

LHC-ATLAS実験における $H \rightarrow hh \rightarrow bbt\tau\tau$ 崩壊チャンネル でのHeavy Higgsの探索

瀧 遼亮, 埜 慶太^A
受川 史彦, 原 和彦, 金 信弘

筑波大学数理物質科学研究科
東京大学素粒子物理国際研究センター^A



日本物理学会2014年秋季大会
@佐賀大学



筑波大学
University of Tsukuba

Introduction

ヒッグスボゾンの発見

- ・測定(質量、スピン、結合等)

これからは

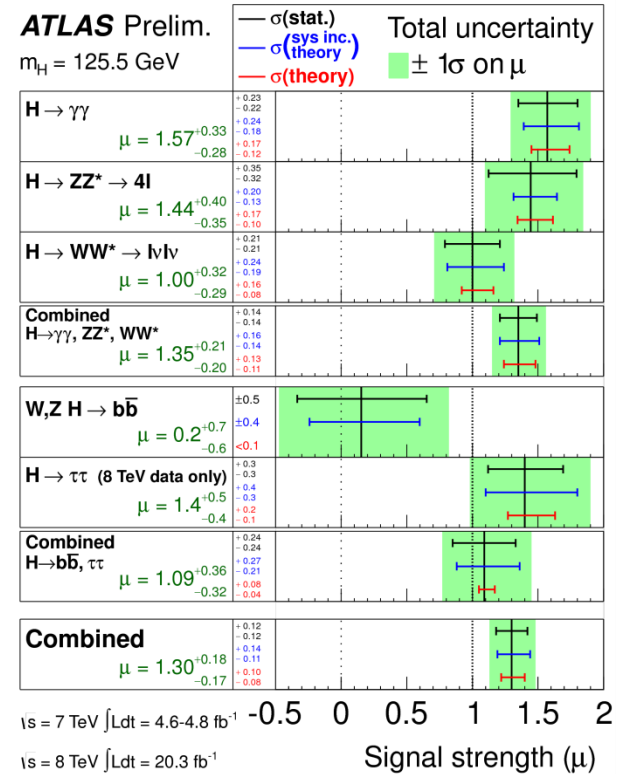
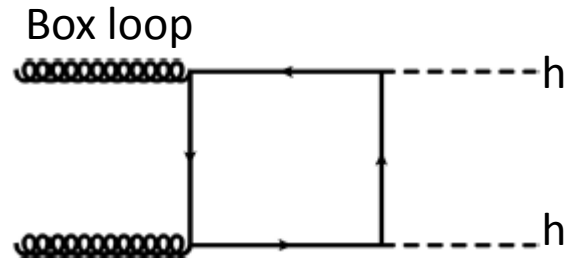
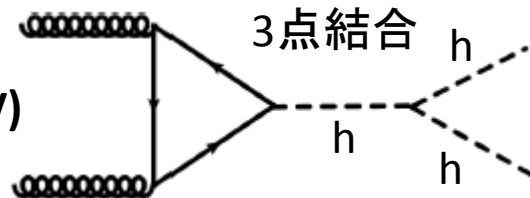
- 精密測定(標準模型からのズレ)
- 自己結合
- 標準模型を超える物理の探索

→ヒッグスボゾン対生成(Di-Higgs)

- 自己結合
- 標準模型の生成断面積は小さいが、様々な新物理がそれを増大させる可能性

主生成過程

$gg \rightarrow hh$ ($\sim 8[\text{fb}]@8\text{TeV}$)

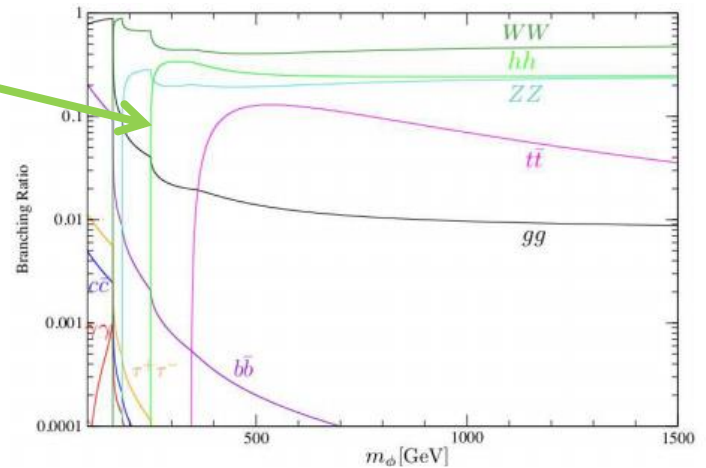


Di Higgs

Di-Higgsの物理

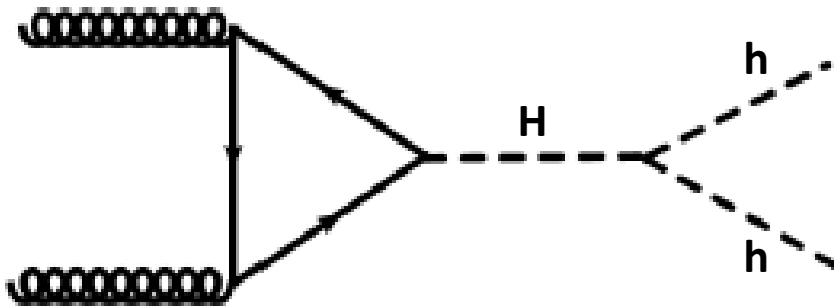
- ヒッグス自己結合(統計が必要)
- 新物理 → 生成断面積の増大
 1. Non-resonant(top partner ...)
 2. Resonant (2HDM, 余剰次元 ...)

$\phi \rightarrow hh$



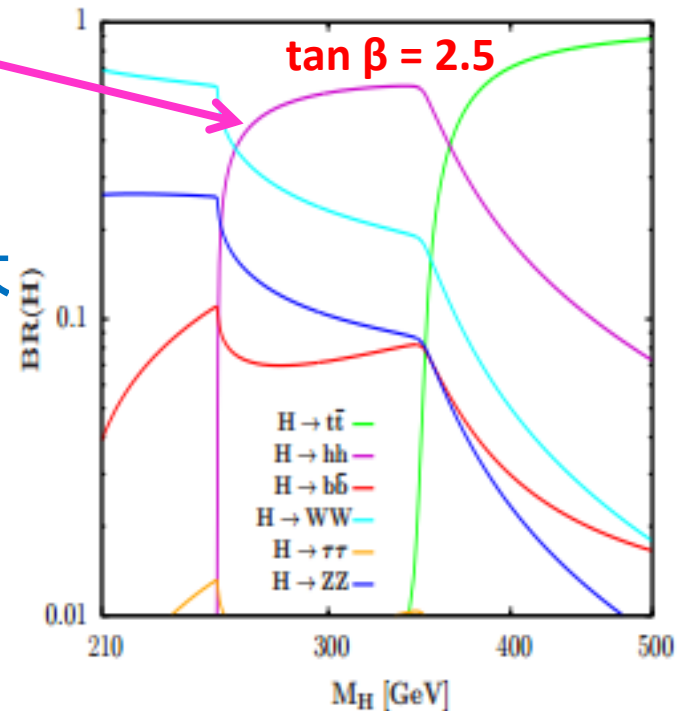
Two higgs doublet model (2HDM)

- 低い $\tan\beta$ での主生成過程は ggF
- 250 ~ 400 GeV 程度の領域で崩壊分岐比最大



$H \rightarrow hh$

$\tan\beta = 2.5$



解析チャンネル

bb $\tau\tau$ 終状態

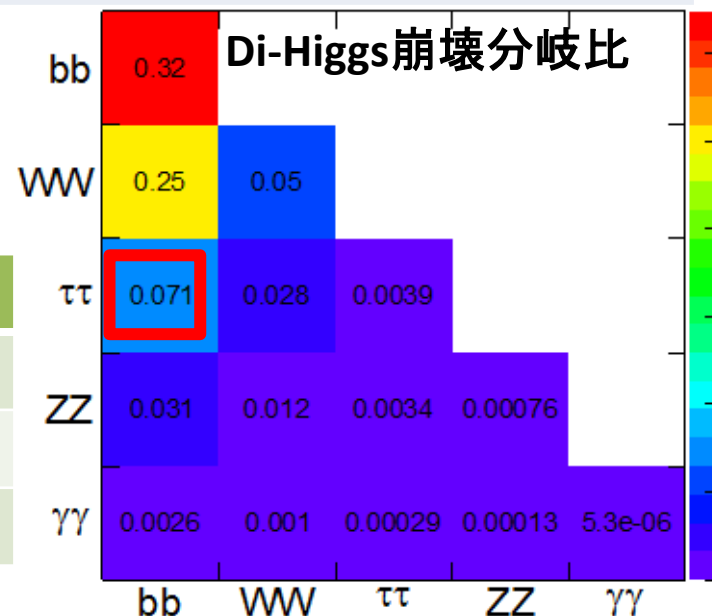
- 高い崩壊分岐比(7%)
- レプトンがいるので比較的クリーンで、トリガーも問題にならない

bb $\tau\tau$ 以外の 主な解析チャンネル	利点		欠点	
	bbbb	最も高い崩壊分岐比	背景事象が多い、bjetの組み合わせ、トリガーの問題、低質量分解能	bb $\gamma\gamma$
				統計が少ない

Lepton Hadronチャンネル

- 高い崩壊分岐比(~4/9)
- レプトンがいてクリーン

チャンネル	崩壊分岐比	特徴
$h \rightarrow \tau\tau \rightarrow ll+4v$	12.4 %	クリーン・統計少
$h \rightarrow \tau\tau \rightarrow hh+2v$	42.0 %	背景事象多・統計少
$h \rightarrow \tau\tau \rightarrow lh+3v$	45.6 %	クリーン・統計多



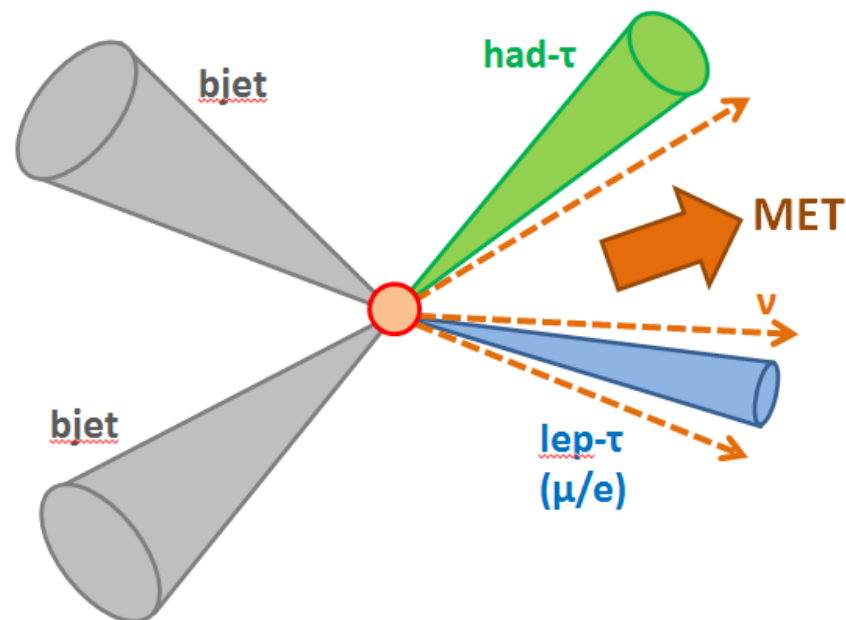
事象選択

トリガー

- Single Lepton Trigger
 $pt(e/\mu) > 24 \text{ GeV}$

事象選択

- ・ 1レプトン, 1タウ, 2bジェット
 - レプトン(e/mu) $pt > 26 \text{ GeV}$
 - タウジェット $pt > 20 \text{ GeV}$
 - ジェット $pt > 30 \text{ GeV}$
- ・ 2つのレプトンがいる事象を除去
- ・ 異符号のレプトンとタウジェット



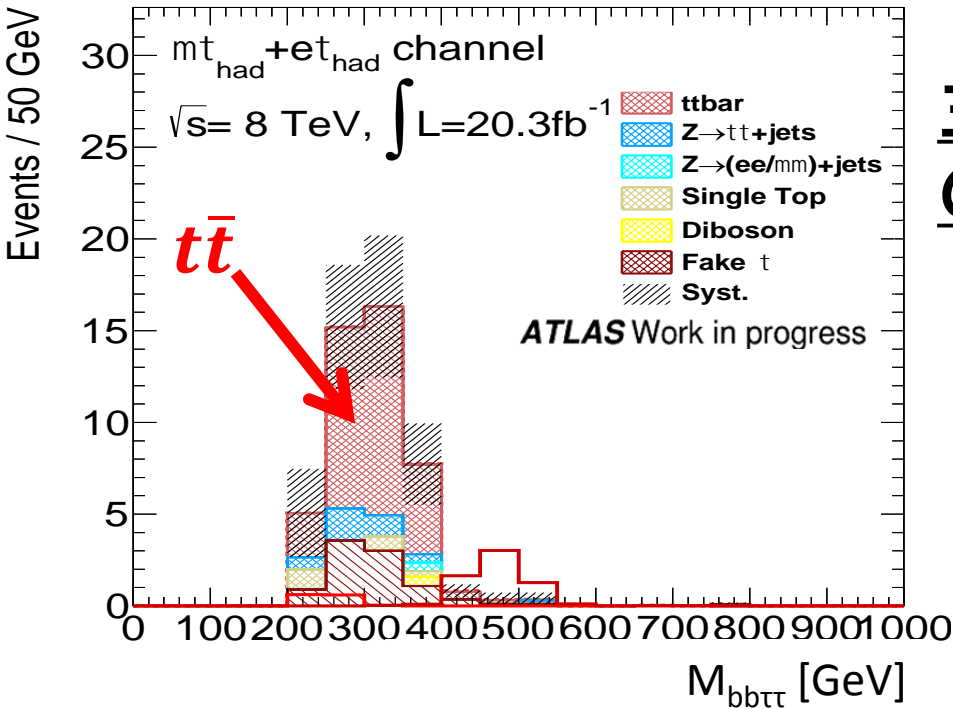
Additional Jet(AJ)カテゴリー(2つのbジェット以外のジェット)

- AJの数によってトップクォーク対の崩壊過程が違うのでカテゴリー分けした



主背景事象: トップクォーク対

- ・信号領域に入ってくる背景事象は**トップクォーク対**が支配的
- ・トップクォーク対は $bb\tau\tau(+MET)$ と**信号と全く同じ終状態**を持てる



トップクォーク対が支配的

主背景事象のトップクォーク対の除去が鍵

以下の事象選択を行った

1. bbと $\tau\tau$ の質量
2. タウとレプトンの間に消失横運動量(Missing Et: MET)
3. レプトンとMETの横質量
4. レプトンとタウの運動量の差
5. トップクォーク対を再構成

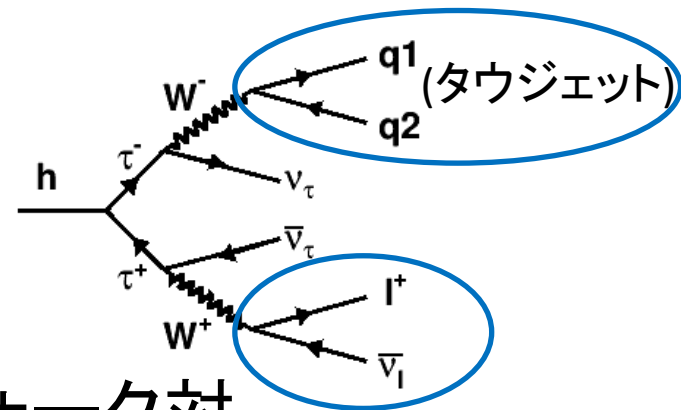
- ・事象選択1~3を事前事象選択とする
- ・本講演では事象選択4, 5について説明し、事前事象選択後からの改善を示す



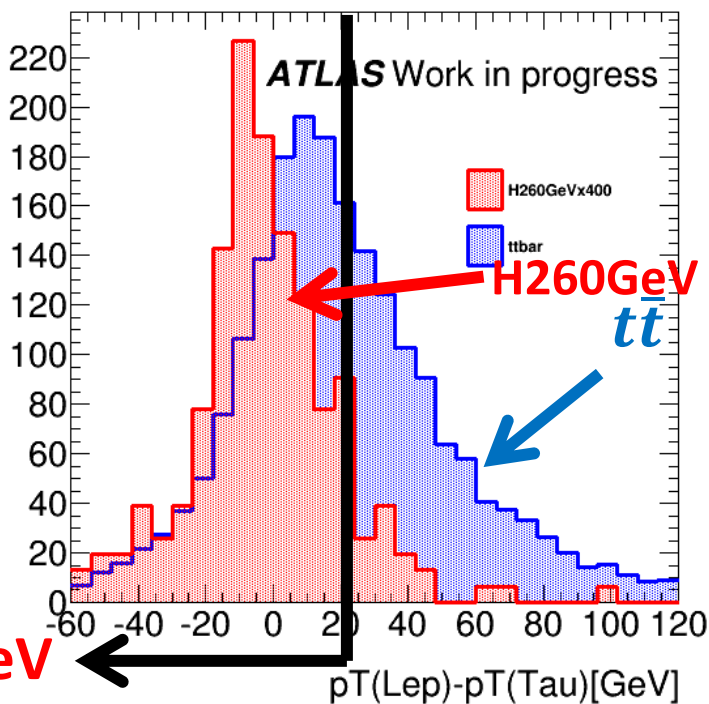
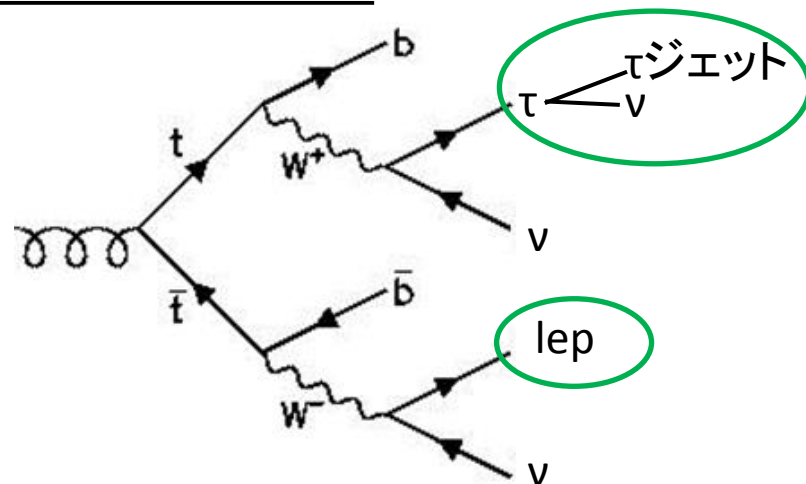
レプトンとタウの運動量の差

- ・信号の場合、レプトンはニュートリノと p_T を共有するので**タウの方がレプトンより p_T が大きい**
- ・トップクォーク対の場合、タウの崩壊により放出されるニュートリノ分、**レプトンの方がタウより p_T が大きい**

信号



トップクォーク対



トップクォーク再構成

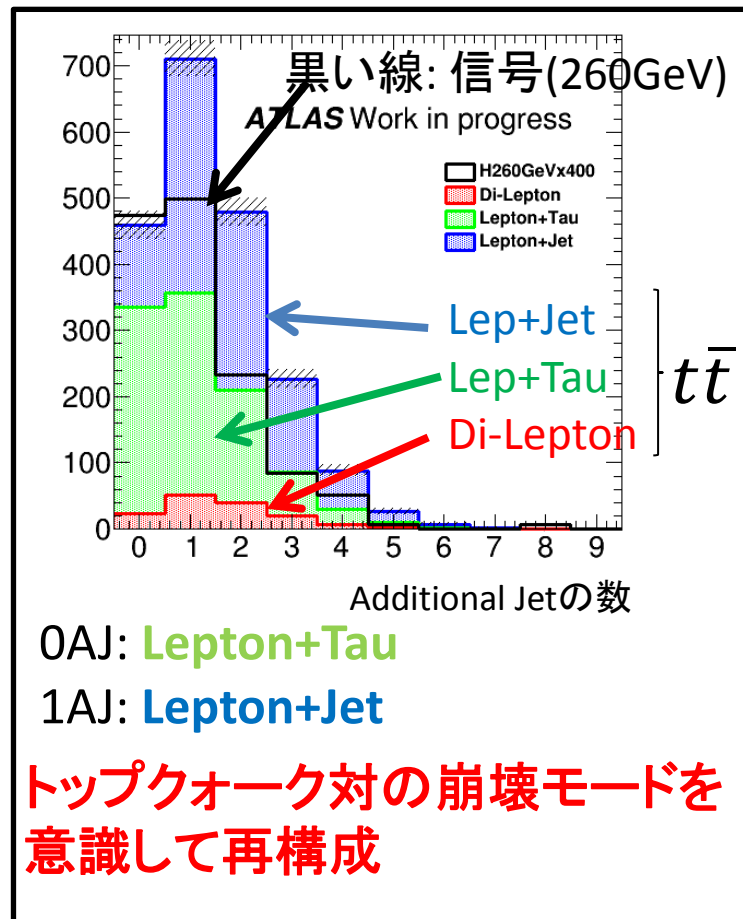
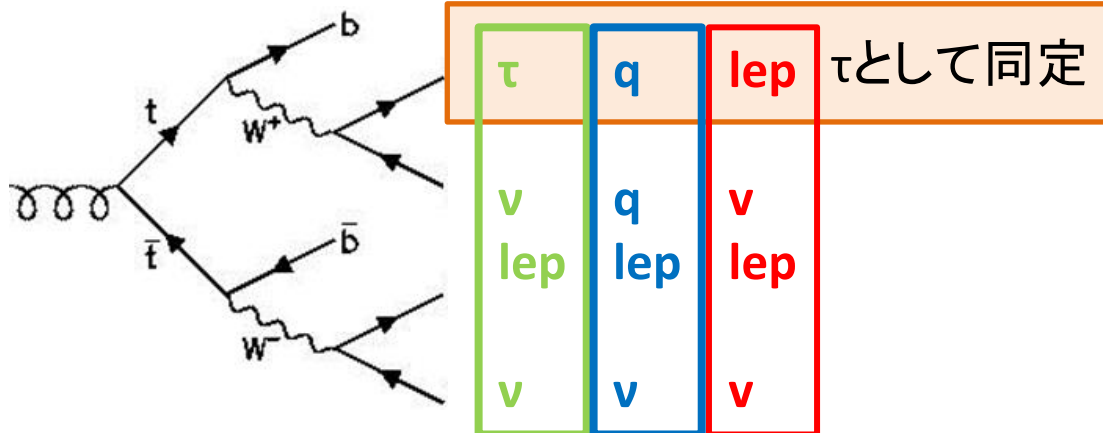
- ・信号とトップクォーク対との分離のため、トップクォークを再構成
- ・トップクォーク対を以下の3つに大別

Lepton+Tau / Lepton+Jet / Di-Lepton

崩壊分岐比 4%

27%

8%



・Lepton+Tauの場合、タウとして同定される粒子は本物のタウで、完全に終状態が信号と一緒に

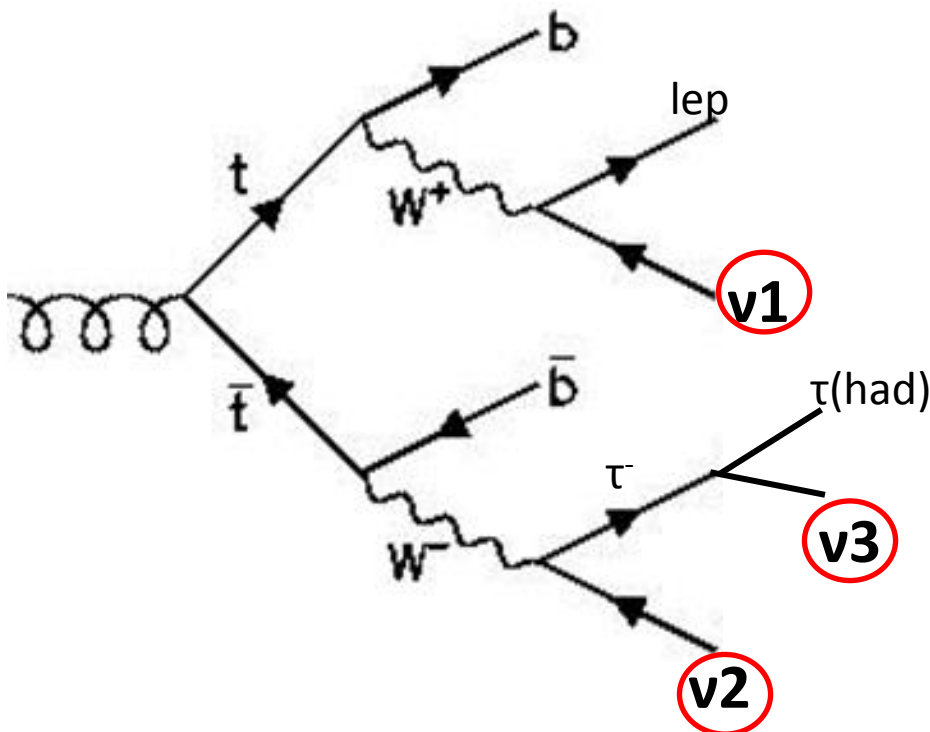
・Lepton+Jet, Di-Leptonの場合、ジェットまたはレプトンがタウとして誤同定



筑波大学
University of Tsukuba

トップクォーク対再構成[0AJの時]

・Additional Jetの数が0の時、トップクォーク対の崩壊モードは **Lepton+Tau** が支配的であるので、**Lepton+Tau** を再構成する方法を構築し除去する。



問題点

両方のトップクォークからニュートリノが出るためニュートリノの4元運動量が決まらない
→ **最尤法**で決める

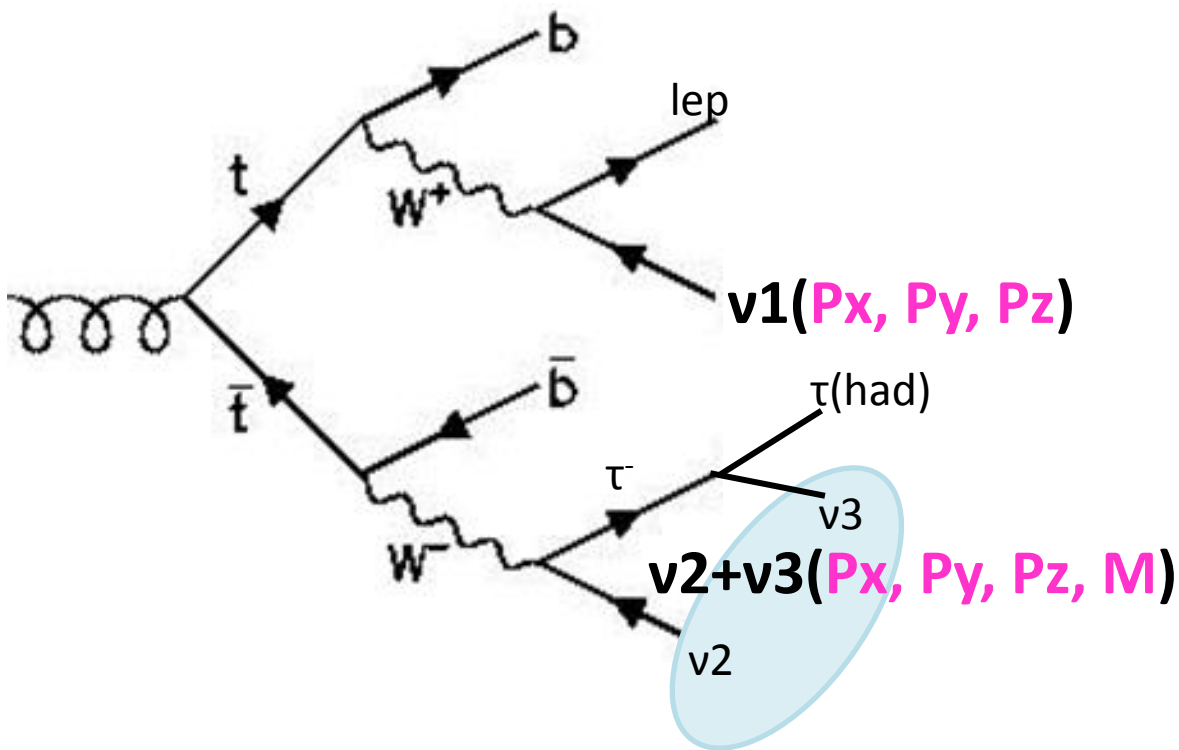
ニュートリノの4元運動量が未知



トップクォーク対再構成[0AJの時]

未知パラメータが7つ

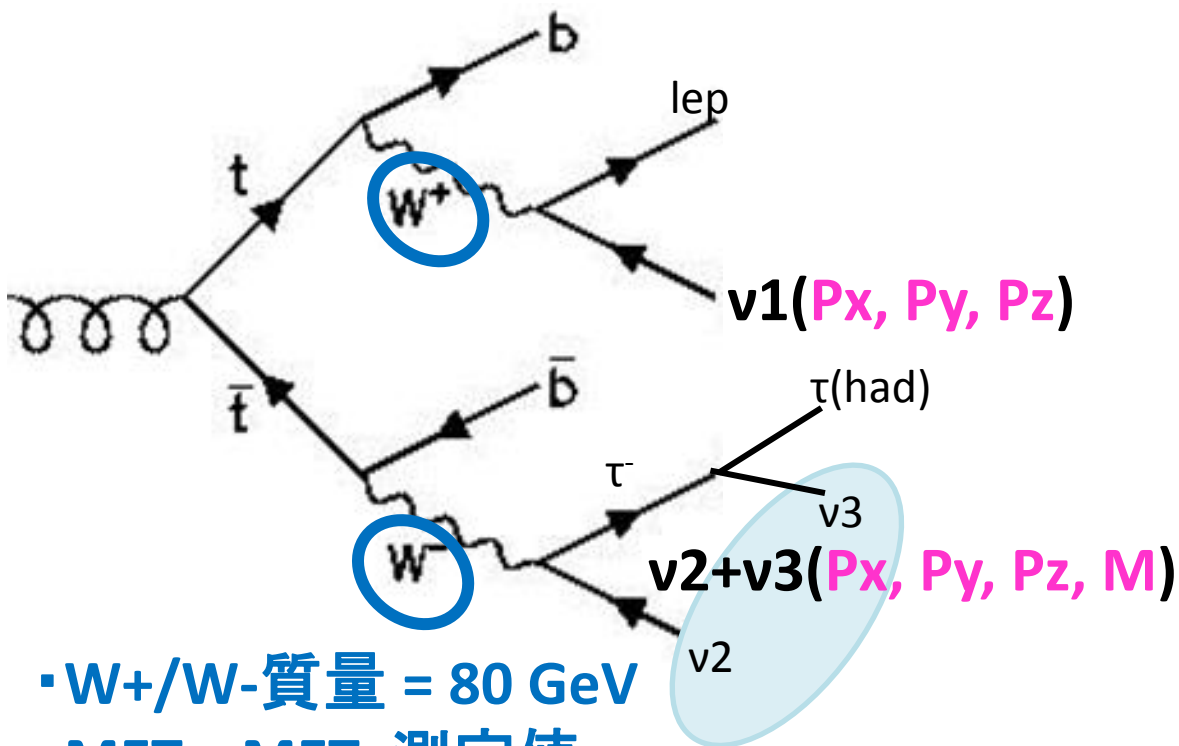
- ・最尤法を用いる
- ・未知パラメータが7つ



トップクォーク対再構成[0AJの時]

未知パラメータが7つ

- ・最尤法を用いる
- ・未知パラメータが7つ
- ・制限が4つある



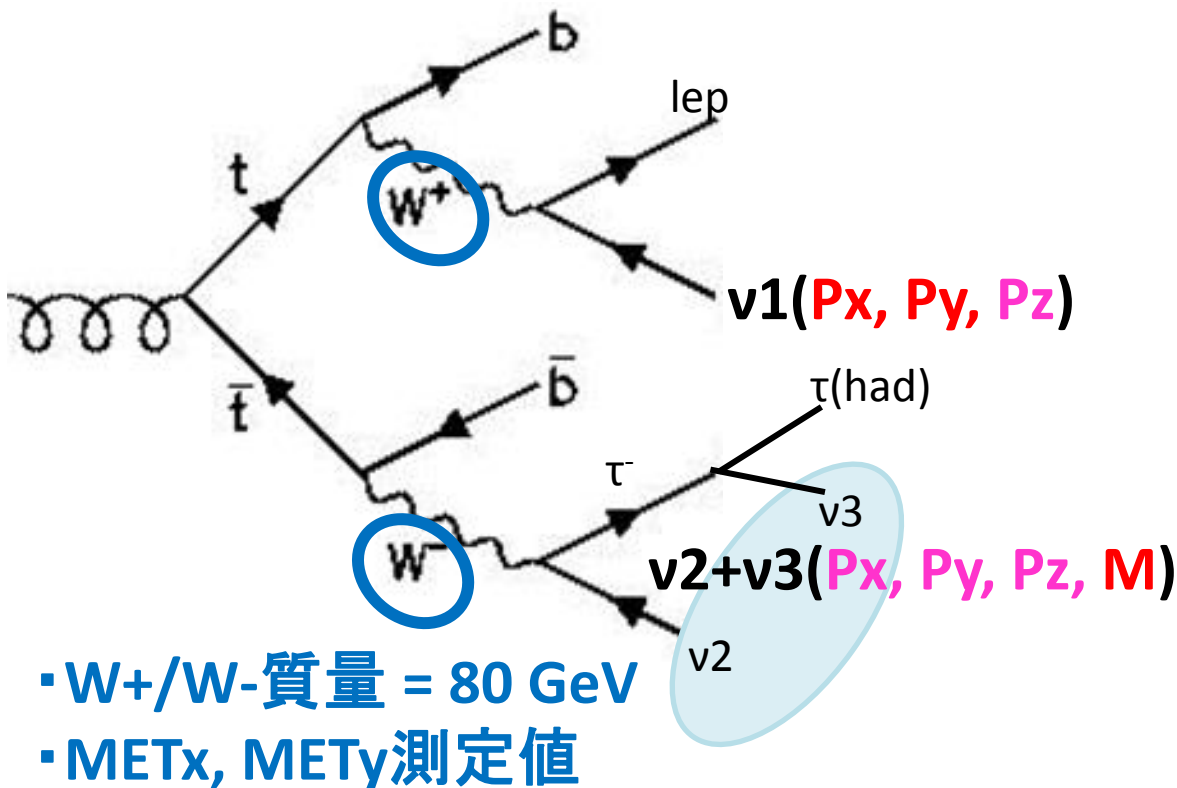
- ・ W^+/W^- 質量 = 80 GeV
- ・ MET_x, MET_y 測定値



トップクォーク対再構成[0AJの時]

未知パラメータが7つ
赤: 仮定するもの

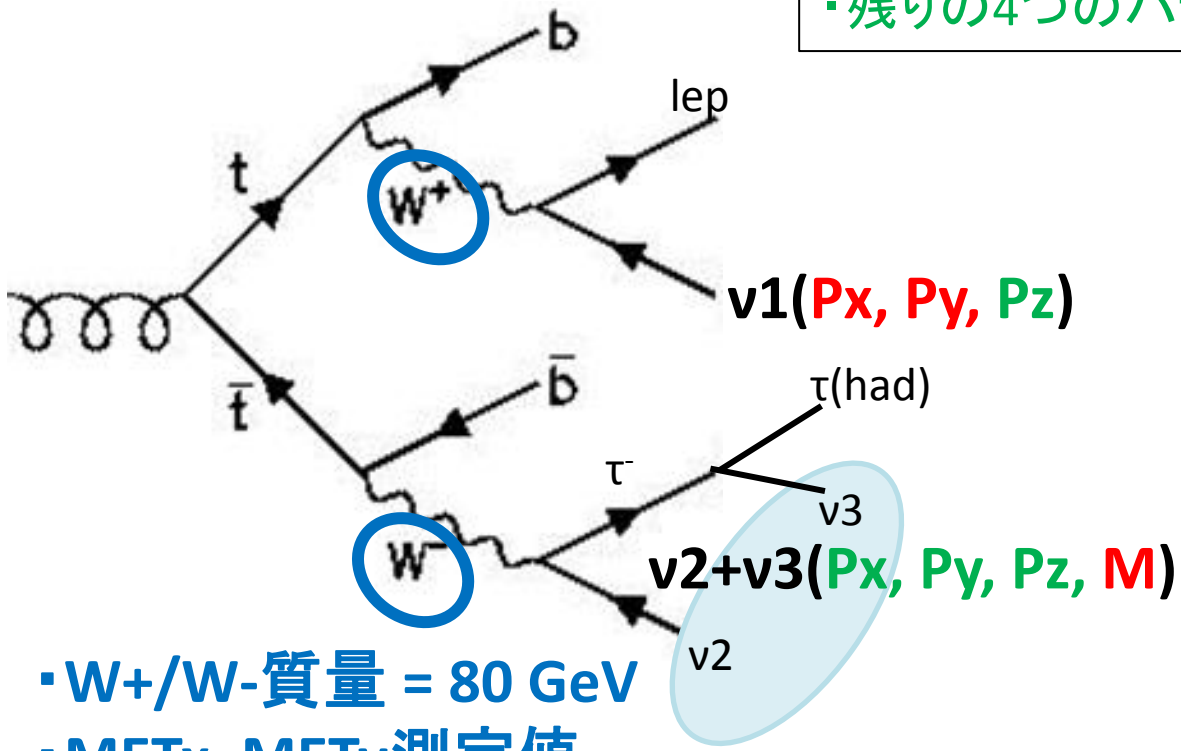
- ・最尤法を用いる
- ・未知パラメータが7つ
- ・制限が4つある
- ・未知パラメータのうち3つを仮定する



トップクォーク対再構成[0AJの時]

未知パラメータが7つ
赤: 仮定するもの
緑: 解けるもの

- ・最尤法を用いる
- ・未知パラメータが7つ
- ・制限が4つある
- ・未知パラメータのうち3つを仮定する
- ・残りの4つのパラメータが解ける



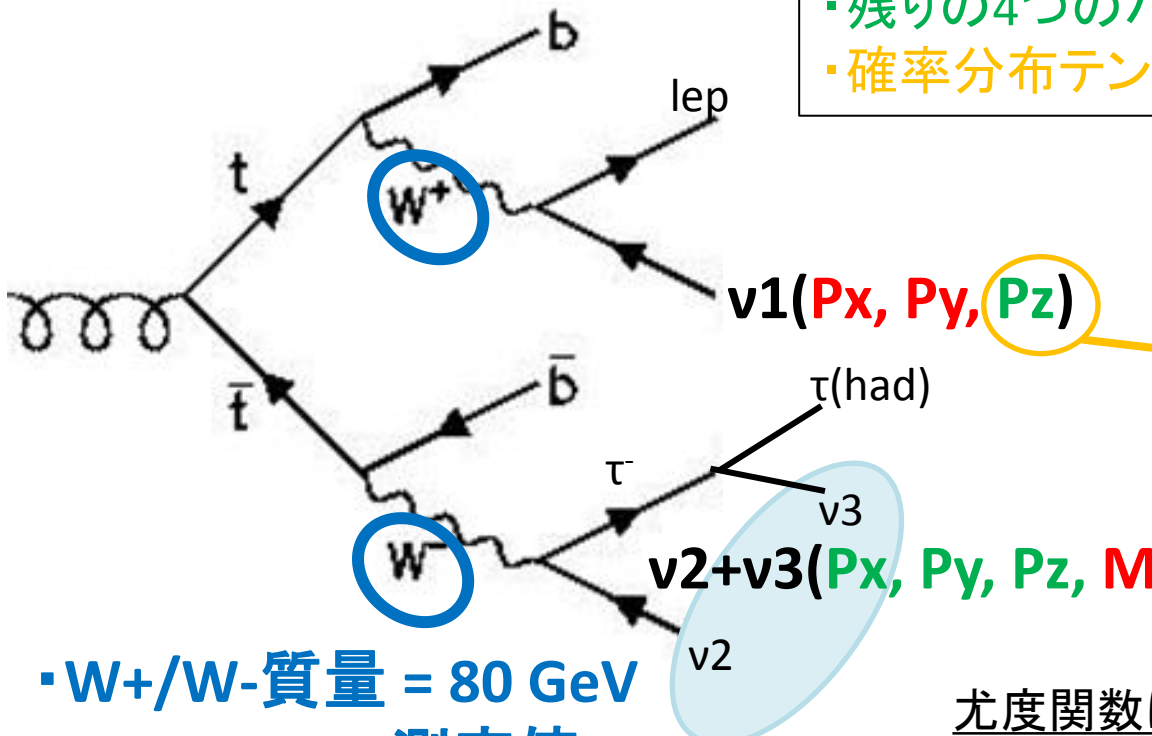
- ・ W^+/W^- 質量 = 80 GeV
- ・METx, METy測定値



トップクォーク対再構成[0AJの時]

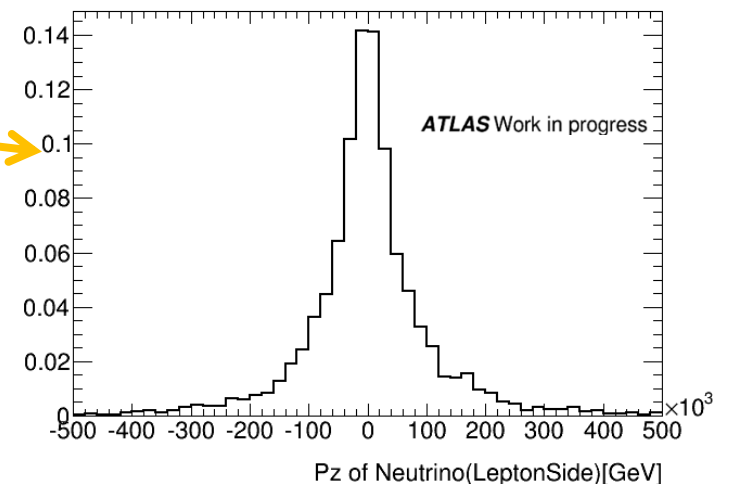
未知パラメータが7つ
 赤: 仮定するもの
 緑: 解けるもの

- ・最尤法を用いる
- ・未知パラメータが7つ
- ・制限が4つある
- ・未知パラメータのうち3つを仮定する
- ・残りの4つのパラメータが解ける
- ・確率分布テンプレートを参照し、尤度を計算



・ W^+/W^- 質量 = 80 GeV
 ・METx, METy測定値

例: $P_z(\nu_1)$ のテンプレート



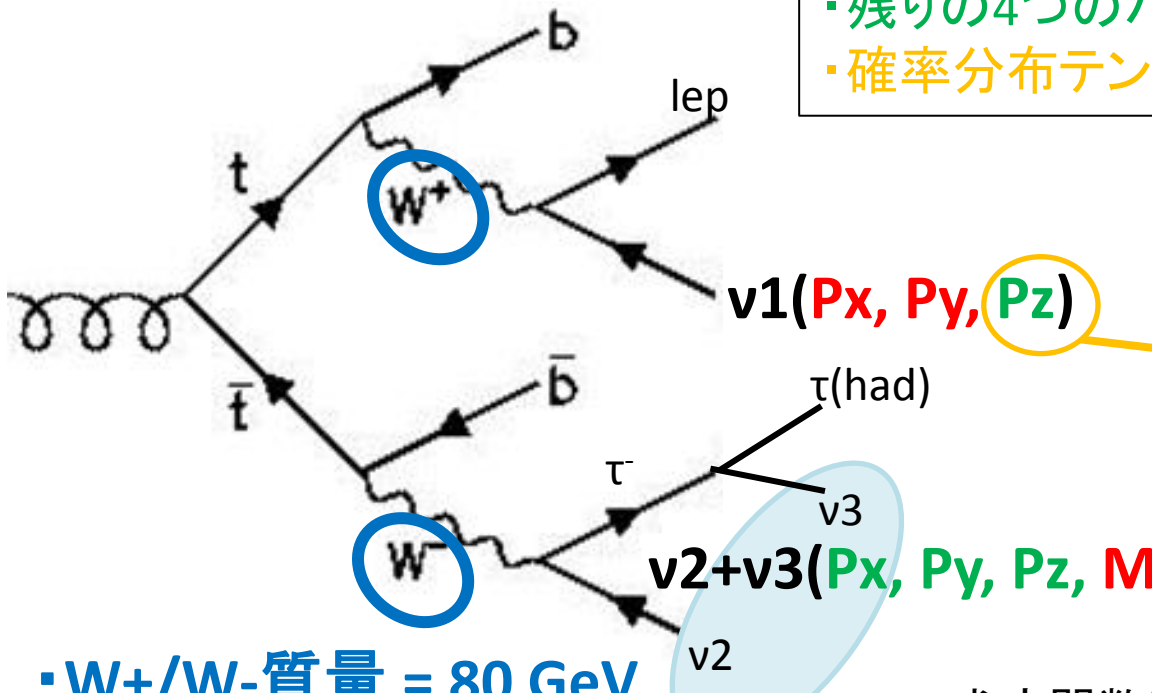
尤度関数は以下の確率を掛け合わせたもの
 $P_z(\nu_1)$, $P_t(\nu_1)$, $P_z(\nu_2+\nu_3)$, $P_t(\nu_2+\nu_3)$, $M(b, lep, \nu_1)$
 $M(b, \tau, \nu_2+\nu_3)$, $M(\nu_2+\nu_3)$

※bの組み合わせは両方試す

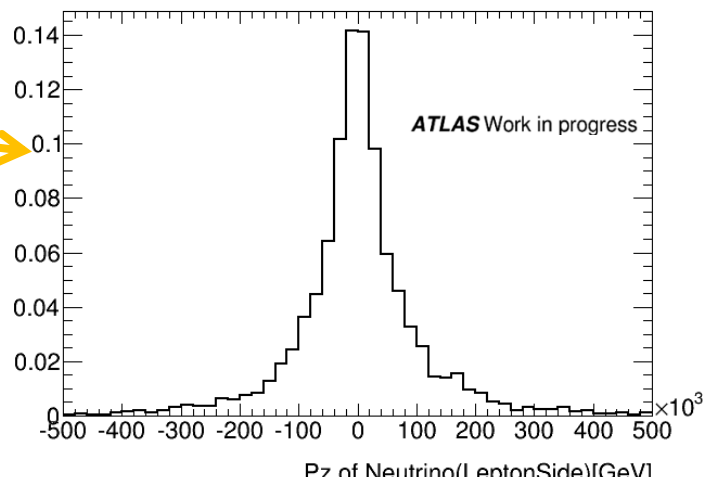
トップクォーク対再構成[0AJの時]

未知パラメータが7つ
 赤: 仮定するもの
 緑: 解けるもの

- ・最尤法を用いる
 - ・未知パラメータが7つ
 - ・制限が4つある
 - ・未知パラメータのうち3つを仮定する
 - ・残りの4つのパラメータが解ける
 - ・確率分布テンプレートを参照し、尤度を計算
- 繰り返し行い、最尤法により決定



例: $P_z(\nu_1)$ のテンプレート

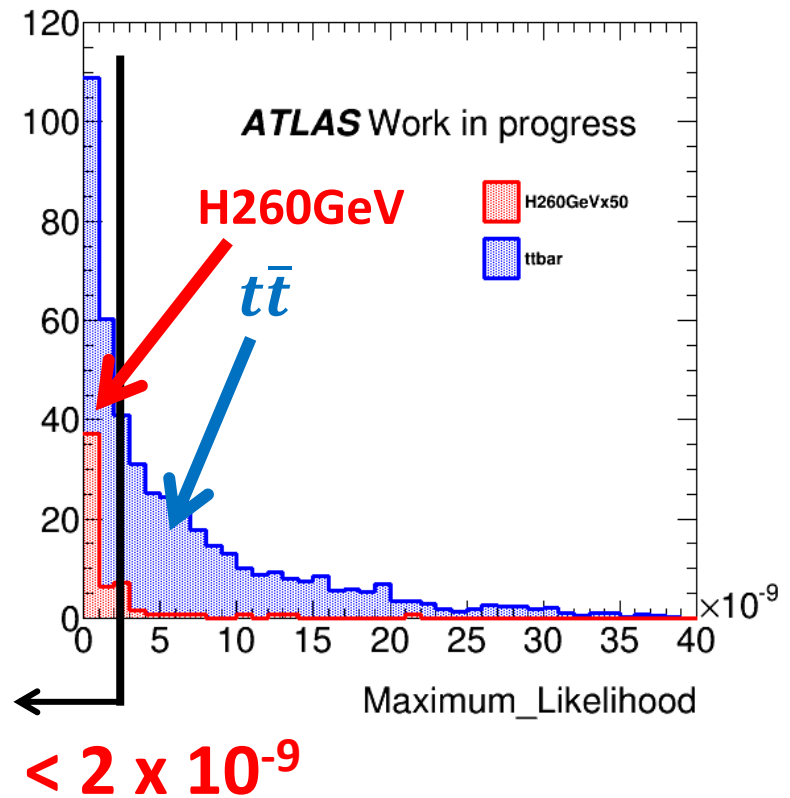
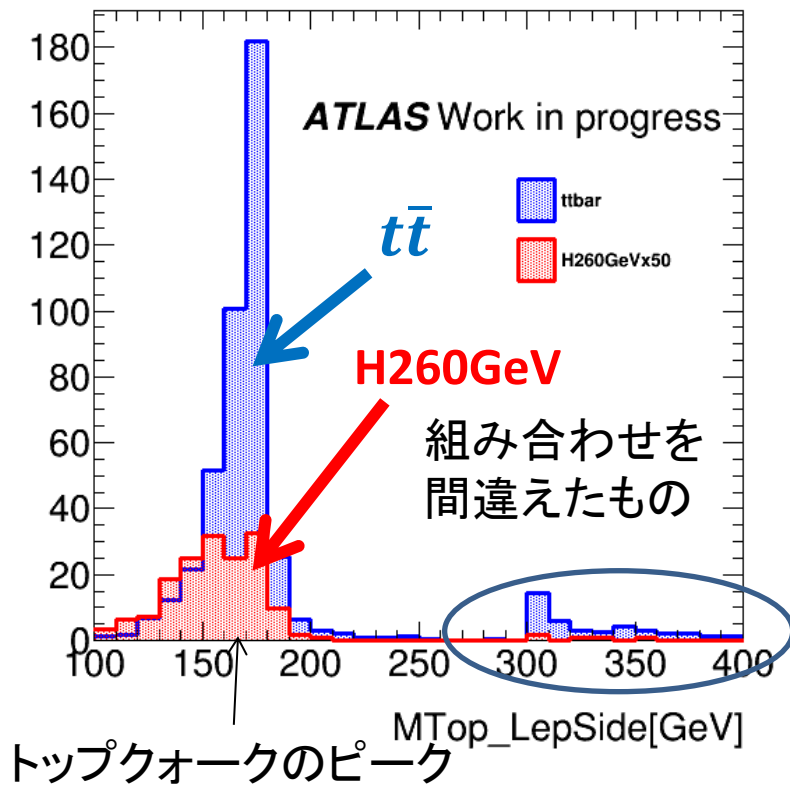


- ・ W^+/W^- 質量 = 80 GeV
- ・METx, METy測定値

尤度関数は以下の確率を掛け合わせたもの
 $P_z(\nu_1)$, $P_t(\nu_1)$, $P_z(\nu_2+\nu_3)$, $P_t(\nu_2+\nu_3)$, $M(b, lep, \nu_1)$
 $M(b, \tau, \nu_2+\nu_3)$, $M(\nu_2+\nu_3)$

※bの組み合わせは両方試す

結果[Lepton+Tau]

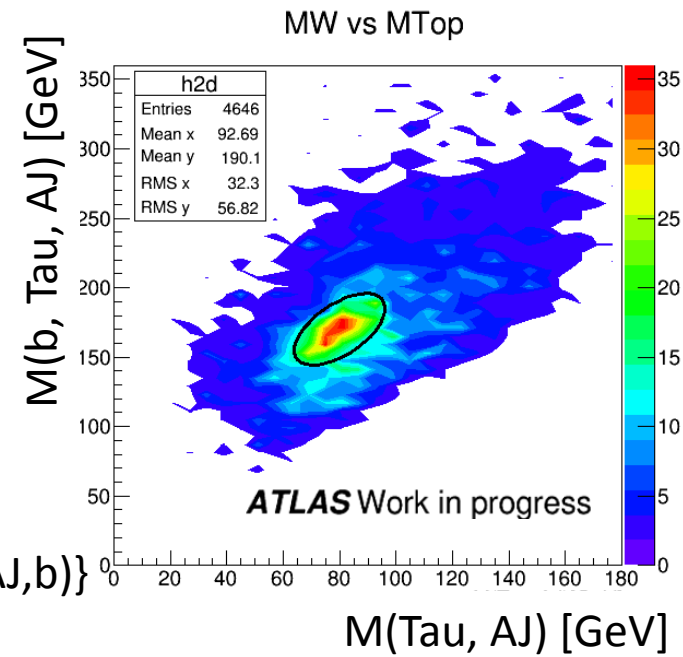
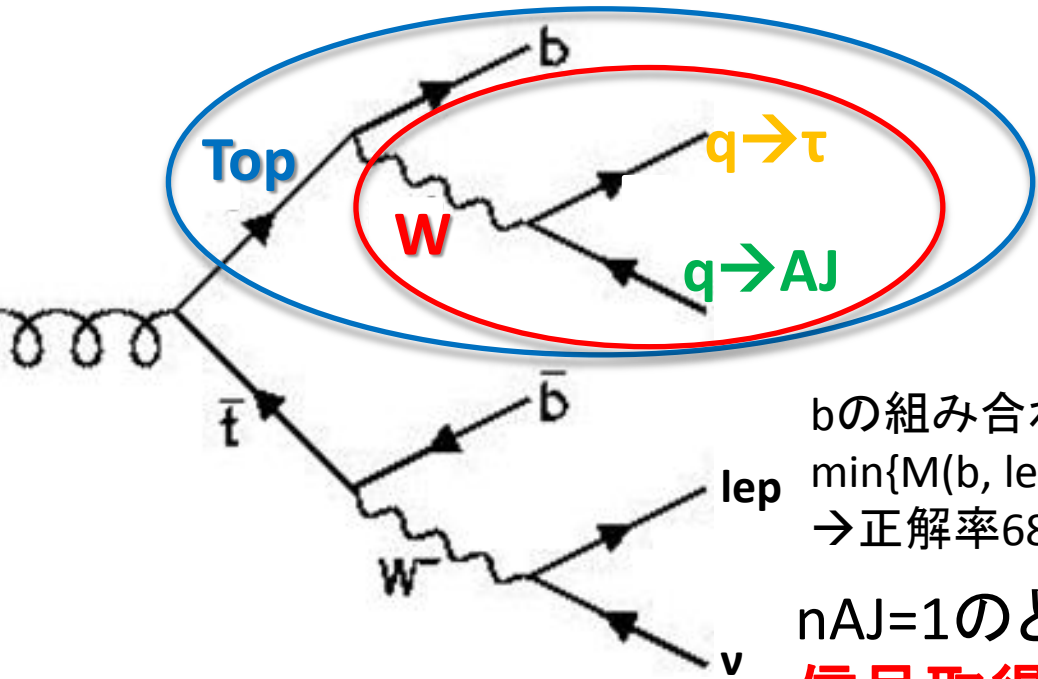


信号取得効率[H260GeV]は~74%
~64%のトップクォーク対を除去



トップクォーク対再構成[1AJの時]

- Additional Jetの数が1の時、トップクォーク対の崩壊モードはLepton+Jetが支配的であるので、Lepton+Jetを再構成する方法を構築し除去する。
- $n_{AJ}=1$ の時片方のWがqqに崩壊し、そのうち1つのqが τ にfakeしたときもう片方のqはAJとなる
- AJとfake τ を使って、Wを再構成可能
- bの組み合わせを決めればTopも再構成可能



bの組み合わせ
 $\min\{M(b, lep)+M(\tau, AJ, b)\}$
 \rightarrow 正解率68%

$n_{AJ}=1$ のとき上の図の楕円をカットで
信号取得効率[H260GeV]は~99%
~14%のトップクォーク対除去効率

結果

• $M_{bb\tau\tau}$ 分布

事前事象選択

$M(b, b), M(\tau, \tau)$

MET centrality

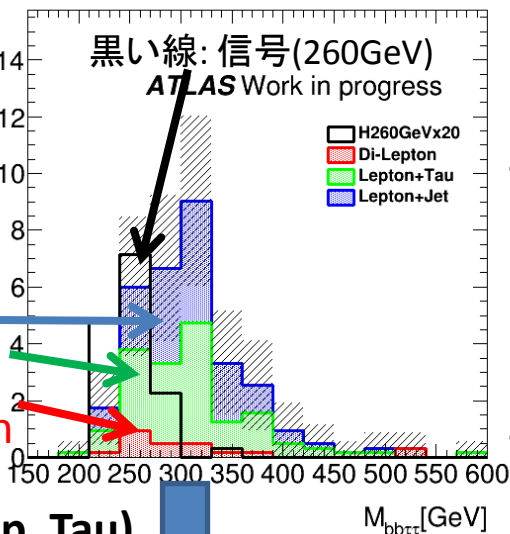
MT(Lep, MET)

$t\bar{t}$

Lep+Jet

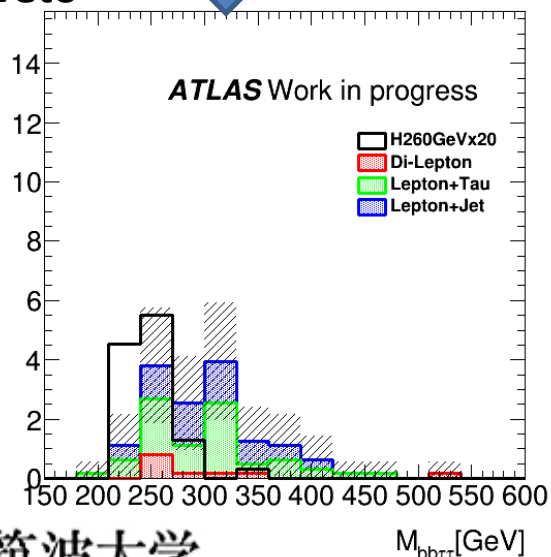
Lep+Tau

Di-Lepton



$\Delta Pt(\text{Lep, Tau})$

top veto



• $\Delta Pt(\text{Lep, Tau}), \text{Top Veto}$ をかける前からの改善

0AJカテゴリー

信号取得効率: 92.3%

トップクォーク対除去効率: 61.9%

1AJカテゴリー

信号取得効率: 80.0%

トップクォーク対除去効率: 44.8%

積分ルミノシティ 20.3 fb⁻¹

信号の断面積 × Di-Higgsの崩壊分岐比 = 1.8 pb

200 GeV < $M_{bb\tau\tau}$ < 300 GeV

S/√B = 0.24

($\Delta Pt(\text{Lep, Tau}), \text{Top Veto}$ 前と比べて**25%改善**)



筑波大学
University of Tsukuba

Summary & Plan

- LHC-ATLAS実験における8TeV@20.3fb⁻¹のデータを用いて
H→hh→bbτ(lep)τ(had)の解析を行っている
- 主背景事象はトップクォーク対で、これを信号と分けるために以下の事象選択をした

-レプトンとタウの運動量の差

信号の場合タウの方がレプトンよりPtが大きく、トップクォーク対の場合その逆

-トップクォークの再構成による除去

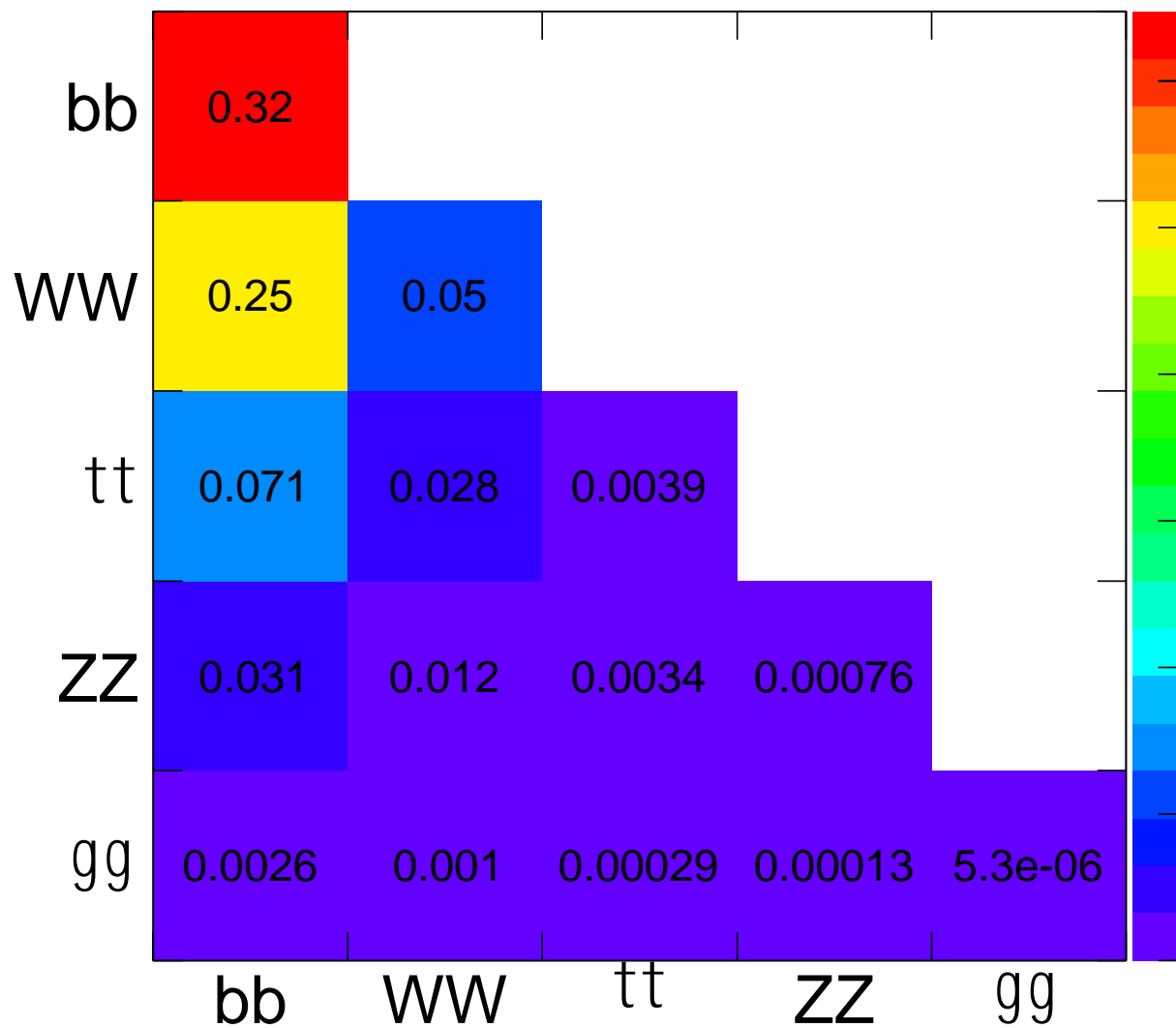
Additional Jetの数毎に主となるトップクォーク対の過程が異なるため、**nAJカテゴリー**を作ることで、**特定の過程意識してトップクォークの再構成**ができる

[nAJ=0のとき] 最尤法を用いて信号とトップクォーク対を分離した

[nAJ=1のとき] bjet/Tau/AJを組み合わせることでW/Topを再構成した

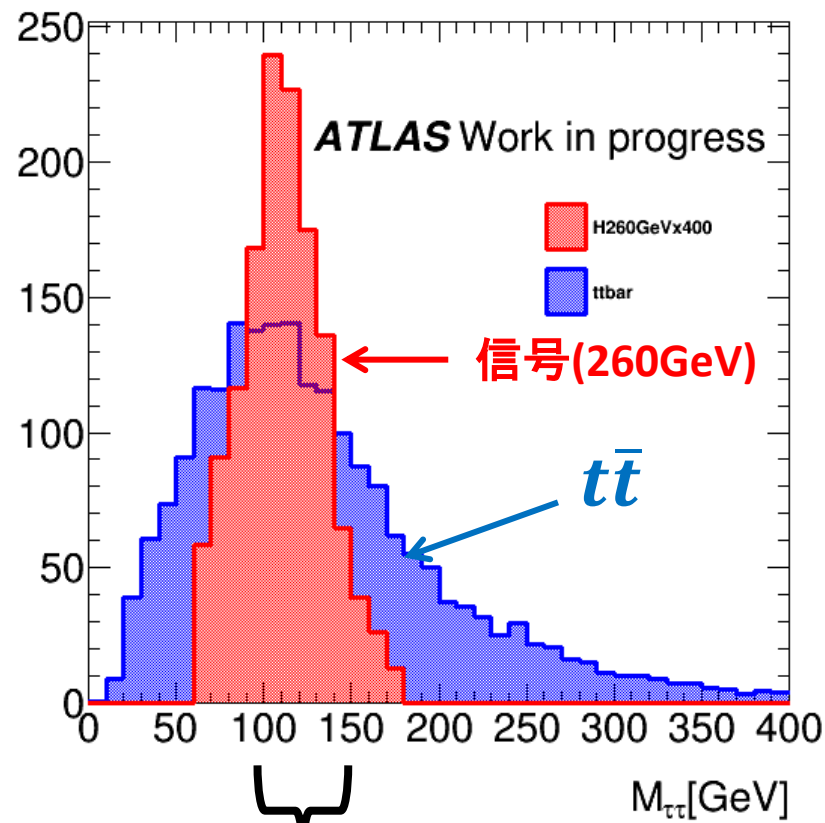
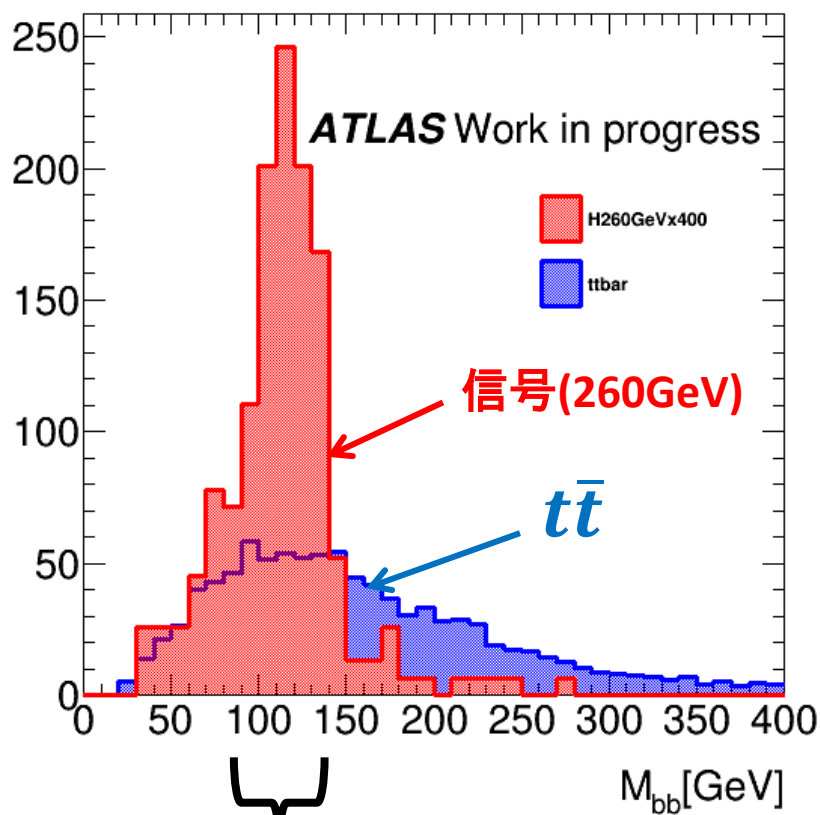
- これらよりS/√Bは事前事象選択後と比べ**25%改善**し**0.24**となった
- まだカット値の最適化には改善の余地がある

Backup



ヒッグス質量

- ・信号の場合、2つのbjet(左)、2つの τ (右)でそれぞれヒッグス粒子が再構成可能
- ・ $M(\tau, \tau)$ にはMissing Mass Calculator(MMC)を用いた



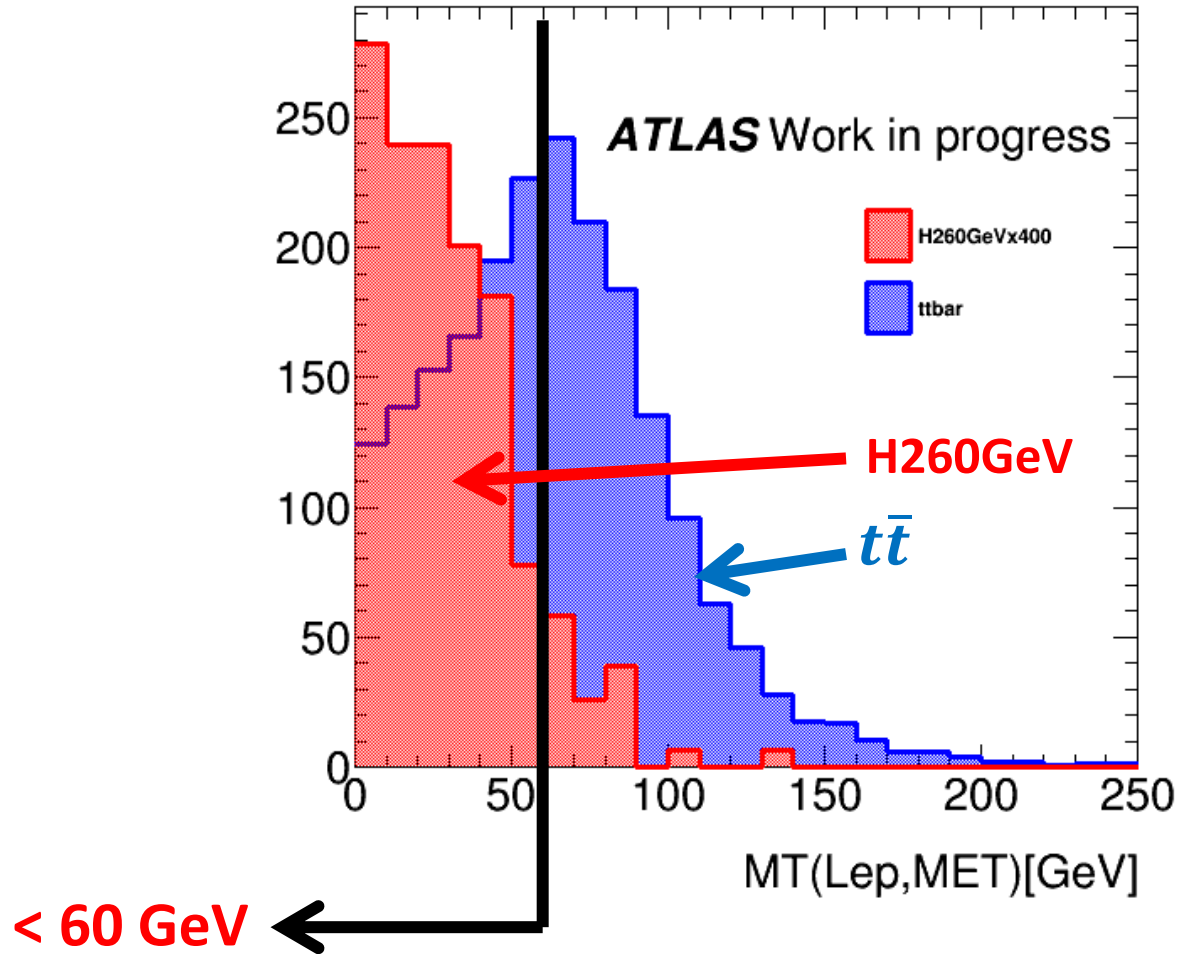
$90 < M_{bb} < 140$ GeV

$100 < M_{\tau\tau} < 150$ GeV



MT(Lep, MET)

- ・トップクォーク対の場合レプトンとMETの横質量はWボゾンのエッジを持つ

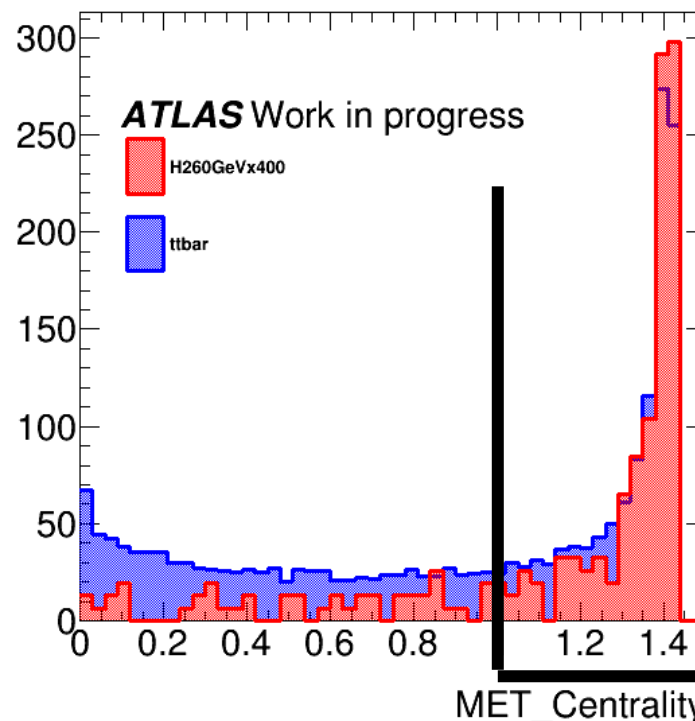
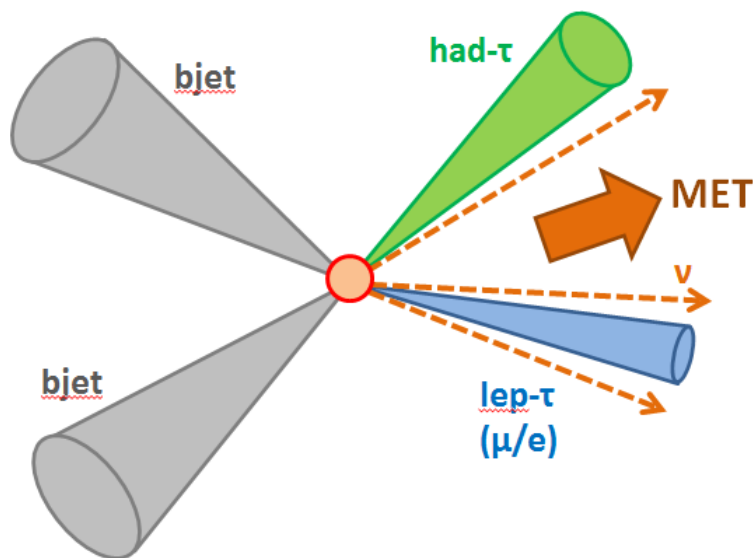


METの中心性

- ・信号の場合、METはタウとレプトンの間にいる

定義式

- METがタウとレプトンのど真ん中の場合 $\sqrt{2}$
- METがタウとレプトンの間から外れた場合 < 1



> 1



Type 1, $\tan\beta = 1$

