

# LHC-ATLAS実験における $lvqq$ 終状態を用いた高質量 $W'$ 共鳴状態の探索

東大理,東大素セ<sup>A</sup>

西澤佑一,寺師弘二<sup>A</sup>

森永真央,浅井祥仁

日本物理学会 秋季大会

2014/9/19 佐賀大学

# 概要

- 物理的背景
- Jetのアルゴリズムについて
- MCサンプル
- 解析
- 結果

# 物理的背景

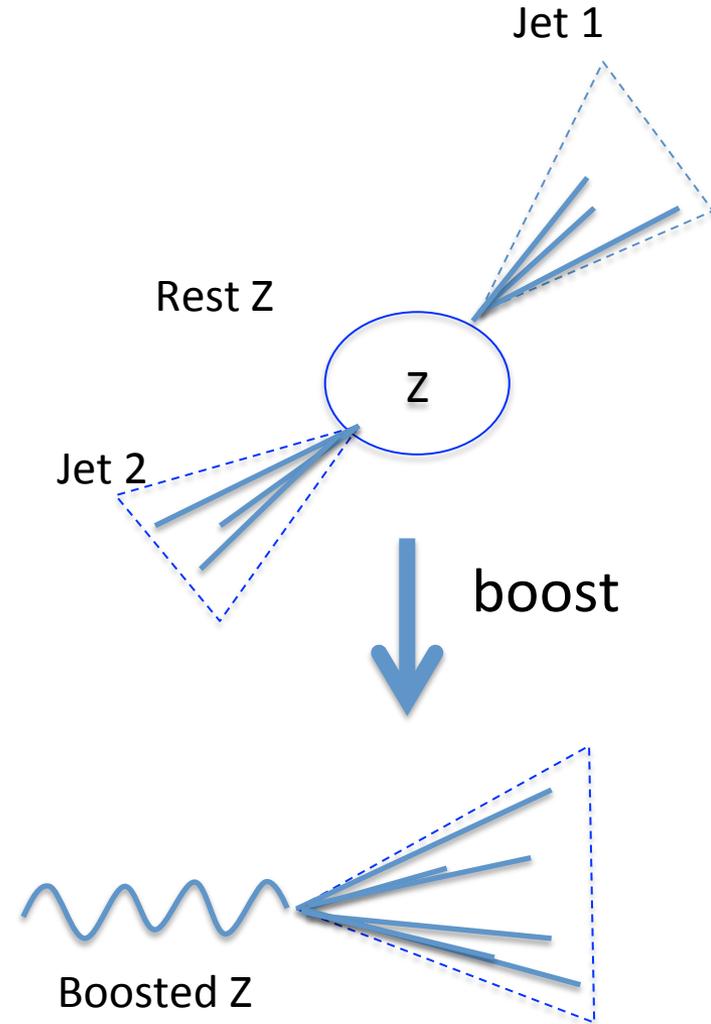
W'の崩壊

$$W' \rightarrow W + Z \rightarrow lvqq$$

において、W'共鳴の質量が大きいとき、崩壊生成物のW/Zはブーストされている。

Zがhadronic崩壊して出たクォークは、Zの静止系では二本のジェットを作る。しかし、Zがブーストされていると2本の距離が近くなり、1本のジェットとして観測される。—(右図)

- このような場合に、大きな半径のジェット (Fat jet) を使って、その内部構造を見ることは、hadronic崩壊したZの判別に有効である。



# JETのアルゴリズムについて

現在標準的に使われているAnti-Ktアルゴリズムと、大きな半径のジェット(Fat jet)を使ったC/A+BDRS-Aアルゴリズムを用いた場合の、シグナルの発見感度の比較が主題である。

よって、

- クラスタリング  
Anti-Kt やCambridge Aachen(C/A) といった、  
ジェットを構成するためのアルゴリズム
- BDRS-A  
C/Aジェットに、ソフトな成分を取り除くグルーミングという処理を施すアルゴリズム

について説明する。

# ジェットのクラスタリング

## 手順

Step1. 全ての粒子をジェットのもとのclusterと考え、cluster listを作る。

Step2.  
全てのcluster listの組み合わせにおいて  
右に定義されたsplitting scaleを計算して、  
splitting scaleが最小の組み合わせの  
clusterを統合する。

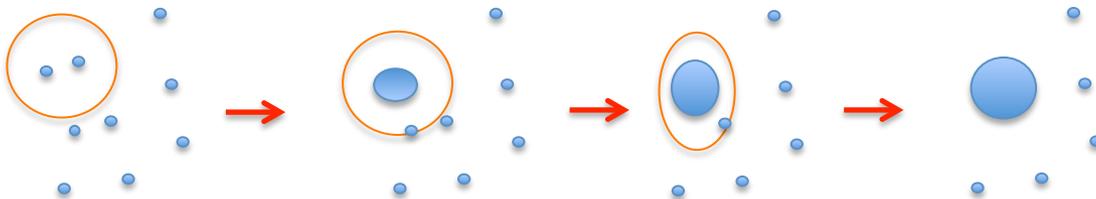
## Splitting scale の定義

|                 | Anti -Kt  | C/A                                    |
|-----------------|---|--|
| cluster-cluster | $d_{ij} = \min(k_{T_i}^{-2}, k_{T_j}^{-2}) \frac{\Delta R_{ij}^2}{R^2}$ | $d_{ij} = \frac{\Delta R_{ij}^2}{R^2}$ |

Step3. Cluster listを更新し、繰り返す。

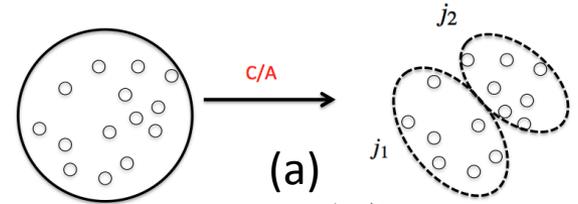
## Splitting scaleの定義より

Anti-Kt はPtの大きい成分から統合し、  
C/Aでは距離的に近い成分から統合  
していく。



# BDRS-A

Step 1. C/Aでクラスタリングした後、クラスタリングを一つ逆にたどって二つのサブジェットに分解する。-(a)



Step 2. 二つのサブジェットに関して、以下に示す momentum balance がcutを満たすならば、分解前のジェットを選びStep4へ。

## Momentum balance

定義

$$\sqrt{y_f} = \frac{\min(p_{T1}, p_{T2})}{m_{12}} \Delta R_{12}$$

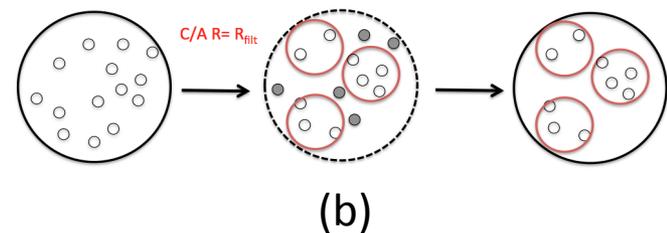
カット

$$\sqrt{y_f} > 0.2$$

このカットは、ジェットの中に二つのhardな構造があることを要求している。

Step 3. Step2で、カットを満たすものが存在しなければ、一番質量の大きなサブジェットを選び、上の手順を繰り返す。

Step 4. Step2で選んだサブジェットのなかで、C/Aジェット( $R=0.3$ )を最大3つまで作り、それ以外を排除する-(b)



# MCサンプルについて

# MCサンプル

MCサンプル

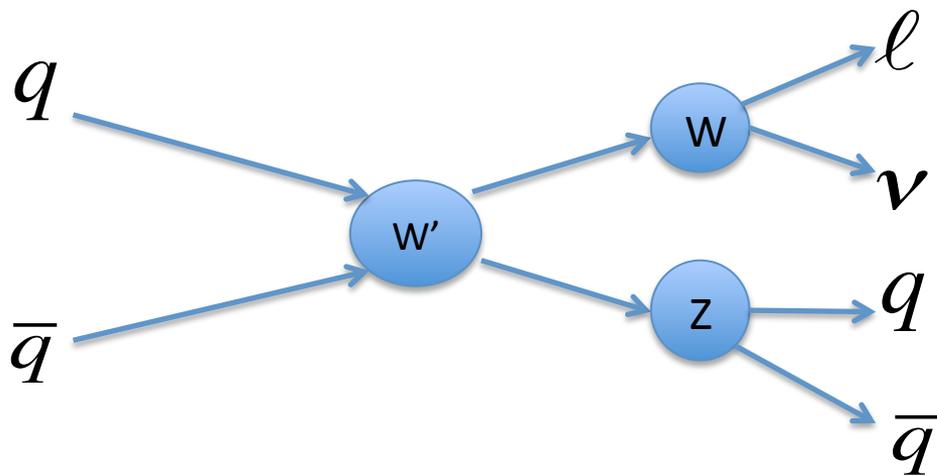
14TeVのSignalとbackgroundを用意し、解析に用いた。

それぞれのサンプルのルミノシティを  $10 \text{ fb}^{-1}$  に統一して比較に用いた。

また、今回はMuon channelのみの解析を行った。

Pileup

$\mu = 40$



Signal sample

Drell Yan process

$$W' \rightarrow W + Z \rightarrow l\nu q\bar{q}$$

$W'$ の質量が500GeV,1TeV,2TeVの三種類のサンプル

Background sample

- $W + \text{jet} \quad ( W \rightarrow \mu\nu )$
- $Z + \text{jet} \quad ( Z \rightarrow \mu\mu )$
- $t\bar{t}$

# 解析

## 目的

バックグラウンドとシグナル両方の $W'$ の質量分布を作り、Anti-Kt  $R=0.4$  および、C/A+BDRS-A  $R=1.2$ を用いた場合のシグナルの発見感度について調べる。

## $W'$ 質量分布構成方法

- $W'$ の質量分布は終状態  $lvqq$  の4元運動量から再構成する。  
ただし、METについては横運動量の成分のみしかわからないので  
→  $W$ の質量を仮定してニュートリノの $P_z, E$ をもとめた。

# Event Selection

|                  | Anti – Kt R=0.4   | C/A R=1.2 BDRS-A  |
|------------------|---|---|
| Number of lepton | Number of muon ==1 (Pt>30GeV)   |   |
| Jet Pt           | <p>1. 一本以上のジェットを持つ<br/>かつ Leading jet に関し Pt&gt;200GeV</p> <p>上を満たさなければ</p> <p>2. 二本以上のジェットを持つ<br/>かつ<br/>Leading jet 二本に関し Pt&gt;50GeV</p> | <p>一本以上のジェットを持つ<br/>かつ<br/>Leading jet が Pt&gt;200GeV</p> |
| Jet mass         | ジェットの不変質量が70GeV以上110GeV以内   |   |
| Momentum balance | なし  | Momentum balance >0.45                                    |

# バックグラウンドにおけるJetの質量分布

ジェット質量のcut

[70GeV < jet mass < 110GeV]

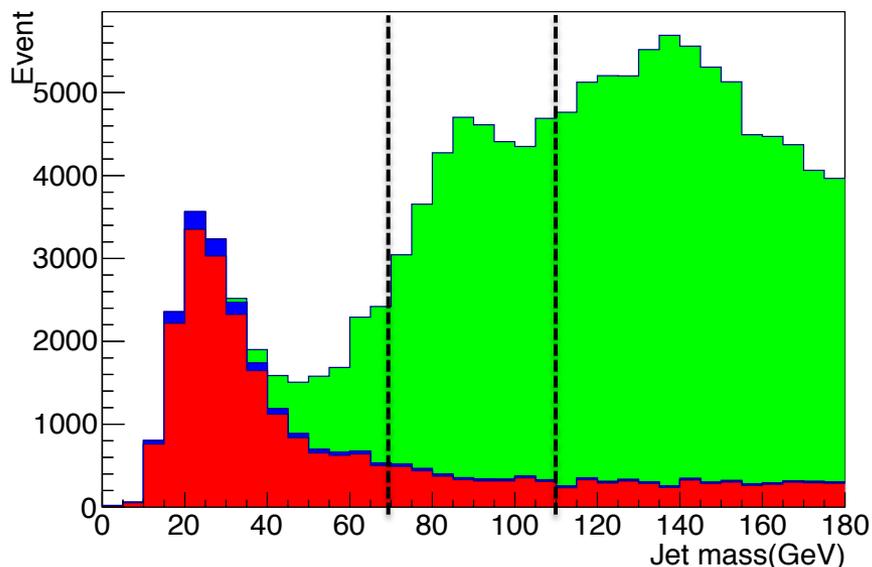
をかける前のJetの質量分布を示す。

$\int L dt = 10 fb^{-1}$  緑: ttbar  
 $\sqrt{s} = 14 TeV$  赤: W+jet  
青: Z+jet

- 70GeV < jet mass < 110GeV内のイベント数をみると、おおよそ同じ程度のバックグラウンドが残ることがわかる。

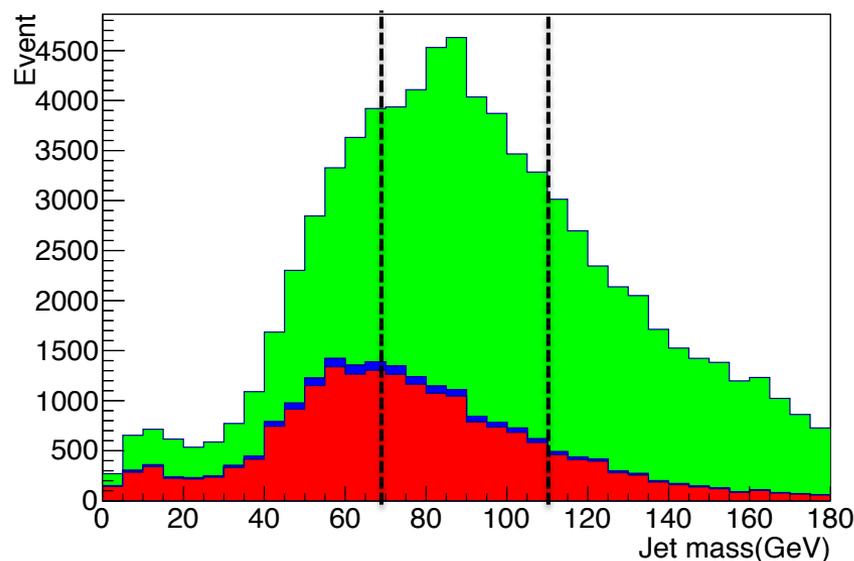
## Anti-Kt

Background Anti-Kt



## C/A +BDRS-A

Background BDRS-A



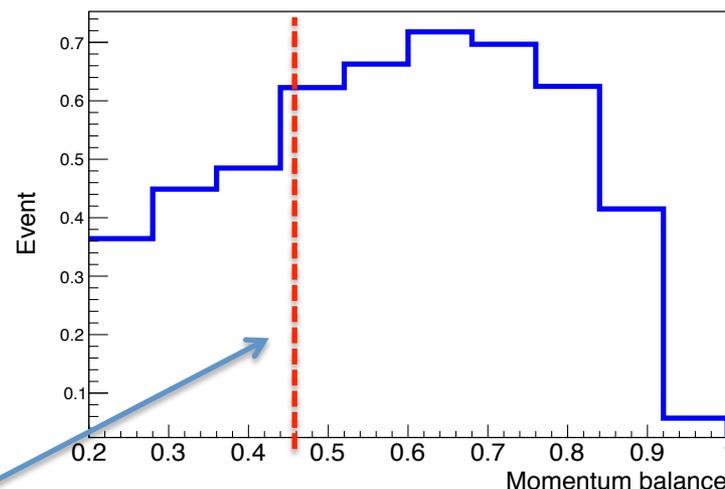
# Momentum balance

$$\int L dt = 10 fb^{-1}$$

$$\sqrt{s} = 14 TeV$$

シグナル -2TeV-

BDRS-A 2TeV-signal



Momentum balanceのカットをかける前のシグナル、バックグラウンドそれぞれのmomentum balanceの分布を示す。

Momentum balanceの定義

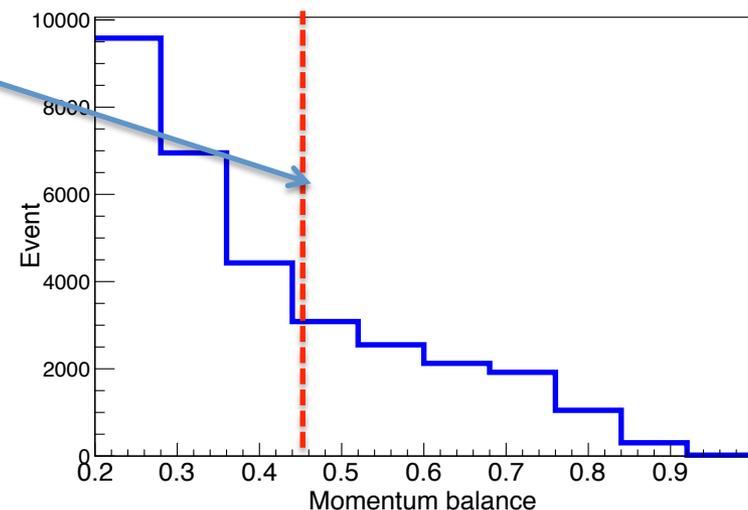
$$\sqrt{y_f} = \frac{\min(p_{T1}, p_{T2})}{m_{12}} \Delta R_{12}$$

赤線はMomentum balance=0.45 のカットを表す。

Momentum balance のカットでバックグラウンドの3分の2程度が落ちる。

バックグラウンド

Background BDRS-A



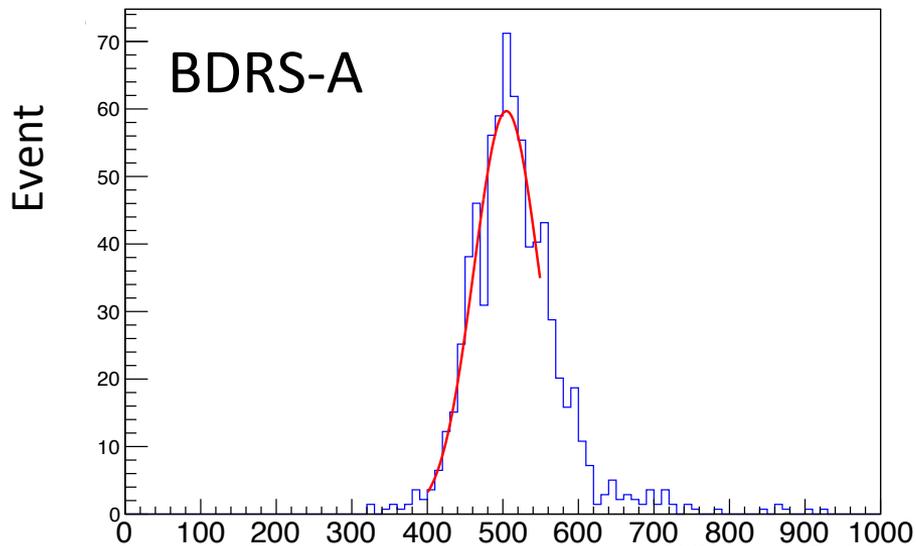
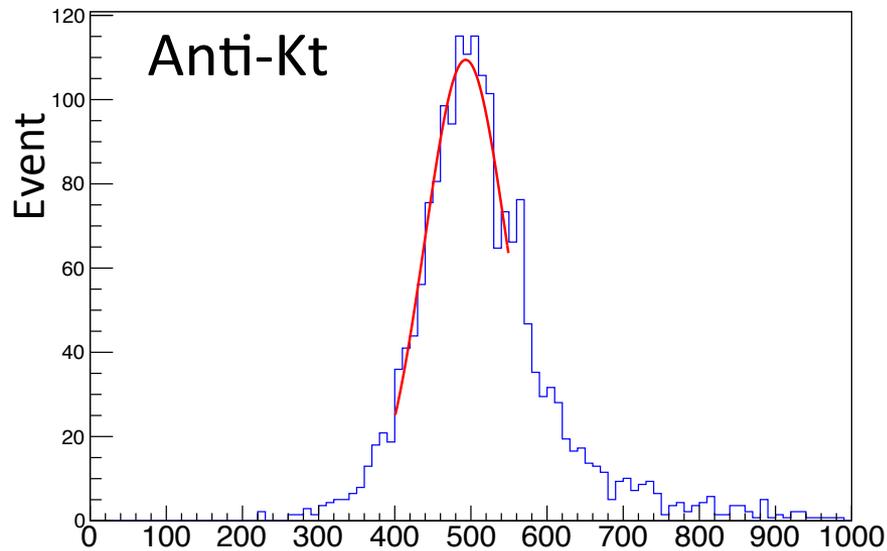
# シグナル

$$\int L dt = 10 fb^{-1}$$

$$\sqrt{s} = 14 TeV$$

Anti-Kt 500GeV-Signal

BDRS-A 500GeV-Signal



W' mass(GeV)

W' mass(GeV)

| Fit 結果               | Signal-500GeV- |          | Signal-1TeV- |          | Signal-2TeV- |          |
|----------------------|----------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|
|                      | mean           | $\sigma$ | mean         | $\sigma$ | mean         | $\sigma$ |
| AntiKt<br>R=0.4      | 490            | 50       | 960          | 93       | 1990         | 110      |
| C/A R=1.2<br>+BDRS-A | 500            | 40       | 990          | 68       | 1950         | 110      |

# アルゴリズムの評価方法

1. それぞれのsignalのpeak周り $2\sigma$ (ガウシアンを仮定)の範囲を求める。
2. その範囲に入っているSignal, BackgroundのEvent数をそれぞれ求めて、significanceを求める。

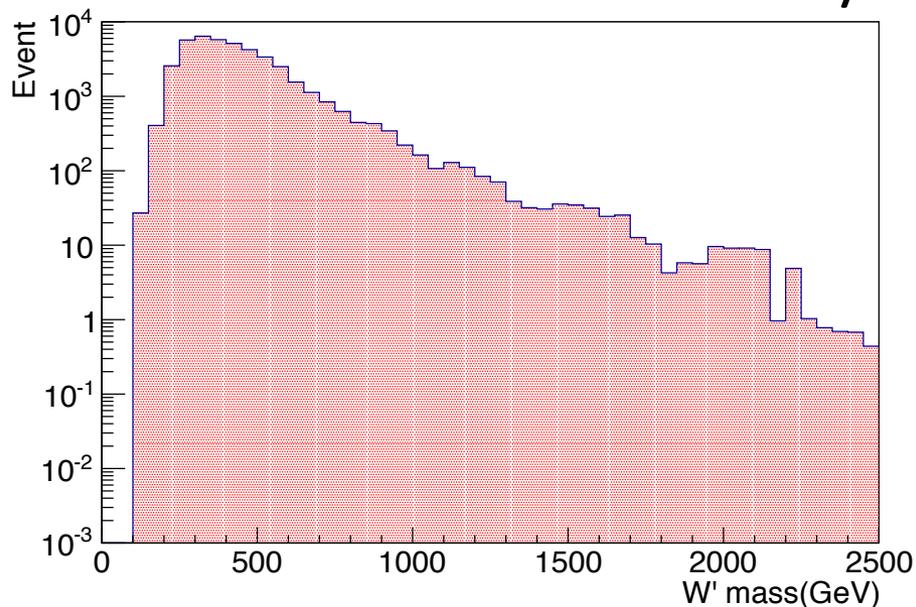
$$\int L dt = 10 fb^{-1}$$

$$\sqrt{s} = 14 TeV$$

(下) Backgroundの $W'$ の質量分布

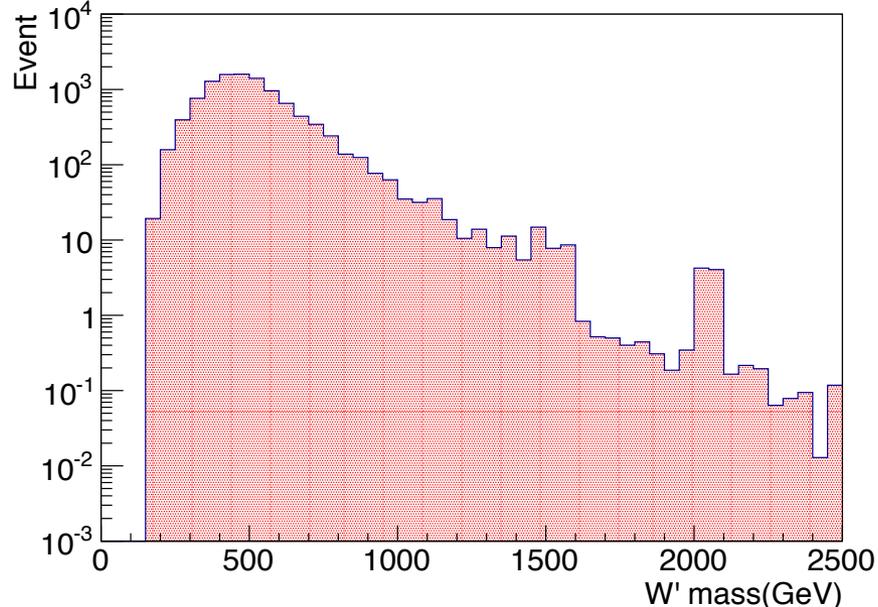
Anti-Kt

Background Anti-Kt



C/A +BDRS-A

Background BDRS-A



# カットフロー

各カットをかけた後にどれくらいイベントが残るかをbackground 2TeVのsignalそれぞれについて示した。

## カット

- Jet mass cut  
70GeV < jet mass < 110GeV
- MB cut  
momentum balance > 0.45

$$\sqrt{s} = 14 \text{TeV}$$
$$\int L dt = 10 \text{fb}^{-1}$$

\*全質量領域のイベント数

|              | Anti-Kt R=0.4 |             | C/A R=1.2+BDRS-A |             |
|--------------|---------------|-------------|------------------|-------------|
|              | Background    | 2TeV-signal | Background       | 2TeV-signal |
| Jet Pt       | 240000        | 7.7         | 81000            | 7.5         |
| Jet mass cut | 37000         | 4.6         | 31000            | 4.8         |
| MB cut       |               | -----       | 10000            | 3.5         |

# 結果

# 期待されるsignificance

$W'$  mass=2TeVのシグナルサンプル

| Signal-2TeV-        | Event in $2\sigma$ |        | $S/\sqrt{B}$ |
|---------------------|--------------------|--------|--------------|
|                     | BG                 | signal |              |
| AntiKt R=0.4        | 63                 | 3.3    | 0.41         |
| C/A R=1.2<br>BDRS-A | 10                 | 2.7    | 0.85         |



$W'$  mass=2TeVのシグナルサンプルについて、significanceがC/A+BDRS-Aの方が大きくなっている。  
 $W'$  mass=2TeVの高質量 $W'$ に関して、C/A+BDRS-Aの方が、Anti-Ktよりもシグナル発見感度よい。

# まとめ

高質量 $W'$ の探索において、C/A+BDRS-Aを用いることで、シグナルの発見感度を改善することが出来る。

## 今後の研究

- Run2 において14 TeVでのC/A+BDRS-Aを使った場合の $W' \rightarrow WZ \rightarrow lvqq$  の発見感度の研究
- ベクターボソン散乱過程測定への応用

**BACKUP**

# カットフロー

各カットをかけた後にどれくらいイベントが残るか  
をbackground signalそれぞれについて示した。

- Jet mass cut  
70GeV < jet mass < 110GeV
- Yf cut  
momentum balance > 0.45

| Background   | Anti-Kt | BDRS-A  |
|--------------|---------|---------|
| Jet Pt       | 2.4e+05 | 8.1e+04 |
| Jet mass cut | 3.7e+04 | 3.1e+04 |
| Yf cut       | ----    | 1.0e+04 |

$$\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$$

$$\int L dt = 10 \text{ fb}^{-1}$$

| signal       | Anti-Kt |         |       | BDRS-A  |         |      |
|--------------|---------|---------|-------|---------|---------|------|
|              | 500GeV  | 1TeV    | 2TeV  | 500GeV  | 1TeV    | 2TeV |
| Jet Pt       | 1.8e+03 | 1.7e+02 | 7.7   | 1.2e+03 | 1.5e+02 | 7.5  |
| Jet mass cut | 1.2e+03 | 1.1e+02 | 4.6   | 7.5e+02 | 91      | 4.8  |
| Yf cut       | -----   | -----   | ----- | 4.3e+02 | 55      | 3.5  |

# 期待されるsignificance

| W' mass              | 500Gev  |         | 1Tev    |        | 2Tev |        |
|----------------------|---------|---------|---------|--------|------|--------|
|                      | BG      | signal  | BG      | signal | BG   | signal |
| AntiKt R=0.4         | 1.5e+04 | 1.0e+03 | 1.7e+03 | 77     | 63   | 3.3    |
| C/A R=1.2<br>+BDRS-A | 4.5e+03 | 3.8e+02 | 3.4e+01 | 45     | 10   | 2.7    |



significance =  $S/\sqrt{B}$

| significance         | 500Gev | 1Tev | 2Tev |
|----------------------|--------|------|------|
| AntiKt R=0.4         | 8.2    | 1.8  | 0.41 |
| C/A R=1.2<br>+BDRS-A | 5.6    | 2.4  | 0.85 |

低エネルギーではAnti-Ktのほうが感度がいいことがわかる。  
 しかし、W'の質量が大きくなるにつれ、BDRS-Aの感度の方が良くなっていく。