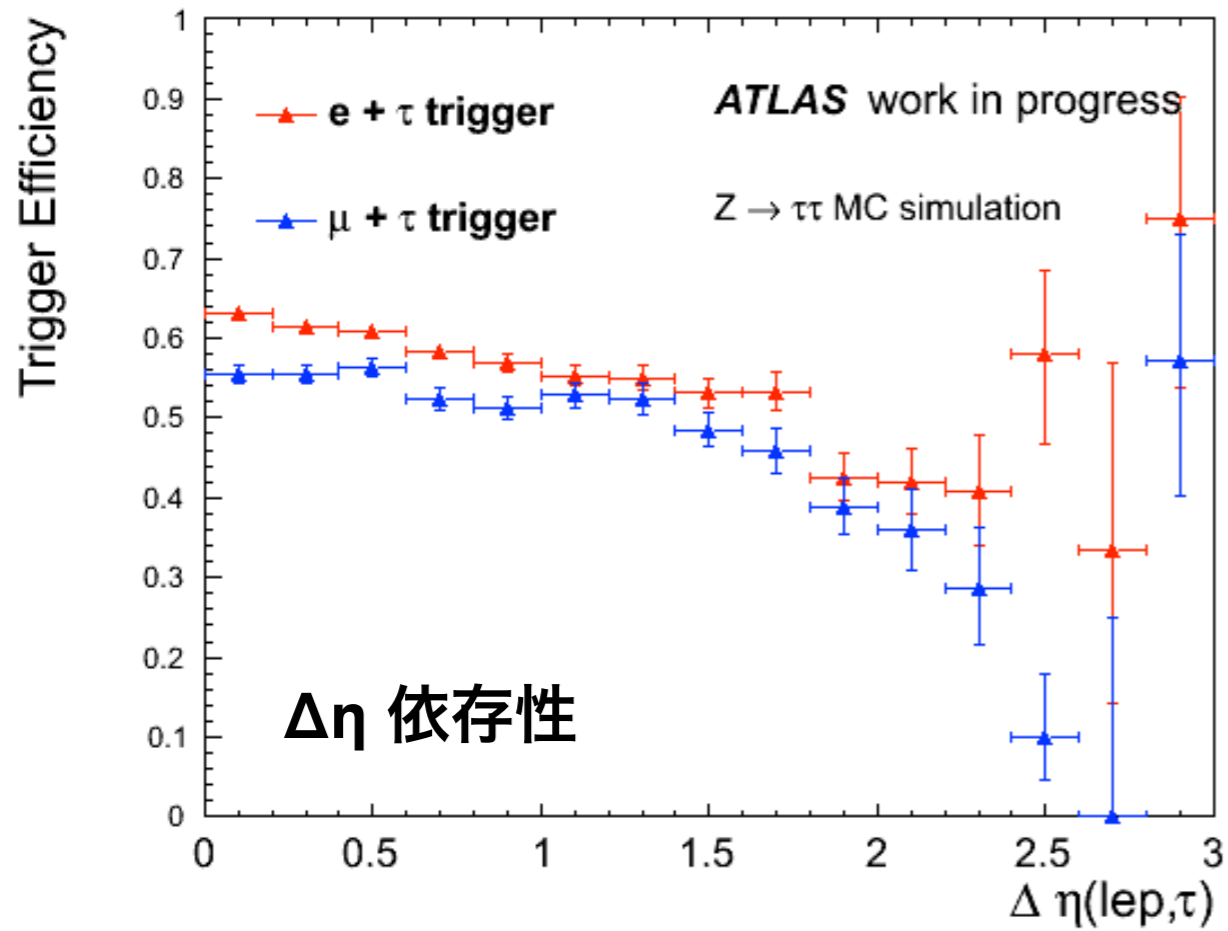
取得効率の角度相関



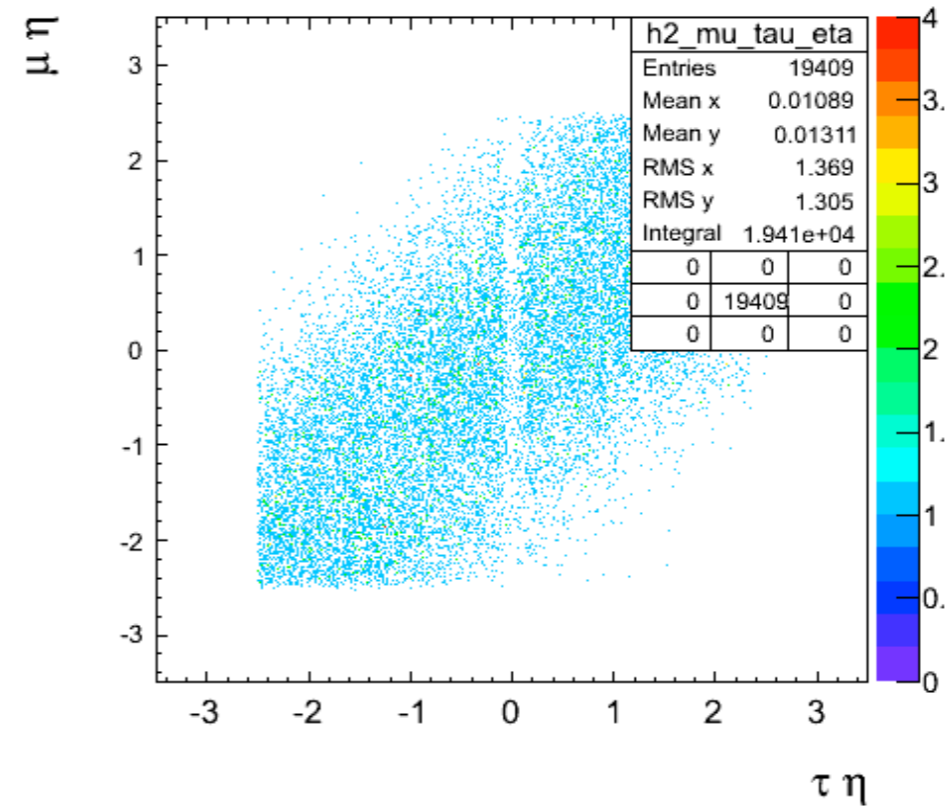
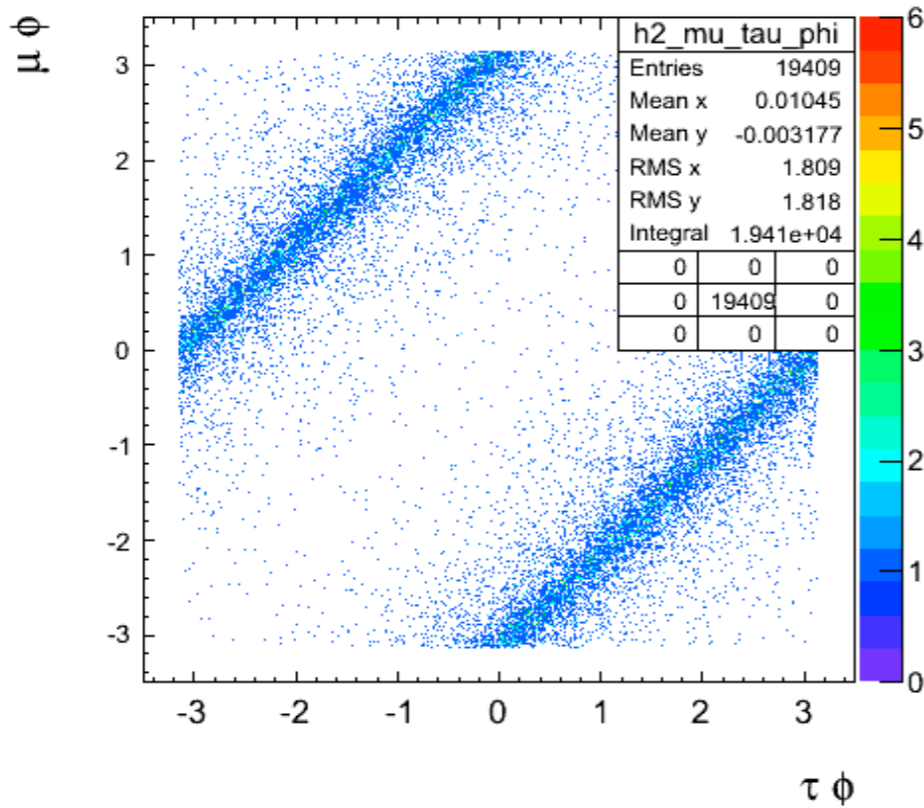
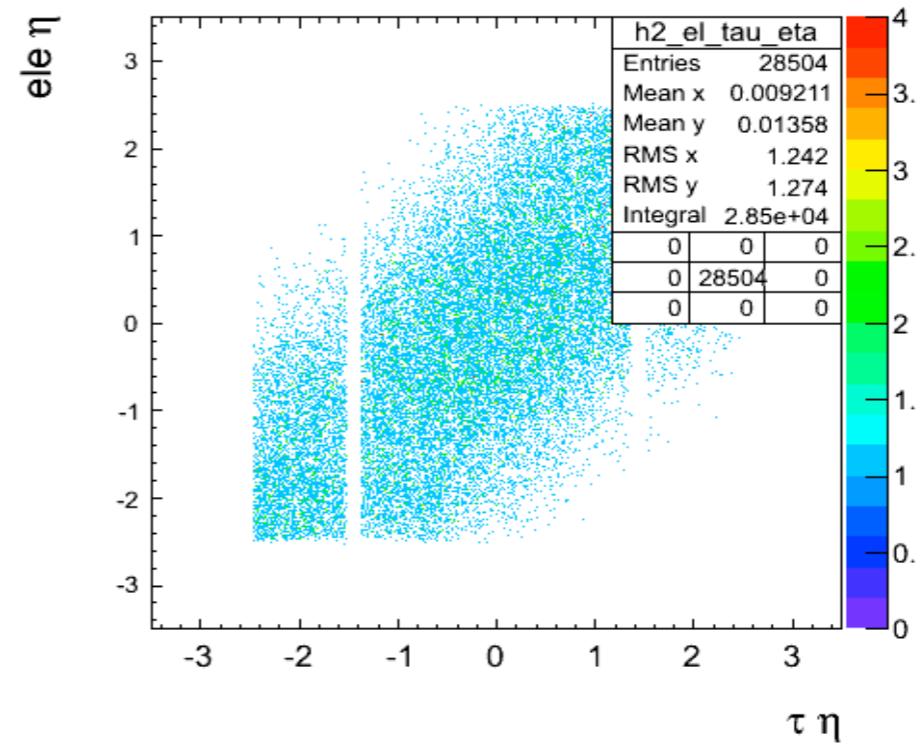
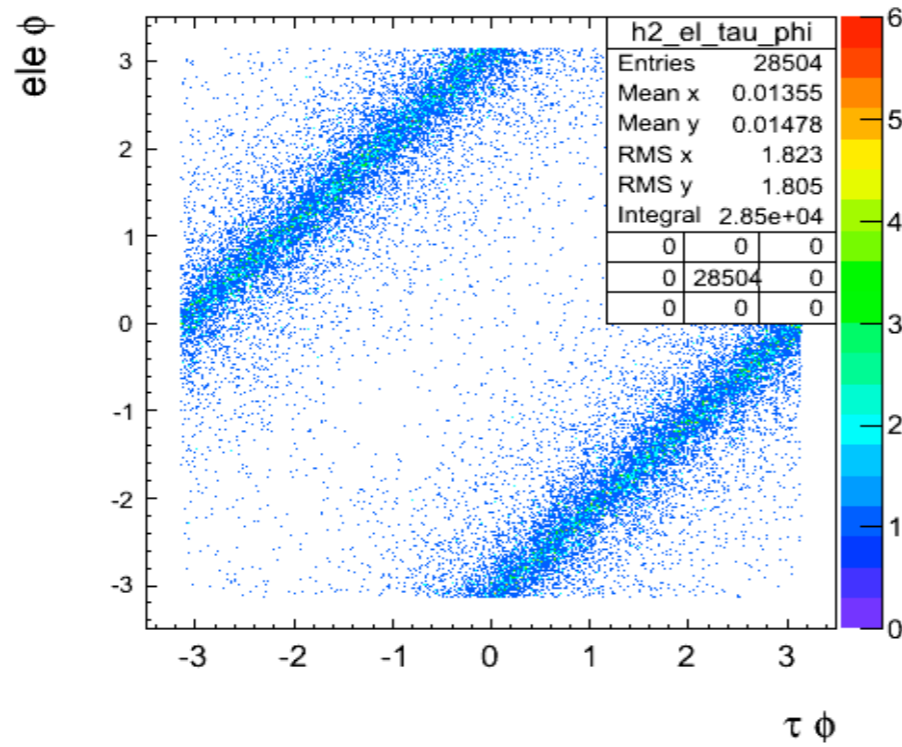
レプトン+タウトリガー取得効率



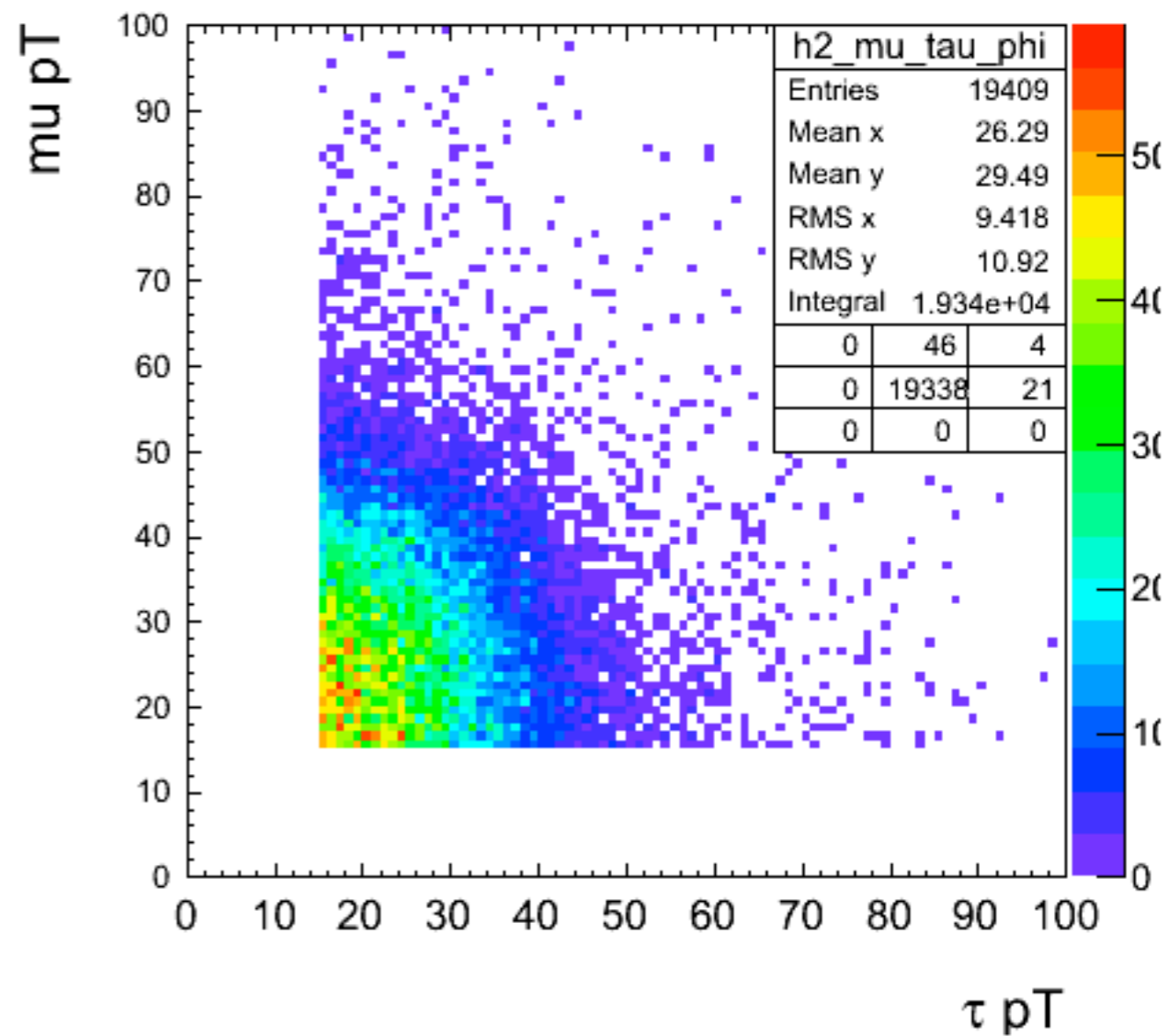
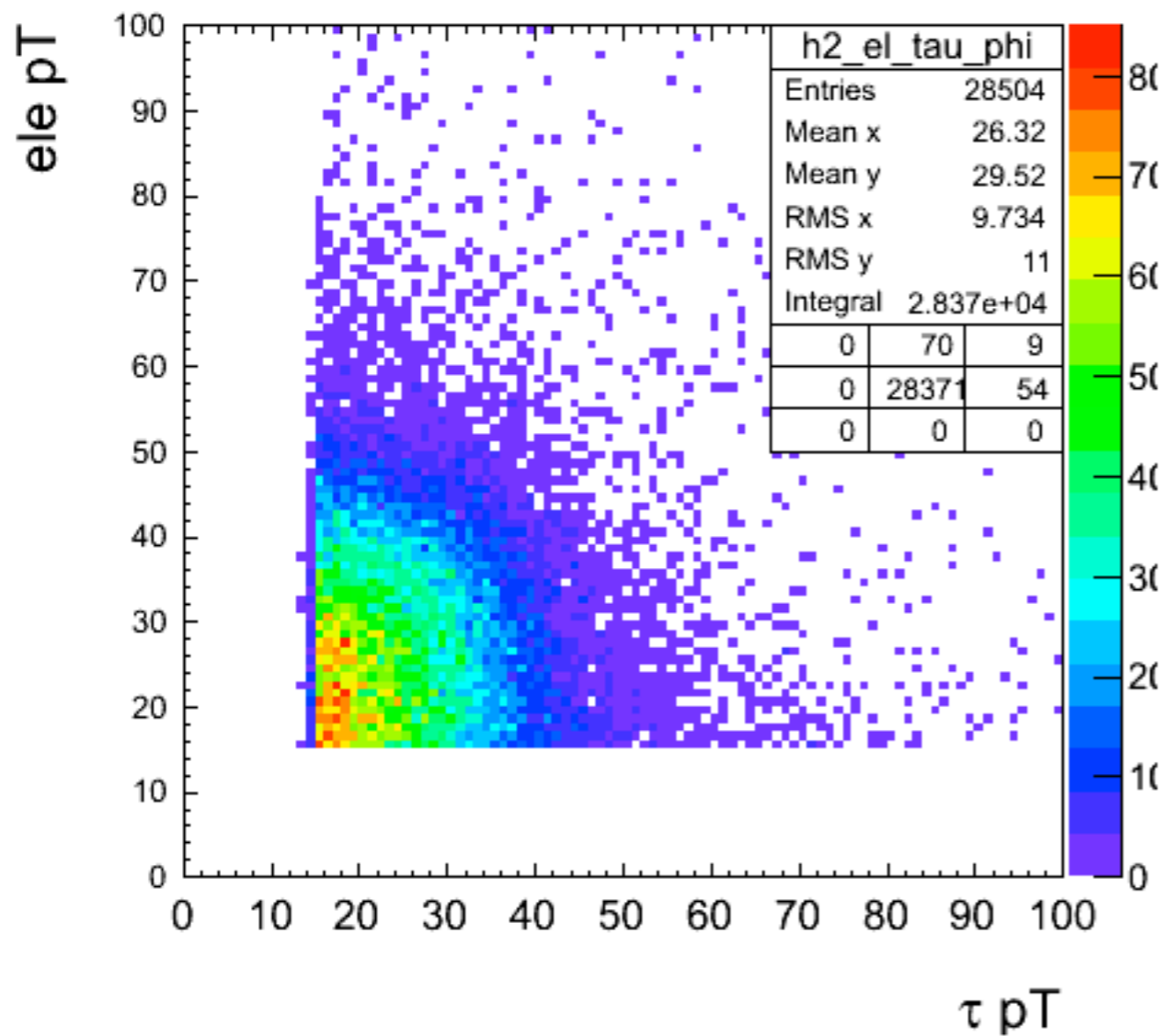
レプトン+タウトリガー取得効率



角度相関 ($Z \rightarrow \tau\tau \rightarrow \tau_l \tau_h$)



pT相関 (Z → ττ → τ_lτ_h)



Level 2 タウトリガー変数

✓ $\Delta R = \sqrt{\Delta\eta^2 + \Delta\phi^2}$

✓ Core 領域 : $\Delta R \leq 0.1$

✓ Isolation 領域 : $0.1 < \Delta R < 0.3$

✓ Core Fraction: $E_{T(core)} / E_{T(iso)}$

✓ Scalar Sum pT Ratio: $|pT_{(iso)}| / |pT_{(core)}|$

✓ $E_T / pT(\text{leading track})$: $E_T / pT(\text{最も } pT \text{ の高い飛跡})$

✓ Track Average Distance:
$$\frac{\sum_{i=1}^{Ntrack} pT_i \times \Delta R_i}{\sum_{i=1}^{Ntrack} pT_i}$$