

ATLAS実験におけるTRTを用いた 長寿命荷電粒子の探索

日本物理学会 第64回年次大会

東裕也

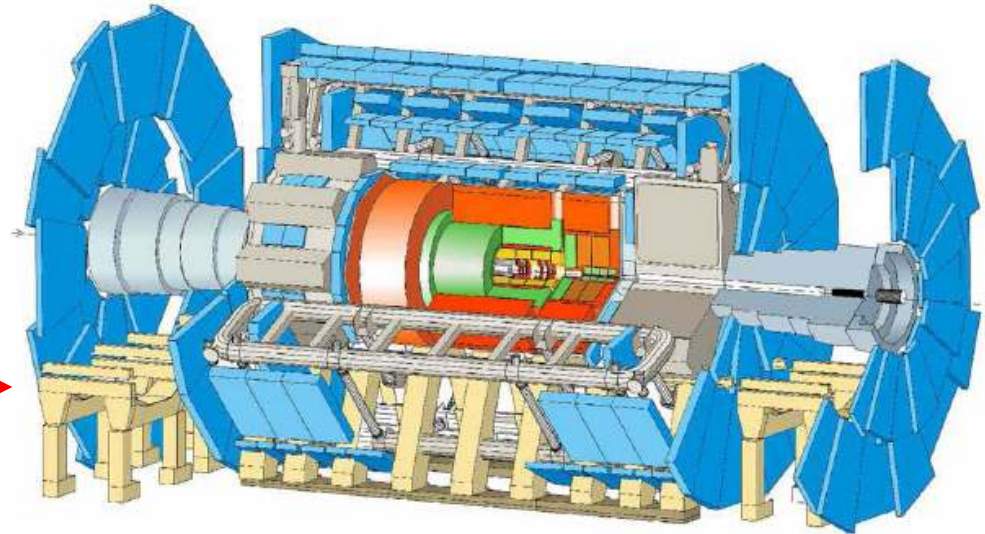
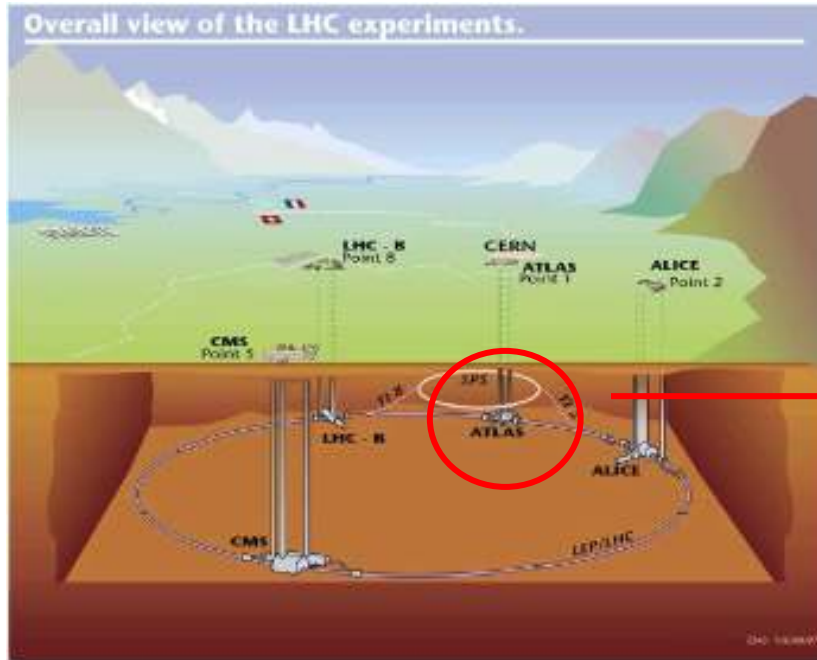
陣内修^A、浅井祥仁、小林富雄^B

東京大学大学院理学系研究科

高エネルギー加速器研究機構^A

東京大学素粒子物理国際研究センター^B

LHCにおけるATLAS実験



ATLAS検出器
高さ約25m、長さ44m、の汎用検出器

Large Hadron Collider (LHC)
大型陽子陽子衝突型加速器
デザインミノシティ $10^{34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
重心系エネルギー14TeV

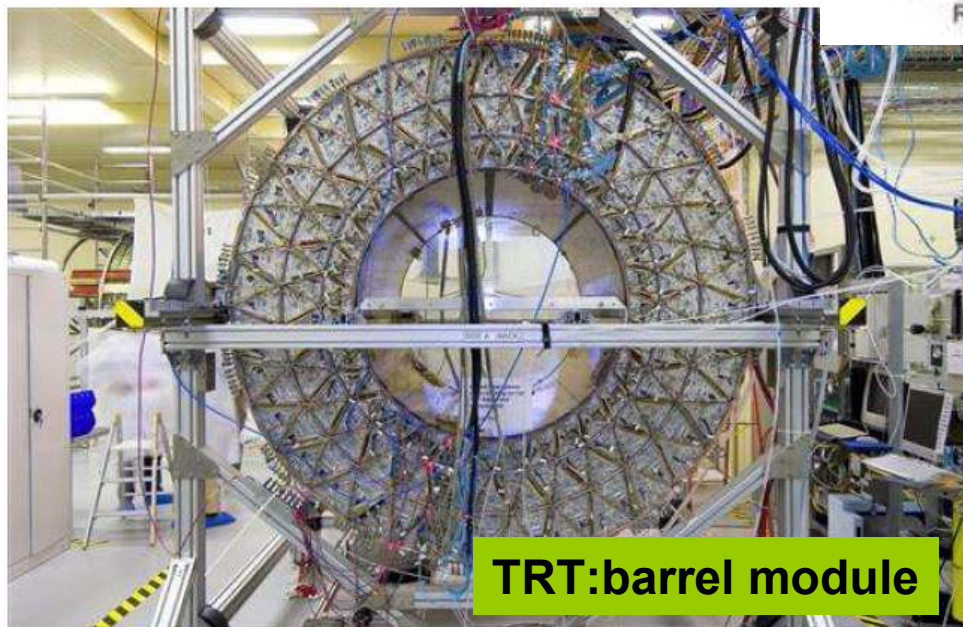
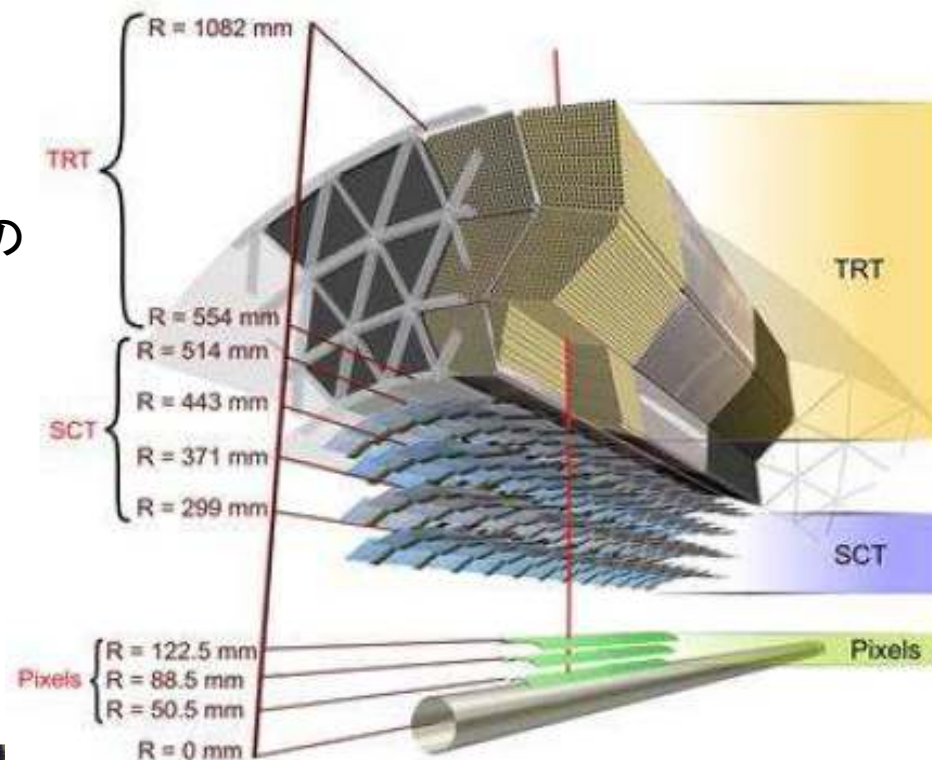
主な構成
内部飛跡検出器
電磁、ハドロンカロリメータ
トロイド磁石を用いたミュオン検出器

超対称性粒子の発見、Higgs粒子の発見
が主な目的

2009年秋から本格稼動を目指している

内部飛跡検出器

内部飛跡検出器はpixel,SCT,TRTの3つの検出器からなる



Transition Radiation Tracker (TRT)
全73層のdrift tubeからなる連続飛跡
検出器

遷移輻射を用いて粒子識別も行う

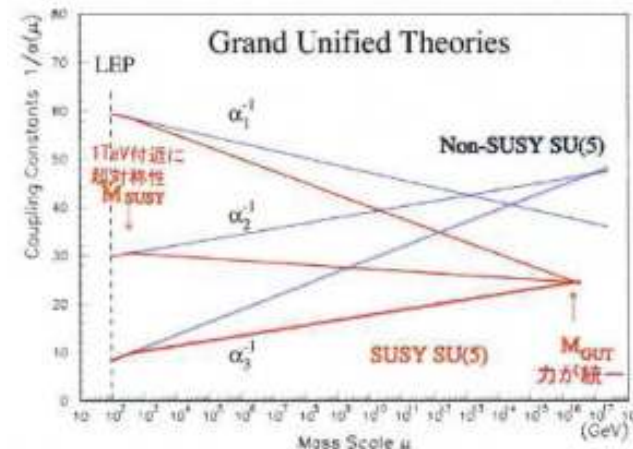
大きく3層構造をなしている

超対称性模型

超対称性とはフェルミオンとボソンとの対称性のこと

超対称性粒子の存在が期待されている根拠として以下のものがある

- ヒエラルキー問題及びファインチューニング問題の解決
TeVオーダーの超対称性粒子を仮定することで
GUTスケール(10^{16}GeV)から電弱スケール(10^2GeV)
を自然に導くことが出来る
- GUTスケールでの力の統一
TeVオーダーの超対称性粒子を仮定することで
GUTスケールにおいて力が統一される
- ダークマターの候補
宇宙における暗黒物質の候補



超対称性の破れ方から主に3つのモデルが存在する

SUGRA 超対称性の破れが重力相互作用を介して伝わる。このとき最も軽い超対称性粒子(LSP)はBinoとなる

GMSB 超対称性の破れがゲージ相互作用を介して伝わる。LSPはGravitinoとなる。

AMSB 超対称性の破れがanomalyを介して伝わる。このときLSPはWinoとなる

本発表ではAMSBモデルについて述べる。

超対称性模型 (AMSBモデル)

gauginoの質量の比 $\rightarrow M_1 : M_2 : M_3 \approx 3 : 1 : 7$
bino wino gluino

winoが最も軽いためLSPの主な成分がwinoとなる。

charginoの崩壊

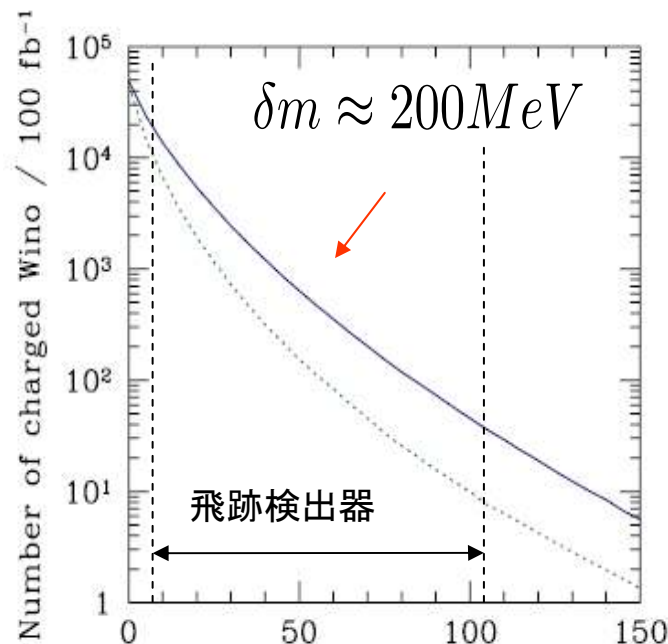
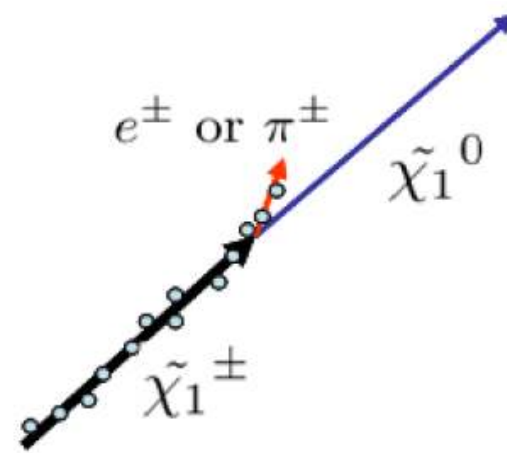
$$\tilde{\chi}_1^\pm \rightarrow \tilde{\chi}_1^0 + \pi^\pm, e^\pm \nu$$

charginoとneutralinoが非常に縮退しているため
 π または電子が非常にソフトになる。

charginoの崩壊長は内部飛跡検出器内にまで及び、
 charginoのtrackが観測可能となる。

この事象が作る信号は、 π もしくは電子が非常にソフトになるために特徴的な信号となる

- kink track
 π もしくは電子が飛跡を作り再構成されたときにkink trackをつくる
- 消失track
 π もしくは電子が再構成できずにtrackが途中で消えたように見える
 \rightarrow これらの信号の探索を行う



Winoの崩壊長 (cm)

solid line $pp \rightarrow \tilde{g}\tilde{g}$
dotted line $pp \rightarrow \tilde{W}\tilde{W}$ 5

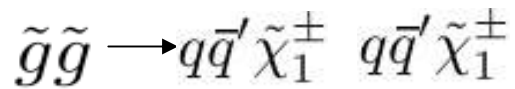
AMSB事象のシミュレーション

gluino mass = 1TeV
 $\text{Br}(\text{gluino} \rightarrow \text{wino} + qq) = 1$
 chargino \rightarrow neutralino + π

wino mass = 100GeV
 charged winoとneutral wino
 の質量差160MeV

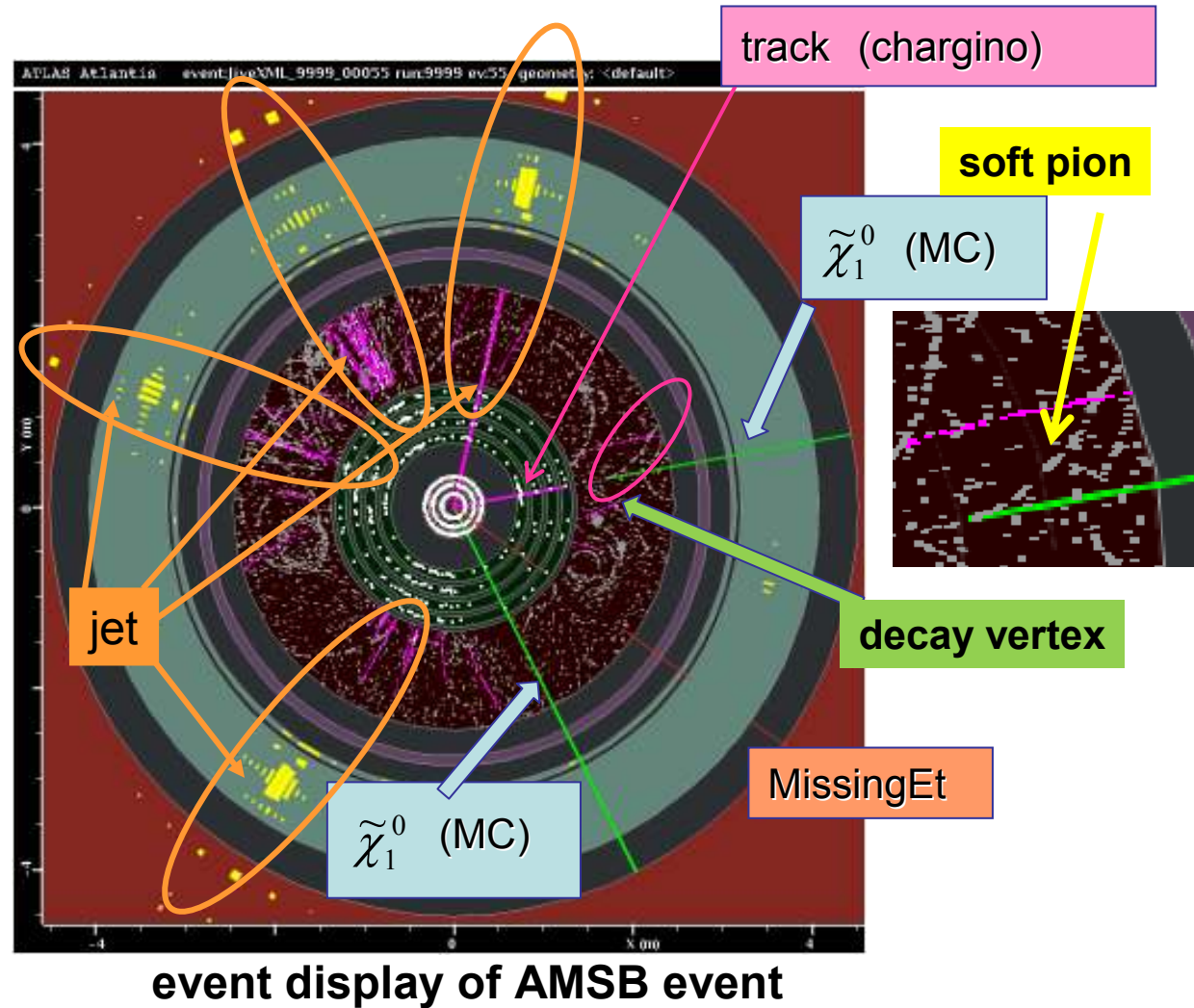
$c\tau$ of chargino = 300mm
 cross section : 170 fb

gluinoの崩壊時には



と複数のquarkに崩壊する

複数のjetおよびmissing E_T によってトリガーがかかる

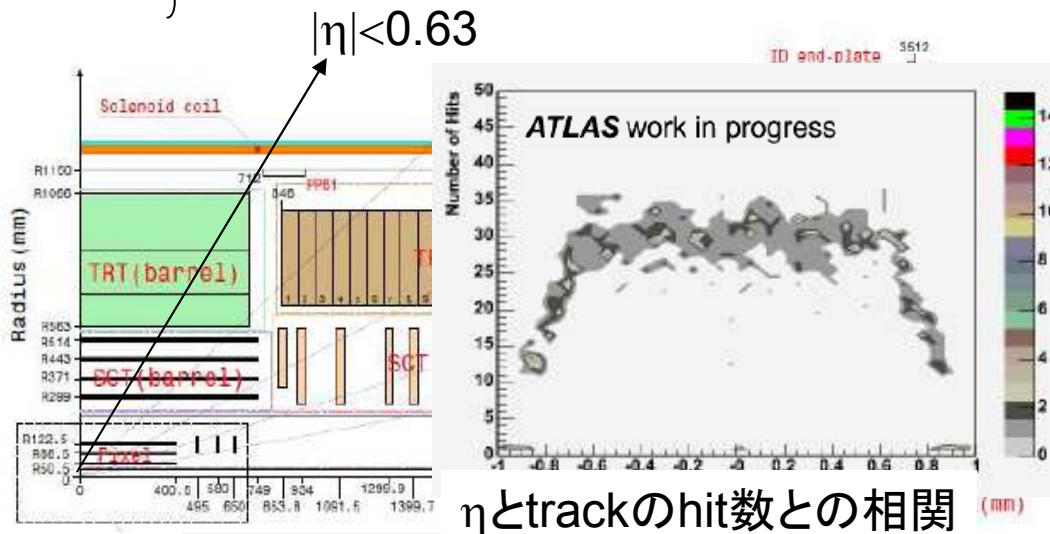


charginoの作るtrackを探索する

1. $|\eta| < 0.63$
2. $P_T > 50\text{GeV}$
3. $N(\text{b-layer (pixel検出器の最内層)}) \geq 1$
4. $N(\text{pixel} + \text{SCT}) \geq 7$
5. $|d_0| < 2\text{mm}$
6. TRT 3rd layer hits < 5
7. Calorimeter Veto
(EM calorimeter $E_T < 500\text{MeV}$
MIPのエネルギーデポジット以下)

selection criteria

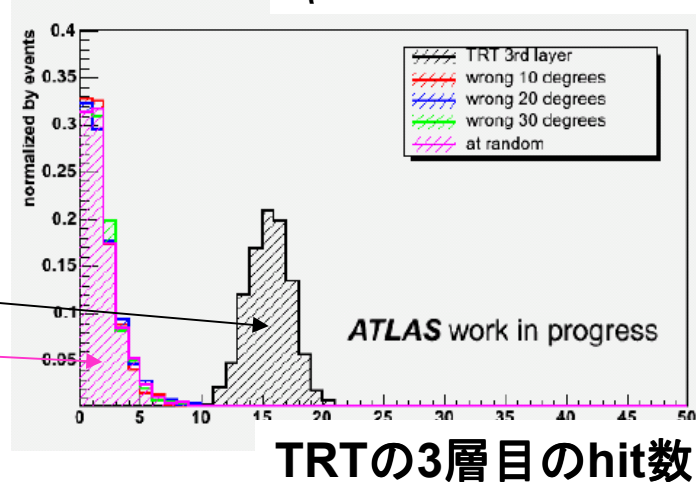
standard track quality cuts



TRTのbarrel領域のmoduleは大きく3層構造となっているため、2層目までに崩壊したとみなせるものを探索する。

trackから $\Delta\phi \sim 0.01\text{rad}$ (およそdrift tubeの幅)TRT hitを数えることとする

- muonが作るTRTの第3層目のhit数は平均15.
- noise や accidentalなhit数は5以下.

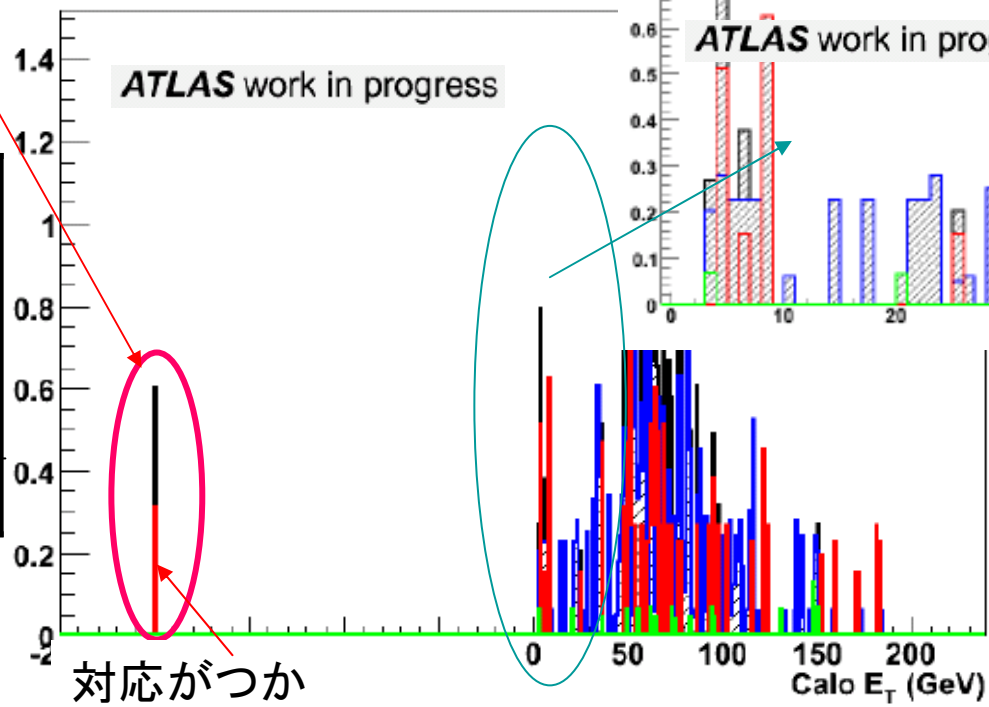


バックグラウンドの数

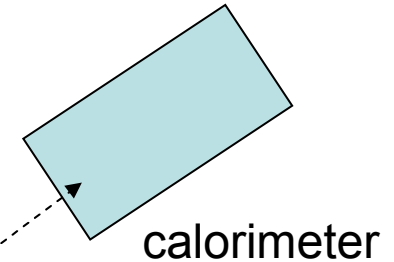
シミュレーションを用いて
バックグラウンドの評価を行う

最終的なバックグラウンドの数は**0.6(1fb⁻¹)**
と、この探索においてはバックグラウンドは非常に
すくないことが分かる。

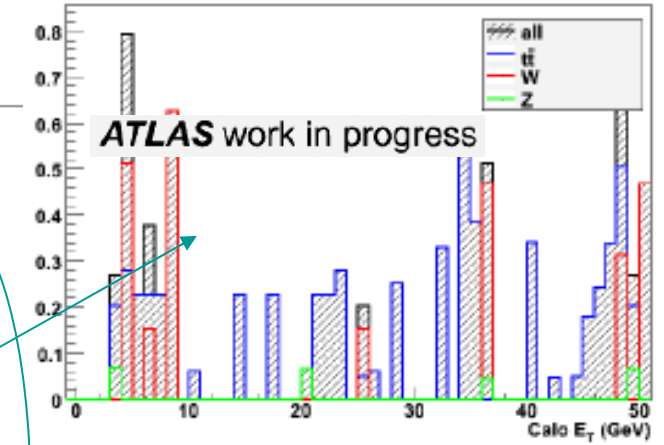
process	Number of BG tracks(1fb ⁻¹)
top	0.3
W	0.3
Z	0
All	0.6



Calorimeter Veto



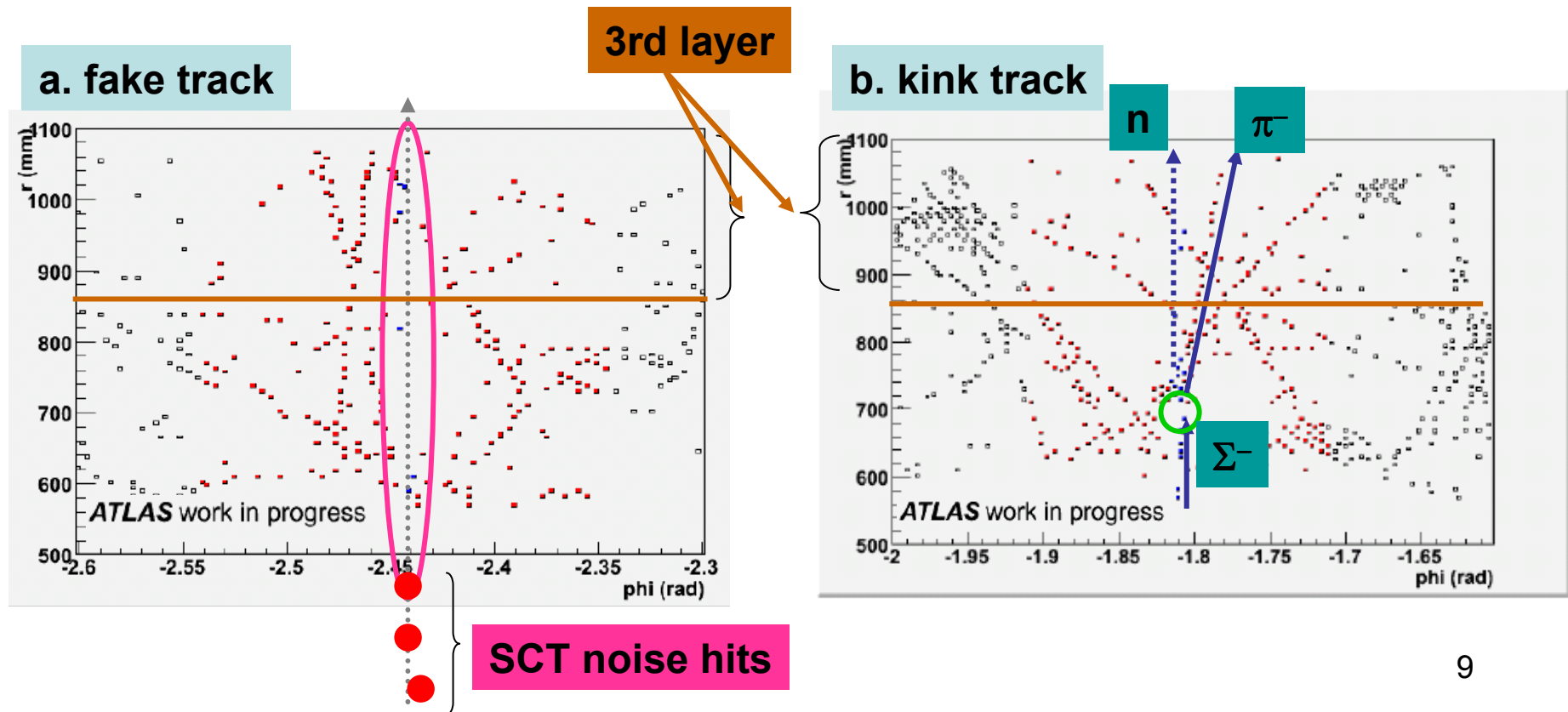
track



バックグラウンドとなったtrack

見つかったバックグラウンドは2種類

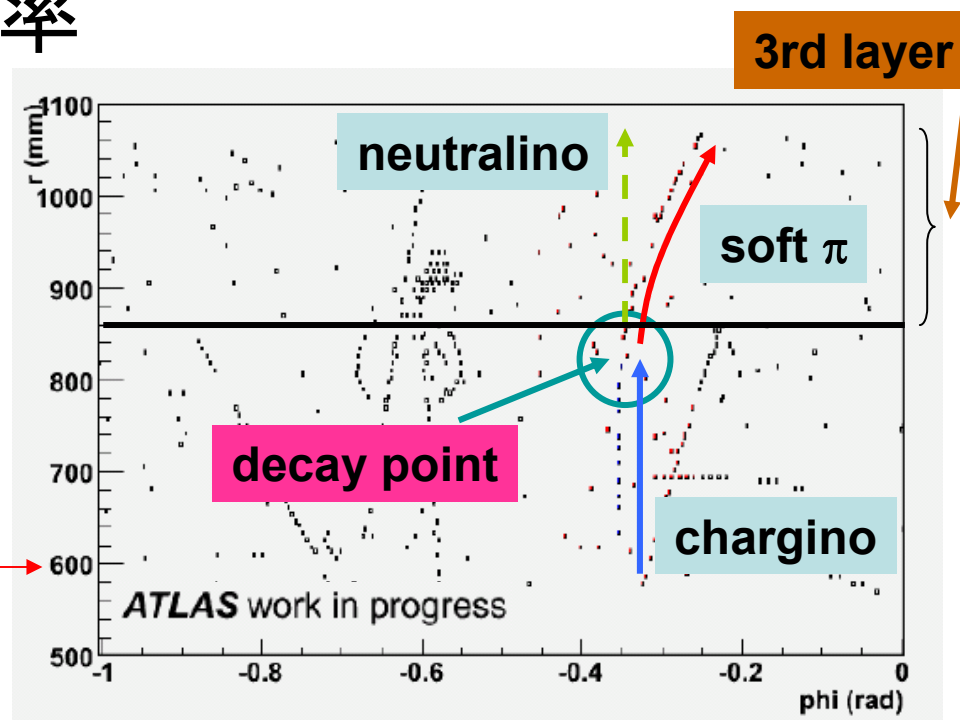
- a. fake track 実際の粒子によるものではなく検出器 (pixel+SCT) のnoiseによるもの (TRTのnoiseの増加は信号を消すためinefficiencyを招く)
- b. kink track 長寿命ハドロンによって作られたもの
見つかったものは $\Sigma \rightarrow n + \pi$ の事象



長寿命粒子の検出効率

同様の条件をAMSBのeventに課して長寿命粒子がどれくらい見つかるかを評価する。

右図
charginoがTRTに入って第3層目に入るまでにneutralinoと π に崩壊



charginoの $c\tau=300\text{mm}$ の場合

全chargino数(1fb^{-1})	Inner Detector内で崩壊した charginoの数	再構成された track数	$ \eta <0.63$ での track数	Trackのselectionにより見つかった数
340	210.8	99.9	45.2	24.9

この探索におけるcharginoの検出効率は
見つかったchargino数 / 全chargino数 = $24.9/340 = 7.3\%$
である。

発見能力の評価

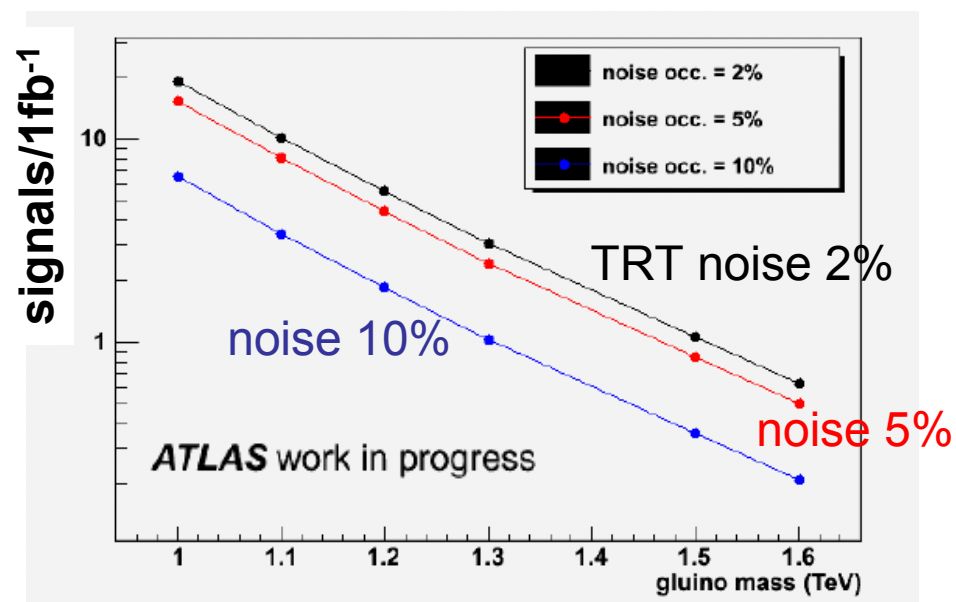
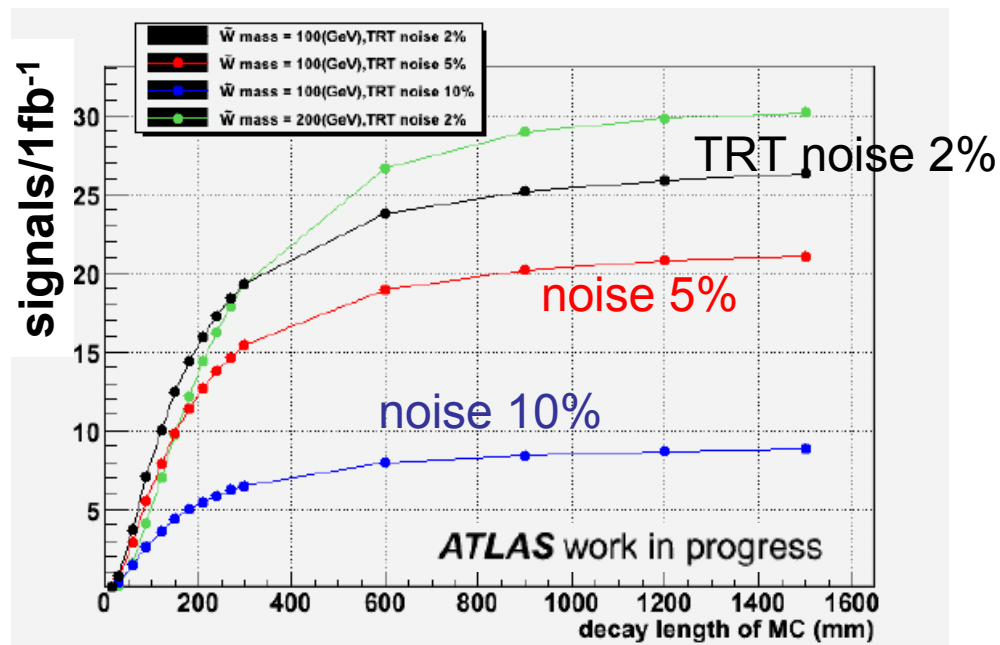
右上図はcharginoの崩壊長による発見能力の違いを表わす。
TRTのnoiseが多くなるほど発見能力は下がる。

黒色はcharginoのmassが100GeV,
緑色はmassが200GeVの場合を表わす

TRTのnoiseが2%程度(実機と同程度)の場合なら $c\tau=100\text{mm}$ 程度以上から発見が可能となる(信号数10以上)
また、TRTのnoiseが5%であっても $c\tau=150\text{mm}$ 程度以上から発見可能
しかしTRTのnoiseが10%まで達すると発見は不可能となる。

右下図はgluinoの質量に依存して発見能力がどれくらい変わるかを見たものである。

$c\tau=300\text{mm}$ の場合にはgluinoの質量が1.1TeVまで発見が可能である。



まとめ

超対称性模型の中でもAMSBモデルが予言する1つのシナリオとして長寿命荷電粒子がある。

このとき長寿命荷電粒子が作る特徴的な信号として、消失track及びkink trackがある。

このときのバックグラウンドはほぼ無い($0.6/1\text{fb}^{-1}$)がその候補として、**fake track**及び長寿命hadronによる**kink track**が候補となることが分かった。

pixel検出器及びSCTのnoiseはfake trackをつくることから、バックグラウンドとなる。またTRTのnoiseは発見能力を下げることになる。

TRTのnoiseが現在の状況なら**gluinoの質量が1TeVの場合に $c\tau=100\text{mm}$ 以上から発見が可能**。また **$c\tau=300\text{mm}$ の場合にはgluinoの質量は1.1TeVまで発見が可能である**。

また、TRTを用いて寿命測定についても行ったが、崩壊長300~1000mmの場合に10~30%の精度で求めることが出来る。(backup)

現在kink trackについての研究を進めている。

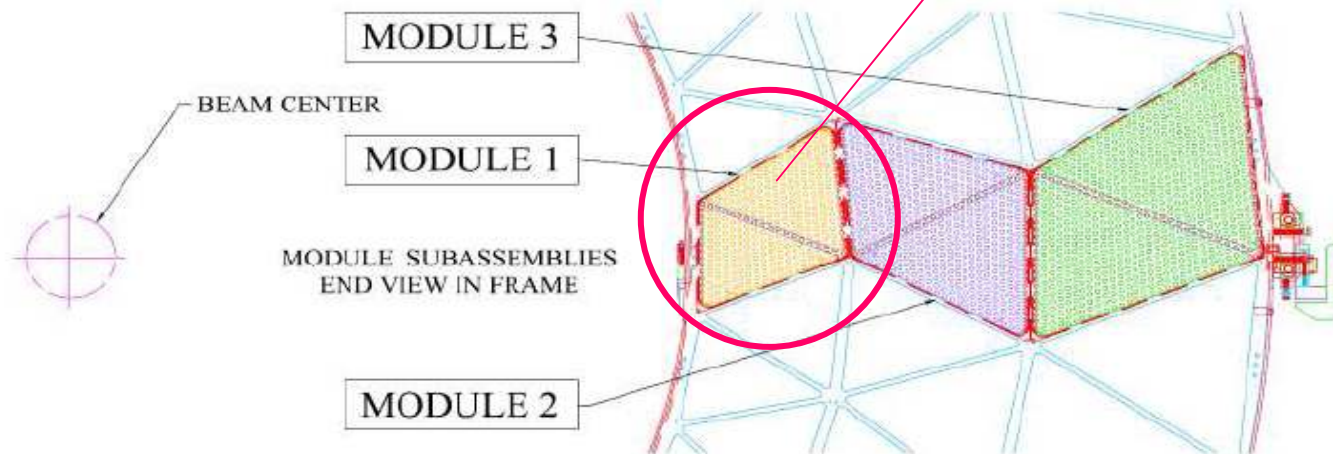
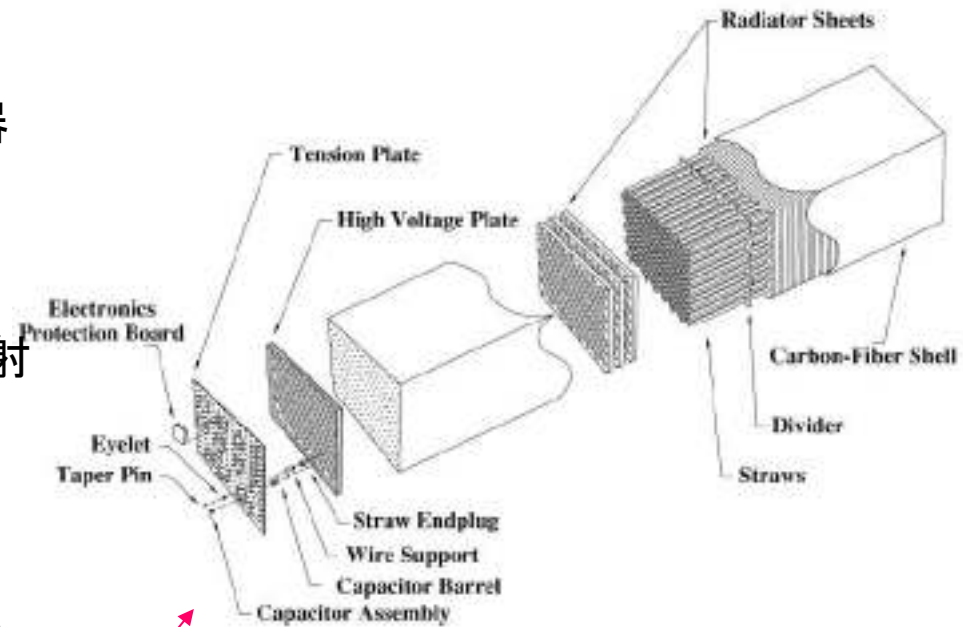
backup

TRT (Transition Radiation Tracker)

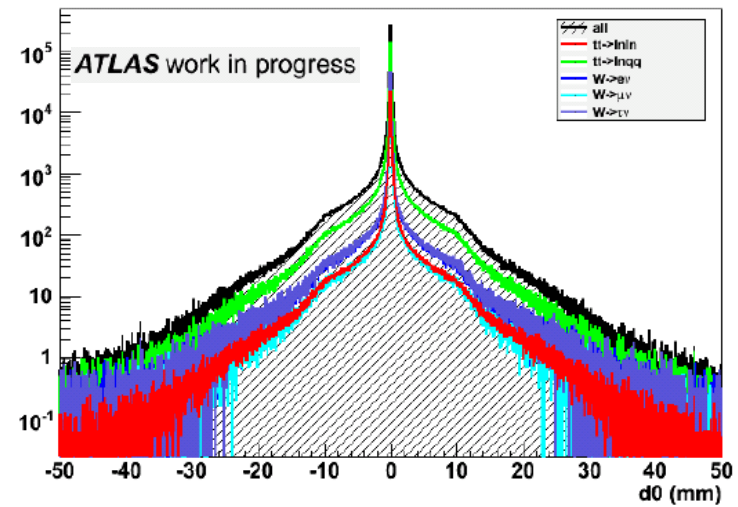
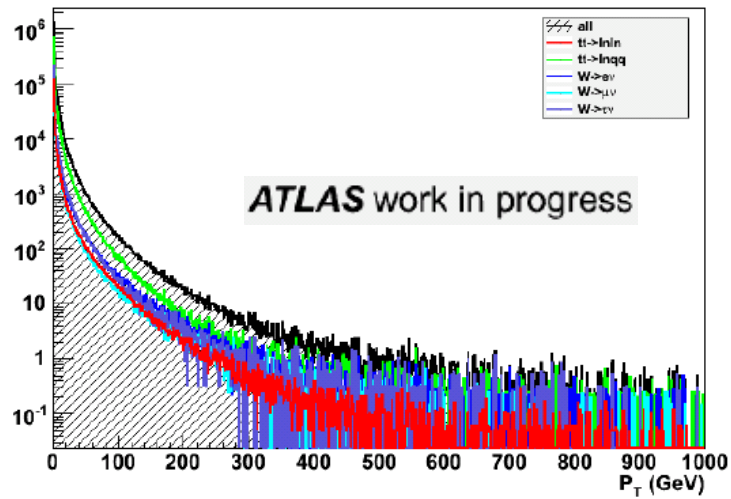
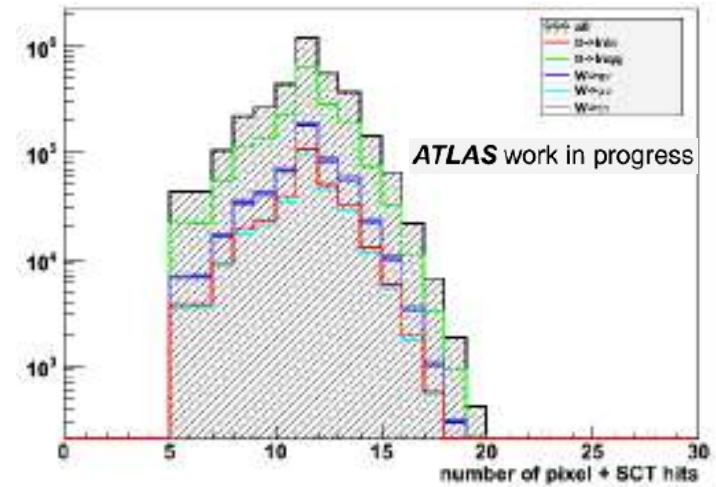
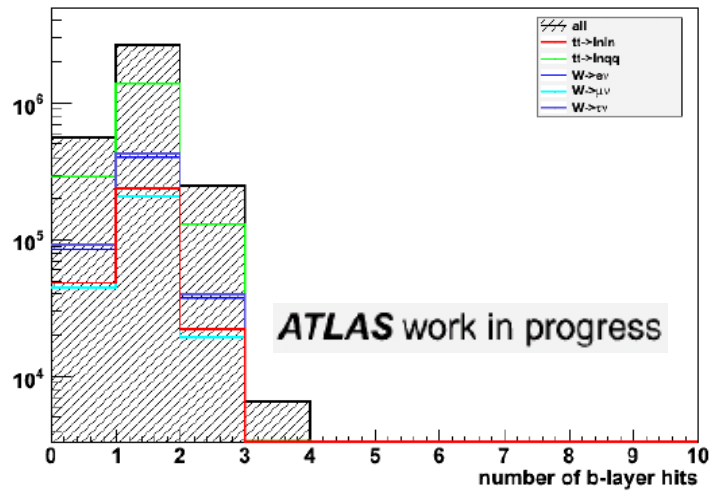
TRT はdrift tubeを多層並べた飛跡検出器
gas: Xe (70%) + CO₂ (27%) + O₂ (3%)
typical HV 1530V

連続飛跡検出器としてだけでなく、遷移放射
をもちいて粒子識別にも用いられる。

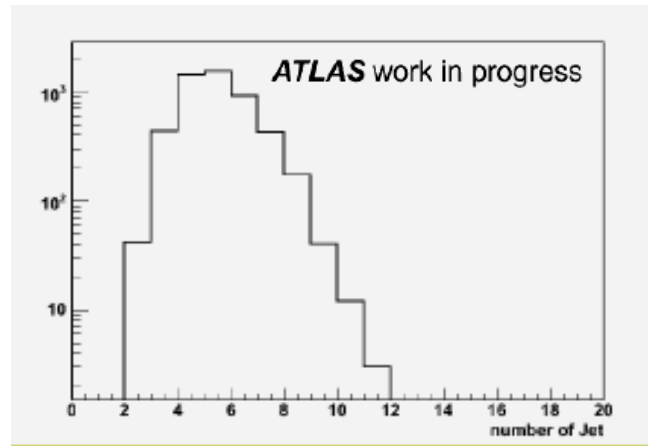
Barrel Moduleは大きく3層に分かれており
3層それぞれでφ方向に32分割され、一つの
moduleを形成している



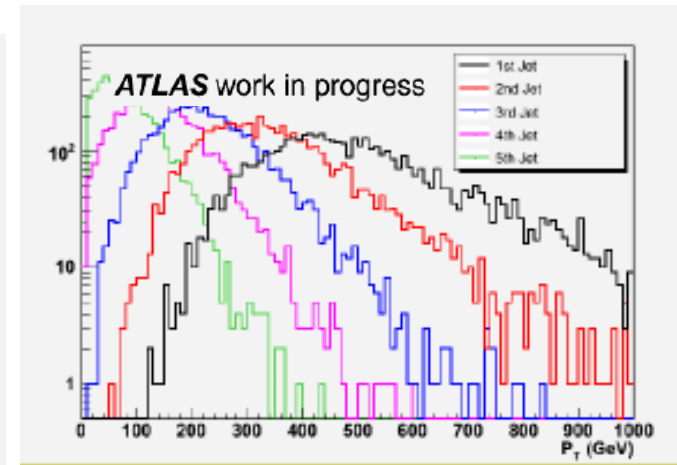
Track qualityの分布



AMSB事象の特徴

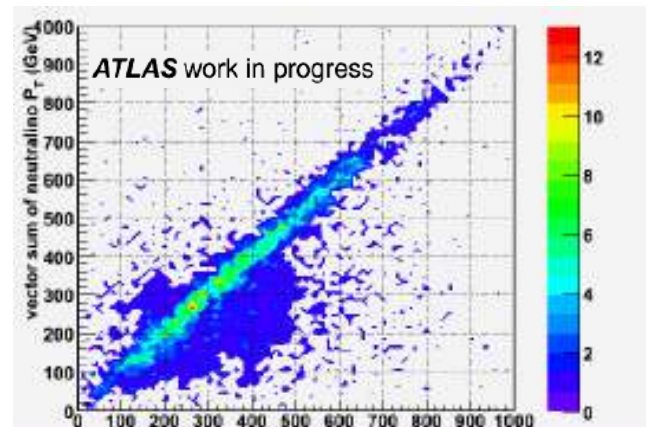


Jet数 ($P_T > 50\text{GeV}$)

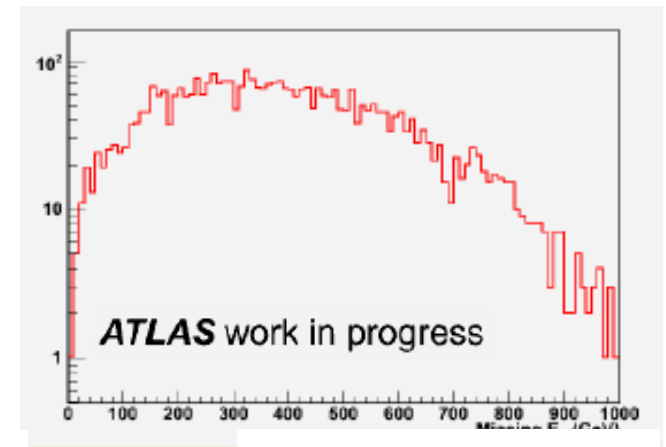


Jet の P_T 分布 (GeV)

charginoはカロリメータに到達するまでにneutralinoに崩壊する。そのため大きなmissing E_T を作る。



vector sum of neutralino P_T (GeV) vs. missing E_T (GeV)

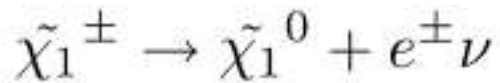


missing E_T (GeV)

jetやmissing E_T の複数のtriggerによりほぼ100%triggerがかかる

TRTを用いた寿命測定

single particle eventを用い
寿命測定を行う

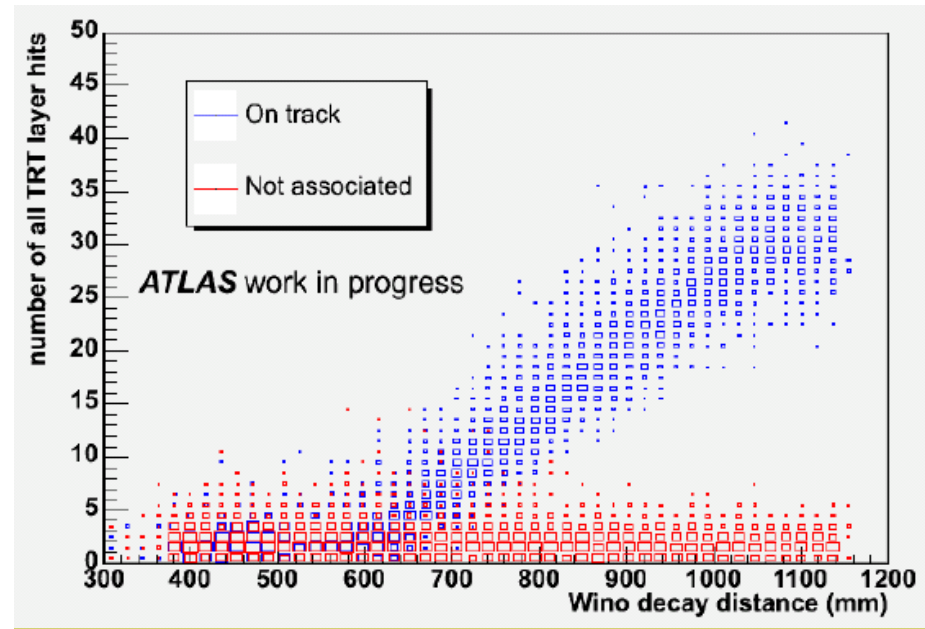


chargino mass = 100.1 GeV

neutralino mass = 100.0 GeV

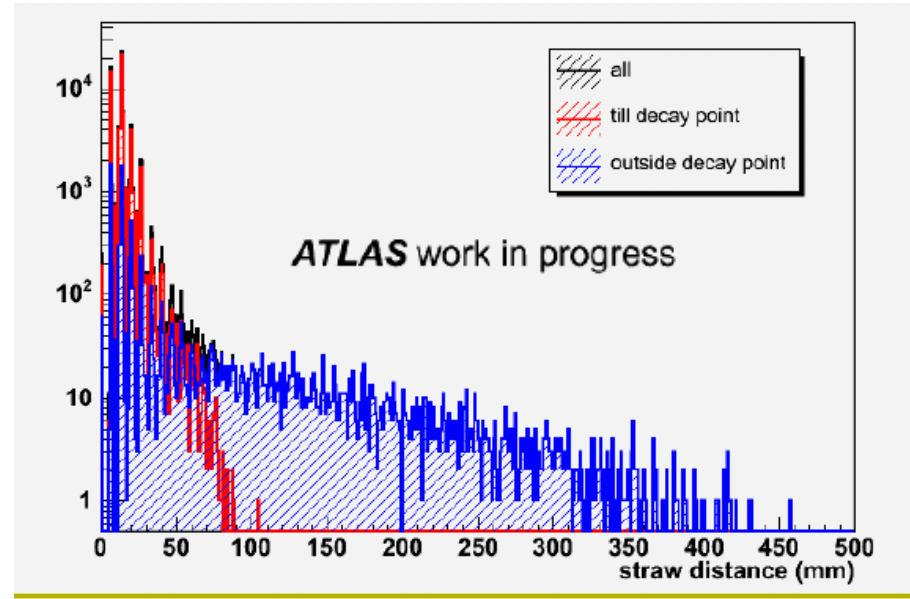
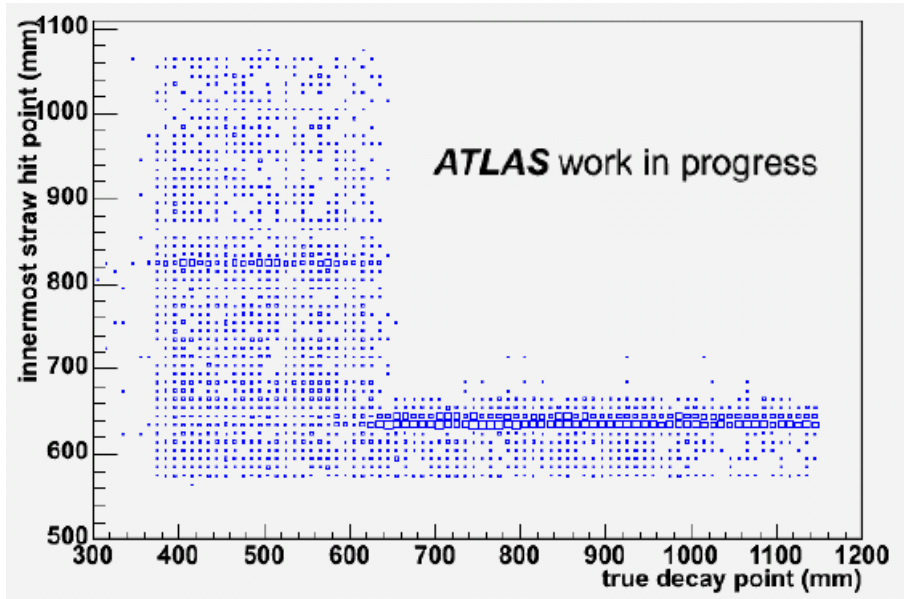
$\beta=0.8, |\eta|=0.5, \tau=3 \text{ nsec}$

19k events

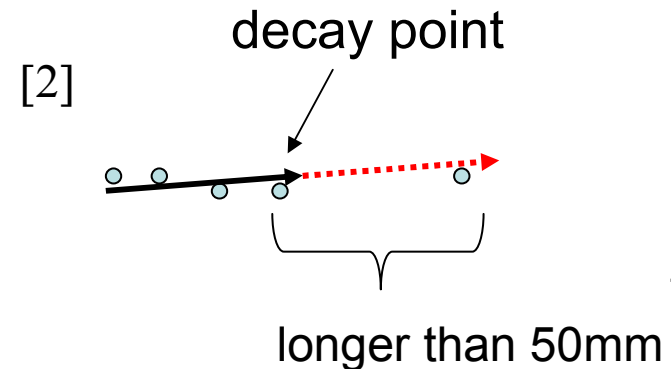
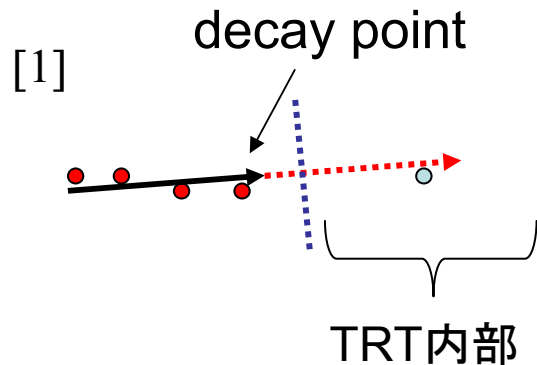


decay point	~SCT	SCT1st ~SCT2nd	SCT2nd ~SCT3rd	SCT3rd ~SCT4th	SCT4th ~TRT	TRT~
Number of MC	4584	893	909	859	461	4829
Number of track	0	23	772	858	461	4826
Number of track / Number of MC	0 %	2.58 %	84.9 %	99.9%	100%	99.9%

寿命測定のアプローチ



1. 最も内側のdrift tubeが680mm以上ならcharginoはTRTに入るまでに崩壊したものとみなし寿命測定には用いない
2. 隣接するdrift tubeの間隔が50mm以上となったときにcharginoの崩壊位置とみなす。



寿命測定の結果

$L_T=9\sim 6200\text{mm}$ までの
10点を用いて計測を行った

崩壊長 (mm)	計測結果(mm)
266.0	231.2 +/- 24.2
620.8	547.9 +/- 78.0
886.8	1028 +/- 275
1064	1441 +/- 552

