



Waseda University

***LHC-ATLAS*実験における**

$H \rightarrow \tau\tau \rightarrow \textit{lepton-hadron}$ 崩壊チャンネル を用いたヒッグス粒子の探索

早大理工 桜井 雄基，寄田 浩平

KEK 中村浩二

東大素セ 埴慶太

2014年春期大会 東海大学湘南キャンパス

2014 / 3 / 27

講演番号：27pSD-9

τ の崩壊に応じて3種類の終状態

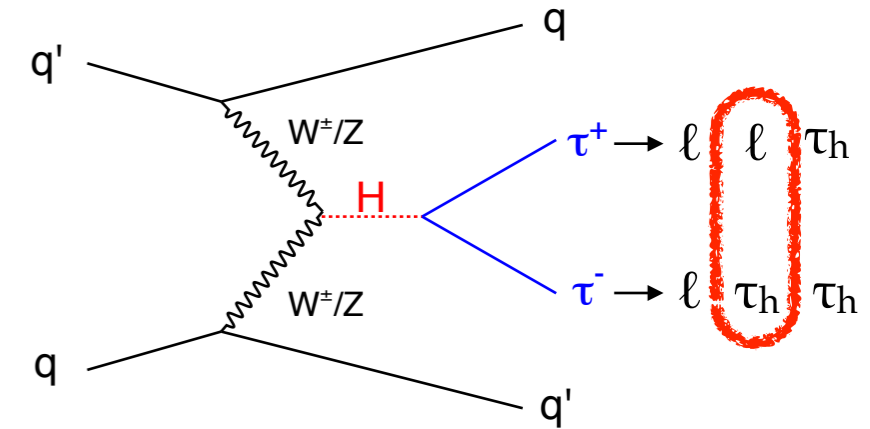
チャンネル	分岐比	特徴
$H \rightarrow \tau\tau \rightarrow \ell \ell + 4\nu$	12%	Clean
$H \rightarrow \tau\tau \rightarrow \ell \tau_h + 3\nu$	42%	Large BR. + Clean
$H \rightarrow \tau\tau \rightarrow \tau_h \tau_h + 2\nu$	46%	Large BR.

$H \rightarrow \tau\tau$ 総括:
27pSD-8 塙氏

← 27pSD-10
森永氏

← **本講演**

← 27pSD-11
津野氏



$H \rightarrow \tau_\ell \tau_{had}$ 崩壊チャンネルにフォーカスして解析詳細をお話しします。

信号事象 トポロジ

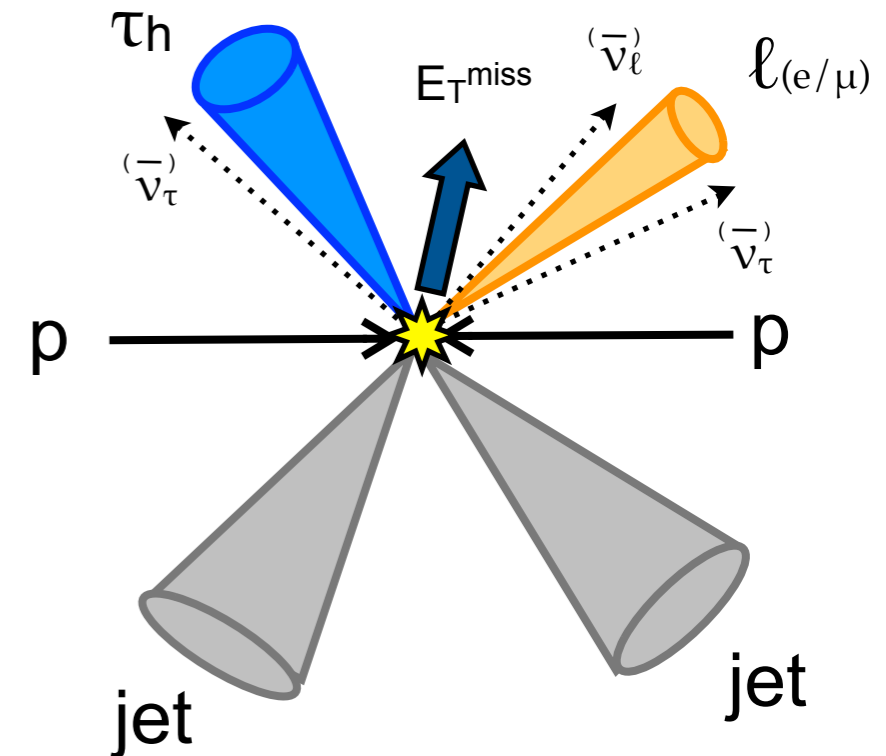
終状態にレプトン(e/ μ) + ハドロン崩壊する τ 粒子

レプトンと τ 粒子の間に消失横運動量 (主にニュートリノ由来)

事象選択

1. シングルレプトントリガー: トリガー閾値 24GeV
2. 粒子選別: $p_T(e/\mu) > 26\text{GeV}$ / $p_T(\tau) > 20\text{GeV}$ / $p_T(\text{jet}) > 30\text{GeV}$
3. 電荷異符号のレプトンと τ 粒子 (ヒッグスは電荷 0)
4. $M_T(e/\mu, E_T^{\text{miss}}) < 70\text{GeV}$

レプトンと消失横運動量の不変横方向質量



多変量解析によって背景事象との分離を最大化

→ 各信号過程の特徴を生かした**最低限の事象選択、カテゴリー選別**

VBFカテゴリー

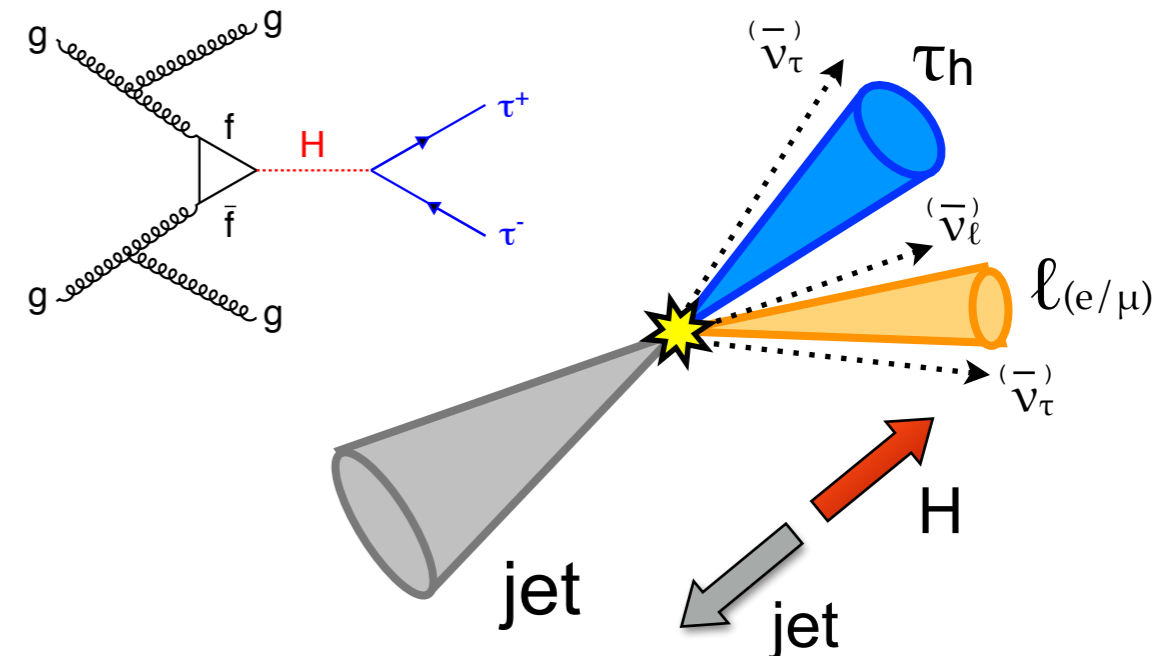
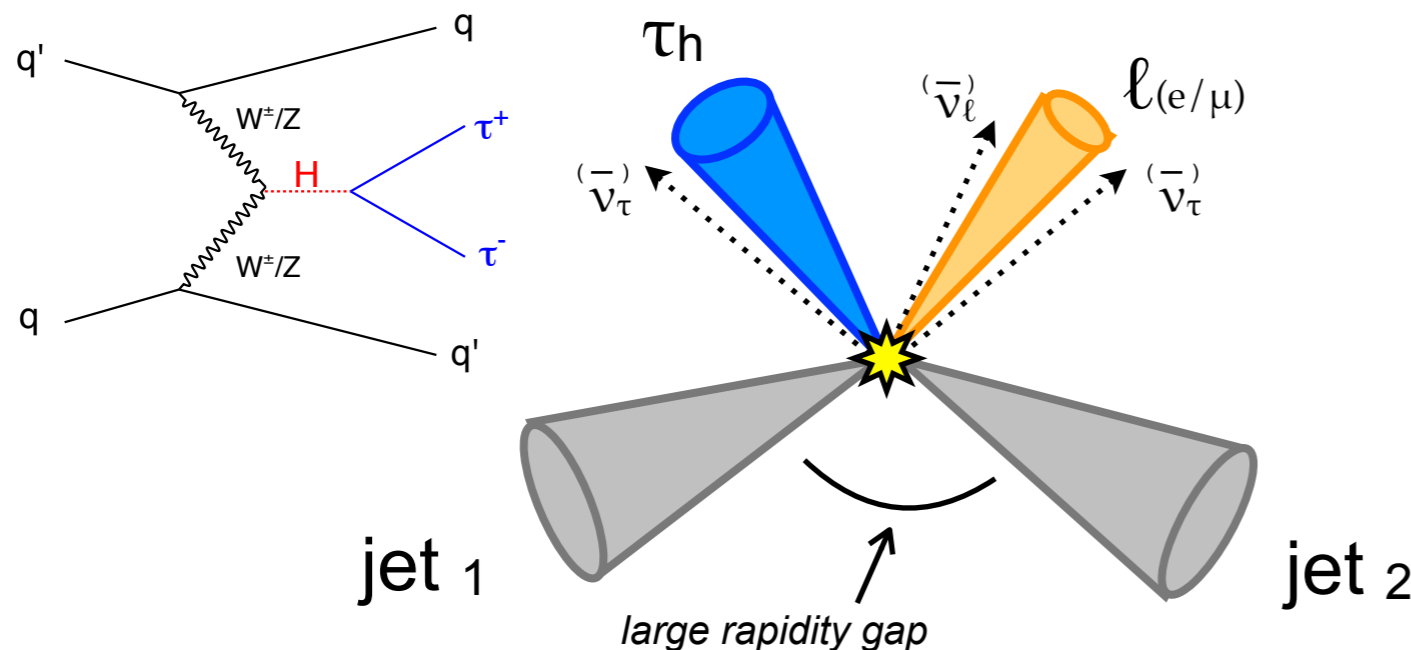
VBF過程は特徴的に前後方に高運動量ジェットを生成するため、背景事象の除去能力が高い。

→ $|\eta_{j1} - \eta_{j2}| > 3.0$ の高運動量2ジェット

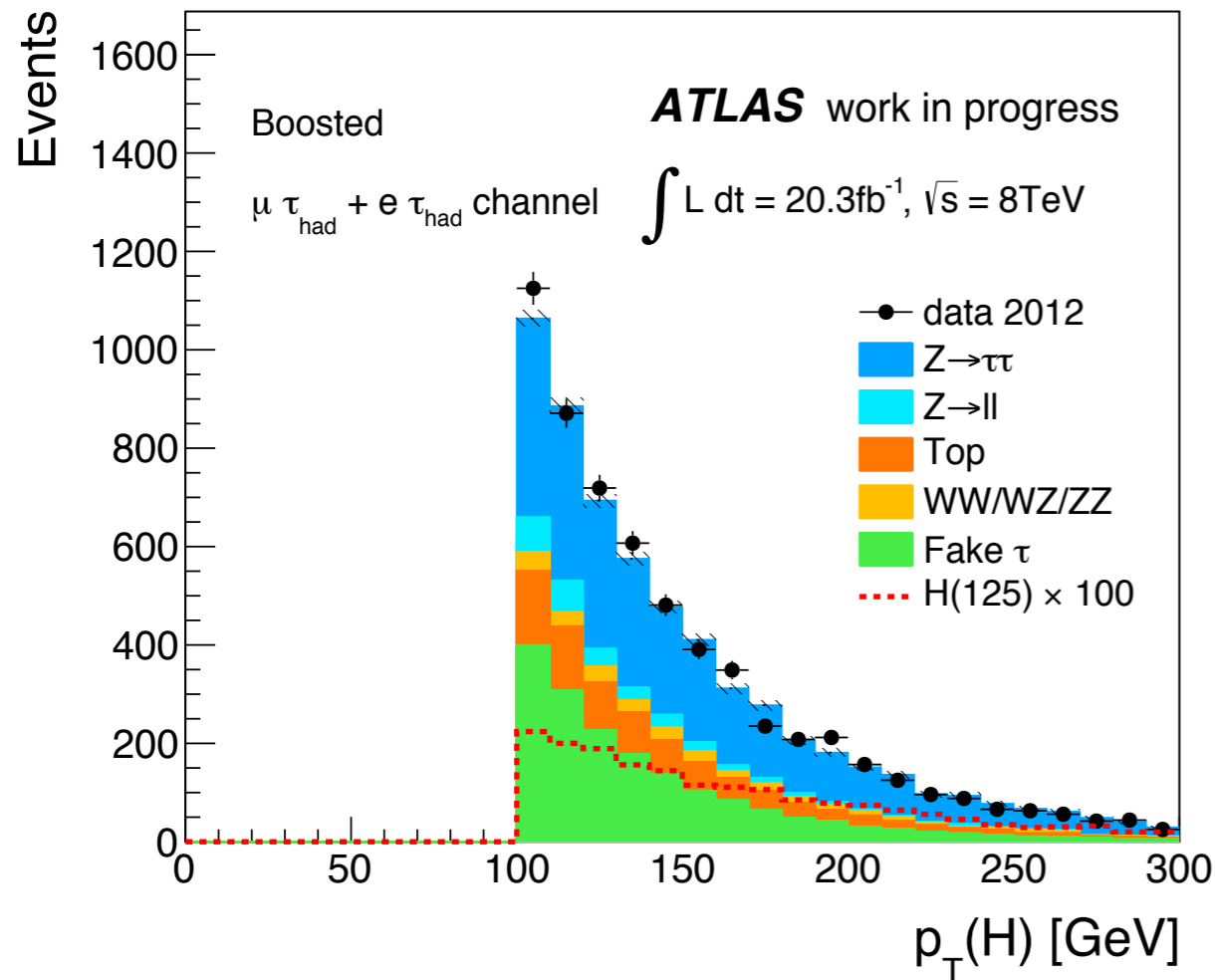
Boost カテゴリー

ヒッグス粒子が反対方向のジェットによってブーストされる過程は背景事象との分離能力が高い。(質量分解能が高い。)

→ $|\vec{p}_T(\tau) + \vec{p}_T(\ell) + \vec{p}_T(E_T^{\text{miss}})| = |\vec{p}_T(\text{Higgs})| > 100\text{GeV}$



$$|\vec{p}_T(\tau) + \vec{p}_T(\ell) + \vec{p}_T(E_T^{\text{miss}})| = |\vec{p}_T(\text{Higgs})| > 100\text{GeV}$$

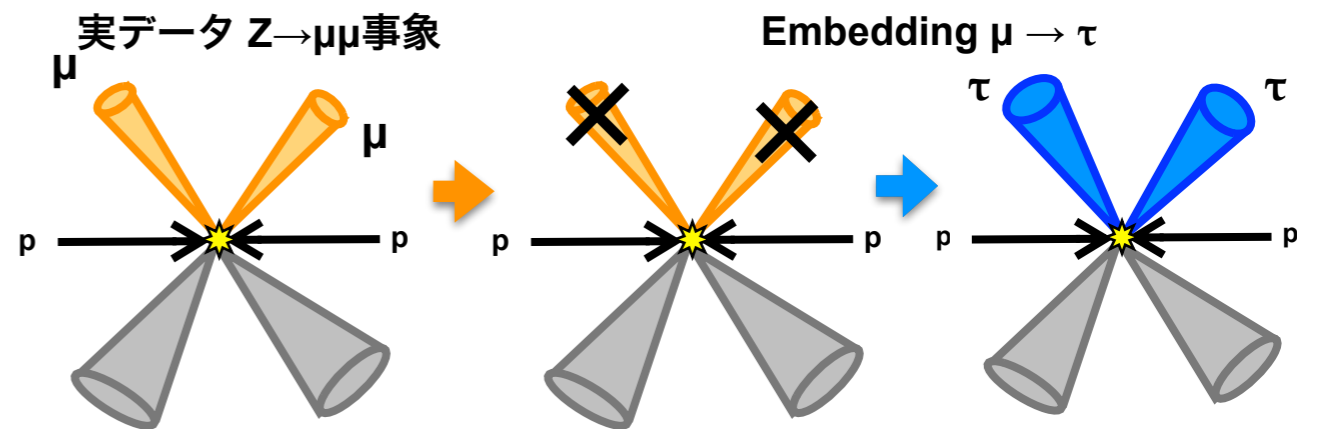


終状態が同一の背景事象 (irreducible)

$Z \rightarrow \tau\tau + \text{jets}$: **Embedding Method**

実データ $Z \rightarrow \mu\mu$ 事象から μ 粒子をシミュレーションに依る τ 粒子に置き換える。事象数は実データコントロール領域で規格化。

利点 : τ 粒子以外実データなのでジェット、pile-up由来の系統誤差を抑えられる。 (~15%)



その他 (レプトンフェイク・小さな寄与)

$Z \rightarrow \ell\ell (\ell \rightarrow \tau)$, $t\bar{t}$ ($\ell \rightarrow \tau$), di-boson

MCシミュレーションを実データ

コントロール領域によって規格化

$Z + \text{jets}$: 質量が90GeV付近の2レプトンを要求

$t\bar{t}$: b-jet 同定

ジェットが τ 粒子にフェイクする過程 (fake)

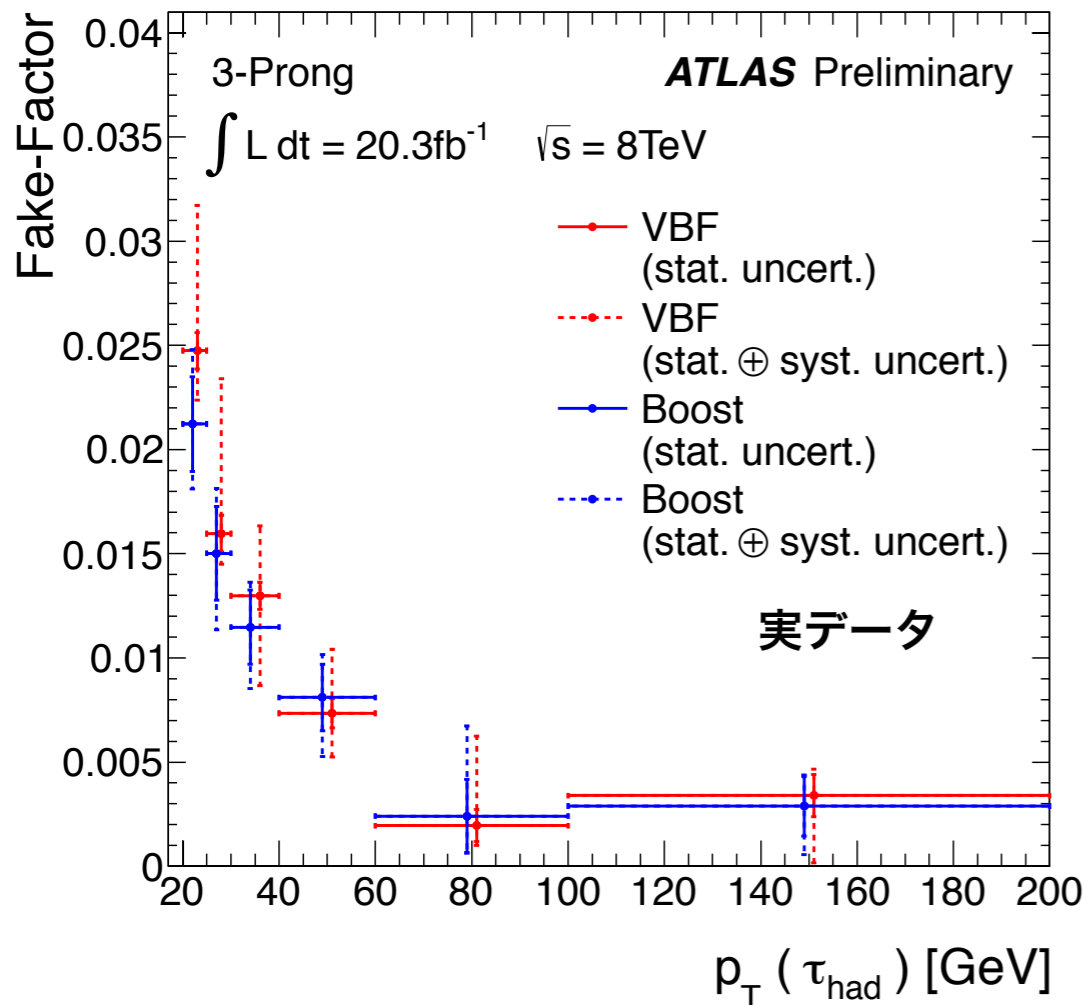
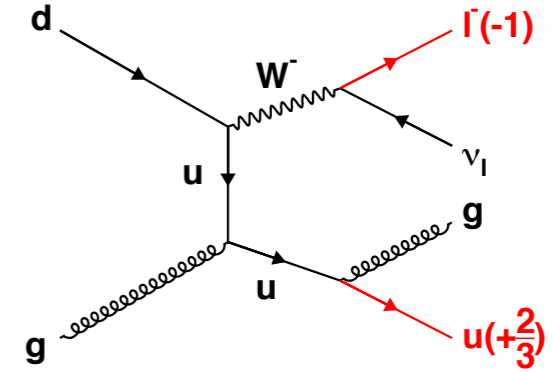
$W + \text{jets}$, multi-jet, ($Z \rightarrow \ell\ell + \text{jets}$, $t\bar{t}$ ($j \rightarrow \tau$))

Fake-Factor Methodによる見積もり (次ページ)

実データを用いた高統計でのフェイク事象の見積もり → **Fake Factor Method**

$$N_{\text{Anti } \tau\text{-ID}} \times \frac{N_{\tau\text{-ID}}^{\text{CR}}}{N_{\text{Anti } \tau\text{-ID}}^{\text{CR}}} = N_{\tau\text{-ID}}$$

$N_{\text{Anti } \tau\text{-ID}}$: τ 同定されなかった事象数
 信号領域と同じ事象選択
 Fake Factor: ジェットが τ 同定される割合
 $N_{\tau\text{-ID}}$: 見積もるべき信号領域の事象数



- ✓ 実データのW+jets / QCD事象コントロール領域から Fake Factor を算出 (運動量、飛跡数、ジェット数に依存)
 - W+jets コントロール領域: $M_T(e/\mu, E_T^{\text{miss}})$ カットを反転
 - QCD コントロール領域: レプトン同定中の孤立度カットを反転
- ✓ ジェットがクォーク・グルーオン由来かによって Fake Factor が変化
- ✓ 中央値はW+jets/QCD事象の割合によって決定

FakeFactor Methodによって高統計でのフェイク事象の見積もりを実現!

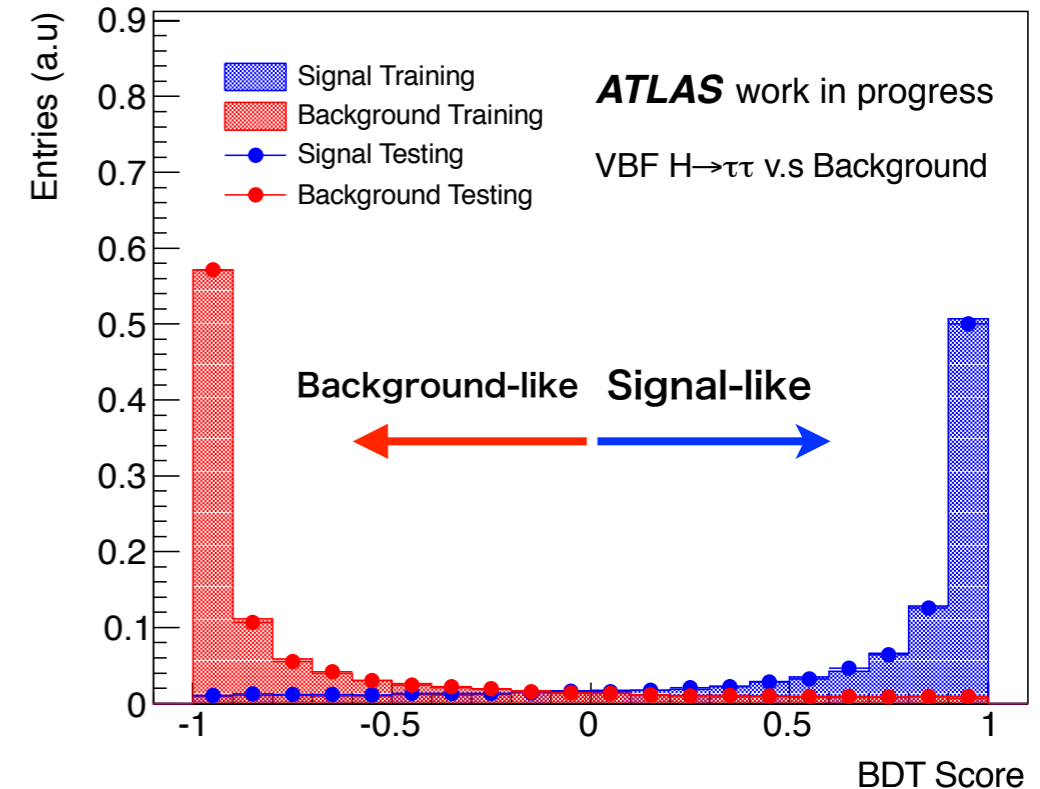
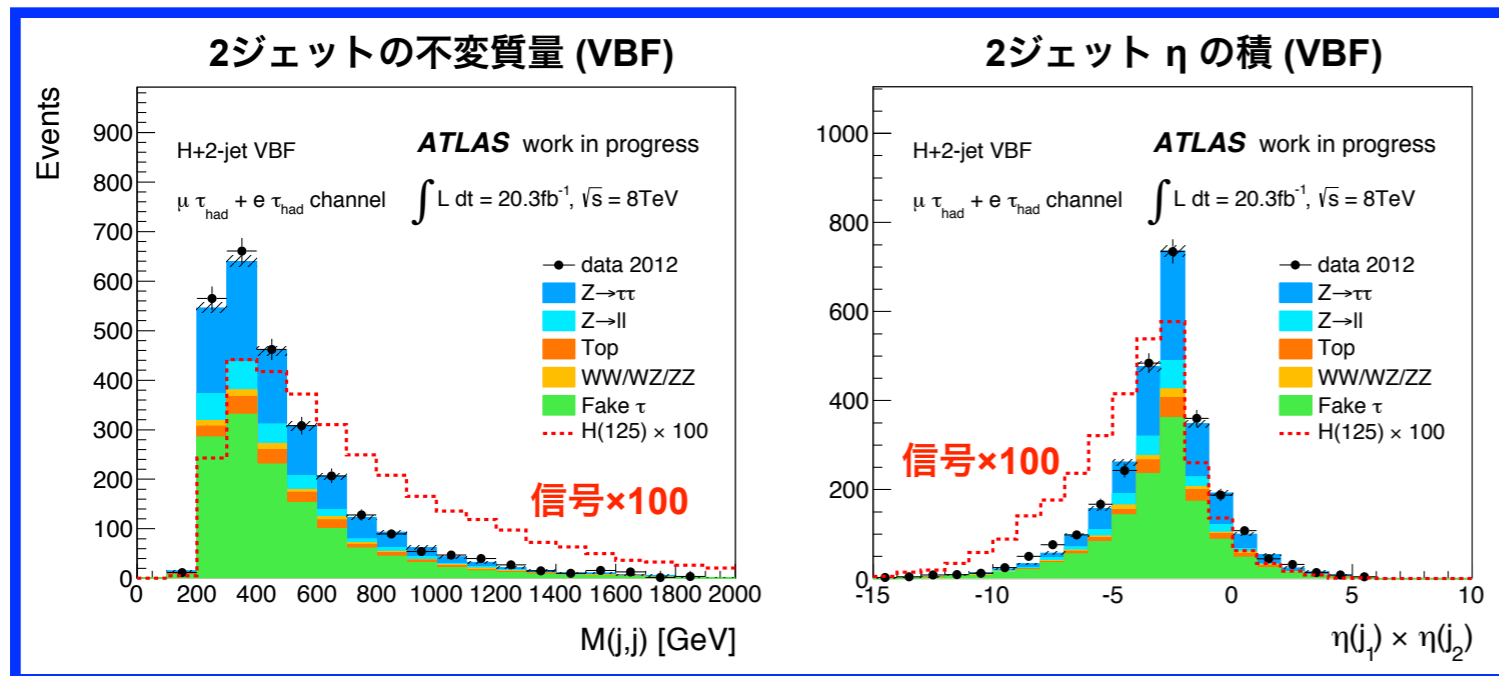
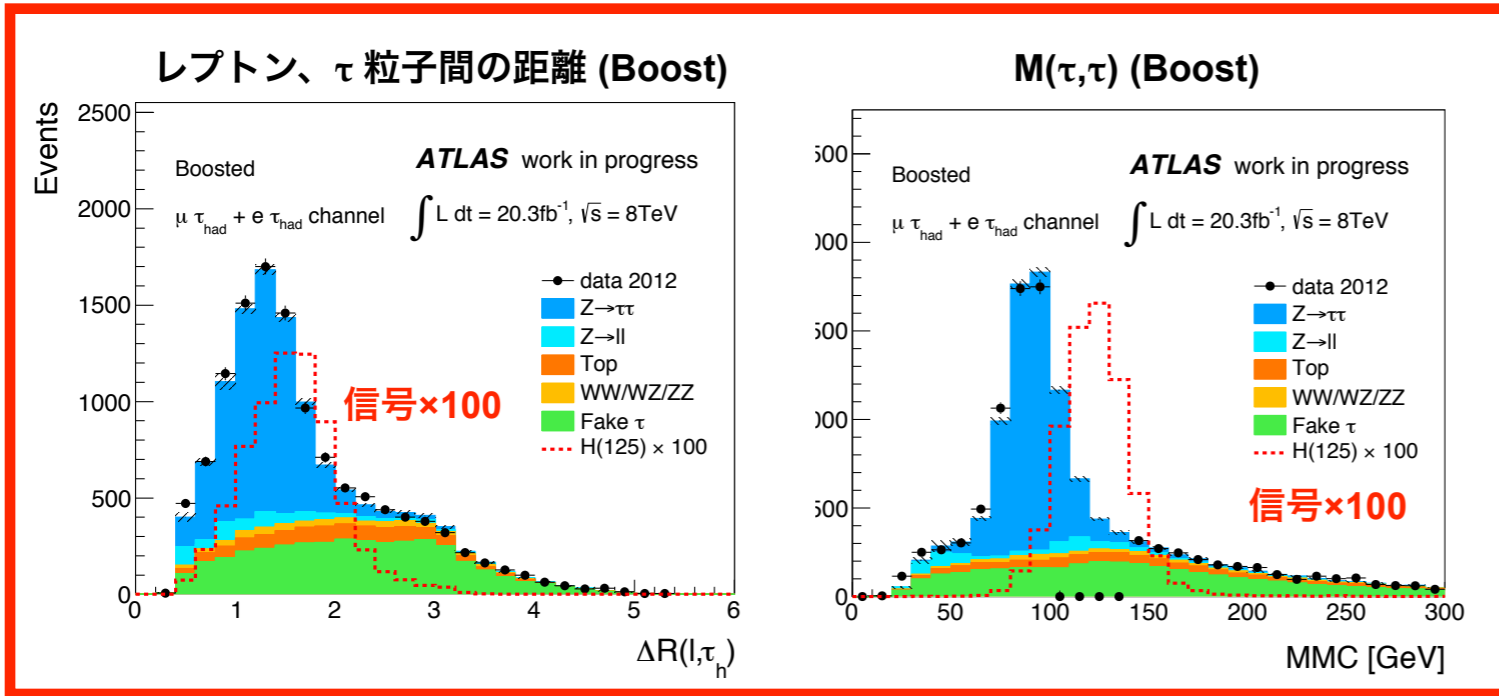
更なるMethodの改善を遂行中(後述)

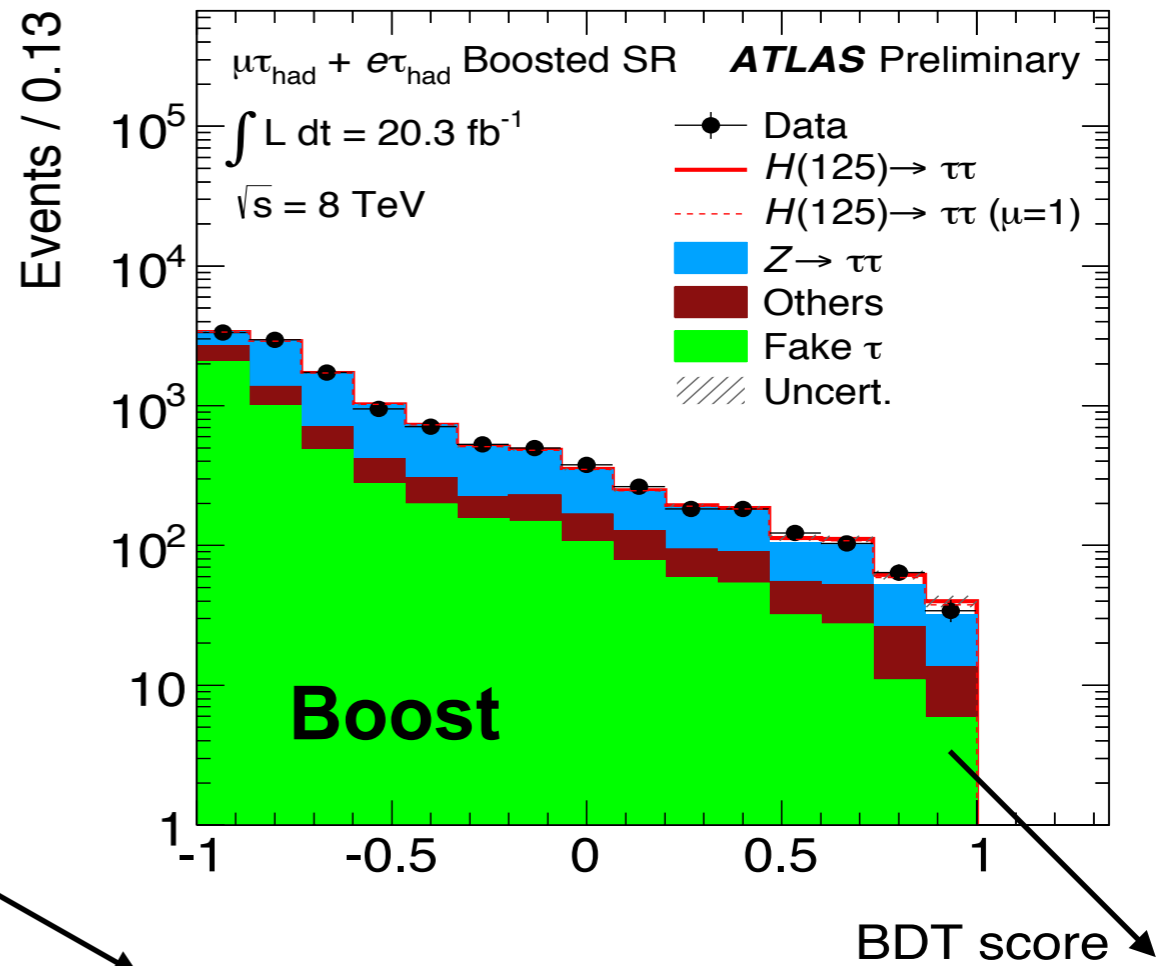
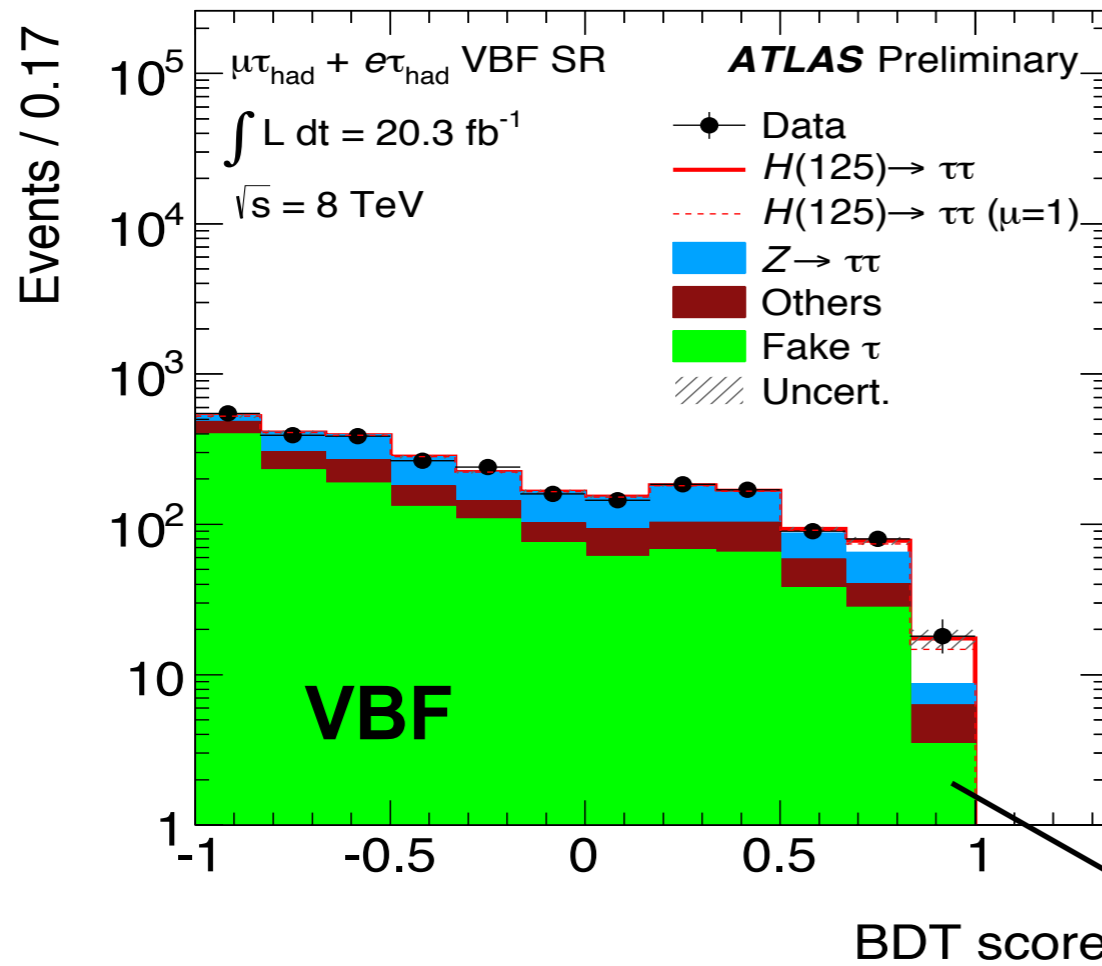
* 多変量解析の分類機: **BDT** (Boosted Decision Tree)

VBF / Boost カテゴリー独立に入力変数を最適化

Variable	VBF	Boosted
$\Delta R(\ell, \tau)$	•	•
m_T	•	•
$C_{\tau, \ell}^{E_{T}^{miss}}(\phi)$	•	•
$MMC(M_{\tau, \tau})$	•	•
Σp_T		•
$p_T(\ell)/p_T(\tau)$		•
m_{j_1, j_2}	•	
$ \eta_{j_1} - \eta_{j_2} $	•	
$\eta_{j_1} \times \eta_{j_2}$	•	
$C_{j_1, j_2}^{\ell}(\eta)$	•	
p_T^{total}	•	

↑
 H→ττ
 トポロジー
 VBFトポロジー





高感度領域で信号の Excess を確認！！

VBFカテゴリーでは $Z \rightarrow \tau\tau$ / fake τ (W +jets)の寄与は 同程度

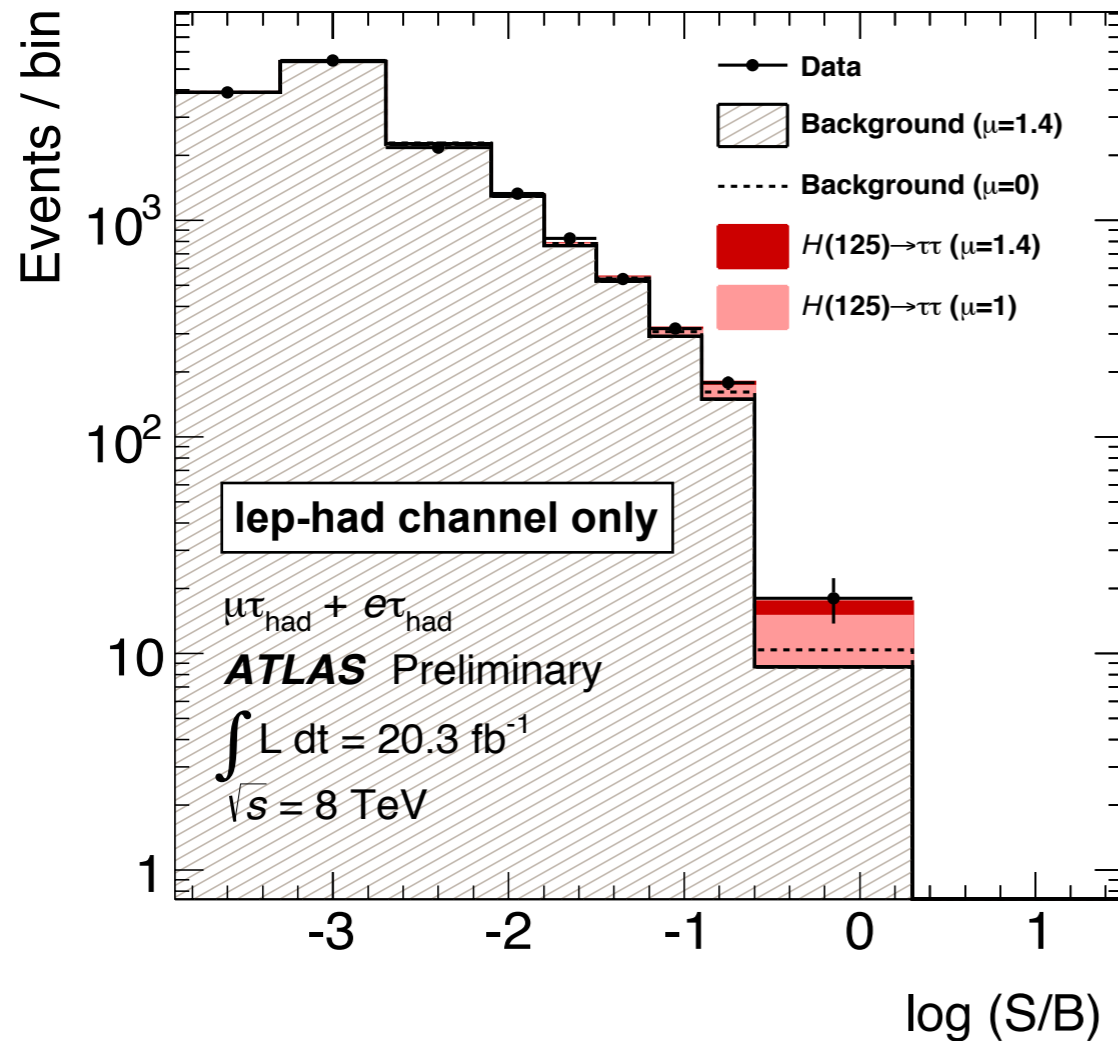
Boost カテゴリーでは $Z \rightarrow \tau\tau$ が支配的

lepton-hadronチャンネルは $Z \rightarrow \tau\tau$ / W +jetsの分離が鍵

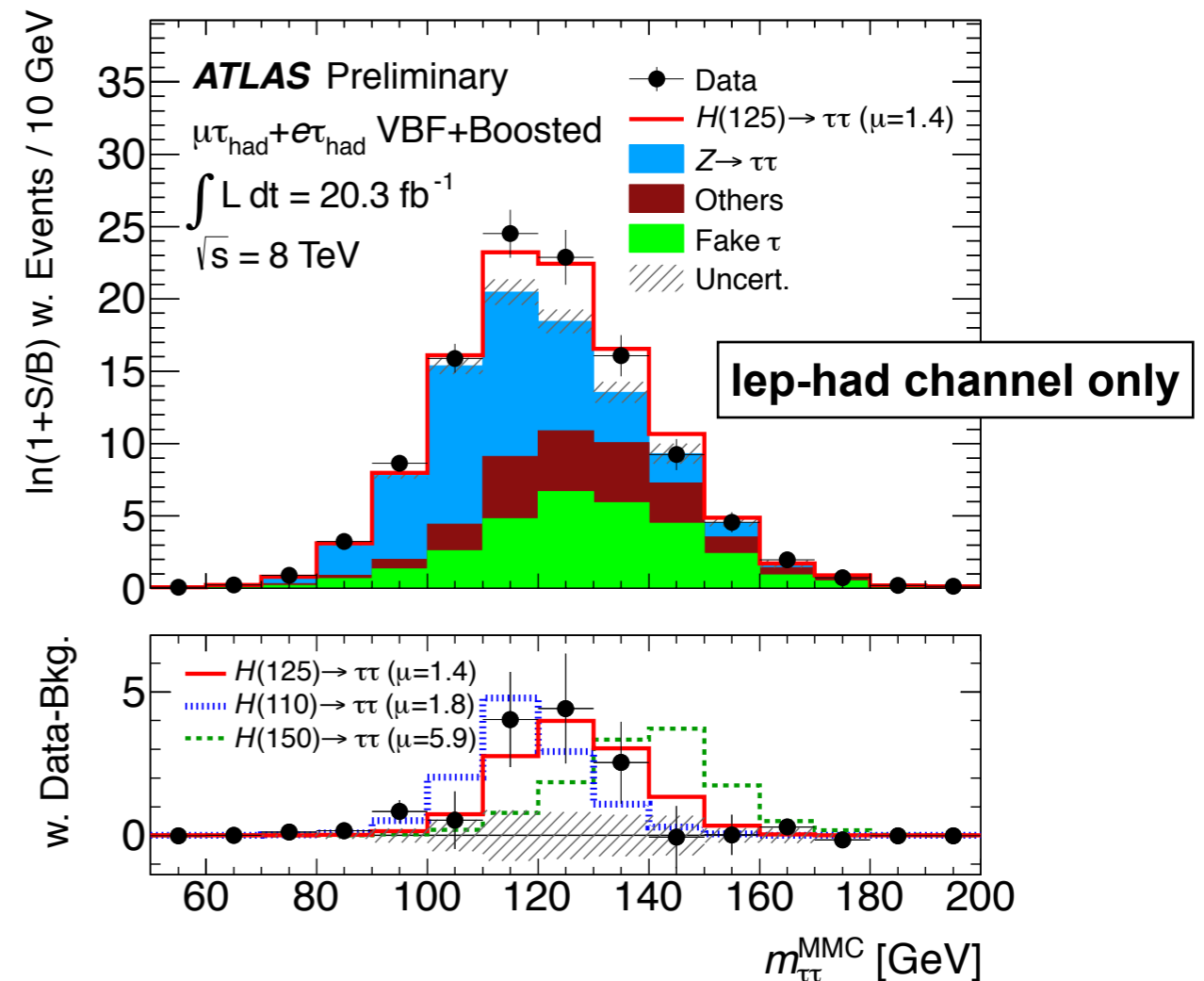
BDT分類分布からprofile likelihood 法によって信号感度・信号強度を算出

最終ビンの 事象数	VBF カテゴリー	Boost カテゴリー
VBF	5.33 ± 0.63	1.10 ± 0.10
ggH	0.91 ± 0.43	4.70 ± 2.04
$Z \rightarrow \tau\tau$	2.51 ± 0.85	25.08 ± 3.31
Fake τ	3.27 ± 1.37	8.8 ± 3.90

BDT分布 $\log(S/B)$ に対する事象数



$\log(1+S/B)$ で重み付けした質量分布



信号感度 (p_0 値) @ $M_H=125\text{GeV}$: **3.21 σ / 2.37 σ** (obs. / exp.)

信号強度 (μ) @ $M_H=125\text{GeV}$: **1.46 $^{+0.63}_{-0.52}$**

$H \rightarrow \tau\tau \rightarrow \text{lepton-hadron}$ 崩壊チャンネル単独で信号の”証拠 (3σ)” を観測！！

信号強度 μ は標準理論と誤差の範囲内で一致。

主系統誤差：理論によるヒッグス運動量不定性, τ / ジェットエネルギースケール e.t.c

現在論文出版に向けた更なる改善が進行中:

大きく分けて2つの改善点

1. Fake Factor Methodの改善

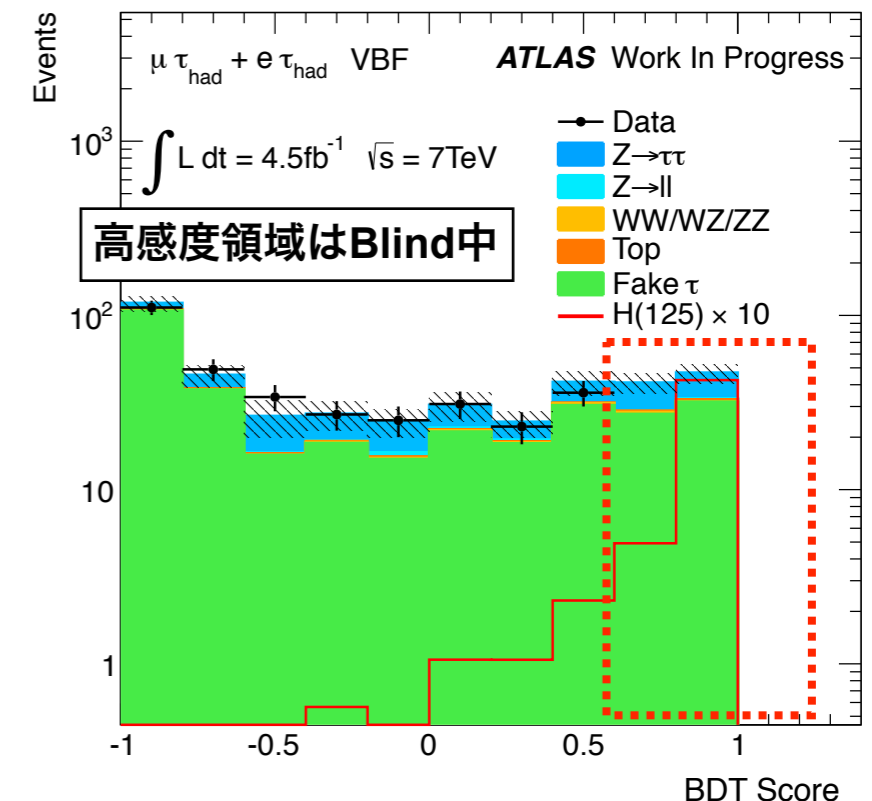
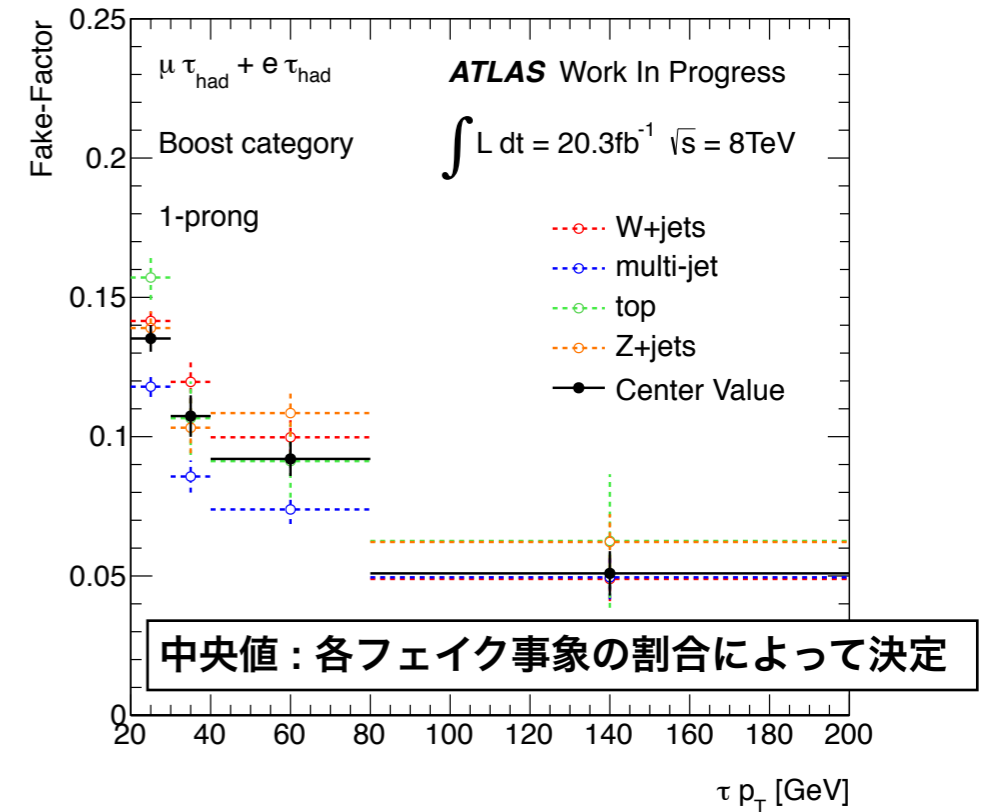
- 見積もりのモデリングの向上
 - $Z \rightarrow \ell\ell + \text{jets}$, $t\bar{t}(j \rightarrow \tau)$ の見積もりの追加
 - τ 同定されない事象の定義の変更 e.t.c
- 系統誤差の改良: 40% \rightarrow 20%
 - 詳細なコントロール領域でのMethodologyの確認
 - 統計誤差の切り分け e.t.c

2. 7TeV データ (4.5 fb^{-1})解析の追加

- MC サンプルの変更や詳細なモデリング検証を遂行中
- $\sim 10\%$ の感度向上が期待できる (単純なデータ量での外挿)

他にもカットベースの解析も独立して進行中

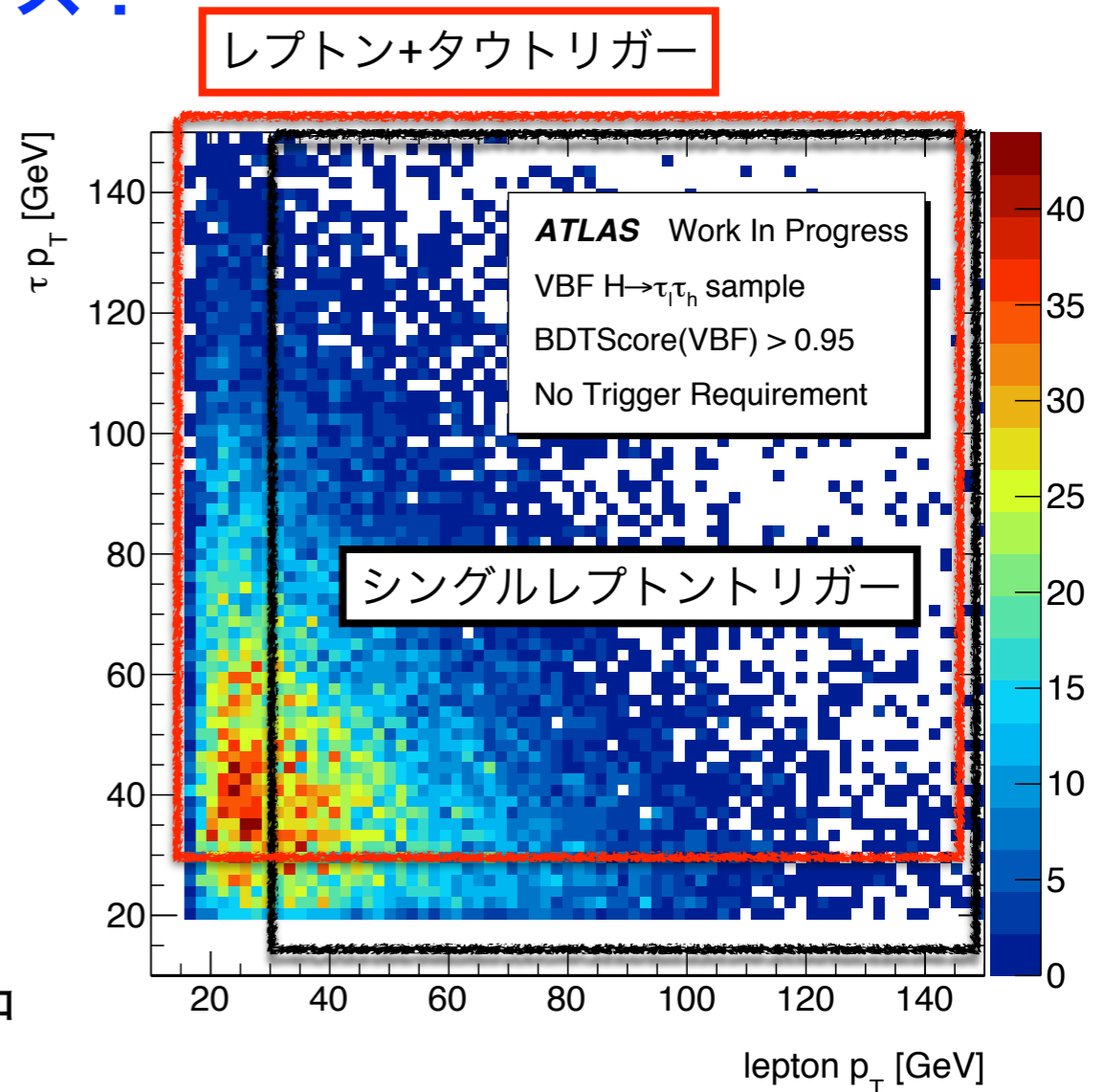
これら改善点を加え、今春の論文出版を目指す



- * 2015年よりLHC 14(13)TeV Runがスタート $H \rightarrow \tau\tau$ 単独発見(5σ)へ
- * 発見後結合定数/スピン/質量測定等、

LHC Run2でも $H \rightarrow \tau\tau$ は重要なトピックス!

- * 早期発見のためには**効率的なデータ取得のためのトリガー開発が重要**
- * Run2ではシングルレプトントリガーの閾値がさらに上昇 : $24 \rightarrow 28 \text{ GeV}$ 以上
- * 高感度領域(BDTScore >0.95)では低運動量レプトンが支配的
→ **レプトン+タウトリガー**がメインに
- * **タウトリガーの効率化** (27pSD-11 三谷氏) によってレプトン閾値を下げる研究を遂行中



高感度領域での”トリガー要求を外した”
VBF 信号のレプトン p_T と τp_T の相関

まとめ

2012年ATLAS実験で取得された全データ 20.3fb^{-1} を使用し、 $H \rightarrow \tau\tau \rightarrow \text{lepton-hadron}$ 崩壊チャンネルを用いたヒッグス粒子の探索を行った。

信号感度 (p_0 値) : **3.21 σ / 2.37 σ** (obs. / exp.) @ $M_H = 125\text{GeV}$

信号強度 (μ) : **1.46 $^{+0.63}_{-0.52}$**

現在論文出版に向けて3チャンネル同時に更なる改善が進行中

今後の展望

2015年よりLHC Run2 がスタート。今回の結果、及び14(13)TeVのデータを統合することで、 $H \rightarrow \tau\tau$ 単独での発見(5σ)を目指す。

早期段階での発見のためには高輝度化でのトリガー研究が重要。

結合定数/質量/スピン測定等、LHC Run2でも $H \rightarrow \tau\tau$ 過程は重要なトピックス。

次は森永くん 「 $H \rightarrow \tau\tau \rightarrow \text{lepton-lepton}$ 崩壊チャンネル」です。