

# LHC-ATLAS実験における $H \rightarrow ZZ(*) \rightarrow 4l$ を用いたHiggs粒子の探索

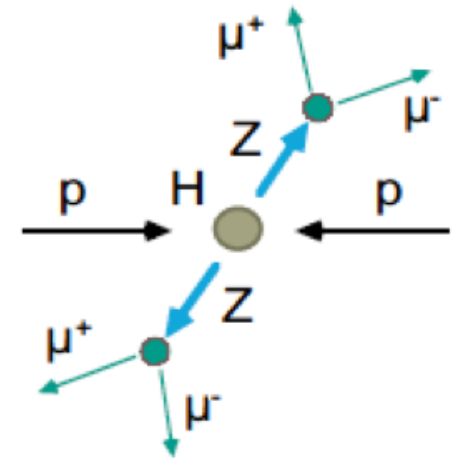
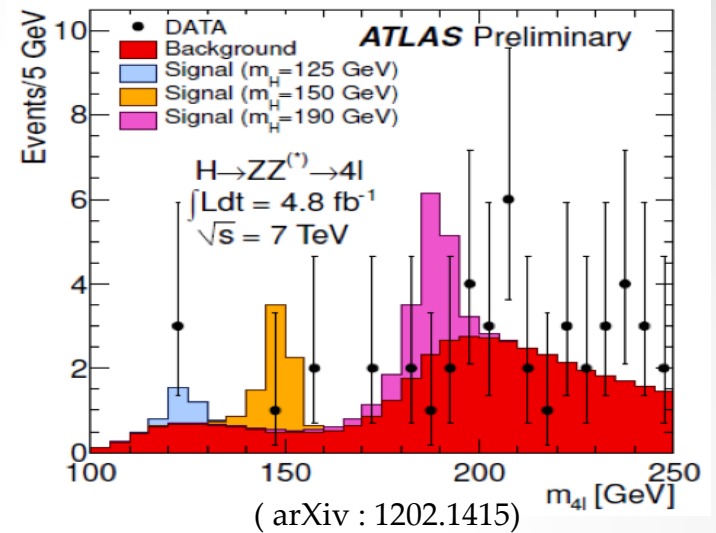
崔 原碩、田中 純一<sup>A</sup>、中村 浩二<sup>A</sup>、浅井 祥仁

東大理、東大素セ<sup>A</sup>

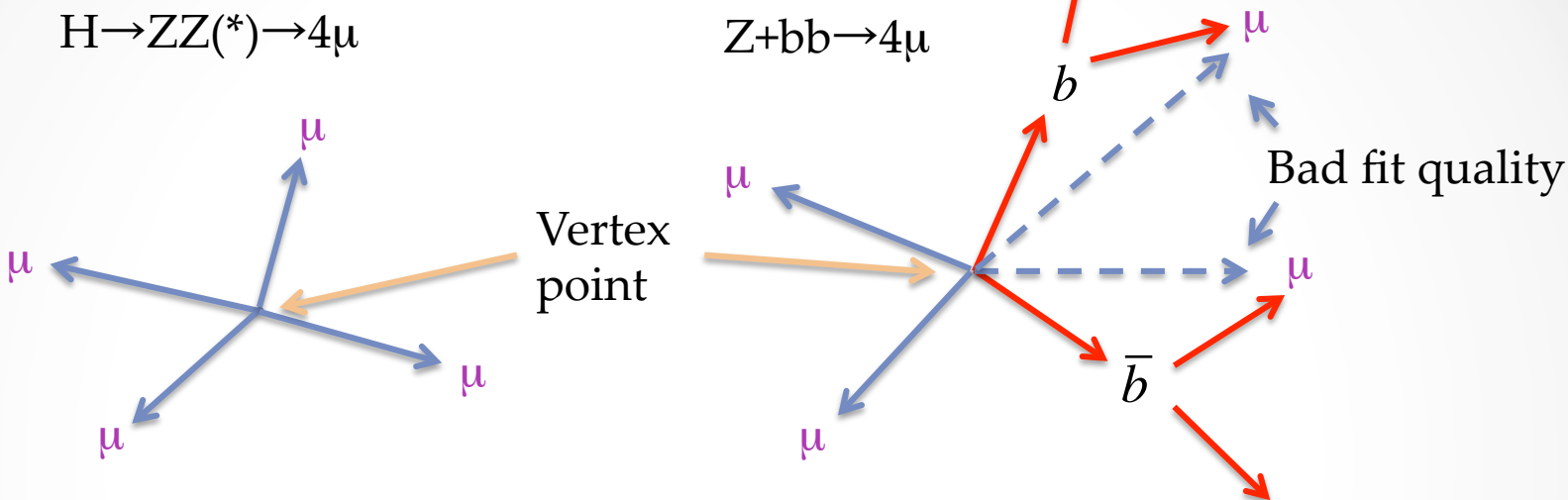


# H $\rightarrow$ ZZ(\*) $\rightarrow$ 4l channel

- H $\rightarrow$ ZZ(\*) $\rightarrow$ 4l
  - 4つのleptonを要求。  
→ low BG
  - Hの探索が出来る範囲が広い  
→存在すれば、Golden channel
- Higgsの探索範囲 :  $110 < m_H < 600 \text{ GeV}$ 
  - $m_H > 180 \text{ GeV}$ の範囲では、on-shellのZ二つに崩壊  
→BGが suppressされる。
  - $m_H < 180 \text{ GeV}$ の範囲では、一つが off-shellのZになる  
→ Z bb, ttbar, Z+jet などの BGが存在
- 統計が少ないのが問題。一方Pileupが多く、leptonの isolation 条件によるlossが深刻
- 本講演では、2011年のデータに適用し、low mass 領域に置いての既存の方法(2月のpaper, arXiv:1202.1415)に比べてacceptanceを上げる方法を発表する。



# Motivation & Purpose



- Low mass regionでは, reducible BG の mainは  $Zbb + \text{jets}$ .
  - $b$ からのleptonはisolationが悪い
  - tightな isolationを要求して排除(既存のcut)。
- $b$ からの lepton は track が vertex からずれる。
  - vertex fit の quality が落ちる。
  - isolation などによるcutをlooseに、fitの $\chi^2/\text{NDF}$ を用いて  $Zbb + \text{jets}$ ,  $t\bar{t}$ からのBGの排除、及び signal の増加を試す。
- 本研究では、 $H \rightarrow ZZ(*) \rightarrow 4\mu$ を使って解析を行った。

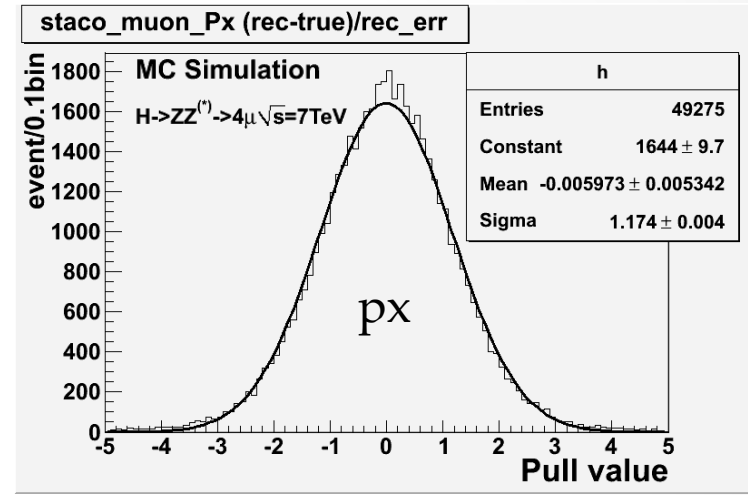
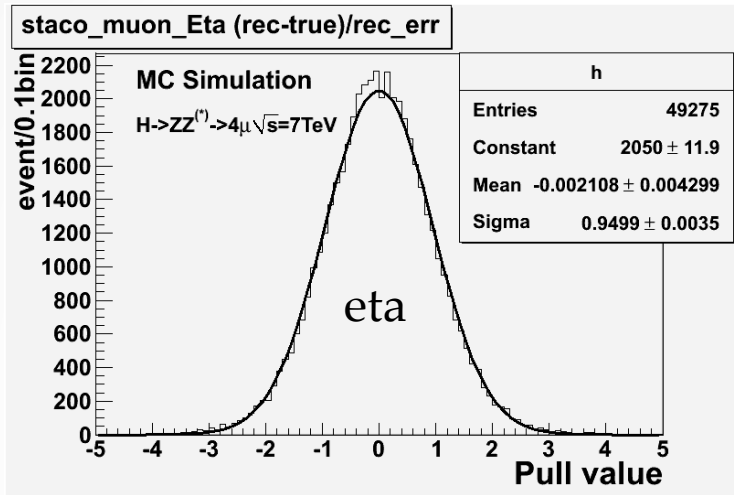
# Used samples

- Data
  - Data of  $4.8 \text{ fb}^{-1}$  is used
- Signal sample
  - ggF :  
 $gg \rightarrow H(130 \text{ GeV}) \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$  ( $l=e, \mu, \tau$ ), PowHeg,  $5.89 \text{ fb}$
- BG sample
  - Zbb sample :  
 $Zbb + \text{jets}, Z \rightarrow ll$  ( $m(ll) > 30 \text{ GeV}$ ) ( $l=e, \mu$ ), Alpgen ,  $24 \text{ pb}$
  - ZZ sample :  
 $ZZ \rightarrow 4l$  ( $l=e, \mu, \tau$ ), PYTHIA ,  $0.058 \text{ pb}$
  - ttbar :  
ttbar, MC@NLO,  $164.57 \text{ pb}$

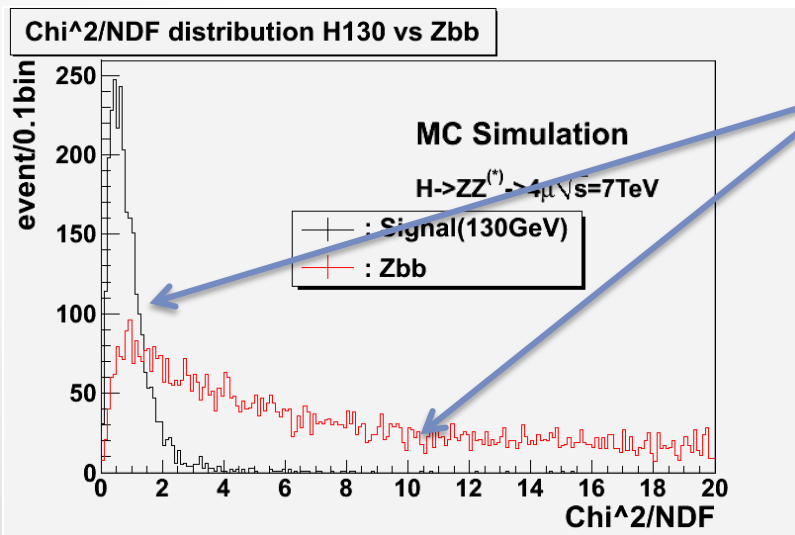
# Pull & $\chi^2$ /NDF distribution

- Vertex の fit に使われる変数の error の評価が正しくされているかを確認  
 → Pull  $((\text{rec\_par} - \text{truth\_par})/\text{rec\_par\_err})$  will follow to (0,1) Gaussian

ex)



- 4つの muon の 4 元運動量から track を fit することにより、vertex を再構築。



Zbb の fit quality の方が断然悪い  
ttbar も同様。

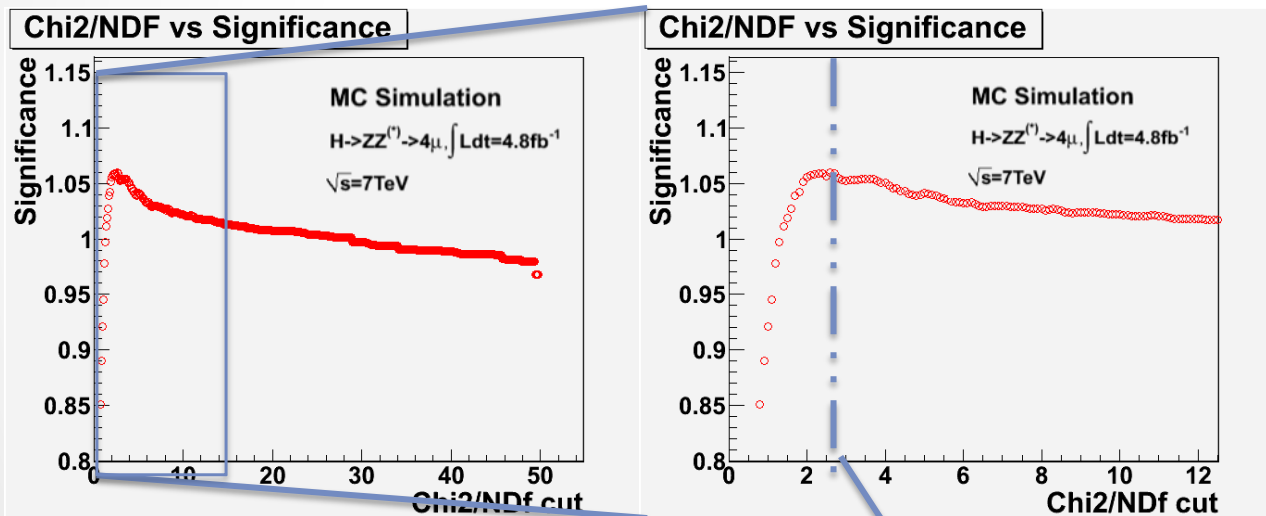
→ 理想の結果:  
signal の増加、既存の方法と同程度以上のBGの抑制

# Optimization of $\chi^2/\text{NDF}$ Cut

- 研究の目的: acceptanceを増やす

→Fit quality ( $\chi^2/\text{NDF}$ ) cut 後の significanceが最大になるように optimize (Zbb, ZZ, Signal (H=130GeV) are used )

- Significance (S)は125~135GeVの間で計算



$$S = \sqrt{2 \left( (s+b) \ln \left( 1 + \frac{s}{b} \right) - s \right)}$$

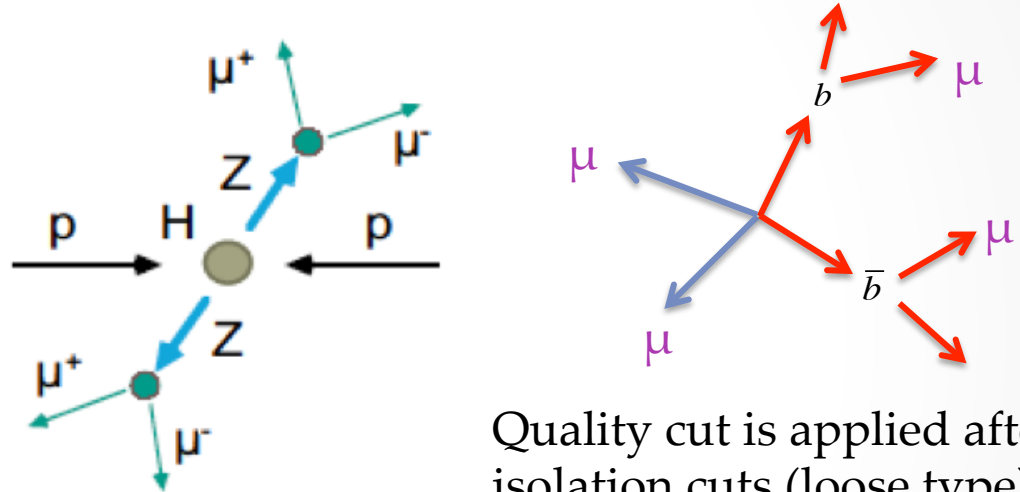
mass resolution ( $4\mu$ ) :  
2GeV @130 GeV

Both type1 &2 cut's max S point is at  $\chi^2/\text{NDF}$  cut =2.6  
(this plot is using type2)

# 4 $\mu$ Selection Cut flow

- 新しいcut では Isolation cutを 緩く、 d0cutを排除
  - Type1: apply loose isolation cut (x2 from official) to 4  $\mu$
  - Type2: apply 1) 's isolation cut to only 2  $\mu$ s of secondary Z

## Applied cuts



Quality cut is applied after isolation cuts (loose type)

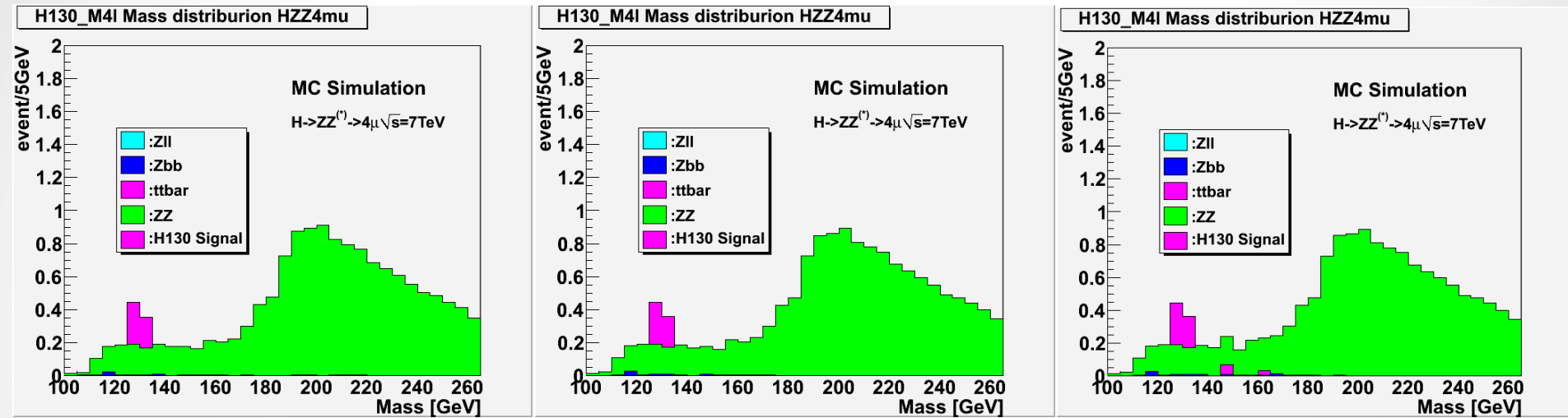
既存の方法Cut flow	Loose Type1	Loose type2
N mu $\geq$ 4 (Pt $>$ 7GeV, Eta $<$ 2.7)		
Opposite charge + (2l Et $>$ 20GeV x2)		
Closest to Z mass = Primary Z		
Primary Z - Zmass  $<$ 15 GeV		
15 $<$ Secondary Z $<$ 115 GeV		
Track Isolation ( $\Sigma$ Pt <sub>i</sub> /Pt) $<$ 0.15 for 4 $\mu$ s	Track Isolation $<$ 0.3 for 4 $\mu$ s	Track Isolation $<$ 0.3 for Secondary Z 's $\mu$ s
Calorimeter Isolation ( $\Sigma$ Et <sub>i</sub> /Et) $<$ 0.3 for 4 $\mu$ s	Calorimeter Isolation $<$ 0.6 for 4 $\mu$ s	Calorimeter Isolation $<$ 0.6 for Secondary Z's $\mu$ s
d0 /sig d0 $<$ 3.5 (mu)	Removed (it doesn't need because of vertex Fit)	
No kinFit	Vertex Fit & $\chi^2$ /NDF (H vertex) Cut	

# Mass( $4\mu$ ) distribution of MC

Standard

Loose type 1

Loose type 2



Signif : 1.052

Signif : 1.058  
(optimized)

Signif : 1.060  
(optimized)

nSignal: 0.799

nSignal: 0.807

nSignal: 0.811

+ ~1.00%

+ ~1.50%

nBG : 0.362

nBG : 0.367

nBG : 0.368

Significance, nSig, nBG are calculated between 125~135 GeV

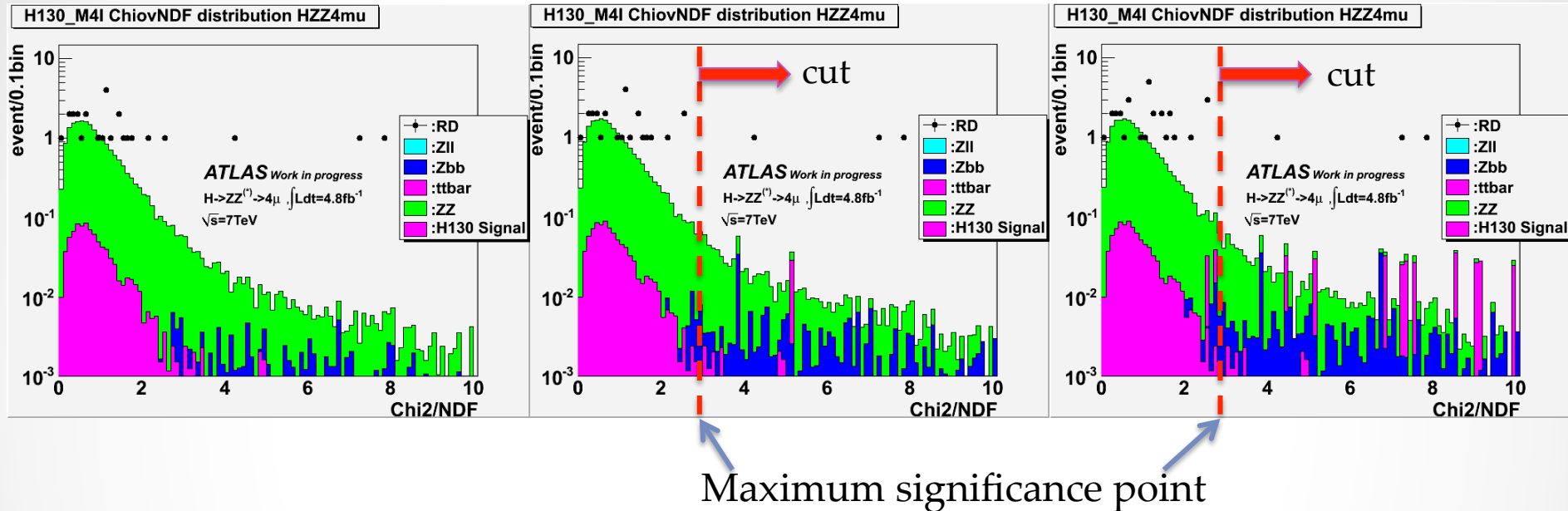


# $\chi^2$ /NDF distribution including Data

Standard

Loose type 1

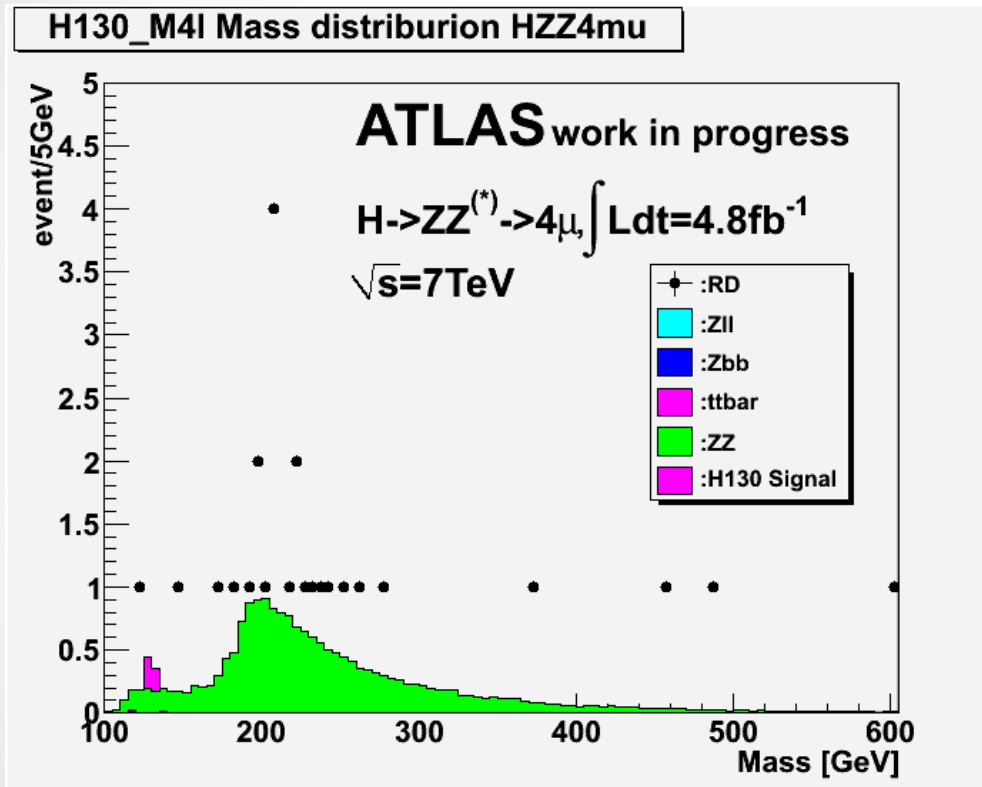
Loose type 2



	Data	Signal	Sig err (stat)	BG	BG err (stat)
Standard (after d0 cut)	26	0.8756	+/- 0.022	19.73	+/- 0.12
Type1 (after chi cut)	25	0.8934	+/- 0.022	19.39	+/- 0.12
Type2 (after chi cut)	30	0.8972	+/- 0.023	19.59	+/- 0.13

# Mass( $4\mu$ ) distribution including data ( $4.8\text{fb}^{-1}$ )

Standard Cut  $\mathcal{O}$  Mass distribution



Total Candidate Number:

Standard : 26

Type1 : 25

Type2 : 30

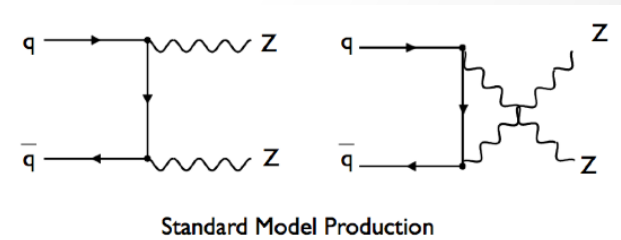
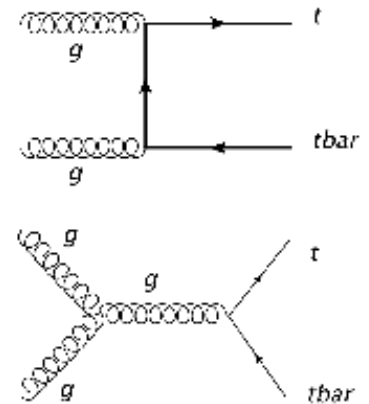
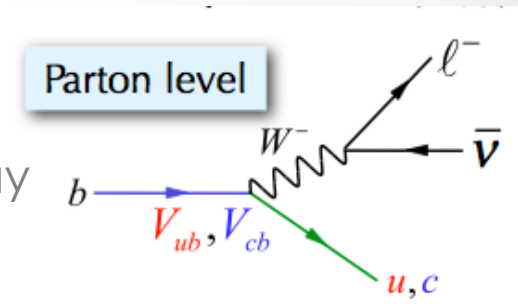
# Summary & Plan

- $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\mu$  channelを使って、既存の方法より acceptanceを上げる目的で、2通りの loose isolationを採用、Impact parameterのcutを排除。  
BGを落とすために vertex fitの quality( $\chi^2/\text{NDF}$ ) を用いた。
- Significance でcutの値をoptimize、type2 の loose cut では Higgs candidateの数も増加
- 今後は他の loose isolation、 $4e$  や  $2e2\mu$  のchannel での効果などを試す。

Back up

# Backgrounds of $H \rightarrow ZZ(*) \rightarrow 4l$ Channel

- $Z+bb$  Background:
  - $Z$  から2つ,  $b$  から2つの lepton
  - $b$  は数cm離れてleptonにsemi leptonic decay  
→ 違う vertex からの lepton
  - $b$  からの leptonは相対的に低い  $P_t$
- $t\bar{t}$  Background:
  - $t$  が  $W$  と  $b$  に崩壊
  - $W$  が lepton と neutrino に,  $b$  が semi leptonic  
→  $t\bar{t}$  も同じで, 4つのlepton
- $ZZ$  Background:
  - $H$  を介さず2つの  $Z$   
→ decayがsignalと全く一緒、区別不可能 (irreducible)
  - $Z \rightarrow bb$  or  $cc$  の場合は  $Zbb$  と同様



## Remained event number of MC

	Cut type	Before isolation	Isolation	Fit Quality (d0)
Signal	standard	1812	1699	1676
	type1		1774	1714
	type2		1783	1722
Zbb	standard	5582	427	161
	type1		895	146
	type2		1193	182
ZZ	standard	40949	39171	38905
	type1		40169	38226
	type2		40324	38367
ttbar	standard	322	2	0
	type1		10	0
	type2		47	3