

LHC-ATLAS実験を用いた mono-jet事象の探索

風間慎吾, 金谷奈央子^A, 田中純一^A, 寺師弘二^A
東裕也, 浅井祥仁, 小林富雄^A

東大理, 東大素セ^A

日本物理学会 第66回秋季大会
2010/10/14@九州工業大学

Outline

- Large Extra Dimension -Kaluza-Klein Graviton-
(mono-jet事象の概略)
- 解析
 - EventのCleaning
 - MCのNormalization
 - Real Data(約 2.9pb^{-1})の解析とその結果
- まとめと展望

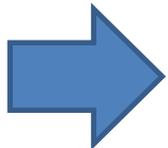
1.1 Large Extra dimension(Kaluza-Klein Graviton)

Large Extra dimension(Arkani-Hamed,Dimopoulos,Dvali)

- n個のフラットな余剰次元がコンパクト化されている(サイズR)
- 全ての標準理論の粒子は(3+1)次元のBraneに束縛されており、Gravitonのみが余剰次元を伝わることのできる

$$M_{Pl}^2 = V_n M_D^{n+2}$$

- M_{pl} ($\sim 10^{19}$ GeV)が余剰n次元空間の大きな体積 $V_n = (2\pi R)^n$ によって薄められた結果、真のPlankスケール $M_D \sim \text{TeV}$ となる



M_D がTeV領域に存在すれば階層性問題の解決!!

- ◆n=1 : R $\sim 10^8$ kmなので除外
- ◆n=2 : R $\sim 100\mu\text{m}$ (Eöt-Wash実験の範囲 : $M_D > 3.2 \text{ TeV}$)
- ◆n ≥ 3 : 加速器実験での探索が有効



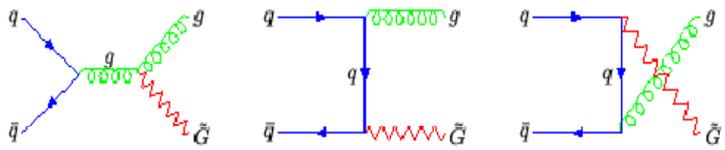
1.Kaluza-Klein(KK) Graviton の実生成

2.SM粒子間の仮想KKGravitonの交換

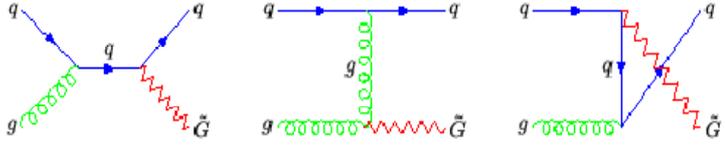
1.2 Kaluza-Klein Gravitonの生成過程@LHCと特徴

LHCでのKaluza-Klein(KK) Graviton の生成は**mono-jet シグナル**として見える

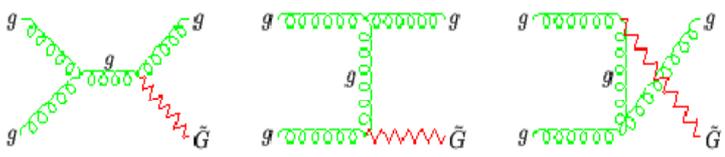
• $q\bar{q} \rightarrow gG$



• $qg \rightarrow gG$



• $gg \rightarrow gG$



シグナルの特徴

- KK Gravitonは検出器と相互作用しないため観測されない
- ➡ 大きな消失エネルギー (MissingEt)として観測される
- mono-jetとMissingEtがBack to Backに観測される
- ➡ $\Delta\Phi(\text{MissingEt}, \text{mono-jet}) \sim \pi$



探索すべきは、一つのJetとMissingEtがBack to Backに観測される事象!

1.3 MCサンプルとRealData

MCサンプル

- $M_D = 1\text{TeV}, 1.5\text{TeV}, 2\text{TeV}$
- 余剰次元の数 $n=4$
- GeneratorとしてはExoGravitonを使用
- Geant4ベースのfull simulationではなく、fast simulationを使用
(ただし、fast simulationの結果をsmearし、full simulationの結果を再現するように調整されたものを用いている)

	Xsec@1TeV	Xsec@1.5TeV	Xsec@2TeV
qg	110.4pb	13.0pb	2.5pb
gg	149.9pb	16.9pb	3.2pb
qqbar	22.0pb	4.0pb	1.0pb

BackgroundのMonte Carlo Sampleとしては、

Z $\rightarrow \nu \nu + \text{jet}$ (AlpGen)

W $\rightarrow \text{lepton} + \text{jet}$ (AlpGen)

QCD Jet (PYTHIA)

を使用し、Geant4ベースのfull simulationで解析を行った

Signalと同じトポロジーを持つため、最大のBackgroundとなる

RealData

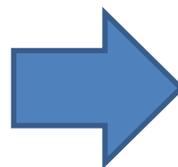
- ATLASで2010年3月31日から8月30日の間に取得された約 2.9pb^{-1} を使用

2. 1 Real Data -Event Cleaning-

Non-collision起源のイベント(Noise, Cosmics, BeamHalo)はバランスせず、MissingEt分布にテールを作る。特にCosmics起源のイベントは偽のmono-jet事象を作ってしまう

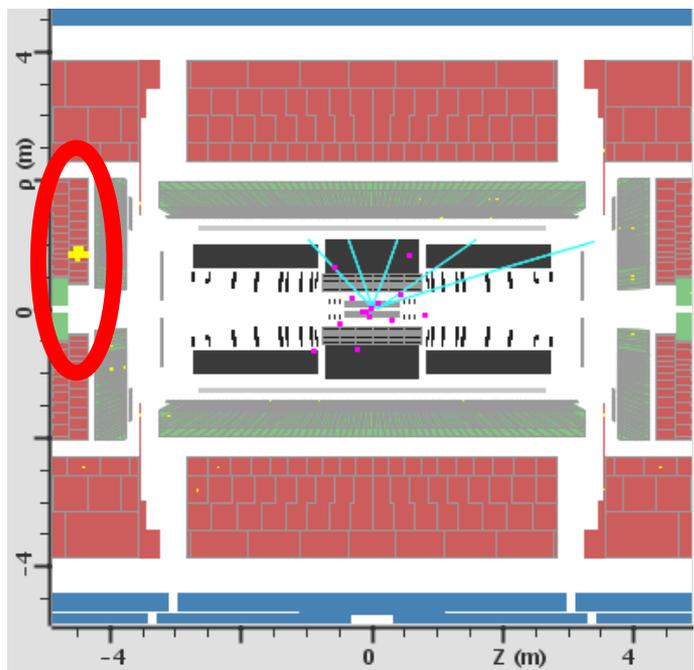


“EventのCleaning が必要”



1. HEC(Hadron EndCap) noise
2. LAr coherent noise
3. Cosmics, BeamHalo

1. HEC(Hadron EndCap) noise

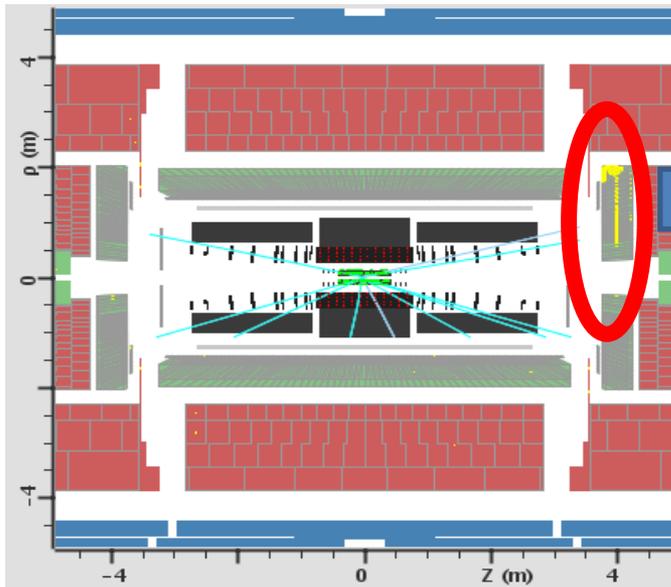


- MissingEtのtailのほとんどがHEC(Hadron EndCap)のnoiseに起因している。
- 基本的にsingle cellが鳴るため、mono-jet事象の様に見える



HECnoiseは、1つのjetに含まれるCellの数が少ないため、これにより除去可能

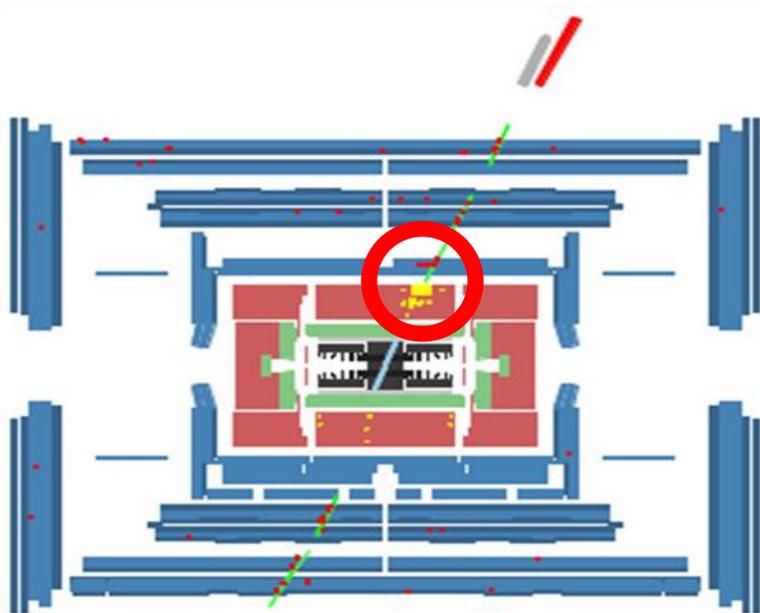
2. LAr coherent noise



LAr(電磁カロリメータ)でcoherentなノイズが発生することがあり、非常に大きなMissingEtをとる
(左イベントではMissingEt = 1959GeV)

LArでの出力波形と期待される波形を用いて落とせる

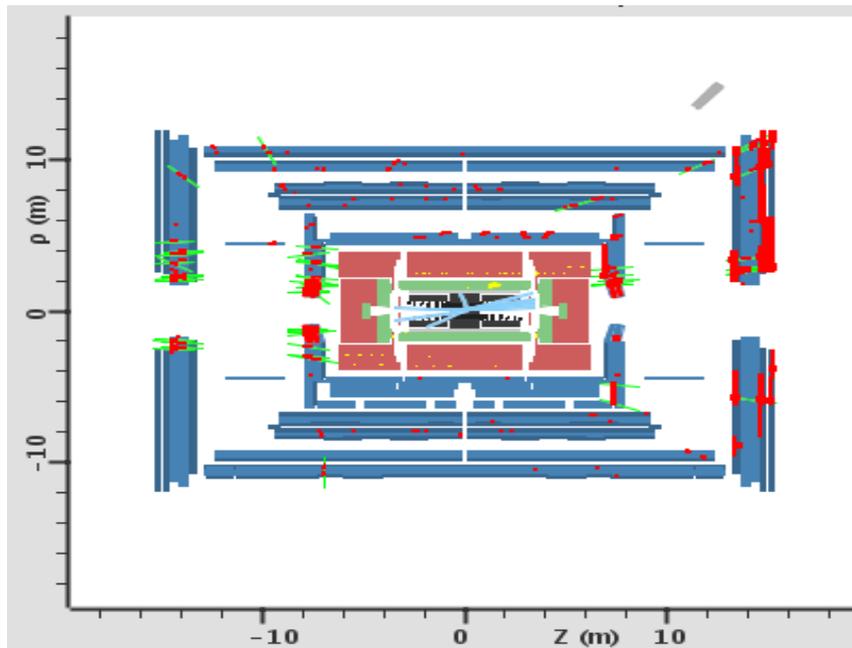
3. cosmic rays



cosmic muonがハドロンカロリメータで制動放射を起こしてhigh pT jetを作り、あたかもmono-jet事象の様に振る舞う
(100GeV以上のJetを作るレート ~ 0.1 Hz)

クラスターにassociateしているtrackがないこと、さらには電磁カロリメータで測定されたエネルギーの割合が低いことに着目して落とせる

4. Beam Halo



BeamHaloとは陽子ビームがLHC 加速器のビームパイプ内の残留ガスと弾性・非弾性散乱することで生じる二次粒子のこと(左図ではBeamHaloのミュオンが水平方向に検出器全体を通過している)

クラスターにassociateしているtrackがないことに着目して落とせる

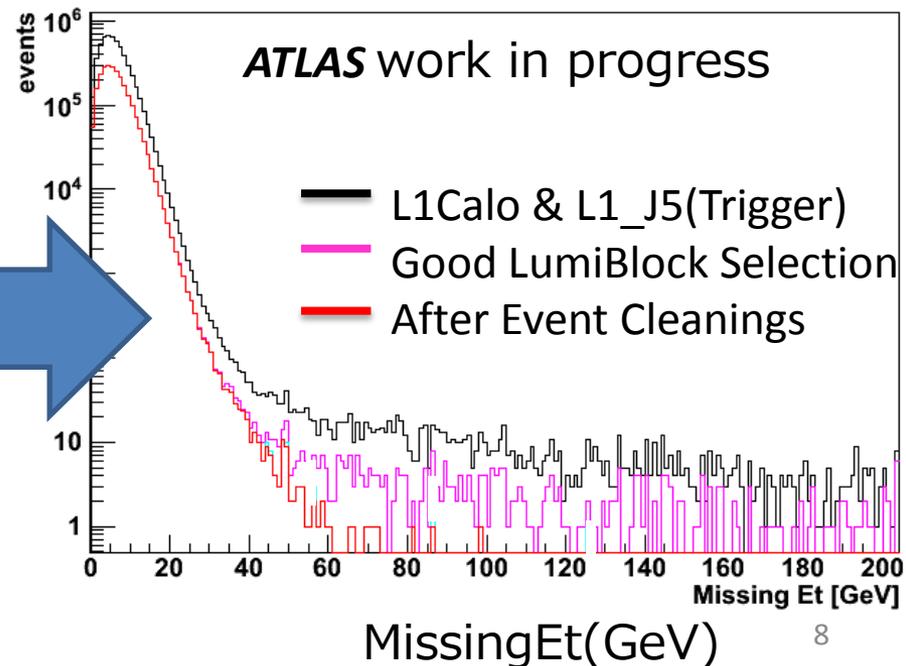
6. Event Cleaning前後のMissingEt分布

5. その他

- BeamがStableな状態のイベントのみを抜き出して使う (Good LumiBlock Selection)
- 衝突点が正しく再構成されていることを要求する(Vertex Cut)
- 衝突から時間<50nsのイベントを要求



CosmicsやBeamHaloなどの非衝突起源のイベントを落とせる



2.2 Real Data -BackgroundのNormalization-

分布の形はMCを信用し、イベント数をMCとDataで同じになるように規格化

●QCD(MC)の規格化

- 0lepton ($p_T > 10\text{GeV}$)
 - 1stJet $p_T > 200\text{GeV}, |\text{Eta}| < 2.8$
 - Missing $E_T < 35\text{GeV}$
- でNormalizeした

規格化係数
(MCのxsecとRealDataから求めたxsecの比)
 $\text{RealData}/\text{MC} = 0.69 \pm 0.01(\text{stat.})$

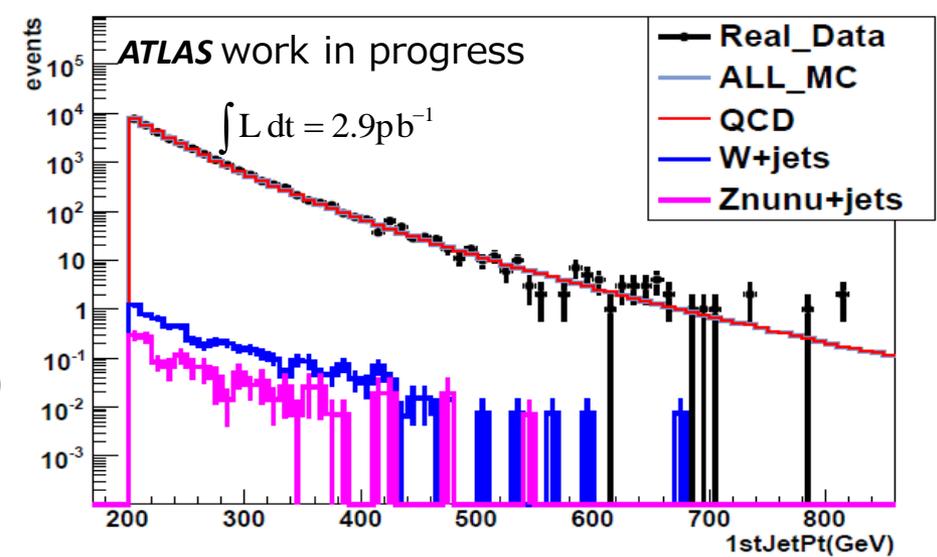
●W(MC)の規格化

- 1lepton ($p_T > 10\text{GeV}$)
 - Missing $E_T > 35\text{GeV}$
 - $50\text{GeV} < M_t < 100\text{GeV}$
- でNormalizeした

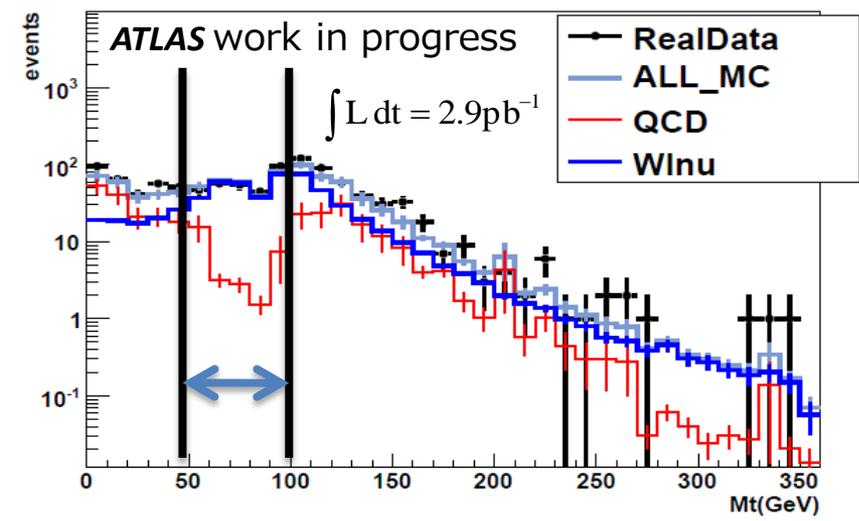
QCDの寄与は上記の規格化係数を用いて差し引いてある
 $\text{RealData}/\text{MC} = 1.08 \pm 0.14(\text{stat.})$

Zの規格化係数はWのものを用いた

1stJetのpT分布



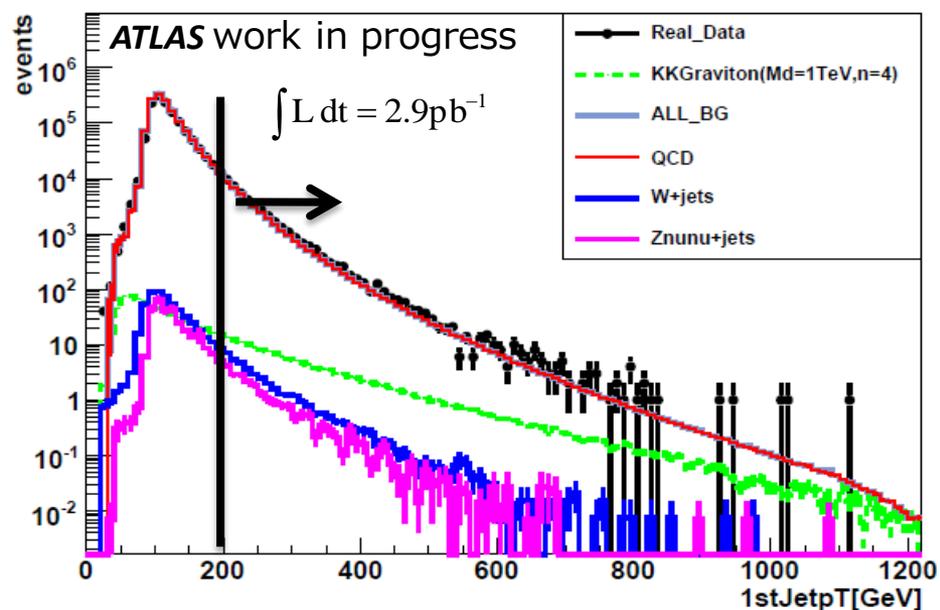
leptonとMissingEtのMt分布



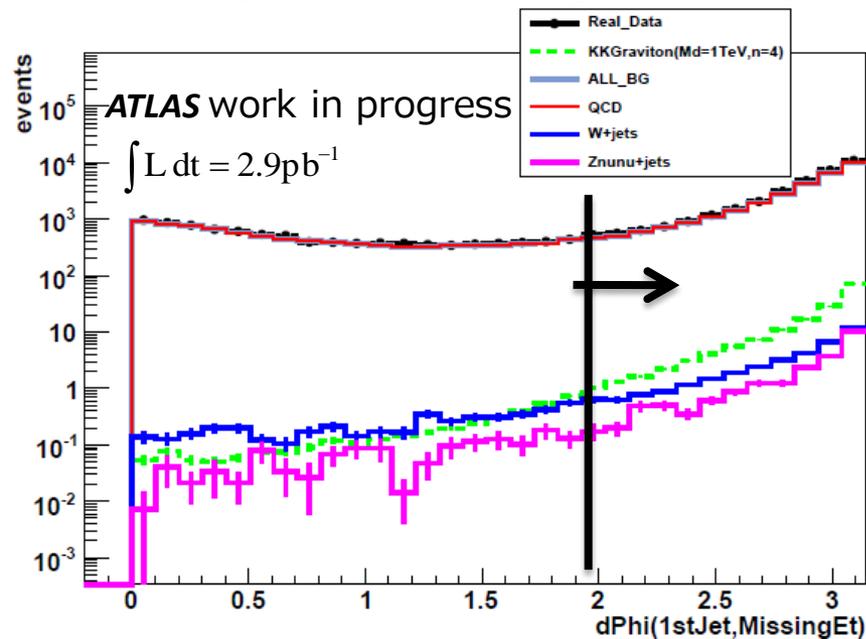
2.3 Real Data -Mono-jetのSelection Criteria- Selection Criteria for KKGraviton search

	Cut
1.	Number of lepton = 0 ($p_T > 10\text{GeV}$)
2.	1 st jet $p_T > 200\text{GeV}$ && $ \text{Eta} < 2.8$
3.	Number of jets ≤ 2 (ただし、2番目のjetがいた場合は2 nd jet $p_T < 50\text{GeV}$ を要求)
4.	$\Delta\Phi(\text{MissingEt}, 1^{\text{st}} \text{ jet}) > 2.0$
5.	MissingEt $> 200\text{GeV}$

Leading Jet p_T (No leptonのCut後)



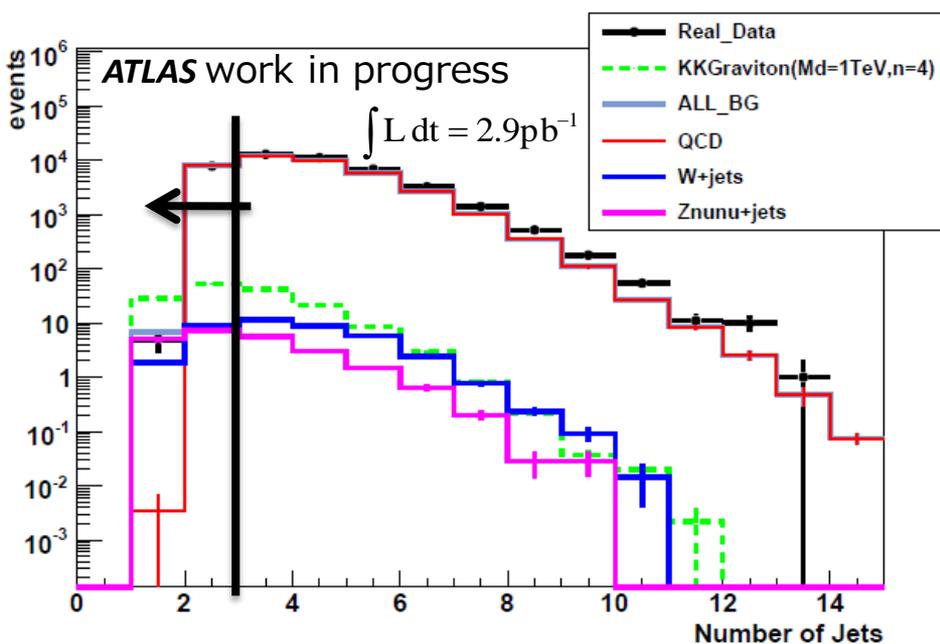
$\Delta\Phi$ 分布(Leading Jet p_T のCut後)



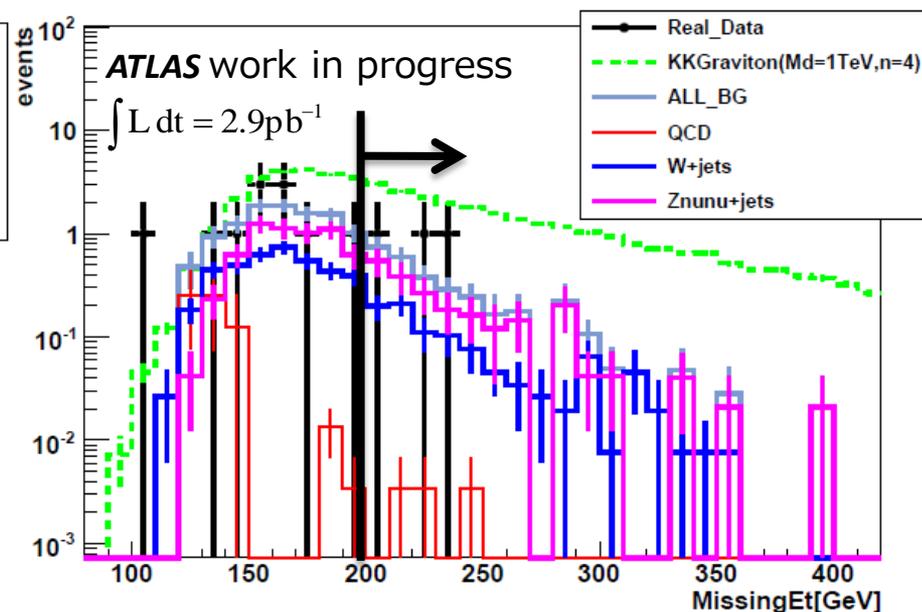
Selection Criteria for KKGraviton search

	Cut
1.	Number of lepton =0 ($p_T > 10\text{GeV}$)
2.	1 st jet $p_T > 200\text{GeV}$ && $ \text{Eta} < 2.8$
3.	Number of jets ≤ 2 (ただし、2番目のjetがいた場合は2 nd jet $p_T < 50\text{GeV}$ を要求)
4.	$\Delta\Phi(\text{MissingEt}, 1^{\text{st}} \text{ jet}) > 2.0$
5.	MissingEt $> 200\text{GeV}$

of Jets(Leading Jet p_T のCut後)



MissingEt分布($\Delta\Phi$ のCut後)



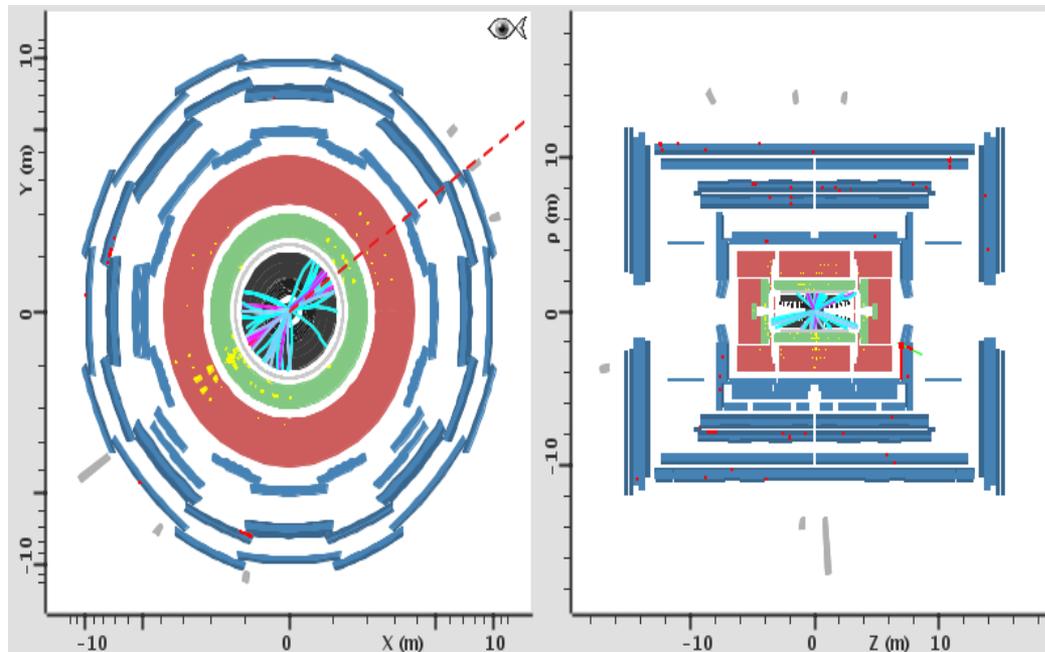
2.4 Real Data -mono-jetのCut flow-

	Data	All BG	Zv +jets	W + jets	QCD	KK (1TeV)	KK (1.5TeV)
Nolepton (10GeV)	1364247 ± 1168	1457931 ± 4195	324 ± 17	577 ± 3	1457037 ± 4196	820 ± 1	98.5 ± 0.1
Leading jet's pt>200GeV & eta <2.8	43825 ± 209	36492 ± 107	23.3 ± 0.8	40.4 ± 0.6	36428 ± 107	158 ± 1	20.8 ± 0.1
Number of jet ≤2 (2nd jet's pt<50GeV)	14 ± 3.6	13.8 ± 0.7	8.3 ± 0.6	4.9 ± 0.3	0.65 ± 0.3	50.4 ± 0.3	6.5 ± 0.03
$\Delta\Phi>2.0$ (MissingEt, Leading jet)	14 ± 3.2	13.8 ± 0.7	8.3 ± 0.6	4.9 ± 0.3	0.65 ± 0.3	50.4 ± 0.3	6.5 ± 0.03
MissingEt> 200GeV	3 ± 1.7	3.2 ± 0.3	2.2 ± 0.3	1.0 ± 0.1	0 ± 0	27.5 ± 0.2	3.7 ± 0.02



3.2発予測で3発観測ゆえ、
Real DataとAll Backgroundがコンシステント

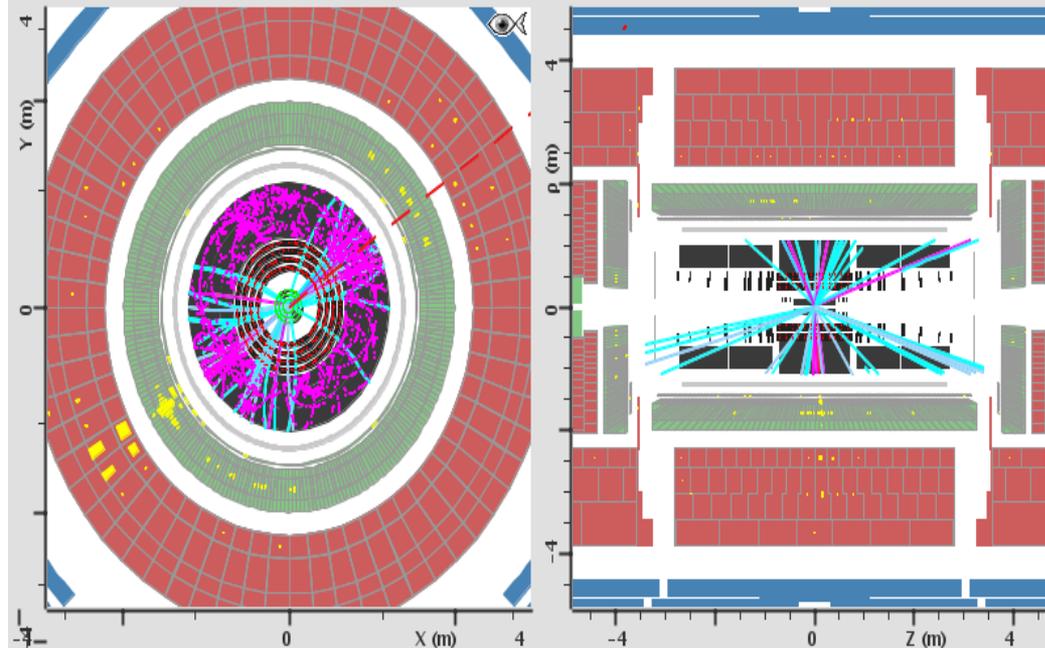
Real Data -mono-jetのCutで残ったイベント-



- Leading Jet の $p_T = 265 \text{ GeV}$
- Missing $E_t = 206 \text{ GeV}$
- $\Delta\Phi(\text{Missing } E_t, 1^{\text{st}} \text{ jet}) = 3.1$
- Jet に associate した track = 7
- Jet EMFraction = 0.41



$Z \rightarrow \nu\nu + \text{jets}$ の事象
を見ていると思われる



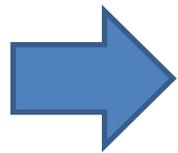
3. Large Extra Dimensionに対するLimit

3.2発予測(SMのBG)で3発観測した場合の95% C.L.でのupper limitは**4.55**で、予測されるKKGravitonの事象(signal)の期待値がこれより大きければexcludeできる(90% C.L.でのupper limitは**3.48**)

(ただし、systematic errorは考慮していない)

余剰次元の数 $n=4$ のときのLEDモデルに対して、各 M_D でのsignalの期待値は

真のプランクスケール M_D	各 M_D でのsignalの期待値
1TeV	27.5 ± 0.2
1.5TeV	3.7 ± 0.02
2TeV	0.8 ± 0.01



真のプランクスケール M_D として1TeVのLEDモデルを95% C.L.で否定することができる(TevatronでのLimitは1.04TeV)
ただし、1.5TeVは90% C.L.では否定できる

色々な余剰次元の数 n に対してどこまで M_D に対してLimitがつけられるかは現在解析中だが、実験の初期段階においても新しいLimitをつけられる可能性がある。

systematic errorに関しても現在解析中だが、

- Jet Energy Scale の不定性 $\sim 10\%$
- 積分Luminosityの不定性 $\sim 11\%$

などがある。

4. まとめと展望

まとめ

- mono-jet事象は、大きな余剰次元の発見が期待でき、階層性問題の解決が期待できるイベントトポロジー
- 約 2.9pb^{-1} のLuminosityのReal Dataでmono-jet事象の探索を行った
- non-collision起源(Cosmicsなど)を除くCleaningを行った
- MCを規格化し、KKGravitonの探索に最適化したカットを掛けた
- DataとBackgroundはコンシステントであり、 $M_D = 1\text{TeV}$ (余剰次元の数 $n=4$)のLEDモデルを95%C.L.で否定することが出来た
(1.5TeV は90%C.L.では否定出来た)ただし、no systematic error

今後の展望

- systematic errorの見積もりとBackgroundの評価(統計が貯まれば data-drivenな手法で評価)は今後の課題
- 現在のLuminosityで各余剰次元の数 n に対してどこまで M_D に対して limitがつけられるかは現在解析中であるが、実験の初期段階においても新たなLimitをつけられる可能性がある