

ATLAS実験におけるLVL1 Muon Trigger System のコミッショニング

神戸大自然 東大素セ^A
新保直樹、喜家村裕宣、蔵重久弥、金谷奈央子^A、
他ATLAS Japan HLTグループ

Introduction

研究の背景

- LVL1 Triggerは物理解析に影響
- LVL1 Trigger の動作の検証
→ 正確にTrigger efficiencyを測定する必要あり

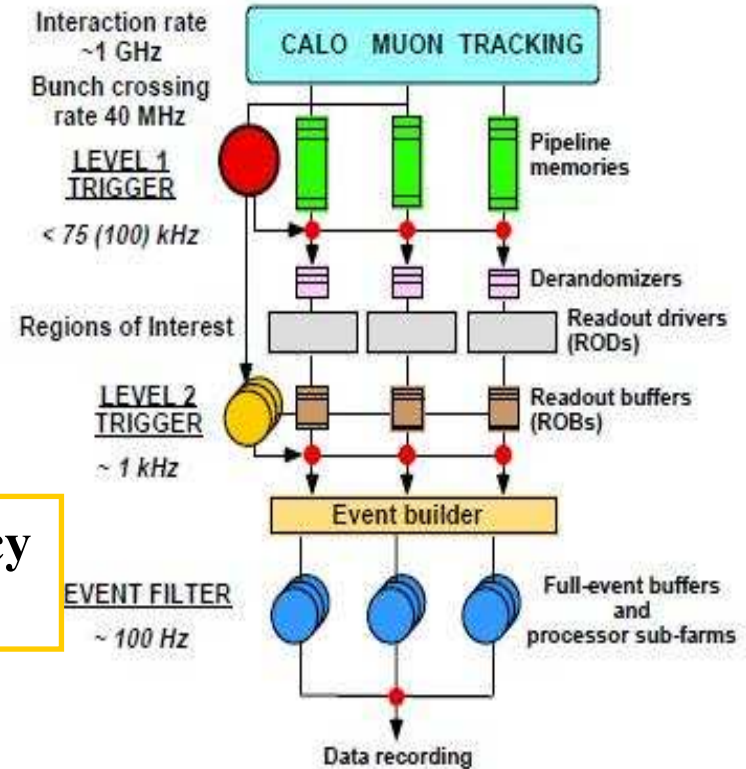
目的

実データによるLVL1 muon Trigger efficiency
の測定方法の開発及び評価

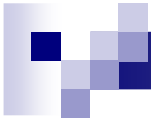
研究内容

- $J/\psi \rightarrow \mu\mu$ のフルシミュレーションデータを用いてLVL1 muon Trigger efficiencyの測定方法の開発及び評価

本研究では $pp \rightarrow J/\psi \rightarrow \mu\mu$ event を用いて Trigger efficiencyの測定を行う



※ $Z \rightarrow \mu\mu$ によるHigh pt muon のTrigger efficiencyは測定済み



method

Trigger efficiencyの測定方法

測定対象のmuonの選出

- biasのかからない測定を可能にするmuonの選択
- simulation情報を使わずにmuonのTrackを選択

Muon選出のポイント

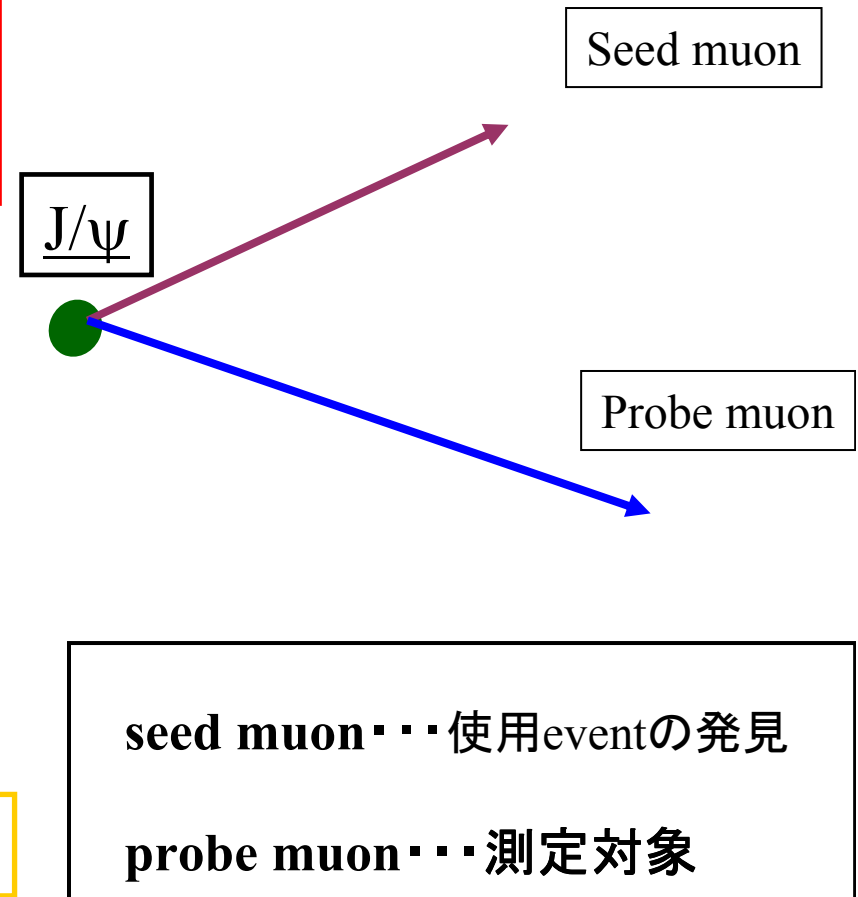
- Triggerされたeventのみがdataに残る
- Triggerに使われたmuonを測定対象にするとbiasがかかる



di-muonのプロセスを使用($J/\psi \rightarrow \mu\mu$)

Trigger efficiencyの定義

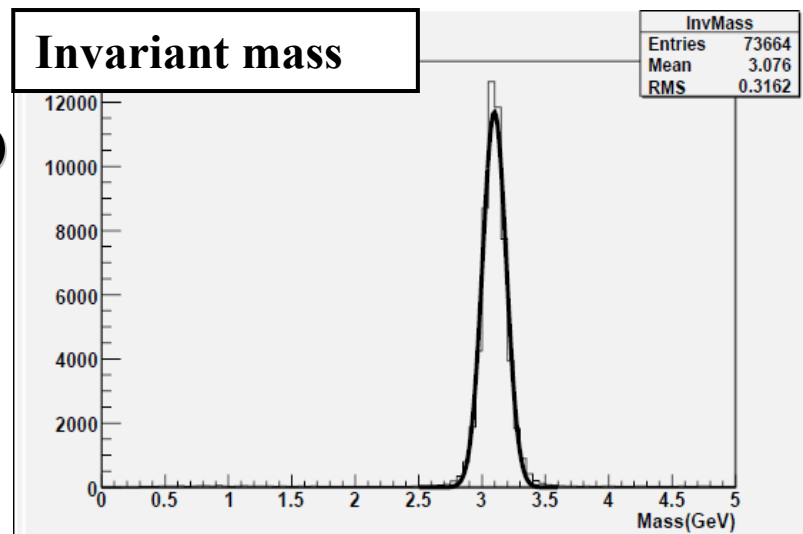
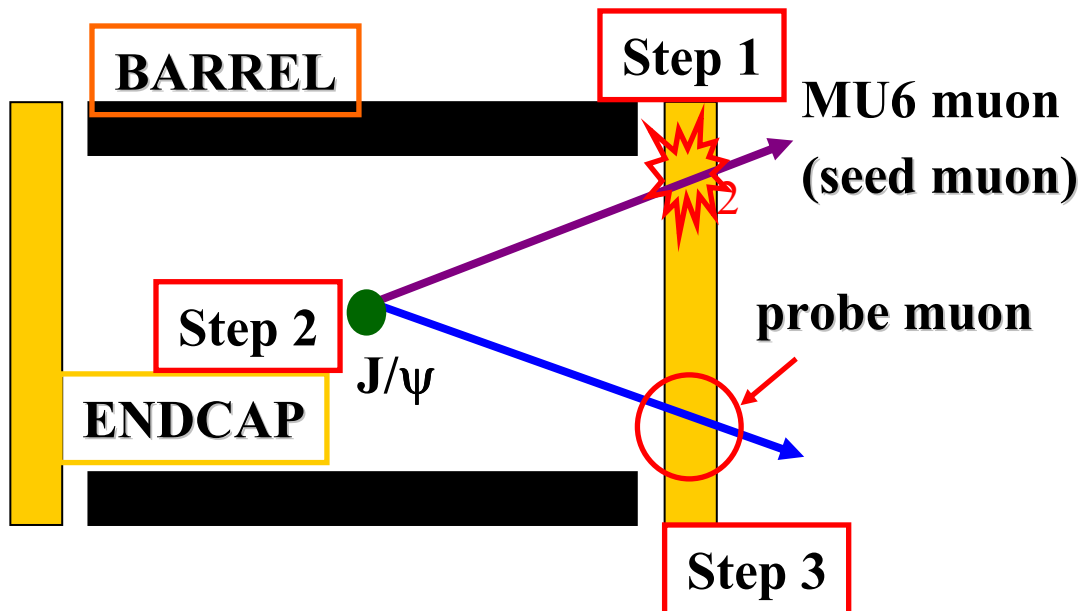
$$\varepsilon_{trig} = \frac{\text{Triggered muon数}}{\text{probe muon数}}$$



具体的な測定方法

$$\epsilon_{trig} = \frac{\text{Triggered muon数}}{\text{probe muon数}}$$

MU6・・・LVL1 threshold=6GeVでtriggerされたmuon



Cut 条件

1. EndcapにおいてLVL1 threshold 6GeVでtriggerされたmuonをタグし、seed muonと名付ける

2. Seed muonと残りの全てのmuonに対してinvariant Massを組み $2.9\text{GeV} < M < 3.3\text{GeV}$ になった場合、seed muonとpairの粒子が J/ψ から崩壊したmuonとみなす

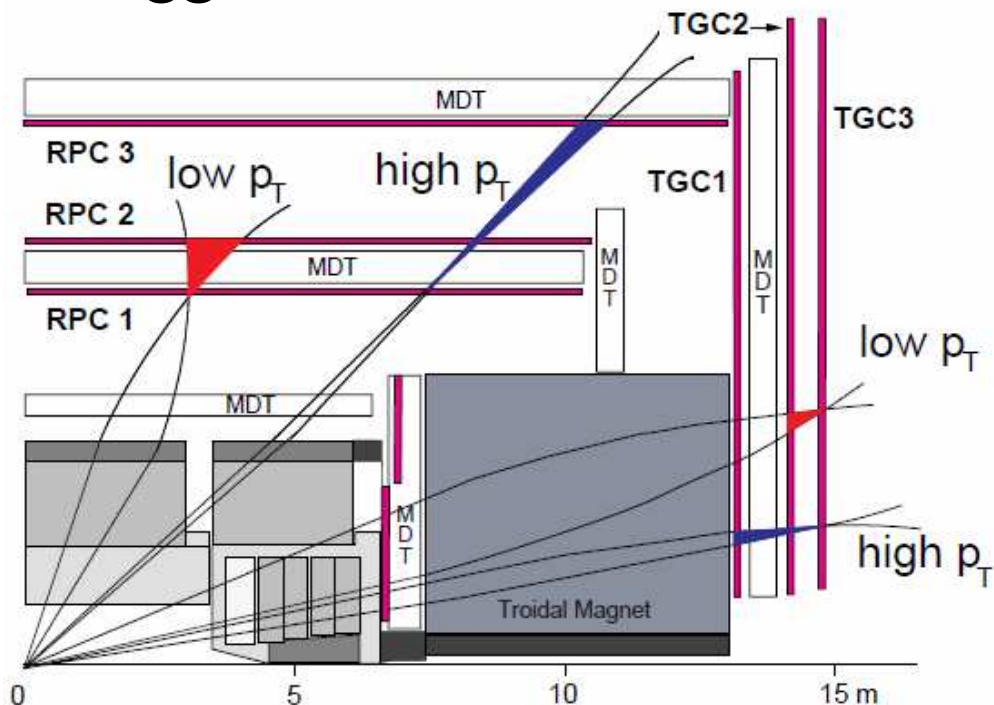
3. Probe muonに対するTrigger efficiencyを測定する

- MU6 を要求
- $pt > 3\text{GeV}$
- vertexにおけるdimuon間の距離 $dR < 0.65$ 。
- Endcap上のdi-muon間の距離 $dR > 0.2$

$$dR = \sqrt{(d\phi)^2 + (d\eta)^2}$$

$$(d\phi = |\phi_{\mu 1} - \phi_{\mu 2}|, d\eta = |\eta_{\mu 1} - \eta_{\mu 2}|)$$

Triggered muonの条件



$$\epsilon_{trig} = \frac{\text{Triggered muon数}}{\text{probe muon数}}$$

Probe muonに対応するROIが存在
= triggered muon

ROI・・・Triggerの位置情報

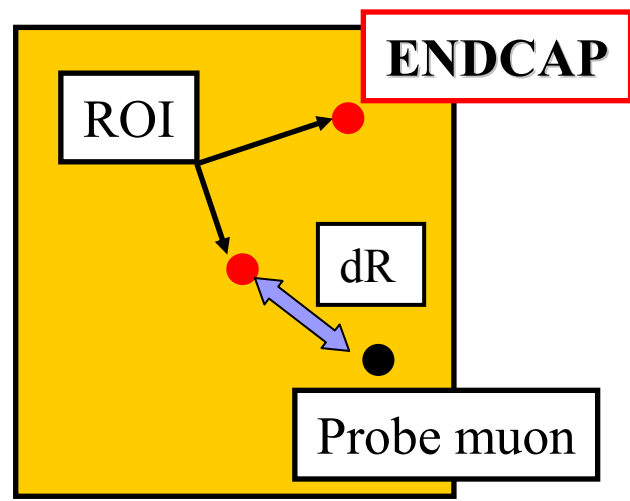
$$dR = \sqrt{(d\phi^2 + d\eta^2)}$$

$$(d\phi = |\phi_{rec} - \phi_{roi}|, d\eta = |\eta_{rec} - \eta_{roi}|)$$

対応の取り方

- 1, Probe muonをendcap上までextrapolate
- 2, Endcap 上でROIとprobe muon のmatchingをdRを指標として取る
- 3, 一定のdR内にROIがあればtriggered muonとする

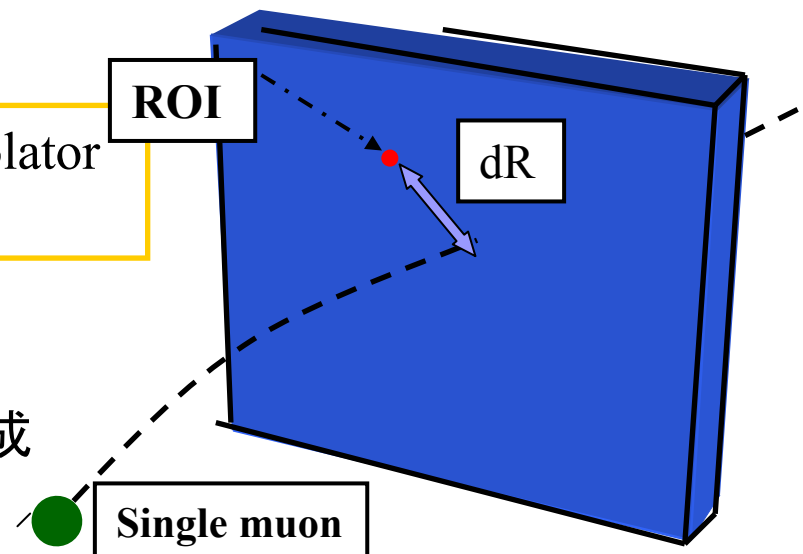
➡ Single muon sampleを用いてdRを見積もる



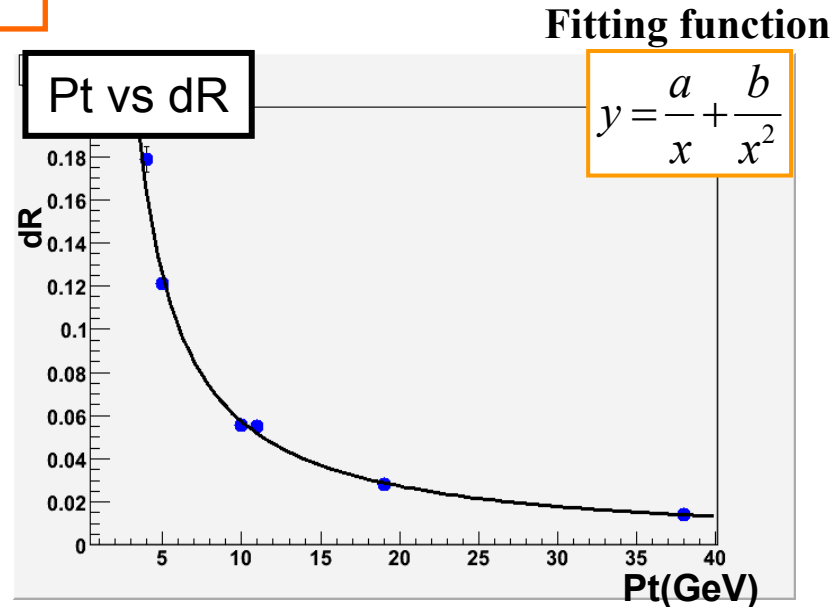
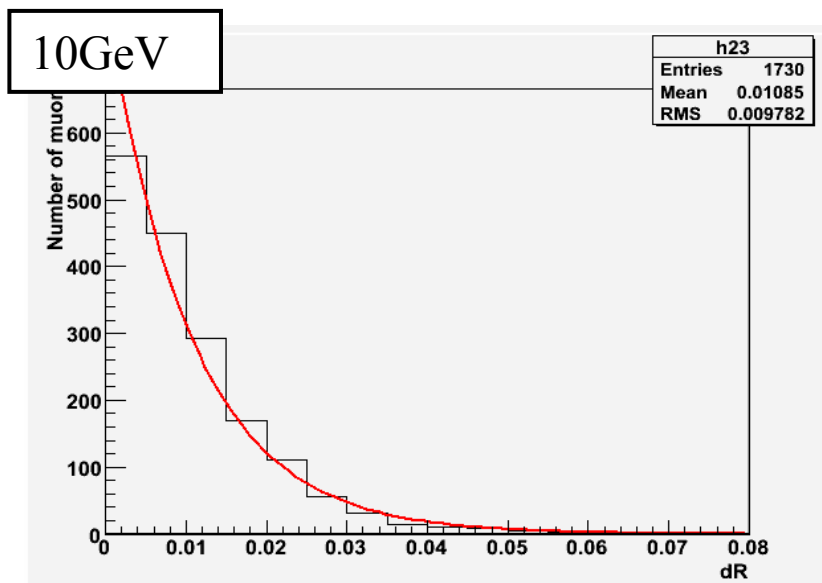
matching の範囲(dR)の決定

Endcap上におけるROIとprobe のズレはExtrapolatorに含まれるErrorが原因(dRが生じる)

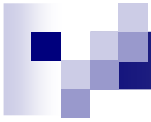
- 1eventに1 muonのsampleを使ってdRを求める
- Vertexから延長したmuonとROI のdR分布を作成



dR分布3σをmatchingの範囲とする



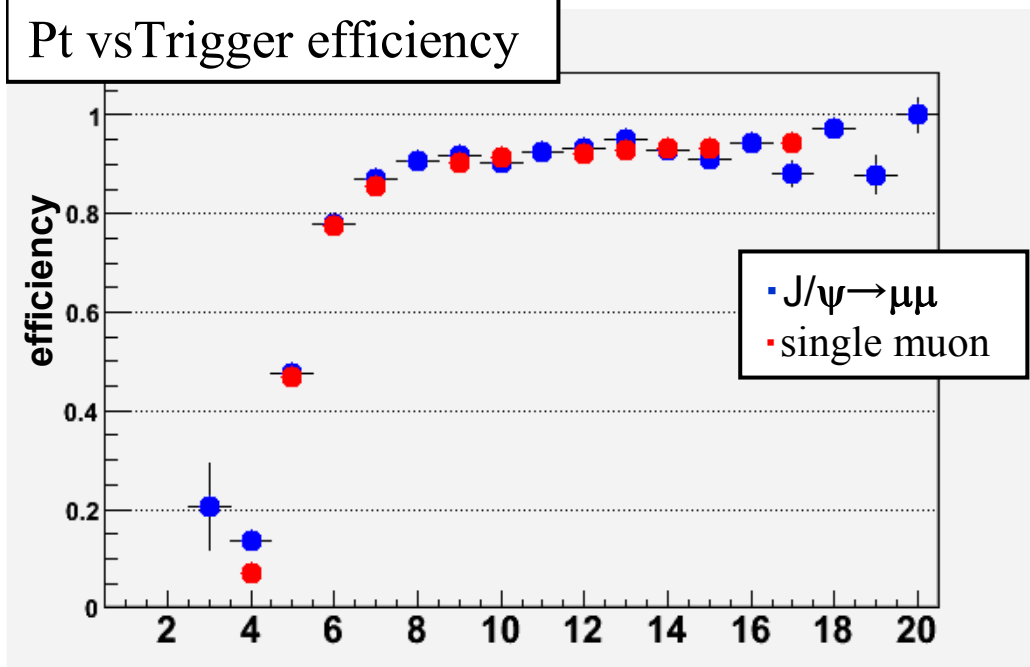
Pt vs dR分布に従ってmatching範囲の決定



result

アルゴリズムの検証

Single muon sampleと $J/\psi \rightarrow \mu\mu$ sampleのTrigger efficiencyを比較



* J/ψ からの muonをsingle muonの条件に合うように η 分布をnormalize Pt(GeV)

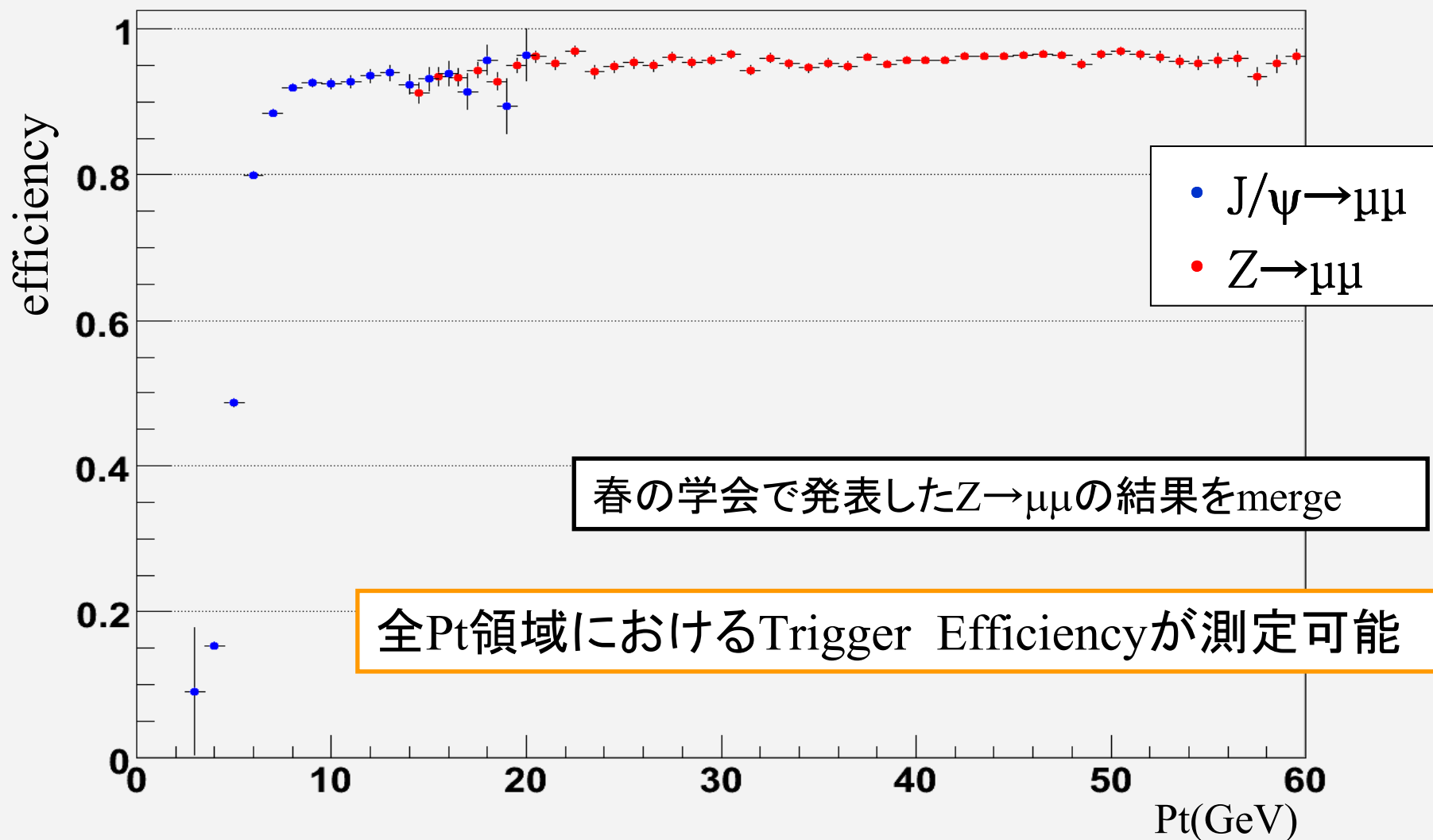
- Single muonを使うことにより biasのかからないefficiencyを得る事が可能
- 本研究でのTrigger efficiencyのbiasの有無をチェック。

今回の方法によりbiasが非常に小さいtrigger efficiencyを算出可能

Trigger efficiency

Pt vs Trigger efficiency

Luminosity: $J/\psi \rightarrow \mu\mu (2.8 \text{ pb}^{-1})$
 $Z \rightarrow \mu\mu (100 \text{ pb}^{-1})$



春の学会で発表した $Z \rightarrow \mu\mu$ の結果をmerge

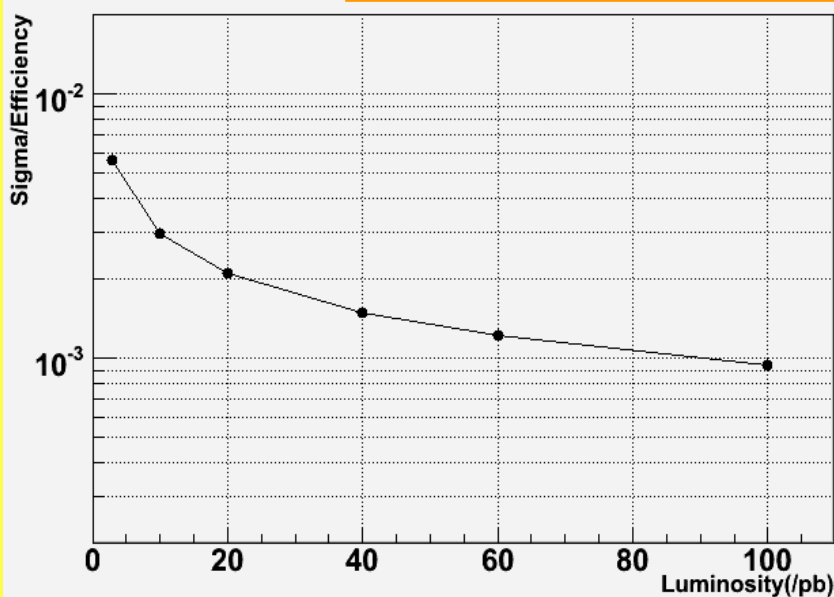
全Pt領域におけるTrigger Efficiencyが測定可能

Trigger Efficiencyの精度の見積もり

Pt=6GeV

Trigger efficiency curveの
立ち上がりについて計算。

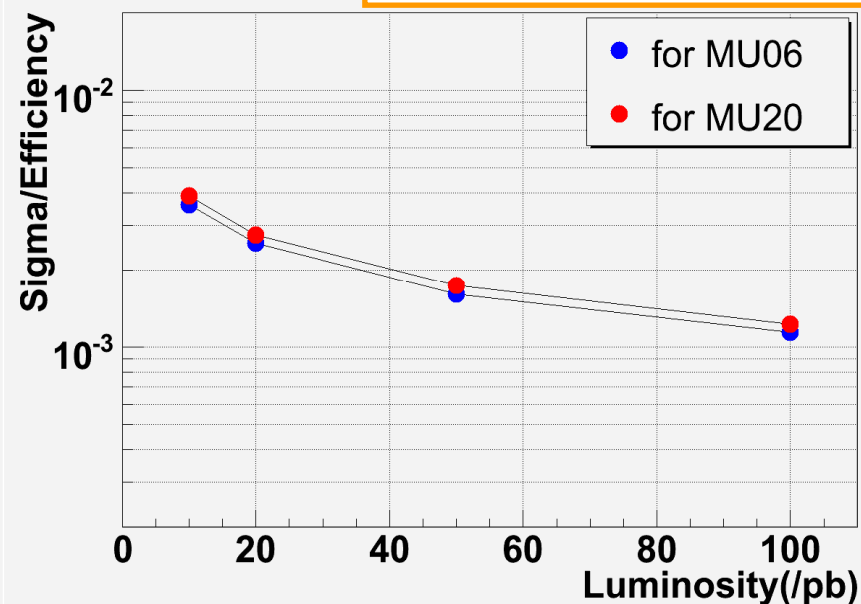
Luminosity vs Sigma/Et



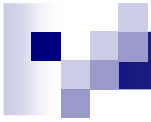
Plateau

Trigger efficiency curveの
プラトー部分について計算。

Luminosity vs Sigma/Efficiency



6GeV, plateauにおいて、100pb⁻¹でO(10⁻³)の精度でTrigger efficiencyを計算できる。



Backgroundの解析

Backgroundの候補

先ほどの結果は $Z \rightarrow \mu\mu, J/\psi \rightarrow \mu\mu$ のevent sample only

Background候補

現在のアルゴリズムによりInvariant massを組みZ又は J/ψ 付近にくるevent

$J/\psi \rightarrow \mu\mu$

$bb \rightarrow \mu + X$
dijet

$Z \rightarrow \mu\mu$

$Z \rightarrow \tau\tau$ top $bb \rightarrow \mu + X$

$W \rightarrow \mu\nu$ dijet

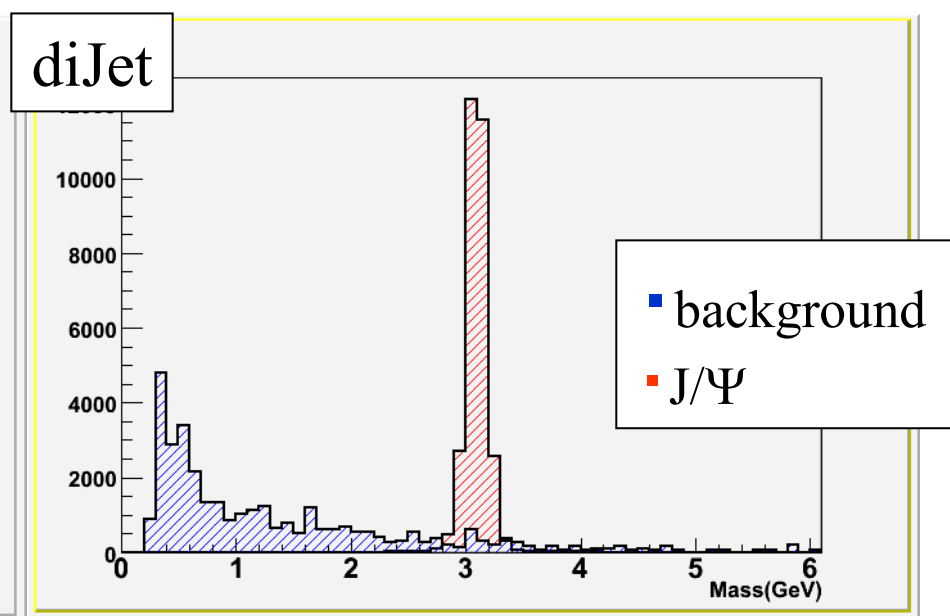
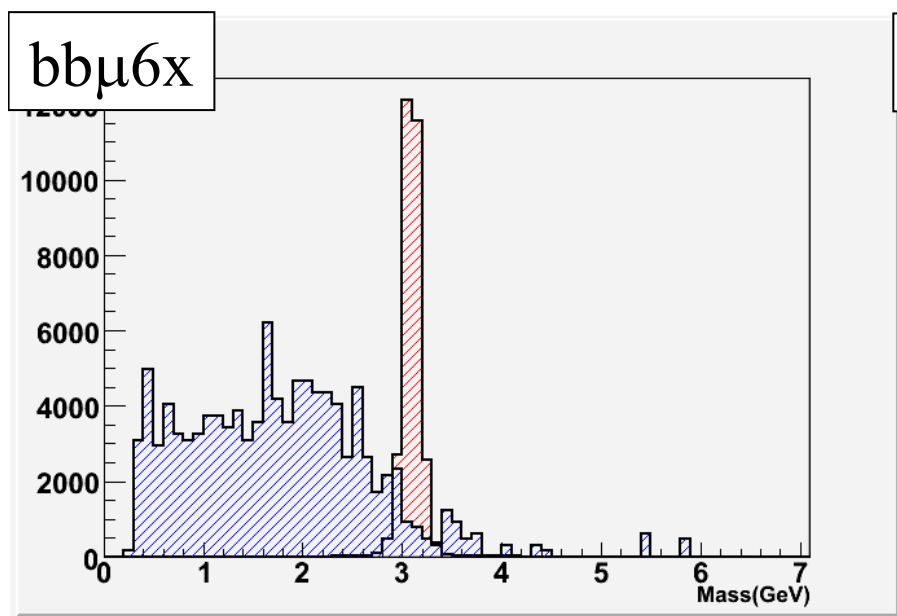
※ $bb \rightarrow \mu + X$:: bb から崩壊した粒子の1つが6GeV以上の μ ($bb\mu 6x$)

Background estimation($J/\psi \rightarrow \mu\mu$)

Background candidate
bbmu6x, di-jet sample

$J/\psi \rightarrow \mu\mu$ +background

※L:2.8pb⁻¹にスケールして計算



bbμ6xのbackgroundは13%、dijetからのbackgroundの寄与は3%

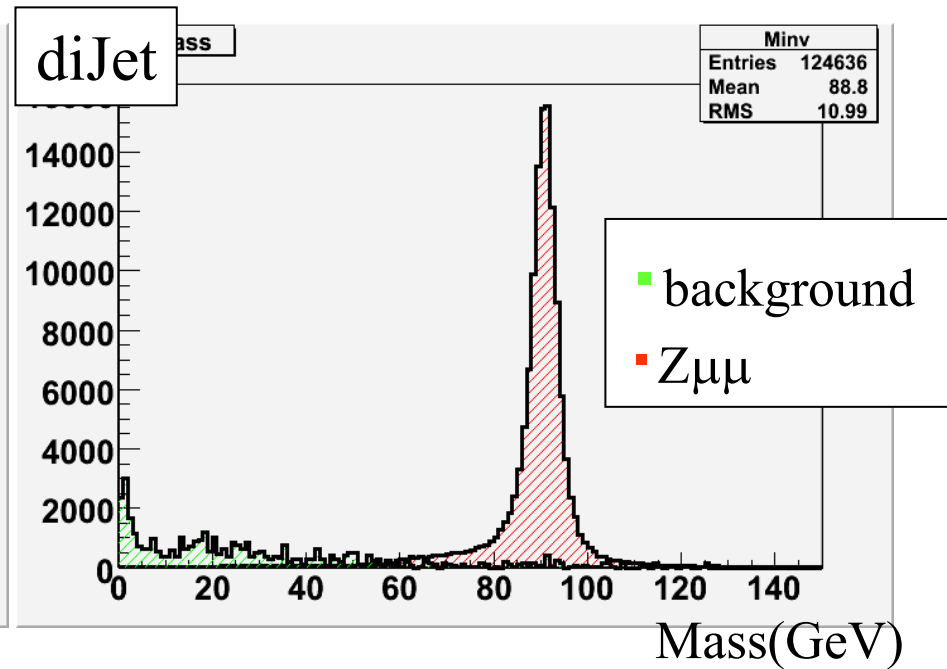
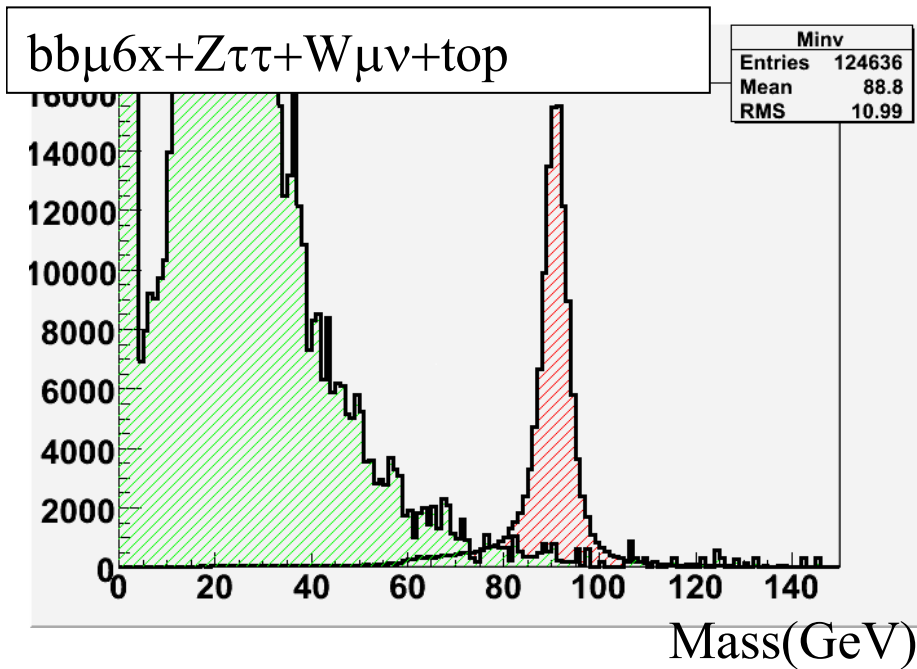
Background estimation($Z \rightarrow \mu\mu$)

$Z \rightarrow \mu\mu$ cut 条件
• mu20 を要求
• mass range $91.19 \pm 10 \text{ GeV}$

$Z \rightarrow \mu\mu + \text{background}$

MU20・・・ LVL1 threshold=20GeVでtriggerされたmuon

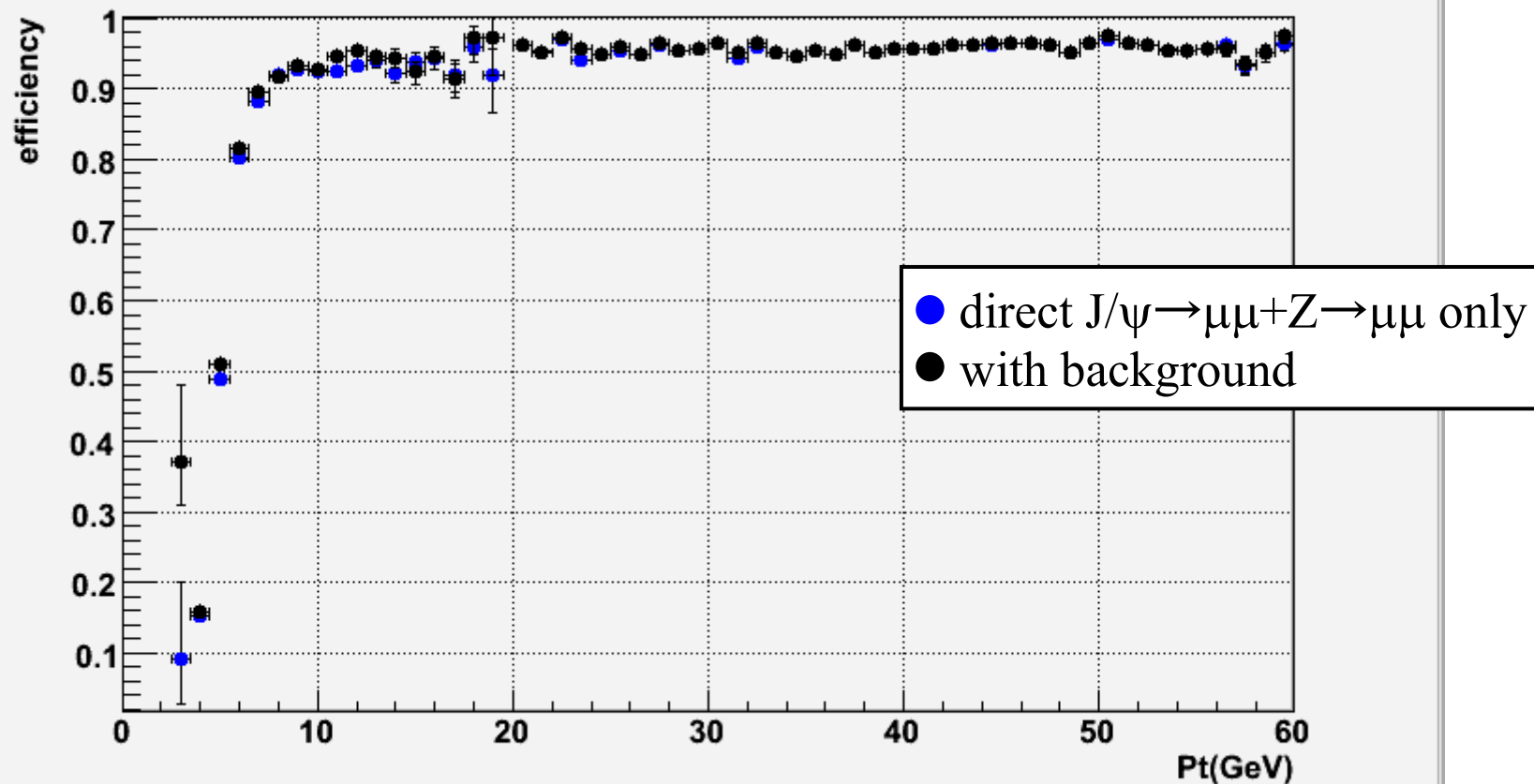
※L:100pb⁻¹にスケールして計算




bb μ 6x+Z $\tau\tau$ +W $\mu\nu$ +topのbackgroundは2.7%、dijetからのbackgroundの寄与は1.1%

Trigger efficiency with background

Pt vs Trigger efficiency

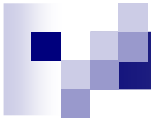


Plateau部においてTrigger efficiencyの影響は軽微



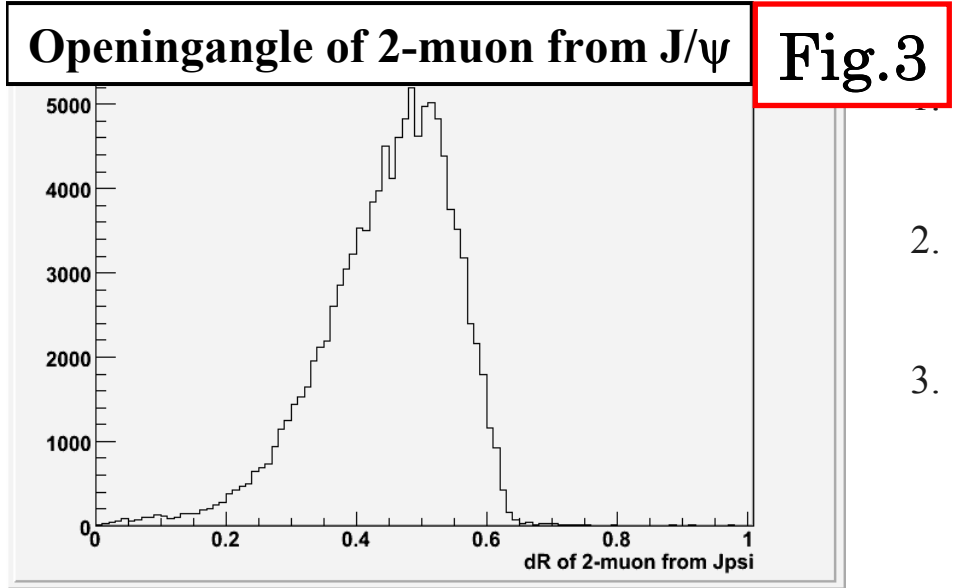
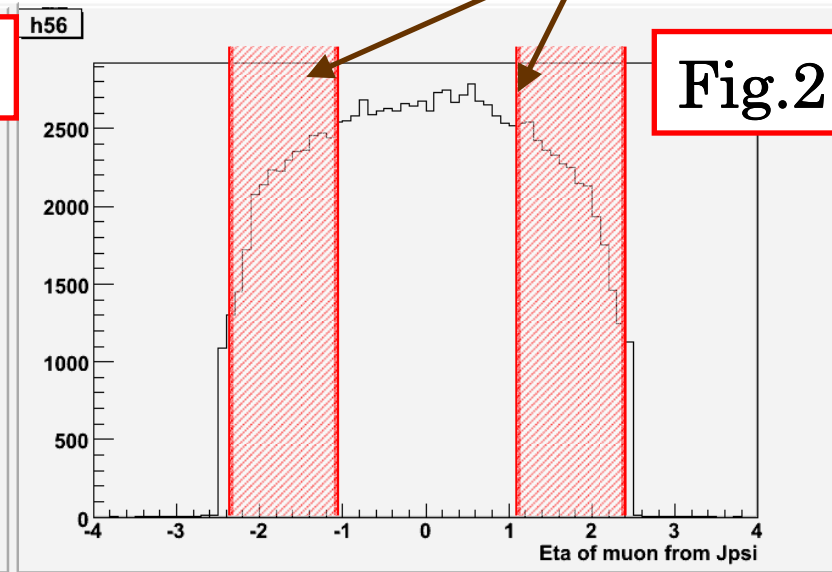
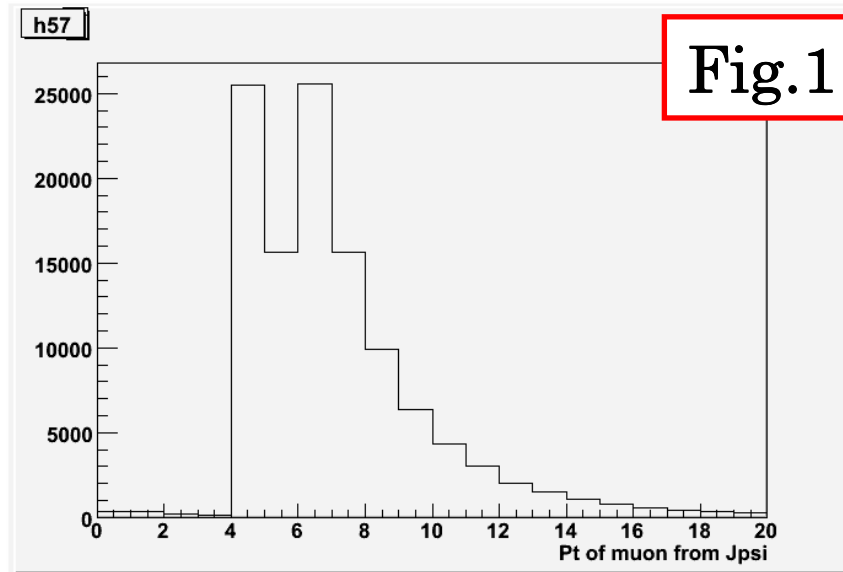
まとめ

- ATLAS LVL1 Muon Trigger Efficiencyの測定アルゴリズムの開発と評価を行った
- $J/\psi \rightarrow \mu\mu, Z \rightarrow \mu\mu$ を使用すると 100pb^{-1} で 10^{-3} の精度でtrigger efficiencyを正しく求める事が可能
- 主なbackgroundを考慮に入れてもTrigger efficiencyへの影響が少ない事が見積もられた



Backup

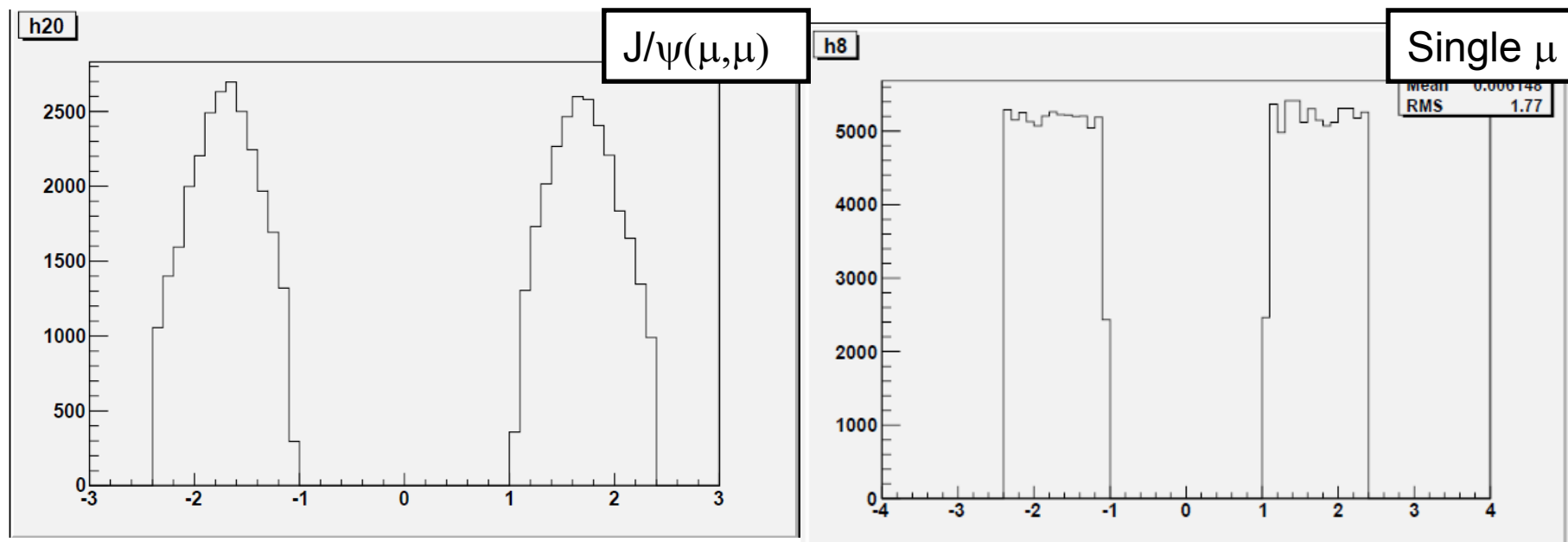
Kinematics(Monte calro information)



- このサンプルはLow Pt領域 (~20GeV)の研究に適している。
2. Endcap($1.05 < |\eta| < 2.4$)にも十分な統計量が見込める。
 3. J/ψからの2つのミュオンは区別可能。

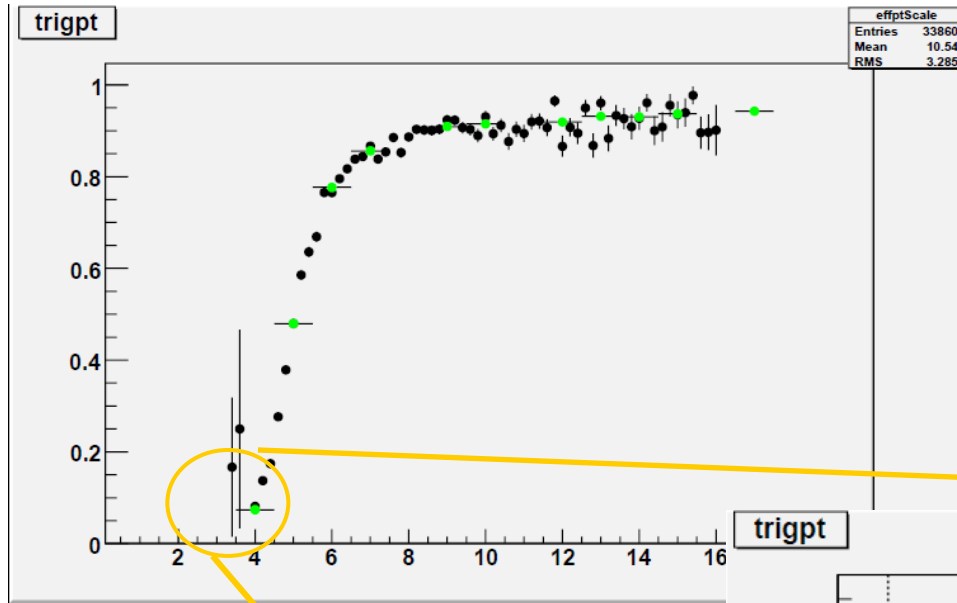
測定方法の評価

- Single muon samples: 1 イベントに唯1つのミュオン
 - ミュオンを選ぶときの不定性がない。
 - MC truth情報を使うことにより、全くバイアスのかかっていないTrigger efficiencyを求められる。
 - **本研究でのTrigger efficiencyの測定方法の精度、バイアスの有無をチェック。**



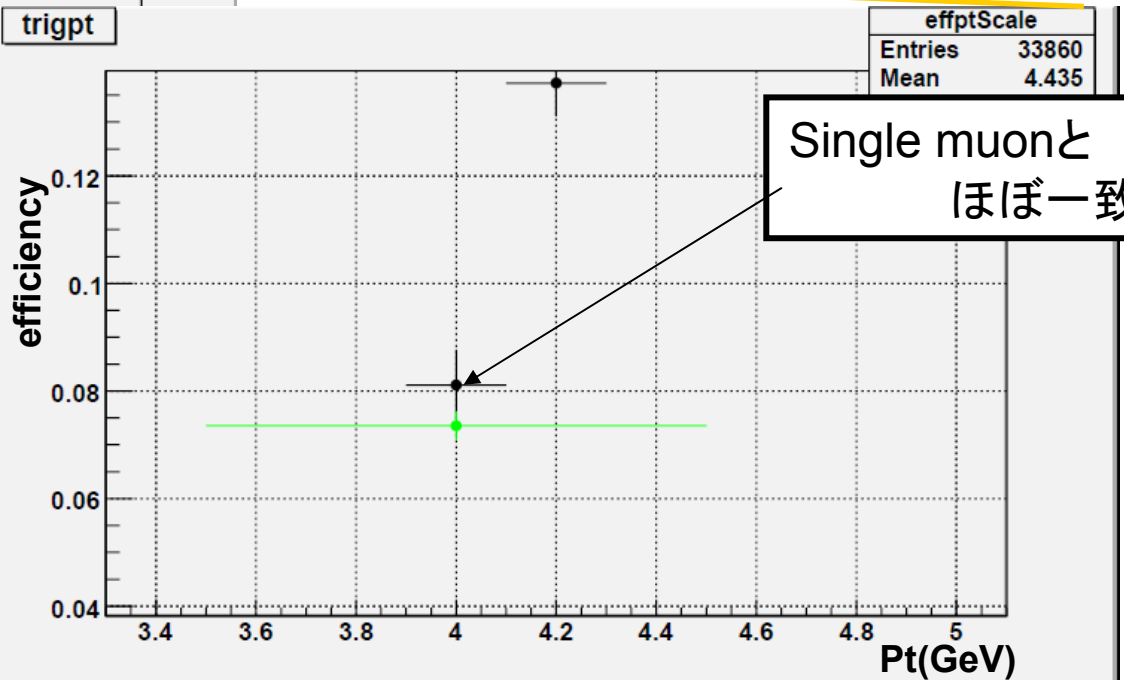
J/ψ→μμサンプルの結果をスケール → Eta分布の違いによる寄与を除去

Validation



- 4GeV付近はefficiency curveが急なためPtが少し変わるとefficiencyが大きく変動する
- Pt resolutionの影響を除去するためにAssociateの取れたtruth muonのPtを使用

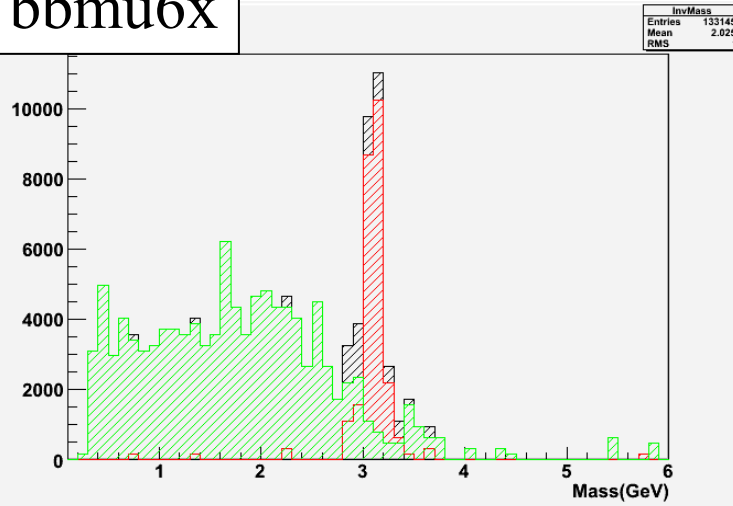
Bin間隔は0.1GeVであるので
 $3.9\text{GeV} < \text{pt} < 4.1\text{GeV}$
のefficiencyとなる



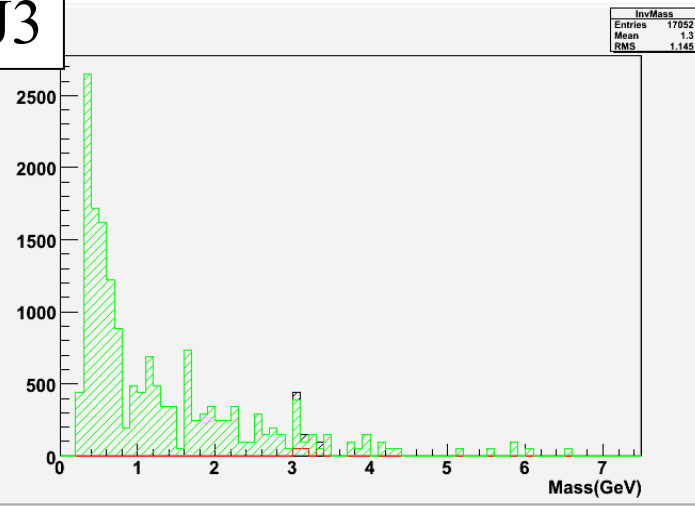
Single muonと
ほぼ一致

J/ $\Psi \rightarrow \mu\mu$ のbackground

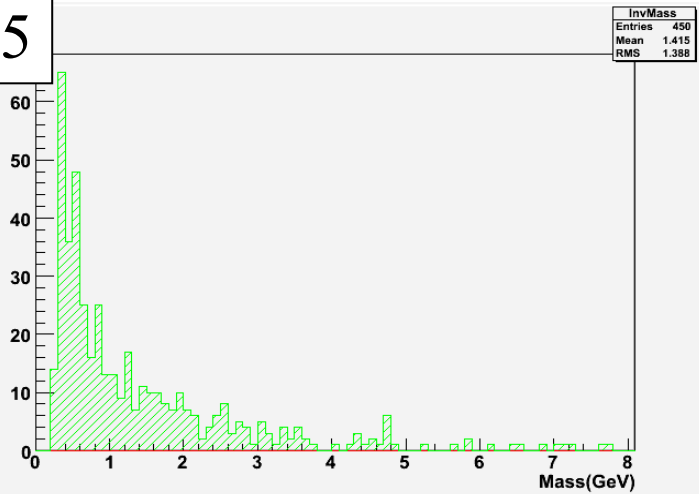
bbmu6x



J3



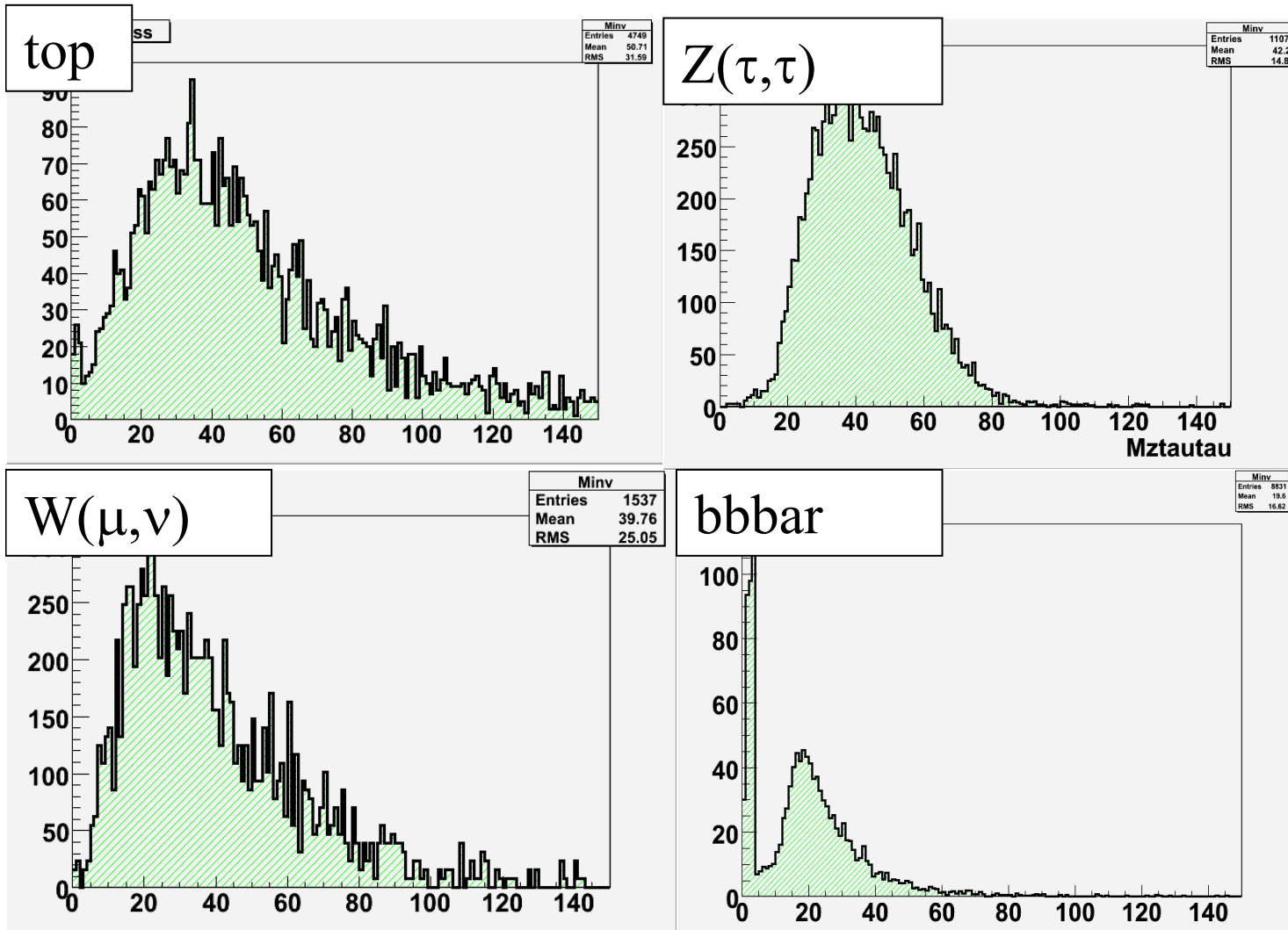
J5



Cut条件

- MU6 を要求
- vertexにおけるdi-muonの $dR < 0.65$
- Endcapにおけるdi-muon間の距離 $dR > 0.02$
- $pt > 3 \text{ GeV}$

$Z \rightarrow \mu\mu$ background



Commissioning

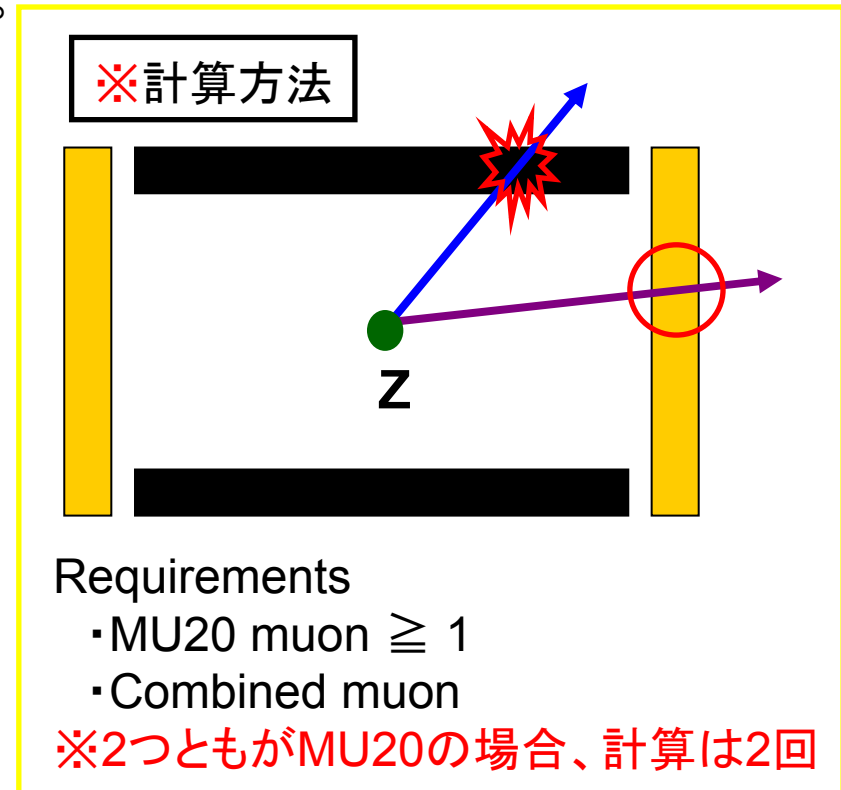
Z- $\mu\mu$ VS Background

- 全てのサンプルについて、不変質量分布を出す。
 - イベント選別は実際の計算方法(※)を適用。
- 全てのサンプルの不変質量分布をガウシアンでフィット。
- フィット結果を $91.19 \pm 10 \text{ GeV}$ の範囲で積分。
- それぞれ 100 pb^{-1} 相当にスケールして比較。

Z $\mu\mu$	bb	t	Z $\tau\tau$	W $\mu\nu$
109719	2624.4	199.6	44.9	860.6
(100)	(2.4)	(0.2)	(0.04)	(0.08)

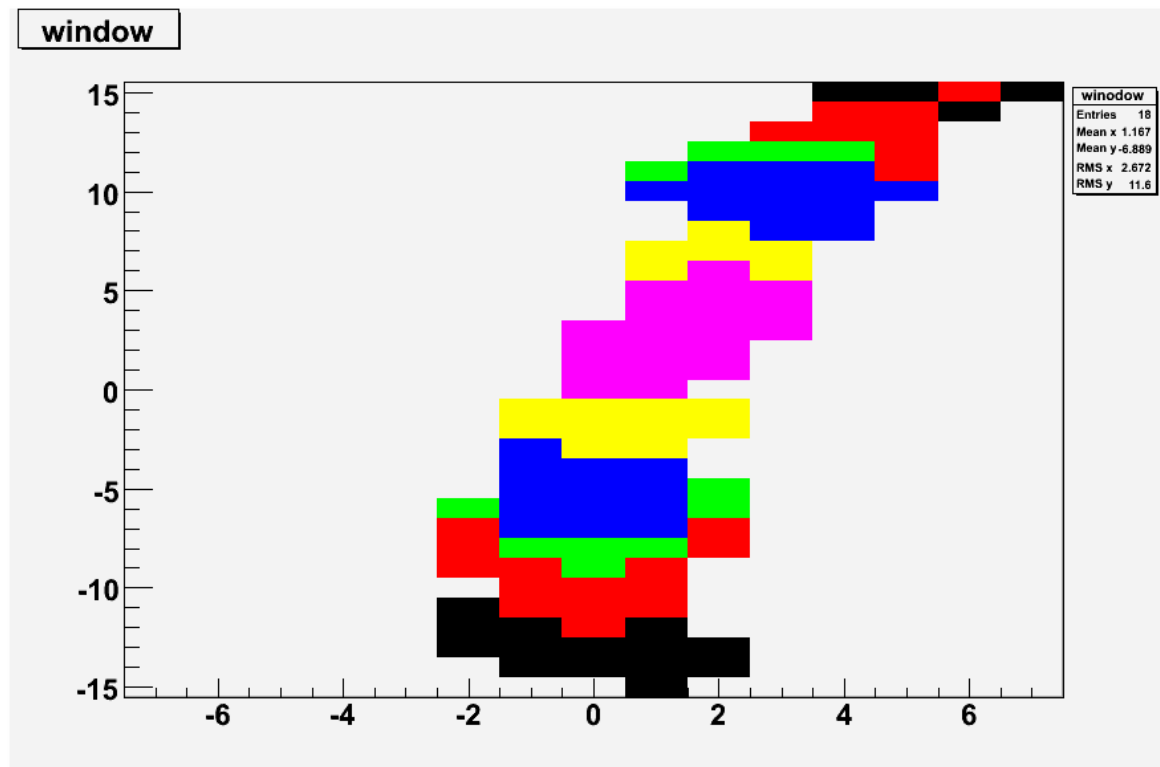
of events / 100 pb^{-1}

→ BackgroundはZ $\mu\mu$ の約**3%**程度

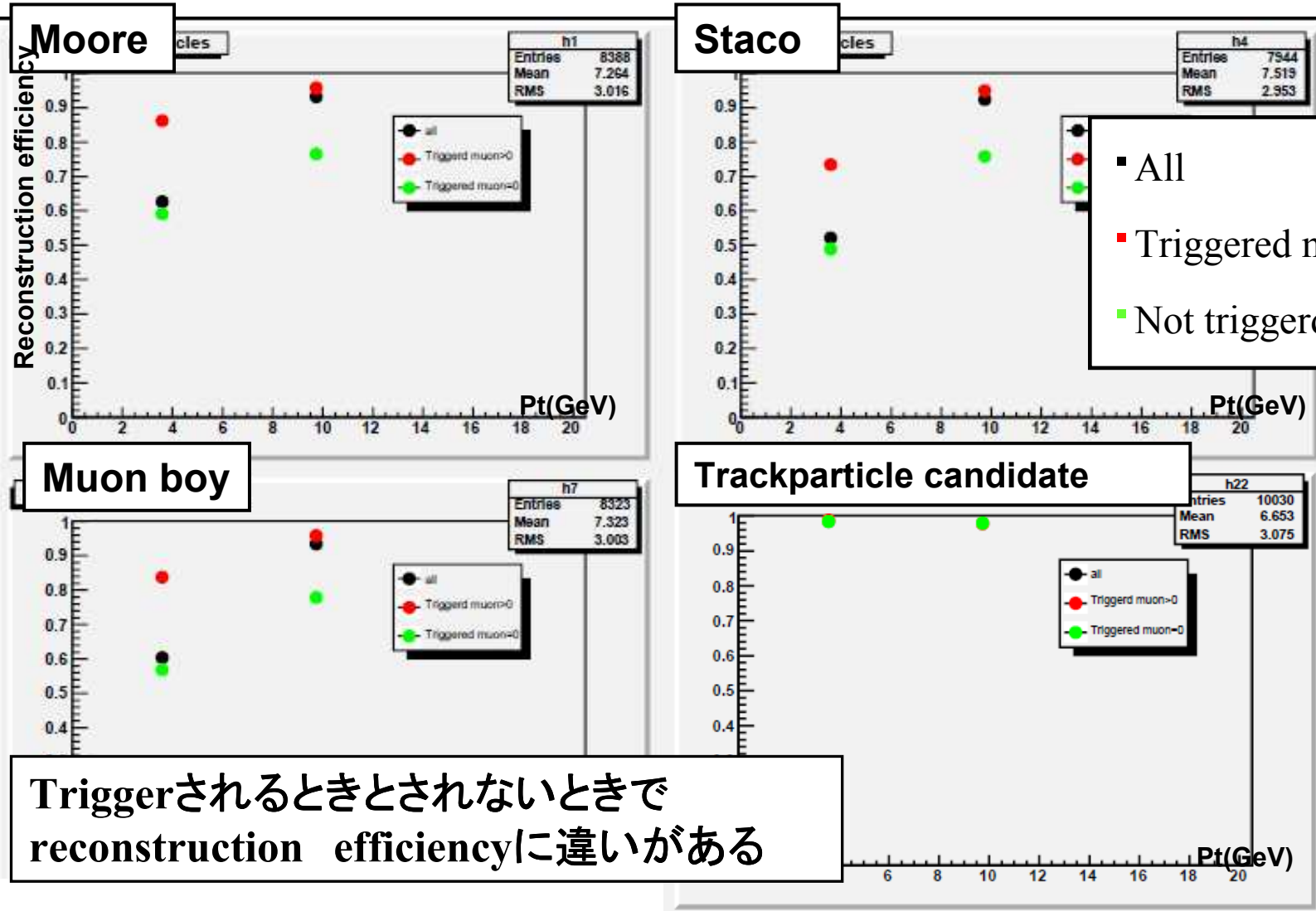


Coincidence Window

4,6,8,11,20,40GeV \mathcal{O} configuration



Reconstruction efficiency



Triggerされるときとされないうちで reconstruction efficiencyに違いがある

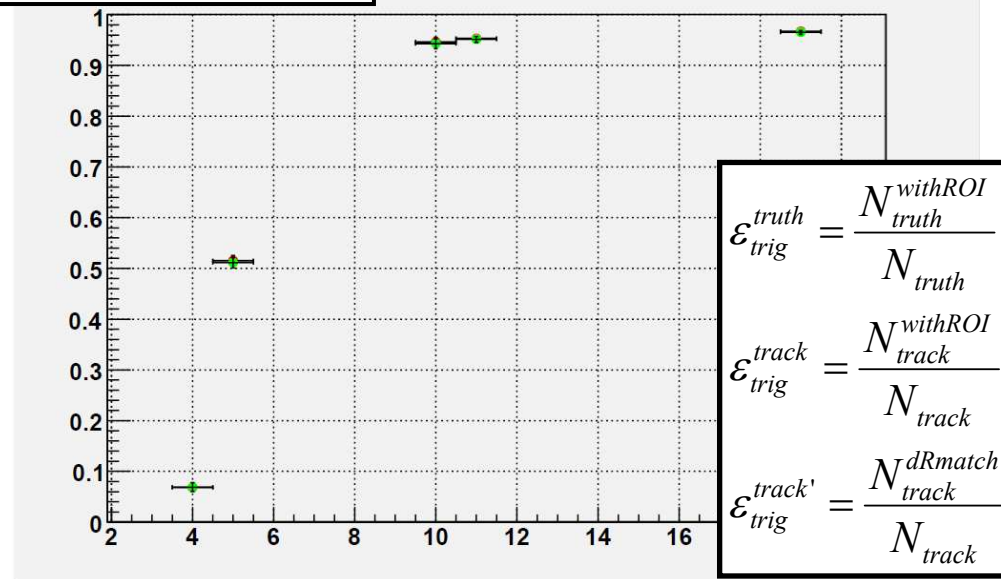
Track particle candidateはtriggerの有無によらず reconstruction efficiencyが一定

Single muonによるmatching用dR関数の妥当性の検証

Trigger efficiency

- Single muonに対してdRのcutを要求あり、なし両efficiencyを比較する

→誤差内で一致



	4GeV	5GeV	10GeV	11GeV	19GeV
ϵ_{trig}^{truth}	0.064 ± 0.006	0.468 ± 0.008	0.909 ± 0.090	0.920 ± 0.006	0.959 ± 0.004
ϵ_{trig}^{track}	0.064 ± 0.006	0.472 ± 0.008	0.914 ± 0.090	0.924 ± 0.006	0.954 ± 0.004
$\epsilon_{trig}^{track'}$	0.063 ± 0.006	0.468 ± 0.008	0.911 ± 0.010	0.921 ± 0.006	0.953 ± 0.004