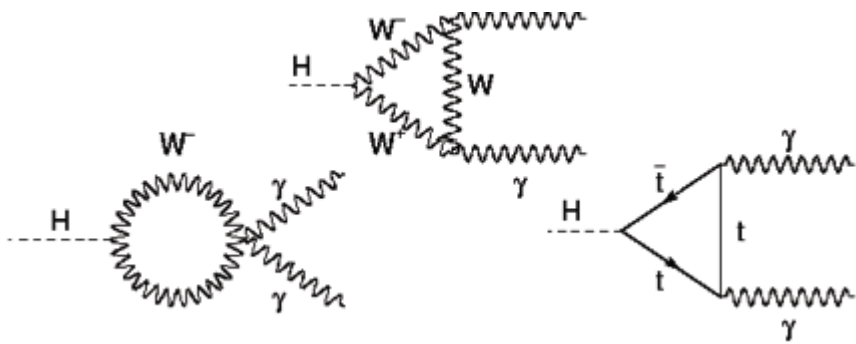


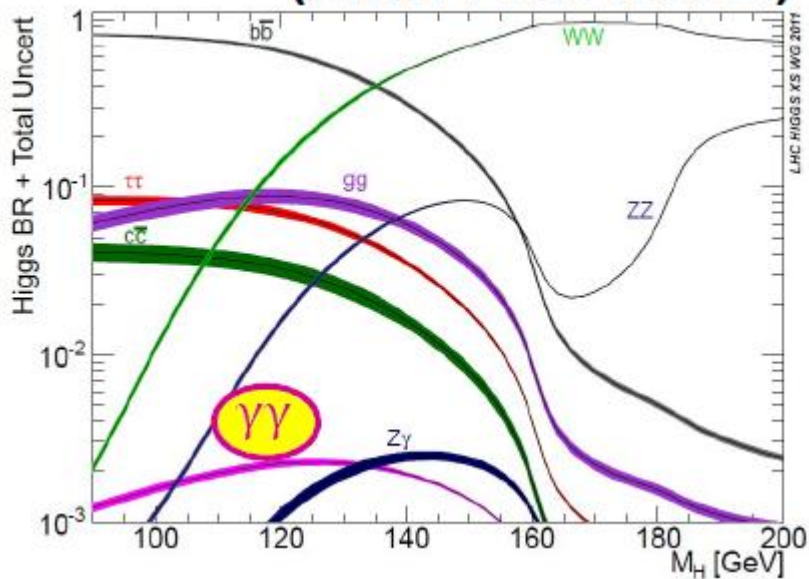
LHC-ATLAS実験における二光子 に崩壊するヒッグス粒子の探索

山口洋平, 山村大樹, 田中純一,
増渕達也, 中村浩二, 浅井祥仁
2012年秋季大会 京都産業大学
2012年9月13日

H \rightarrow $\gamma\gamma$ チャンネル



(arXiv : 1201.3084)



○ 特徴

- 崩壊分岐比は0.23 %と低い
- 高い横方向運動量 (p_T) を持つ2光子が放出され、選択効率 (efficiency) は高い
- m_H の peak が見える (幅 ~ 1.8 GeV)

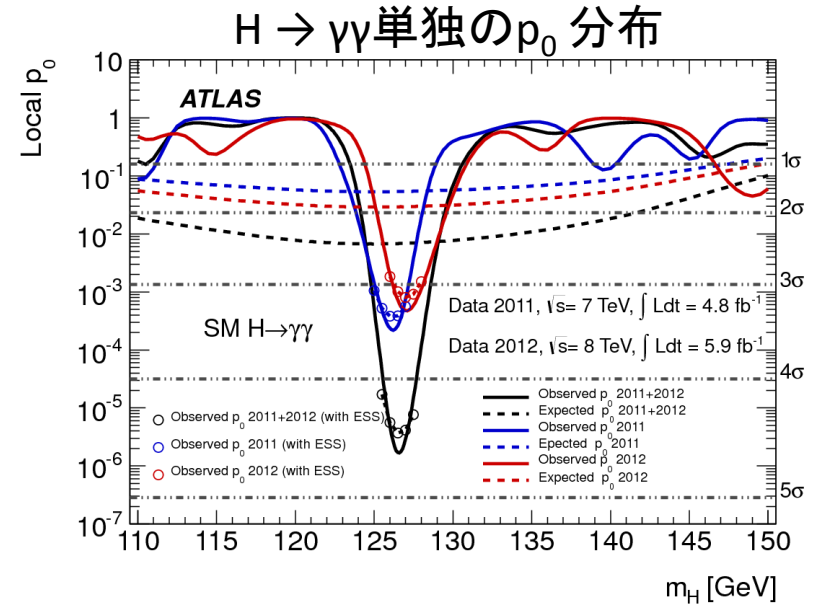
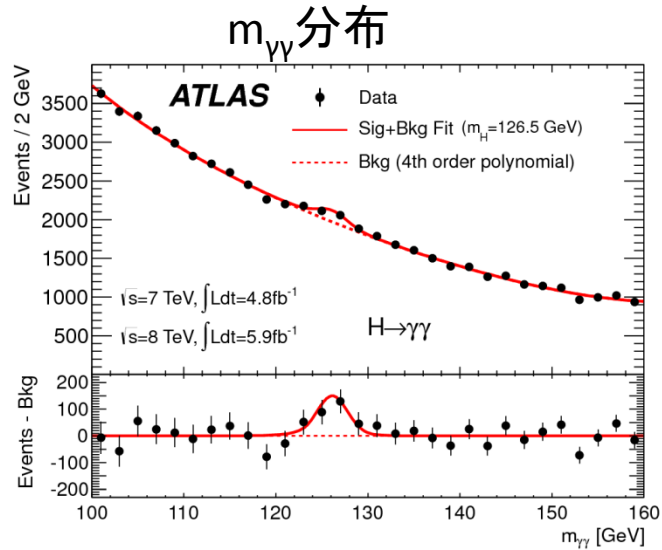
○ 背景事象 (background)

- irreducible
 - SM process からくる $\gamma\gamma$ event
 - main contribution ($\sim 70\%$)
- reducible
 - γ + jets, di-jet
- Drell-Yan ($Z \rightarrow ee$)
 - 非常に少ない

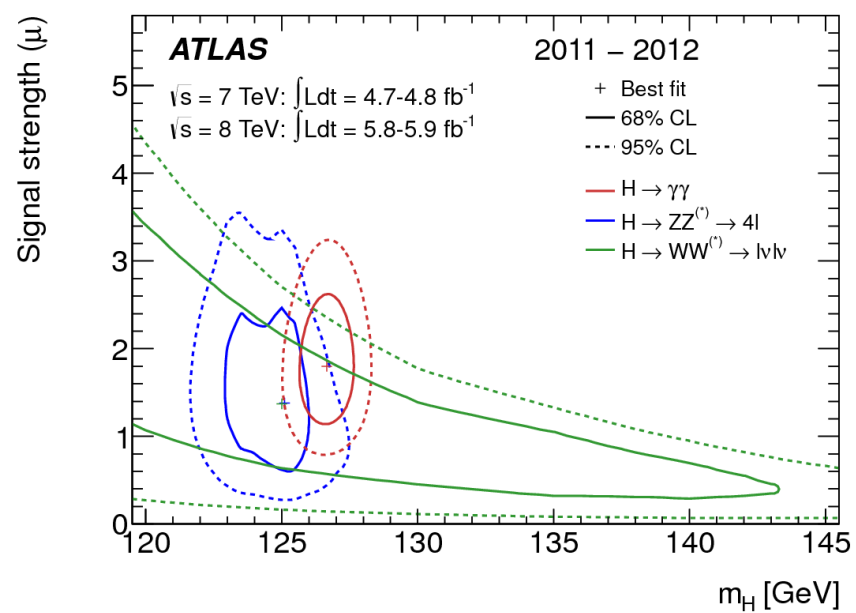
○ event selection

- $pt(\gamma_1, \gamma_2) > 40$ GeV, 30 GeV
- pseudo-rapidity $|\eta| < 1.37$ or $1.52 < |\eta| < 2.37$
- photon ID
- Isolation cut

Higgs (らしきもの) 発見



m_H vs signal strength (標準理論で予言されるシグナル量に対するobserved)



2011年
7 TeV 4.8 fb⁻¹ + 2012年
8 TeV 5.9 fb⁻¹

→ 126.5 GeVにexcessを発見
 (ZZとのcombinedで126)
 $H \rightarrow \gamma\gamma$ チャンネル単独で p_0 value 4.5 σ

今後はHiggsの性質測定
 それに向けた解析の改善を進めている

解析の改善

○ pileupの影響を受けにくい新しいisolationの導入

現在の $H \rightarrow \gamma\gamma$ の event selection では、特に光子にisolation(後述)を要求するときの efficiency に pileup が大きく影響する

pileupの影響により、

- signal efficiencyの低下
- efficiencyに対する系統誤差の発生

が問題となる

pileupの影響を抑えるため、track isolationの導入を提案

○ m_H 測定精度の改善

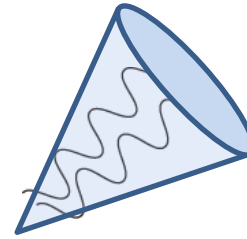
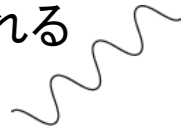
現在 m_H の測定精度は、光子のenergy scaleの系統誤差の寄与が大きい

そこで、high purityの実光子サンプルを用いたenergy calibrationを行う

光子に対するtrack isolation

光子におけるisolation (他のobjectからの分離度合)

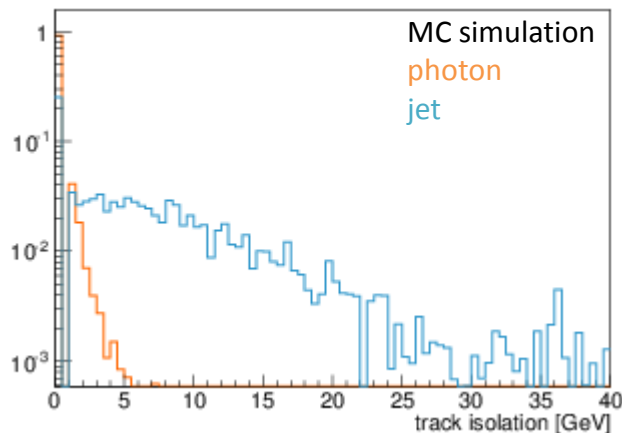
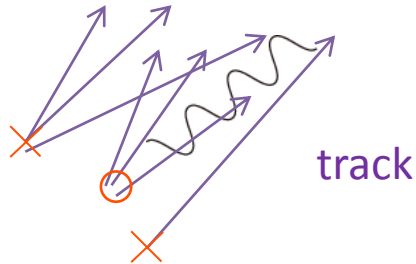
光子
分離される



π^0 (\rightarrow 2光子)
jetを伴う

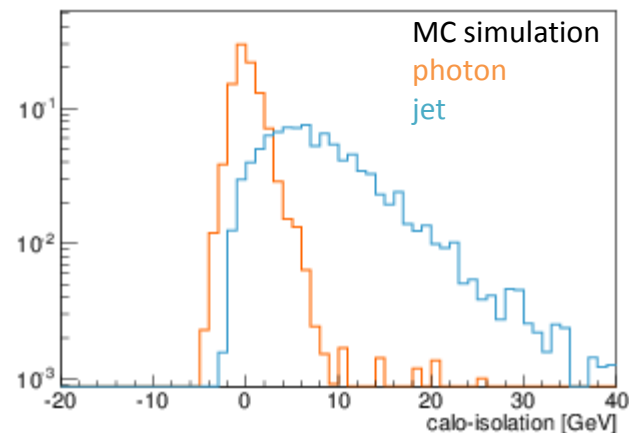
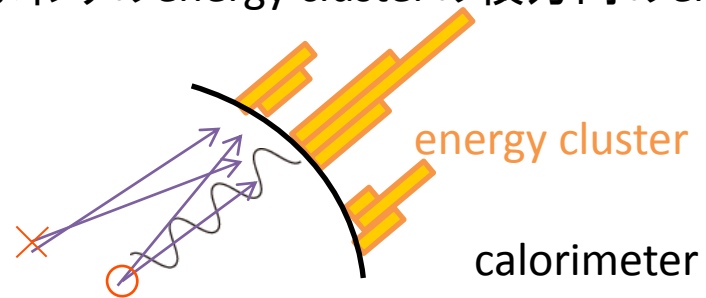
○ track isolation

まわりのtrackの p_T の和



○ calo-isolation

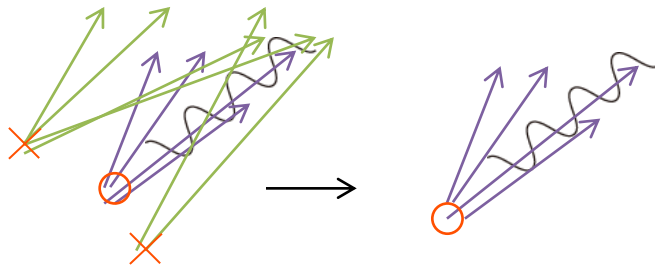
まわりのenergy clusterの横方向のenergy和



calo-isolationではtrackがどのvertexから来たか、区別がつかない

現在のisolation cutは、calo-isolation < 4GeVのみ \rightarrow track isolationの併用を提案

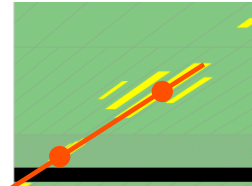
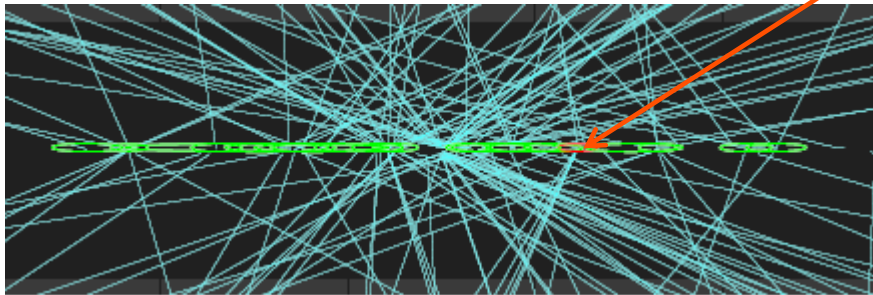
track isolationとpileup



photonを出したprimary vertexからのtrackのみisolationの計算に勘定したい

他のvertex由来のtrackを排除できれば、isolationはpileupに強くなるが...
photonはtrackが無いので、vertexの再構成が重要

H \rightarrow $\gamma\gamma$ candidate eventの例
primary vertex 24個



A. calo-pointing

calorimeterの1, 2層目のcluster
重心から、vertexを決定

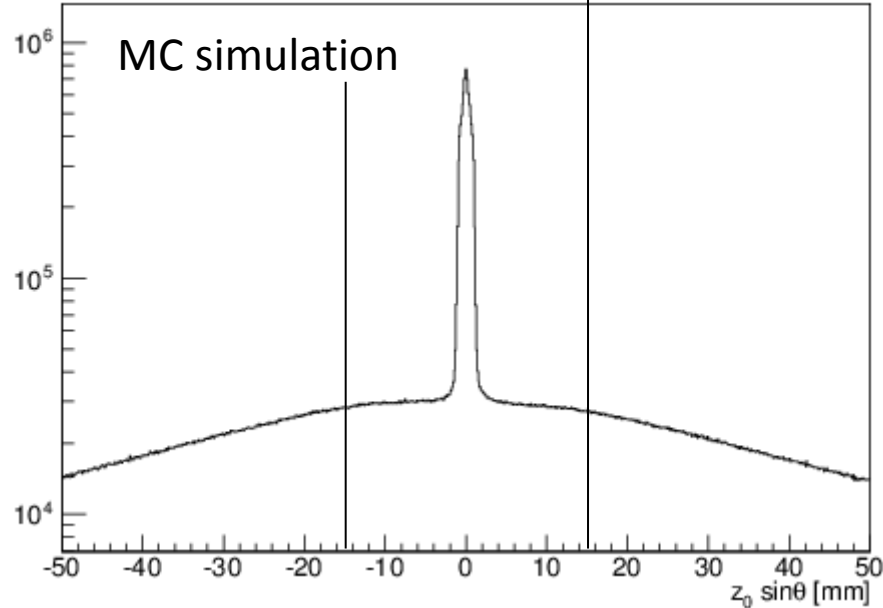
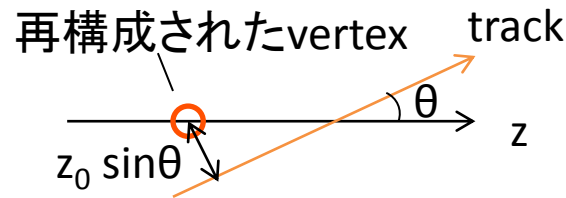
B. Σp_T^2

Higgsが生成されるのはhardなeventなので、そのvertexから出たtrackの Σp_T^2 は高い

calo-pointingと Σp_T^2 から与えられるlikelihoodの積が最大になるよう、
primary vertexを決定する

longitudinal impact parameter

再構成したprimary vertexに近いtrackのみ、track isolationの計算に取り入れる
= trackに対してlongitudinal impact parameter “ $z_0 \sin\theta$ ”のcutをかける



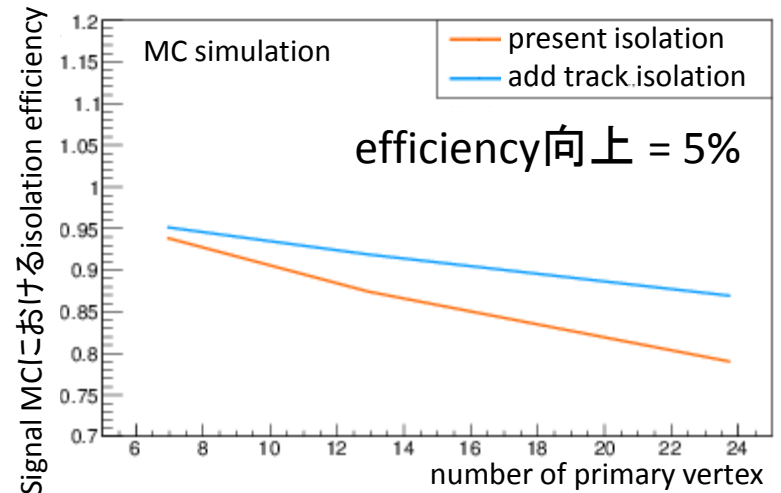
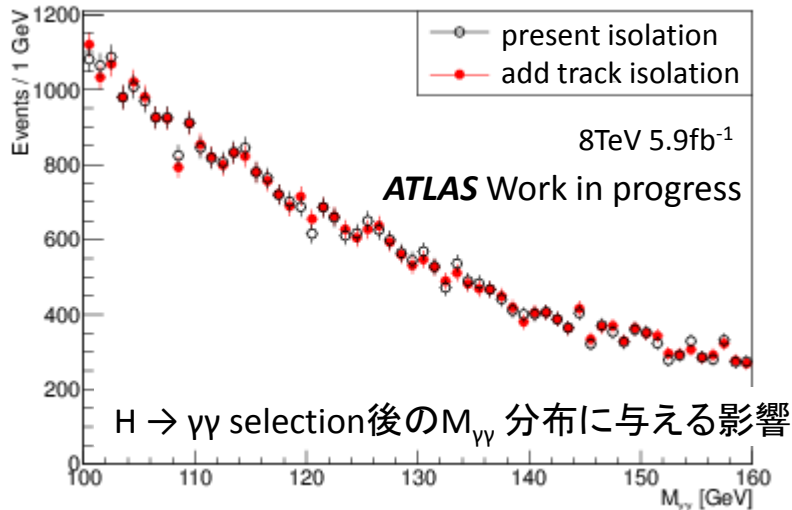
isolationの最適化

track isolationの計算に使うtrack selectionの最適化

- track $p_T > 1$ GeV
- cone size: $\Delta R < 0.2$
- transverse impact parameter < 1.5 mm
- $z_0 \sin\theta < 15$ mm
- 内部検出器へのヒット数 ≥ 9

isolation cutの最適化

- calo-isolation < 6 GeV & track isolation < 2.6 GeV
- calo-isolationは従来(4 GeV)よりloose



総event数を変えないまま、isolation efficiencyを5%向上
さらに、pileupに強くなった

data drivenでのtrack isolation性能評価

Z + jet eventのjetを用いて、jet \rightarrow photonのfake rateを測定

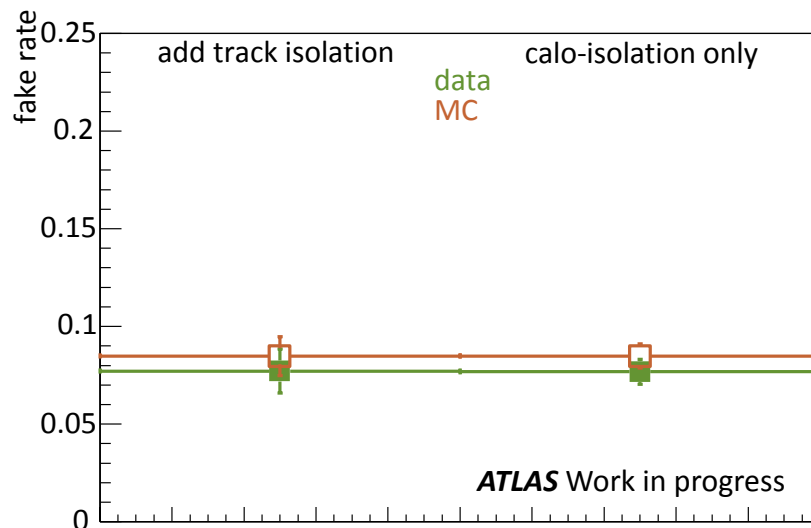
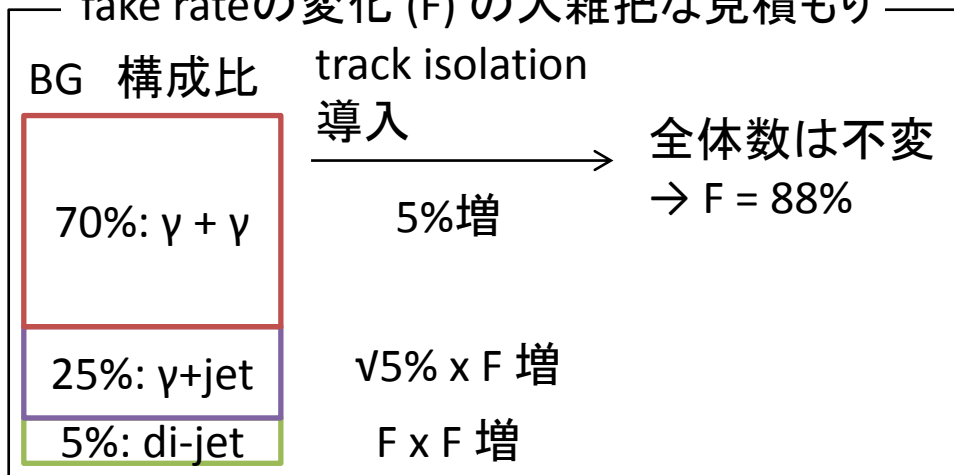
event selection

- 2 electrons ($pt > 25, 15$ GeV)
- at least 1 loose photon ($pt > 25$ GeV)
- $80 < M_{ee} < 100$ GeV
- electronとのoverlap removal $\Delta R_{ey} > 0.4$

fake rate = (photon ID(tight) + isolation) / photon ID(loose)

calo-isolation onlyと比較し、88 %にfake rateが下がることが期待される

fake rateの変化 (F) の大雑把な見積もり

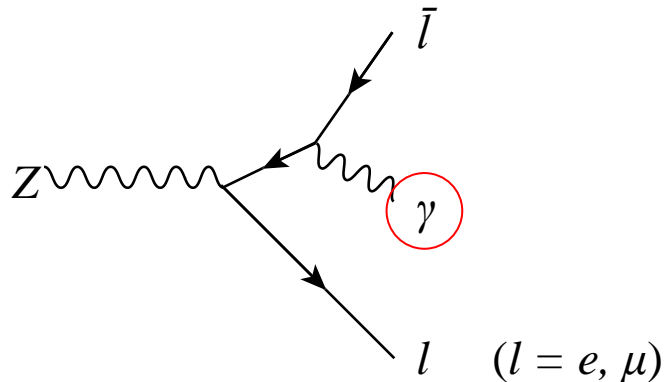


予想されるfake rateが達成できているかは、精度がまだ足りない統計が必要

光子のenergy calibration

high purity実光子サンプルを得る: $Z \rightarrow ll\gamma$

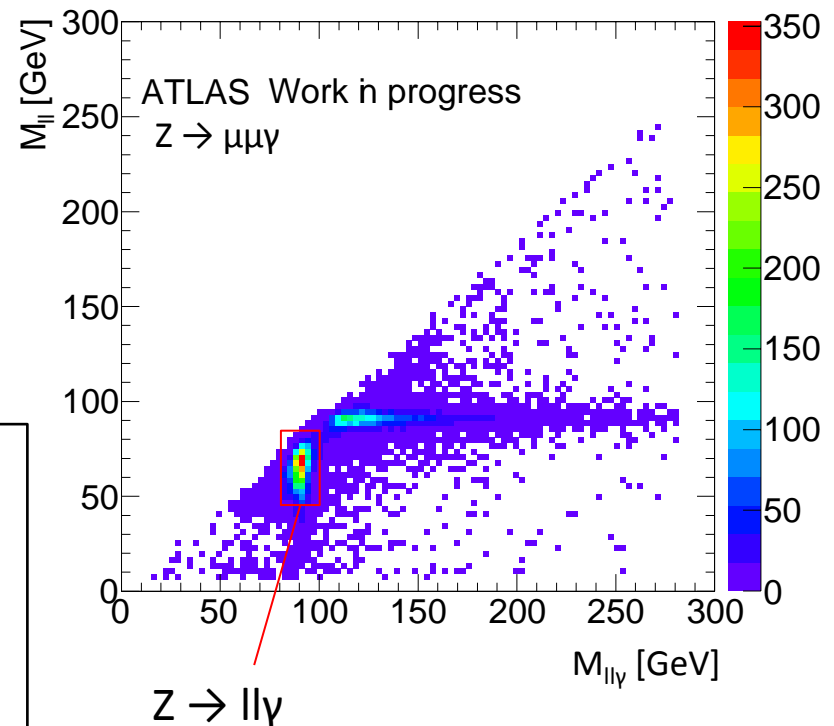
- 光子に対する性能は、electronからのextrapolateで評価
 - $Z \rightarrow ll\gamma$ によって実光子を扱える
- x-sec = 36 pb ($Z \rightarrow ll$, $M_{ll} > 60$ GeV, FSR photon ($p_T > 15$ GeV, $|\eta| < 2.37$))



終状態輻射 (FSR) で光子を放出 $\rightarrow M_{ll\gamma} = M_Z$

event selection

- at least 2 leptons + 1 photon
- $80 < M_{ll\gamma} < 100$ GeV
- $45 < M_{ll} < 85$ GeV
- 光子の $p_T > 15$ GeV
- 光子の $|\eta| < 2.37$
- calo-isolated
- 光子とレプトンが $\Delta R = 0.4$ 以上離れている



* 今回はelectronチャンネルのみ報告

$M_{ee\gamma}$ 分布

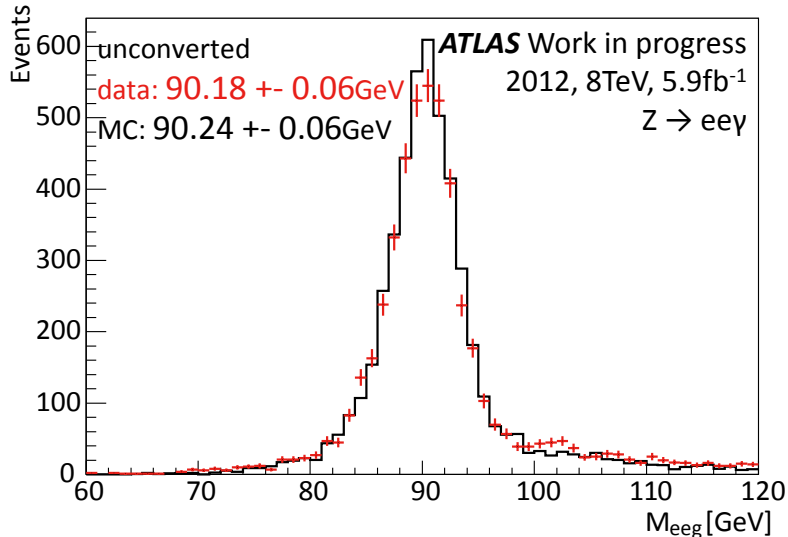
photonを三つに分類

- unconverted
- 1-track converted
- 2-track converted

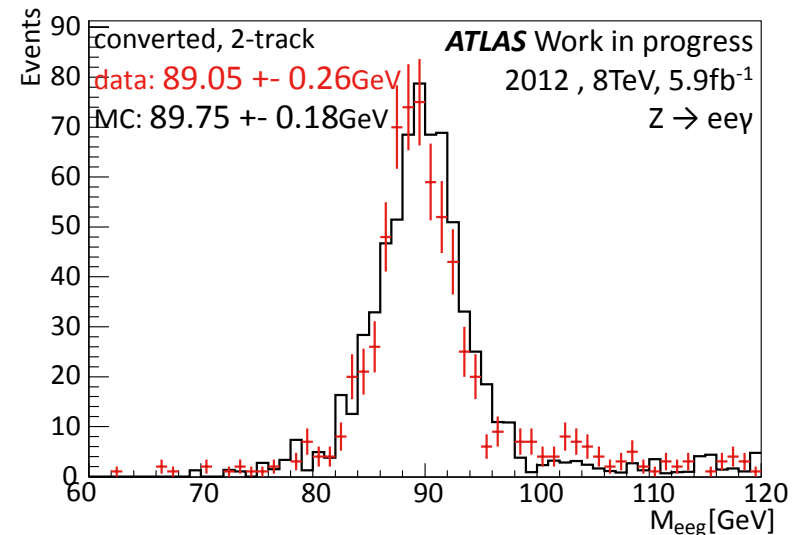
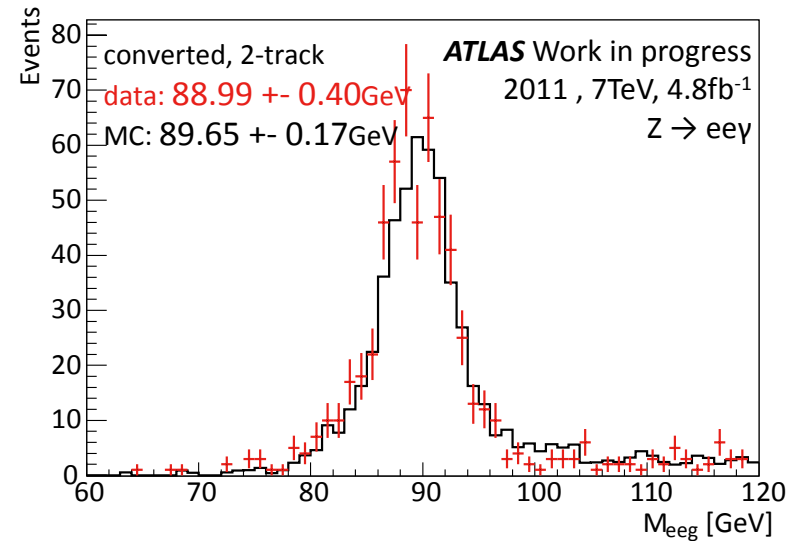
dataとMCの $M_{ll\gamma}$ 分布を比較し、データのenergy scaleを、MCに対するずれとして評価

* dataのenergy scaleはMCに合わせてcalibrationされているので、ずれ = miscalibration

dataとMCが綺麗に合う例: unconverted



dataとMCでpeakがずれる: 2-track

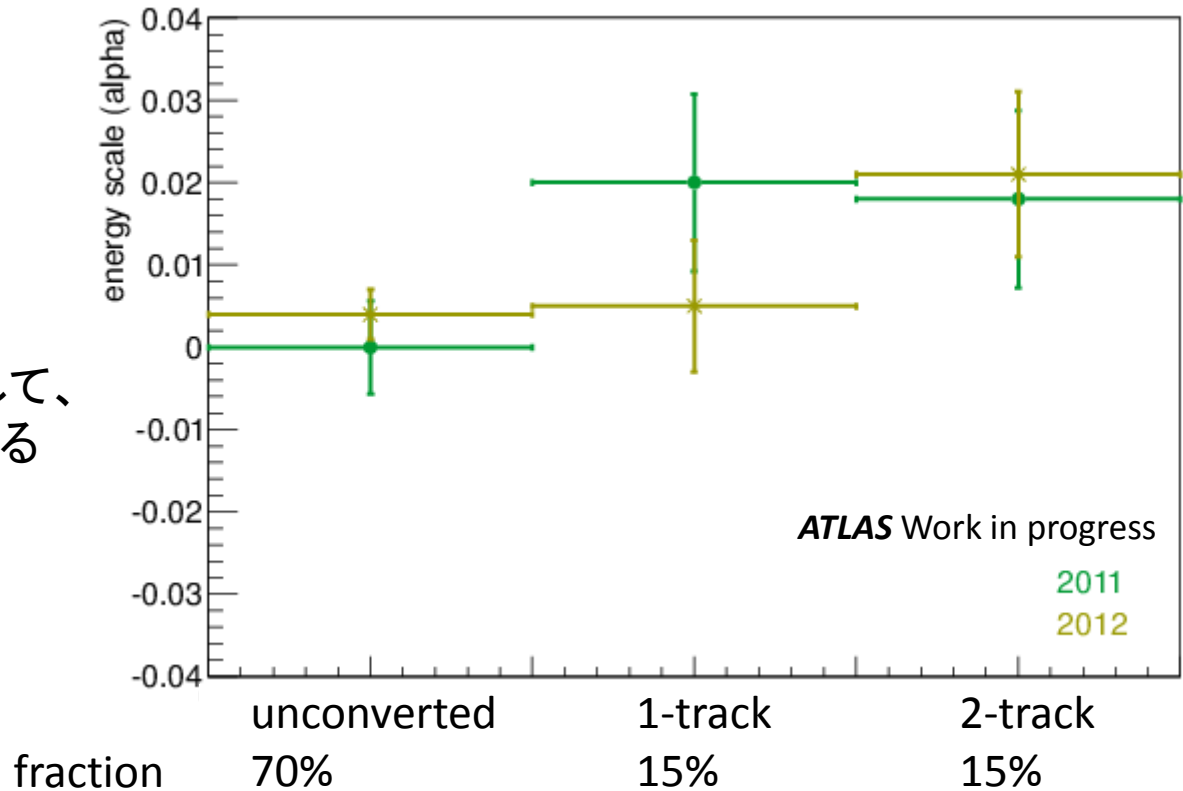


energy scale測定結果

energy scale factor α :

$$E'_{\text{data}} = E_{\text{data}} (1 + \alpha) = E_{\text{MC}}$$

データのenergyを α で補正して、
MCのenergy scaleに合わせる



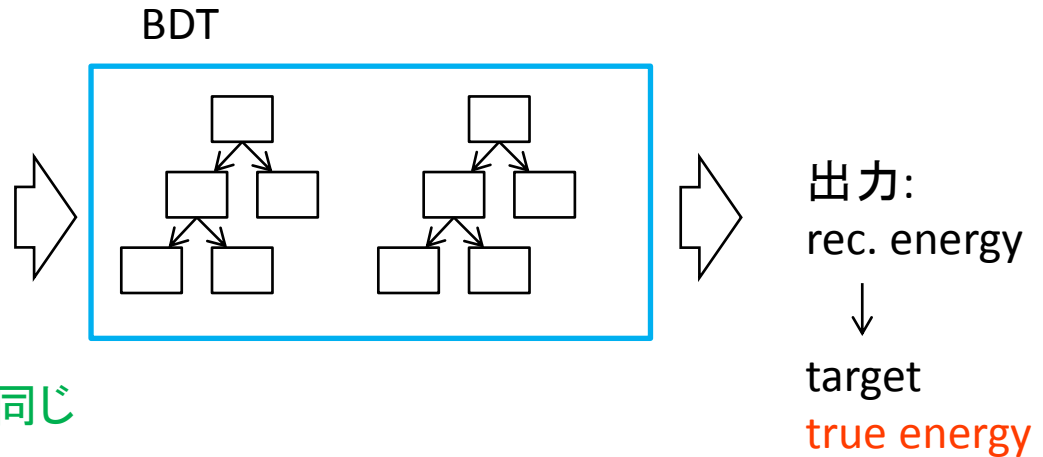
この測定結果をそのまま $H \rightarrow \gamma\gamma$ に適用した場合、

	p_0 値最小となるmass	期待されるmassの移動量
2011	126 [GeV]	+ 0.6 +- 0.5 [GeV]
2012	127.5 [GeV]	+ 0.7 +- 0.5 [GeV]

MVA calibration for electron and photon

入力:

- cluster raw energy
- pre-sampler energy fraction
- cluster eta
- cell index
- shower depth



従来のcut baseの補正に使う変数と同じ

○ 目標:

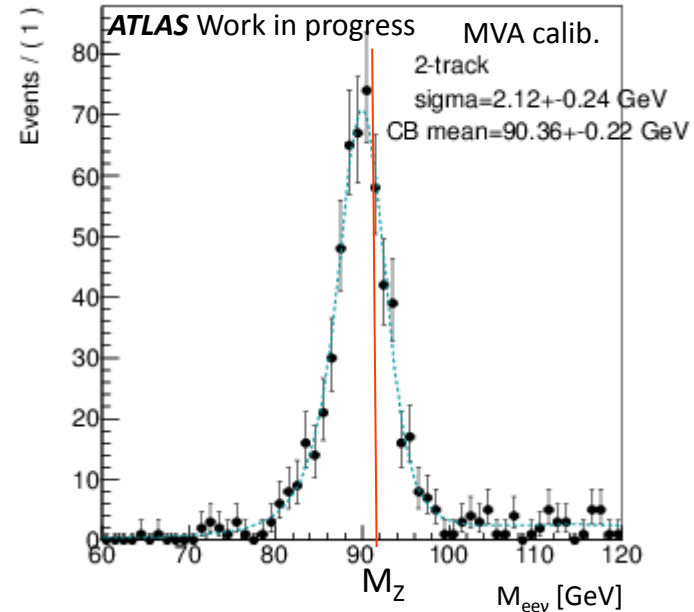
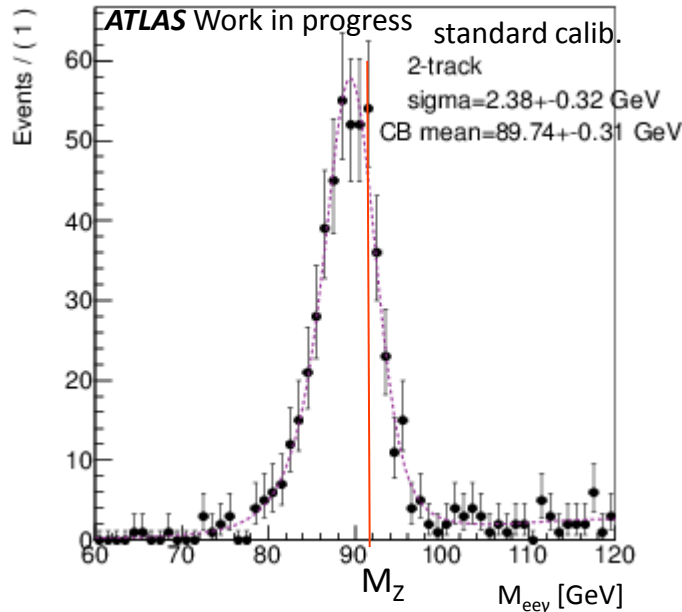
1. energy分解能改善
 - MVAは変数間の相関を扱うのが得意 → 入力に多くの変数を扱える
2. energy scaleの改善
 - true energyをtargetにすることで、energy lossを回復できる
 - 現状、MCにおいてもconversionの状態によってenergy scaleが異なっている

入力変数間の相関の再現が難しいので、MVAは実データでの評価が特に重要

実データにおけるMVA calibrationのphotonに対する直接性能評価を行った
評価方法: $Z \rightarrow e e \gamma$

MVA calibration結果1 (2011年のデータ)

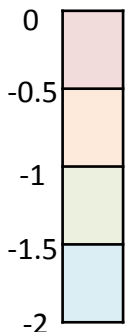
ex.) データにおける2-trackイベントの $M_{ee\gamma}$ 分布



$$\Delta M = M_{ee\gamma} - M_Z \text{ [GeV]}$$

	unconverted	1-track	2-track
data, MVA	-0.32 +- 0.10	-0.53 +- 0.28	-0.83 +- 0.22
MC, MVA	-0.09 +- 0.08	-0.22 +- 0.16	-0.38 +- 0.17
data, standard	-0.53 +- 0.11	-0.99 +- 0.26	-1.53 +- 0.23
MC, standard	-0.59 +- 0.09	-0.59 +- 0.18	-1.81 +- 0.15

standard: \longrightarrow
従来のcut baseの
calibration



MVA calibration結果2 (2011年のデータ)

M_{eey} のwidth比較 (MVA/standard)

	unconverted	1-track	2-track
data	0.99 +- 0.09	0.83 +- 0.14	0.89 +- 0.15
MC	0.97 +- 0.07	1.03 +- 0.13	0.82 +- 0.10

- standardなcalibrationと比較して、peak positionが M_2 に近づいた
→ energy lossを回復している
- standard calibrationと同程度のenergy resolutionを達成した
→ energy scaleの改善により、conversion status inclusiveなresolutionは改善している

今後はより高度なcalibrationを予定している
→ resolution改善

追加される入力変数:

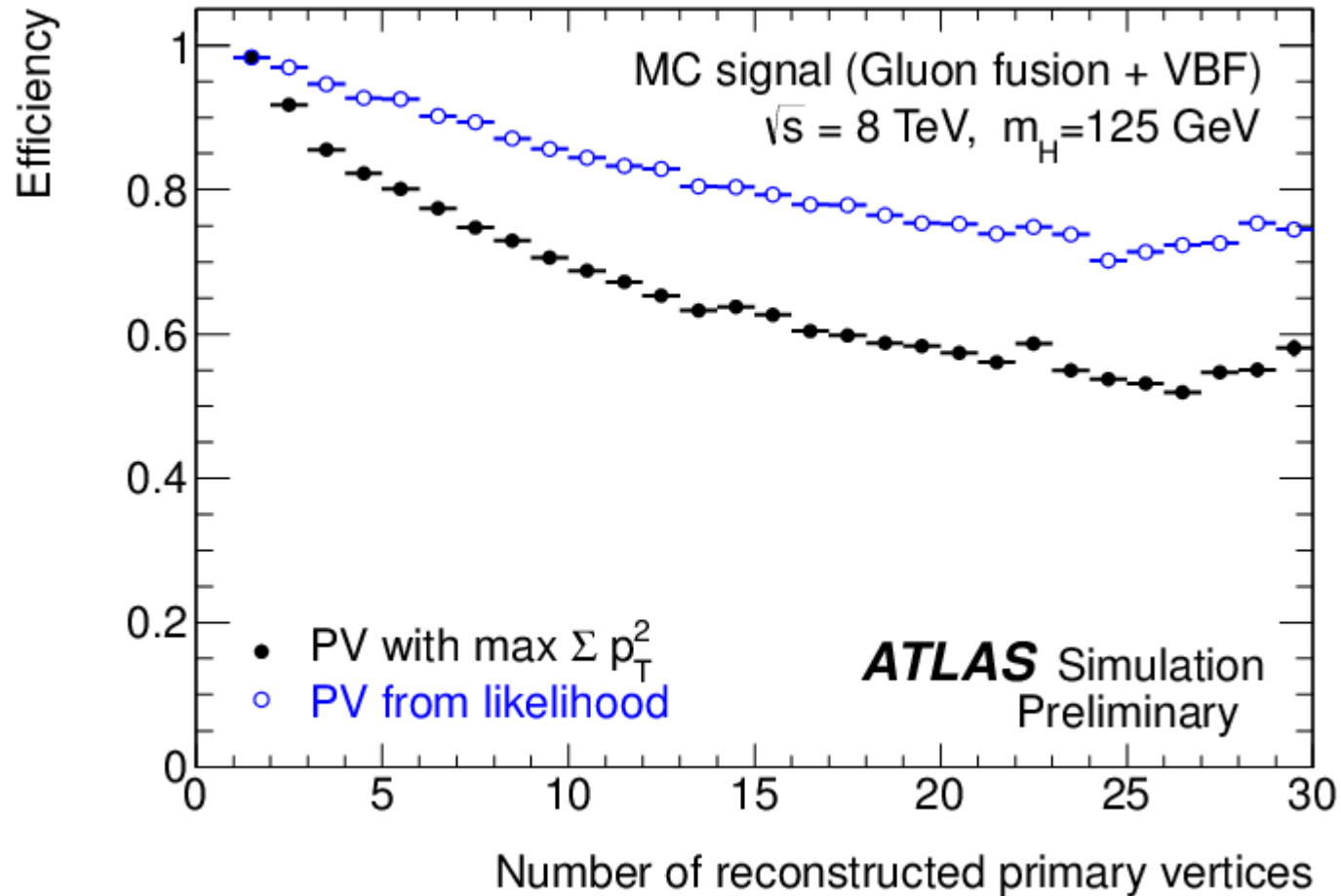
- conversion半径
- 通過した物質質量
- calorimeter内のshower shape
- impact parameter
- beam情報

まとめ

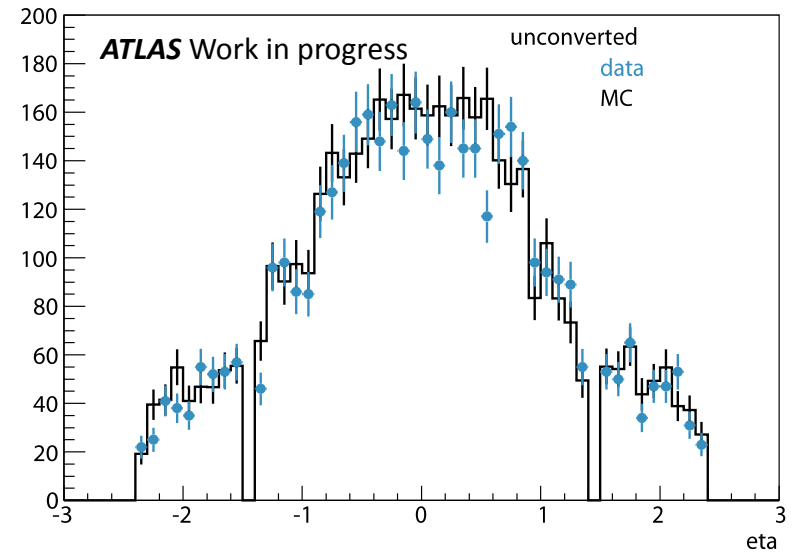
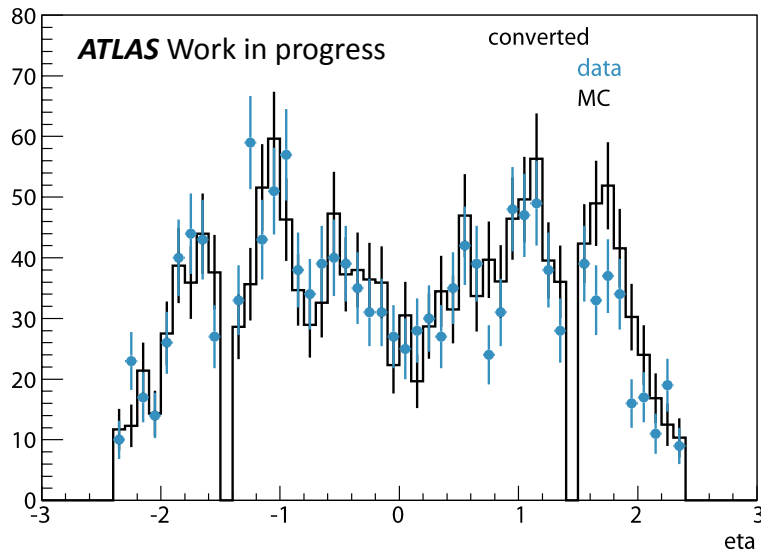
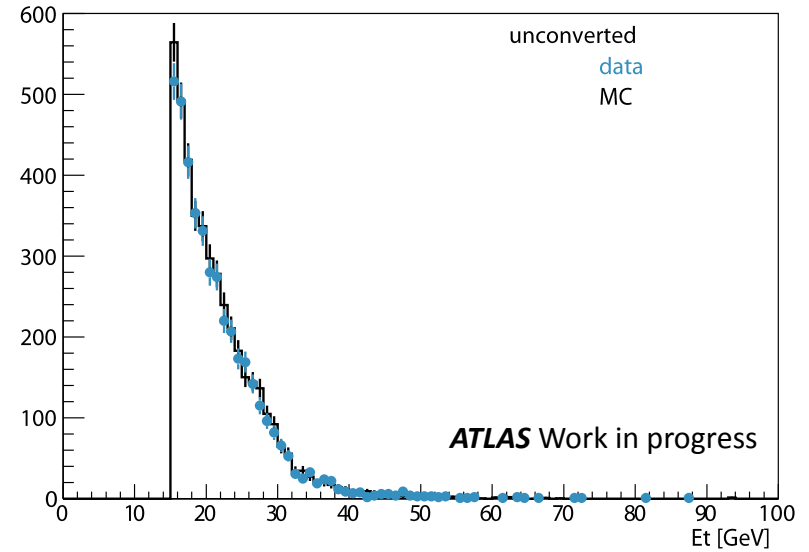
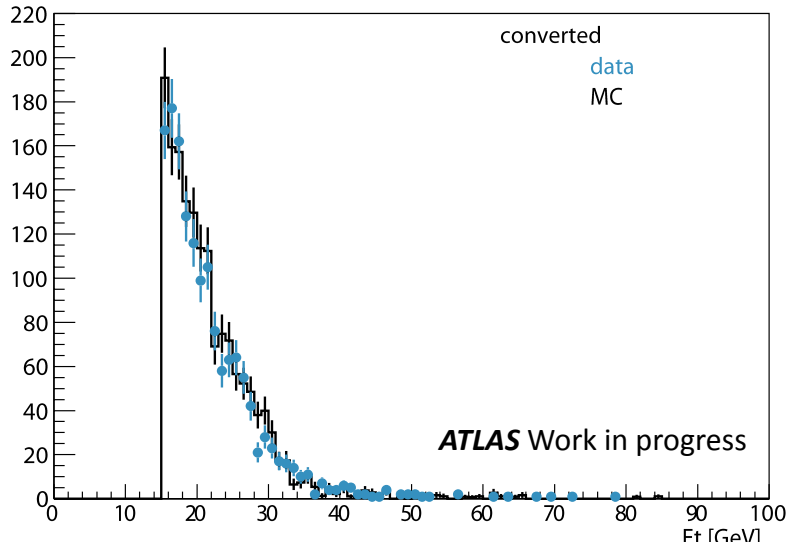
- $H \rightarrow \gamma\gamma$ チャンネルでは、単独で p_0 value 4.5σ を達成
- 今後のHiggs property measurement (coupling, m_H , spin) に向けて解析の改善を行っている
- calo-pointingと Σp_T^2 を用いたprimary vertex再構成を、track isolationの計算に導入することで、 $H \rightarrow \gamma\gamma$ signal efficiencyが5%向上し、pileupに強いisolation cutが実現する
- 現在track isolationに対するdata drivenの性能評価を進めている
- $Z \rightarrow l\bar{l}\gamma$ eventを用いた光子のenergy calibrationは、現在唯一の実光子を用いた光子に対する性能評価手法
- converted光子に対して、dataとMC間で~1%のenergy scaleのずれを示唆する結果が得られているので、より詳細のstudyを進めている
- 一方でMVA calibrationの導入を検討しているので、このcalibrationに対する実データの性能評価も行っている

backup

|再構成したvertex - trueのvertex| < 0.2 mmとなるefficiency



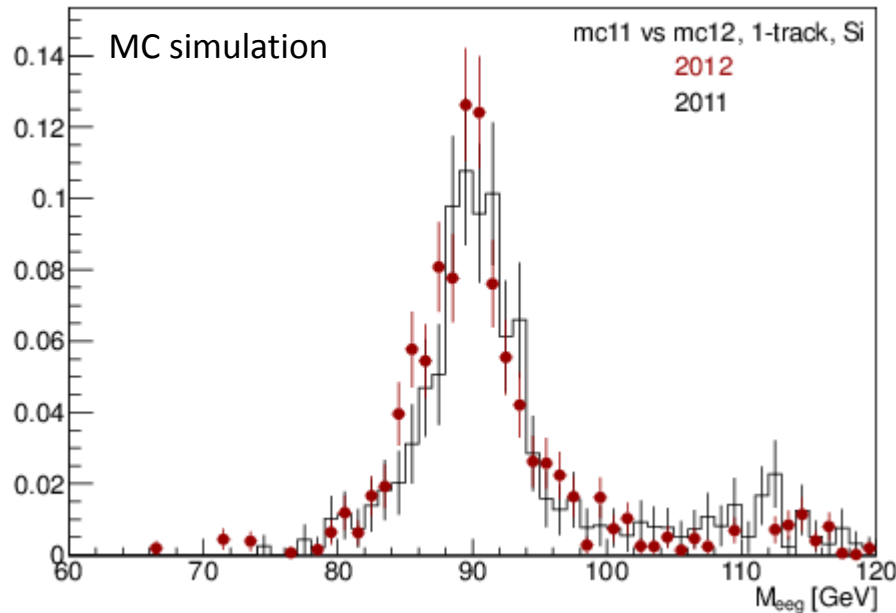
$Z \rightarrow e e \gamma$ における photon distributions



2011年と2012年のMC同士の比較

1-trackで、なおかつSiにconversion vertexがあるもの

ピーク値



MC同士でenergy scaleの違いが見える
2011年と2012年でpileupが厳しくなっ
たことにより、「fake」の1-track eventが
増えたせいか

Z + jetを用いたfake rate測定: MC template fit

MCでphoton, jetのisolation templateを作成し、
それでdataのisolation分布をfitして、true photonのcontaminationを評価

template fitの結果

