



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

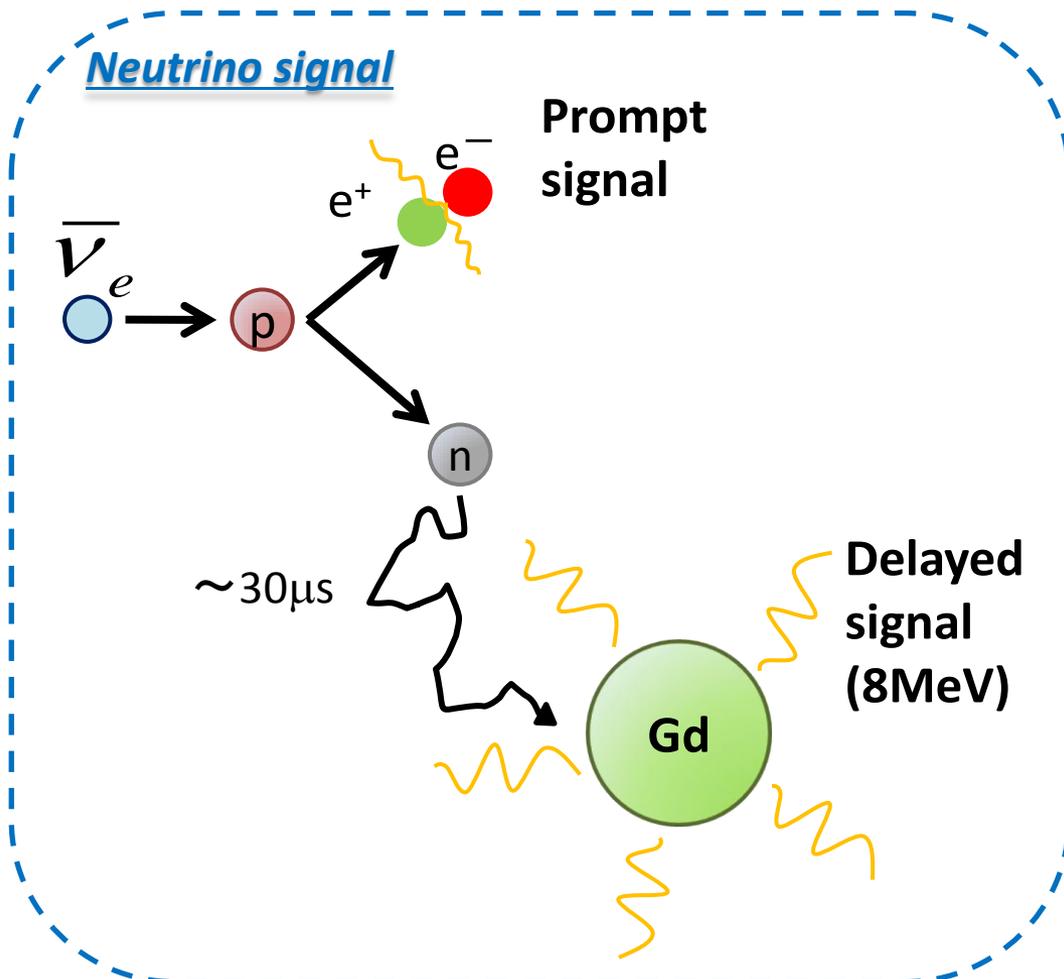
21 Feb. 2011

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。



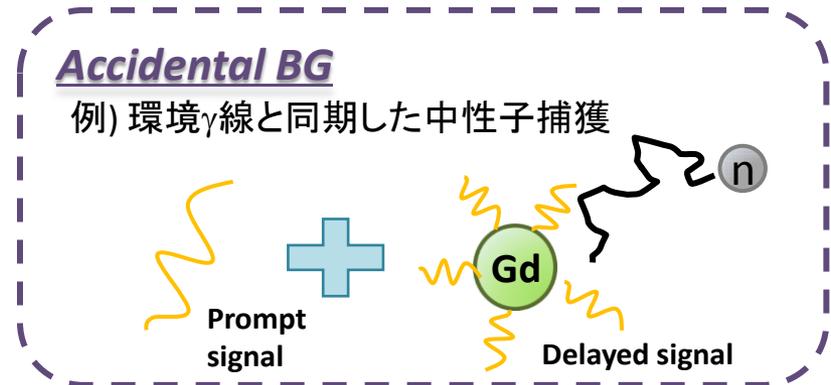
ニュートリノ事象の選別条件

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

Background

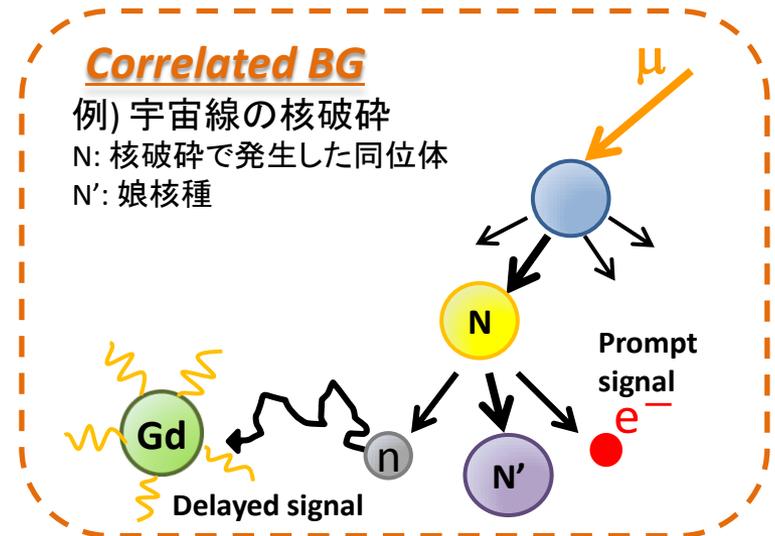
- Accidental background : γ 線 + neutron

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



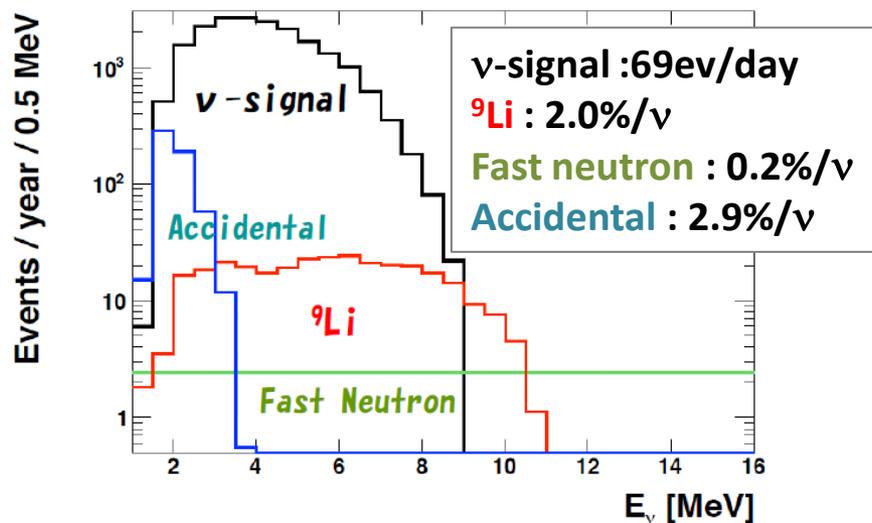
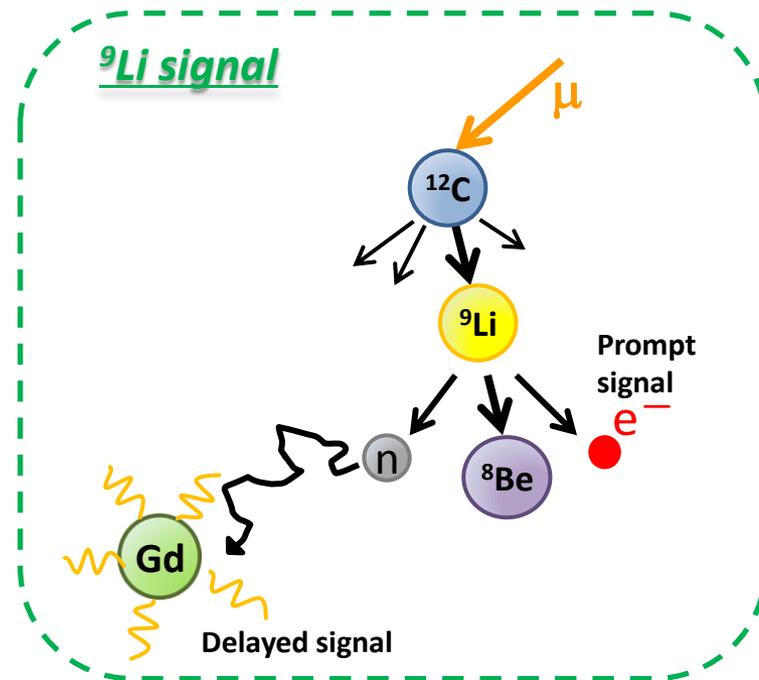
- Correlated background

- 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



^9Li background

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

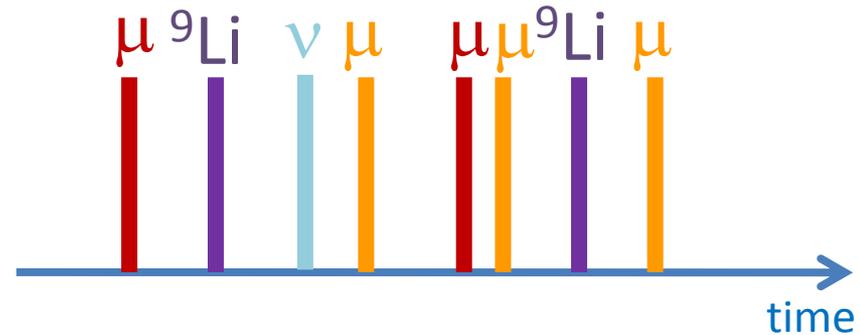
^9Li BGの見積もりの研究

- $\bar{\nu}_e$: 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 ^9Li の量を測れるか?
この場合、 ν 事象がBGとなる。

μ と ^9Li は相関関係がある。
→ μ のtrackingへの要求

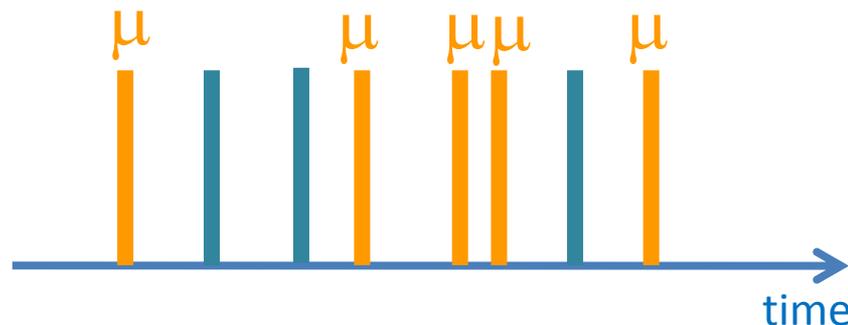
^9Li BGの見積もりの研究

- $\bar{\nu}_e$: 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

ν 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 ^9Li の量を測れるか?
この場合、 ν 事象がBGとなる。

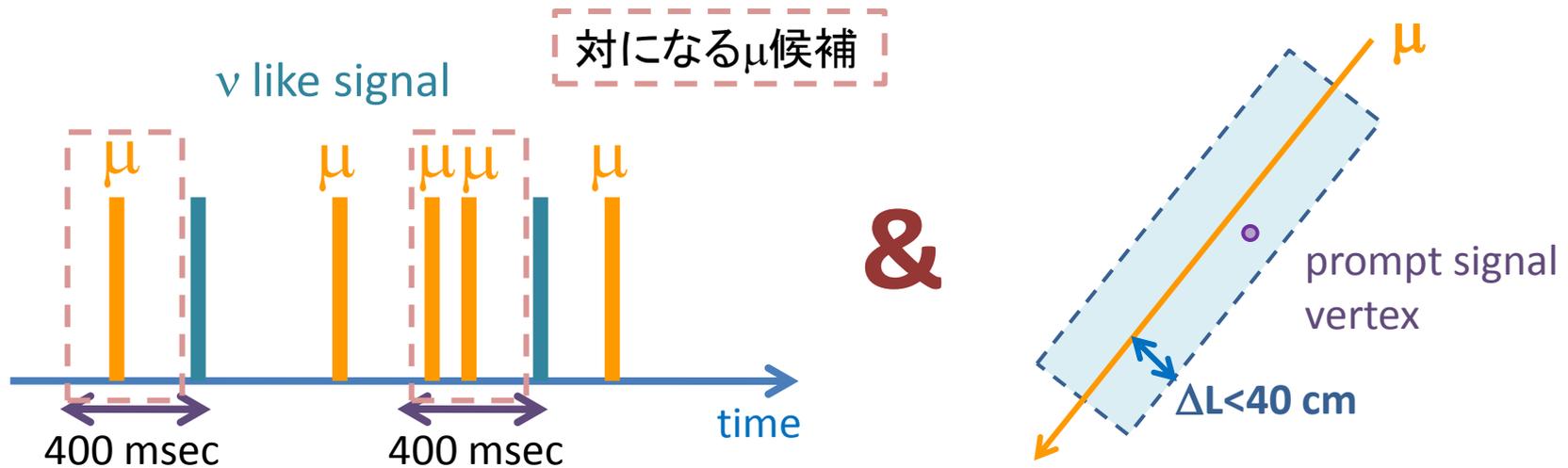
μ と ^9Li は相関関係がある。
→ μ のtrackingへの要求

${}^9\text{Li}$ 事象のselection

ν 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

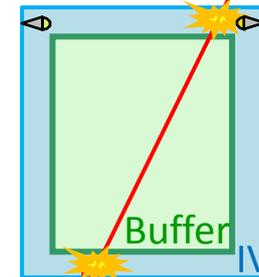
${}^9\text{Li}$ 事象の見つけ方



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

^9Li 事象数の見積もり

entry point



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

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

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

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

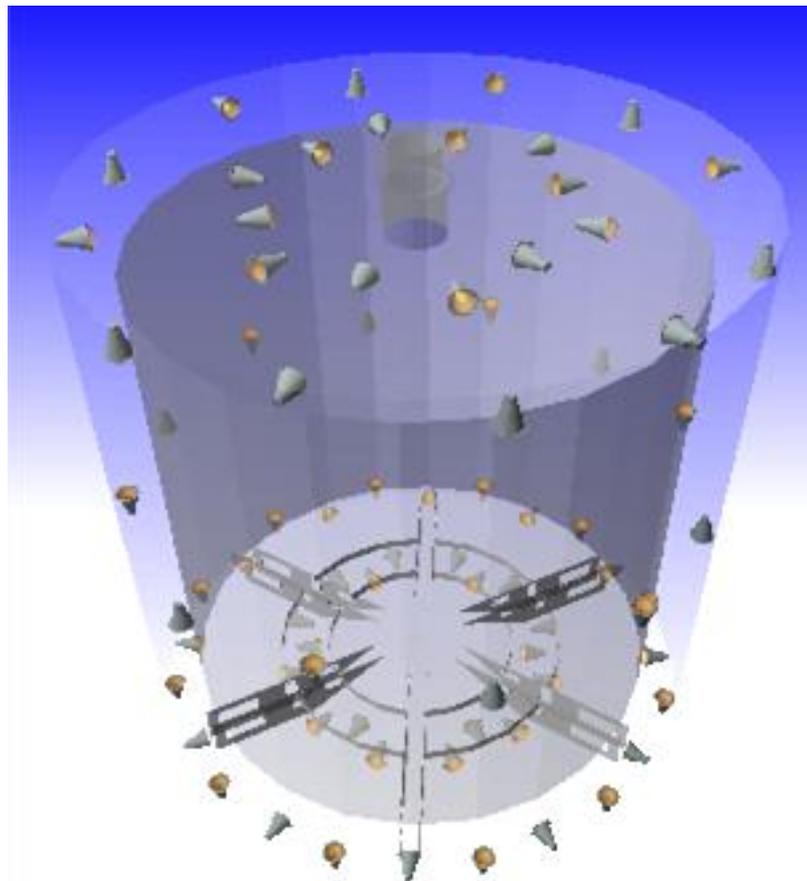
μ のresolutionが効いてくる
→ 高精度のミュオン飛跡再構成方法が重要

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)
 - 1st ring inward (6)
 - 1st ring outward (6)
 - 2nd ring inward (6)
 - 2nd ring downward (6)
 - Side (12)
 - upward (6)
 - downward (6)
 - Bottom (42)
 - 1st ring inward (6)
 - 1st ring outward (12)
 - 2nd ring inward (12)
 - 2nd ring upward (12)
- total 78 PMTs



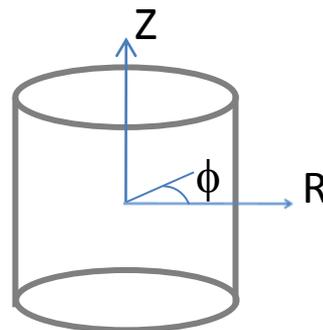
Maximum Likelihood法で飛跡再構成を行った。

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

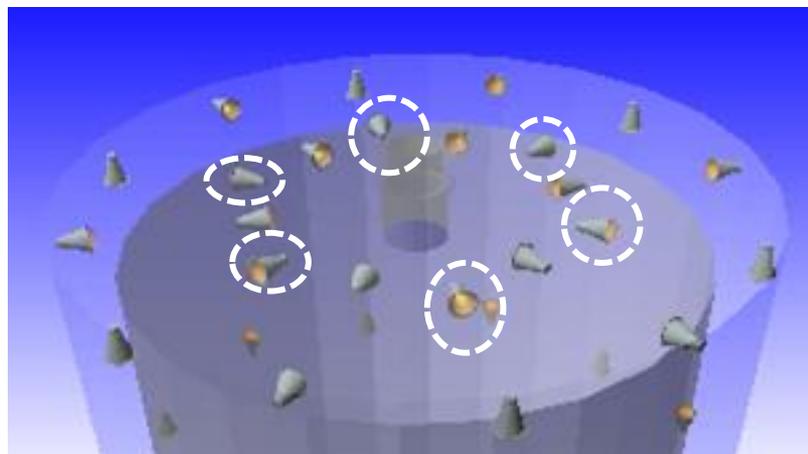
目標精度

入口/出口 30/30cm

(x,y,z)

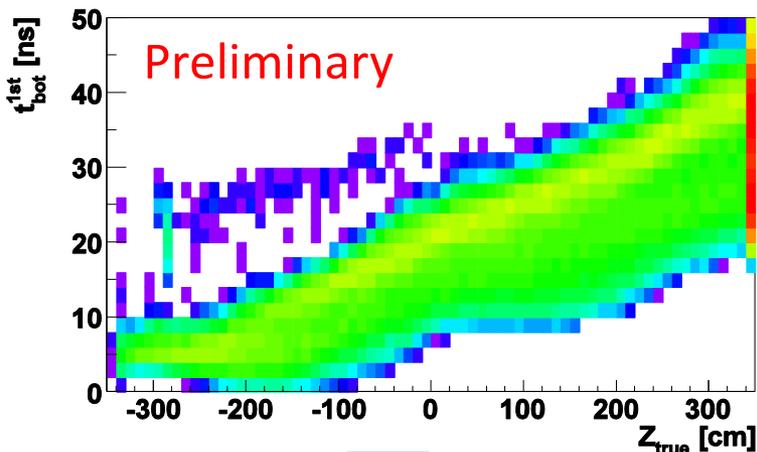
例: top 1st ring outwardを使う場合

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



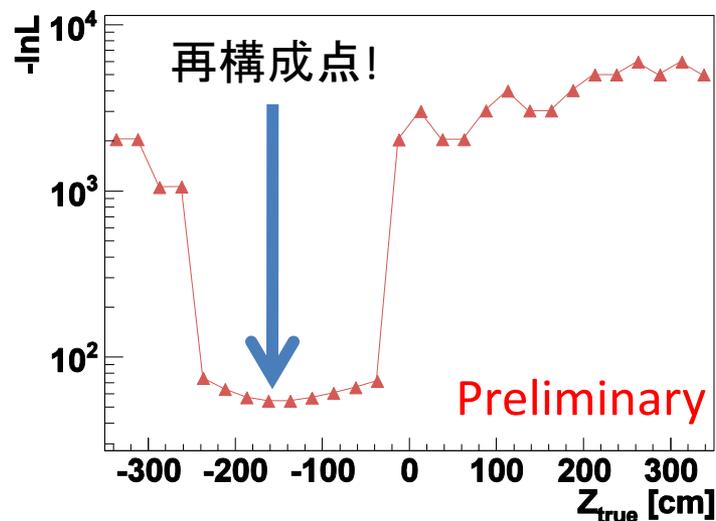
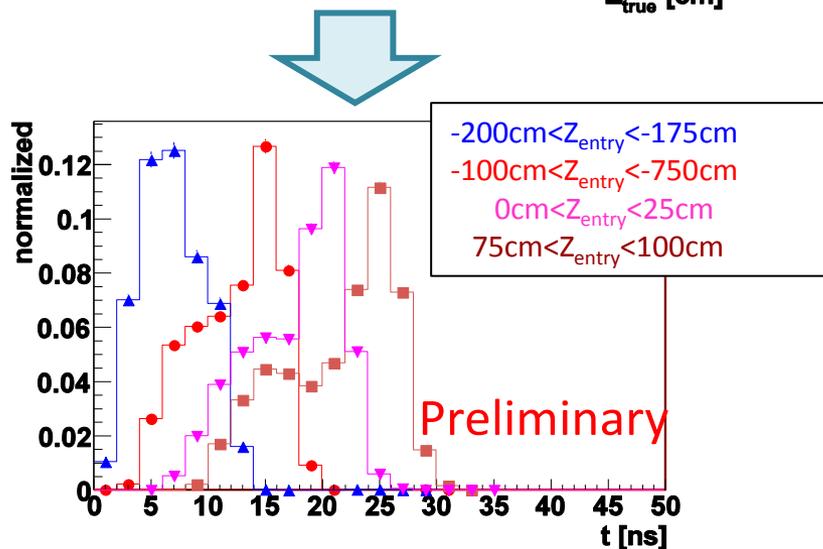
Maximum Likelihood法

Bottom 1st ring inward内の
1st hit time

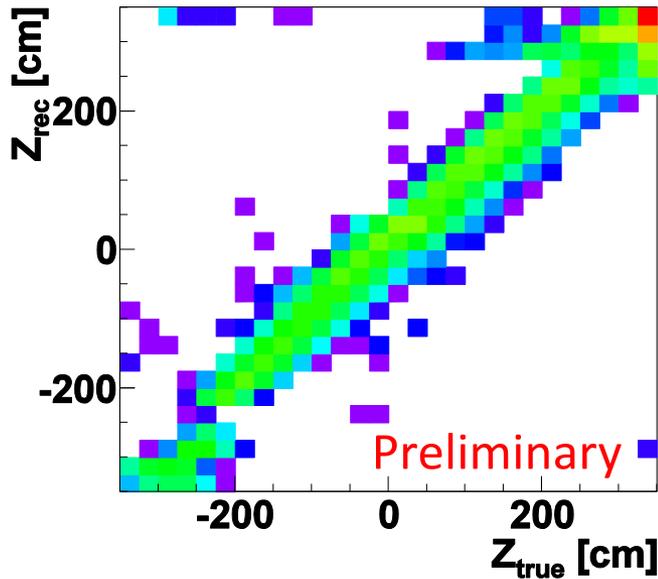


特徴のある変数(hit time, 光量比)のある区間
を抜き出し、規格化した分布を作成。

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。

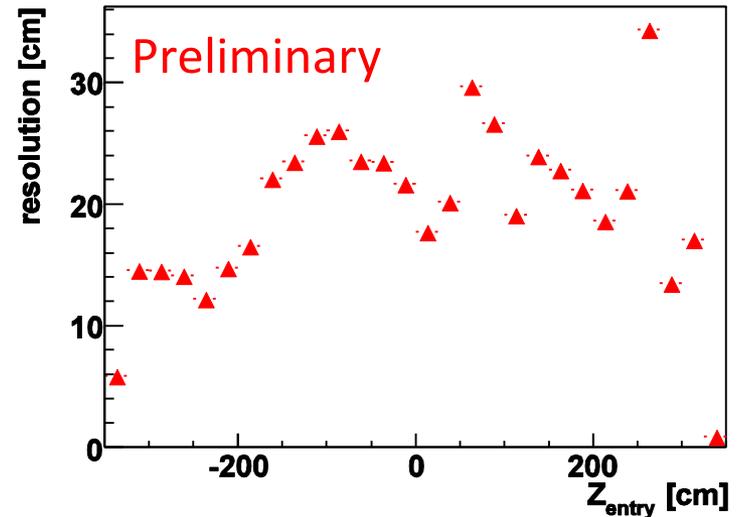
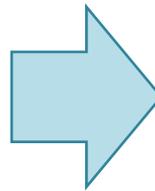
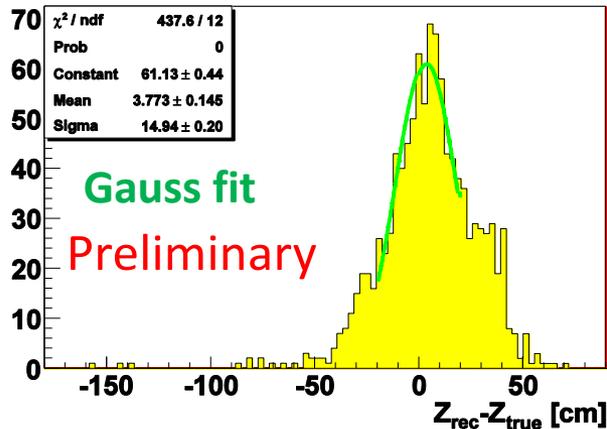


飛跡再構成の性能評価方法

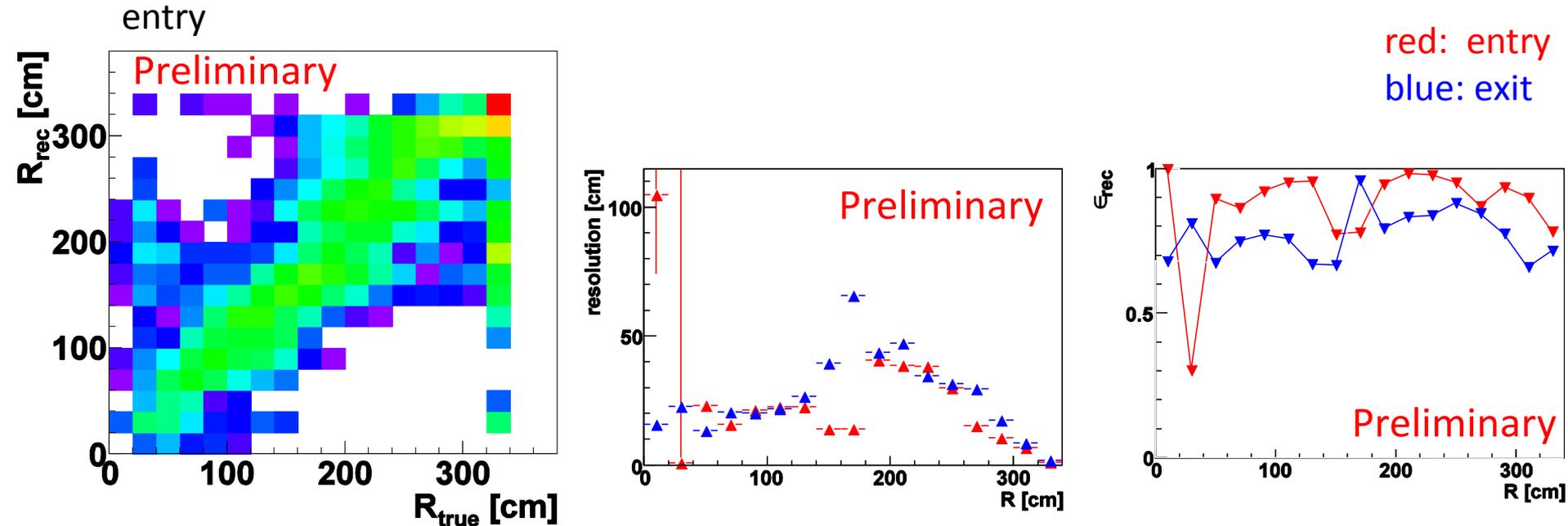


$$Resolution = \sigma_i$$

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



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。
- ϵ_{rec} は平均0.8程度で再構成できている。
- 入口は z_{rec} が側面だった場合、 R_{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	Preliminary
exit	

入口/出口ともに分解能30cmを達成

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

Preliminary

Summary

- ${}^9\text{Li}$ 事象は ν 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。