

アトラス実験におけるトップクォーク対 に崩壊する新粒子の探索

東京大学素粒子物理国際研究センター
東京大学大学院理学系研究科^A

磯部忠昭、寺師弘二、浅井祥仁^A

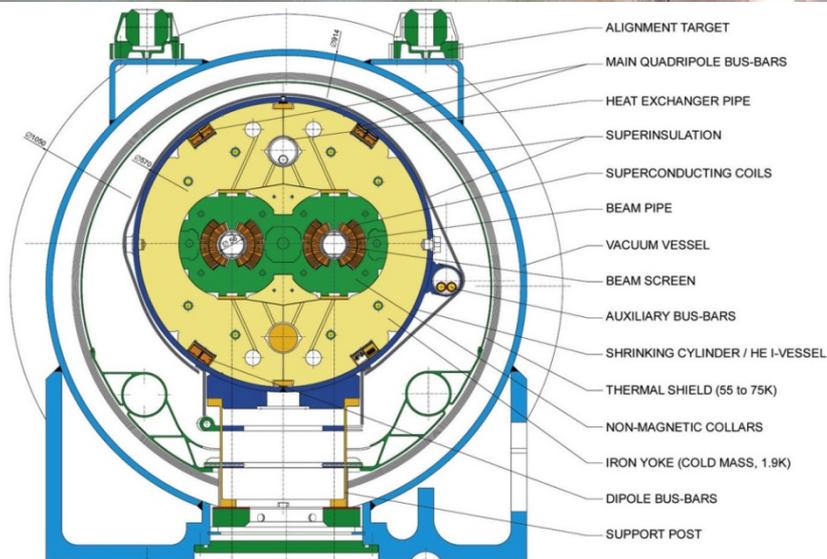
日本物理学会2009年秋季大会@甲南大学

Contents

- ▶ LHC加速器とアトラス実験
- ▶ LHCにおけるRS KKグルーオンの生成
- ▶ トップクォーク対崩壊過程を用いた、余剰次元粒子探索の為の解析
 - ▶ ハドロニックトップの同定
 - ▶ レプトニックトップの同定
 - ▶ KKグルーオン結果
- ▶ まとめ

Large Hadron Collider (LHC) at CERN

- ・ 14 TeV の陽子・陽子衝突型加速器
- ・ デザインルミノシティ $10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- ・ LEPTンネルを利用
- ・ 2008年9月10日 first beam周回に成功
- ・ トラブルにより実験は延期されたが、今年中にビーム衝突を予定→7TeVでのラン

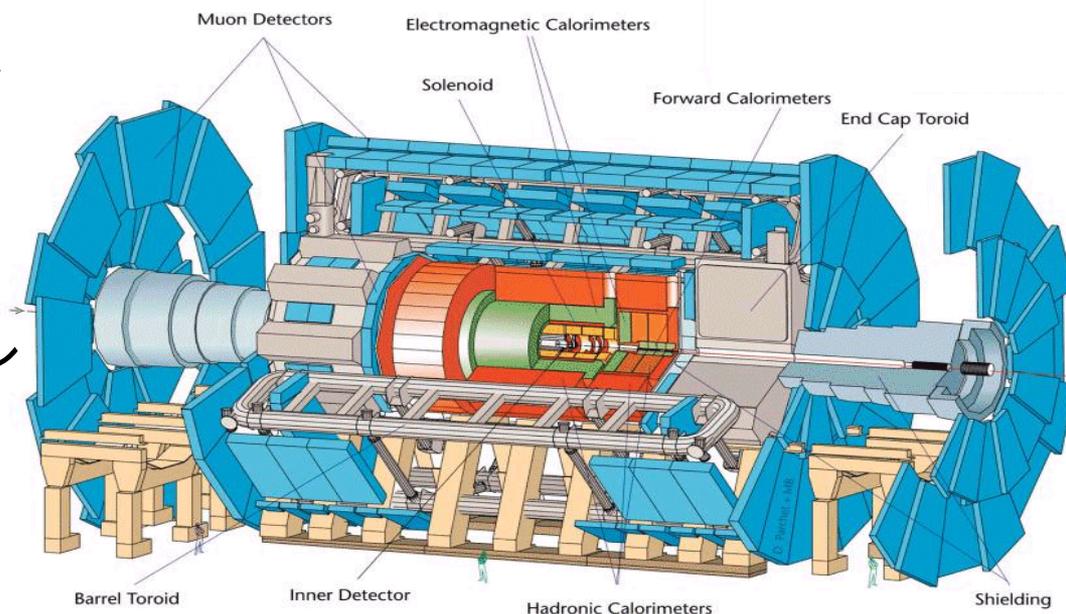


1.9K超流動ヘリウムによる超伝導ダイポールマグネット
磁場強度 8.3T、1232台

アトラス(ATLAS)実験

- ▶ 約2700人(37カ国)による国際共同研究
- ▶ 内部秘跡検出器、電磁・ハドロンカロリメータ、トロイド磁石を用いたミュオン検出器で構成されるバランスのとれた汎用検出器
 - ▶ センサー数1.1億チャンネル
- ▶ 25ナノ秒ごとに起きる事象を観測
 - ▶ トリガーを駆使し、200Hz DAQ rateでデータ取得
- ▶ ヒッグス粒子、超対称性粒子の発見や、余剰次元事象の探索・発見が主な研究動機

アトラス検出器全体像
直径22m、長さ44m、重さ7000t



RS余剰次元モデルとKKグルーオン

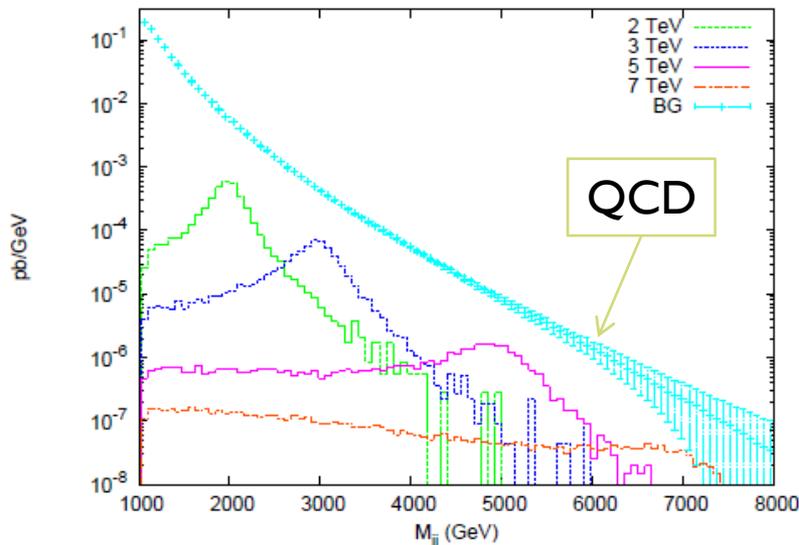
- ▶ RS warped extra dimension (L. Randall, R. Sundrum)
 - ▶ Physical Review Letters 83 (1999): 3370–3373
- ▶ LHCにおけるKaluza-Klein stateのグルーオンの発見が予言されている
 - ▶ JHEP0709:074,2007
 - ▶ クォークに対するカップリングがグラビトンより大きく、生成断面積が $M=1\text{TeV}/c^2$ で $\sim 30\text{pb}$ @ $\sqrt{s}=14\text{TeV}$ と比較的大きい
 - ▶ 4pb @ $\sqrt{s}=10\text{TeV}$, 1.6pb @ $\sqrt{s}=7\text{TeV}$
 - ▶ カップリングは質量に強く依存し、ほとんどがトップクォーク対に崩壊するとされている
 - ▶ $\text{Br}(\text{KKgluon} \rightarrow t\bar{t}) = 92.3\%$
- ▶ トップクォーク対というイベントトポロジーに注目し、モンテカルロサンプルを用いたKKグルーオンの解析を行った
 - ▶ KKグルーオンに限らずZ'探索にも有用

KKグルーオン探索のバックグラウンド

- ▶ QCD-multijetが主なバックグラウンド
 - ▶ 加えてSM-ttbarとW+jet
- ▶ QCDから来る多大なバックグラウンドの中からピークを見つけなければならない

→ トップクォークの同定が必須

- ▶ ★ 高い運動量(>500 GeV/c)を持ったトップクォーク



B. Lillie et. al
JHEP0709:074,2007

本解析に用いたモンテカルロサンプル

▶ p+p衝突、重心系エネルギーは10TeVを仮定

▶ KKグルーオン

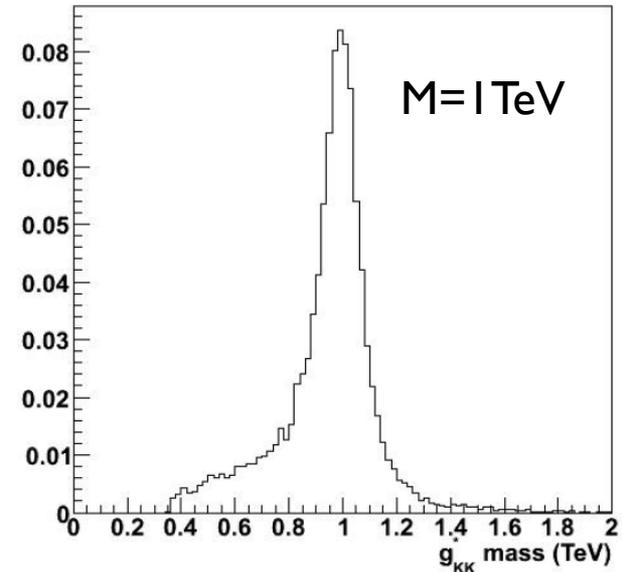
▶ MADGRAPHを用いて生成

▶ 質量: $1\text{TeV}/c^2$, $1.5\text{TeV}/c^2$, $2\text{TeV}/c^2$

▶ ジェット対イベント

▶ トップクォーク対イベント

▶ W+ジェットイベント



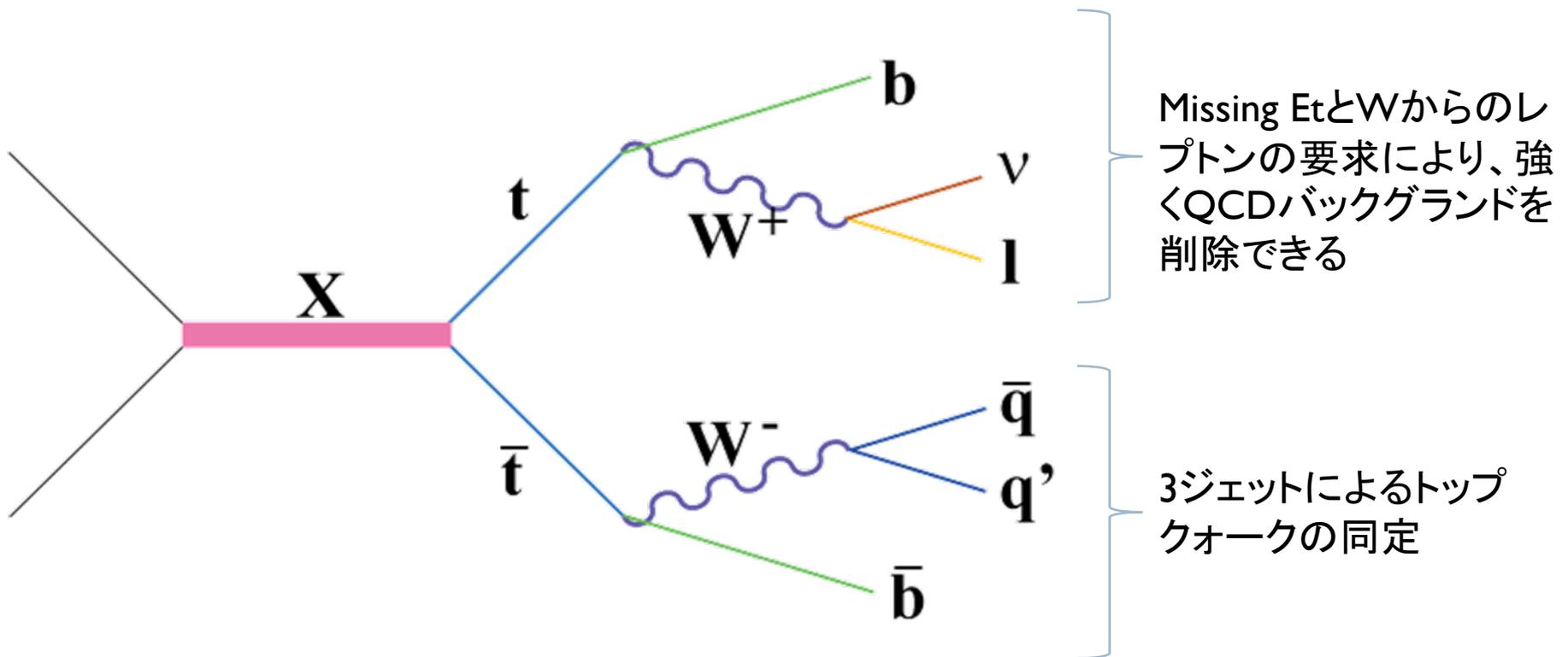
GenerateされたKKgluonの質量分布

▶ 以上のサンプルをもとに重心系エネルギー10TeV、積算ルミノシティ 200pb^{-1} にターゲットを絞って解析を行った

トップクォーク対解析における ターゲット崩壊チャンネル

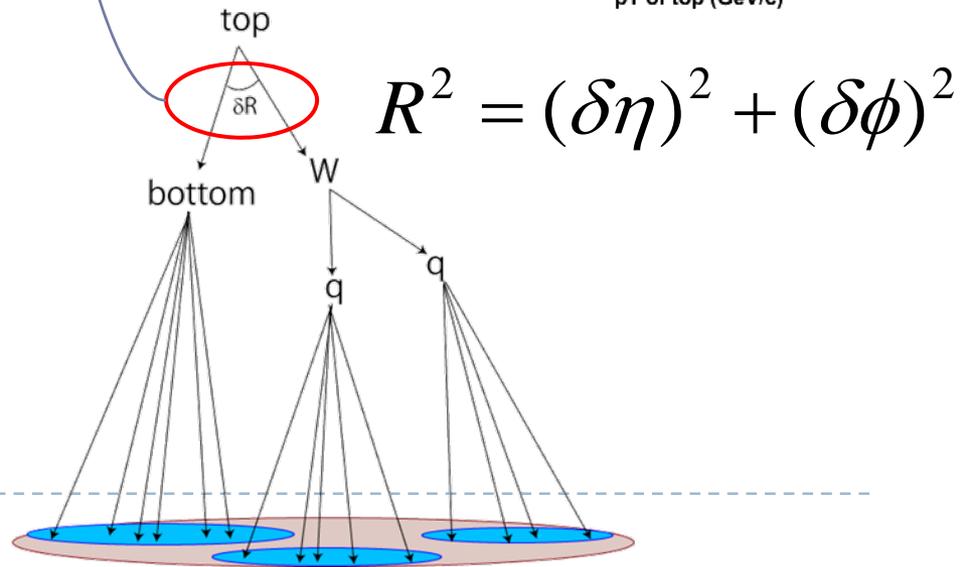
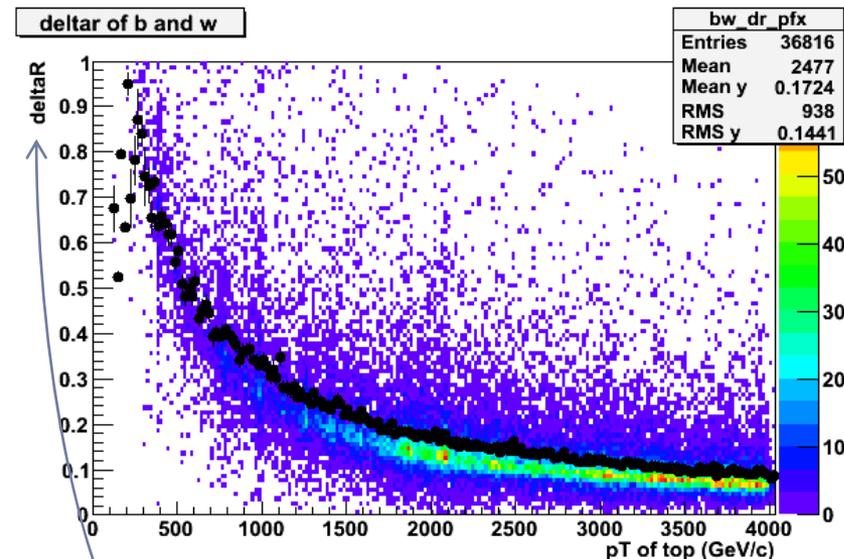
▶ 1レプトン+ジェット

▶ いわゆるゴールデンチャンネル



High-pT top IDにおける問題

- ▶ High-pT top再構成の為に、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



本解析で用いたHigh-pT top ID の手法 ~Hadronic decay top~

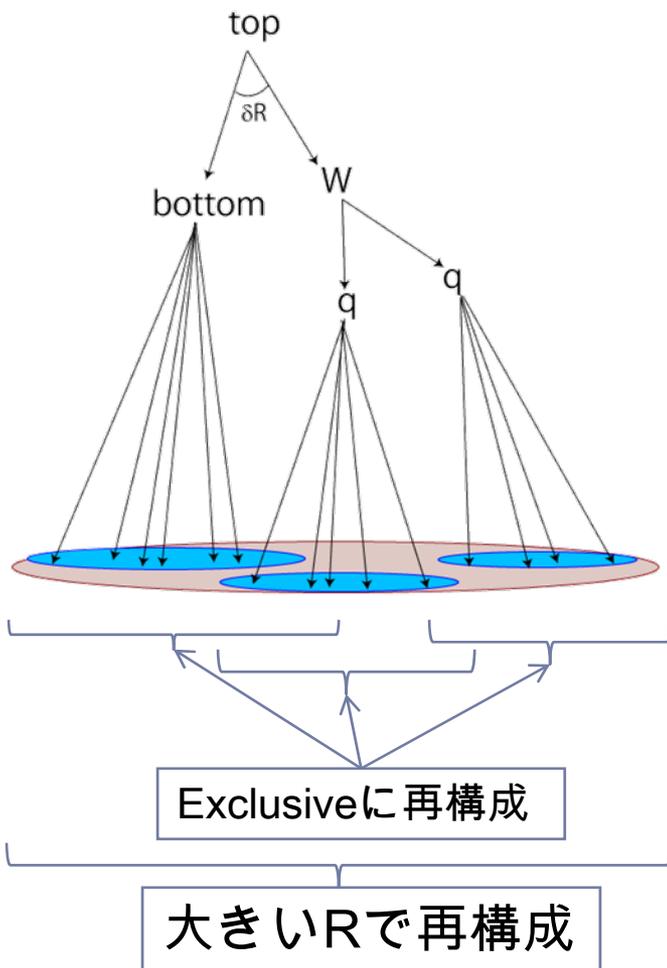
▶ Jetのsub-structureを見る

- ▶ QCDジェット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してsub-jetを再構成する
- ▶ 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

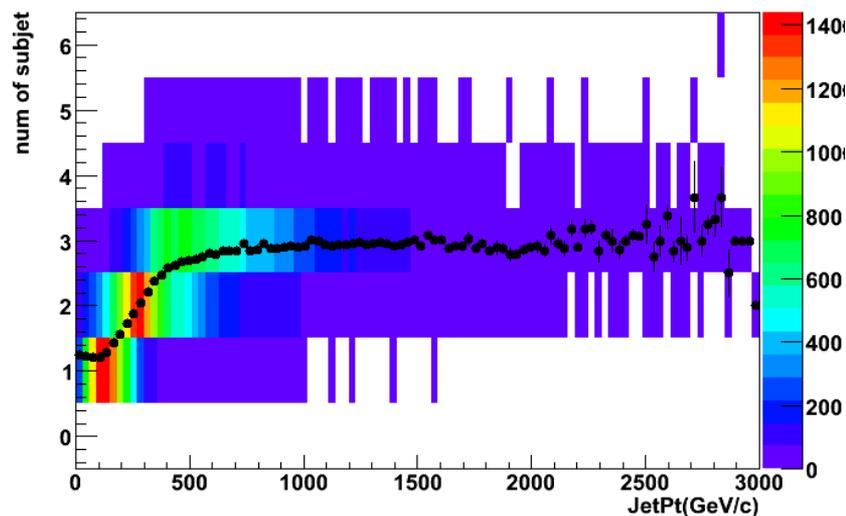
$$d_{ij} = \min(p_{Ti}^2, p_{Tj}^2) R_{ij}^2 / R^2$$

dに対しexclusiveに制限をつける

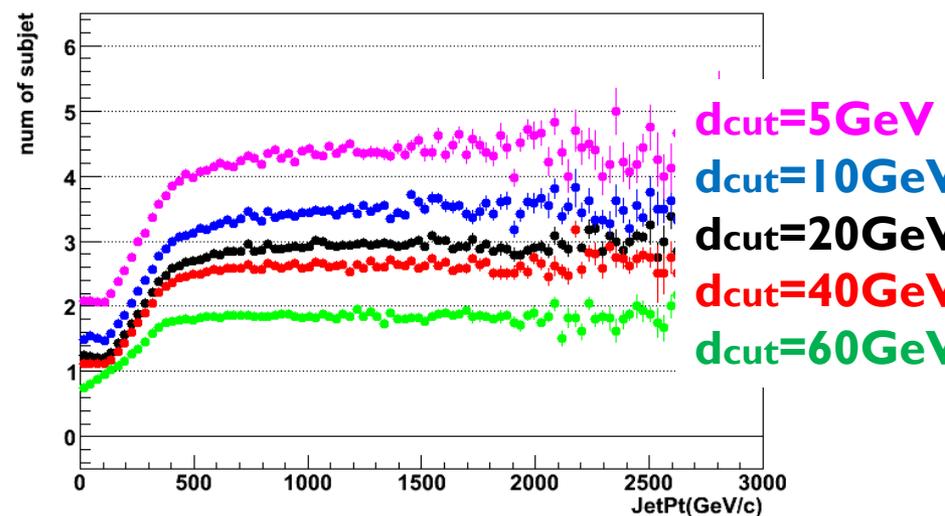


MCサンプルを用いたパラメータ調整

- KK gluon->ttbarサンプルを用いてパラメータ(d_{cut})を調整する
- ここではアルゴリズムそのものを評価するため、Truthレベルで調整を行っている(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

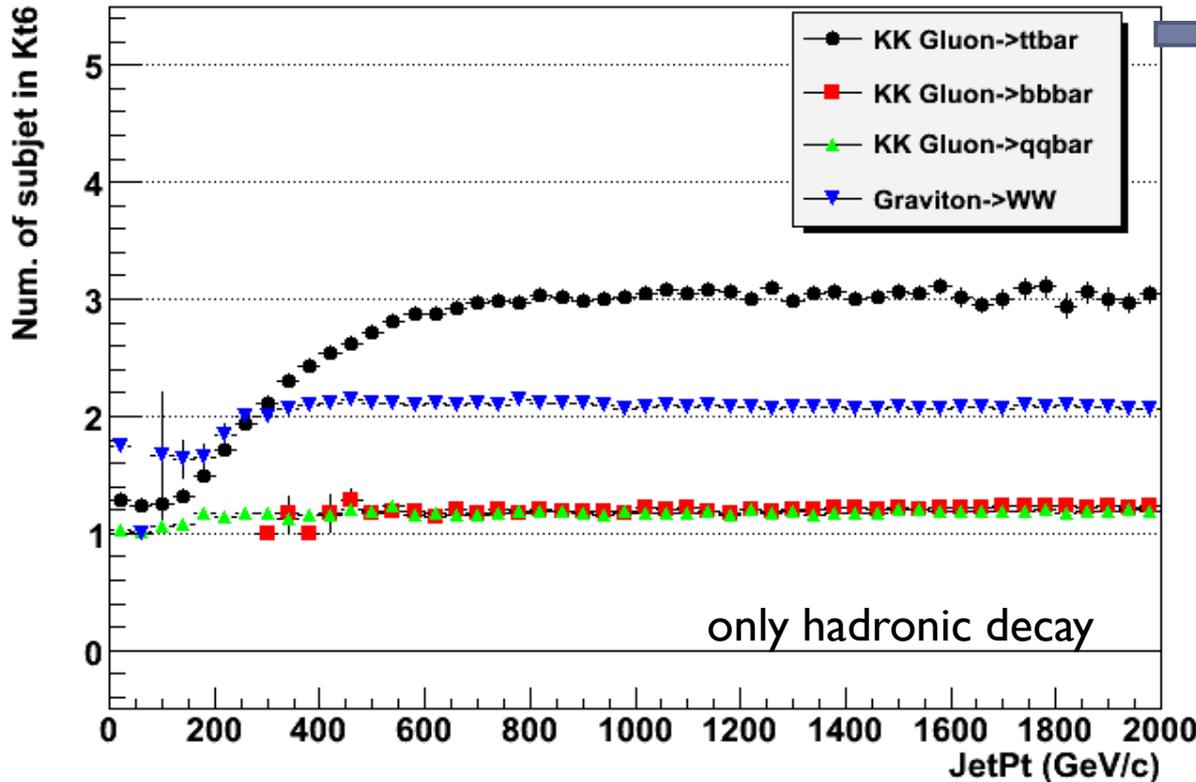


Sub-jetの数 vs Jet-pt分布
プロットはX軸にプロファイルをとったもの

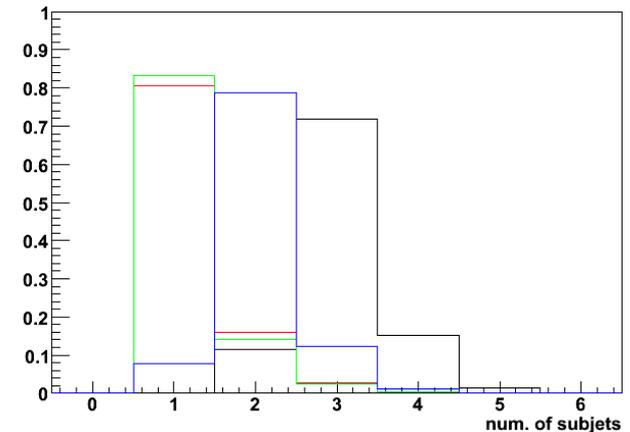


Sub-jet数のパラメータ依存性

Jet sourceによる違い

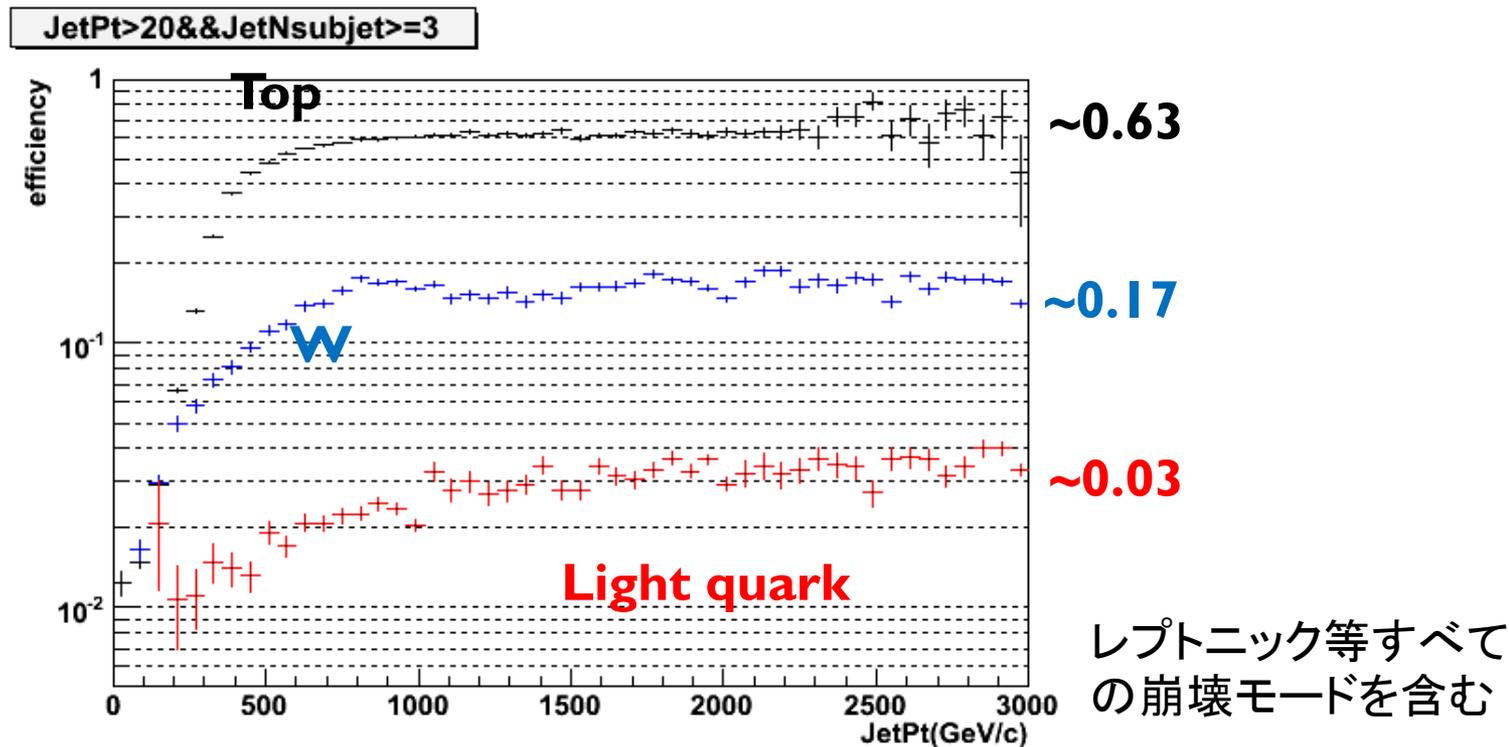


$p_T > 1 \text{ TeV}/c$ におけるprojection面積でnormalize



- High- p_T topをもとに出したパラメータを使った上での、high- p_T hadronic W, high- p_T 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

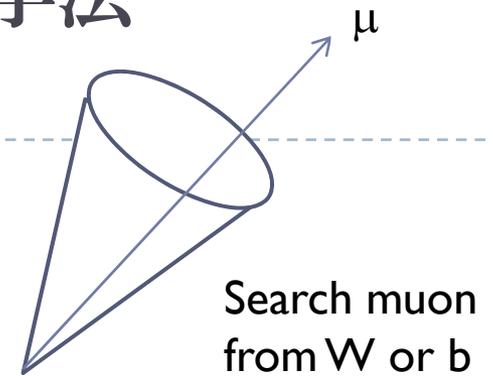
Sub-jetを使ったtop-IDのパフォーマンス Truthレベル



- ▶ #Sub-jet>=3を要求したカット
- ▶ Efficiency 63%に対してlight quark rejection 30
 - ▶ Fullシミュレーションで評価すると、rejectionは10程度

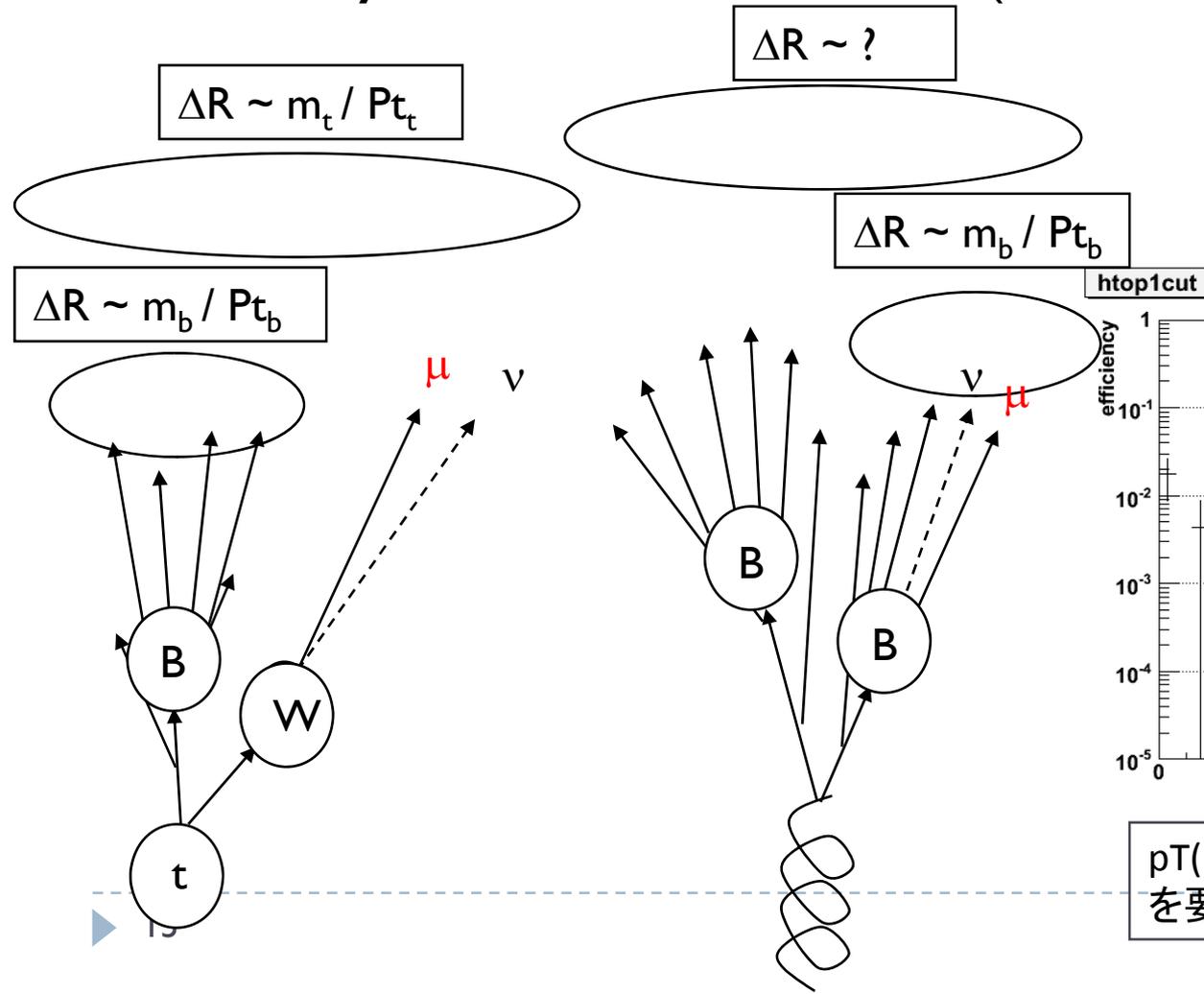
本解析で用いたHigh-pT top ID の手法 ~Leptonic decay top~

- ▶ Non-isolated muonを指標にする
 - ▶ $t \rightarrow bW$ ($W \rightarrow \mu\nu$)
 - ▶ b-jet中のレプトンを探す
 - ▶ 電子は π^0 からのフェイクの寄与が大きいと予測されるので難しい
 - ▶ b-jetと μ との関係を用いたもので多くのパラメーターがproposeできる
 - ▶ pt of μ in jet
 - ▶ pt fraction of μ in jet
 - ▶ $x_\mu \equiv 1 - m(b)^2 / m(b+\mu)^2$
 - fraction of visible top mass carried by muon (arXiv:0806.0023)
 - ▶ μ -isolation in dynamical cone (Mini-isolation)

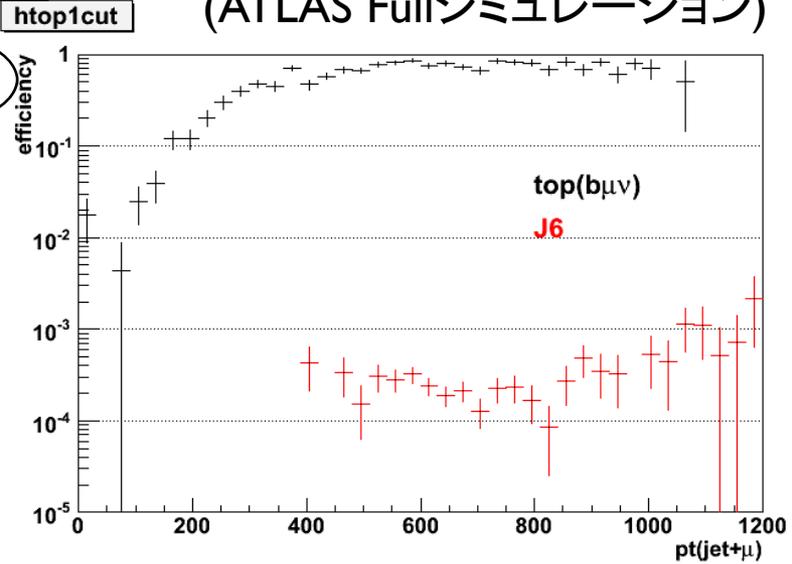


Mini-isolation

- Leading leptonに対し、isolation coneをjetの情報を用いてdynamicに変化させる (B. Tweedie)



パフォーマンス (ATLAS Fullシミュレーション)



$pT(\mu)/pT_{cone}(dR < (15\text{GeV}/pT(\mu))) > 0.85$
 を要求

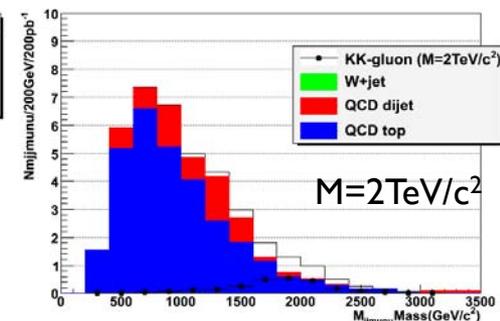
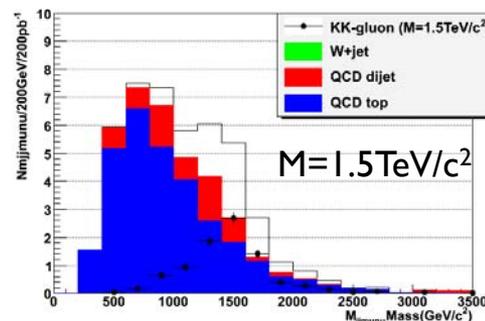
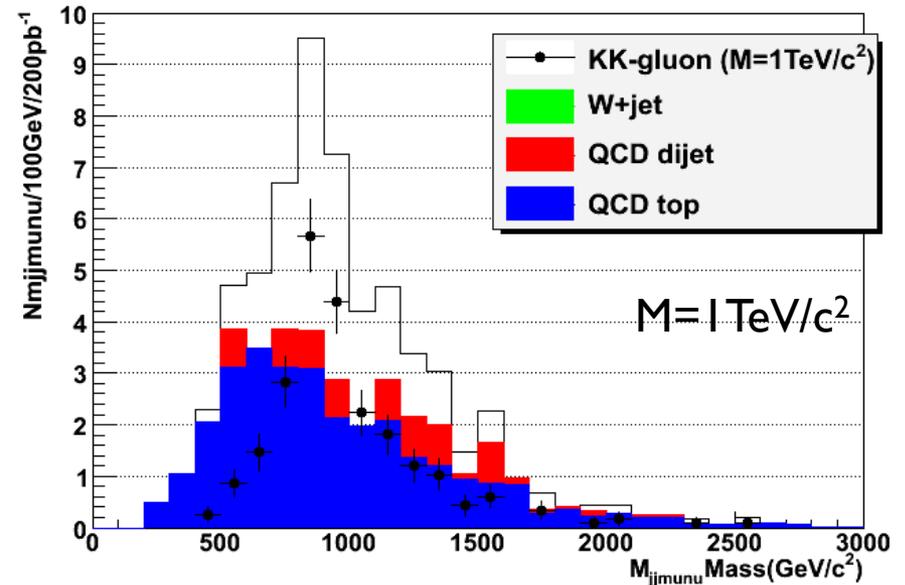
トップクォーク対解析カットサマリー と残るイベント数 ($\sqrt{s}=10\text{TeV}$ 200pb^{-1})

	KKg(1TeV)	KKg(2TeV)	QCD	Top	Wj
w/o cut	795.5	28.4	6.85e+8	7.47e+4	1.19e+6
2jet-pT>20GeV/c	723.7	26.6	4.9e+8	6.43e+4	5.42e+4
MissEt>20GeV	683.2	25.5	5.92e+7	4.19e+4	4.62e+4
Nsubj \geq 3	211.5	14.2	2.22e+5	1.66e+3	38.7
Muon-pT>30GeV/c	36.0	3.86	1.62e+3	79.9	8.93
Minilso>0.85	26.1	2.69	37.3	36.0	8.93
x_{μ} >0.4	24.8	2.46	7.61	31.8	8.93
M(jet+ μ)>20GeV/c ²	23.6	2.42	6.81	29.9	0

QCDバックグラウンドに変わり、SM-ttbarがmajorなバックグラウンドに

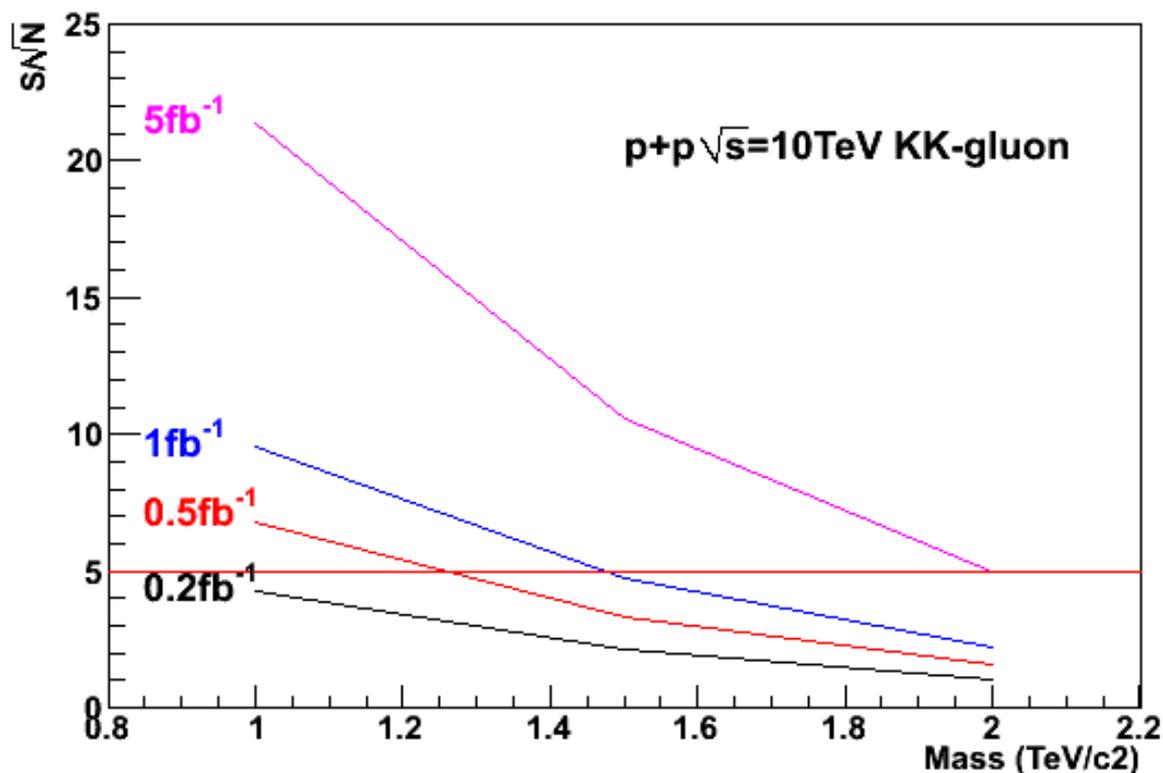
不変質量分布: $10\text{TeV } 200\text{pb}^{-1}$

- ▶ $M=1, 1.5, 2\text{TeV}$
- ▶ $p_z(v)$ を計算する為、 $\eta(\mu)=\eta(v)$ 仮定のもとトップクォーク対を再構成
- ▶ For optimized mass window
 - ▶ $M=1\text{TeV}$ の場合, S: 15.1 N: 12.5 S/sqrt(N): **4.3**



発見能力 ($p+p \sqrt{s}=10\text{TeV}$)

- ▶ 系統誤差を考慮しない場合：
 - ▶ $M=1\text{TeV}/c^2$ KK gluonは 300pb^{-1} 弱で 5σ のsignificance
 - ▶ 5fb^{-1} あれば $M=2\text{TeV}/c^2$ KK gluonは 5σ のsignificance



まとめ

- ▶ Bulk RS KK gluon はLHCでの1st dataにおける物理ターゲットのひとつになっている
 - ▶ 大部分がトップクォーク対に崩壊すると言われている
- ▶ KK gluonを探索するため、boosted topの同定法を開発
 - ▶ サブジェットを用いたhadronic decay topの同定
 - ▶ Non-isolated muonを用いたsemi-leptonic decay topの同定
- ▶ 高運動量トップクォーク同定に特化した本解析手法は、系統誤差を考慮しない場合、 $M=1\text{TeV}/c^2$ KK gluonに対して 10TeV , 300pb^{-1} 弱のデータで 5σ significanceの発見能力を持つ