

# $\mu^+$ と $\mu^-$ の寿命の違いの測定

山中卓研 2004年度B-4

# 0. 目次

1. 今実験の概要
2. 通過位置決定のための予備実験
3. 角度分布とMCの整合性
4. Eventの選択
5. 結論
6. 改善点

# 1. 今実験の概要 — 今実験への流れ

電荷を区別しない  $\mu$  の寿命測定実験

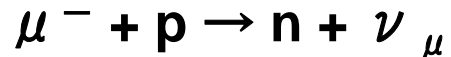
$$\tau = 2.095 \pm 0.045 [\mu\text{s}]$$



文献値  $2.197 [\mu\text{s}]$  との違い



$\mu^-$  は “ $\mu$  粒子捕獲反応”



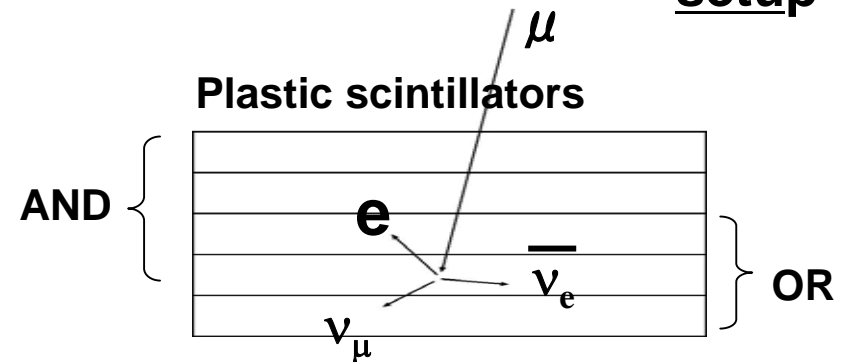
捕獲により  $\mu$  崩壊イベントが減少し

寿命が短く見える



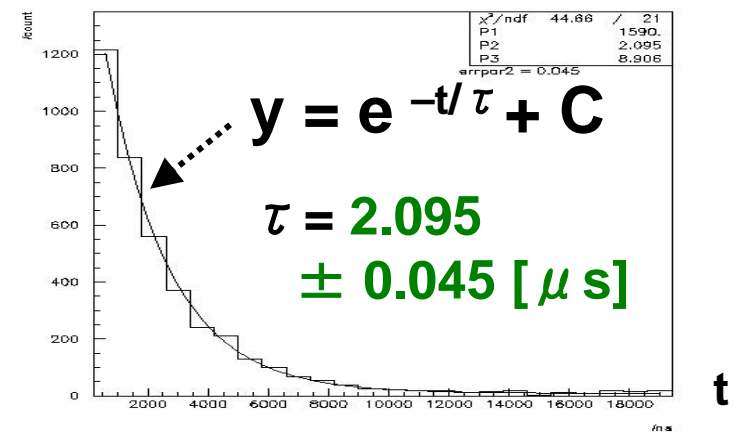
$\mu^+$  と  $\mu^-$  を分けたら寿命の違いが見える

setup



lifetime

counts



# 1. 今実験の概要 — 今実験のポイント

1. 正負を分ける
2. 寿命を測定する

1. → **磁場で分離**  
運動量、磁場強度、multiple scattering、検出器の分解能 から  
判別の精度が決定
2. →  **$\mu$  の崩壊**  
統計量 の要請

プラスチックシンチレーターとほぼ同じ密度の水の中で  
 $\mu^-$  は  $\tau = 1.8 [\mu\text{s}]$  ( $\mu^+$  と違いを見るには  $0.2[\mu\text{s}]$  の精度)



正負それぞれ **100event** あれば違いが見える

# 1. 今実験の概要 — $\mu^+$ と $\mu^-$ の判別方法

磁場前後の $\mu$ の通過位置

$x_1, x_2, x_3$



磁場による屈折角

$$\theta_{\text{out}} - \theta_{\text{in}}$$

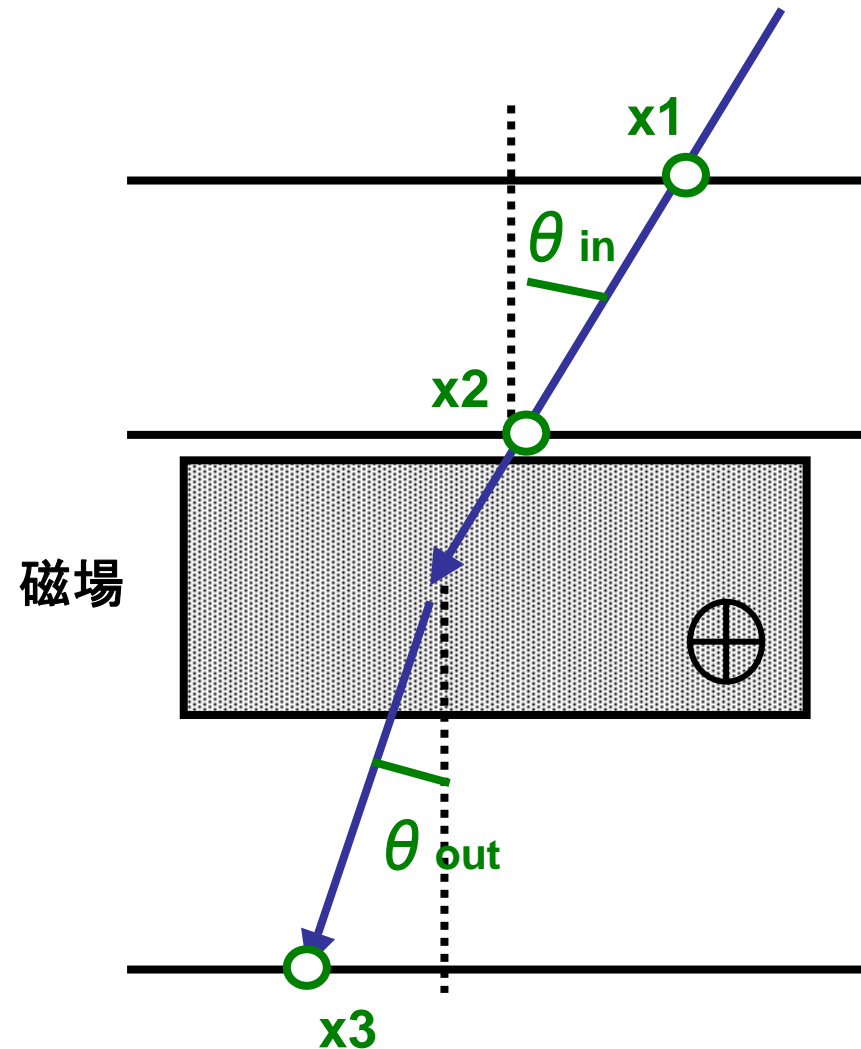


$\mu^+$ か $\mu^-$ かを判別

屈折角が

正 →  $\mu^-$

負 →  $\mu^+$



# 1. 今実験の概要 — 必要な磁場と分解能

$\mu^+$ と $\mu^-$ が判別できるには

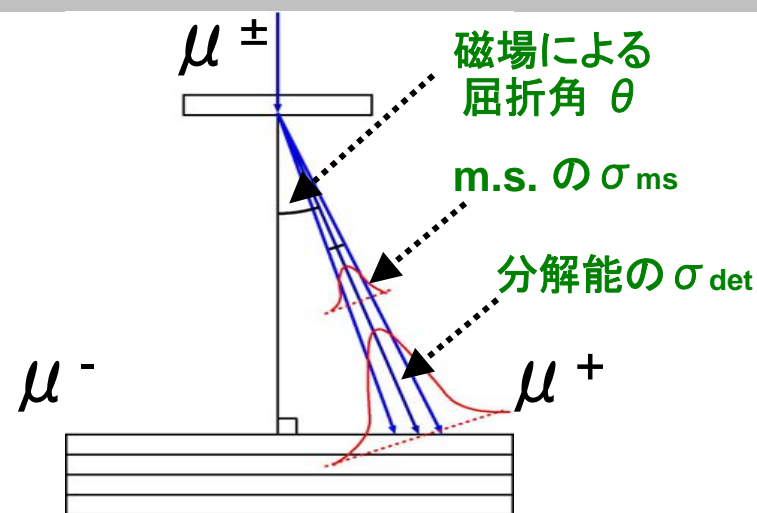


$$\theta > 2\sqrt{\sigma_{ms}^2 + \sigma_{det}^2}$$

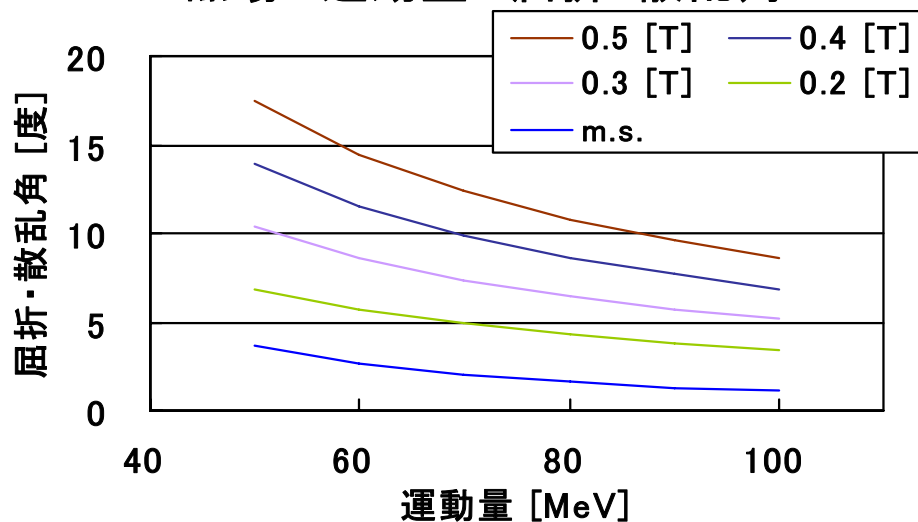
$\theta$  : 磁場による屈折角

$\sigma_{ms}$  : multiple scattering による散乱角

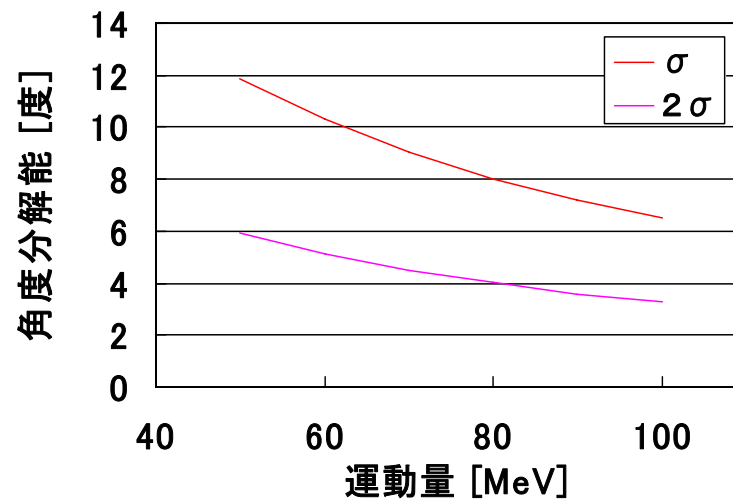
$\sigma_{det}$  : 角度分解能



磁場と運動量と屈折・散乱角



必要な分解能 (0.4 [T])



# 1. 今実験の概要 – セットアップ

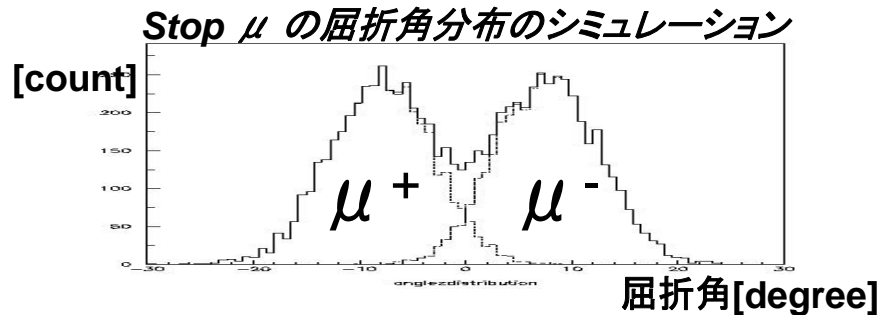
通過位置から屈折角を求め

$\mu^+$ と $\mu^-$ を判別

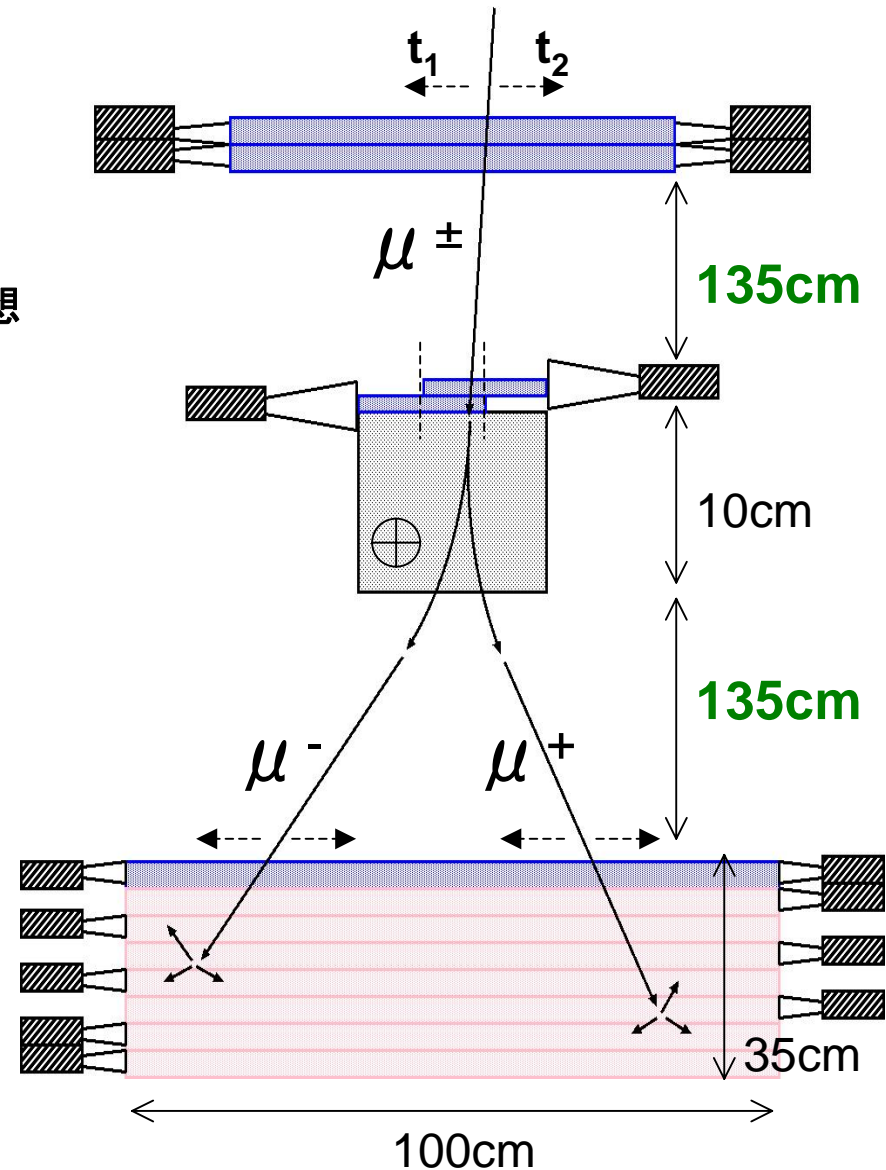
- stop  $\mu$  の運動量は**60-90 MeV**
- 磁場強度**0.4 T**前後
- 両読みscintillatorの位置分解能は**7 cm**と予想



- ※ 分解能の $2\sigma$ で判別するには  
磁場の下に**116 cm**以上必要  
(天井の高さ **300cm**) → **十分正負を分けられる**



- ※ 見込まれる統計量は **30日**で **300イベント**  
→ **十分寿命を測定できる**



## 2.通過位置と時間分解能の決定

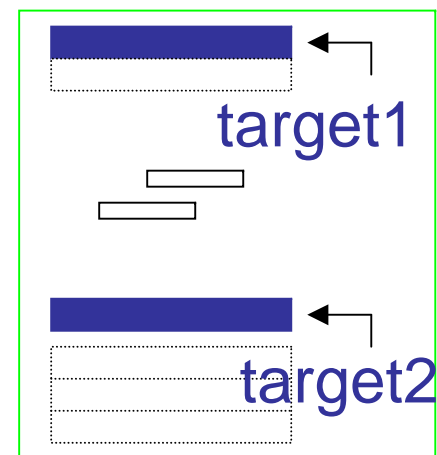
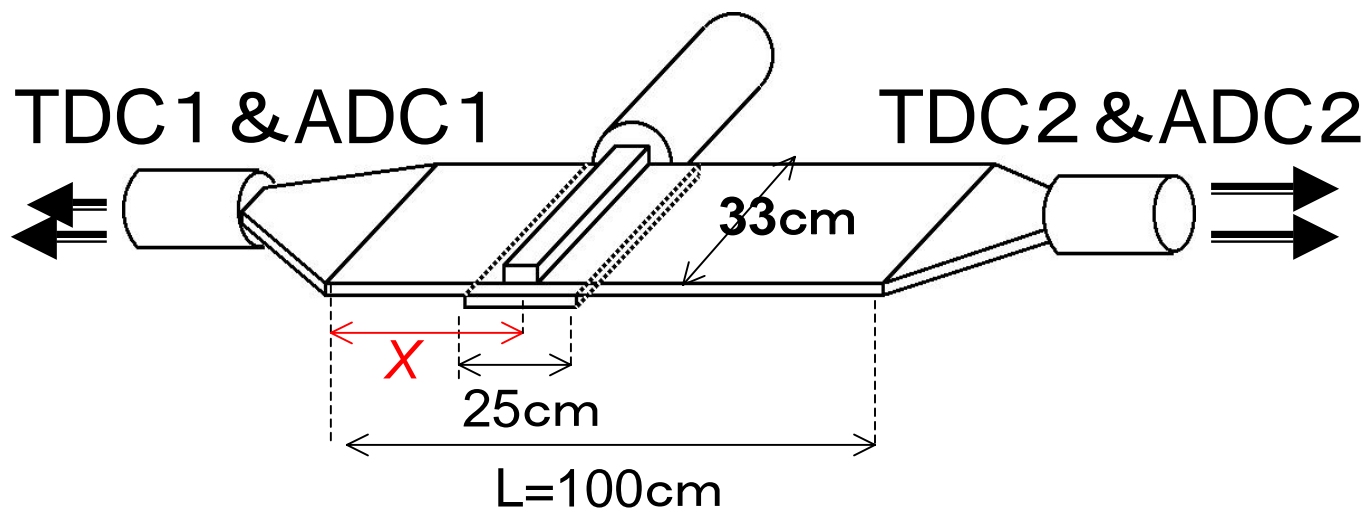
### 予備実験

$$x = c/2 \times \Delta T + \text{constant}$$

通過位置特定にはシンチ中の光速と両端までの移動時間の差が必要

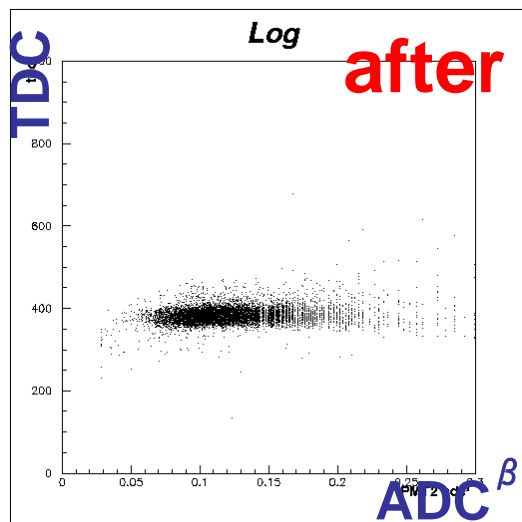
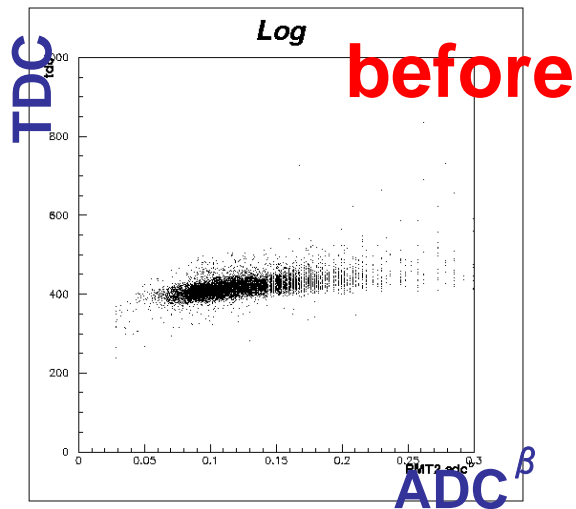
- ・シンチ中の光速を決定
- ・両端までの移動時間の差の分布の広がりから時間分解能の決定  
→Time Walk補正により時間分解能の向上を図る

左端を0cmとして、10cmから90cmまで20cm間隔で各位置の両側のTDC、ADCをとる

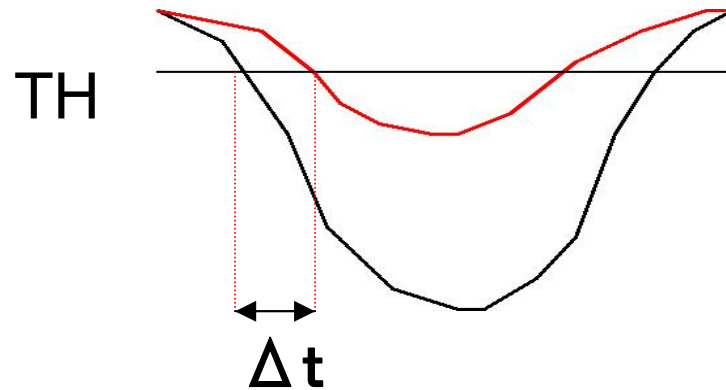




## 2. Time Walk 補正



### Time Walk とは



$$\rightarrow TDC = C_1 + C_2 \times ADC^\beta$$

$$\rightarrow \beta = -0.430 \sim -0.621 \pm 0.012 \sim 0.030$$

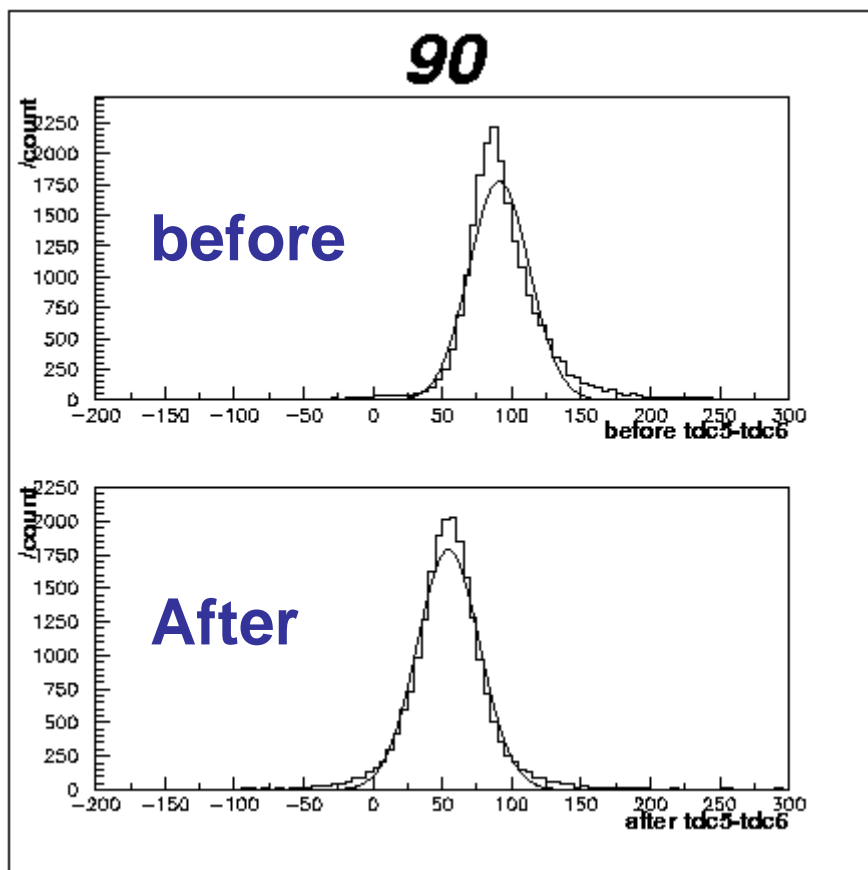
cf. 過去の実験では  $\beta = -1$  か  $\beta = -1/2$  で補正をしているものが多い

### 結果

シンチの両端の時間差分布のRMSは

- ・target1 → RMSが13.8%縮小
- ・target2 → RMSが6.1%縮小

## 2.時間分解能



横軸: tdc count  
縦軸: count

Time Walk補正後の時間分解能

・Gaussianでfitした時の $\sigma$ を時間分解能と定義する。

結果

Time Walk補正により

target1  $\sigma$ が3.90%縮小

target2  $\sigma$ が8.05%拡大

その結果、時間分解能は

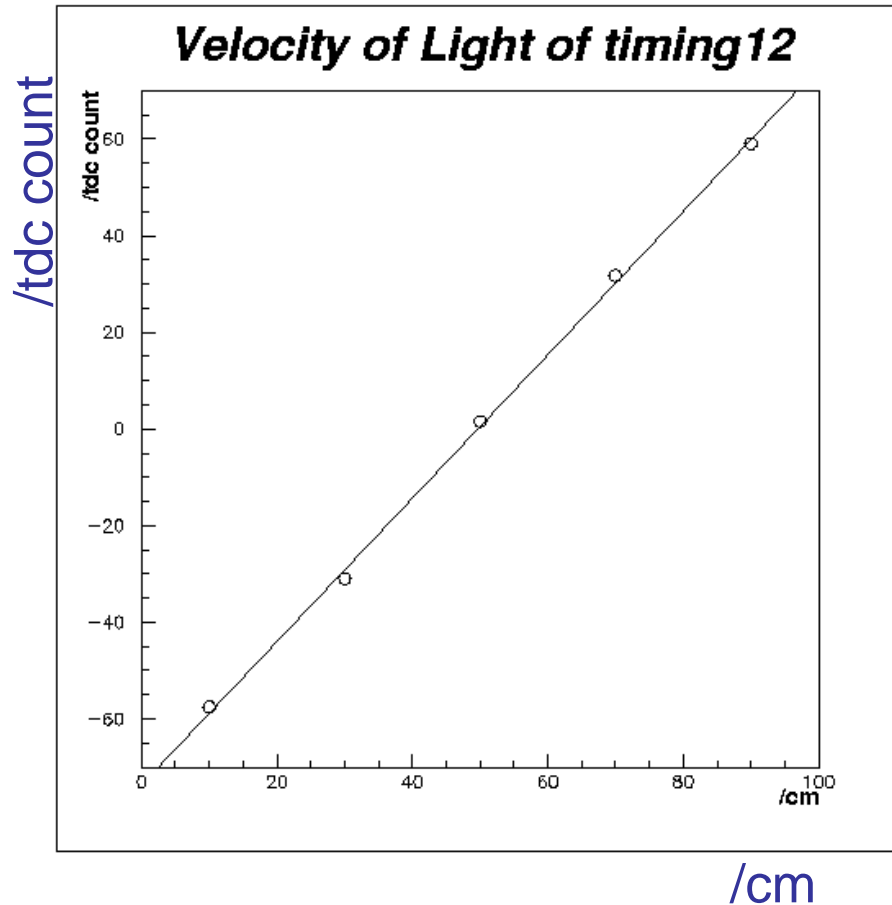
target1  $\sigma = 1.132 \pm 0.007[\text{ns}]$

target2  $\sigma = 1.731 \pm 0.014[\text{ns}]$

補正により $\sigma$ が大きくなったものもあるが、補正前はあまりGaussianにfitしてないため $\sigma$ の信用性が低い

→RMS縮小で補正効果ありと評価

## 2.光速の導出



### シンチ中の光速の導出

測定した5箇所位置の値と、それぞれに対応する両端の時間差の関係を直線でfittingし、光速を導出した。

### 結果

光速

target1 →  $17.56 \pm 0.04$  [cm/ns]

target2 →  $16.43 \pm 0.05$  [cm/ns]

光速を使い、時間分解能を位置分解能に変換すると

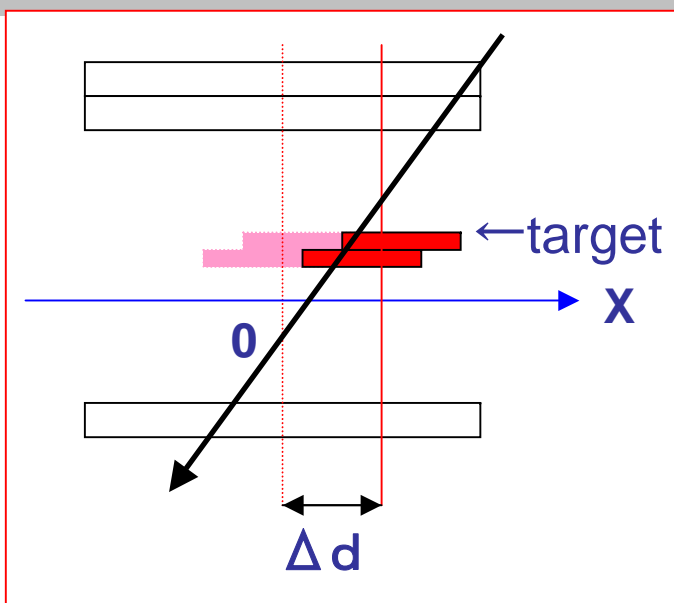
位置分解能  $\sigma$

target1 →  $10.58 \pm 0.09$  [cm]

target2 →  $13.68 \pm 0.16$  [cm]

→ 過去の実験から期待していた7cmに対し、1.5~2倍の位置分解能になってしまった。

## 2.検出器の整列



### 目的

本測定用の配置にシンチ等を置いたときに予定位置から若干ずれている。そのずれを求める。

→  $\Delta d$ の分布をとる。

$\Delta d$ はシンチの位置分解能が原因で分布に広がりを持つが、統計的に分布の中央値がシンチのずれの大きさになるはずである。

### →結果

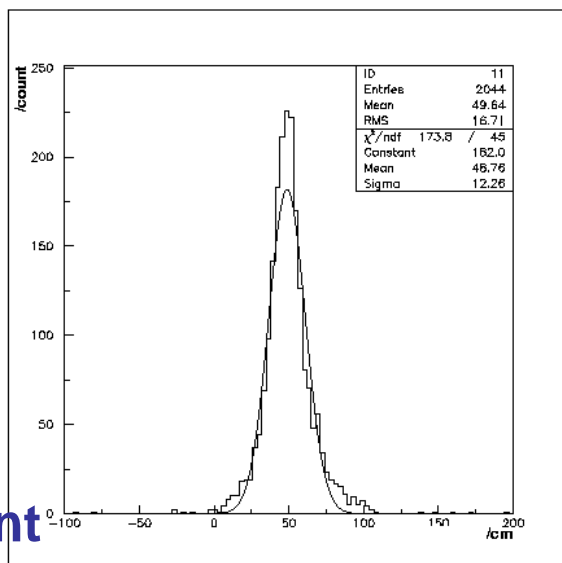
targetのずれ =  $1.33 \pm 0.31\text{cm}$

これで、 $\mu$ の角度分布を求める条件はそろった！

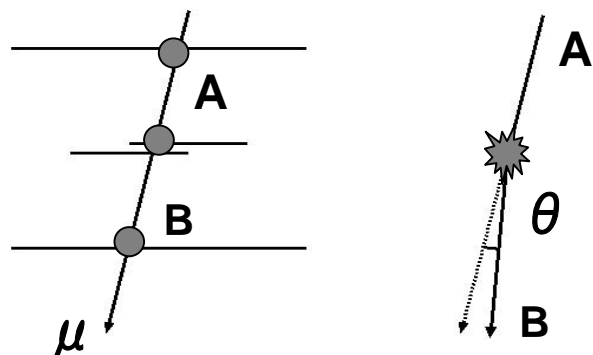
$\Delta d$ の分布

横軸: /cm

縦軸: /count



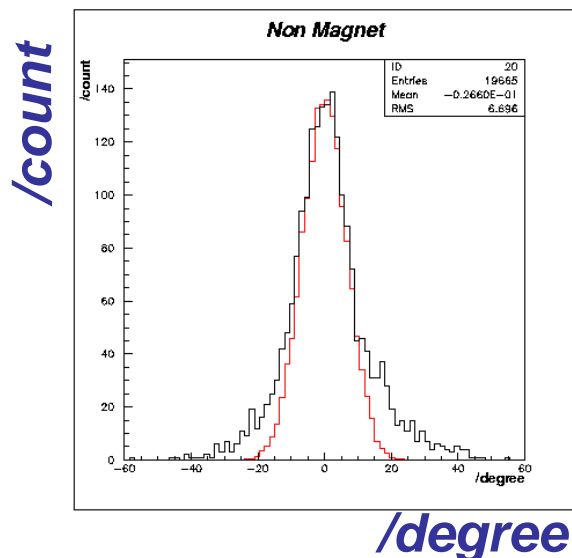
### 3.突き抜け $\mu$ の角度分布(磁場なし)



・磁場なし時の角度分布の構成要素  
 ⇒位置分解能 & 多重散乱

・突き抜け  $\mu$  ( $p > \sim 100\text{MeV}/c$ )についてMCと比較

実験データの分布はトリガーシンチの時間差分布でみられたテールの影響により若干テールを引いている。



赤線: シミュレーション  
 黒線: 実験データ

→テールの影響を取り除くため、  
 double gaussianでfitし、狭い成分をMCと比較する。

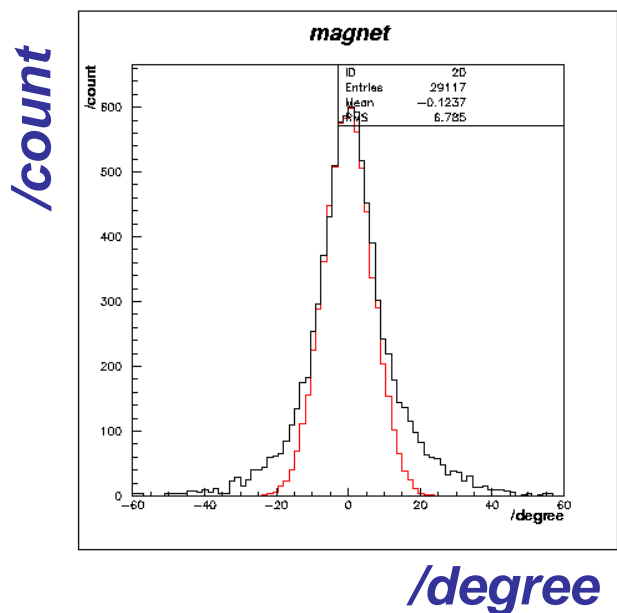
	実験データ	シミュレーション
$\sigma$	6.34° ±0.53	6.70° ±0.03
mean	-0.57° ±0.29	-0.02° ±0.05

データとシミュレーションの値は誤差の範囲で一致  
 →多重散乱はほとんど効かない(1GeV:0.08°)  
 →位置分解能による広がり再現できた

### 3.突き抜け $\mu$ の角度分布(磁場あり)

#### 磁場あり時

- ・角度分布の構成要素  
位置分解能 & 多重散乱 & 磁場による屈折



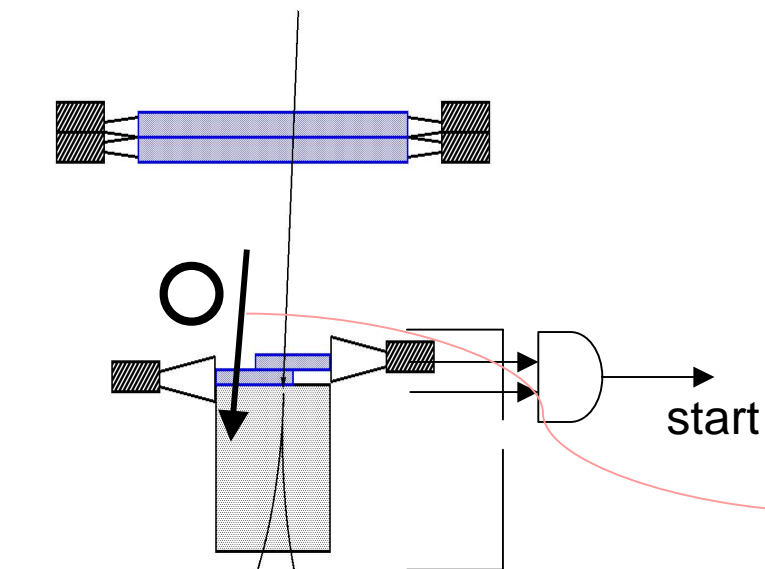
	実験データ	シミュレーション
$\sigma$	6.19° ±0.21	6.80° ±0.03
mean	-0.09° ±0.14	-0.12° ±0.05

#### 結果

- ・実験データもMCも磁場なしの値とほぼ同じ値。  
→突き抜けの  $\mu$  では多重散乱、磁場の効果の再現性は確認できない  
⇒低エネルギー  $\mu$  を調べる必要あり

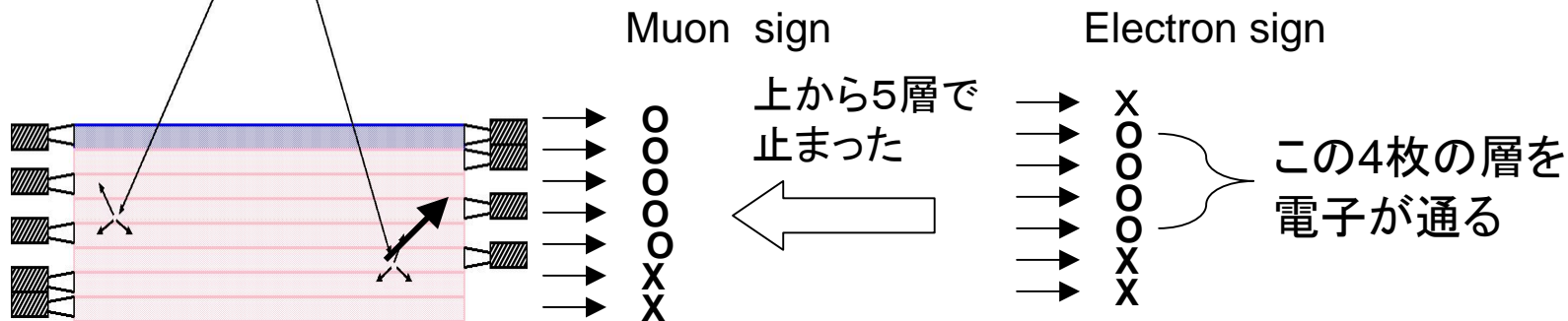
# 4. Stop $\mu$ の選択

低エネルギーの  $\mu$  を測るために... シンチレーター中で止まる 'stop  $\mu$ ' を選ぶ。



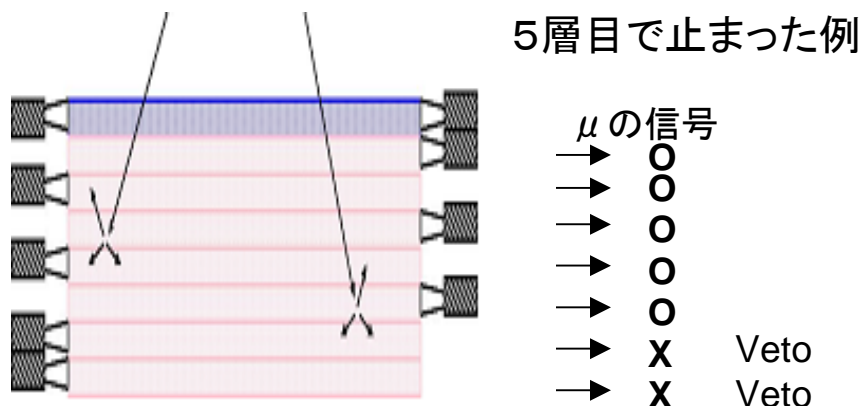
- ・条件1...  $\mu$  が突き抜けない  
 $\mu$  の momentum を絞る。  
(止まる層も区別)
- ・条件2...  $\mu$  が止まる層から電子が出る  
本物の  $\mu$  が decay していることを確認。

統計量を増やして電子を確認する  
磁石直前のシンチレーターについて  
1枚のみ通る部分もデータに含む。



# 4. Stop $\mu$ の選択 (Muon Cut)

条件1...  $\mu$  が突き抜けない



muonADCがペDESTALより高い = O  
 $\mu$  が通った

muonADCがペDESTAL以下 = X  
 $\mu$  が通らない

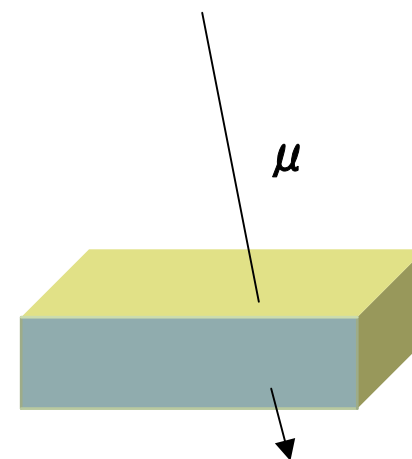
全ての層で条件を満たすもの

しかし、この Muon Cut のみでは Stop  $\mu$  を決められない。

**Muon Cut** で残る2つの場合

- stop  $\mu$
- シンチレーターの側面から出て行く、突き抜け  $\mu$   
( シミュレーションから  $1.18 \cdot 10^{-3}$  [Hz]  
測定時間内に  $2.0 \cdot 10^3$  event )

実験  $1.4 \cdot 10^3$  event (シミュレーションのトリガー条件と合うもの)

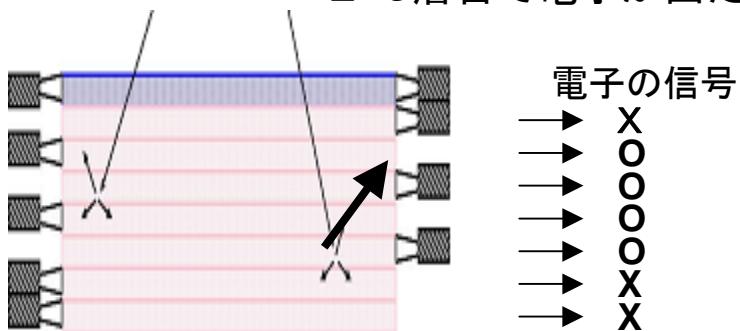




# 4. Stop $\mu$ の選択 (Decay Electron Cut)

条件2...  $\mu$  が止まる層から電子が出る

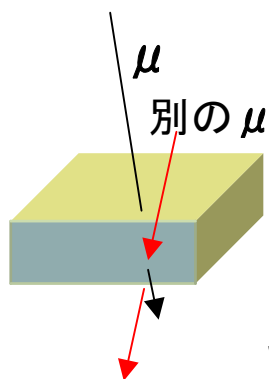
5層目で  $\mu$  が止まった後  
2~5層目で電子が出た例



electronADCがペDESTALより高い = O  
electronADCがペDESTAL以下 = X

Cutの条件

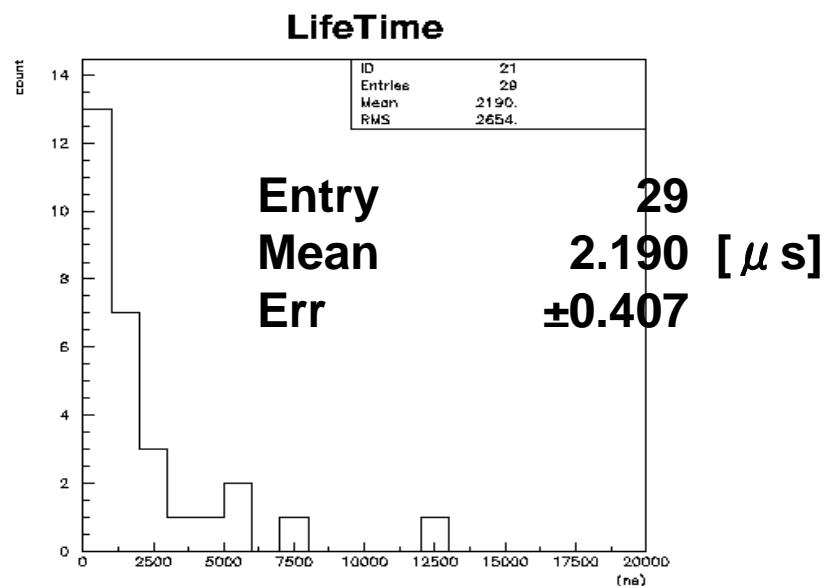
- MuonCutで決まった層 + 上 or 下隣の層... O
- electronADC Oの層に対して反対側全て... X
- electronTDCが2層一致  
→ この値を  $\mu$  の寿命とする。



Electron Cut で残る  
偶然同時の  $\mu$  は  
シミュレーションから  
 $1.03 \times 10^{-13}$  [Hz]  
測定時間内  $10^{-6}$  event

Single Photoneの偶然同時は  
測定時間内  $10^{-7}$  event

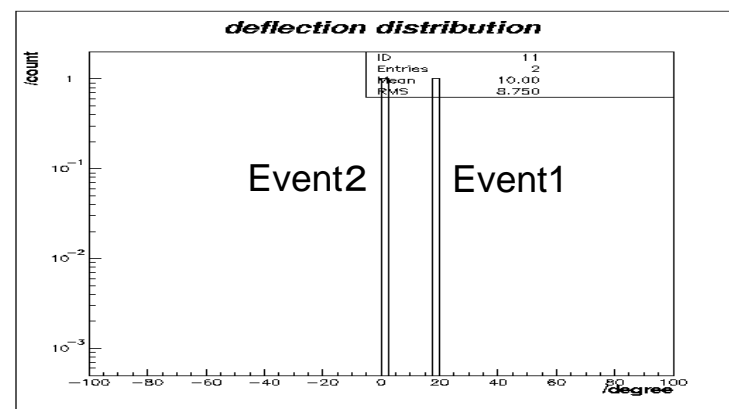
この選択したStop  $\mu$  を用いて  
低エネルギーの  $\mu$  角度分布を見たい



## 4. Stop $\mu$ での角度分布と結果

選択したStop  $\mu$  のうち角度決定のトリガー条件をみたすeventを選ぶ

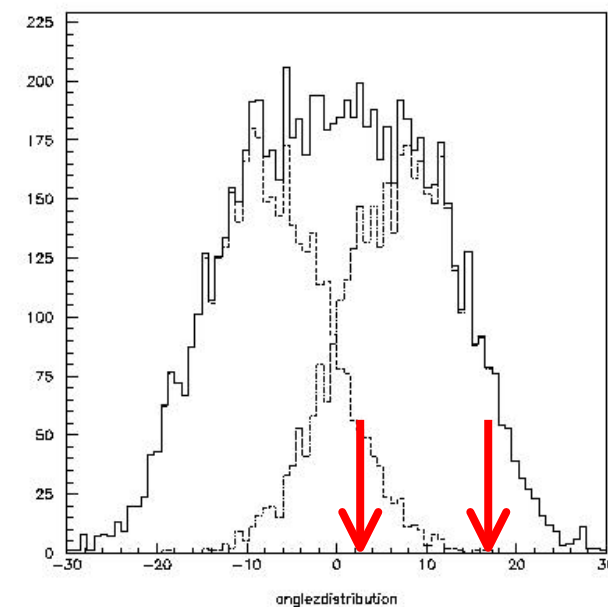
	分布角度	止まった層	予想momentum
Event1	17.7°	5	85Mev
Event2	1.9°	2	65Mev



Life time ~ 400 [ns]

残念ながら 2event で角度分布を期待されたものと比較することはできなかった。

この角度分解能および粒子数からは得られた  $\mu$  粒子の電荷を識別することは難しい。



# 4. $\mu$ の電荷を識別できない理由

## 角度分解能

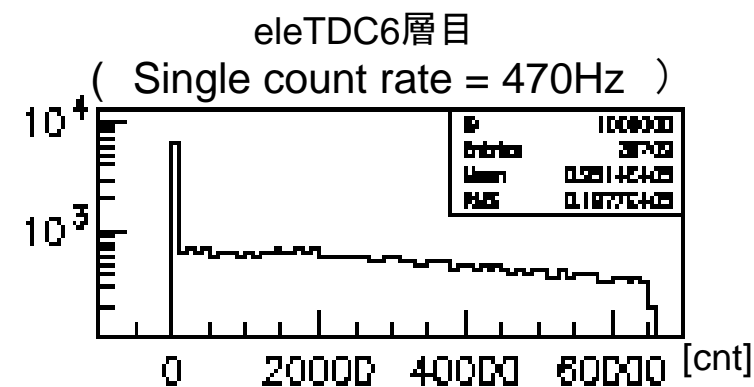
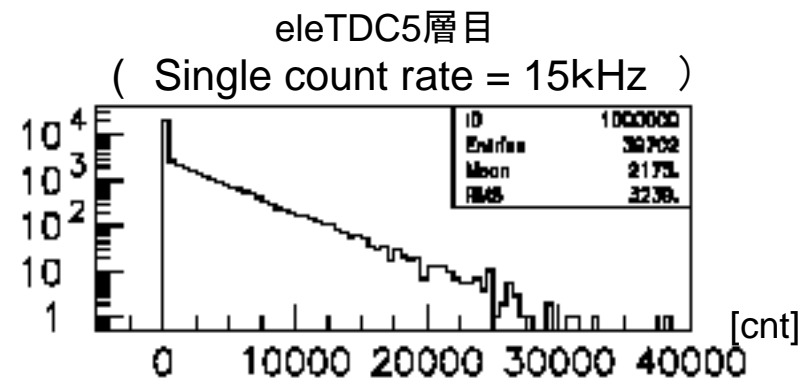
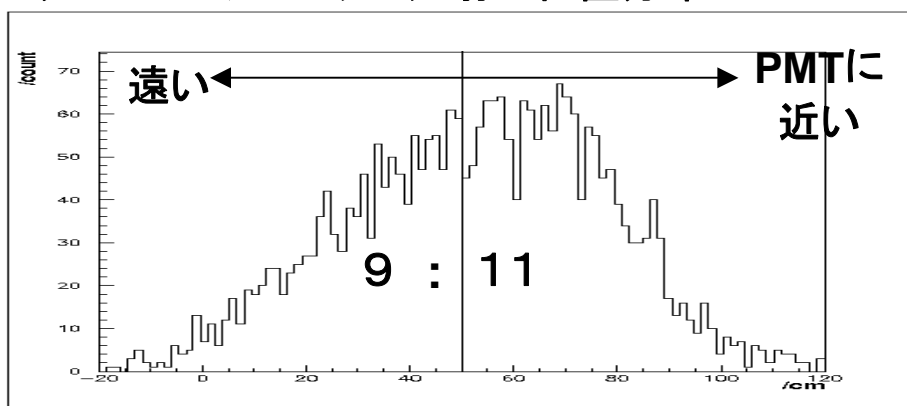
過去のデータから両読みシンチレーターの位置分解能を7cmと予想したが、  
実験では10cmおよび13cm。

## 検出粒子数

PMTのgainが低いためnoiseが多い  
PMTから遠い側の検出効率が悪い

- ⇒ 厳しいCutが必要
- ⇒ 統計量が減少
- ⇒ 減少の原因を調べにくい

## トリガーシンチレーター入射の位置分布



## 5. 結論

目的

$\mu^+$ と $\mu^-$ の寿命の違いの測定

Data収集期間

2/14 ~ 3/8

計測時間

$1.76 \times 10^6$

トリガー数

431977

結果

2 event (見積もりでは50event)

この数では角度分布を期待されるものと比較することができず、電荷を区別した寿命は測れない。

電荷の分別・・・角度分解能が予想より出ていない。

寿命測定の統計量・・・電子の識別効率が悪いいため少ない。

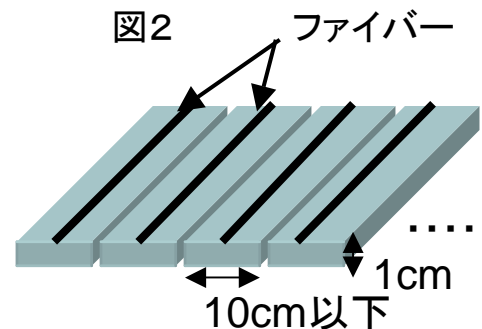
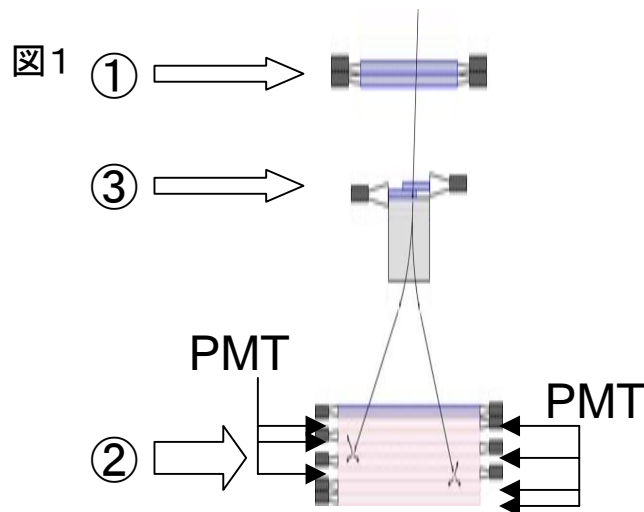
⇒ 改良

## 6. 改善する点

- ① 位置分解能  $\sigma = 7\text{cm}$ 程度にすることが必要
- ② 下側シンチレーターの検出効率  $\sim 100\%$  が必要
- ③ その他、統計量を増やす方法

そこで……

- ①  $\Rightarrow$  角度決定の検出器は両読みの代わりにファイバーを通す(図2)
- ②  $\Rightarrow$  下側シンチレーターを両読みにする(図1)
- ③  $\Rightarrow$  磁石の利用面積を広くする(図3)



別のセットアップとしては  
ドリフトチェンバーを使う  
方法もある。

