

LHC-ATLAS実験における EWゲージノ対生成過程を用いた 長寿命荷電超対称性粒子の探索

風間慎吾、東裕也、山本真平^A、
陣内修^B、浅井祥仁、小林富雄^A

東大理、東大素セ^A、東工大^B

目次

- モチベーション
- Electro Weak ゲージノ対生成過程
- データセット & イベントセレクション
- バックグラウンド&シグナルの評価方法
- 結果
- まとめ

モチベーション

• グルイーノやスクォーク生成過程によるSUSY探索には既に強い制限が課せられている。
(カラー荷を持った超対称性粒子に対して**約1TeV程度**の質量下限値)

→ カラー荷を持った超対称性粒子は重く、重心系エネルギー7TeVでは到達できないところにある？

→ **Electro Weak(EW)ゲージノ対生成過程の探索が重要!!**

• AMSBモデルでは、グルイーノはEWゲージノに比べて非常に重い。
 $m(\text{bino}) : m(\text{wino}) : m(\text{gluino}) \sim 3:1:7$

• グルイーノ対生成過程を用いたAMSBモデルにおけるDisappearing trackの探索は、モデル依存性が高い。

→ **EWゲージノ対生成過程は、よりモデル依存性が少ない探索が可能!!**

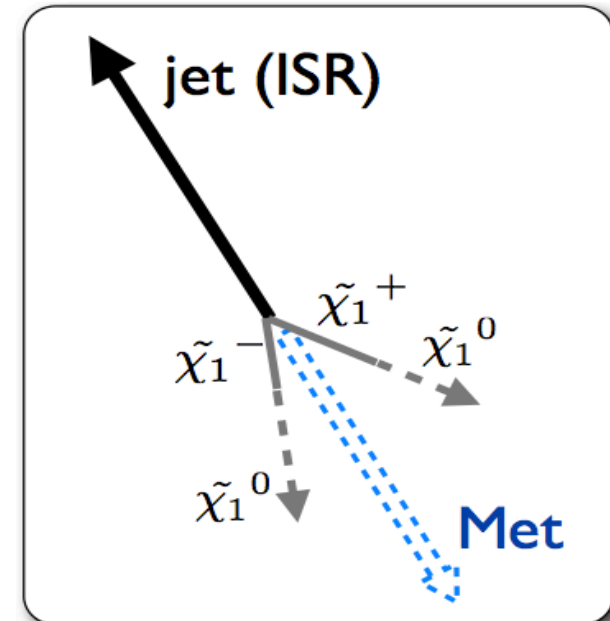
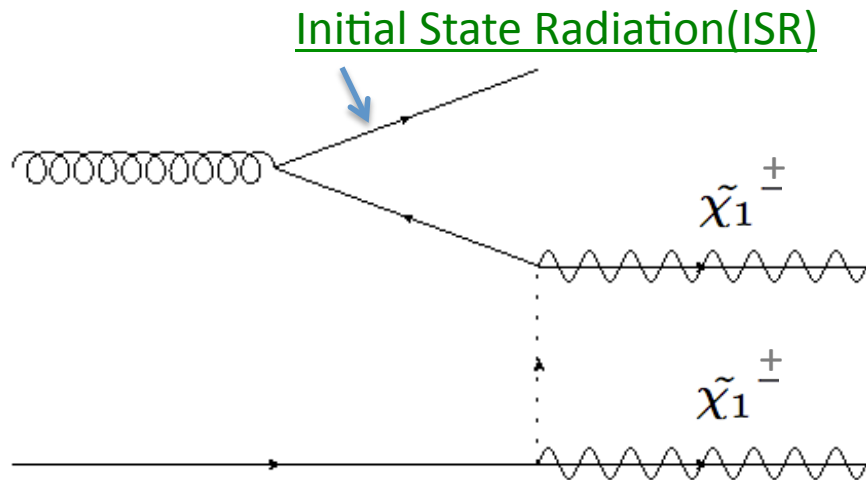


ゲージノ対生成過程を用いたAMSBモデルの探索が重要

これらの解析はLHCにおいて、未だ行われておらず、SUSYが潜んでいる可能性が高い。

Electro Weakゲージノ対生成過程

AMSBモデルにおけるゲージノ対生成過程



特徴

- charginoとneutralinoの質量は縮退している。
→崩壊時の π/e がソフト & charginoが長寿命
→途中からhitが無く、消失したかのような信号
(長寿命 $O(1)$ ns、大きな運動量のtrack)

- 大きな生成断面積: $O(1)$ pb for 100 GeV chargino

- 終状態: ISR JetとMissing E_T がback-to-back (mono-jet like)

探索すべきは、Mono-jet + Missing E_T + Disappearing tracks with high momentum

データセット & イベントセレクション

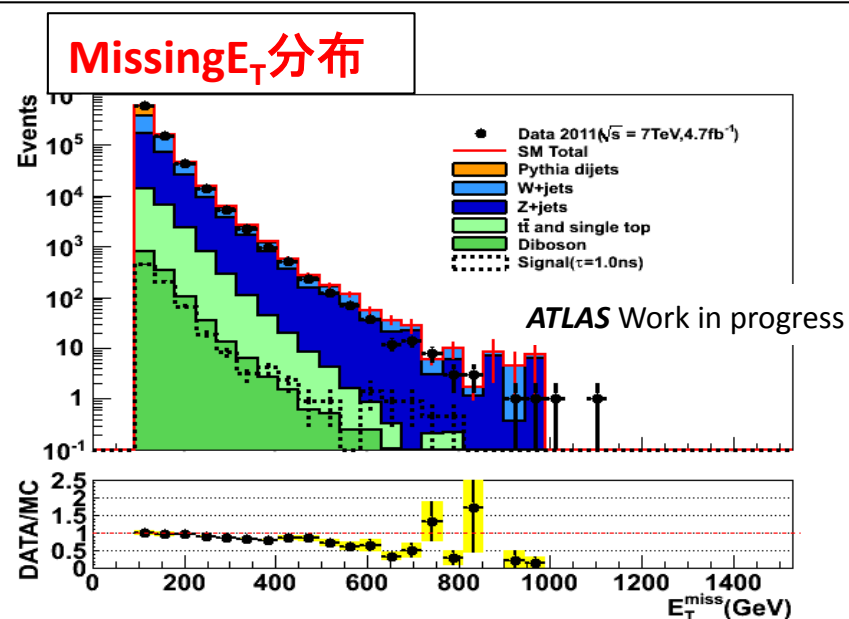
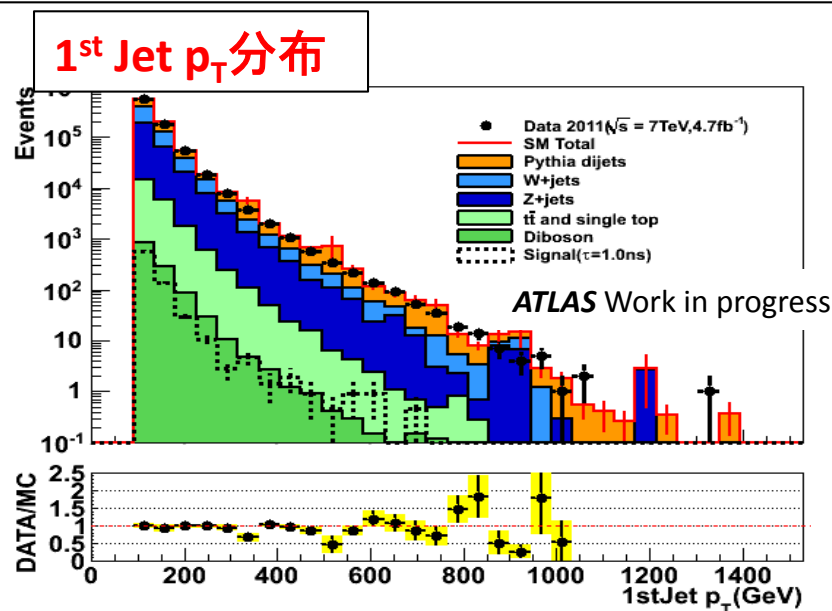
•用いたデータ

2011年に取得した約 4.7fb^{-1} のデータ

トリガー: leading jet $p_T > 55\text{GeV}$ & Missing $E_T > 55\text{GeV}$ & $\text{Min}\{\Delta\phi(\text{Jets}_i, \text{Missing}E_T)\}_{i=1,2} > 1.0$

•Kinematic selection

- No lepton (electron, muon with $p_T > 10\text{GeV}$)
- # of jets > 0 , $|\eta| < 2.8$
- 1st jet $p_T > 90\text{GeV}$
- Missing $E_T > 90\text{GeV}$
- $\text{Min}\{\Delta\phi(\text{Jets}_i, \text{Missing}E_T)\}_{i=1,2} > 1.0$ (JetとMissing E_T がback-to-backを要請)



シグナルとバックグラウンドで分布の形が同じ

→kinematic cutは、出来る限り緩くし、trackのcutでバックグラウンドを落とす

データセット & イベントセレクション

• **Track selection** : 少なくとも1本のdisappearing trackを要請

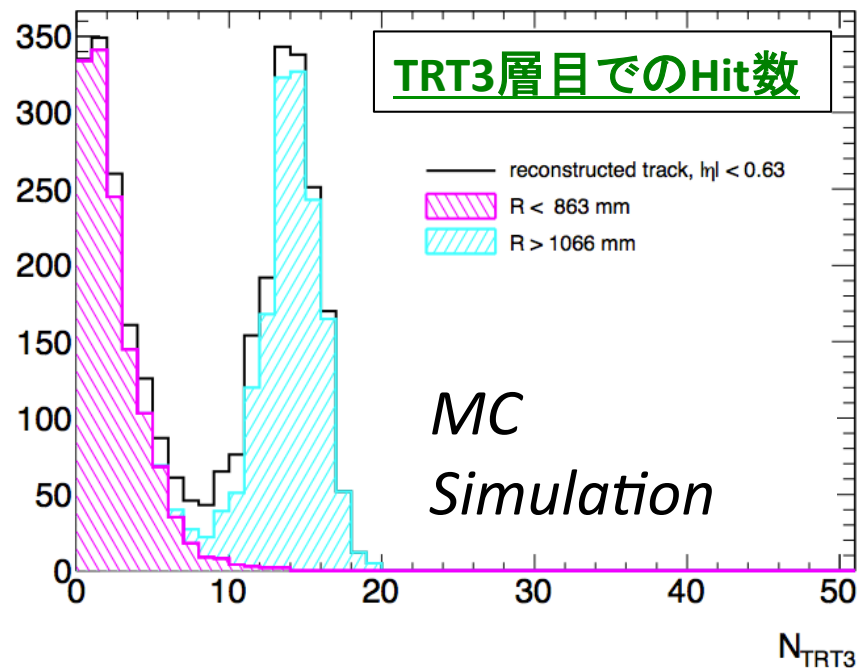
1. Track $p_T > 10\text{GeV}$

2. $|\eta| < 0.63$ (バレル領域のTRTを通過したtrackを選択)

3. Isolation: $dR(\text{Jets}_i, \text{track})_{i=1,2} > 0.4$ & $dR < 0.10$ 以内に他のtrackなし

4. $N_{\text{TRT3}} < 5$ (TRT3層目でのHit数が少ないことを要求) → disappearing track

グルイーノ対生成過程の際のChargino検出手法と同じ手法を用いる



ピンク: TRT3層目にたどり着く前にdecayしたchargino

ブルー: TRT3層目を突き抜けたchargino

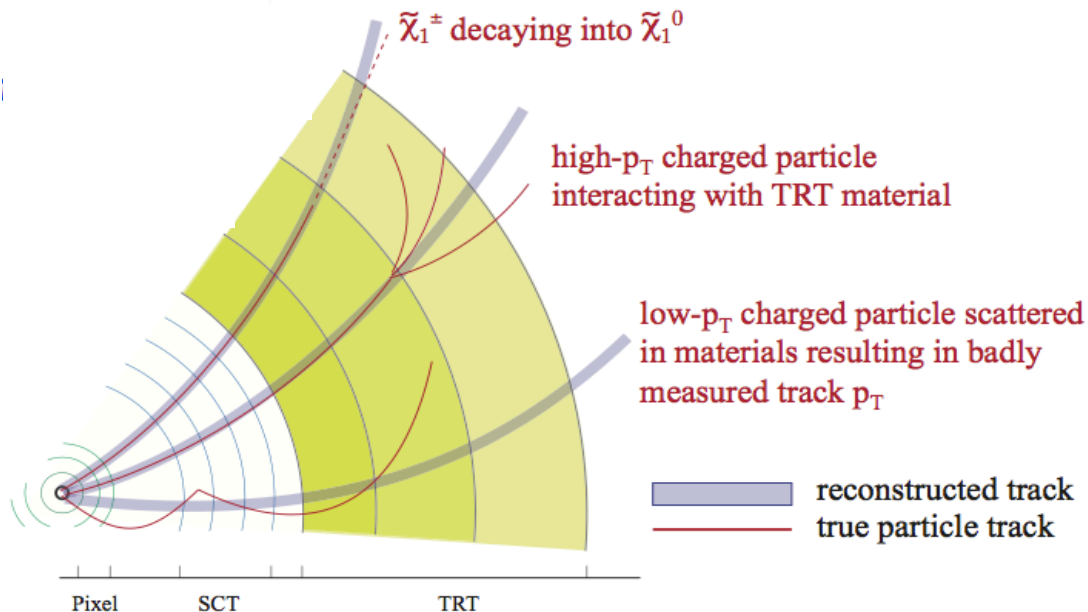
バックグラウンド

1. Interacting hadron track

- Inner detector中でhadron interactionを起こしたtrack。
- Interactionによって多数の2次粒子が生じ、トラックに付随するTRTの最外モジュールでのhit数が少なくなる。
- カロリメータでのactivityあり

2. Badly reconstructed track

- 低い運動量のtrackがinner detector内で散乱され、間違ってhigh- p_T のtrackとして再構成されたもの
- カロリメータでのactivityなし



バックグラウンド&シグナルの評価方法

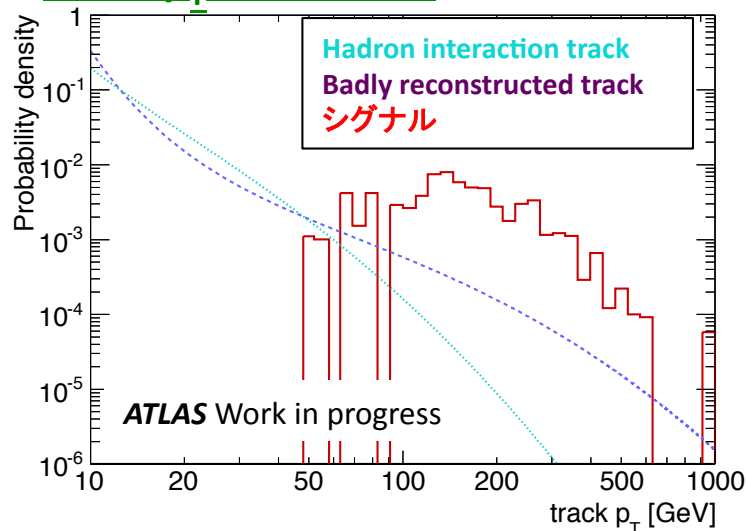
MCではmaterialの効果を正しく取り入れる事が困難
さらに、badly reconstructed trackの影響の正しい評価も困難

→ バックグラウンドの見積もりは全て実際の実験データを用いて行う。

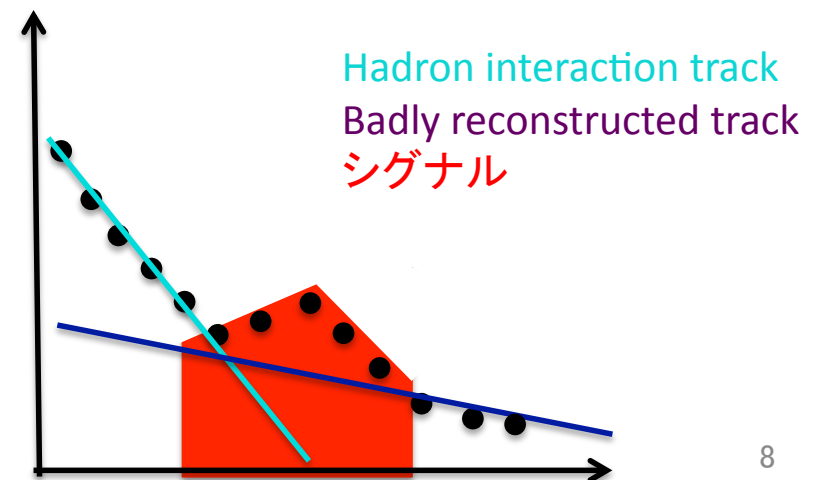
バックグラウンド&シグナルの評価方法

- それぞれのバックグラウンドがエンハンスされる領域で、track p_T 分布をある関数形で fitし、バックグラウンドのtrack p_T 分布のテンプレートを得る。
- 上記のバックグラウンドのテンプレートとMCで見積もったシグナルのtrack p_T 分を用いて、シグナル領域のcandidate trackに対して、fitを行う。

Track p_T 分布のPDF



Track p_T 分布



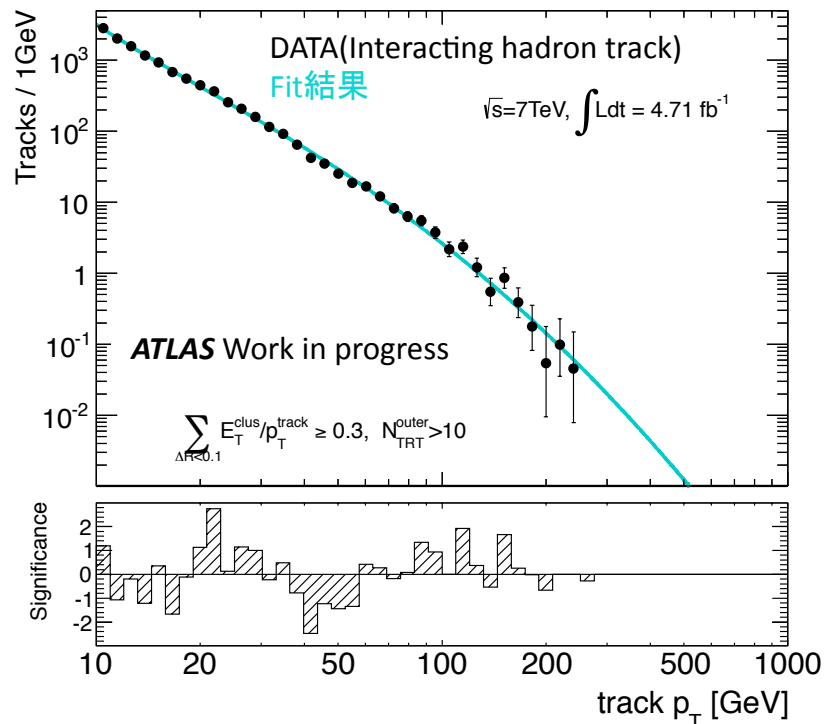
Interacting hadron track

Interacting hadron trackはjet中のtrackが主な起源

→ track p_T 分布はkinematicsに依存するため、同じkinematic selectionの要求が必要

hadron interaction が起きる確率は、track p_T に依存しないため、Interacting hadron track の p_T 分布は突き抜けたtrackの p_T 分布と同じ形になる

→ $N_{TRT3} > 10$ (シグナル領域と直交) + カロリメータでのactivityアリを要求してエンハンス



セレクションのまとめ

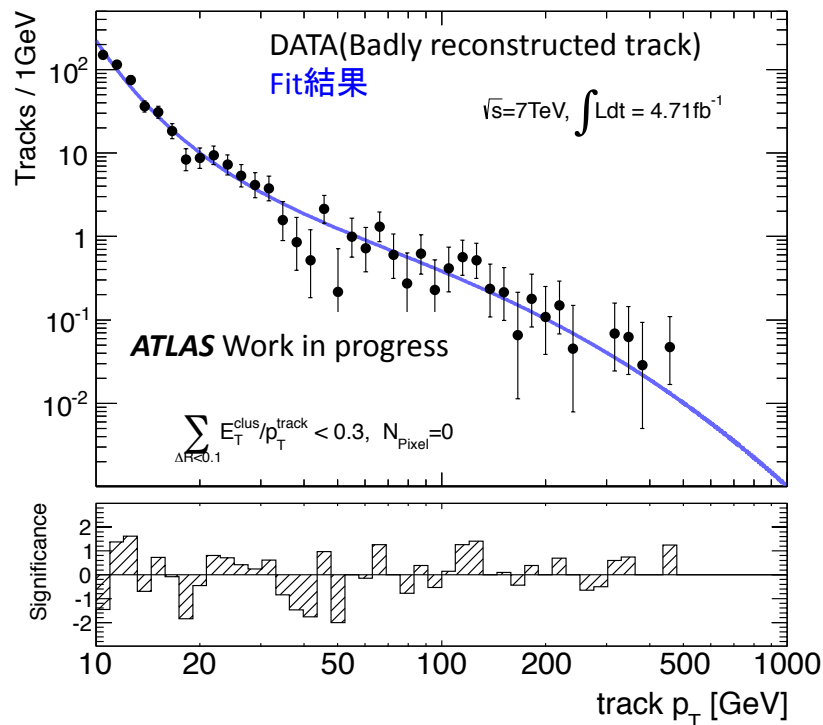
1. 1st jet $p_T > 90\text{GeV}$
2. Missing $E_T > 90\text{GeV}$
3. $\text{Min}\{\Delta\phi(\text{Jets}_i, \text{Missing } E_T)\}_{i=1,2} > 1.0$
4. At least 1 isolated track
5. $N_{TRT3} > 10$
6. $(dR < 0.1 \text{にある } \text{Sum } E_T) / \text{track } p_T > 0.3$

Badly reconstructed track

Badly reconstructed trackの p_T 分布はkinematicsに依存しない。
(Jetが多いほどfakeの数は増えるがtrack p_T 分布のshapeは変わらない。)

シグナル領域と直交させるために、 $\text{Min}\{\Delta\phi(\text{Jets}_i, \text{Missing}E_T)\}_{i=1,2} < 1.0$ を要請

$N(\text{Pixel}) = 0$ & カロリメータでのactivityが低いことを要求して、エンハンス



セレクションのまとめ

1. $\text{Min}\{\Delta\phi(\text{Jets}_i, \text{Missing}E_T)\}_{i=1,2} < 1.0$

+

2. 以下の条件を満たすtrack

- Isolated track

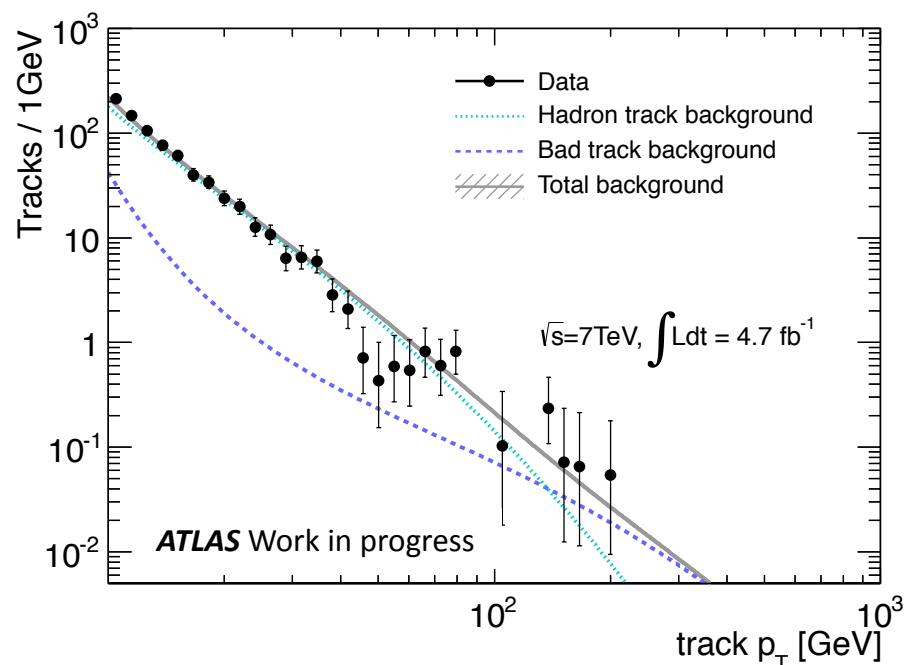
ただし、

- $N(\text{Pixel}) = 0$

- $(\text{dR} < 0.1 \text{にある Sum}E_T) / \text{track } p_T < 0.3$

結果:Fit結果(Background only)

Fit result (Background only)



Candidate events = 1028

p-value of null hypothesis = 0.50

Fraction of bad track = 0.12 +/- 0.07

→123 +/- 71 events

MCによるstudyの結果, bad trackが観測される割合は約 10^{-4}
Kinematic selection後では 5×10^5 eventsなので、
 $5 \times 10^5 \times 10^{-4} = 50$ bad tracksが期待される。

この結果はfit結果ともコンシステント

実験データは標準理論からの予言とコンシステントであり、chargino起源と思われるtrackは観測されなかった。

まとめ & 今後の展望

まとめ

- 積分ルミノシティ 4.7fb^{-1} のデータを用いて、AMSBモデルから予想される超寿命荷電粒子の探索を行った。
- ゲージノ対生成過程を用いたAMSBモデルの探索はLHCでは本解析が初めて
- バックグラウンドとしては、hadron interactionを起こしたtrackとbadly reconstructed trackがあり、どちらも実験データを用いた評価を行った。
- 実験データは標準理論からの予言とコンシステントであり、chargino起源と思われるtrackは観測されなかった。

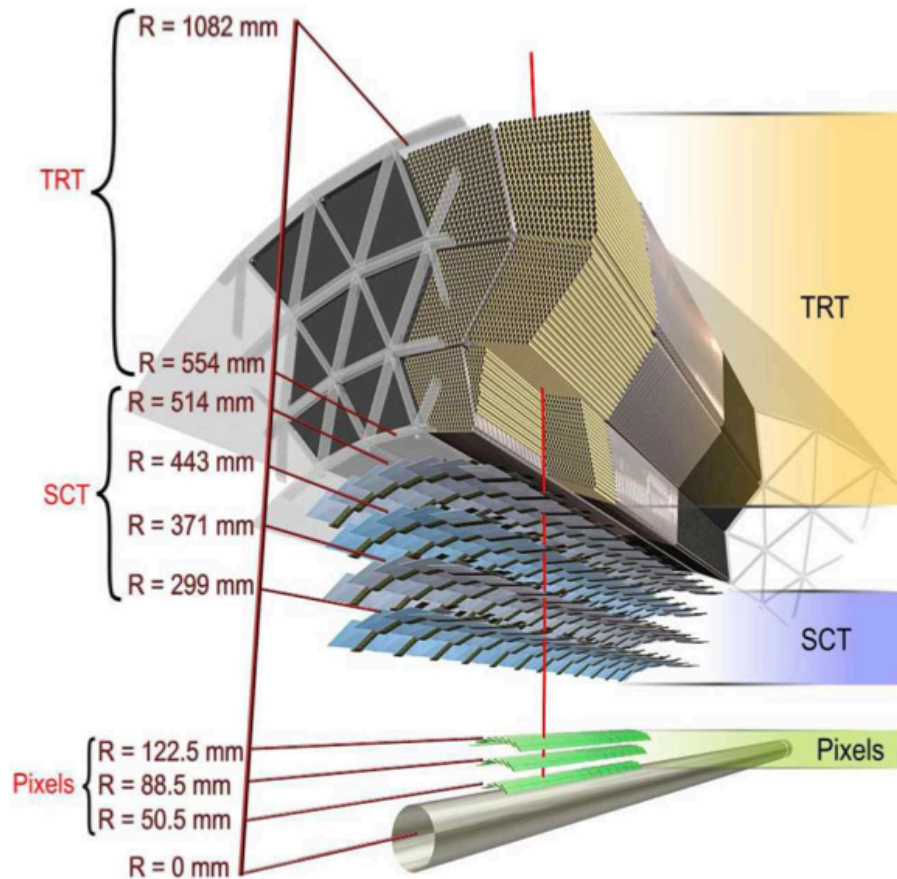
今後の展望

- より寿命の短いcharginoの探索

例) Pixel検出器,SCT検出器1,2層目のみの情報(dE/dx など)を用いて、chargino起源のtrackの再構成

BackUp

内部飛跡検出器

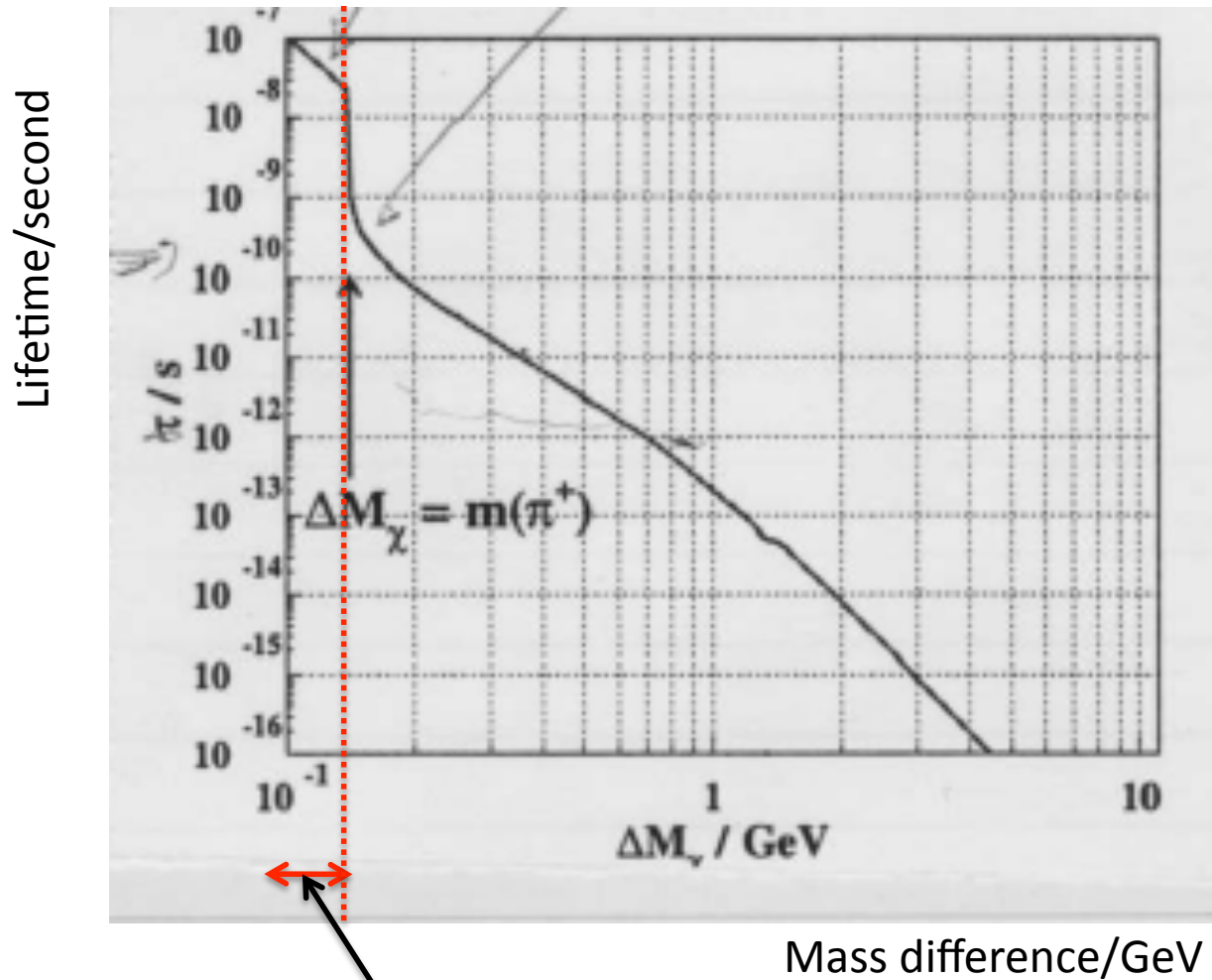


1. Pixel検出器:3層構造
2. Semiconductor Tracker (SCT): 2枚のストリップ状のセンサーを重ね合わせたもので構成されるsilicon検出器。4層構造
3. Transition Radiation Tracker (TRT): 多数のドリフトチューブからなる連続飛跡検出器。大きく3つのモジュールで構成される

現在のATLAS実験のtrack再構成アルゴリズムでは、SCT3層目にHitがないtrackのtracking efficiencyは低い。

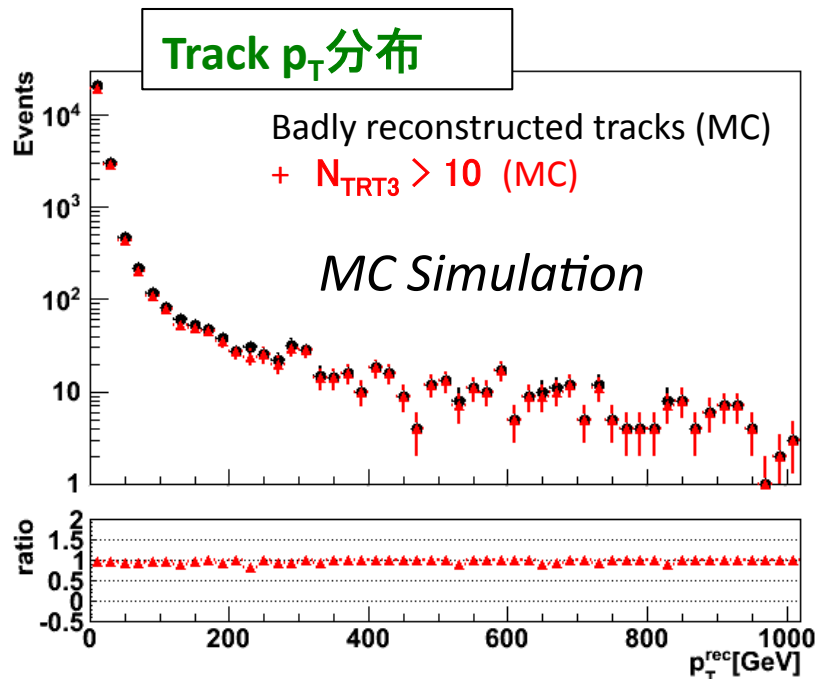
→探索可能なcharginoの寿命領域が制限される

Mass differenceと寿命の関係



本解析でカバーしているのは、図中の赤線の領域

Badly reconstructed track



N_{TRT3} カットはbad trackのShapeを変えない
→ N_{TRT3} カットを緩くしても、問題ない



セレクションのまとめ

1. $\text{Min}\{\Delta\phi(\text{Jets}_i, \text{Missing}E_T)\}_{i=1,2} < 1.0$
+
2. 以下の条件を満たすtrack
 - Isolated track
 - $N(\text{Pixel}) = 0$
 - $(dR < 0.1 \text{にある} \text{Sum}E_T) / \text{track } p_T < 0.3$
 - $N_{\text{TRT3}} < 10$ ← 条件を緩めた(統計を稼ぐため)

Unbinned Maximum Likelihood法

$$\begin{aligned}
 \mathcal{L}(\mu, n_b, f_{\text{bad}}, \alpha, \vec{\beta}_{\text{bad}}, \vec{\beta}_{\text{had}}) &= \prod^{n_{\text{obs}}} \mathcal{L}(p_T; \mu, n_b, \alpha, \vec{\beta}) \\
 &= \prod^{n_{\text{obs}}} \left[\frac{\mu n_s^{\text{exp}}}{n_b + \mu n_s^{\text{exp}}} \mathcal{L}_s(p_T; \mu, \alpha) + \frac{n_b}{n_b + \mu n_s^{\text{exp}}} \mathcal{L}_b(p_T; \vec{\beta}_{\text{bad}}, \vec{\beta}_{\text{had}}) \right], \\
 n_s^{\text{exp}} &= L \sigma_s \epsilon_s (1 + \alpha), \\
 \mathcal{L}_b(p_T; \vec{\beta}_{\text{bad}}, \vec{\beta}_{\text{had}}) &= f_{\text{bad}} \mathcal{L}_{\text{bad}}(p_T; \vec{\beta}_{\text{bad}}) + (1 - f_{\text{bad}}) \mathcal{L}_{\text{had}}(p_T; \vec{\beta}_{\text{had}}),
 \end{aligned}$$

unbinned ML法で用いたパラメータは以下の通り

μ	the signal strength
n_{obs}	the observed number of events
n_s^{exp}	the expected number of signal events for a given model
n_b	the number of background
L	the integrated luminosity
σ_s	the signal cross section
ϵ_s	the signal selection efficiency
f_{bad}	the fraction of bad track in the background
α	the nuisance parameters representing the signal normalization
β_{had}	the nuisance parameters representing the p_T spectrum of the hadron track
β_{bad}	the nuisance parameters representing the p_T spectrum of the bad track