

Sub-jet 解析 performance と KKグルオンへの応用

実験理論共同研究会「LHC が切り拓く新しい物理」

4月2日

東京大学素粒子物理国際研究センター

磯部忠昭

Contents

- Sub-jet解析の動機
- MCサンプルを使ったsub-jet解析法のテスト
- KK gluon探索へのsub-jet解析の適用
- Non-isolated muonを使ったhigh-pT top ID
- まとめ、展望



素粒子物理国際研究センター
International Center for Elementary Particle Physics

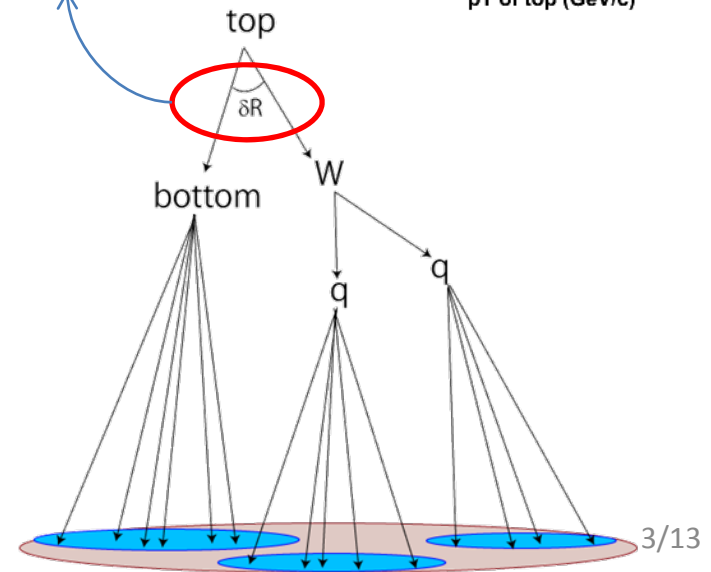
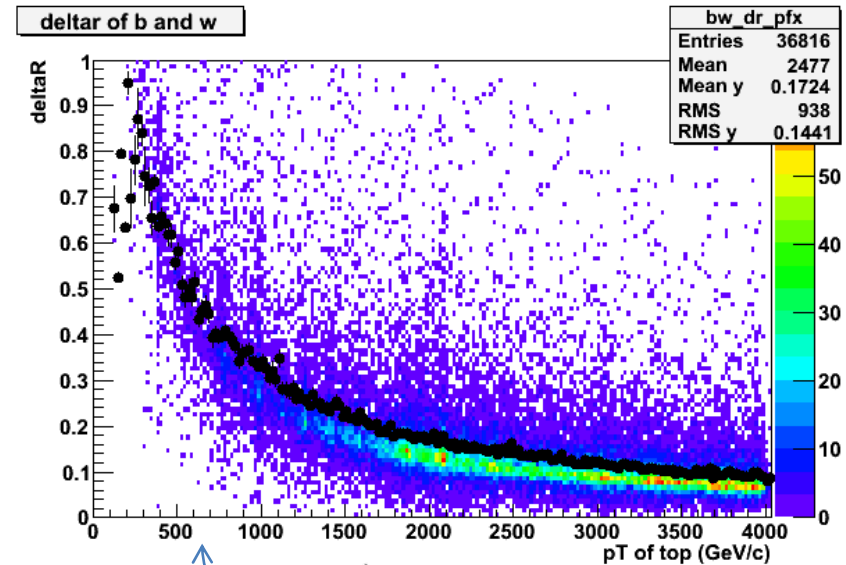


研究動機

- LHC実験において、high-pT jet taggingはさまざまな物理を探索する上で重要
 - ここで言うhigh-pTとは数百GeV/c以上
- SUSYやKKといった事象が観測されたとき、High-pT jet taggingはその性質を調べる上で重要なツール
 - Black HoleイベントにおけるFlavor tagging
- TeV領域におけるexoticな事象の探索
 - 例えばKK gluonの場合、生成断面積が大きくそのほとんどがトップペアへ崩壊すると言われている (JHEP0709:074,2007)
 - LHC 1st year run dataで検証できる物理候補の一つ
- WH(H→bb)解析においてもsub-jetを使った解析はノイズ抑制に有用だとproposeされている
 - arXiv:0810.0409
 - 詳しくは明日山村さんの発表とHiggs sub-WGにて

High-pT jet(top) IDにおける問題

- High-pT top構成の為に、通常のinvariant mass解析では限界
 - 例えばpT>500GeV/cのトップでは、トップからくる粒子のほとんどが一つのジェットに含まれてしまう
 - 通常R=0.6とか0.4
- あたかもsingle jetのように見えてしまい、topイベントの再構成が困難に



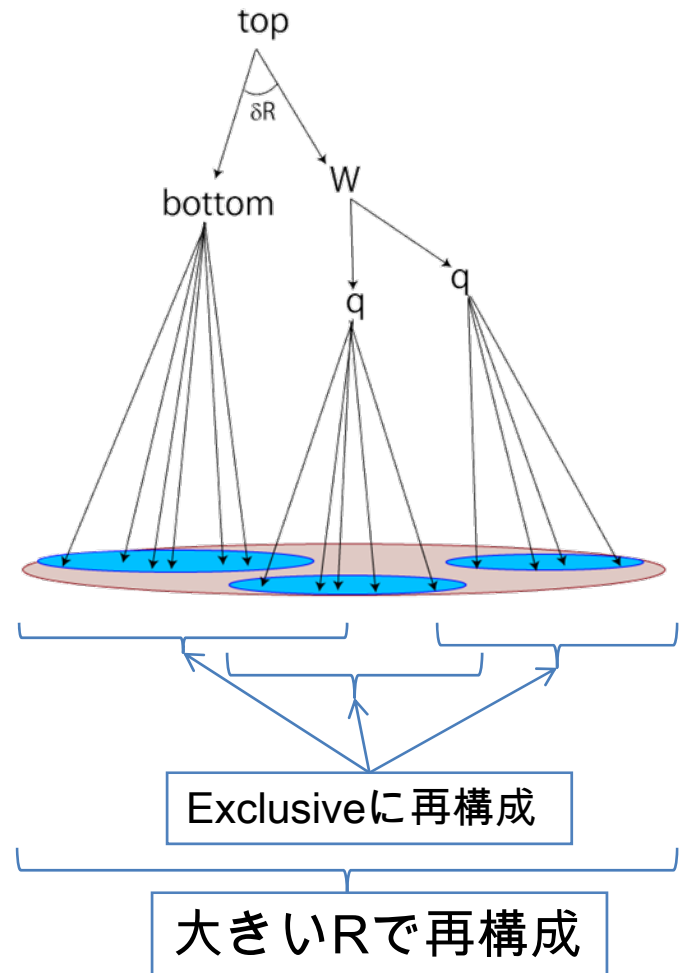
$$R^2 = (\delta\eta)^2 + (\delta\phi)^2$$

High-pT jet(主にtop)-ID の手法

1. Jetのinv. mass
2. Jetのsub-structureを見る
 - 一種のクラスタリングアルゴリズムにおいて、ジェット同士をmergeする際の距離スケールを指標にする
3. Non-isolated muonを指標にする
 - $t \rightarrow bW$ ($W \rightarrow \mu\nu$)
4. B-tagging
 - どの程度のhigh-pTまで有用か

Jetのsub-structureを見る

- QCD jetsがフラグメント化する際の(pT)スケールが、heavy particleの崩壊におけるスケールに比べ指数関数的に小さい事を利用する
 - DGLAP QCD evolutionに即したjetのフラグメント化
- ジェット中のsub-jetの数を数える
 - 大きいジェット(R=0.6とか)中に含まれる小さいジェットの数を知る
 - 小さいジェットはサンプルをもとに決定した、パラメータをもとにexclusiveに再構成したジェット



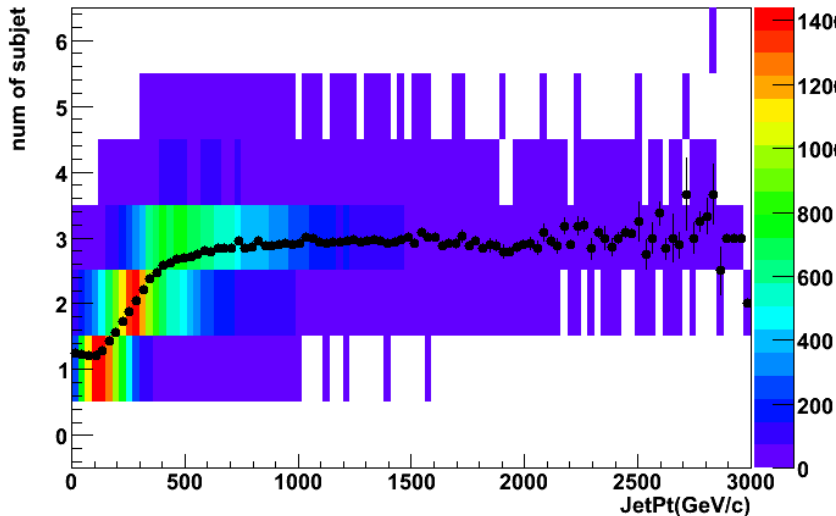
kt ジェット構成アルゴリズムにおける
いわゆるジェット同士の距離スケール

$$d_{ij} = \min(p_{Ti}^2, p_{Tj}^2) R_{ij}^2 / R^2$$

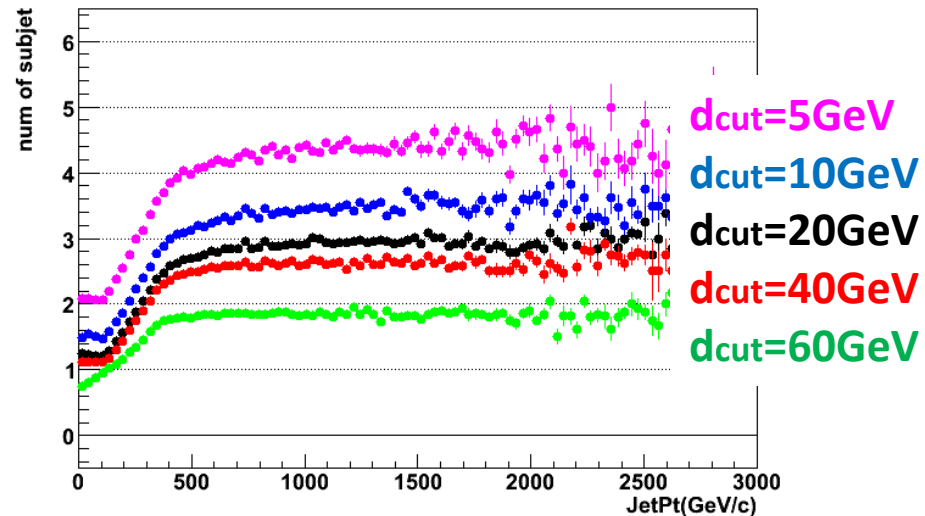
dに対しexclusiveに制限をつける

MCサンプルを用いたパラメータ調整

- KK gluon->ttbarサンプルを用いてパラメータを調整する
 - pythiaによるstring fragmentation
- ここではアルゴリズムそのものを評価するため、Truthレベルで調整・評価を行う(hadronic崩壊のみを使う)
- pTにあまりよらず一定の数のsub-jetがカウントできている

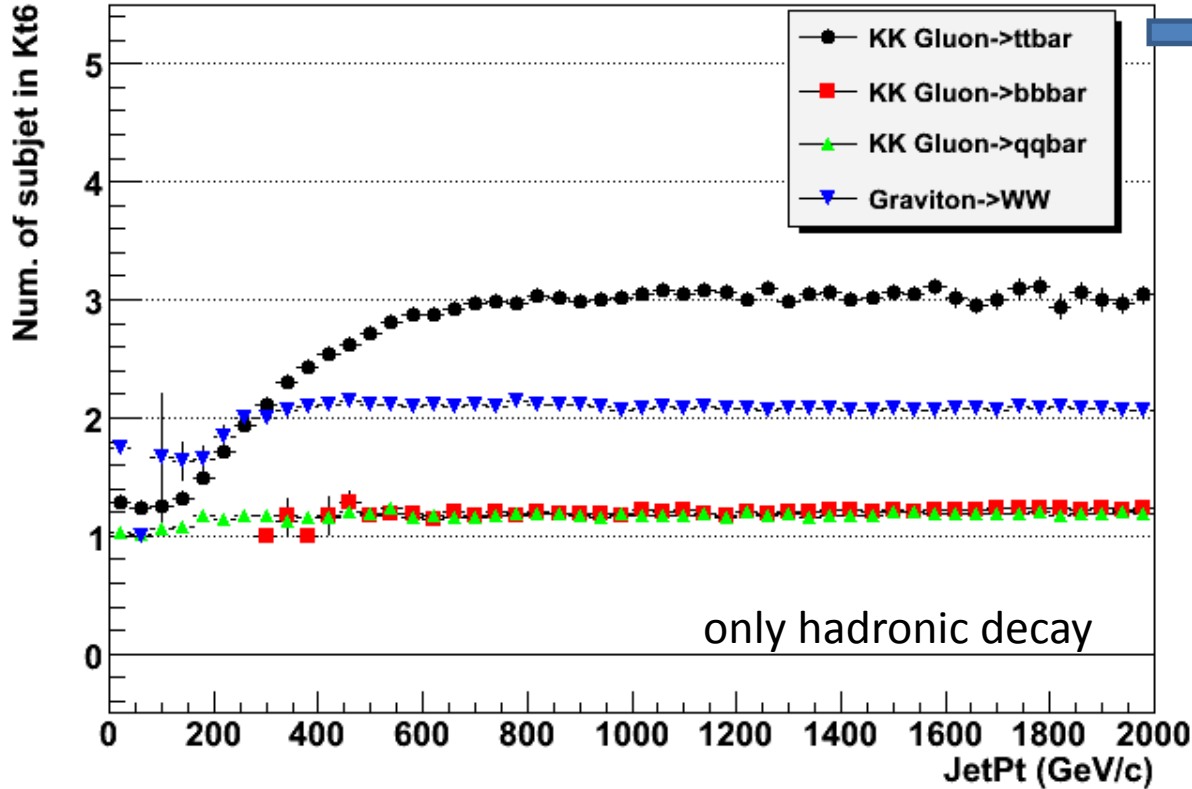


Sub-jetの数 vs Jet-pt分布
プロットはX軸にプロファイルをとったもの

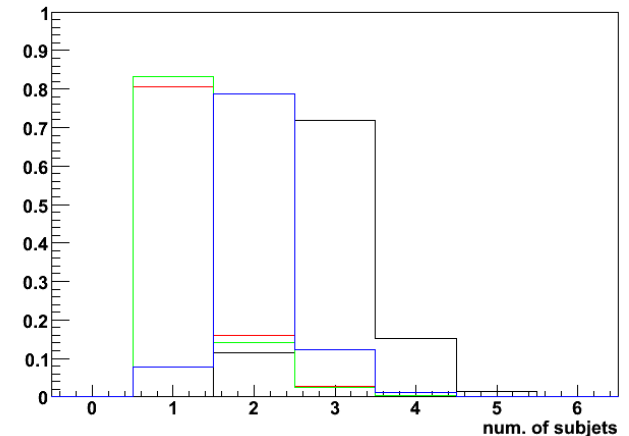


Sub-jet数のパラメータ依存性

Jet sourceによる違い

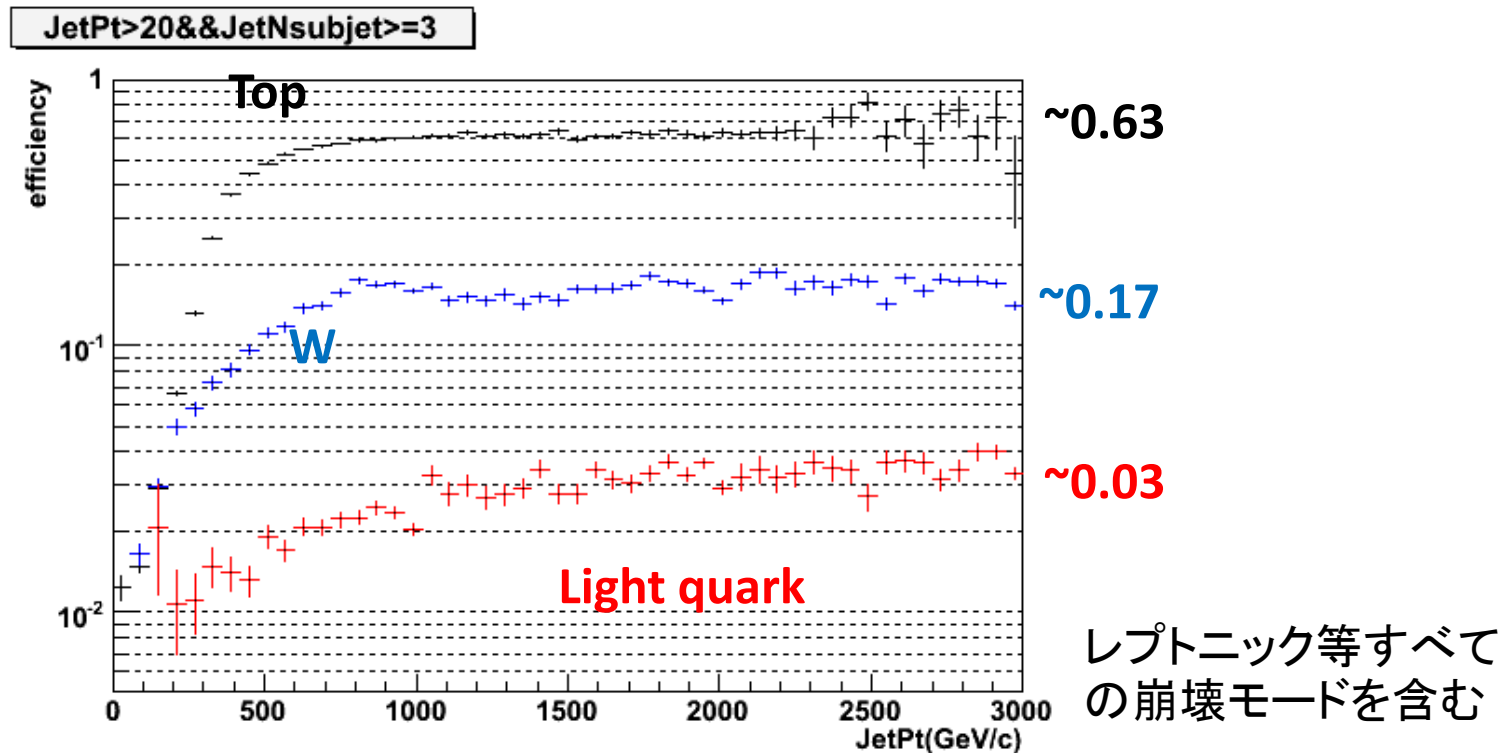


pT>1TeV/cにおけるprojection
面積でnormalize



- High-pT topをもとに出したパラメータを使った上での、high-pT hadronic W, high-pT b-quark, light-quark jetにおけるふるまい
- 予測されるとおりのふるまいを見せる
 - 80%のW->qqが2jetと判定される

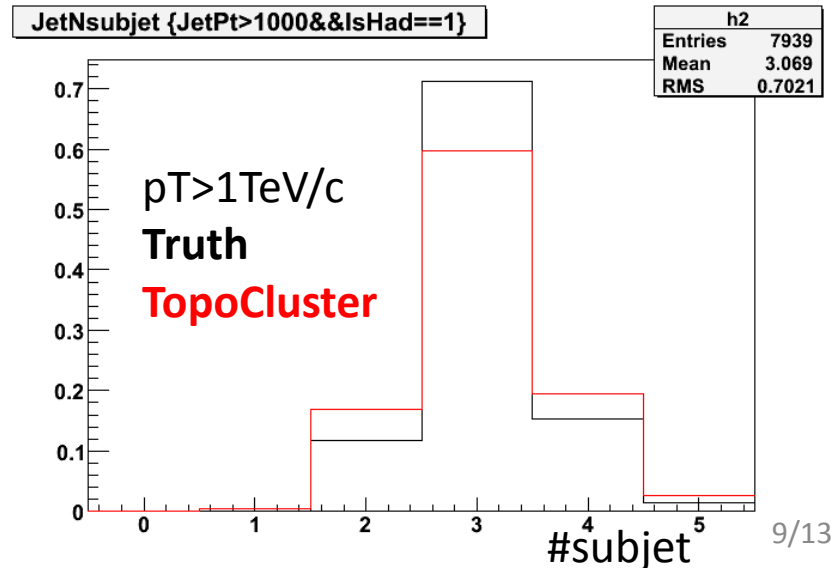
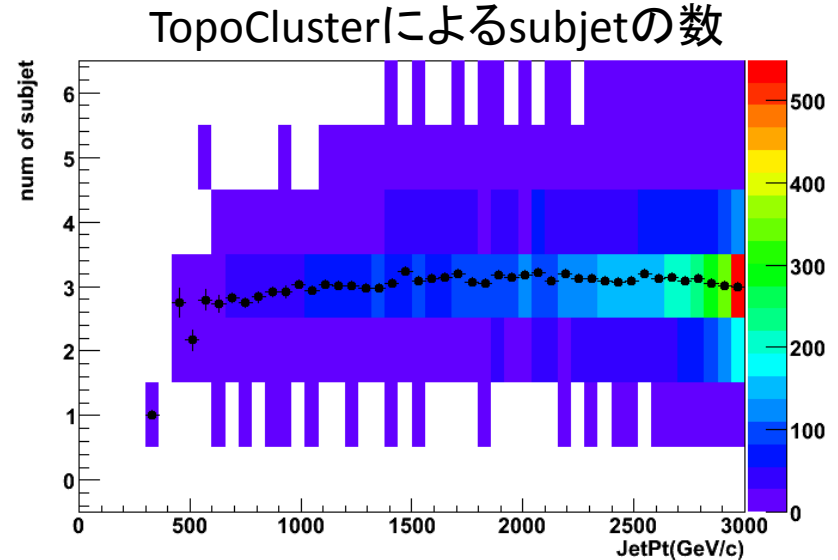
Subjetを使ったjet-IDのパフォーマンス



- Sub-jet ≥ 3 を要求したカット
- Efficiency 63%に対してlight quark rejection 30

ATLAS検出器レベルでの限界

- カロリメーターのタワーサイズが有限である以上、`subjct`によるsplitにも限界があると思われる
- Full simulationを用いて確認したところ、 $p_T \sim 3\text{TeV}/c$ でも顕著な悪化は見られない
 - エネルギー解像度の効果により`nsubjct`の解像度は悪くなる



KK-gluon解析への応用

- qqbar->KK-gluon->ttbar
 - $\sigma(M=2\text{TeV}, \sqrt{s}=10\text{TeV}) \sim 2\text{pb}$, $\text{br}(tt\text{bar})=92.3\%$
- QCD-dijet, ttbarが主なバックグラウンド

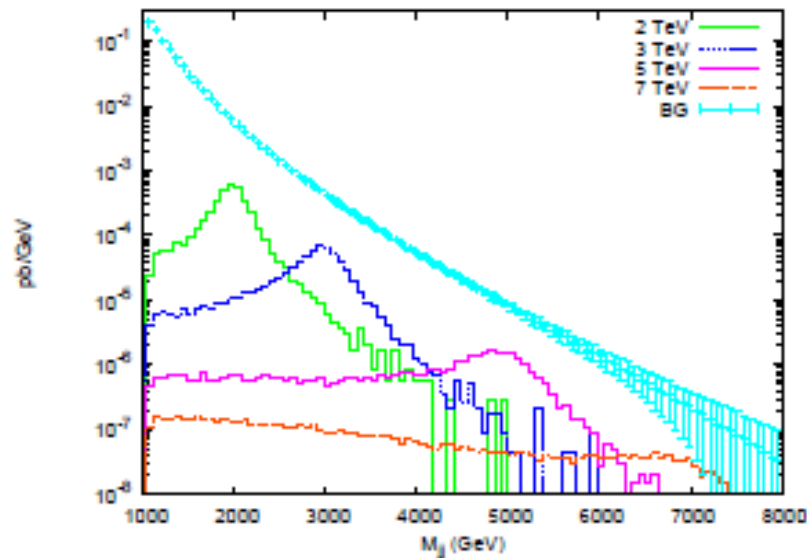
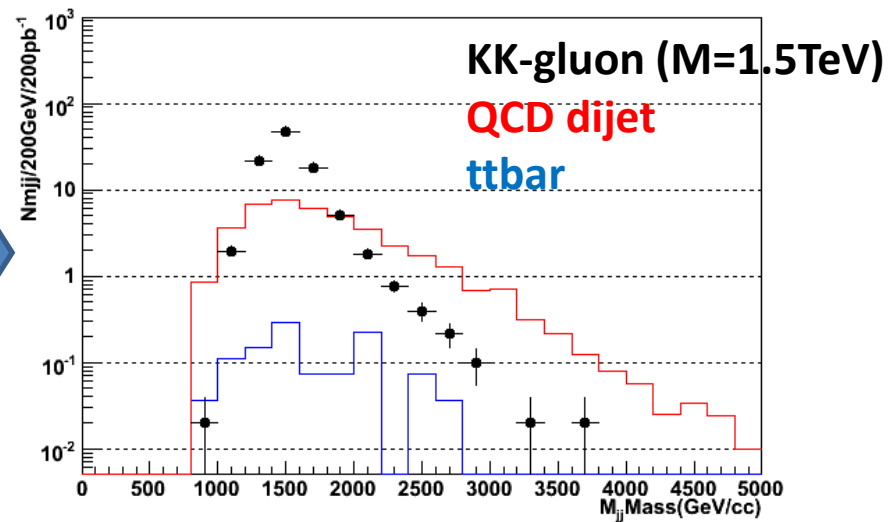
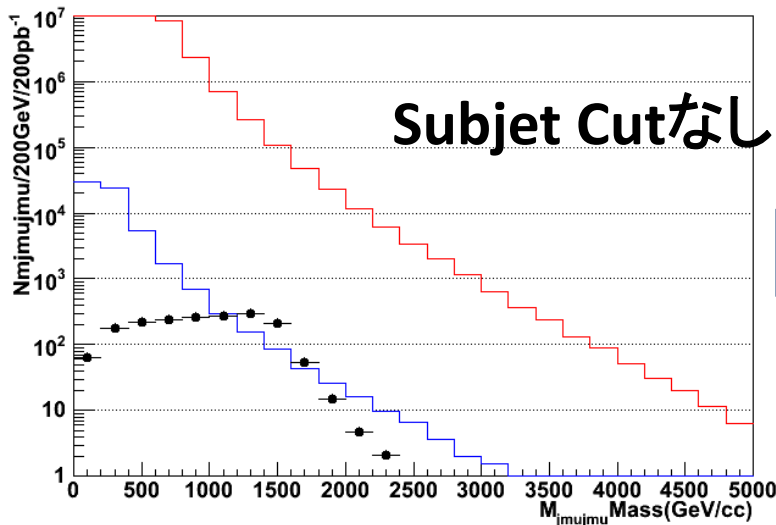


Figure 4: Invariant mass distribution of the decay products for several masses of the KK gluon. This assumes all $t\bar{t}$ events are fully collimated. “BG” is QCD dijet production. All jets are required to have pseudo-rapidities $|\eta| < 0.5$, and at least one to have $p_T > 500$ GeV. The errors shown on the background curve are the statistical errors assuming 100 fb^{-1} of luminosity.

KK-gluon探索への応用

$\sqrt{s}=10\text{TeV}$, 積算ルミノシティ 200pb^{-1}

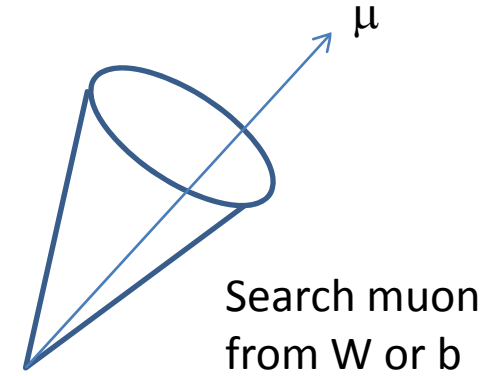
Subjet ≥ 3 , JetMass $\geq 150\text{GeV}/c$



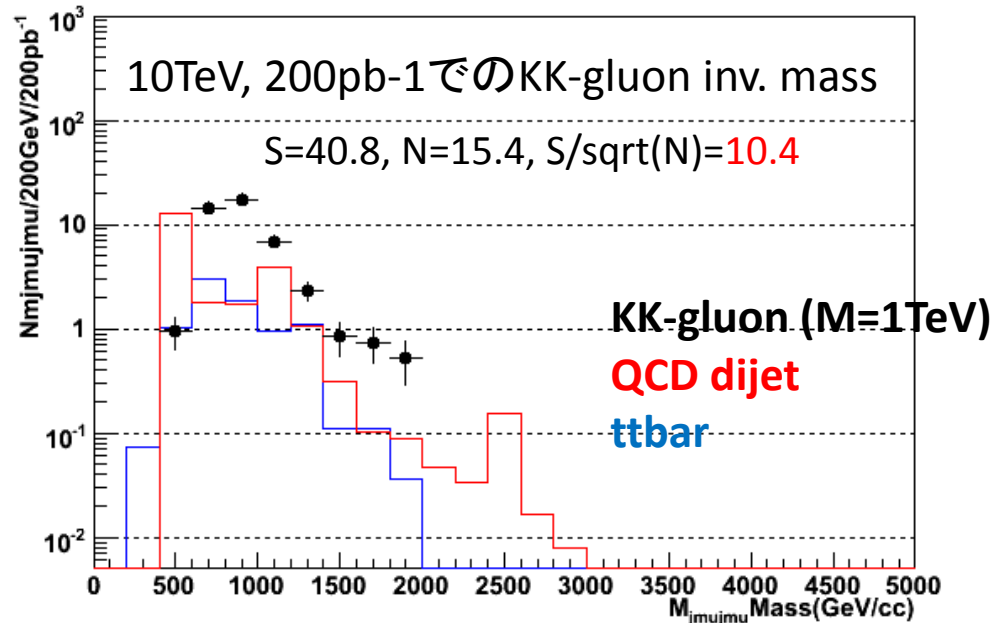
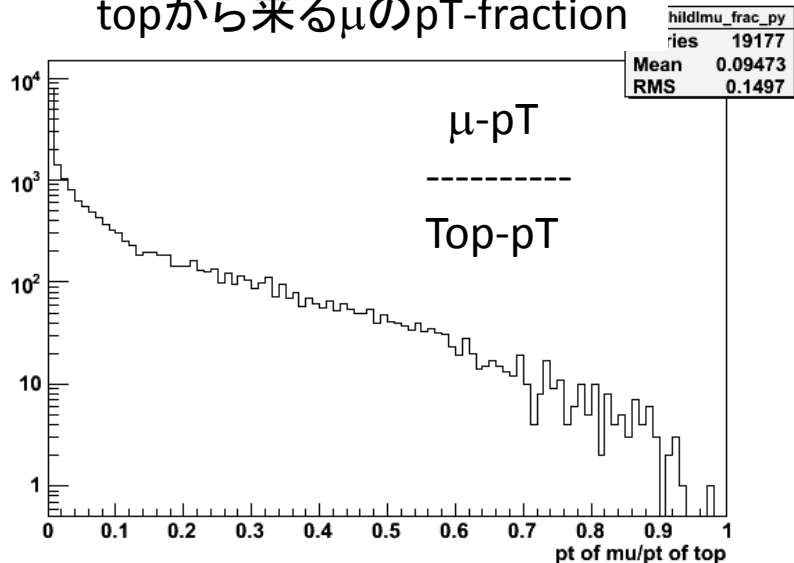
- Truth levelでの解析
- subjet解析による強いQCD-BGの抑制
- $M=2\sim 3\text{TeV}$ 程度までのKK-gluon発見能力があると期待している
 - $M=1.5\text{TeV}$ に対しては 18σ 程度のsignificance (S: 92.1, N: 26.3)

Non-isolated muonを使った high-pT top-ID

- Top- \rightarrow bW- \rightarrow b μ vをtargetとしたID
 - b-jetの中に一つhigh-pT μ が含まれる
- このIDも有用であると期待できる



topから来る μ のpT-fraction



Mass[jet+mu]>60GeV/cc
jet中の μ -pT>10GeV
Truth Level study

まとめと展望

- Subjet解析は主にtopを目的としたHigh-pTのjet-IDに有用である
- QCD-BGに埋もれて見えなかったKK gluonの発見も可能になった
 - $\sqrt{s}=10\text{TeV}$, 200pb^{-1} 程度の統計で探索可能
- Non-isolated muonやb-taggingも同様にhigh-pTのjet-IDに有用であると期待できる
- 実データに基づくsubjet解析の為のパラメータチューンが必要
- High-energy領域のカロリメータのエネルギー較正に使えないか検討中