

# Double Chooz実験における 宇宙線ミュオン飛跡再構成方法の開発

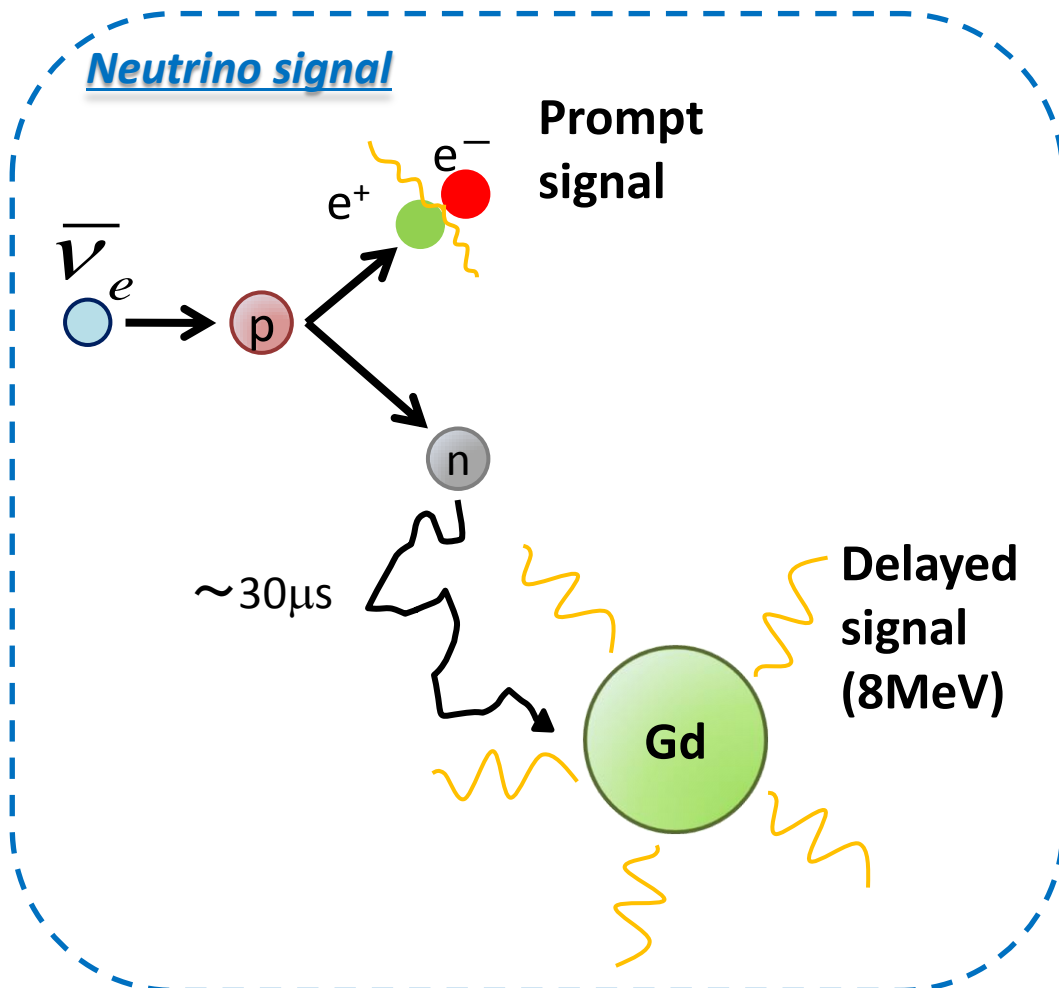
21 Feb. 2011

**17th ICEPP Symposium**

Sumire Shimojima (Tokyo Metro. Univ.)

# Double Chooz実験のニュートリノ検出方法

Double Chooz実験のFar Detectorでは約69個/dayのニュートリノが観測されると期待されている。



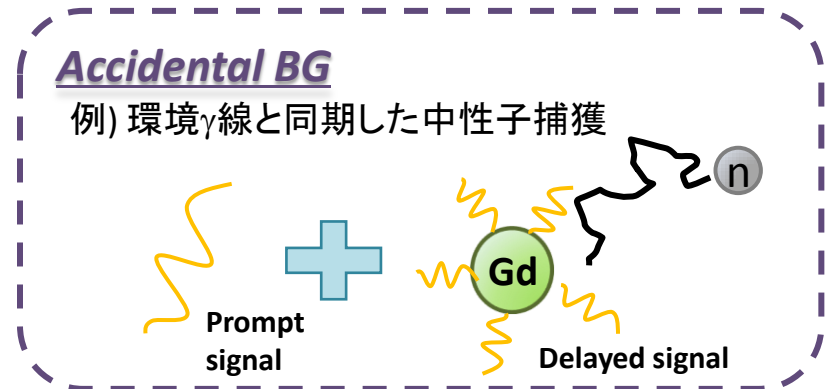
ニュートリノ事象の選別条件

1. prompt signal
2. delayed signal
3. 時間差

# Background

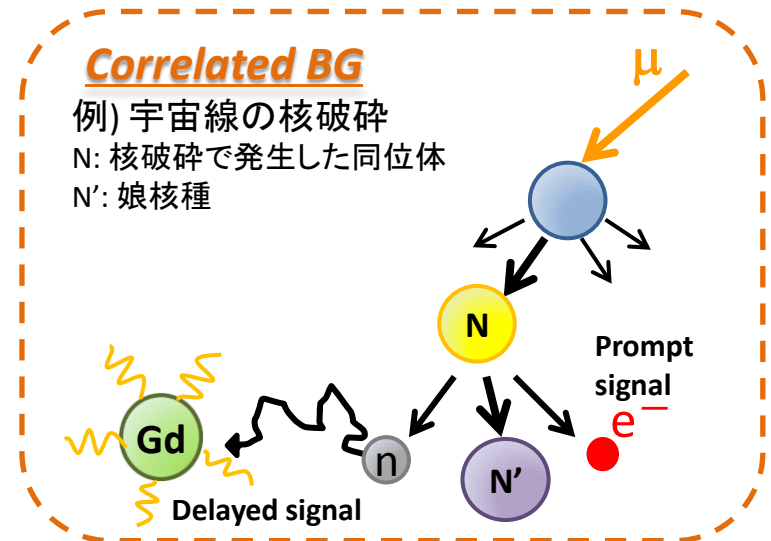
- Accidental background :  $\gamma$ 線 + neutron

- $\gamma$ 線 (~5Hz)
  - 検出器や岩盤に含まれる $\gamma$ 線
- neutron (~88n/h)



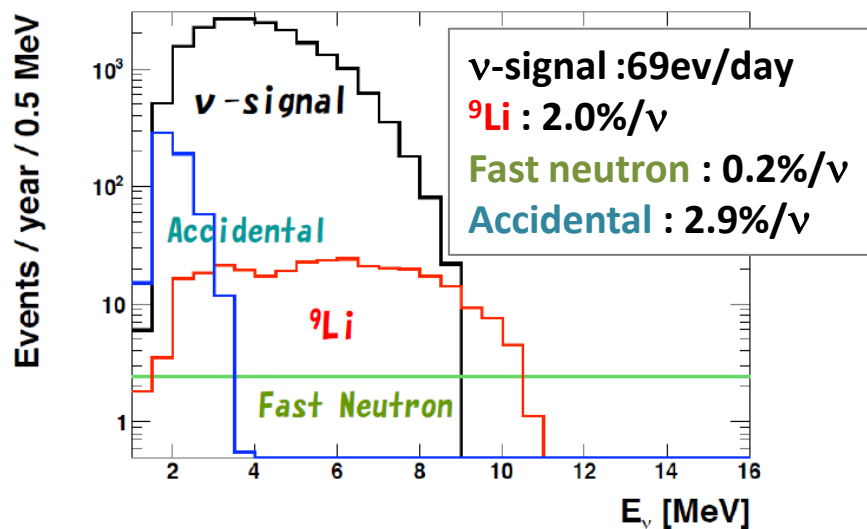
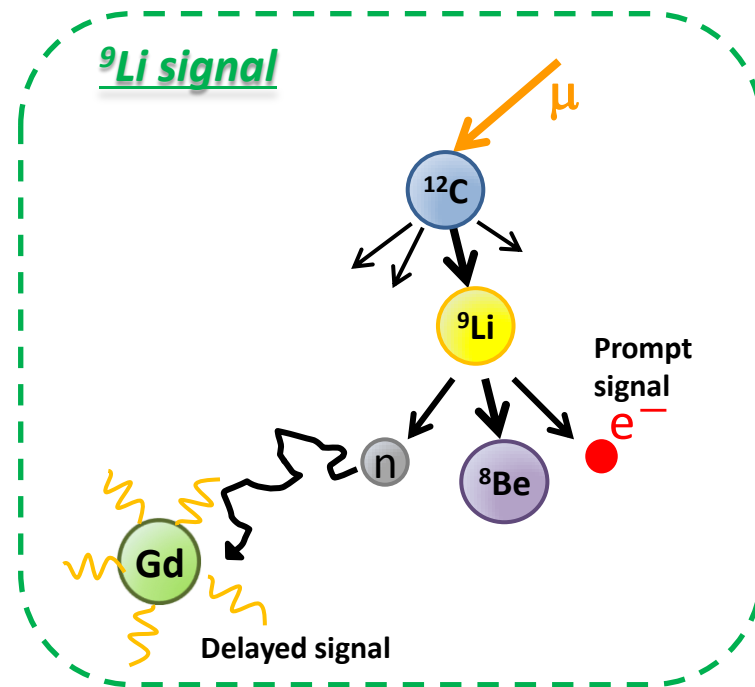
- Correlated background

- fast-neutron
  - 宇宙線起源の中性子
- spallation
  - 宇宙線の核破砕で生じた核種の崩壊



# $^9\text{Li}$ background

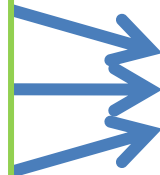
- correlated BG(spallation BG)
- $^{12}\text{C}$ の核破砕で生じた同位体が $\nu$ のバックグラウンドになる。
- $^9\text{Li}$ 
  - $\tau_{^9\text{Li}} \sim 178.3\text{ms}$  (寿命が長い)
  - $N_{^9\text{Li}} \sim 2.0\%$  of  $\nu_{\text{observed}}$



vetoで取り除けない  
バックグラウンドの一つで  
量の見積もりが重要

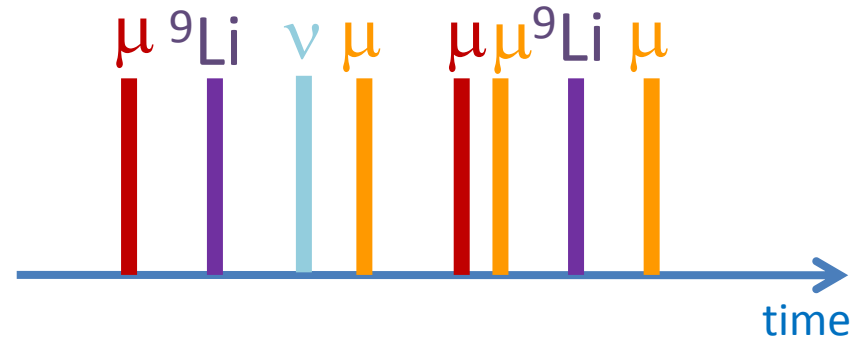
# $^9\text{Li}$ BGの見積もりの研究

- $\bar{\nu}_e$ : 69 events/day
- $\mu\text{on} + ^9\text{Li}$ : 1.4 events/day
- $\mu\text{on rate} \sim 24\text{Hz}$



これを混ぜて実際に近いサンプルにする

のMCを1.5年分作成。



→このサンプルからどのくらいの精度で $^9\text{Li}$ の量を測れるか?  
この場合、 $\nu$ 事象がBGとなる。

$\mu$ と $^9\text{Li}$ は相関関係がある。  
→ $\mu$ のtrackingへの要求

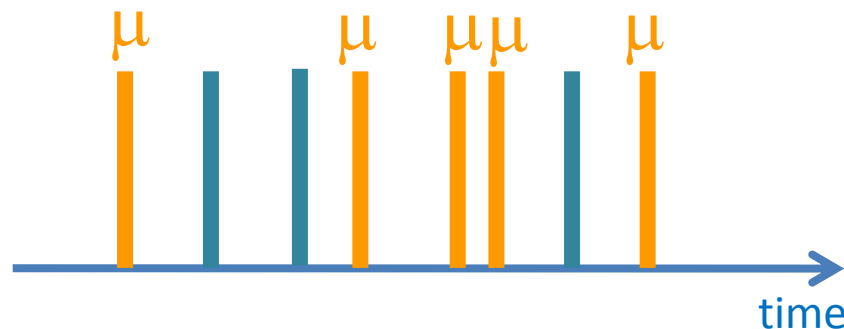
# $^9\text{Li}$ BGの見積もりの研究

- $\bar{\nu}_e$ : 69 events/day
- $\mu\text{on} + ^9\text{Li}$ : 1.4 events/day
- $\mu\text{on rate} \sim 24\text{Hz}$



これを混ぜて実際に近いサンプルにする

$\nu$  like signal



のMCを1.5年分作成。

→このサンプルからどのくらいの精度で $^9\text{Li}$ の量を測れるか?  
この場合、 $\nu$ 事象がBGとなる。

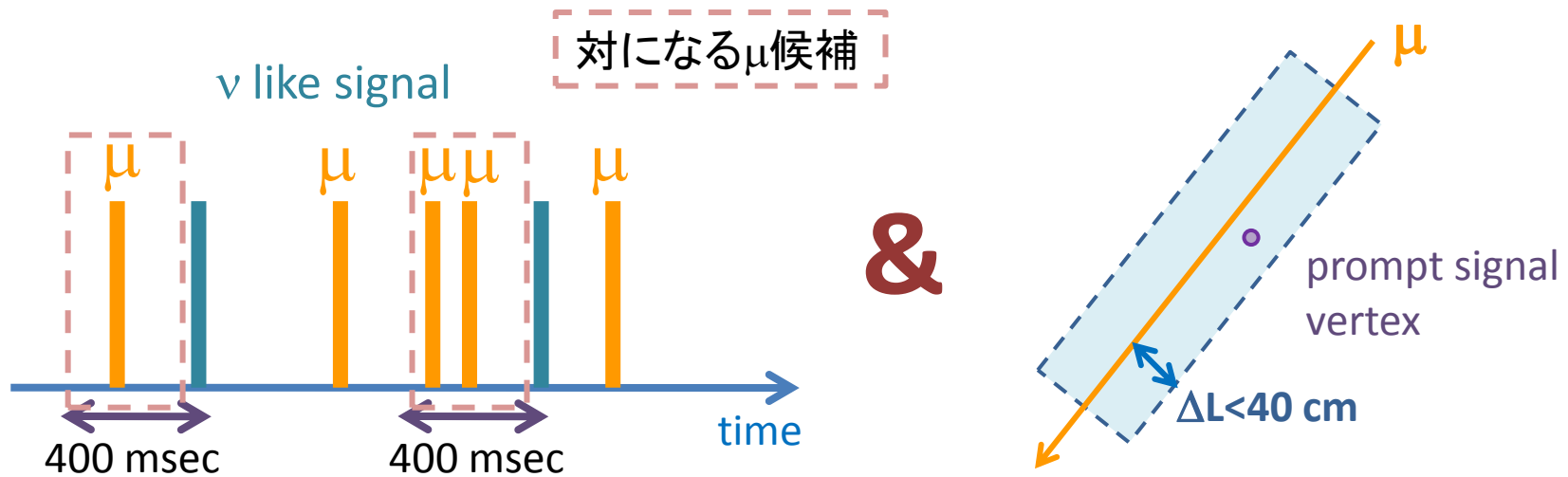
$\mu$ と $^9\text{Li}$ は相関関係がある。  
→ $\mu$ のtrackingへの要求

# $^9\text{Li}$ 事象のselection

$\nu$  like signalからの時間差  $\Delta T < 400$  msec

muonの飛跡とprompt signal点との距離  $\Delta L < 40$  cm

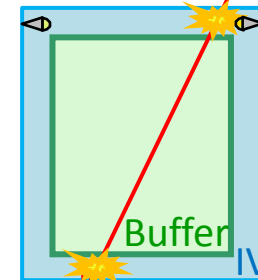
## $^9\text{Li}$ 事象の見つけ方



$\Delta T < 400$  msecに複数のmuonが通った際は $\Delta L$ が最も小さいmuonで $^9\text{Li}$ -muonペアを組んだ。

# $^9\text{Li}$ 事象数の見積もり

entry point



exit point

$$\text{selection efficiency} = \frac{N_{^9\text{Li}}^{\text{selected}}}{N_{^9\text{Li}}}$$

$N_{^9\text{Li}}^{\text{selected}}$ :  $^9\text{Li}$  selection数  
 $N_{^9\text{Li}}$ : 生成した全 $^9\text{Li}$ 数

$$\text{Purity} = \frac{N_{\text{true}}}{N_{\text{pair}}}$$

$N_{\text{true}}$ : 正しい $^9\text{Li}$ -muonペア数  
 $N_{\text{pair}}$ :  $\Delta T < 400\text{msec}$ ,  $\Delta L < 40\text{cm}$ の $^9\text{Li}$ -muonペアを組めた数

	selection efficiency	Purity
Perfect resolution	<h1>Preliminary</h1>	
Inner Veto resolution entry/exit 30cm/30cm		
Inner Veto resolution entry/exit 60cm/60cm		

ミュオン飛跡再構成の効率を100%とした

$\mu$ のresolutionが効いてくる  
**→ 高精度のミュオン飛跡再構成方法が重要**

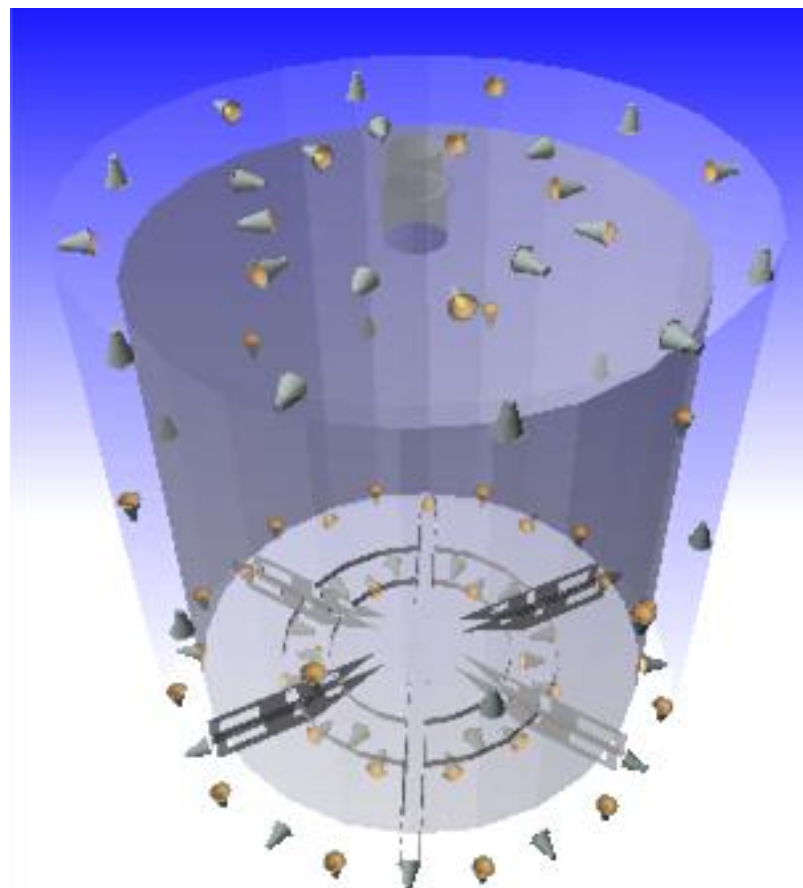


# ミューオン飛跡再構成方法

# How to reconstruct muon track (1)

使用したmuonサンプルはDouble Chooz FarDetector周辺の地形を考慮  
再構成はInner VetoのPMTを用いて行う

- Top (24)
    - 1<sup>st</sup> ring inward (6)
    - 1<sup>st</sup> ring outward (6)
    - 2<sup>nd</sup> ring inward (6)
    - 2<sup>nd</sup> ring downward (6)
  - Side (12)
    - upward (6)
    - downward (6)
  - Bottom (42)
    - 1<sup>st</sup> ring inward (6)
    - 1<sup>st</sup> ring outward (12)
    - 2<sup>nd</sup> ring inward (12)
    - 2<sup>nd</sup> ring upward (12)
- total 78 PMTs



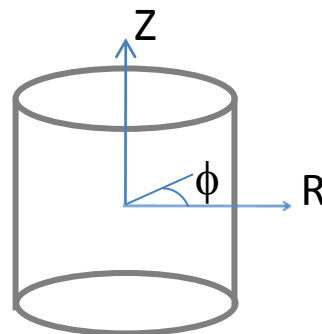
Maximum Likelihood法で飛跡再構成を行った。

# How to reconstruct muon track (2)

## Preselection

- IDとIV合わせた光量合計100p.e.以上

## 再構成方法



- PMTのhit time
- 光量比

を使って

- $R_{\text{entry}}, R_{\text{exit}}$
- $\phi_{\text{entry}}, \phi_{\text{exit}}$
- $Z_{\text{entry}}, Z_{\text{exit}}$

を出す

目標精度

入口/出口 30/30cm

(x,y,z)

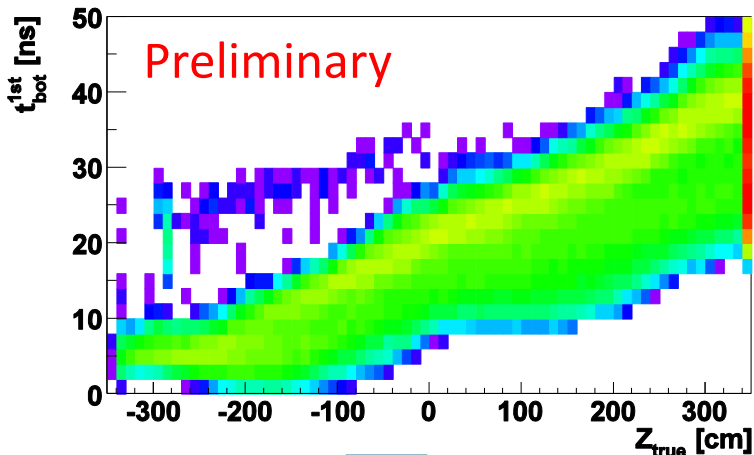
例: top 1<sup>st</sup> ring outwardを使う場合

$$\text{光量比} = \frac{\text{top 1}^{\text{st}} \text{ ring outward 各PMTの光量}}{\text{top 1}^{\text{st}} \text{ ring outward PMT全ての光量和}}$$



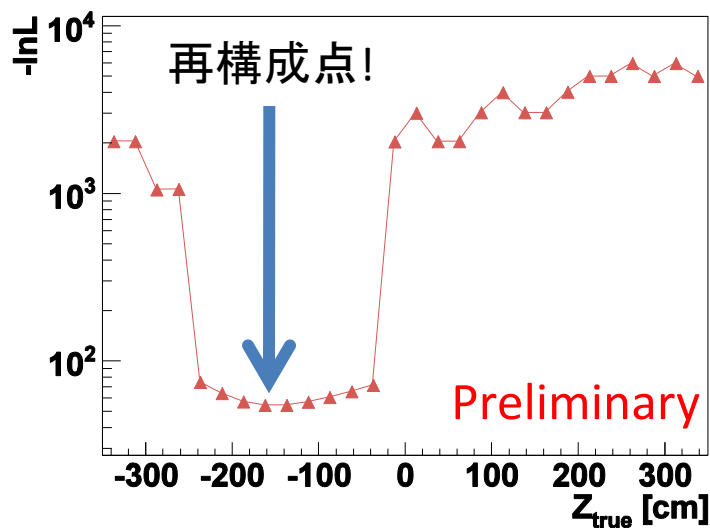
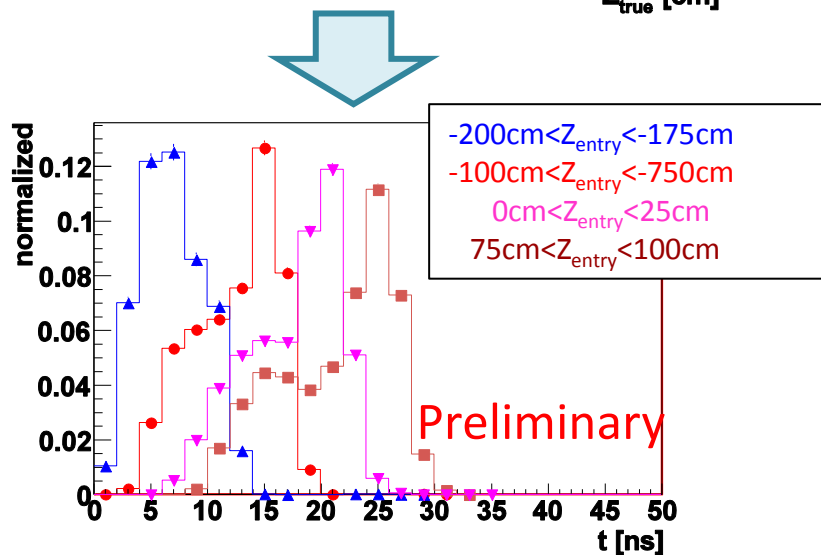
# Maximum Likelihood法

Bottom 1<sup>st</sup> ring inward内の  
1st hit time

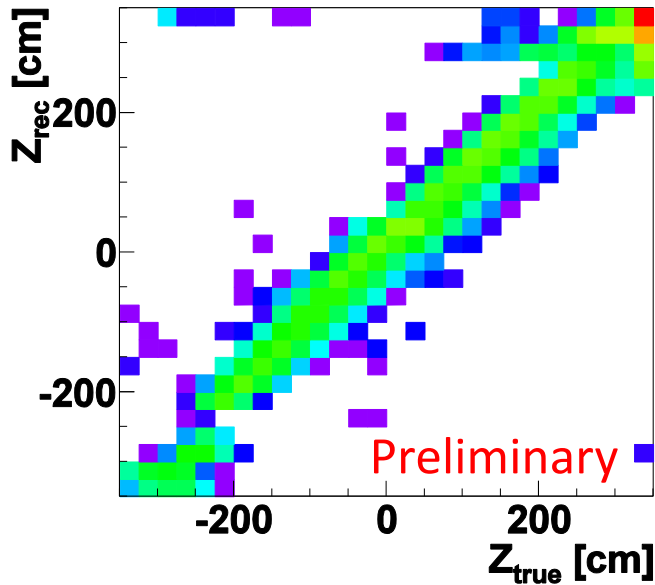


特徴のある変数(hit time, 光量比)のある区間を抜き出し、規格化した分布を作成。

再構成したいイベントのhit time, 光量比などから確率密度分布を作成し掛け合わせる。

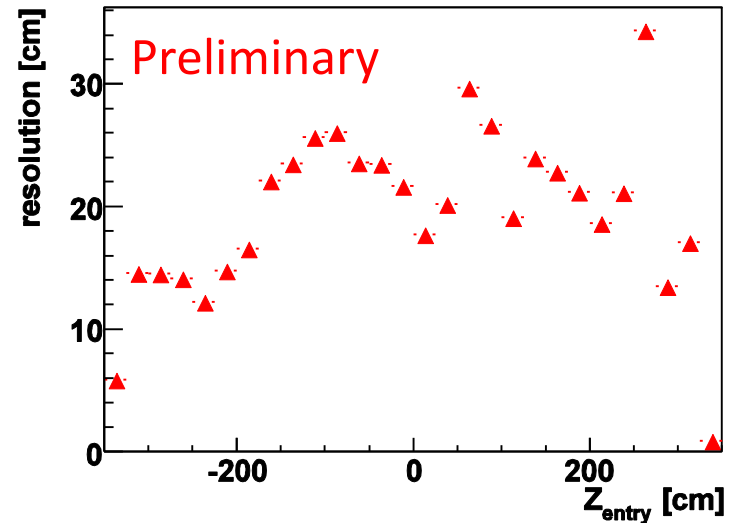
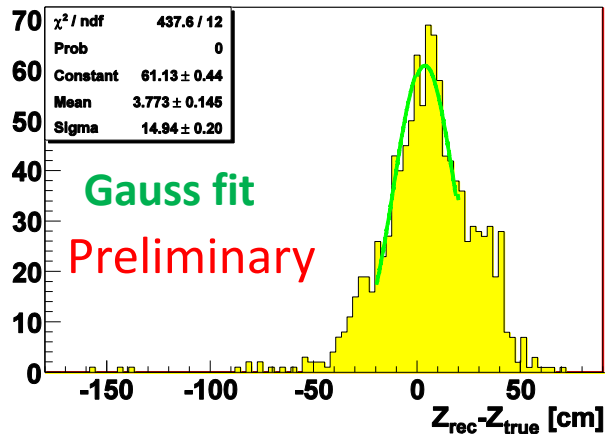


# 飛跡再構成の性能評価方法

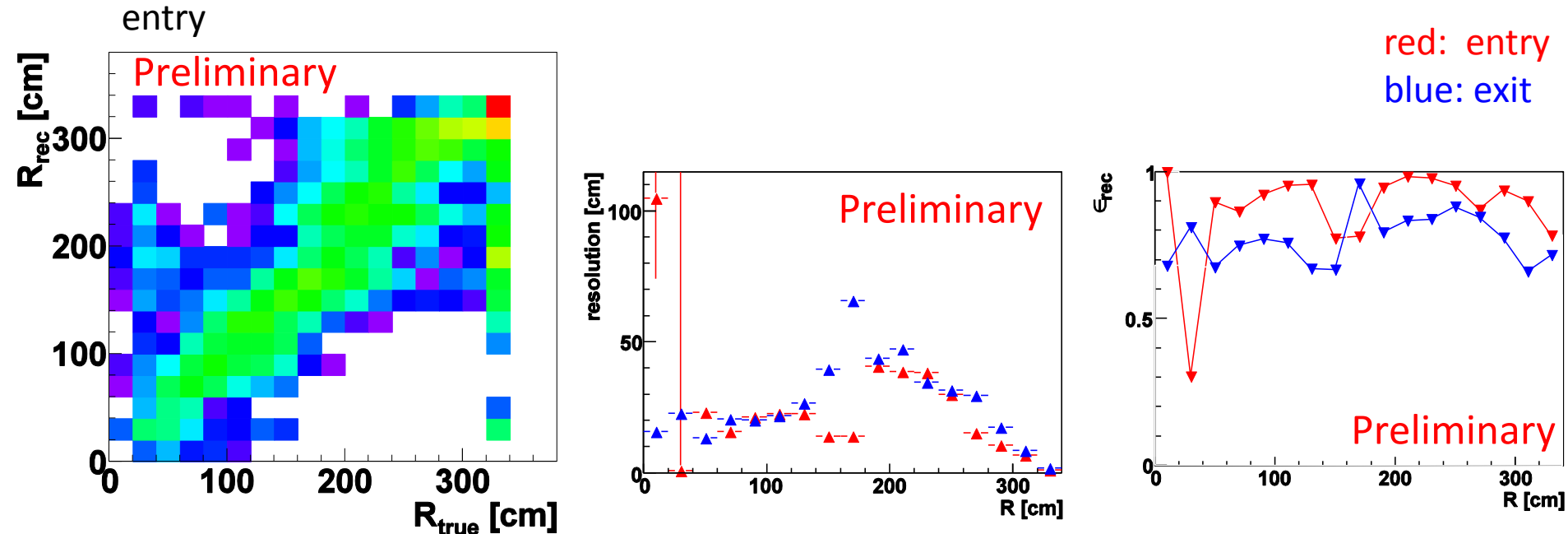


$$Resolution = \sigma_i$$

$$\mathcal{E}_{rec} = \frac{N_i^{rec}}{N_i^{true}} \times \frac{N_{2\sigma_i}}{N_{total}}$$



# Rの性能評価



- 側面に入射した場合でも上面入射と再構成してしまう場合がある。
- $\epsilon_{\text{rec}}$  は平均0.8程度で再構成できている。
- 入口は $z_{\text{rec}}$  が側面だった場合、 $R_{\text{rec}}$  も側面になるようにしてある。
- 出口は一般的に再構成精度が良くない。
  - 側面から入射し下面に抜けたmuonなど、出口に入口の影響が大きく効いてしまうイベントが多い為である。

# 性能評価

ミュオン飛跡再構成の分解能は

entry	<b>Preliminary</b>
exit	

入口/出口ともに分解能30cmを達成

	selection efficiency	Purity
Perfect resolution	<b>Preliminary</b>	
Inner Veto resolution entry/exit 30cm/30cm		
Inner Veto resolution entry/exit 60cm/60cm		

**Preliminary**

# Summary

- ${}^9\text{Li}$  事象は $\nu$ 事象に対し2.0%程度観測されると見込まれている。
- Inner Vetoでmuonを再構成する方法を開発している。



- 目標分解能 入口/出口30/30cmを達成

## 今後

- 飛跡再構成能力の改良
- 開発した再構成方法を使って ${}^9\text{Li}$ の数を見積もる。
- Outer Veto(検出器上部に設置されるシンチレータストリップ検出器)とInner Vetoで再構成されたものと比較する。