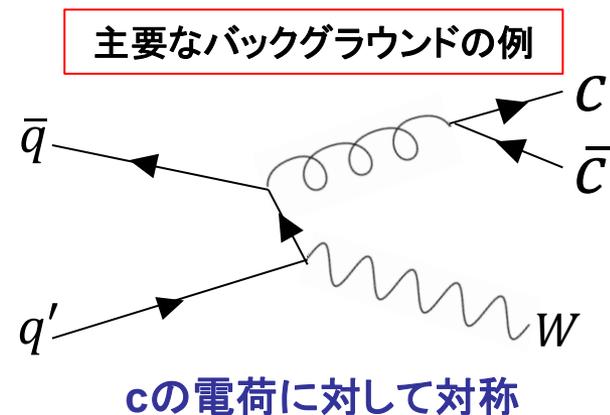
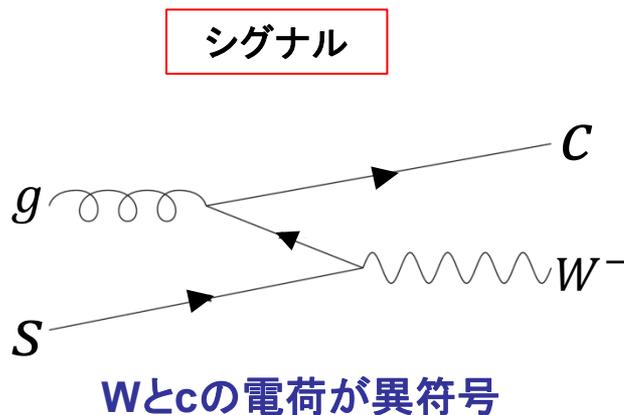

LHC-ATLAS実験におけるW粒子とD中間子の の随伴生成事象の断面積測定

奥山豊信

二ノ宮陽一^A 徳宿克夫^B 長野邦浩^B 河野能知^C
東大理 東大素セ^A 高工研^B お茶大理^C

W粒子とcクォークの随伴生成

- W粒子とcクォークの随伴生成: $d/s/b + g \rightarrow W + c$
 - CKM行列に従って90%以上はsクォーク由来
 - 終状態のWとcの電荷が異符号という特徴
 - 陽子内のsクォークの分布に感度がある
- SU(3)フレーバー対称性:
 - sと \bar{s} の分布に違いがあるか
 - sと \bar{d} の分布に違いがあるか
 - 低エネルギーニュートリノ実験などでのワインバーグ角の測定のずれがsと \bar{s} の分布を非対称にすることで説明できるという話もあり、直接実験的に差異を測定することが重要



W粒子とcクォークの随伴生成

➤ W粒子とcクォークの随伴生成: $d/s/b + g \rightarrow W + c$

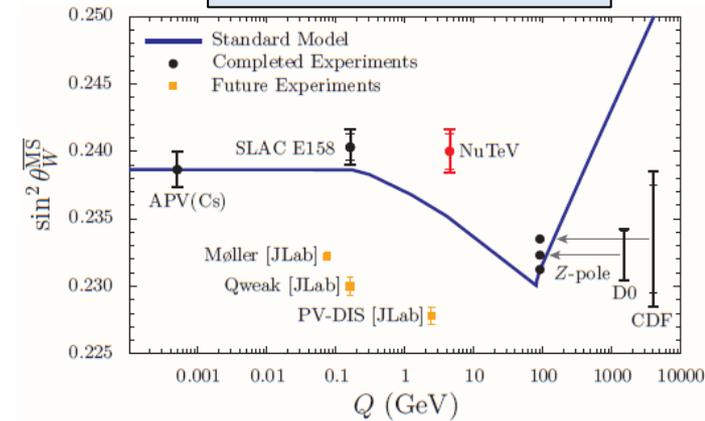
- CKM行列に従って90%以上はsクォーク由来
- 終状態のWとcの電荷が異符号という特徴
→ 陽子内のsクォークの分布に感度がある

➤ SU(3)フレーバー対称性:

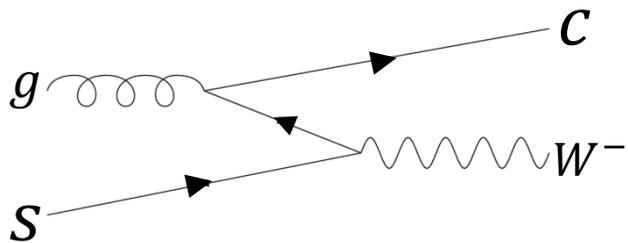
- s と \bar{s} の分布に違いがあるか
- s と \bar{d} の分布に違いがあるか

→ 低エネルギーニュートリノ実験などでのワインバーグ角の測定のずれが s と \bar{s} の分布を非対称にすることで説明できるという話もあり、直接実験的に差異を測定することが重要

ワインバーグ角のずれ

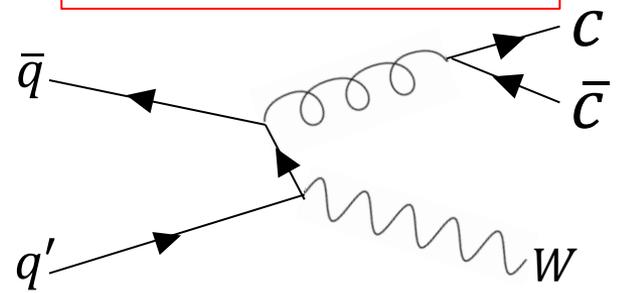


シグナル



Wとcの電荷が異符号

主要なバックグラウンドの例



cの電荷に対して対称

W粒子とcクォークの随伴生成

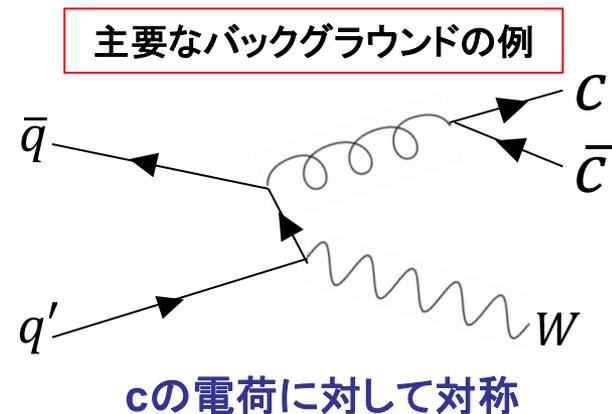
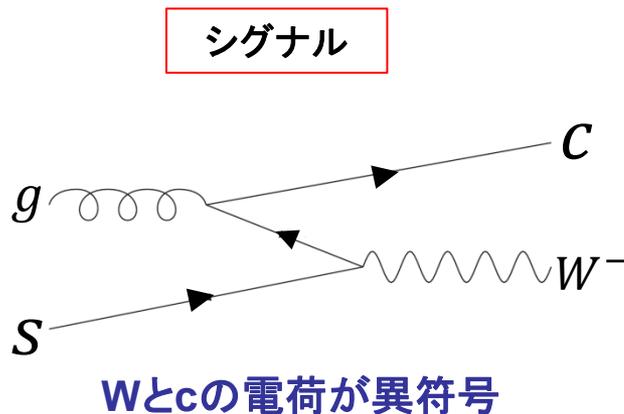
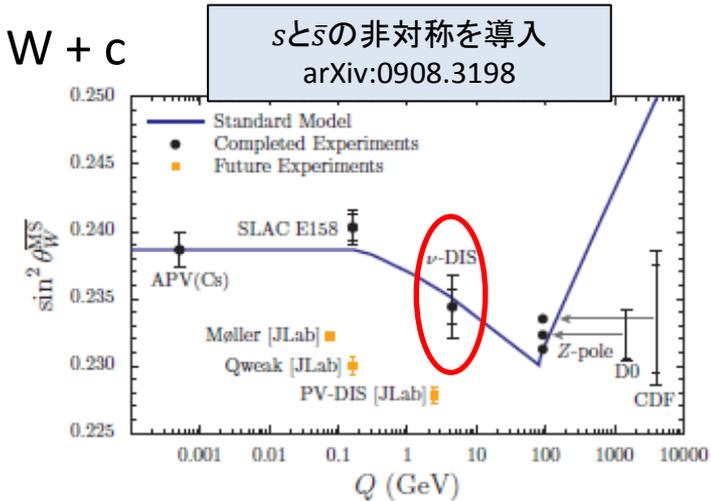
➤ W粒子とcクォークの随伴生成: $d/s/b + g \rightarrow W + c$

- CKM行列に従って90%以上はsクォーク由来
- 終状態のWとcの電荷が異符号という特徴
→ 陽子内のsクォークの分布に感度がある

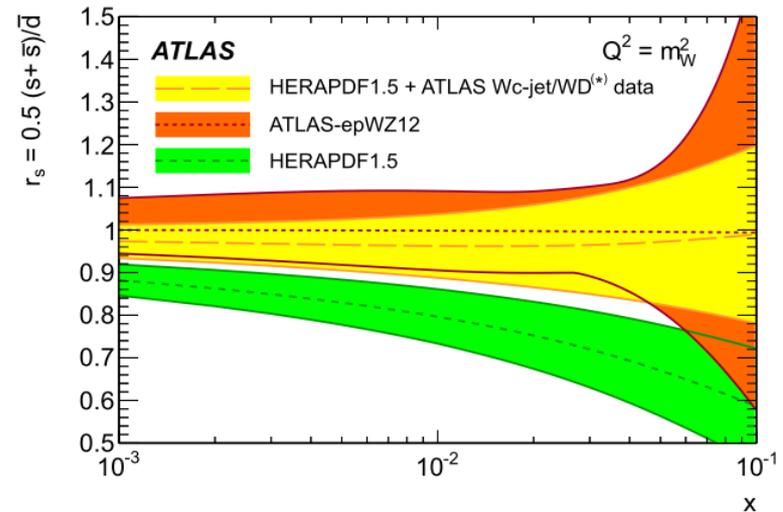
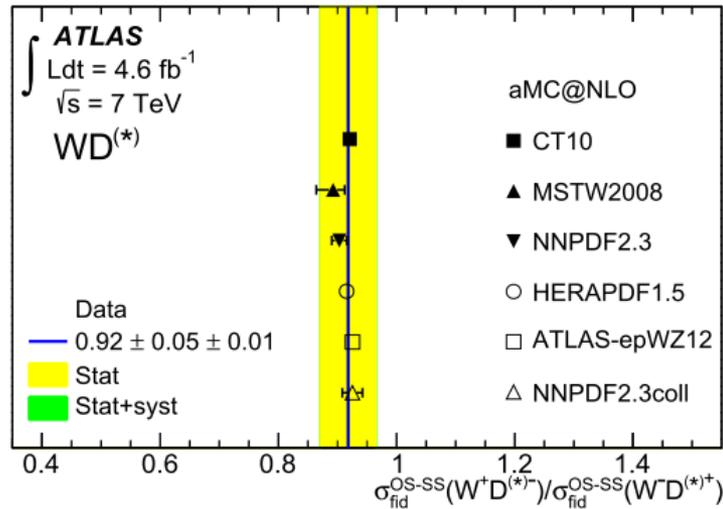
➤ SU(3)フレーバー対称性:

- s と \bar{s} の分布に違いがあるか
- s と \bar{d} の分布に違いがあるか

→ 低エネルギーニュートリノ実験などでのワインバーグ角の測定のずれが s と \bar{s} の分布を非対称にすることで説明できるという話もあり、直接実験的に差異を測定することが重要



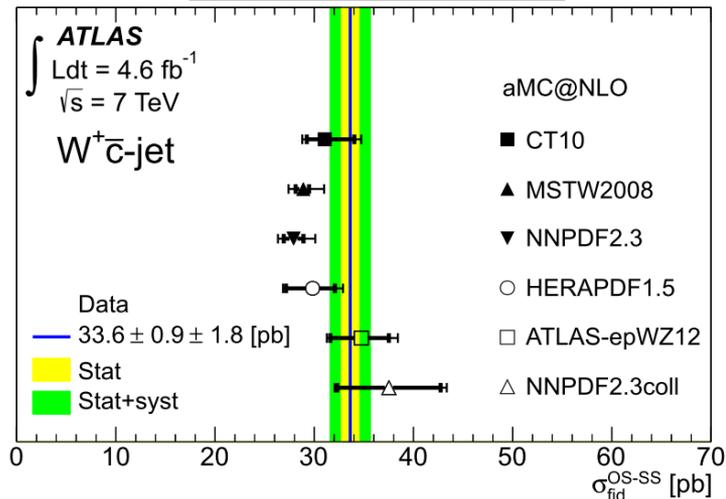
ATLASのこれまでの結果



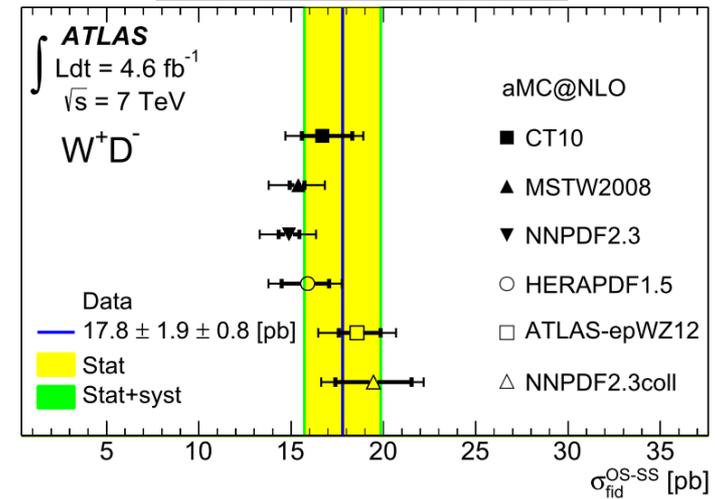
- 2011年に収集された重心系エネルギー7 TeVの衝突データ4.6 fb⁻¹を用いた測定結果を出版
 - Measurement of the production of a W boson in association with a charm quark in pp collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS detector [arXiv:1402.6263, JHEP05(2014)068]
- 断面積の比の形により系統誤差を抑えた結果、測定結果は統計誤差が支配的である
- 測定結果は数多くのPDF setとconsistent

cクォークの同定方法

c-jetとして同定



D中間子を再構成



ATLASでは2種類の同定方法を利用した解析が行われている

➤ charm-jet(c-jet)として同定

□ 物理過程によらずにc-jetを包括的に扱うため統計量が多い

□ light jetによる多量のバックグラウンド

➤ D中間子を再構成

□ 質量ピークを用いることにより少ないバックグラウンド

□ 再構成可能なくつかの崩壊過程に限られるため統計量が少ない

本解析はD中間子を用いた解析に2012年に収集された20 fb⁻¹のデータを加えることで統計誤差を減らすことが目標

W粒子生成事象の選別

W \rightarrow ev または W \rightarrow μ v を含む事象を選別し、それらの事象の中でD中間子の再構成を行う

➤ データ

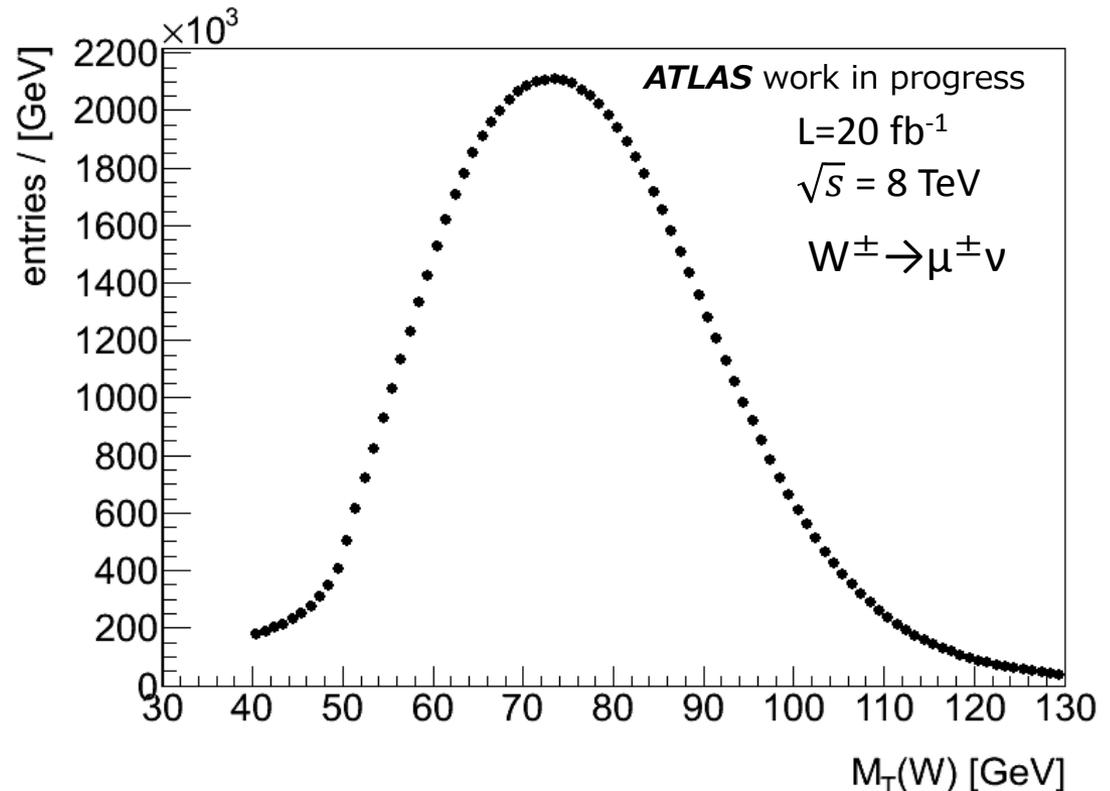
- 2012年度の運転で収集された重心系エネルギー8TeV, 約 20 fb⁻¹
- トリガー: p_T > 24 GeV の電子またはミューオン

➤ レプトンの選別

- p_T > 25 GeV
- 衝突点から来ている:
 - ✓ z0*sin θ < 0.5mm
 - ✓ d0/ σ (d0) < 3

➤ MissingET > 25 GeV

➤ m_T(W) > 40 GeV



D中間子の同定方法

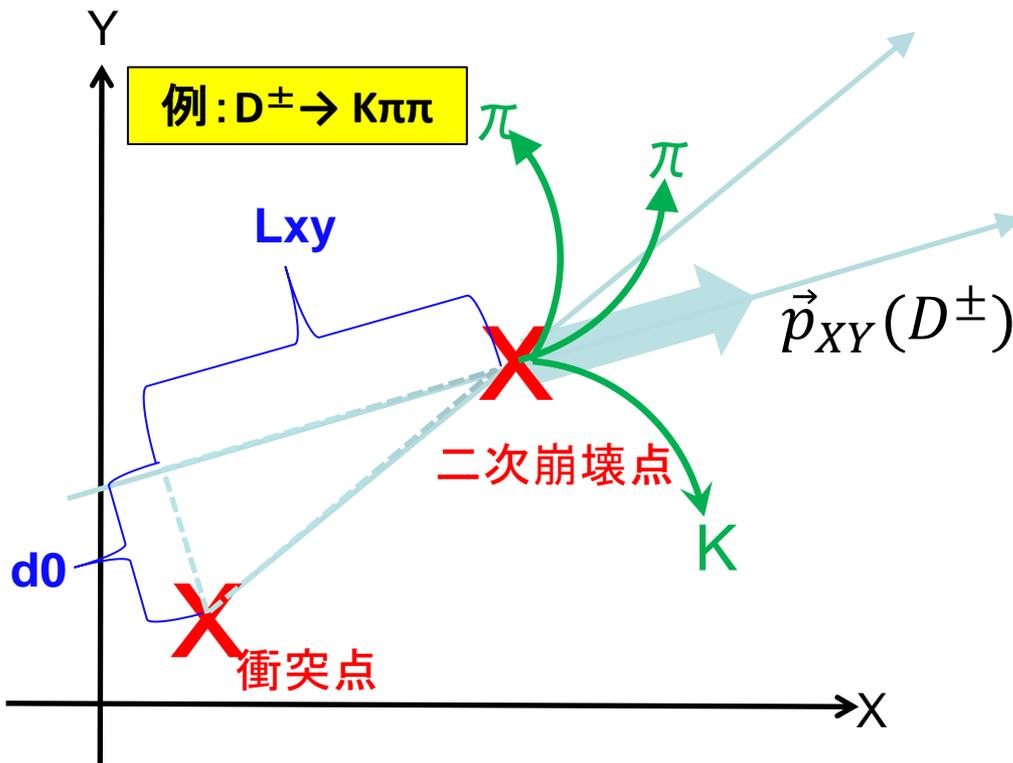
➤ 本解析では4つの崩壊過程を使用

□ $D^\pm \rightarrow K\pi\pi$

□ $D^{*\pm} \rightarrow D^0 \pi_{\text{slow}}$: $D^0 \rightarrow K\pi$, $D^0 \rightarrow K\pi\pi^0$, $D^0 \rightarrow K\pi\pi$

✓ $M_{D^*} - M_{D^0} = 145 \text{ MeV}$, $M_{\pi^\pm} = 139.5 \text{ MeV}$ → 非常にソフトな π が出る

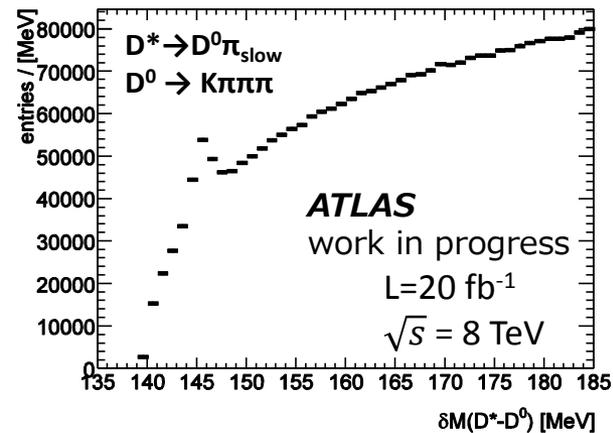
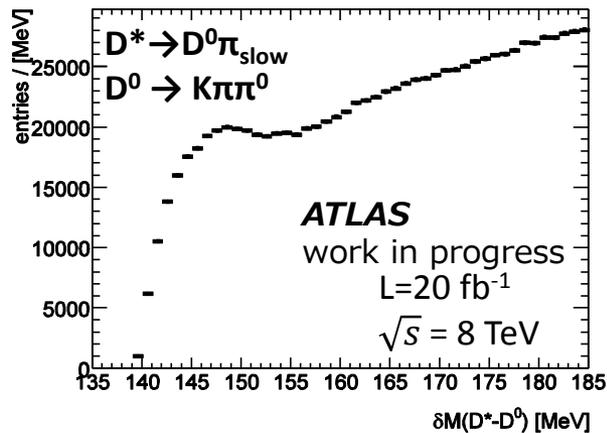
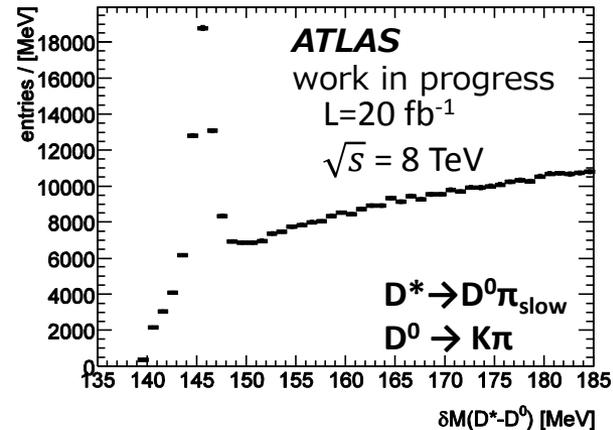
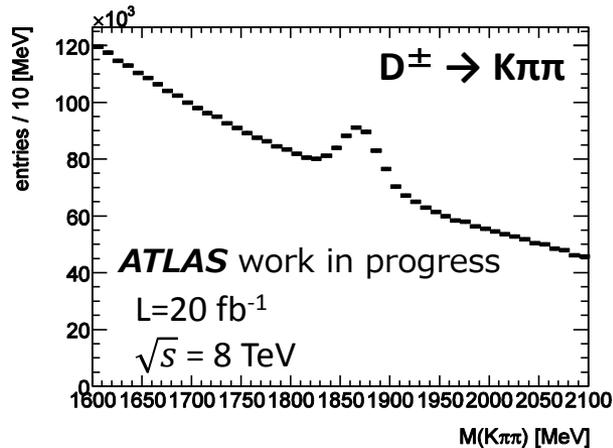
➤ $c\tau(D^\pm) = \sim 312 \mu\text{m}$, $c\tau(D^0) = \sim 123 \mu\text{m}$ → 二次崩壊点を作る



内部飛跡検出器で見つかった飛跡を利用して二次崩壊点を再構成する

- ① vertex fittingの χ^2 が十分小さい
 $\chi^2 < 5$
- ② D^\pm/D^0 が崩壊までに十分飛んだ
 $L_{xy} > 1 \text{ mm}$ for D^\pm
 $L_{xy} > 0 \text{ mm}$ for D^0
- ③ D^\pm/D^0 が衝突点から飛んで来ている
 $|d_0| < 1 \text{ mm}$
- ④ hard process由来のcharmをenhance
 $p_T(D) / \Sigma p_T^{dR < 0.4} > 0.5$ (D^0 のみ)
- ⑤ D^* の場合 D^0 の周り($dR < 0.3$)で正しい電荷の飛跡(π_{slow})を探す

D中間子の質量ピーク



- D±の質量ピーク及び、 $M(D^{*\pm}) - M(D^0)$ で π_{slow} に相当するピークが確認できる
- $D^0 \rightarrow K\pi\pi^0$ のモードでは π^0 の情報は使用せず

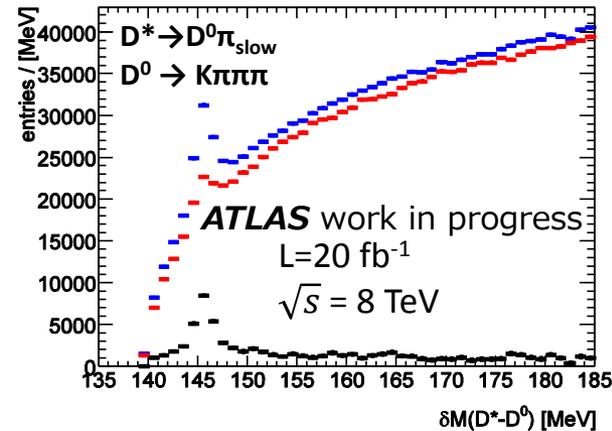
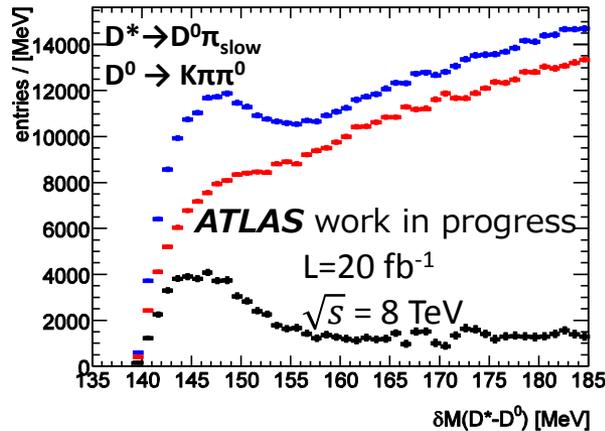
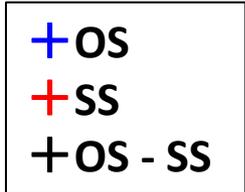
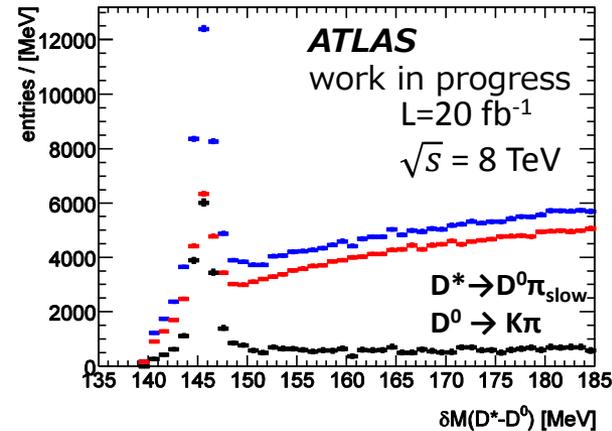
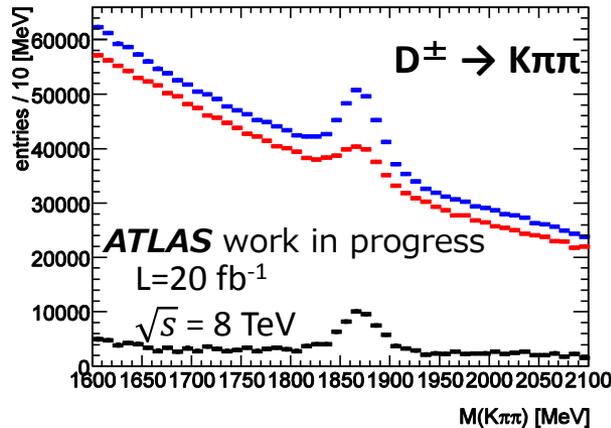
□ $M(D^0_{\text{PDG}}) - 40 \text{ MeV} < M(K\pi) < M(D^0_{\text{PDG}}) + 40 \text{ MeV} \rightarrow D^0 \rightarrow K\pi$

$M(D^0_{\text{PDG}}) = 1864.86 \text{ MeV}$

□ $1500 \text{ MeV} < M(K\pi) < 1700 \text{ MeV} \rightarrow D^0 \rightarrow K\pi\pi^0$

として扱っている

W粒子とD中間子の電荷の関係



- W粒子とD中間子の電荷が異符号の組み合わせが同符号の場合より多いことが確認できる
- OS-SSでサイドバンドに残るバックグラウンドはlightクォークによるもの

質量ピークのフィット

- $B^0 \rightarrow \mu D^{(*)}$ のsemi leptonic decayをコントロールサンプルとして使用し、D中間子の質量ピークの形状のテンプレートを作成してフィットを行った

$B^0 \rightarrow \mu D^{(*)}$ の選別

W $\rightarrow \mu\nu$ をveto:

❑ MissingET < 25 GeV

❑ $m_T(\mu\nu) < 40$ GeV

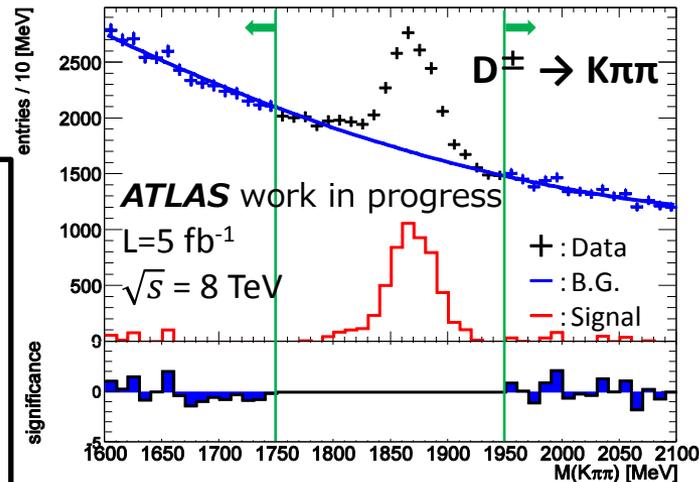
B $\rightarrow \mu D^{(*)}$ の再構成

❑ $p_T(\mu) > 18$ GeV

❑ μ と $D^{(*)}$ の電荷が異符号

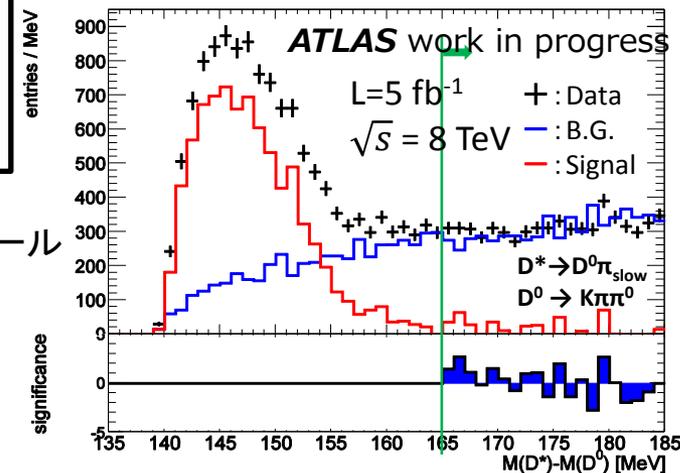
❑ $dR(\mu, D^{(*)}) < 1.0$

❑ $m(\mu, D^{(*)}) < 5$ GeV



$D^\pm \rightarrow K\pi\pi$:

バックグラウンドは二次関数でフィット



$D^{*\pm} \rightarrow D^0\pi_{\text{slow}}$

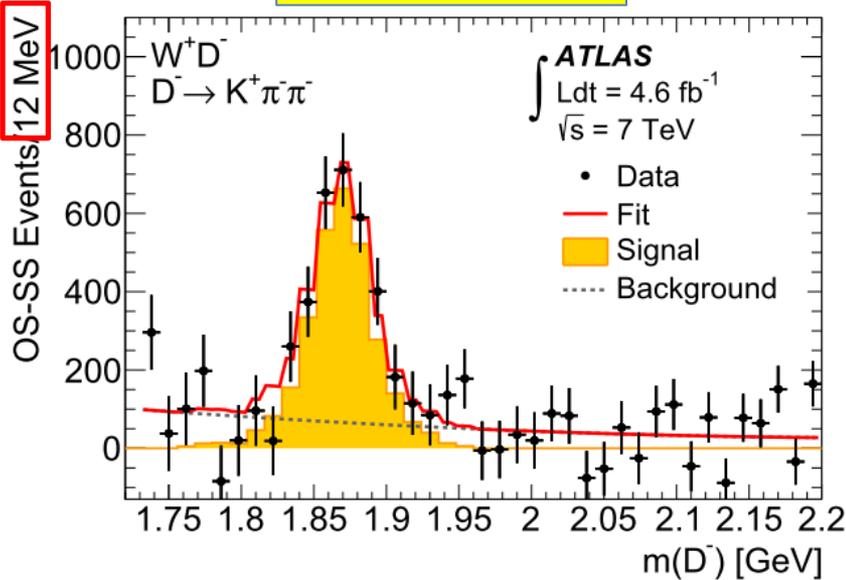
$D^0 \rightarrow K\pi\pi^0$

バックグラウンドは正しくない電荷の飛跡を π_{slow} と仮定して D^* を組んだ場合の分布を使用

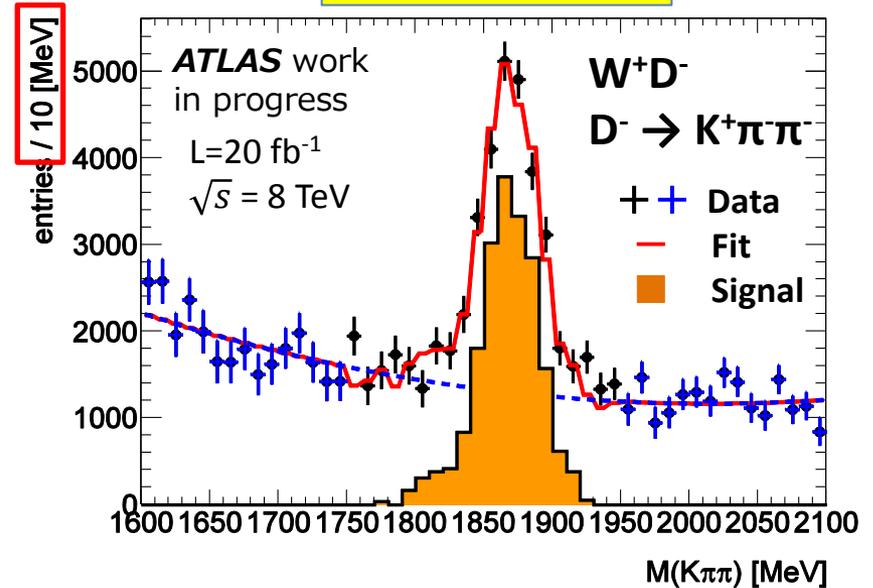
得られたテンプレートを使用して実際にW + $D^{(*)}$ の事象のOS-SS後の分布に対してフィットを行った

フィット結果の例(D[±])

7 TeV, 4.6 fb⁻¹



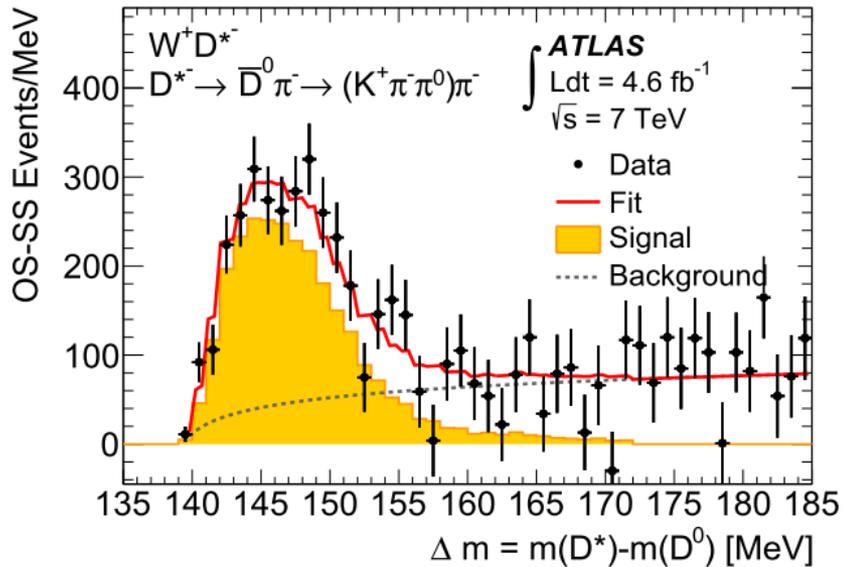
8 TeV, 20 fb⁻¹



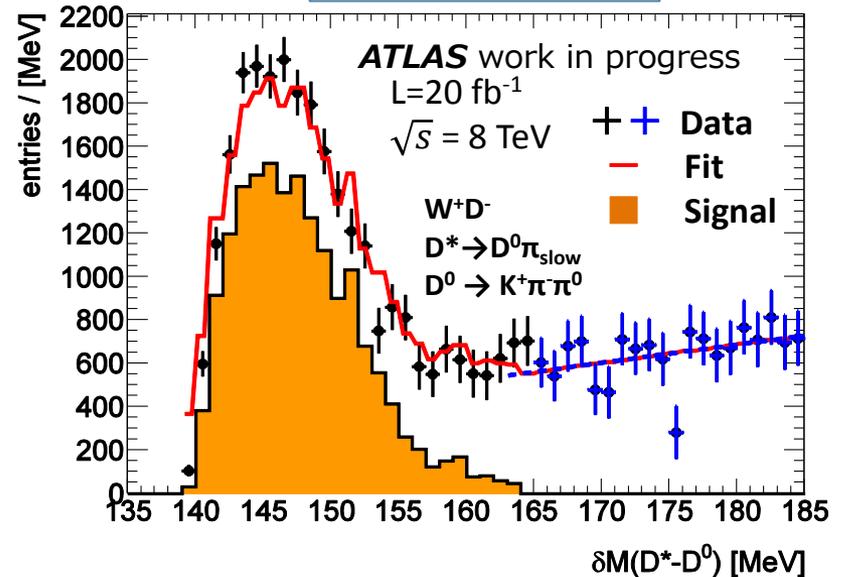
- B⁰ → μD[±]のコントロールサンプルを用いたテンプレートで質量ピークがフィットできている
 - バックグラウンドは二次関数を使用
- 積分ルミノシティの増加に伴って信号の増加が確認できた
 - 約5倍の信号
- S/Nが7 TeVのデータに比べ悪化している原因は現在調査中

フィット結果の例 ($D^* \rightarrow (K\pi\pi^0)\pi_s$)

7 TeV, 4.6 fb⁻¹



8 TeV, 20 fb⁻¹



- $B^0 \rightarrow \mu D^\pm$ のコントロールサンプルを用いたテンプレートで質量ピークがフィットできている
 - バックグラウンドは対数関数を使用
 - 積分ルミノシティの増加に伴ってシグナルの増加が確認できた
 - 約5倍の信号
- 他の崩壊モードでも同様ルミノシティの増加に従ってシグナルの増加が確認できた

まとめ

- W粒子とcクォークの随伴生成事象は陽子内のsクォークの分布に感度がある
- 2012年にATLAS検出器で収集された約 20 fb^{-1} のデータを用いてW粒子とD中間子の随伴生成事象の同定を行った
 - 4つの崩壊モードでD中間子の質量ピークを確認した
 - $B \rightarrow \mu D^{(*)}$ のコントロールサンプルを用いたテンプレートフィッティングを行い、各崩壊モードで 4.6 fb^{-1} の結果に比べ積分ルミノシティの増加に応じたyieldの増加を確認した

今後

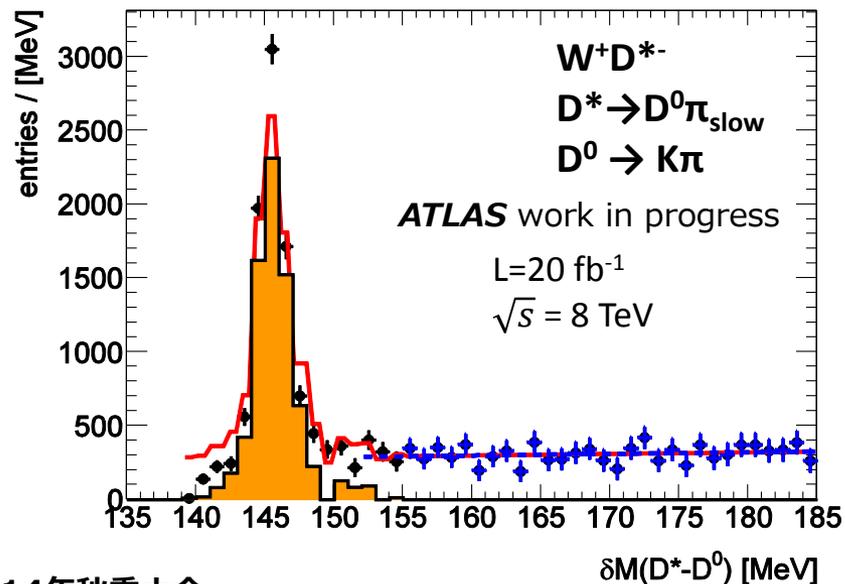
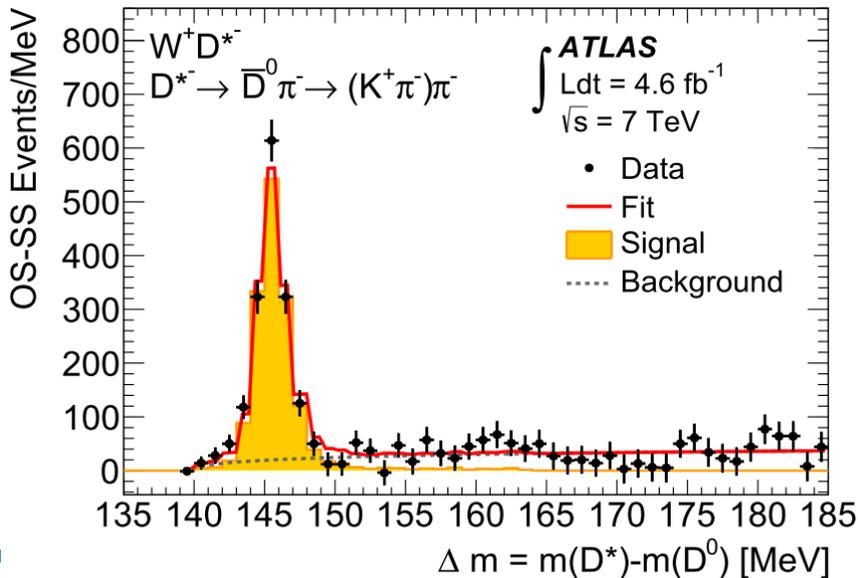
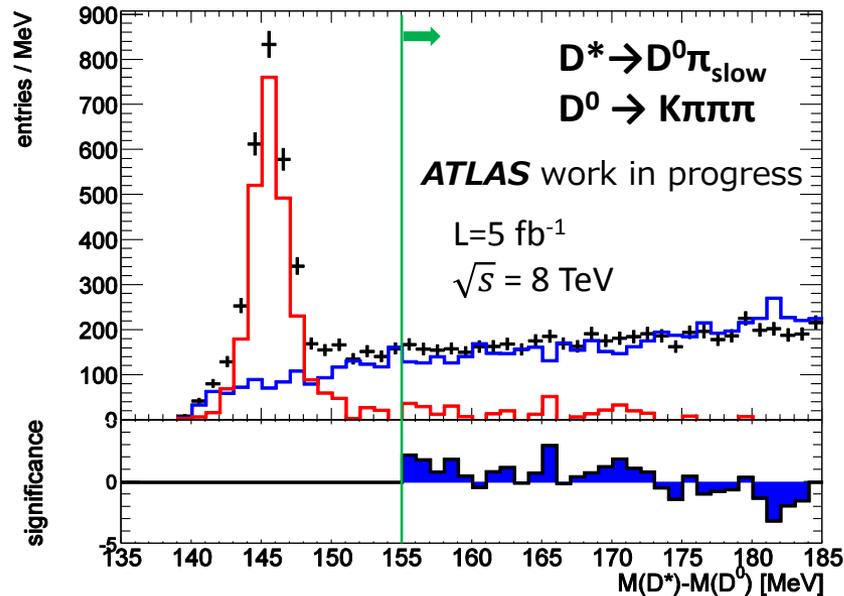
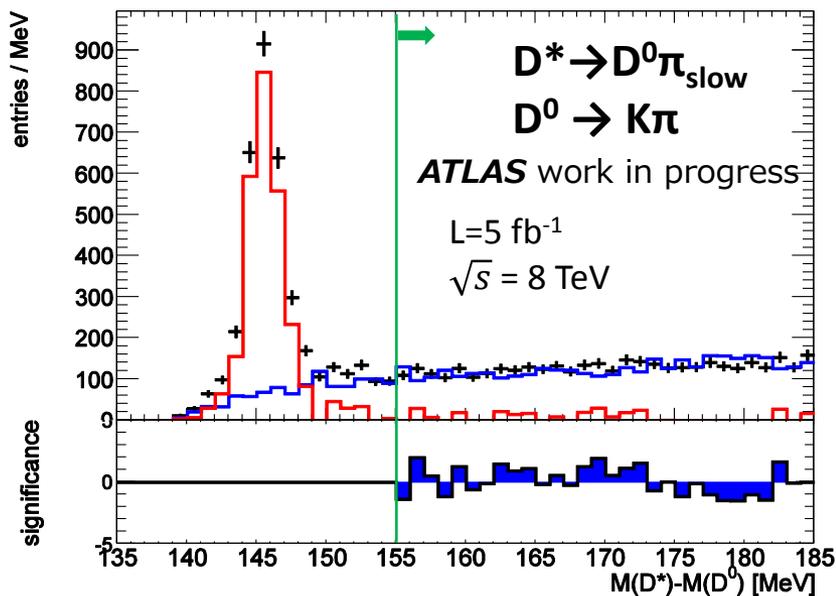
- S/Nが悪化している原因の調査
- 系統誤差の見積もり
- MCシミュレーションを用いて検出器レベルの情報から生成粒子の情報にUnfoldを行い、断面積および微分断面積の導出を行う

BackUp

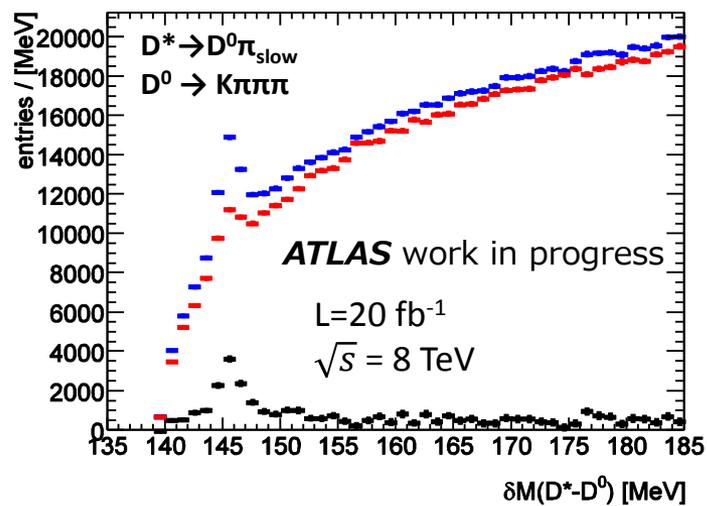
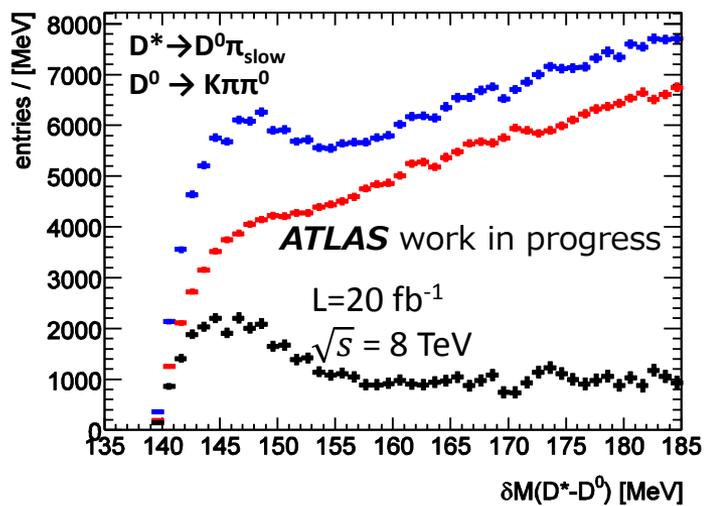
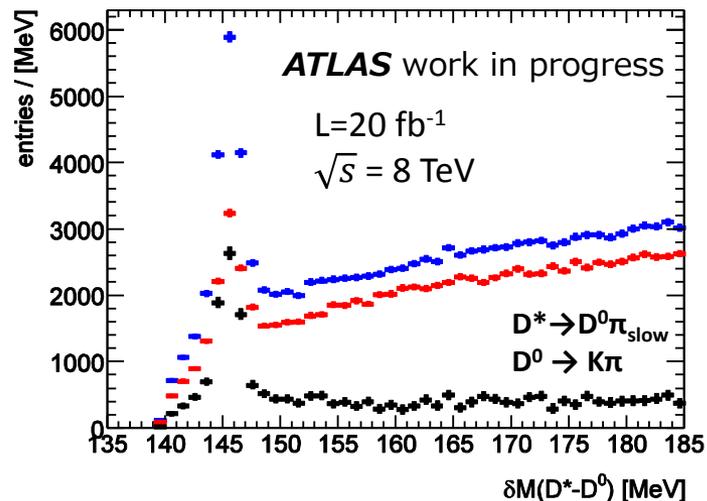
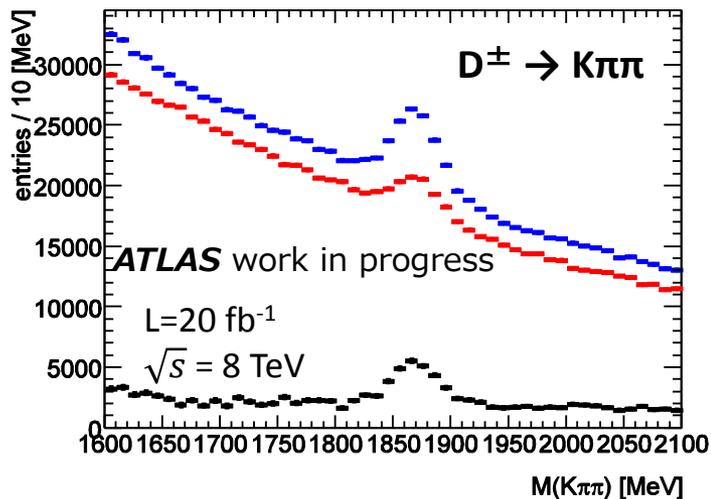
崩壊比(from PDG)

崩壊モード	分岐比
$D^\pm \rightarrow K\pi\pi$	$9.13 \pm 0.19\%$
$D^{*\pm} \rightarrow D^0\pi_s$	$67.7 \pm 0.5 \%$
$D^0 \rightarrow K\pi$	$3.88 \pm 0.05 \%$
$D^0 \rightarrow K\pi\pi^0$	$13.9 \pm 0.5 \%$
$D^0 \rightarrow K\pi\pi\pi$	$8.07^{+0.21}_{-0.19} \%$

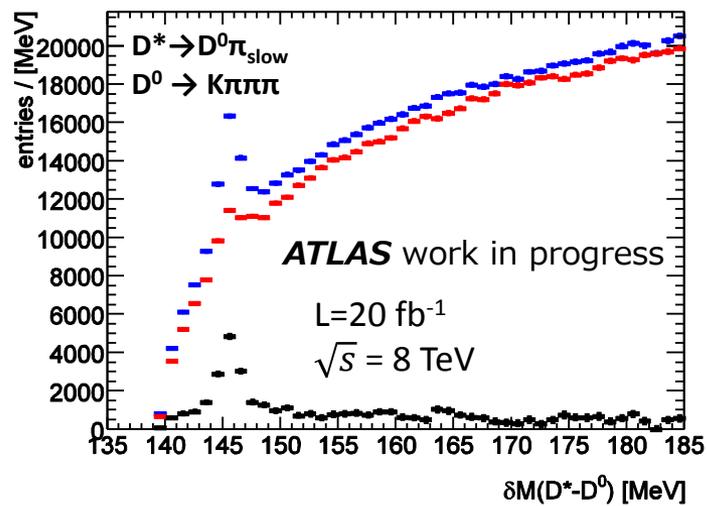
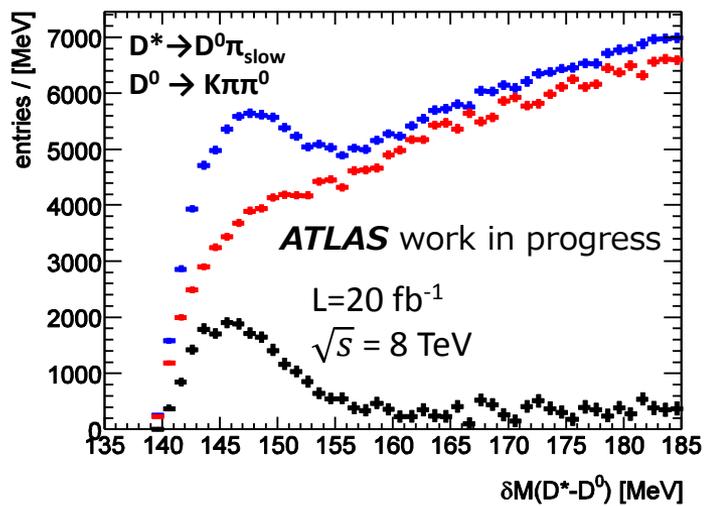
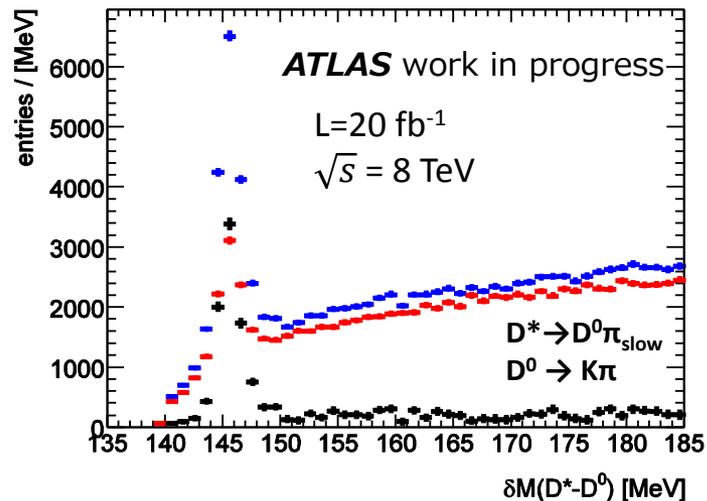
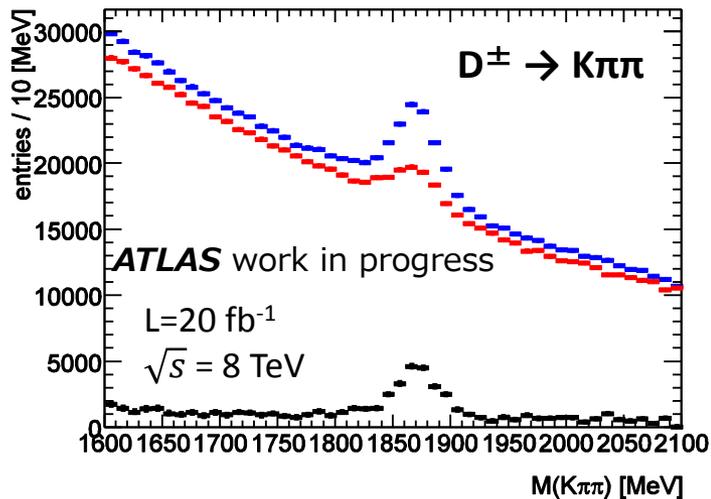
質量ピークのテンプレート



$W \rightarrow e\nu$



$W \rightarrow \mu\nu$



D中間子の選別

- Reconstruction of 4 D meson decay channel
 - ❑ $D^+ \rightarrow K\pi\pi$
 - ❑ $D^* \rightarrow D^0\pi_s \rightarrow (K\pi)\pi_s$
 - ❑ $D^* \rightarrow D^0\pi_s \rightarrow (K\pi\pi^0)\pi_s$
 - ❑ $D^* \rightarrow D^0\pi_s \rightarrow (K\pi\pi\pi)\pi_s$
- Common track selection
 - ❑ ID hits quality, impact parameters cut
 - ❑ Exclude tracks from W or Z
 - ❑ $p_T > 800$ MeV for D^+ , $p_T > 500$ MeV for D^0 , $p_T > 400$ MeV for π_s
- Apply vertex fitting from charged tracks with correct charge combination in $dR < 0.6$
 - ❑ $\chi^2_{\text{vtx}} < 5$, $L_{xy} > 0/1$ mm for D^0 / D^+ , $|d_0| < 1$ mm
 - ❑ Hard fragmentation cleaning: $p_T(D) / \sum p_T^{dR < 0.4} > 0.5$ for D^0
 - ❑ $p_T(D) > 8$ GeV
 - ❑ Remove reflection from D^* and D_s for D^+
- Add π_s for D^0 candidates
 - ❑ $|d_0| < 1$ mm, $dR(D^0, \pi_s) < 0.3$ mm