

# LHC・ATLAS実験における ttHプロセスを用いたtop湯川結合定数 の測定について

神前 純一 (KEK)

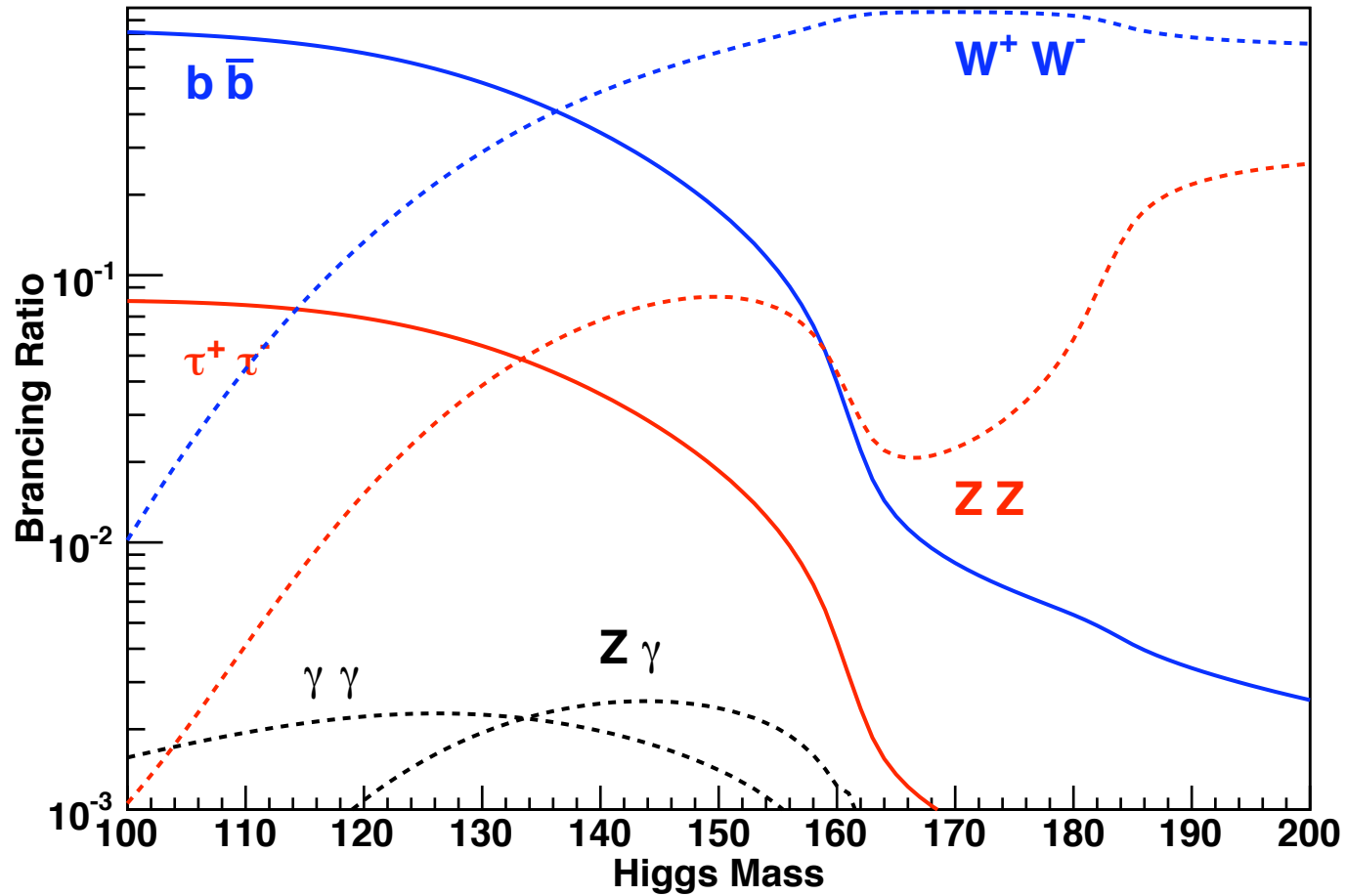
日本物理学会 2008年秋季大会 2008年9月22日

# Higgs の「発見」の後

- LHC 実験開始後、1年から3年 ( $10\text{fb}^{-1}\sim 30\text{fb}^{-1}$ ) で標準模型で期待される質量領域の Higgs 粒子を発見する事が予想されている
  - 想定された生成プロセスと崩壊モードである質量を持つ「Higgs粒子」が見いだされる
    - その「Higgs粒子」が予想される性質を持つかどうかを調べる「スピン、CP、他の粒子との結合定数などの測定」
- 崩壊過程の概要
  - $H\rightarrow WW$  は広い質量領域で測定が可能
  - $m_H > 160\text{GeV}$  では二つの on-shell  $W$  へ崩壊するため、他の崩壊モードが小さくなる
  - $\gamma\gamma$ 、 $\tau\tau$ 、 $bb$  への崩壊は  $m_H < 160\text{ GeV}$  で測定可能
  - $m_H > 180\text{GeV}$  となり on-shell  $Z$  への崩壊が可能になるまで  $ZZ$  の測定精度は良くない

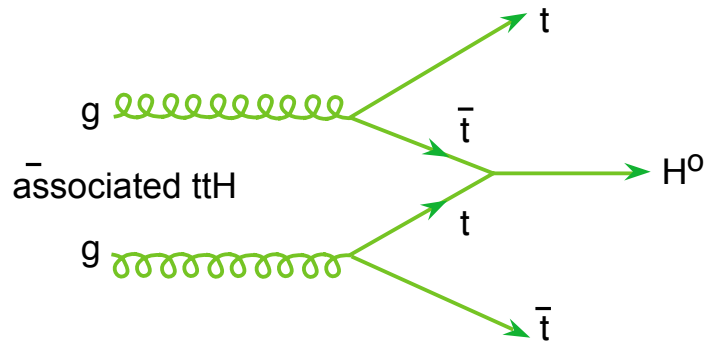
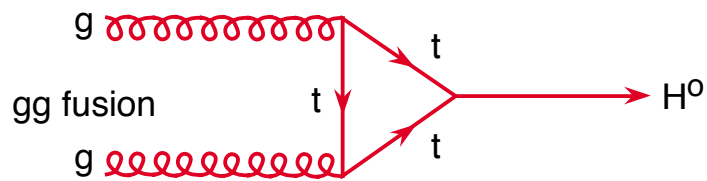
# Higgs の崩壊

Higgs Decay Branching Ratios

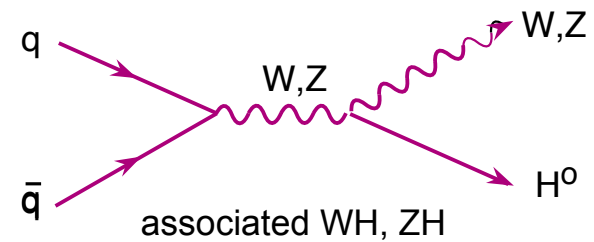
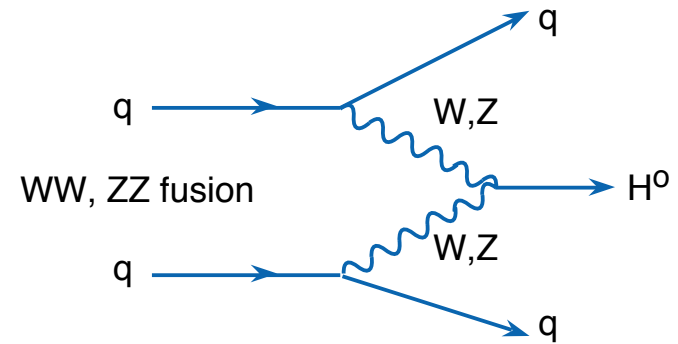


# Higgs の生成プロセス

## フェルミオンによる生成



## ベクターボゾンによる生成



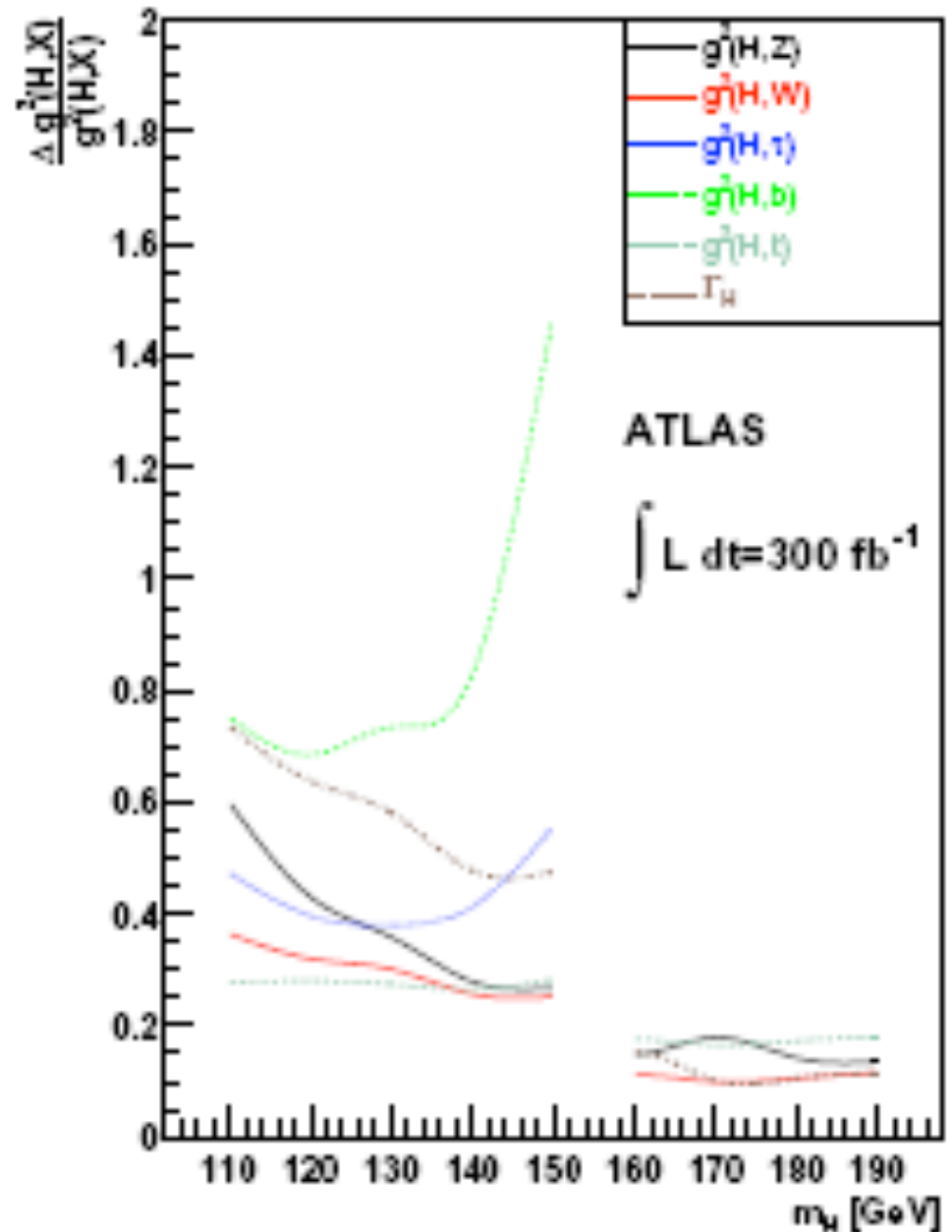
# ATLAS での Higgs 結合定数の測定

- Maximum Likelihood fit による  
ATLAS 300fb<sup>-1</sup>での結合定数の絶対  
値の測定精度 (hep-ph/0407190)

- $m_H < 150\text{GeV}$  では
  - fermion への coupling の測定  
精度を上げる事が重要
  - $g_b$  の精度  
ttH( $\rightarrow$ bb) の精度を上げる必要

- いくつかの測定と total width に対  
する仮定によって、top Yukawa 結  
合定数の導出が可能

- VBF  $\tau\tau$
- ttH bb、 $\tau\tau$
- ttH による  $g_b/g_\tau$  の測定



# ttH プロセスの特徴

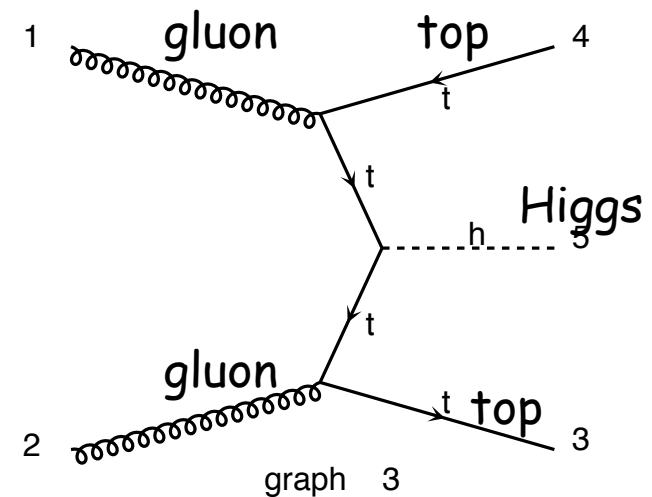
- Top quark への Yukawa coupling が直接影響する過程

- $m_H$  が小さい領域では生成断面積が大きい

- $H \rightarrow b\bar{b}$  はこの質量領域で大きな branching fraction を持つため、軽い Higgs 粒子の「発見モード」として検討されてきたが、終状態の jet の combinatorial background が大きく、S/B が良くない

- $H \rightarrow \gamma\gamma$  は branching fraction は小さいが、質量の測定精度が良いため、精度の良い生成 rate の測定が可能

- $H \rightarrow \tau\tau$ 、 $\rightarrow WW$  の精度の向上は、軽い Higgs 粒子の性質の決定に大きな役割を持つ



# 軽い( $m_H=120\text{GeV}$ )場合の現状

-  $m_H=120\text{GeV}$ 、 $300\text{fb}^{-1}$  での検討結果

	S	B	S/B	$S/\sqrt{B}$
$bb^*$	419	2188	0.19	9.0
$tt$	5.26	7.21	0.73	1.96
$WW(3L)^*$	2.0	37	0.05	0.33

\*  $10 \times 30\text{fb}^{-1}$ : trigger、resolution などの影響

- どの解析でも  $tt$  の再構成を行っている。全ての影響のあるBGは  $tt$  関連であることを考えると、既に Higgs は見つまっている場合の解析を検討する際には不必要である。
- Higgsが既に「発見」され、およその質量も分かっていると考えて、これらの結果を改善できるか？

# ttH( $\rightarrow \gamma \gamma$ ) についてのまとめ

- 小さい branching fraction ( $\sim 10^{-3}$ ) にも関わらず、 $\gamma$  の energy の測定精度が良いため、Higgs粒子を  $\gamma \gamma$  の不変質量の分布に細いピークとして観測する事が出来る。
- High  $p_T$  の  $\gamma$  が二つに、高い jet activity、および一つの b-jet を要求する事により tt を再構成しなくても高い S/N を得る事が可能
- $m_H = 120$  GeV、 $300 \text{ fb}^{-1}$  の場合の signal および background

	S	B	S/B	$S/\sqrt{B}$
$\gamma\gamma$	61.2	16.8	3.6	14.9

- 生成される Higgs 粒子の  $p_T$ 、 $\eta$  が精度良く測定でき、CP の固有状態についての情報を得る事が出来る

cf) 2007年秋季大会、2008年春季大会



# MC Samples

- Higgs Signals
    - Pythia 6.403+CTEQ5L
    - $m_H=120\text{GeV}$
    - Decay branching fraction は HDECAY の値を用いる
  - Irreducible Backgrounds
    - (MadGraph+CTEQ6LL)+Pythia6.403 parton shower
    - $tt(Wlv + Wjj)$
    - $tt\tau\tau$
  - Reducible Backgrounds
    - $tt$  (MC@NLO)、 $W+4\text{jets}$  (ALPGEN) を用いて estimate を行った
      - 現在の sample statistics では影響が非常に小さい
      - より高統計でのチェックが必要
- ✓ すべての sample に対し ATLAS グループの fast simulation program を用いて測定器の効果を simulate した

# ttH ( $\rightarrow \tau \tau$ ) 過程について

- ttH( $\rightarrow bb$ ) と組み合わせ  $\Gamma_b/\Gamma_\tau$  の良い精度の測定が可能
- VBF  $\tau \tau$  の測定 ( $\Gamma_w \Gamma_\tau/\Gamma$ ) と組み合わせる事により top 湯川結合定数の情報を得られる。  
→ Higgs 粒子の性質の決定に重要なプロセス
- Branching fraction は 0.08 ( $m_H=120\text{GeV}$ ) で、さらに  $\tau$  の崩壊過程の組み合わせにより実験的には多くの異なる場合を扱わなければならない
- tt の崩壊に missing energy がない場合 (hadronic に崩壊する) には collinear approximation を用いる事により Higgs 粒子の質量を再構成することが可能になる  
→ 精度の良い測定を行うため tt が hadronic に崩壊する場合を今回は扱う。  $\tau \tau$  の崩壊は lh、hh を含む。

# ttH ( $\rightarrow \tau \tau$ ) の選択条件

- No. of Leptons:

e:  $p_T > 25\text{GeV}$ ,  $|n| < 2.5$ ,  $\mu$ :  $p_T > 20\text{GeV}$ ,  $|n| < 2.5$

LH := 1

HH := 0

- No. of Tau Jet

$p_T > 25\text{GeV}$ ,  $|n| < 2.5$

LH := 1

HH := 2

- No. of jets:  $N_{\text{jet}} \geq 5$ ,  $|n_j| < 5$ ,  $p_{Tj} > 20\text{GeV}$

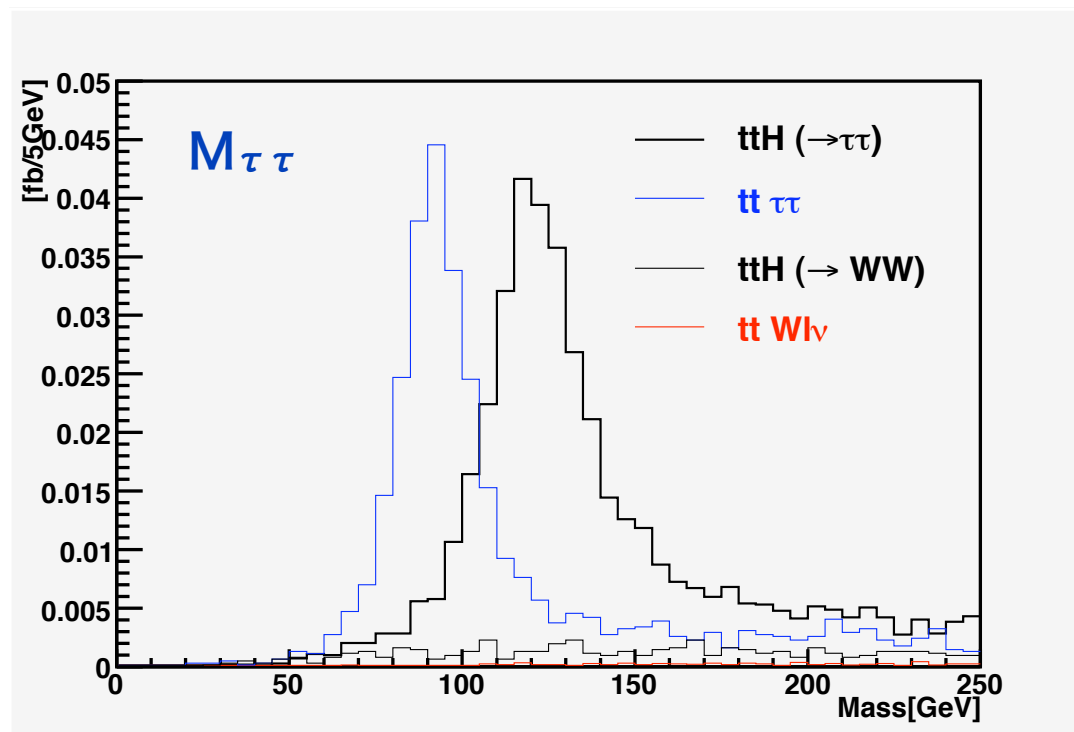
- No. of b-jets:  $N_{\text{b-jet}} \geq 1$ ,  $|n_j| < 2.5$ ,  $p_{Tj} > 20\text{GeV}$

- $E_T$  sum of jets:  $\sum E_{Tj} > 300\text{GeV}$

- Collinear approximation による mass correction が可能

# Higgs 質量の再構成

- $tt$  が hadronic に崩壊する過程では missing  $E_T$  が  $\tau$  の崩壊のみから生じるため、VBFでの  $\tau$  崩壊同様にHiggs粒子の質量を再構成する事が可能である。
- Higgs粒子の質量が再構成されると S/N を改善できるばかりではなく、再構成した lepton 対が確かに一つの粒子の崩壊から生じている事を確認でき、またBGからの系統誤差の影響を減らす事が出来る。
- 今回の解析では  
 $m_H > 105\text{GeV}$   
のevent数を数え統計誤差の評価を行った。



# ttH ( $\rightarrow$ WW) 過程について

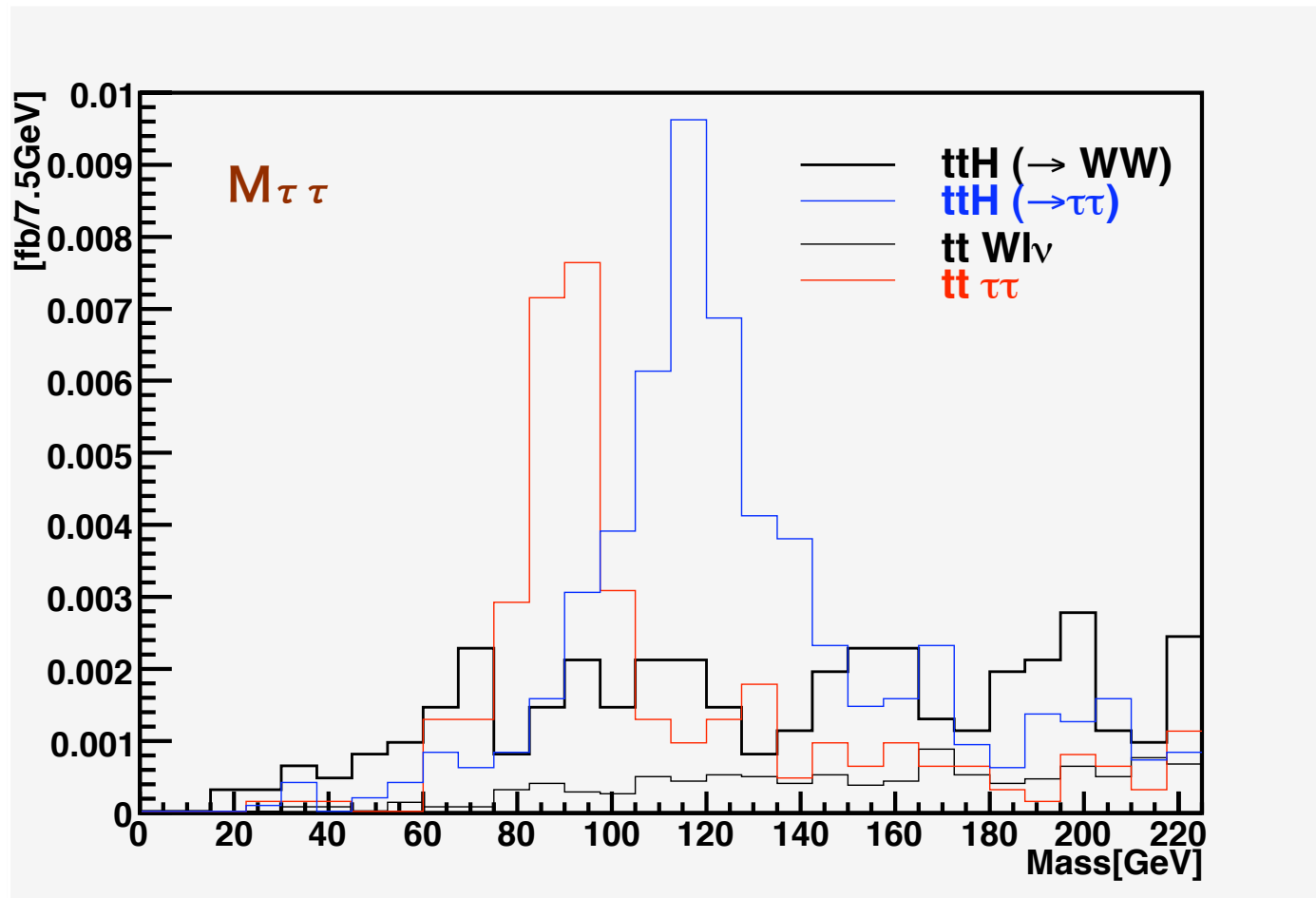
- WWの崩壊はWボゾンの質量のため、 $\tau\tau$ の場合のような質量の再構成ができない
  - これまでの解析では単に選択された event 数を数えて統計についての結論が出される事が多い
  - 観測された excess が Higgs 粒子に依るものかどうか不明である
  - BGの系統誤差の影響を減らす方法がない
  - $\tau\tau$ からのBGを減らせない
- $\tau\tau$ の解析と同様にtt側が hadronic に崩壊する場合を用いる
  - Collinear 近似による質量の再構成を行って $\tau\tau$ からのBGを減らす
  - Higgs 粒子の質量が小さい場合でも WW が LL (leptonic decay) へ崩壊する過程を用いると VBF の  $H\rightarrow WW$  の場合と同様に lepton の放出方向に correlation が見られる
    - 観測された lepton が共通の粒子から放出されたものであることが推定できる

# ttH ( $\rightarrow$ WW) の選択条件

- No. of Leptons:  
e:  $p_T > 25\text{GeV}$ ,  $|\eta| < 2.5$ ,  $\mu$ :  $p_T > 20\text{GeV}$ ,  $|\eta| < 2.5$   
LL := 2 (ただし異なる電荷で、異なる flavor)
- No. of Tau Jet = 0
- No. of jets:  $N_{\text{jet}} \geq 5$ ,  $|\eta_j| < 5$ ,  $p_{Tj} > 20\text{GeV}$
- No. of b-jets:  $N_{\text{b-jet}} \geq 1$ ,  $|\eta_j| < 2.5$ ,  $p_{Tj} > 20\text{GeV}$
- $E_T$  sum of jets:  $\sum E_{Tj} > 300\text{GeV}$
- Collinear approximation による correction が可能で再構成された質量が 75-140GeV に入る場合を除いた
- 二つの lepton の r- $\phi$  平面での角度差:  $\Delta\phi < 1.0$
- 二つの lepton および missing  $E_T$  で作った transverse mass  $> 40\text{GeV}$

# ttH ( $\rightarrow$ WW) 過程について

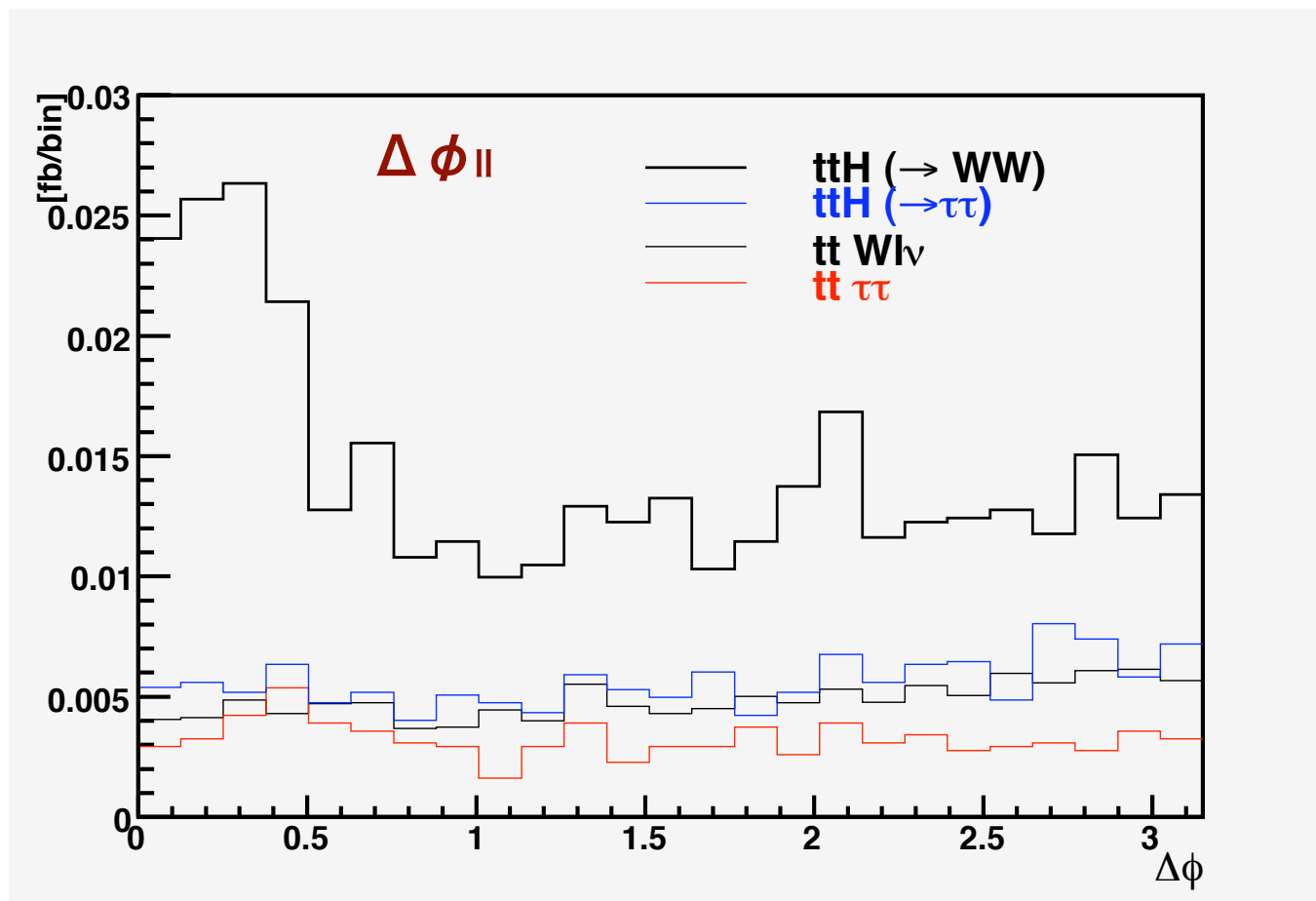
- WW $\rightarrow$ LLに対し collinear approximation による質量再構成をおこなった分布  $\rightarrow$   $\tau\tau$  起源のBGを落とす



Reconstructed Mass  $< 75$  GeV 、  $> 140$  GeV

# ttH ( $\rightarrow$ WW) 過程について

- WW $\rightarrow$ LLでのLLの $\phi$  correlation



$\Delta\phi_{\parallel} < 1$  の event 数を用いた



# 300fb<sup>-1</sup>での ttH 解析

- 300fb<sup>-1</sup>、m<sub>H</sub>=120GeV で得られる statistics

	S	B	S/B	S/√B
YY	61.2	16.8	3.6	14.9
TT	153.1	100.5	1.5	15.3
WW	36.4	22.5	1.6	7.7

- 主に S/B を改善できる可能性がある
- 単に event 数を数えるだけでなく Higgs としての性質を利用している
- 300fb<sup>-1</sup>の luminosity では他の生成過程、特に VBF による生成で高統計のデータが得られている可能性が高い
  - top quark の Yukawa 結合定数の測定を改善できる

# まとめと課題

- ttH は軽い Higgs 粒子の top quark への Yukawa 結合定数を測定するための重要な生成プロセスである。「発見」後の Higgs の質量を既知とした解析をより検討する必要がある。
- その場合、これまでの検討作業でもほとんどの background が tt 起源であるので、終状態の tt-bar の再構成は S/B の改善には貢献していない。また tt-bar の再構成は高い efficiency を得る事が難しいので大きな signal の loss につながる。もし、効率よくBGを落とす事が可能であれば用いない方が良い。
- さらに積極的に Higgs 粒子としての性質を利用する事により S/B を改善できる。
- $300\text{fb}^{-1}$  の luminosity があれば他の高統計のデータと組み合わせる事により top quark の Yukawa 結合の測定精度を向上できる。

# まとめと課題

- BGの統計をさらにもっと上げる必要がある。特に大きな断面積をもつプロセスについては、より高統計での検討が必要。
  - 必要であれば各 threshold ( $\Sigma E_{Tjet}$ 、 $pT$ ) をあげる。
- Fake lepton の影響は大きい可能性がある。
  - Fast simulation で fake の rate を変化させて、結果の変化を調べる。
  - Full simulation による study。
- Trigger efficiency 特に hadronic  $\tau$  を含む場合を調べる。
- Cut analysis のみではなく分布の形を fitting することにより、より統計精度を向上させられる可能性がある。また、BG からの系統誤差の影響を減らす事が出来る。
- 他のプロセスと組み合わせ top quark の Yukawa 結合定数の測定精度についての検討を行う。
  - 特に  $300\text{fb}^{-1}$  での  $ttH(\rightarrow bb)$  の検討は非常に重要 ( $\Gamma_b/\Gamma_\tau$  の測定も可能になる)。