

ATLAS検出器におけるMissing E_T の実データを用いた性能評価法

日本物理学会
2007年9月24日 北海道大学



大川英希, 金谷奈央子^A, 浅井祥仁,
小林富雄^A, 駒宮幸男

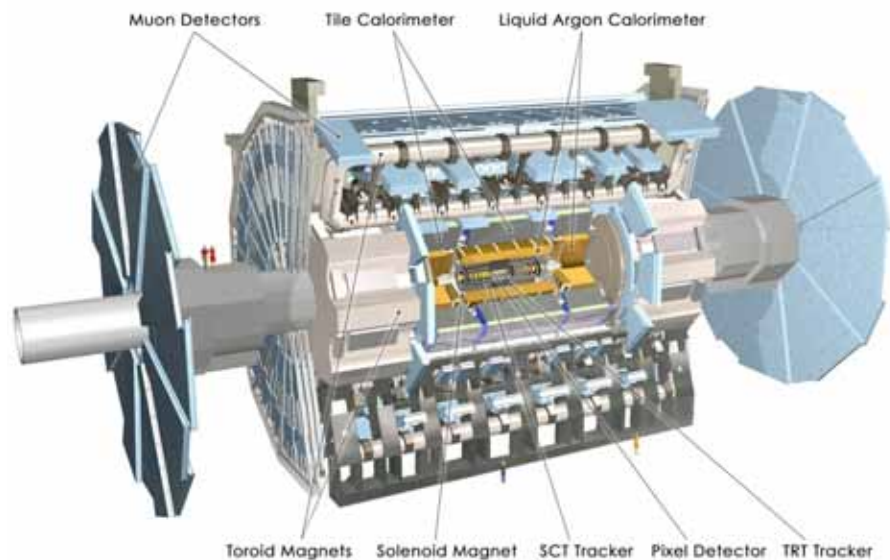
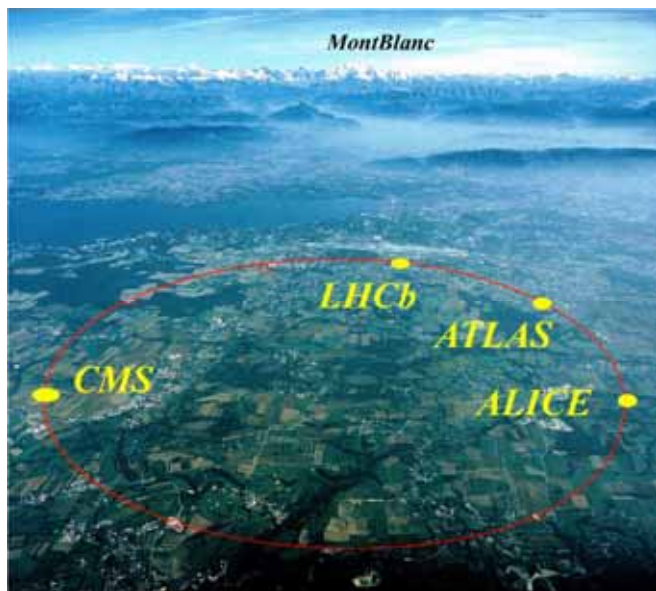
東京大学理学部,
東京大学素粒子物理国際研究センター^A



概要

- LHC加速器とATLAS検出器
- Missing E_T とは
- Missing E_T の性能
 - 分解能・スケール・tail
- 実データからの性能評価
 - Minimum Bias事象
 - W 事象
- まとめ

LHC加速器とATLAS検出器



LHC加速器はスイスのジュネーブ近郊に位置する欧州原子核研究機構 (CERN)にある周長27kmの陽子・陽子衝突器

重心エネルギー 14 TeVの世界最高エネルギー
最終到達ルミノシティ $10^{34}/\text{cm}^2\text{s}$

2008年から14TeVでの本格的な運転開始の予定

衝突点の一つに汎用検出器であるATLAS検出器が設置されている。

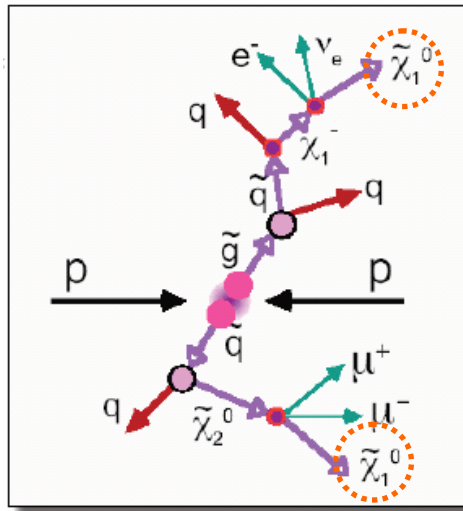
長さ44m、高さ22m、総重量7000t

超対称性粒子、ヒッグス粒子、高次元ブラックホールなどの発見が期待されている

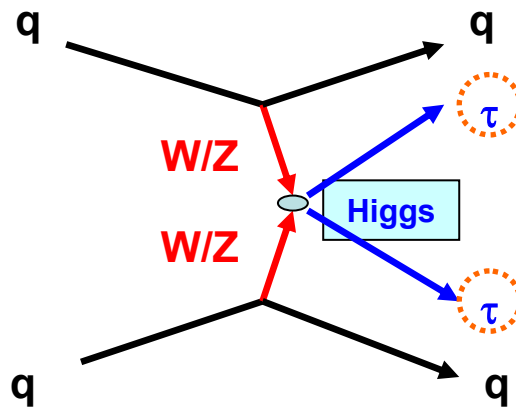
Missing E_T

カロリメータの横方向エネルギーとミュオンの横運動量のベクトル和

→ 理想的な検出器では相互作用しない粒子の横運動量のベクトル和になる



超対称性事象



ヒッグス粒子の生成・崩壊
(VBFusion $H \rightarrow \tau\tau$)

Missing E_T は超対称性事象やヒッグス粒子探索の鍵

実験初期に実データから性能評価を行なうことが極めて重要

Missing E_T の性能評価

Missing E_T の性能 = 分解能、スケール、tail

これらの性能評価のためには、有用なコントロールサンプルが必要

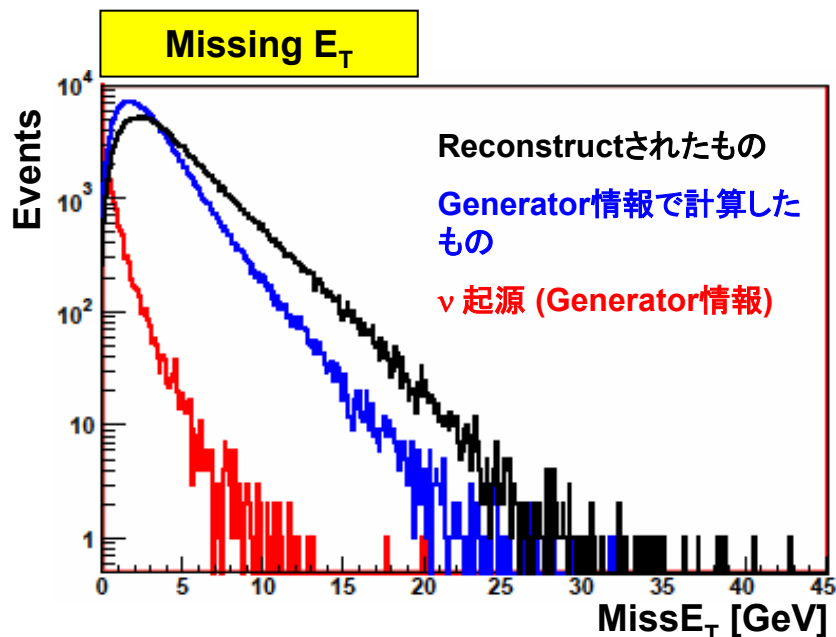
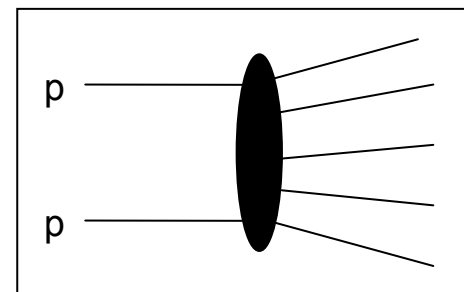
- **Missing $E_{X,Y}$ の分解能**
 - Missing $E_{X,Y}$ の真の値がわかるコントロールサンプルが必要
 - **Minimum Bias事象 (Miss $E_T \sim 0$ の事象)**
 - **$W(\rightarrow e\nu, \mu\nu)$ 事象 (M_T からMiss E_T の情報を得る), $Z(\rightarrow \tau\tau)$ ($M_{\tau\tau}$ から)**
- **Missing $E_{X,Y}$ のスケール (Miss $E_{X,Y} / \text{True Miss}E_{X,Y}$)**
 - **$W(\rightarrow e\nu, \mu\nu)$ 事象, $Z(\rightarrow \tau\tau)$ 事象, etc.**
- **Missing E_T のtailの評価** (本講演では触れない)
 - ミューオンのMissIDに由来するもの
 - 検出器の不感領域でのエネルギー損失

Minimum Bias 事象

Softな非弾性proton-proton散乱

Missing E_T の性能評価に適している理由

- (1) 球状に分布した事象で、かつheavy flavor jet起源の ν がない
→理想的にはMissing $E_T \sim 0$
- (2) 断面積が極めて大きい ~ 50 mb



- ・ ν の影響はほとんどないことがわかる。

Mean = 0.06 GeV

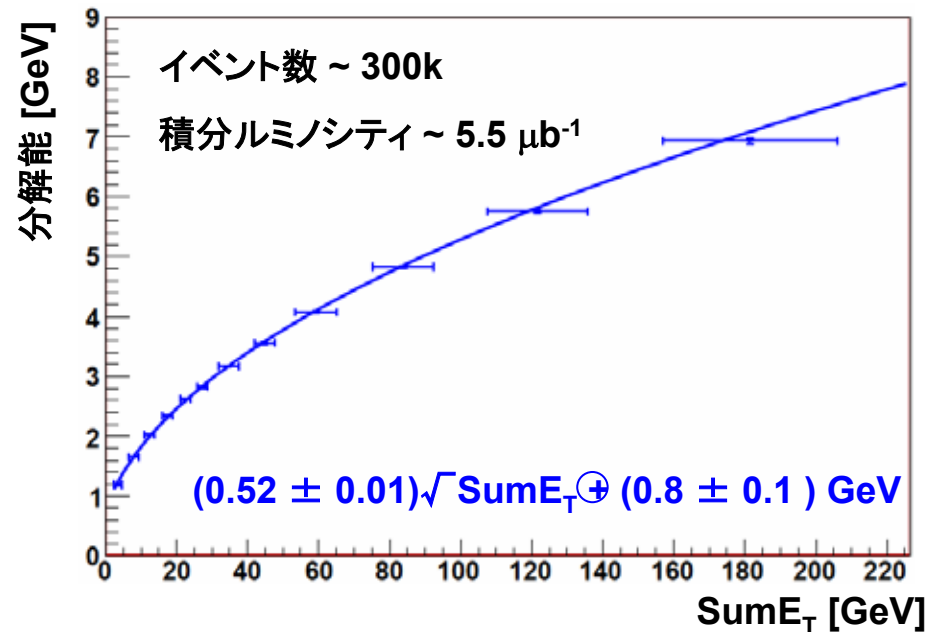
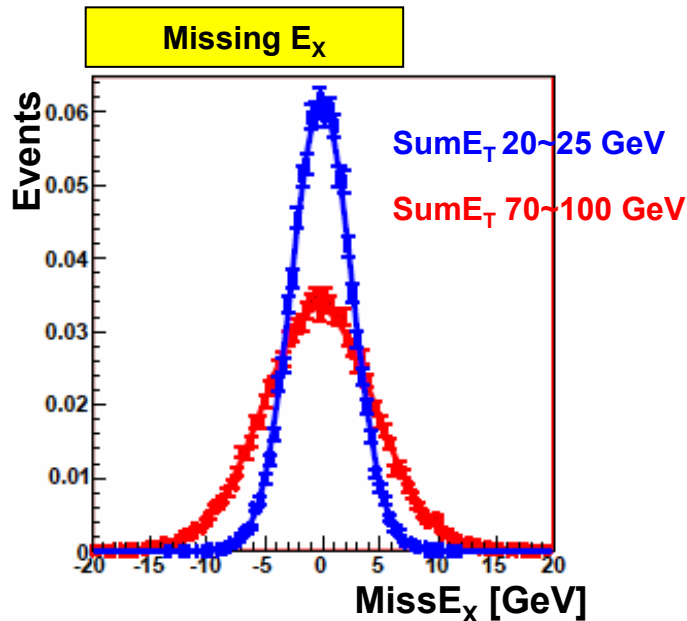
- ・ 主にacceptanceの影響が効いている

Mean = 3.0 GeV

- ・ 上記に加えて検出器の効果が入っている

Mean = 4.3 GeV

Missing E_x の性能評価 (Minimum Bias)



(Sum E_T : カロリメータでの横方向エネルギーのスカラ和)

- 上記のイベント数は、約1日分のデータ量に相当
- 分解能は、Sum E_T の関数として記述でき、カロリメータのstochastic termの影響が支配的であることがわかる

W事象を用いた性能評価

WのTransverse Mass

$$M_T = \sqrt{2p_T(\nu)p_T(\mu)\{1 - \cos \Delta\phi\}}$$

$\Delta\phi$: r - ϕ 平面に対して ν と μ のなす角度

M_T のピーク位置 → Missing E_T のスケール

M_T 分布の形 → Missing E_T の分解能

の情報を持っている。

W事象の M_T 分布を用いて, Missing E_T の性能評価をしたい

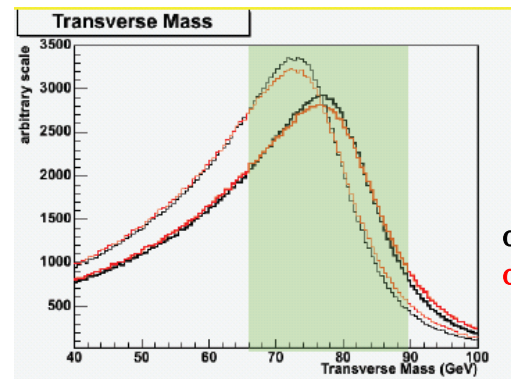
→ W Massは既知とする, leptonの精度はMiss E_T よりもはるかに良い

• テンプレート法

- W($\rightarrow \mu\nu$)のモンテカルロジェネレータの μ , ν を用いて、Wの M_T 分布を再構成する。
- その際に、 ν の p_T に、分解能 σ のガウス分布に従うランダムな補正を加え、スケール α を掛けた分布を各々の α , σ 毎に用意する(テンプレートの作成)。
- 各々のテンプレートで実データから得られる M_T 分布をフィットし、最も χ^2 の小さいパラメータを求める。

$$\text{Miss}E_x = \alpha \{ p_x(\nu) + \text{gauss}(0, \sigma) \}$$

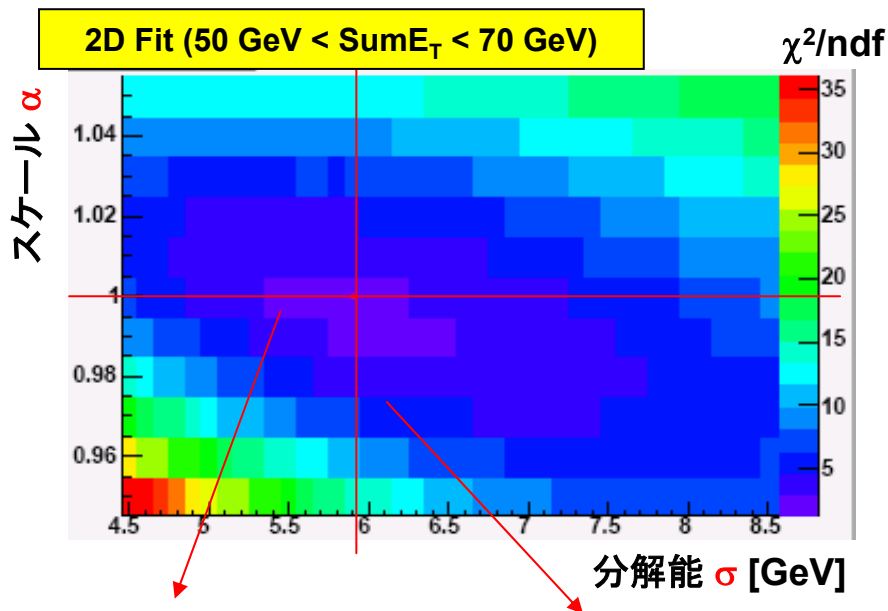
α : スケール, σ : 分解能



$\alpha=0.9, \sigma=7\text{GeV}$
 $\alpha=0.9, \sigma=8\text{GeV}$

$\alpha=1.0, \sigma=7\text{GeV}$
 $\alpha=1.0, \sigma=8\text{GeV}$

分解能とスケールの評価(1)

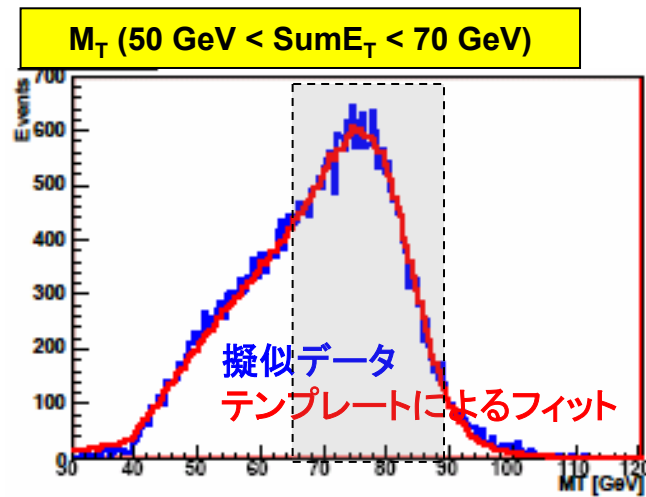
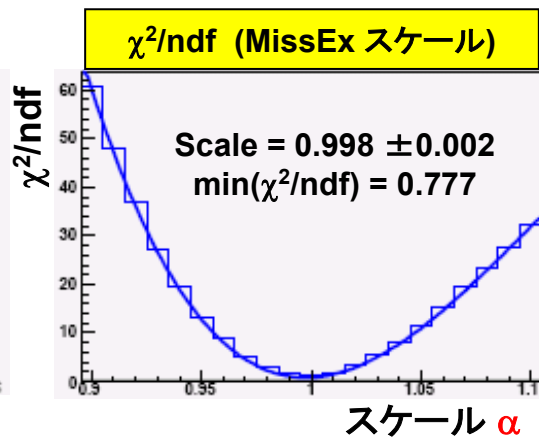
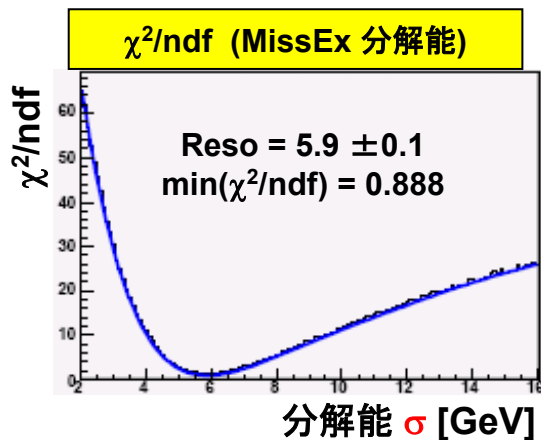


イベントセレクション

- 1 Isolated μ
 - $p_T > 20 \text{ GeV}$, $|\eta| < 2.5$
- Missing $E_T > 20 \text{ GeV}$

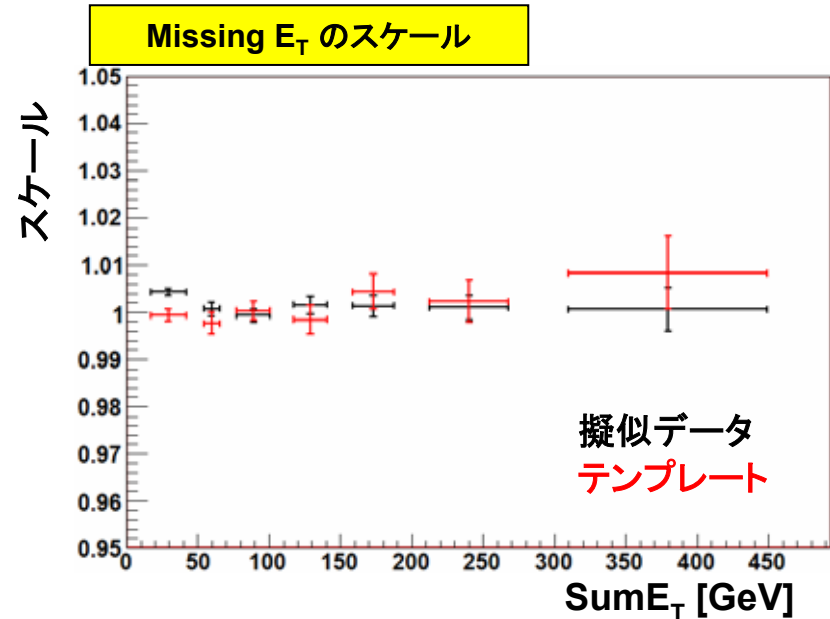
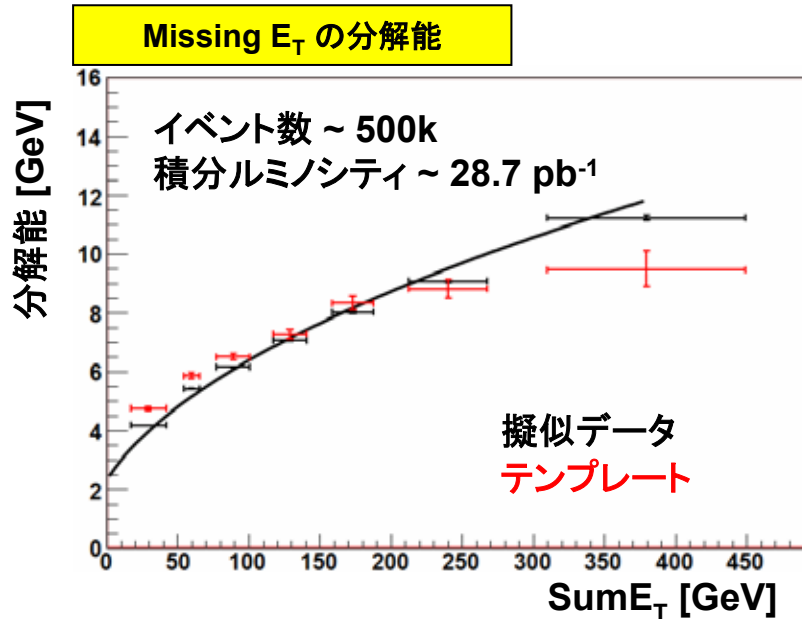
フィットするレンジ $65 \text{ GeV} < M_T < 90 \text{ GeV}$

テンプレートにおけるパラメータの刻み幅
(分解能 0.1 GeV , スケール 0.01)



Integ. Lumi. = 28.7 pb^{-1}

分解能とスケールの評価(2)



- ・ SumE_Tが低い領域での不一致は, $\Delta\text{Miss}E_x$ の分布の形がnon-Gaussianであることに起因していると考えられる(テンプレート法はGaussianを仮定しているため)。
- ・他のコントロールサンプルから分解能を出し, 上記のテンプレート法でスケールのみを求める手法も考案中
- ・バックグラウンドの影響, テンプレートの系統誤差については現在調査中(SumE_Tの低い領域では, $Z \rightarrow \mu\mu$, $W \rightarrow \tau\nu$, SumE_Tの高い領域ではttbar事象が含まれる)

まとめ

- 実験初期において、実データからMissing E_T の性能評価を行なうことは、超対称性事象やヒッグス粒子の探索にとって極めて重要
- Missing E_T の分解能は、 $\text{Sum}E_T$ についての関数として記述でき、カロリメータのstochastic termの影響が支配的であることがわかった。
- Missing E_T の分解能は、Minimum BiasとW事象のコントロールサンプルから評価できる。
- Missing E_T のスケールは、W事象から評価できる。

backups

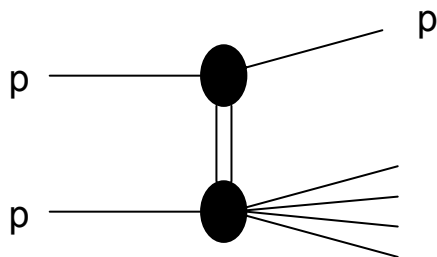
Minimum Bias 事象

ほとんどBiasを掛けずに選ばれた事象 → 実験的には全ての事象が含まれるが、non-diffractive事象を指すことが多い

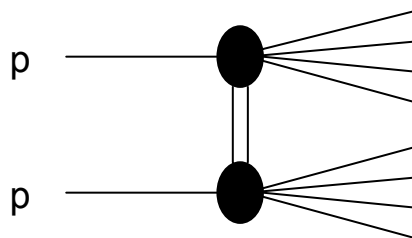
全事象の断面積

$$\sigma_{\text{tot}} = \sigma_{\text{elas}} + \sigma_{\text{sd}} + \sigma_{\text{dd}} + \sigma_{\text{nd}}$$

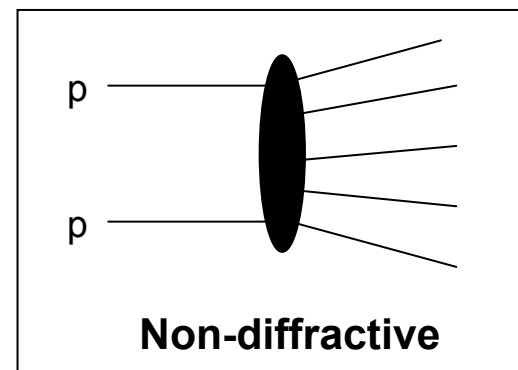
elas: elastic, sd: single-diffractive, dd: double-diffractive, nd: non-diffractive



Single-diffractive



Double-diffractive

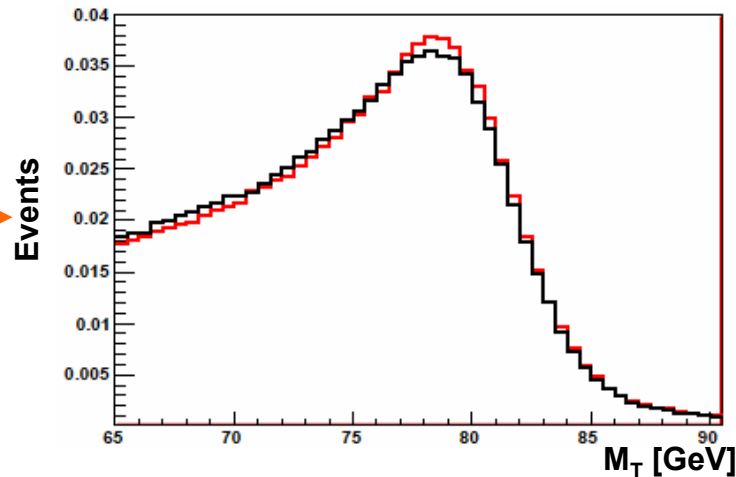
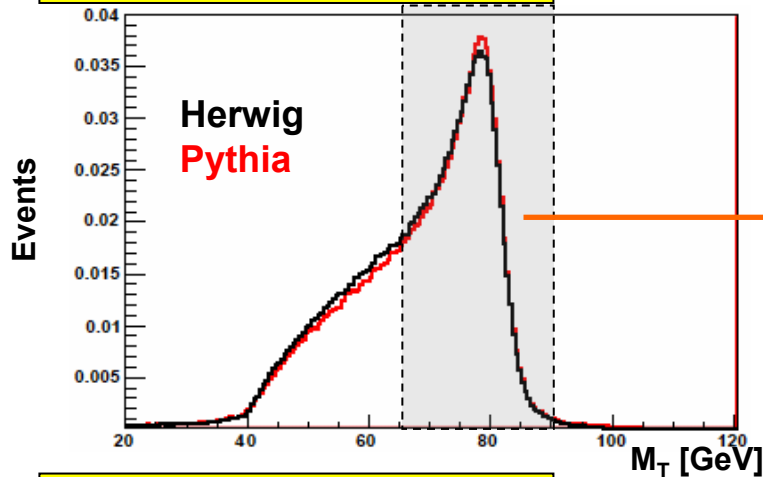


Non-diffractive

Minimum Bias事象は、球状に分布した事象で、かつエネルギーインバランスが少ないので、Missing E_T の分解能の評価に適している。

$W(\rightarrow\mu\nu)$ Template

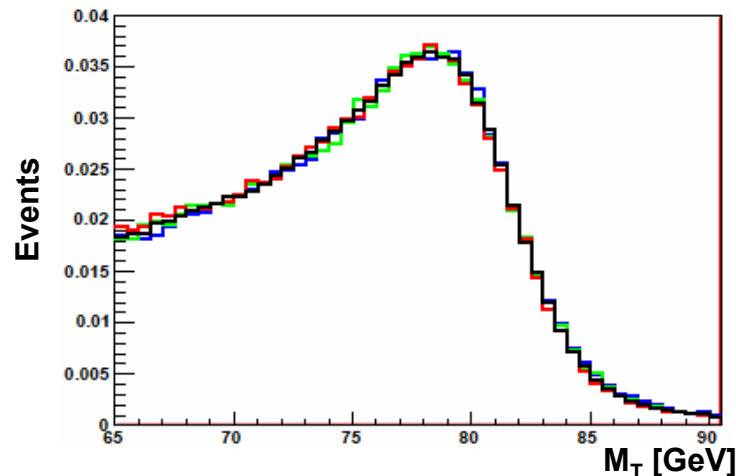
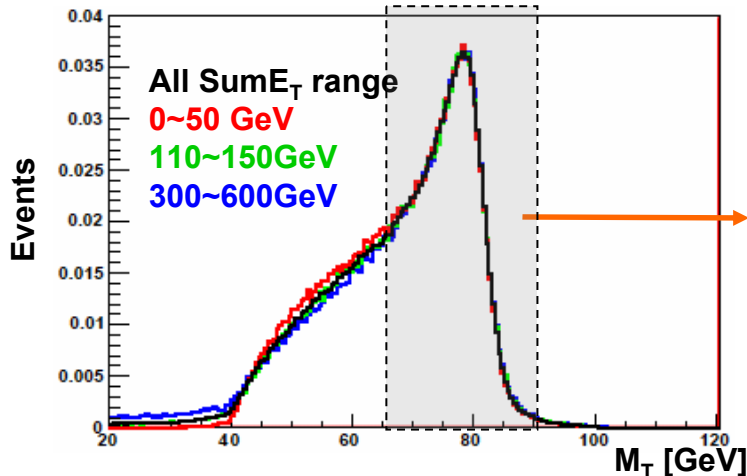
Generator Dependence



Template with
 $\alpha=1.0, \sigma=2\text{GeV}$

Different PDF
etc.

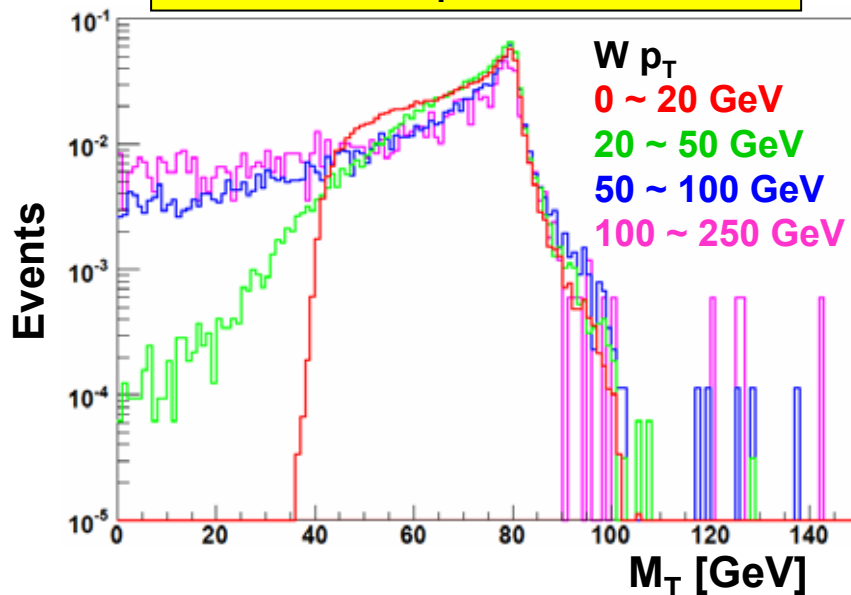
Sum E_T dependence



Slight difference
is seen on the
shape, but not so
effective in the
fitting range.

M_T Distributions for various $W p_T$

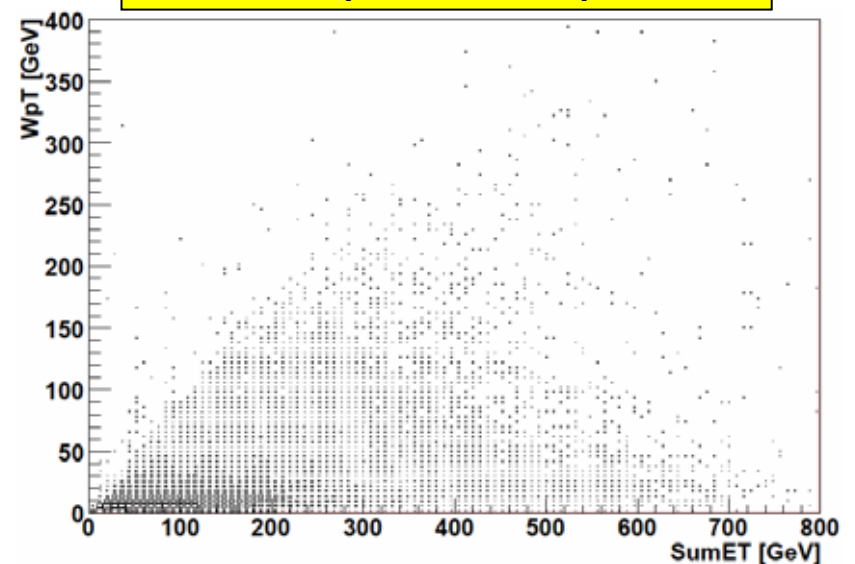
M_T 分布



Jacobian peak is stable for various $W p_T$.

Shape of the distribution is especially unstable in the low M_T region against $W p_T$
→ Fitting range should not be taken too wide

M_T vs $SumE_T$



Not much correlation is seen between $W p_T$ & $SumE_T$.

→ Making different Templates in each $SumE_T$ region is not so effective.

$W(\rightarrow\mu\nu)$ テンプレート法におけるBGの寄与

Normalized to Integrated Luminosity = 11.6 pb⁻¹

	SumE _T 0~50 GeV	SumE _T 50~70 GeV	SumE _T 70~110 GeV	SumE _T 110~150 GeV	SumE _T 150~200 GeV	SumE _T 200~300 GeV	SumE _T 300~600 GeV
$W(\rightarrow\mu\nu)$	13.1k (91.2%)	6.91k (83.2%)	13.1k (94.2%)	11.3k (95.1%)	10.5k (96.0%)	9.64k (97.8%)	3.31k (90.8%)
ttbar	--	--	0.2 (1e-5)	1.2 (0.01%)	8.6 (0.07%)	71.7 (0.7%)	288 (7.9%)
$W(\rightarrow\tau\nu)$	580 (4.0%)	684 (8.2%)	361 (2.6%)	313 (2.6%)	223 (2.0%)	87.1 (0.9%)	29.0 (0.8%)
$Z(\rightarrow\mu\mu)$	657 (4.6%)	658 (7.9%)	407 (2.9%)	242 (2.0%)	178 (1.6%)	48.9 (0.5%)	13.8 (0.4%)
$Z(\rightarrow\tau\tau)$	30.7 (0.2%)	50.5 (0.6%)	39.4 (0.3%)	24.4 (0.2%)	26.7 (0.2%)	7.1 (0.1%)	3.3 (0.1%)

In almost all SumE_T region, about 90% are from the signal.

Low SumE_T range → $W\rightarrow\tau\nu$ & $Z\rightarrow\mu\mu$ are dominant BG

High SumE_T range → ttbar is dominant BG

MET Offline Monitor

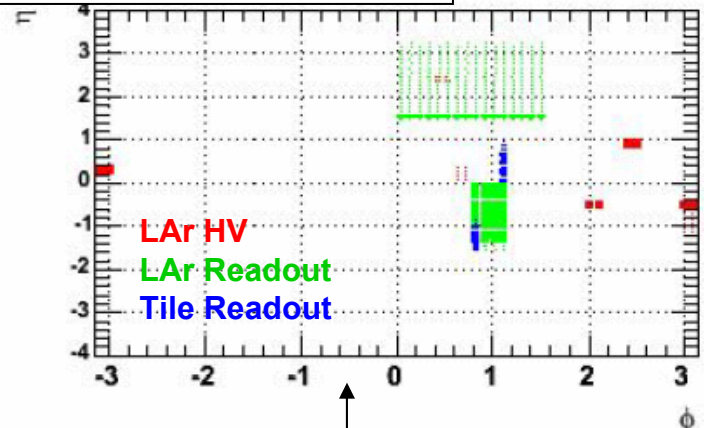
Minimum Bias events are also useful for Missing E_T monitoring

- (1) Effects from detector misalignment (CSC-01-02-00 used here)
- (2) Effects from detector failure (right figure)

→ Effects are seen on Missing $E_{X,Y}$ & Missing E_T 's ϕ direction

Fake Detector Problems

Thanks to Rob McPherson



from <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/Atlas/CaloCellWeightAna>

Missing E_T 's ϕ distribution

