

# LHC-ATLAS実験におけるグルイーノ対生成過程を 用いた長寿命荷電超対称性粒子の探索 (AMSBチャージーノ)

日本物理学会2012年秋年次大会  
関西学院大学

東裕也 (東大理)

風間慎吾(東大理)  
山本真平(東大素セ)  
陣内修(東工大)  
浅井祥仁(東大理)  
小林富雄(東大素セ)

# 超対称性から期待される長寿命荷電粒子

## Anomaly Mediated Supersymmetry Braking (AMSB)モデル

- gauginoの質量比

\*  $m(\text{bino}) : m(\text{wino}) : m(\text{gluino}) \sim 3:1:7$

→ winoが最も軽いgaugino

\* NLSP (chargino), LSP (neutralino)の成分が主にwinoとなる

\* charginoとneutralinoの質量が縮退し、長寿命となる ( $\Delta M \sim 200\text{MeV}$ )

\* ATLASでも飛跡の観測が期待される

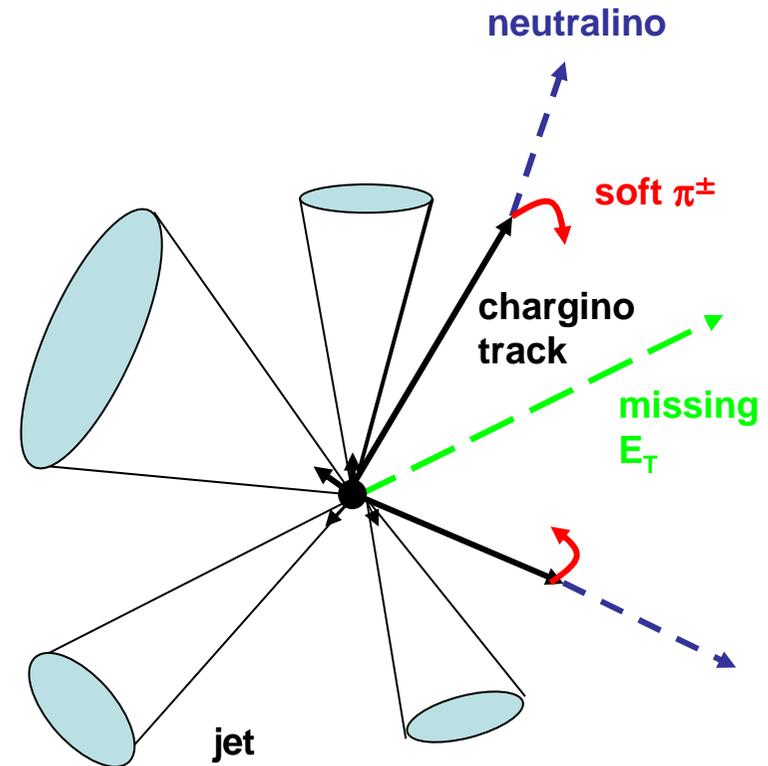
- gluino 対生成過程

$$* \tilde{g}\tilde{g} \rightarrow q\bar{q}' \tilde{\chi}_1^- q\bar{q}' \tilde{\chi}_1^-$$

\* gluinoの崩壊から多数のjetがでる。

\* gluinoの崩壊からのcharginoは高い運動量をもつ。

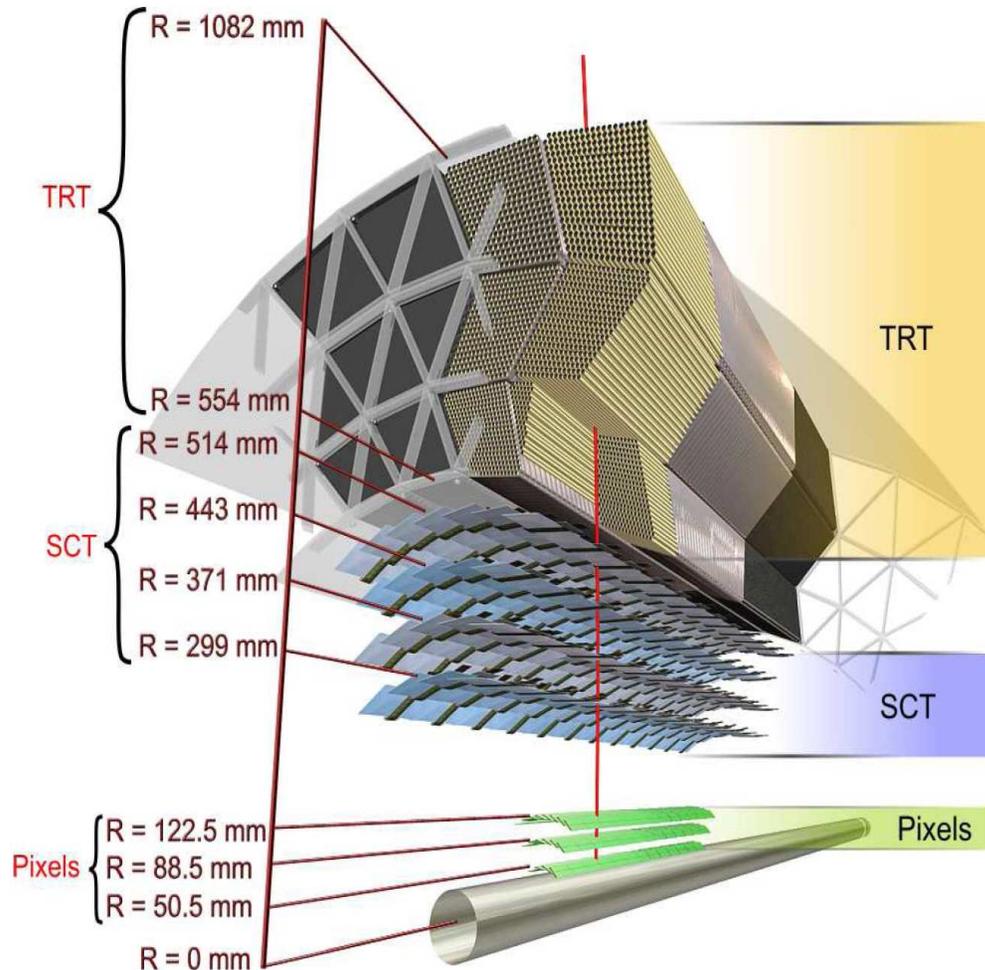
\* neutralinoが大きなmissing  $E_T$ を作る。



AMSB gluino対生成過程のイベントトポロジー

gaugino対生成過程の解析については次講演(24pFA-4: 風間)

# ATLASの内部飛跡検出器



ATLAS検出器は3つの検出器から構成

## 1. Pixel検出器

pixel センサーのモジュールが3層配置される

## 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 検出器で4層配置される

## 3. Transition Radiation Tracker (TRT)

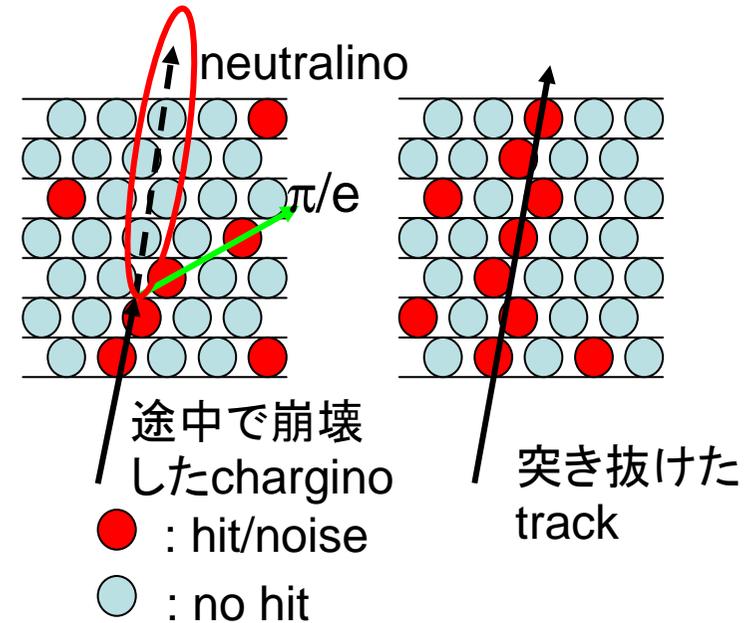
多数のdrift tubeからなる連続飛跡検出器であり、遷移輻射を用いて電子の粒子同定にも用いられる。

大きく3つのモジュールで構成され、内側から19,24,30のdrift tubeの層からなる

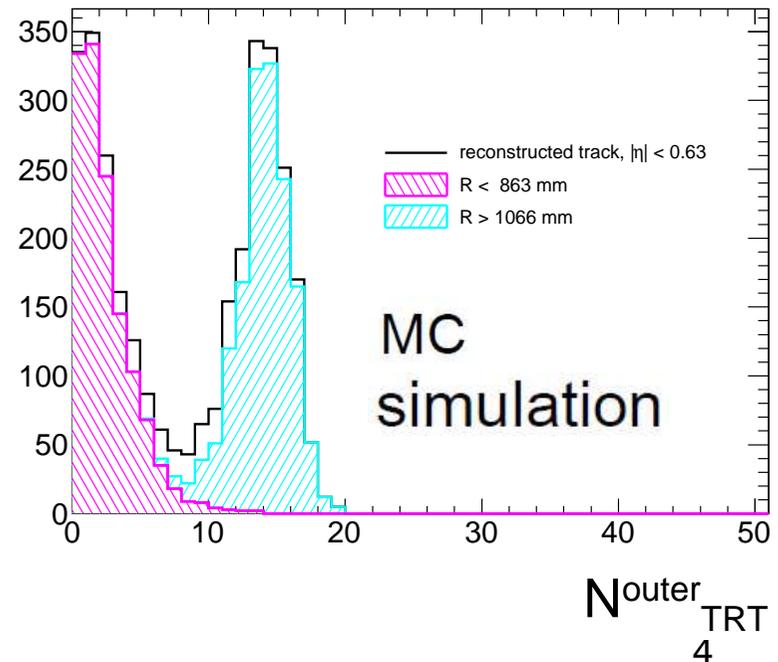
連続飛跡検出器をもつのはATLASの大きな特徴である

# TRTを用いたcharginoの検出

- charginoの崩壊
  - \* charginoはneutralinoと荷電 $\pi$ または $e\nu$ へと崩壊
  - \* 質量の縮退によって、崩壊時の $\pi/e$ がソフトになる
- charginoの信号
  - \* neutralinoとソフトな $\pi/e$ に崩壊
  - 途中からhitが無く、消失したかのような信号



- TRTの最も外側のバレルモジュールでのhit数( $N_{\text{TRT}}^{\text{outer}}$ )を計測、
  - 最外モジュールまでに崩壊したもの :  $N_{\text{TRT}}^{\text{outer}} \sim 0$
  - 最外モジュールを突き抜けたもの :  $N_{\text{TRT}}^{\text{outer}} \sim 15$
- chargino track selectionに $N_{\text{TRT}}^{\text{outer}} < 5$ を要求し途中崩壊粒子を選別する



# イベントセレクション

- 探索に用いたデータ
  - 積算 Luminosity =  $4.7 \text{ fb}^{-1}$
  - トリガー: Jet  $> 75 \text{ GeV}$ かつmissing  $E_T > 55 \text{ GeV}$

- イベントセレクション

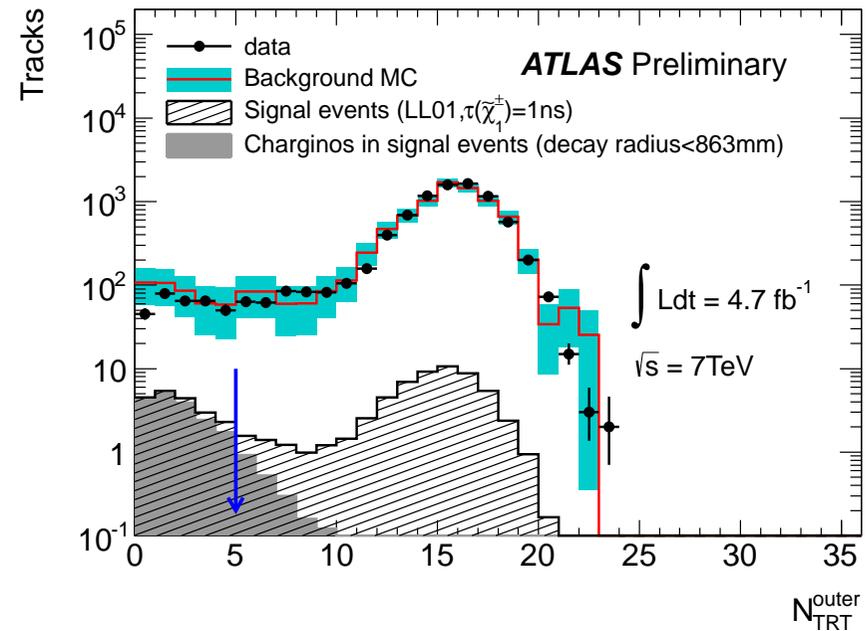
- 1) missing  $E_T > 130 \text{ GeV}$
- 2) 1st Jet  $p_T > 130 \text{ GeV}$  && 2nd/3rd Jet  $p_T > 60 \text{ GeV}$
- 3) Leading track  $p_T > 10 \text{ GeV}$
- 4)  $N_{\text{TRT}}^{\text{outer}} < 5$

大きなmissingET及びJetを要求したeventの中でchargino trackを探索する

- Data reduction 及び

signal efficiency (chargino mass=90GeV)

Selection	Data	Signal Efficiency[%]
Missing ET $> 130 \text{ GeV}$	321412	66.5
1st Jet $p_T > 130 \text{ GeV}$ && 2nd/3rd Jet $p_T > 60 \text{ GeV}$	73433	64.9
Isolated leading track $p_T > 10 \text{ GeV}$	8458	24.8
$N_{\text{TRT}}^{\text{outer}} < 5$	304	6.1



- Kinematic selection後の $N_{\text{TRT}}^{\text{outer}}$ 分布

# バックグラウンド

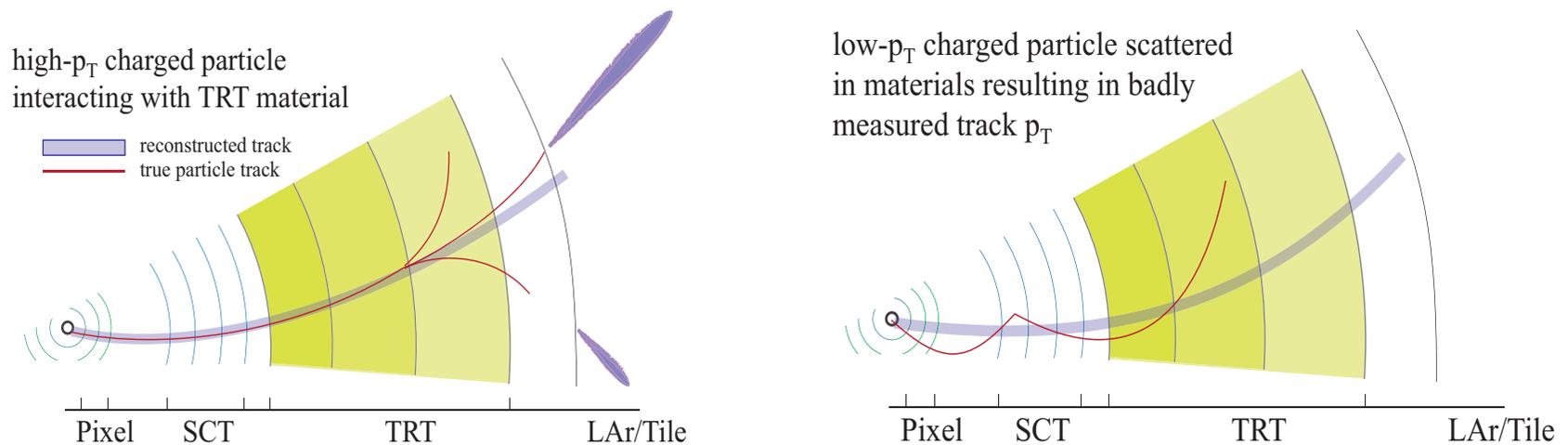
バックグラウンド評価のために  
これらバックグラウンドをリッチにしたサンプル(コントロールサンプル)を作る

## Interacting hadron track

- TRT内部でhadron interactionを起こした、hadron track.
- Calorimeterにactivityをつくる
- コントロールサンプル: Calorimeter activity, さらにTRTを突き抜けたことを要求。

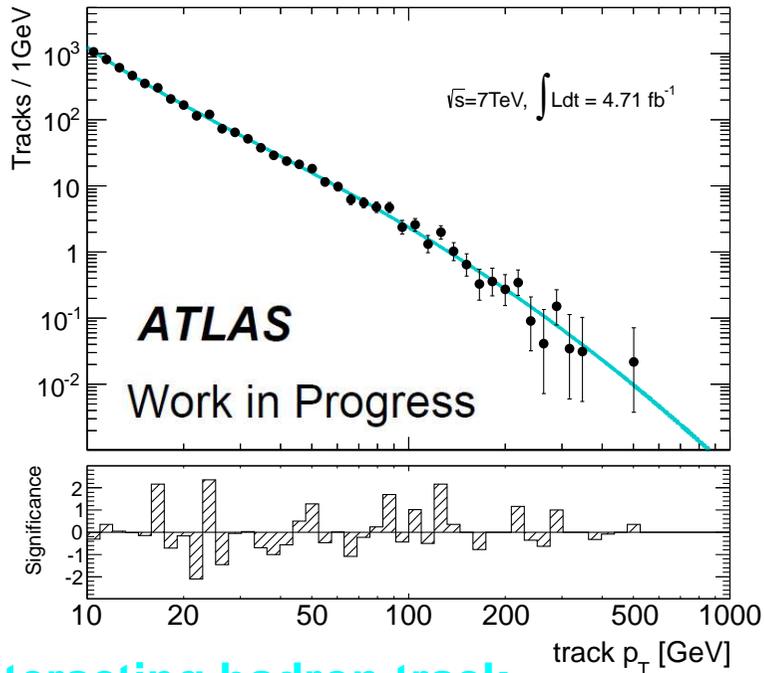
## Badly reconstructed track

- 内部飛跡検出器の物質で散乱し、間違っって高い運動量を持っているものとして再構成された track。
- Calorimeterにactivityがほぼない。
- コントロールサンプル: Calorimeter無し、missing  $E_T < 100\text{GeV}$ を要求

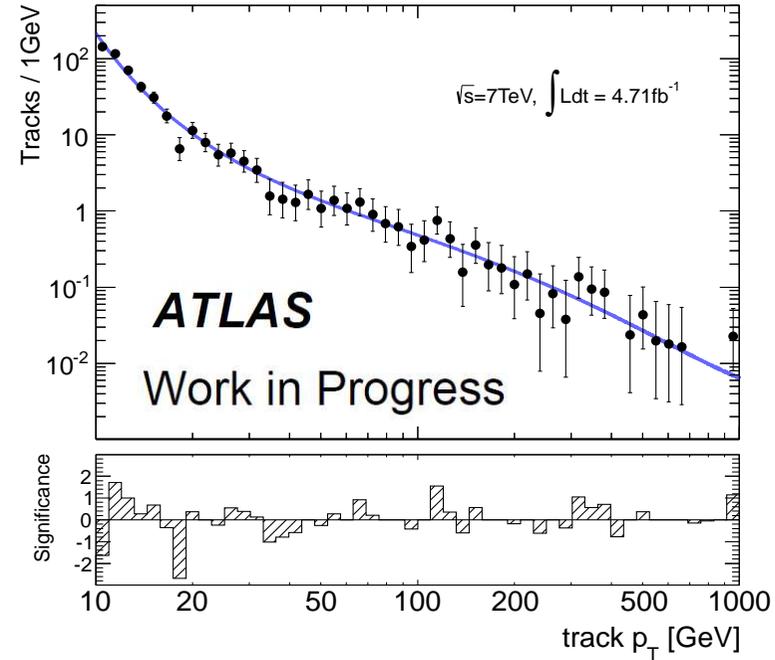


materialの効果、さらにbadly reconstructed trackの影響を正しく評価するために  
backgroundの見積もりは全て実データを用いて行う。

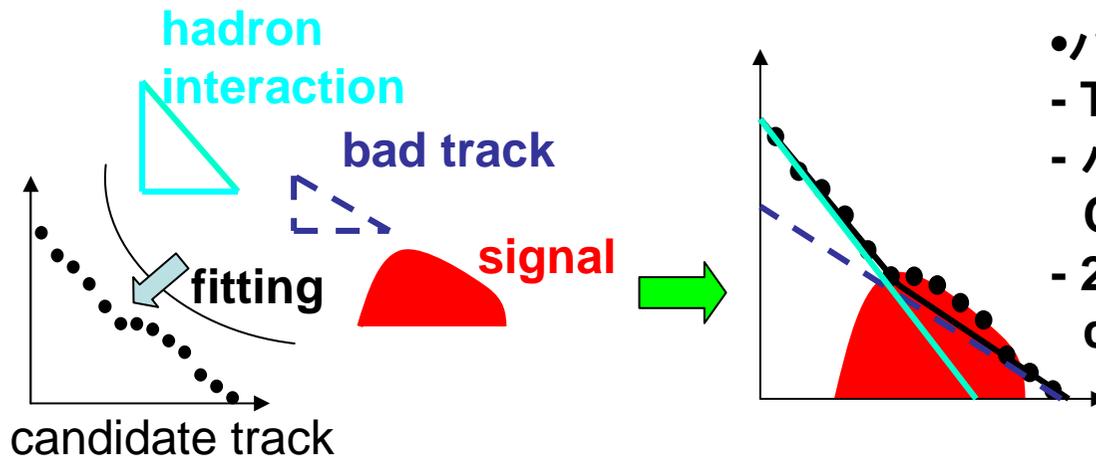
# バックグラウンド及びsignalの評価(1)



interacting hadron track



badly reconstructed track



## バックグラウンド評価

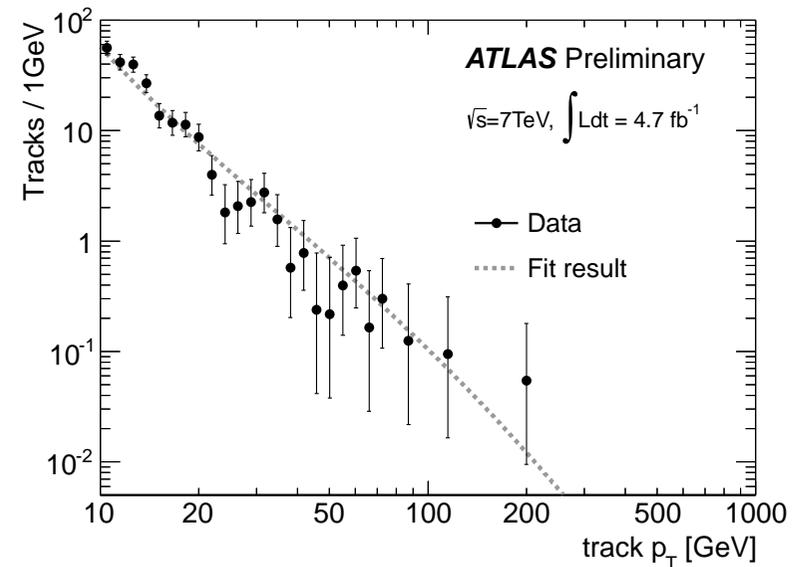
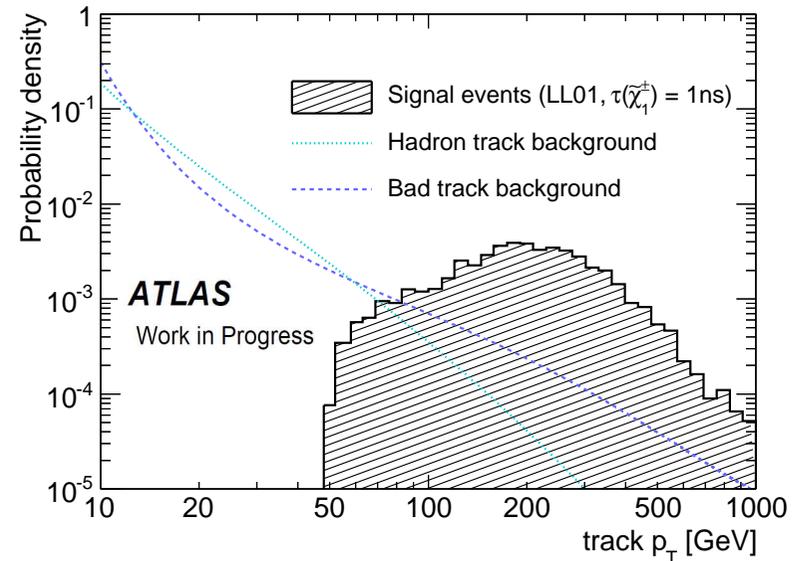
- Track  $p_T$  分布を評価に用いる。
- バックグラウンドの形はそれぞれの Control region から求める。
- 2つのバックグラウンドとsignalの分布を candidate track に同時フィットを行う。

## バックグラウンド及びsignalの評価(2)

- \* Hadron track 及びbad track分布は急激に落ちる
- \* Chargino trackの分布は非常に高い運動量をもつ
- \* Signal normalization およびバックグラウンドの形状について系統誤差を考慮しfitを行った
  - + Signal normalizationの系統誤差
    - dominantなsourceとしてsignal cross-sectionのuncertainty
    - 全体として28%を計上
- \* 結果 (90GeV chargino signal)
  - 0 signal event とconsistentな結果
  - バックグラウンドのみのfitともconsistentな結果が得られた

	Signal + BG	BG only
Signal Strength	< 0.048	
Number of background	$303.9 \pm 16.7$	$304.0 \pm 16.9$
P-value of null hypothesis		0.50

4.7fb<sup>-1</sup>での探索において、  
有意なexcessは見られなかった。

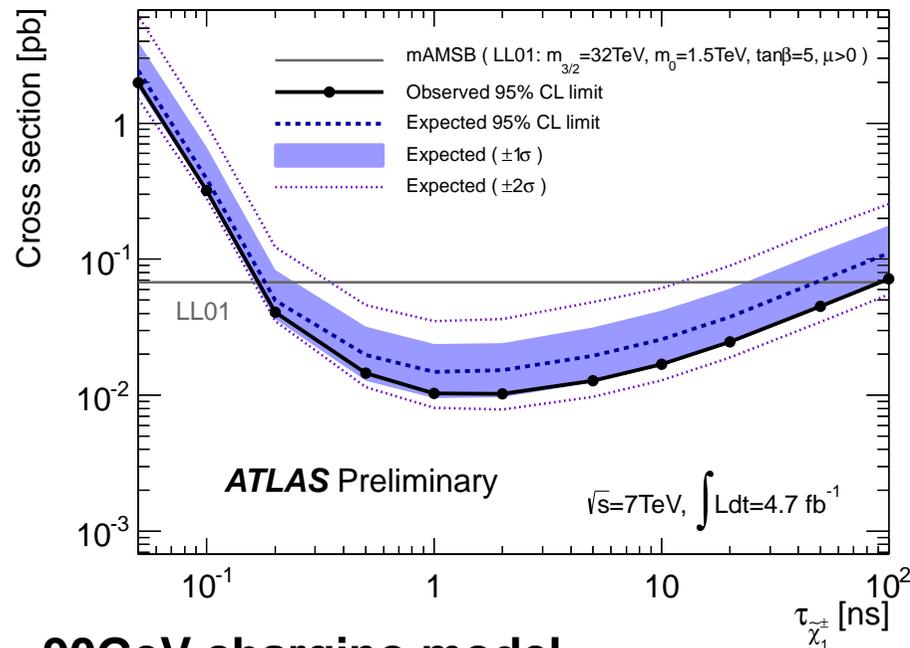


# AMSB modelに対する制限

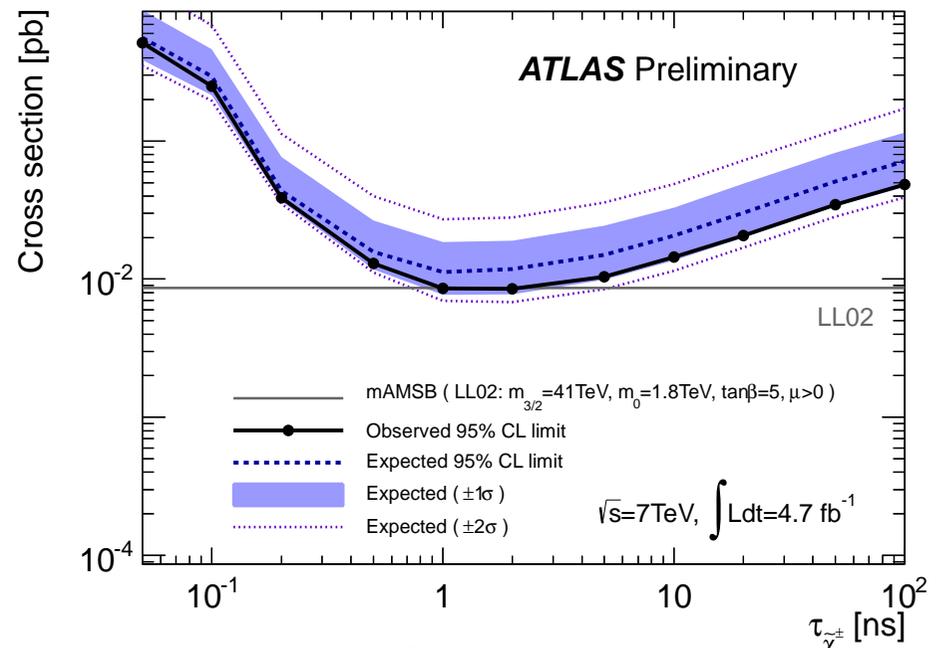
4.7fb<sup>-1</sup>での探索において、AMSB モデルに対する制限が得られた

## AMSB シグナルMC

- 1) chargino mass = 90GeV, cross-section=  $6.8 \times 10^{-2}$ pb
- 2) chargino mass = 118GeV, cross-section=  $8.7 \times 10^{-3}$ pb



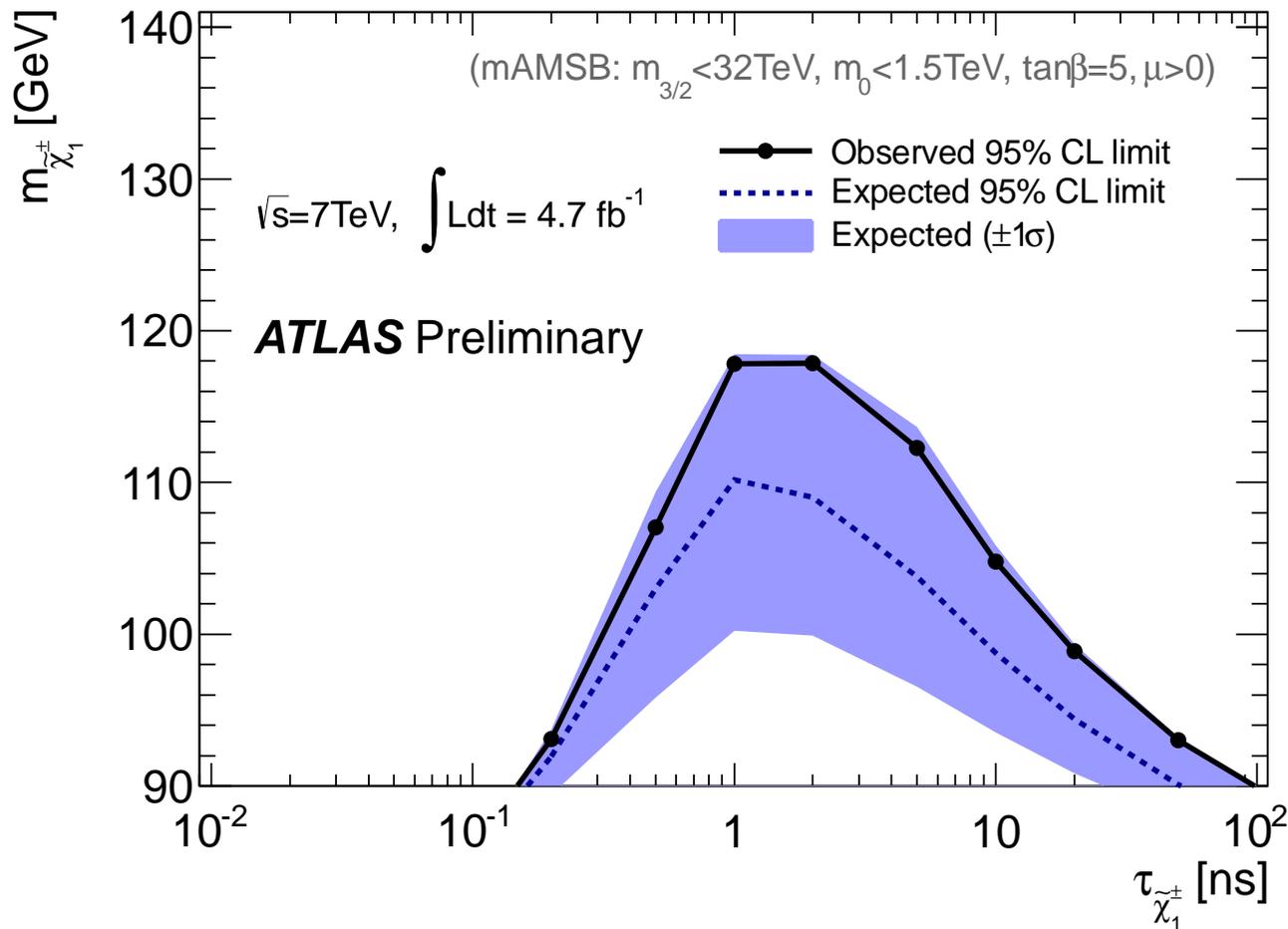
90GeV chargino model



118GeV chargino model

90GeV chargino model: 寿命が0.2~90nsの範囲で棄却 (95%C.L.)  
118GeV chargino model: 寿命が1~2nsの範囲で棄却 (95%C.L.)

# AMSB charginoの質量と寿命における制限



Chargino探索において最高の感度に 達し,質量118GeVまでのcharginoを棄却した  
 (これまでの制限はLEP2における探索の, chargino 質量<92GeV)

## まとめ

- ATLAS検出器で取得された重心系エネルギー7TeV,積算ルミノシティ  $4.7\text{fb}^{-1}$ のデータで、超対称性模型から予言される長寿命荷電粒子の探索を行った
- AMSBモデルにおいては長寿命のcharginoがあり、その信号の観測がATLAS検出器においても期待される
- 長寿命のcharginoは高い運動量を持ったトラックが、途中で消失したような特徴的な信号をつくる
- 探索の結果、有意な**excess**は見られなかった
- AMSB modelにおける制限
  - 90GeV chargino model :寿命が0.2~90nsの範囲で棄却
  - 118GeV chargino model: 寿命が1~2nsの範囲で棄却
- Chargino の質量と寿命における制限
  - 118GeVまでの質量のcharginoを寿命が1~2nsの範囲で棄却**
  - chargino探索においてこれまでで最高感度の結果が得られた。**
- References
  - ATLAS Collaboration, “Search for long-lived charginos in anomaly-mediated supersymmetry breaking scenarios with the ATLAS detector using  $4.7\text{fb}^{-1}$  data of pp collisions at  $\sqrt{s}=7\text{TeV}$ ”, ATLAS-CONF-2012-034, CERN, 2012

backup

## コントロールサンプルの抽出 -セレクションのまとめ-

	Hadron interaction	Badly reconstructed
Kinematic selection		
Missing Et	Missing $E_T > 130$ GeV	Missing $E_T < 100$ GeV
Jet Pt	1st Jet $p_T > 130$ GeV	—————
	3rd Jet $p_T > 60$ GeV	—————
Track selection		
$N_{\text{pixel}}$	$\geq 1$	$= 0$
$N_{\text{TRT3}}$	$> 10$	$< 5$
付随するカロリメータ アクティビティ	あり $(\sum_{\Delta R < 0.1} E_T^{\text{clus}}/p_T^{\text{track}} > 0.3)$	なし $(\sum_{\Delta R < 0.1} E_T^{\text{clus}}/p_T^{\text{track}} < 0.3)$

\* Hadron interaction のtrackは,jet中のtrack及びhadronic decayを起こしたtauが起源なので、track pt分布はkinematicに依存する。そのため、同じkinematic selectionを要求した

\* Badly reconstructed trackはkinematicに依存しないので、Missing  $E_T < 100$  GeVを要求し,jet のみのtriggerで取得されたsampleを用いた

# unbinned maximum likelihood法

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

$$n_s^{\text{exp}} = L \sigma_s \epsilon_s (1 + \alpha),$$

$$\mathcal{L}_b(p_{\text{T}}; \vec{\beta}_{\text{bad}}, \vec{\beta}_{\text{had}}) = f_{\text{bad}} \mathcal{L}_{\text{bad}}(p_{\text{T}}; \vec{\beta}_{\text{bad}}) + (1 - f_{\text{bad}}) \mathcal{L}_{\text{had}}(p_{\text{T}}; \vec{\beta}_{\text{had}}),$$

多変量正規分布

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_s(p_{\text{T}}; \alpha) &= \mathcal{F}_s(p_{\text{T}}) \mathcal{N}(\alpha; \Delta_{\text{norm}}) & \mathcal{L}_{\text{bad}}(p_{\text{T}}; \vec{\beta}_{\text{bad}}) &= \mathcal{F}_{\text{bad}}(p_{\text{T}}; \vec{\beta}_{\text{bad}}) \mathcal{M}(\vec{\beta}_{\text{bad}}; \mathbf{C}_{\text{bad}}) \\ \mathcal{L}_{\text{had}}(p_{\text{T}}; \vec{\beta}_{\text{had}}) &= \mathcal{F}_{\text{had}}(p_{\text{T}}; \vec{\beta}_{\text{had}}) \mathcal{M}(\vec{\beta}_{\text{had}}; \mathbf{C}_{\text{had}}) \end{aligned}$$

signal及びBGのpdf

uncertainty on signal normalization

covariance of BG shape

unbinned ML法で用いたパラメータは以下の通り

$\mu$	the signal strength
$n_{\text{obs}}$	the observed number of events
$n_s^{\text{exp}}$	the expected number of signal events for a given model
$n_b$	the number of background
$L$	the integrated luminosity
$\sigma_s$	the signal cross section
$\epsilon_s$	the signal selection efficiency
$f_{\text{bad}}$	the fraction of bad track In the background
$\alpha$	the nuisance parameters representing the signal normalization
$\vec{\beta}_{\text{had}}$	the nuisance parameters representing the pT spectrum of the hadron track
$\vec{\beta}_{\text{bad}}$	the nuisance parameters representing the pT spectrum of the bad track

# 系統誤差

計上した系統誤差は以下の通り。

	source	uncertainty
signal	Jet energy scale	+/- 2.8%
	Track reconstruction efficiency	+/- 2%
	Theoretical cross section	+/- 27.2%
	Pile-up modeling	+/-0.5%
	Trigger efficiency	+/-2.3%
	Luminosity	+/- 3.9%
background	Background shape	shapeの不定性としてfitのparameterのエラーを計上

- Theoretical cross-section から来る系統誤差がdominant。
- Signal cross-sectionに対する系統誤差、及びBackground shapeの系統誤差を考慮して、fittingを行う。