



# 新検出器で見る宇宙線

~Salt も Air も Waterも我が物に~

京都大学 宇宙線研究室 助手

身内賢太郎

1. Intro
2. Salt : 結晶をみて
3. Air : 空に飛ばして
4. Water : 水の中でも
5. Outro



# 1. INTRODUCTION

- ◆ 京大、宇宙線研究室(谷森グループ)で開発中のガス検出器、 $\mu$ -PICについて
  - 開発現状(SALT5)
  - 先に見える将来計画(7AIR)
  - 大風呂敷(11WATER) を話します。



これ、風呂敷チャート。  
右に行くほど風呂敷度高い話です。

- ◆ 広く浅い話になりますので、興味あるところに関して、質問、**ref**参照などしてください。

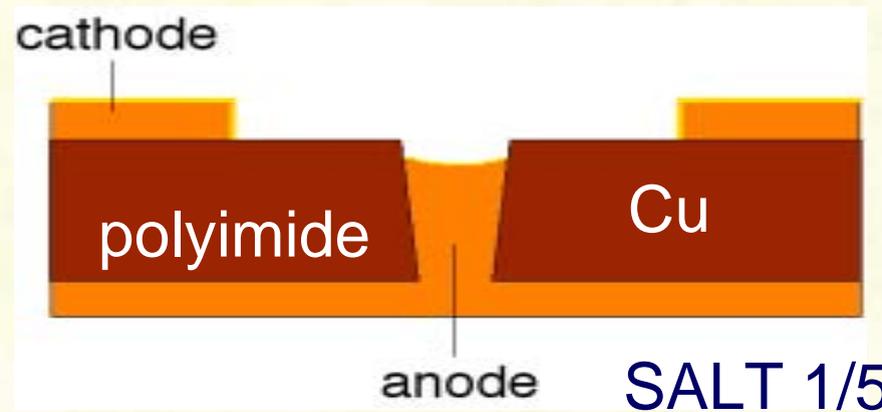
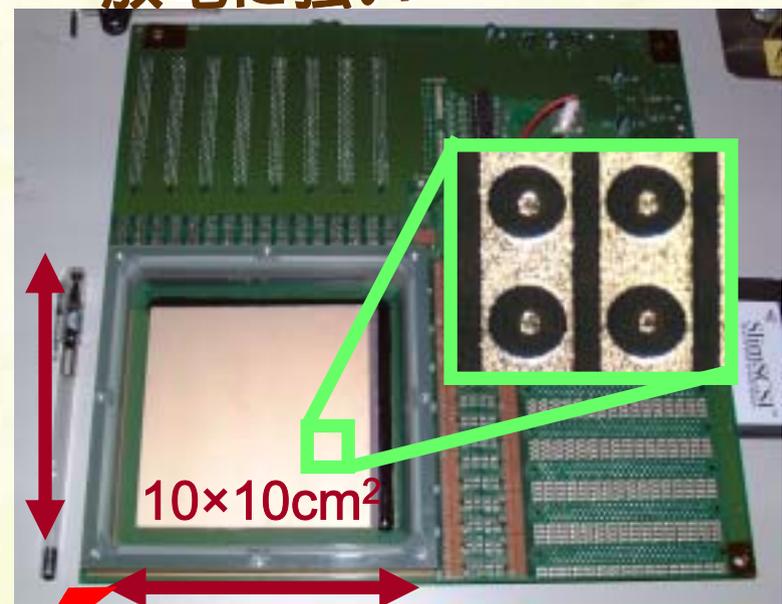
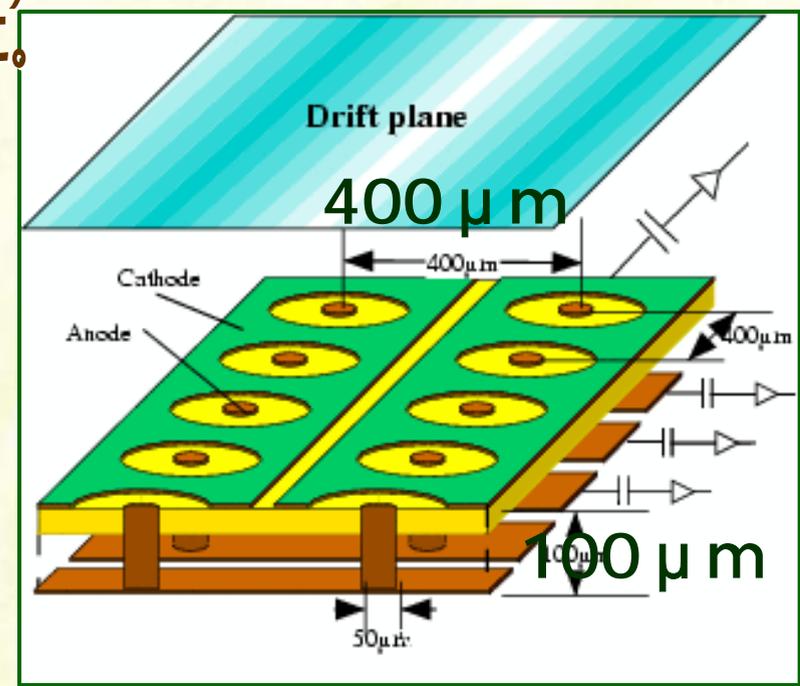
それではSALT5より始めますか。

# 2. 2次元画像装置： $\mu$ -PIC

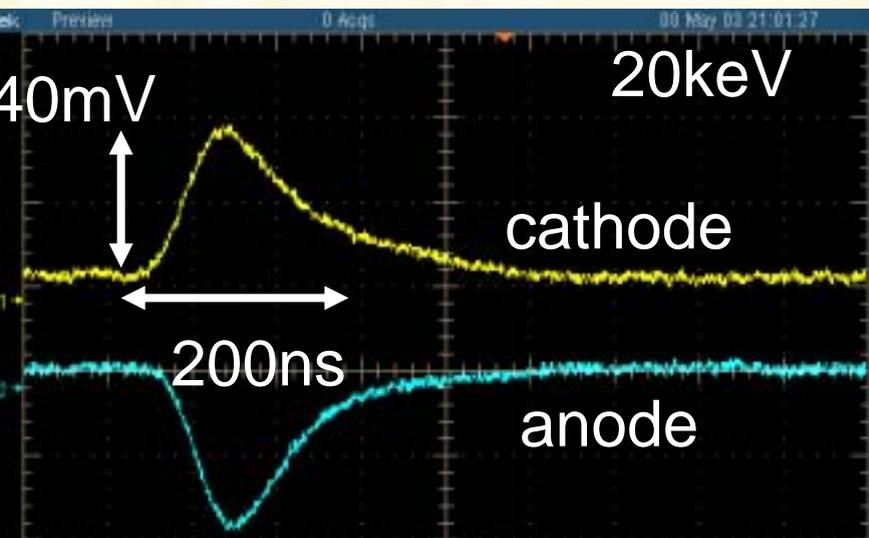
## 2-1. 基本性質

- $\mu$ -PIC ( Micro Pixel Chamber )  
= 比例計数管を並べて輪切りに。
- プリント基板の技術
- 400  $\mu$ m ピッチの電極
- 高位置分解能
- 高ガスゲイン
- 放電に強い

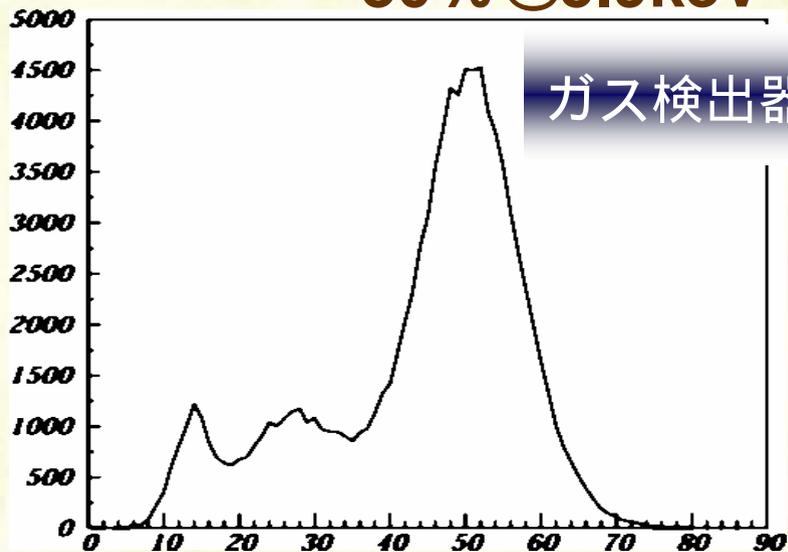
Nagayoshi, et.al hep-ex/0301008



# シグナル

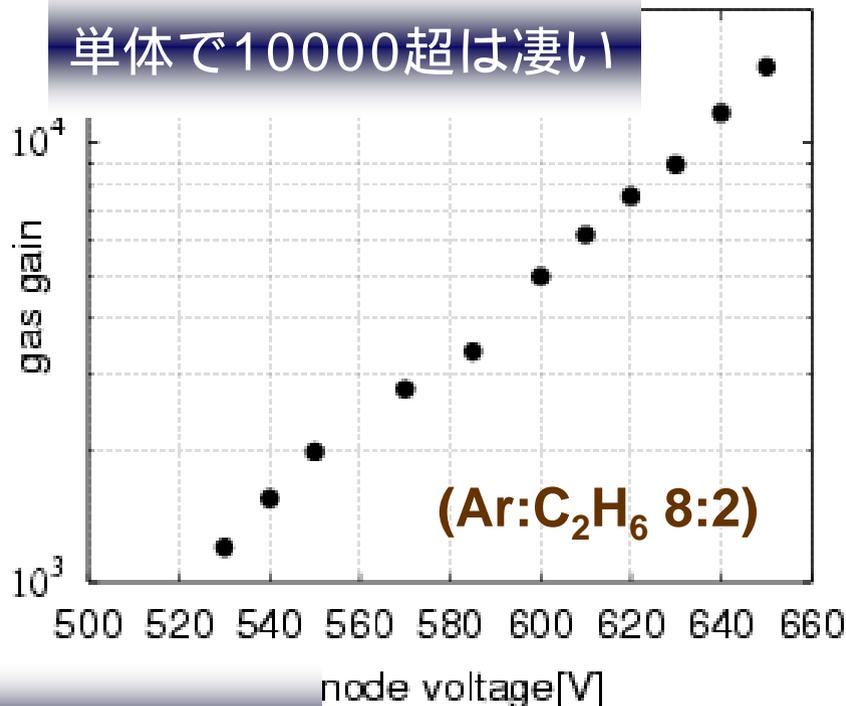


エネルギー分解能:  
30% @5.9keV



最高ガスゲイン:  $1.5 \times 10^4$

単体で10000超は凄い



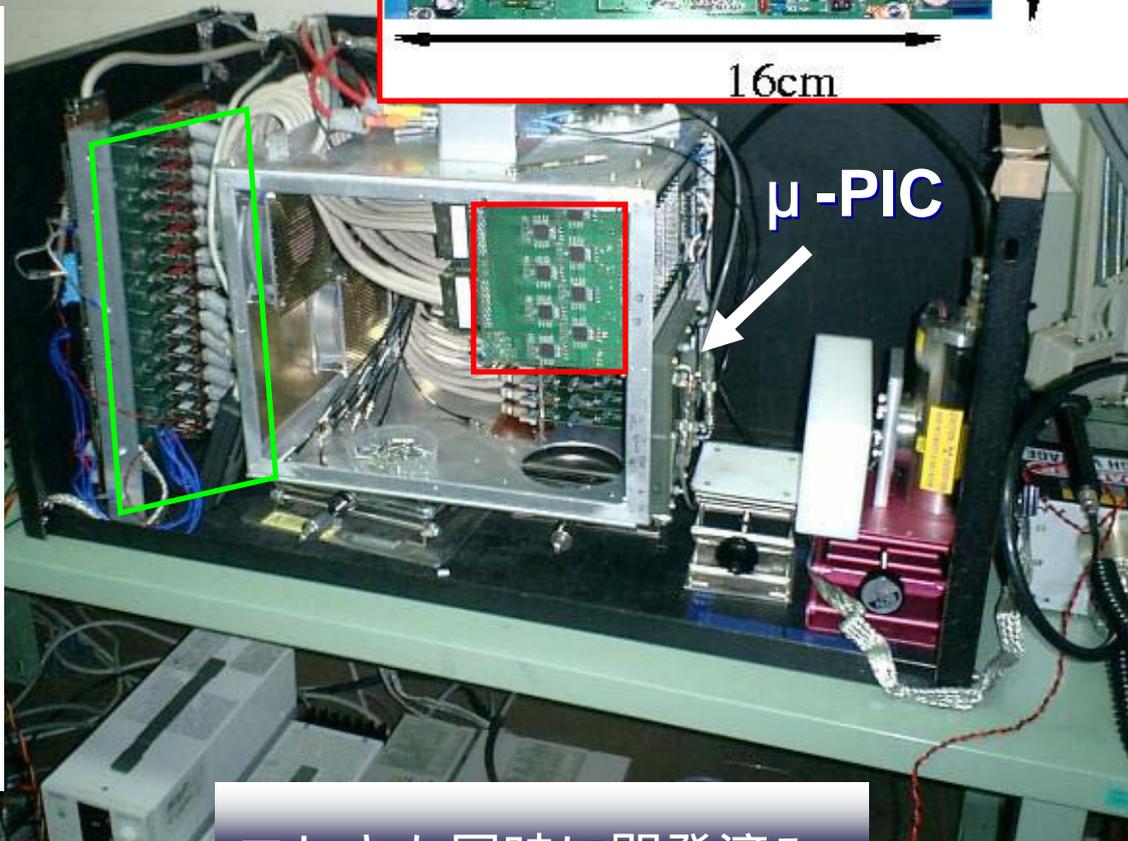
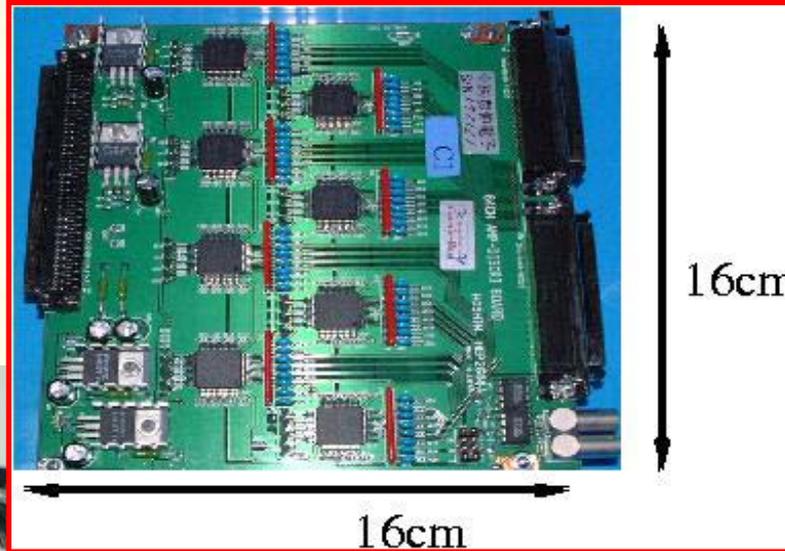
安定動作:

(1000 hours with gain 5000)

## 2-2. 読み出し回路

- Amp-Shaper-Discriminator  
(Time Const. 80ns)

Encoding board (5 FPGAs)  
1024ch @ 20MHz

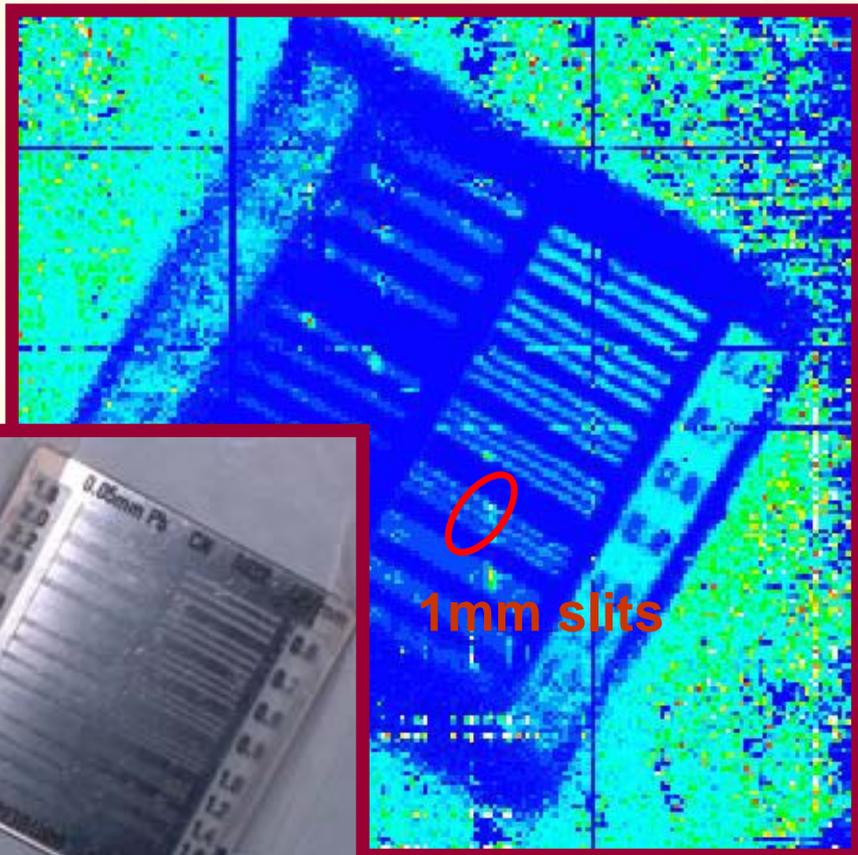


エレキも同時に開発済み。

SALT 3/5

## 2-3. X線イメージング

- Xe:C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, 1atm
- 高レート (~ 10MHz)での検出
- 位置分解能: 160 μm

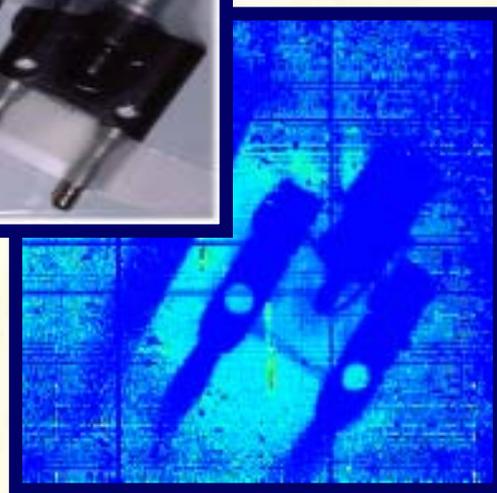


Lead test chart

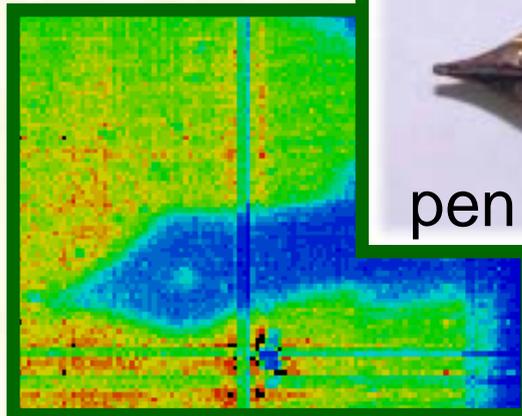
Miuchi et al, hep-ex/0301012



connectors



pen

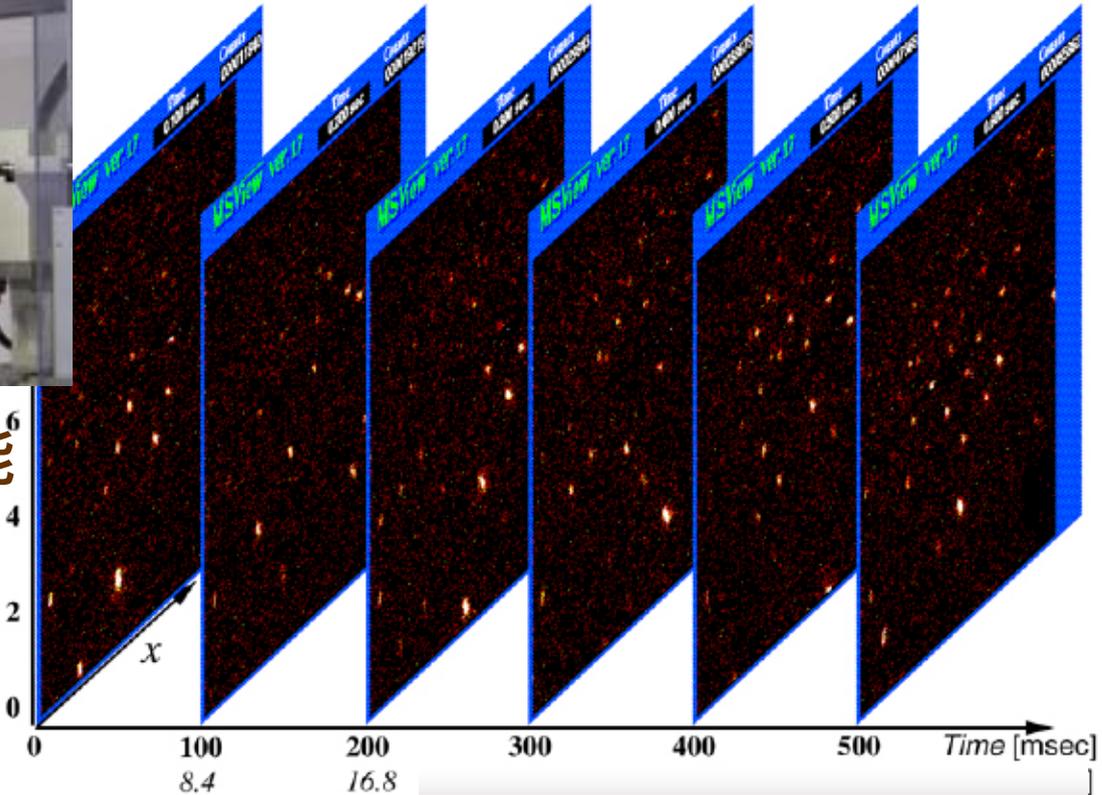


## 2-4. 結晶解析へ

- μ-PIC の全身、MSGCでの実験結果。



- 時分割データが取得可能  
結晶を回転させることで  
高速解析。
- 数時間 数秒へと短縮



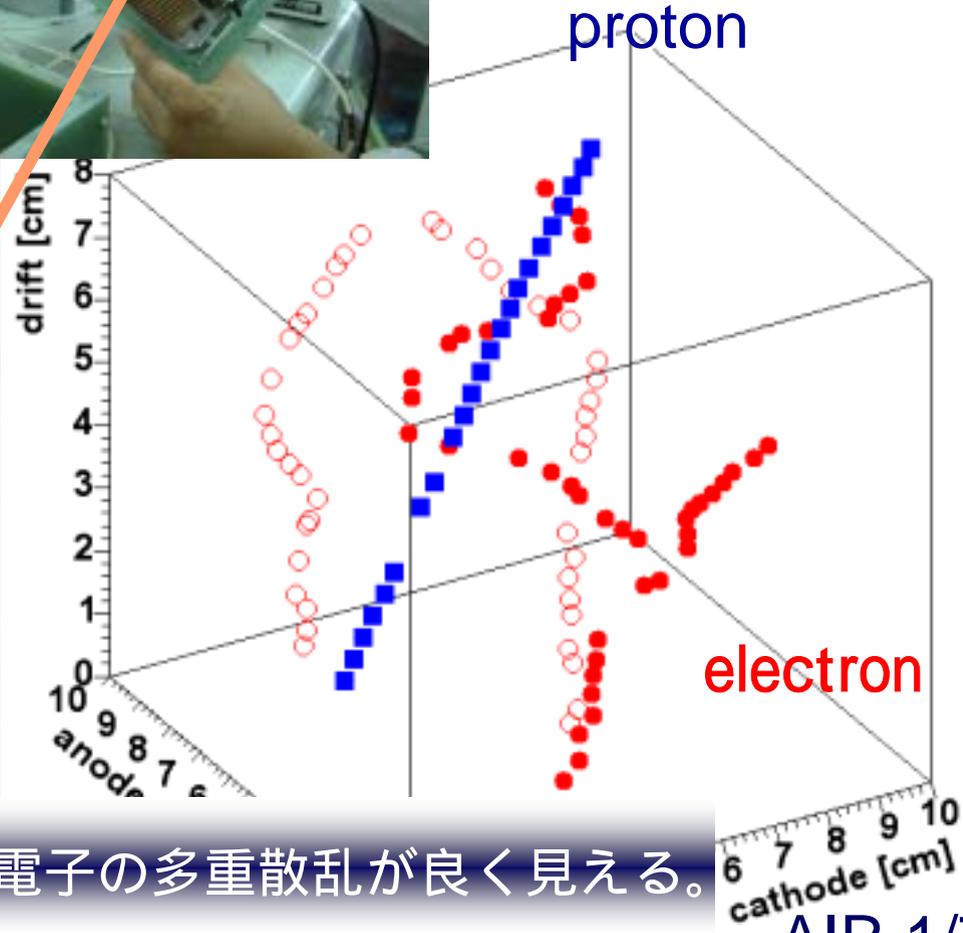
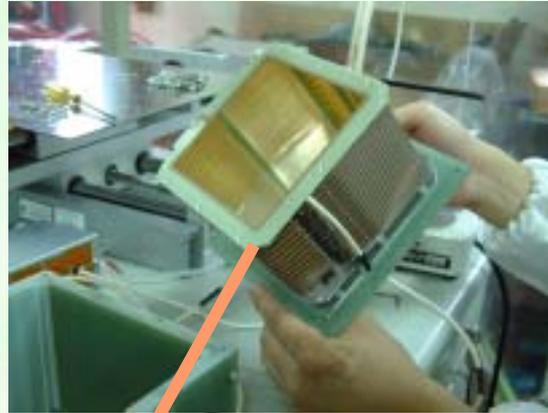
SALT, seen.

# 3. 3次元飛跡検出器 : micro-TPC

Kubo et al, hep-ex/0301009

## 3-1. micro-TPC

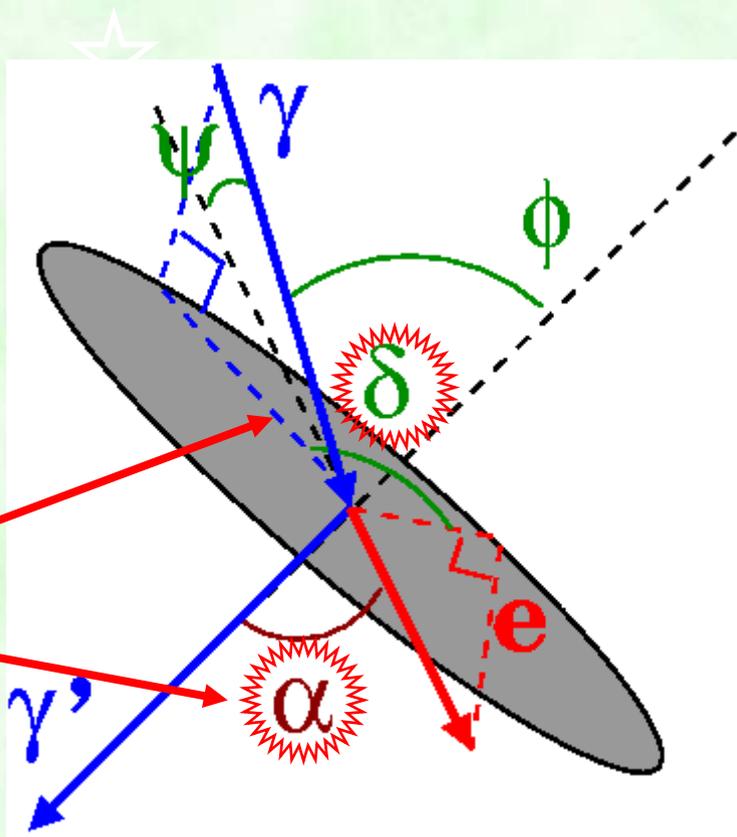
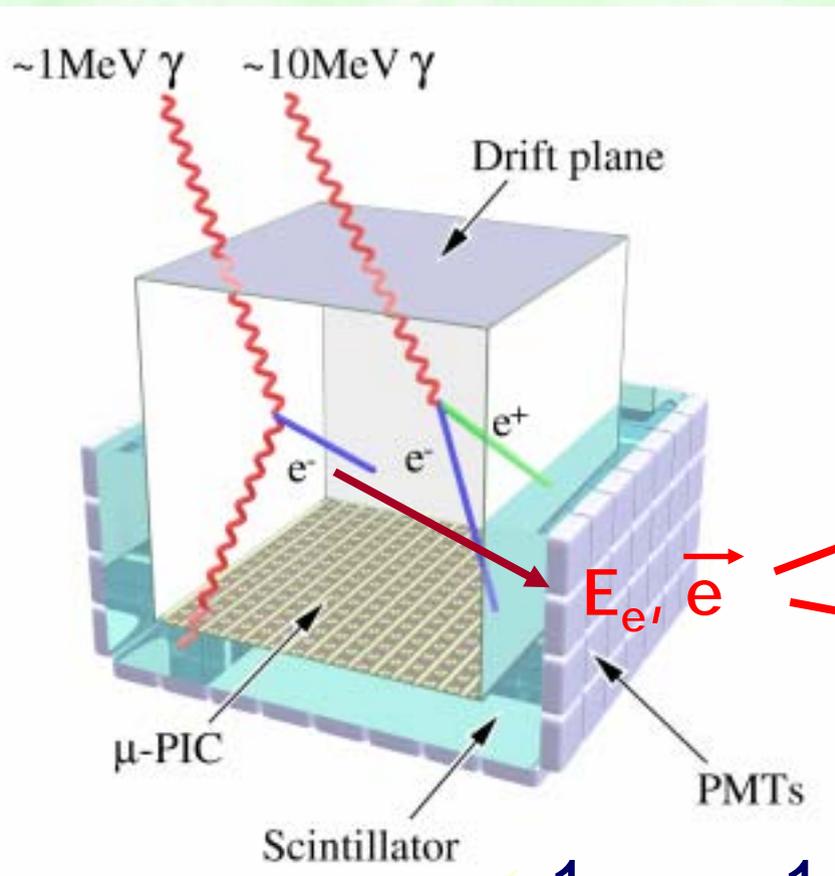
- $\mu$ -PICで二次元情報  
+  
時間情報からZ  
||  
三次元電子霧箱  
(micro-TPC)



# 3-2. ガンマ線イメージングへの応用

高田淳史ポスター

- micro-TPC + シンチレータ
- 電子の飛跡を取ることで運動平面を決定可能になる



1

1 direction

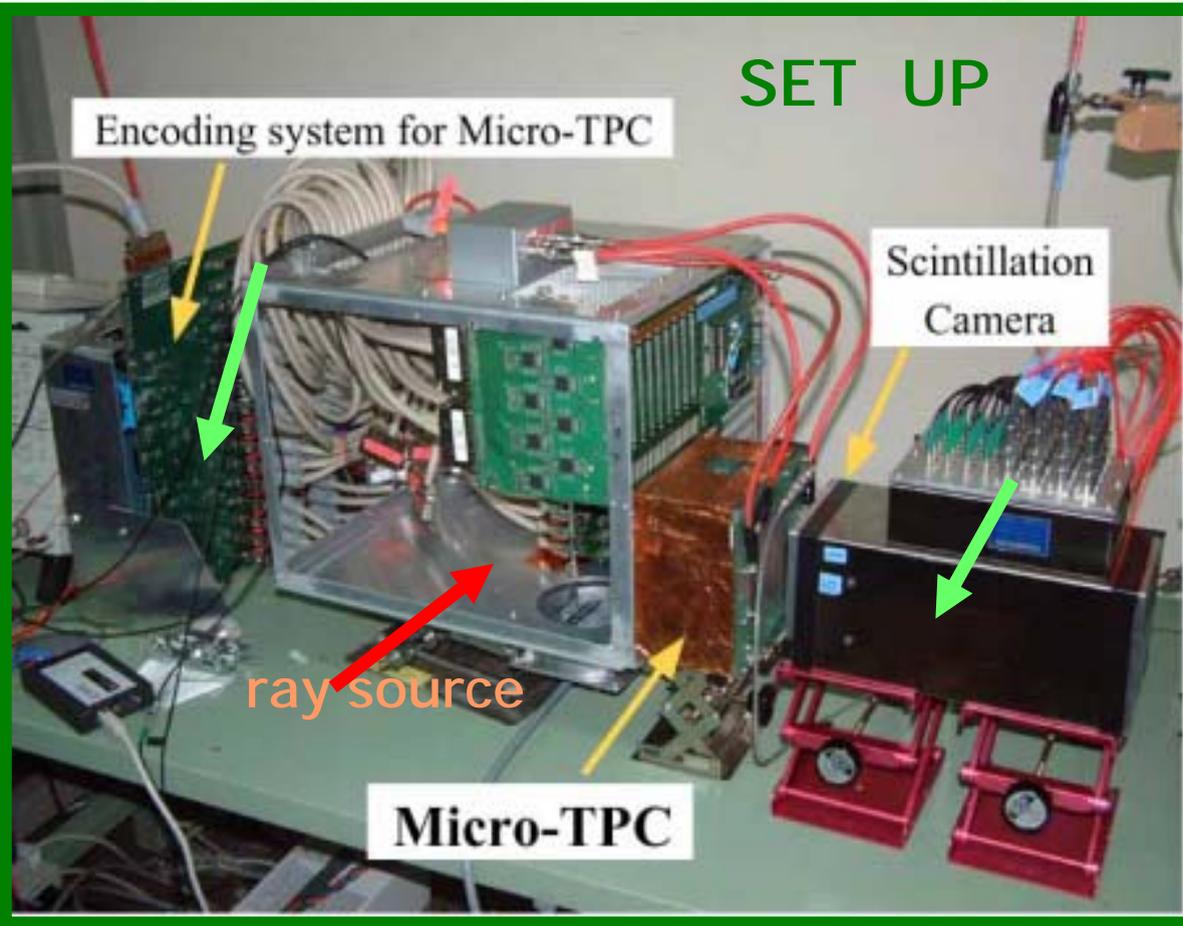
background rejection

AIR 5/7



# ● プロトタイプ

## SET UP



No Veto  
No Shield  
No Collimation

micro-TPC

$10 \times 10 \times 8 \text{ cm}^3$

Ar + C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> (9:1)

Nal(Tl)

Angur Camera

$4'' \times 4'' \times 1''$  25

PMTs

# ● SOURCE

$^{133}\text{Ba}$  (356keV) ~  $^{137}\text{Cs}$  (662keV)

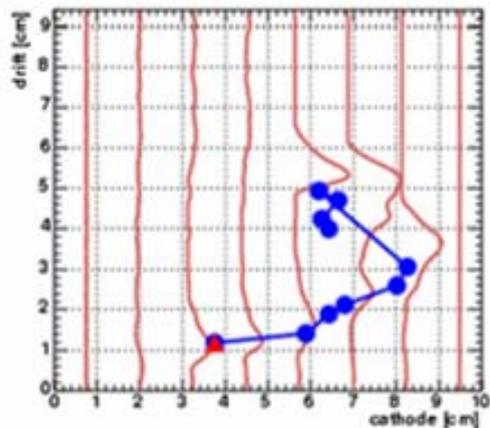
# 典型的な「ガンマ線再構成」

$E_\gamma$  : 485.9 keV  
 $K_e$  : 138.1 keV  
 $E_0$  : 624.0 keV

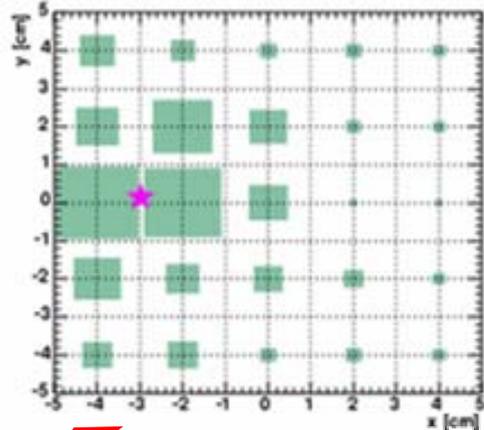
$\alpha = 90.78^\circ$   
 $\phi + \psi = 91.02^\circ$   
 $\phi = 39.89^\circ$   
 $\psi = 51.13^\circ$

- : source position
- ★: reconstructed
- ▲: Compton point
- : NaI hit

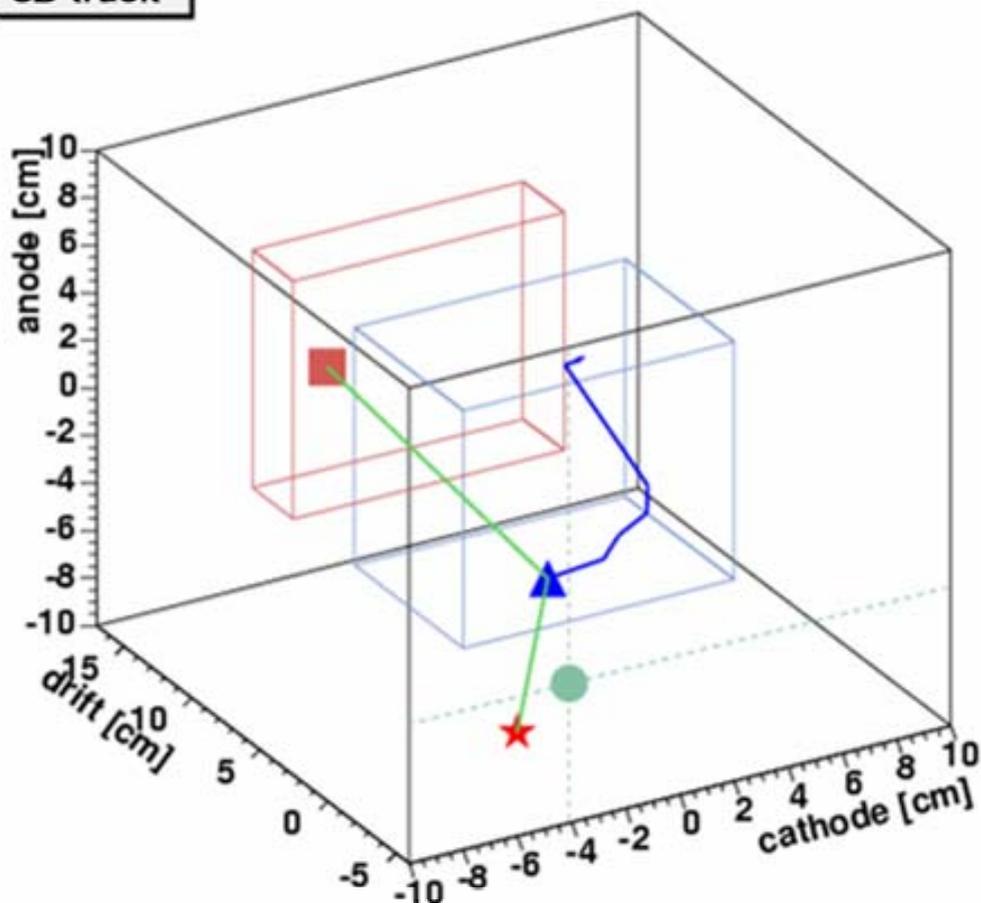
cathode-drift



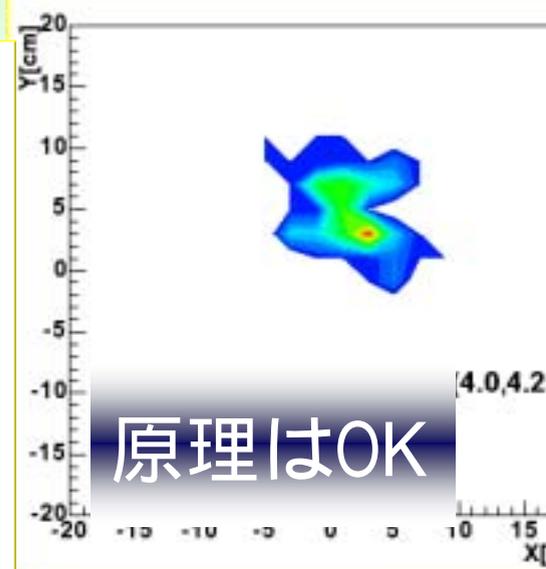
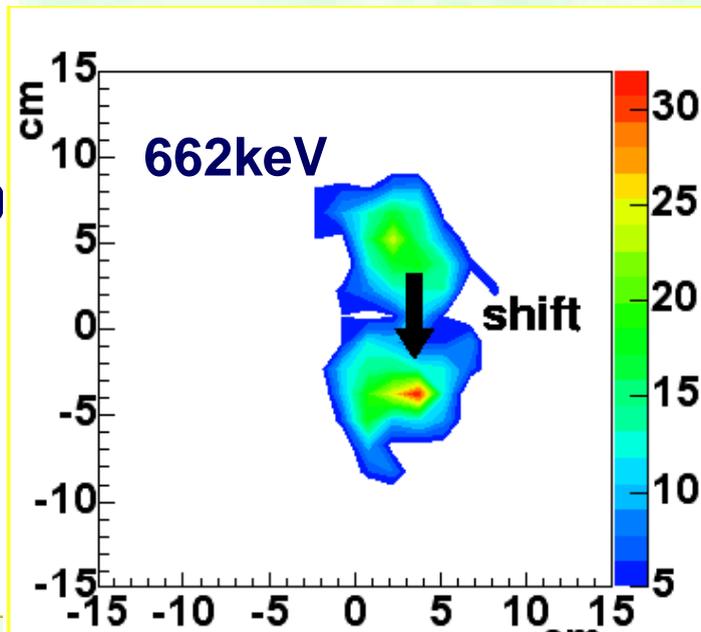
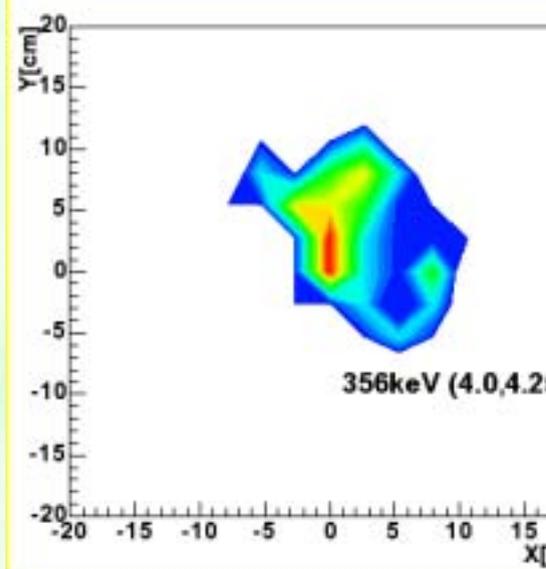
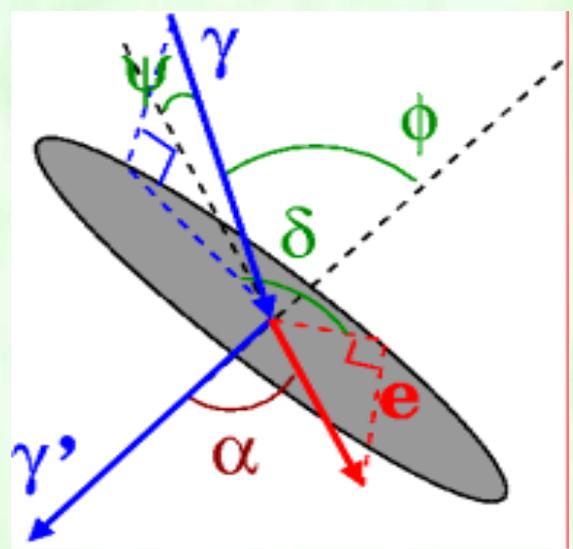
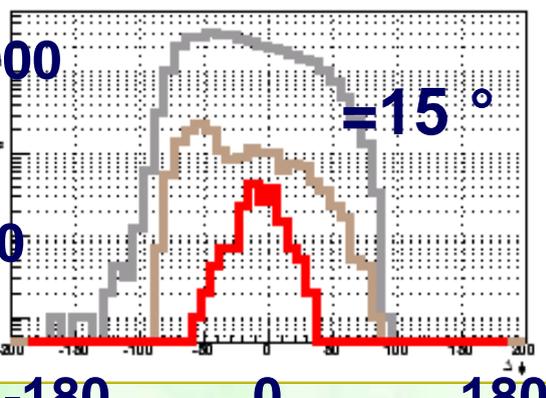
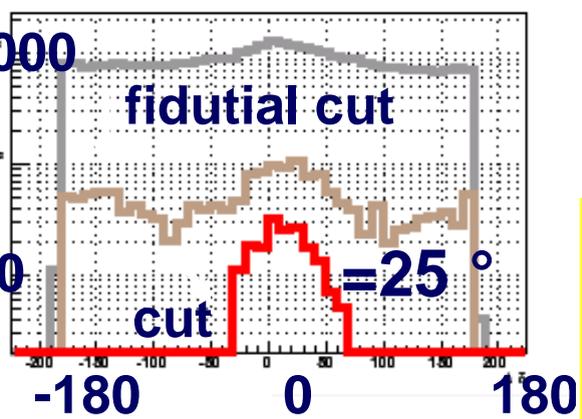
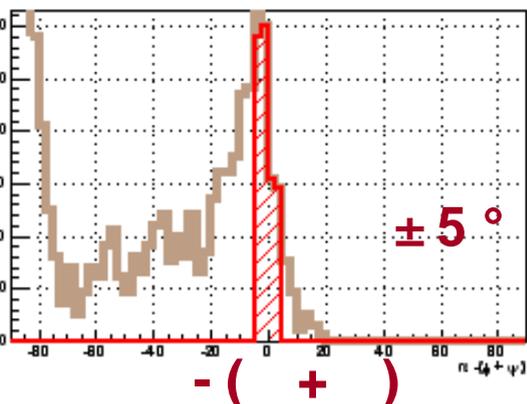
NaI



3D track

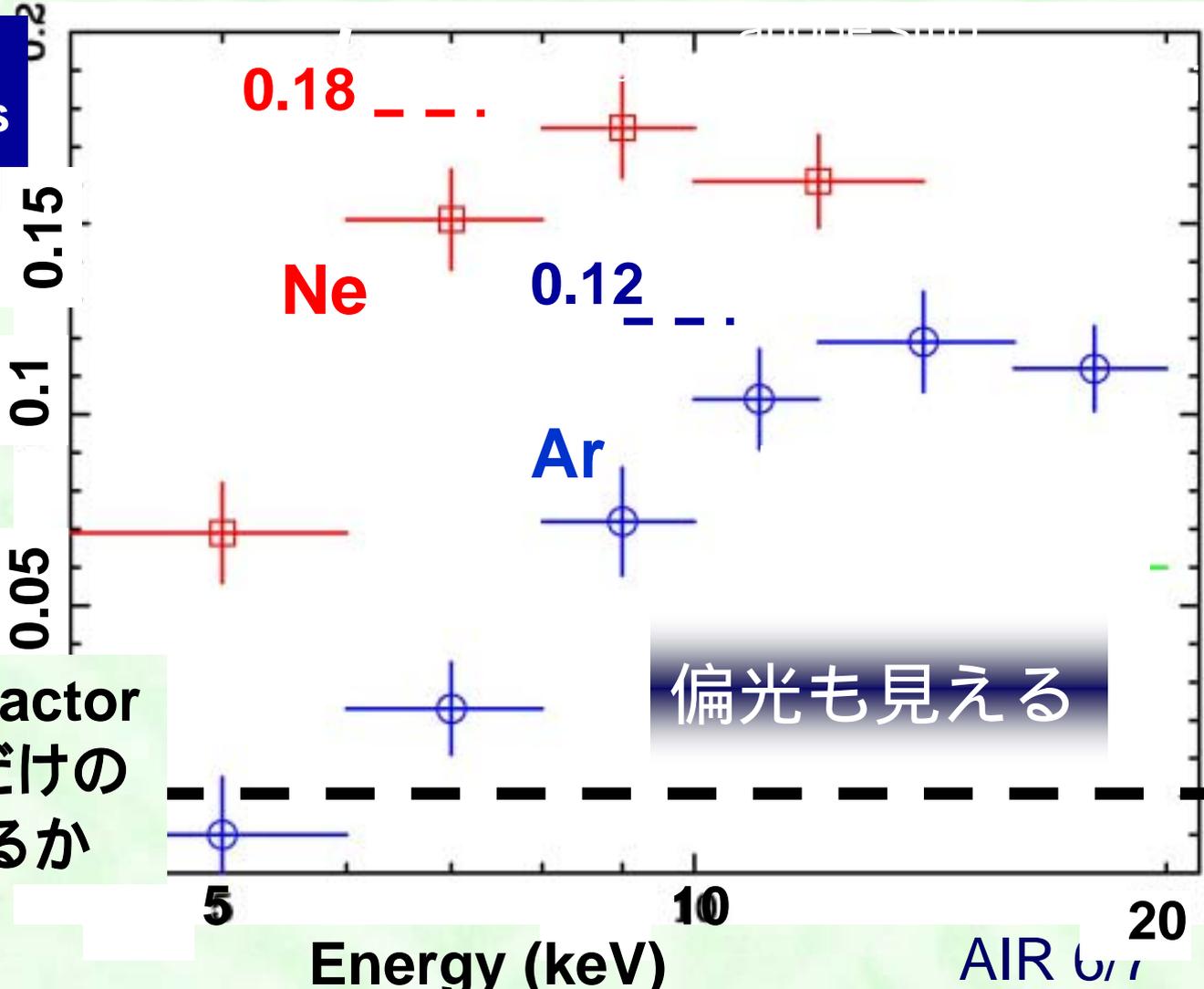
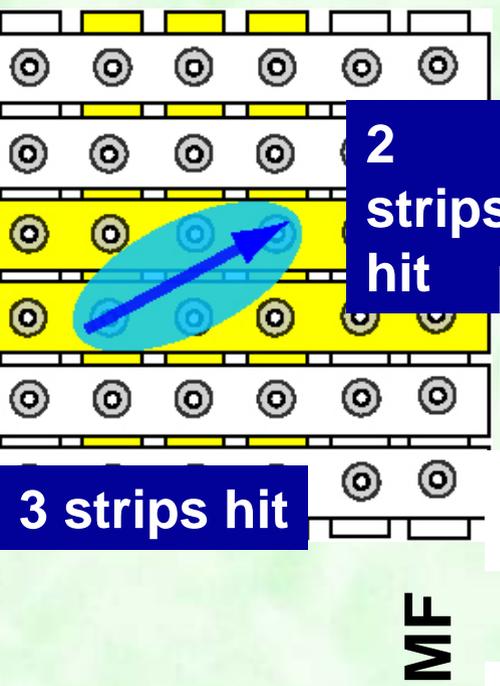


# 再構成されたガンマ線イメージ



# 3-3. X線偏光検出

- 光電効果では偏光方向に電子が飛ぶ



MF: modulation factor  
100%偏光をどれだけの  
優位度で検出できるか



- ◆ **ガンマ線イメージング検出器、偏光検出器  
それぞれ  
特定領域「ブラックホール天文学の新展開」  
計画研究として開発邁進中。**
- ◆ **最終年度(2006年)には気球実験で**

**2006夏・ON AIR**

# 4. 4次元の展望：応用可能性

## ◆ 4-1. 中性子検出器へ

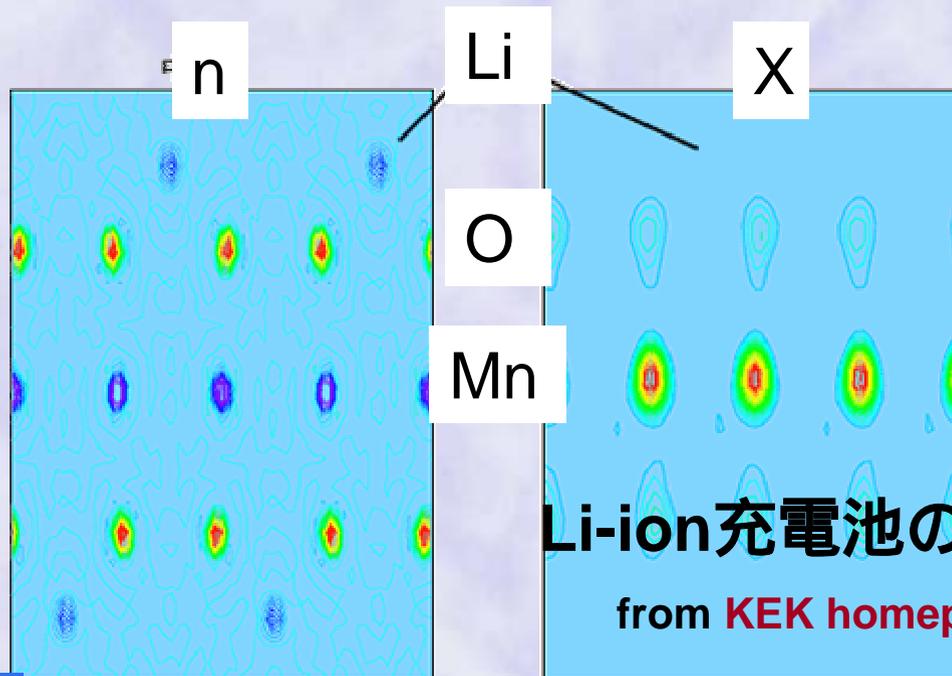
### ● 中性子結晶解析の特徴

電荷 0 透過力が大きい

Zの小さい物質に高感度 (X線解析と相補的)

(H, Li, O) 工業利用, 蛋白質...

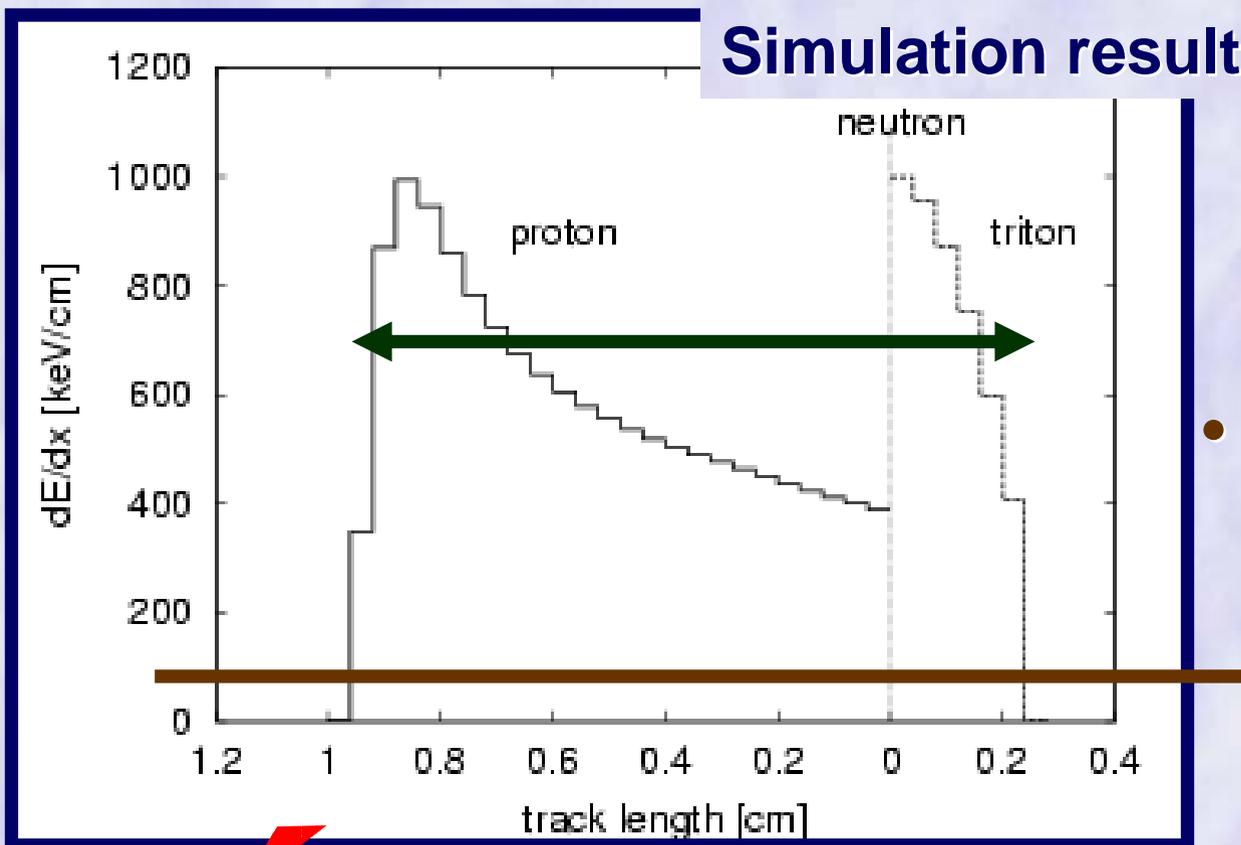
位置、時間分解能を併せ持つ検出器が望まれている。





# シミュレーション

- $^3\text{He} + n \rightarrow p (573\text{keV}) + ^3\text{H} (191\text{keV})$
- $\text{Ar} + \text{C}_2\text{H}_6 (10\%) + ^3\text{He} (0.1\%)$  1atm
- n capture efficiency  $\sim 0.1\%$  (10cm gas depth)

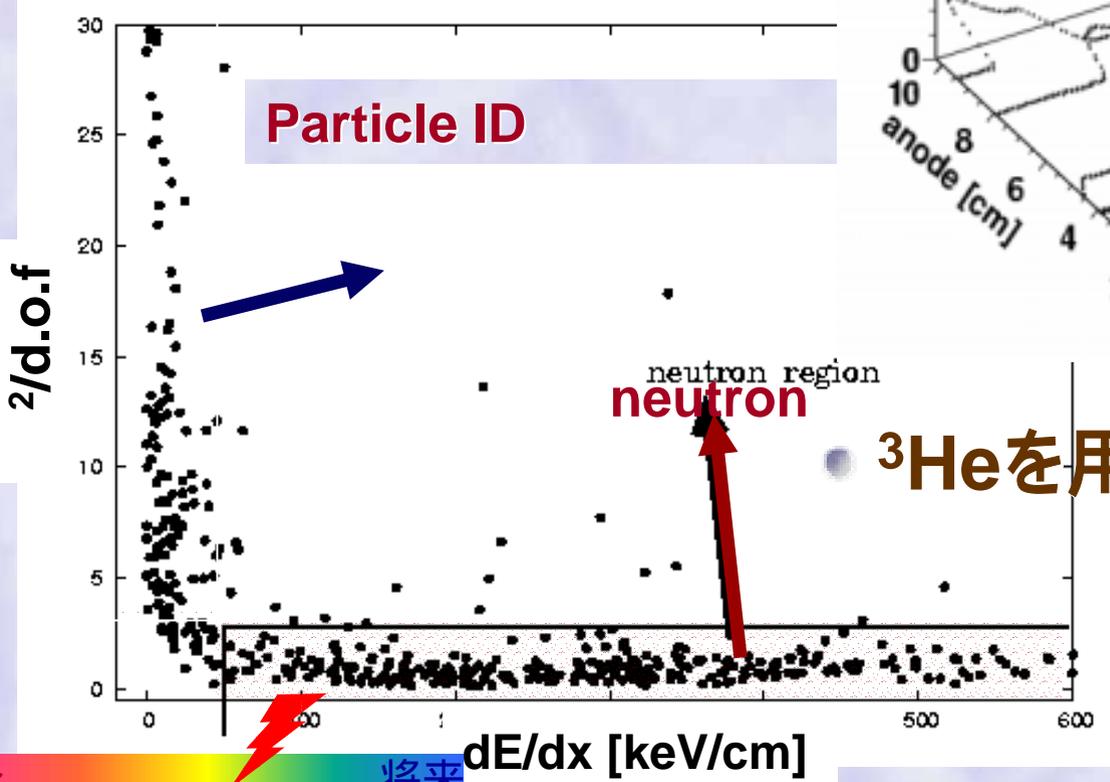
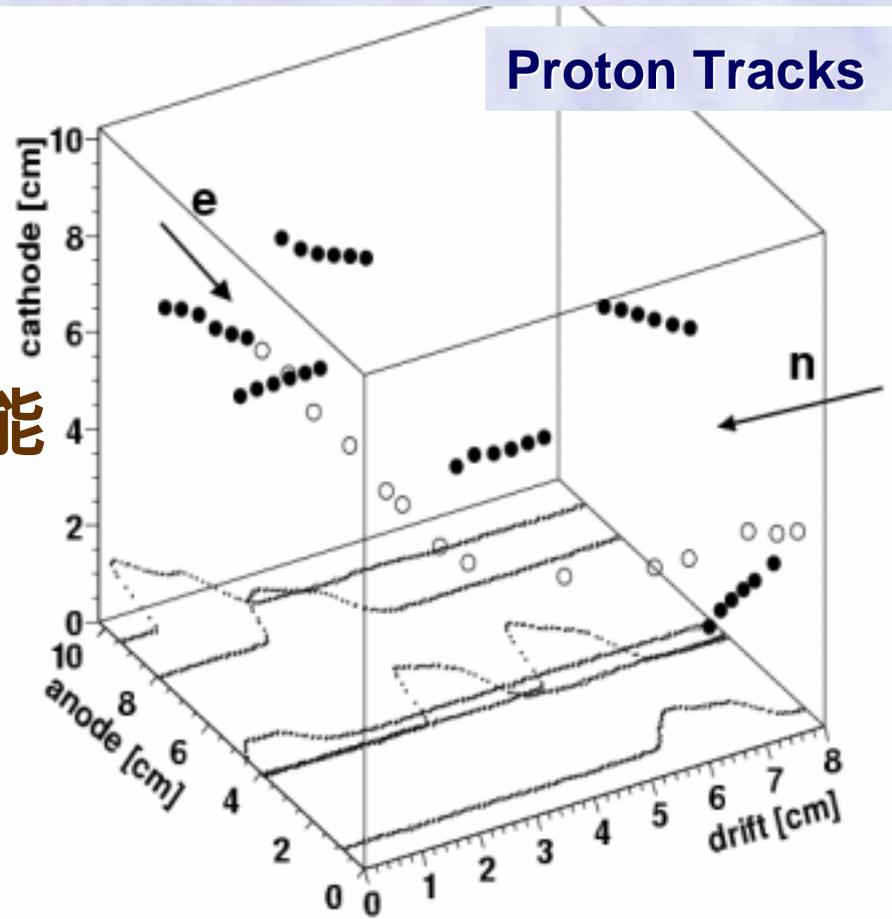


- track length: 1~1.5cm
- $\mu$ -PIC threshold : 50keV/cm

**detectable?**  
**Let's see.**

# micro-TPCの性能

- 1cm程度の飛跡 OK
- p/<sup>3</sup>H識別可能
- ガンマ線BGも除去可能



<sup>3</sup>Heを用いた原理実証試験へ

結構有望っす。

# 暗黒物質 (DM) 検出器

c.f. 蓑輪先生の講義 (7/31)

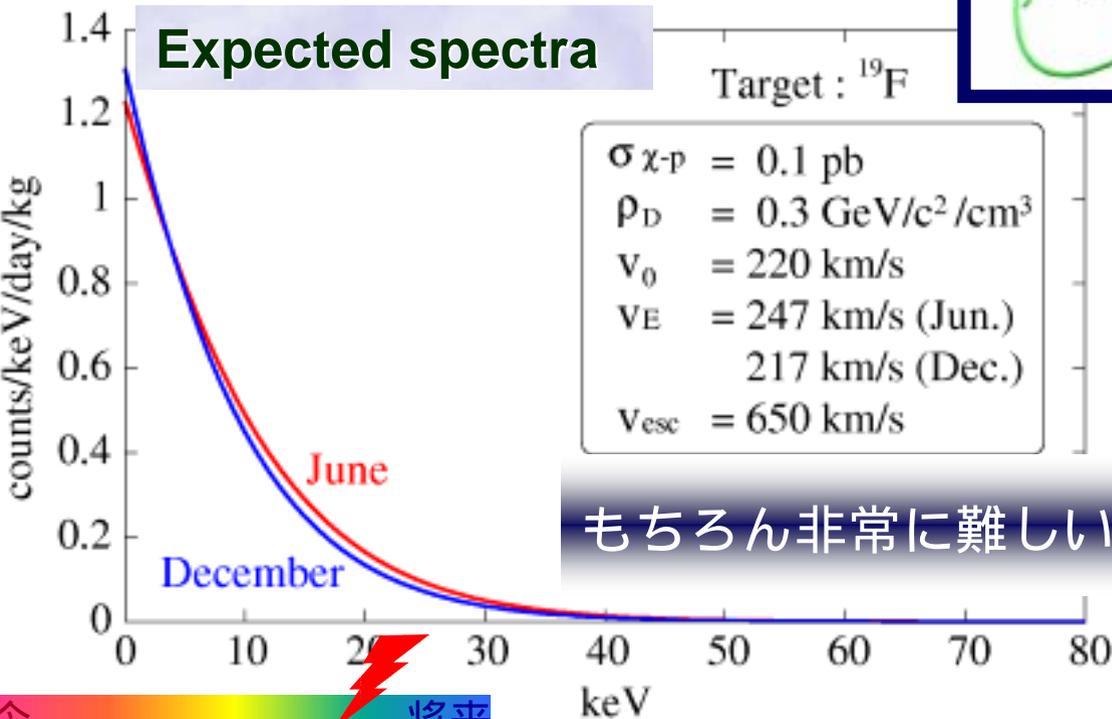
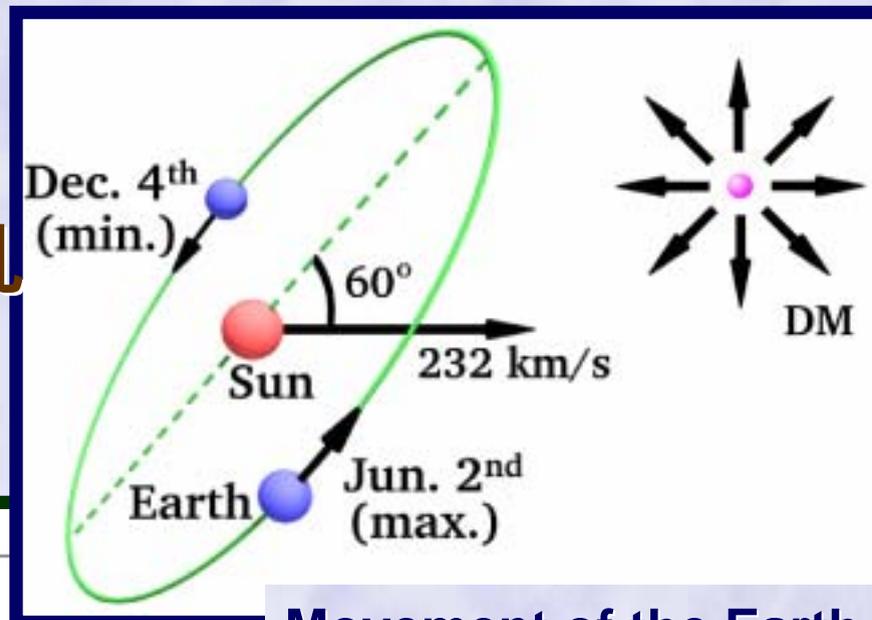
## WIMP

(weakly interacting massive particle):

## DMの筆頭候補

## WIMPと原子核との弾性散乱

## 大質量検出器を地下に 持ち込んで長期測定

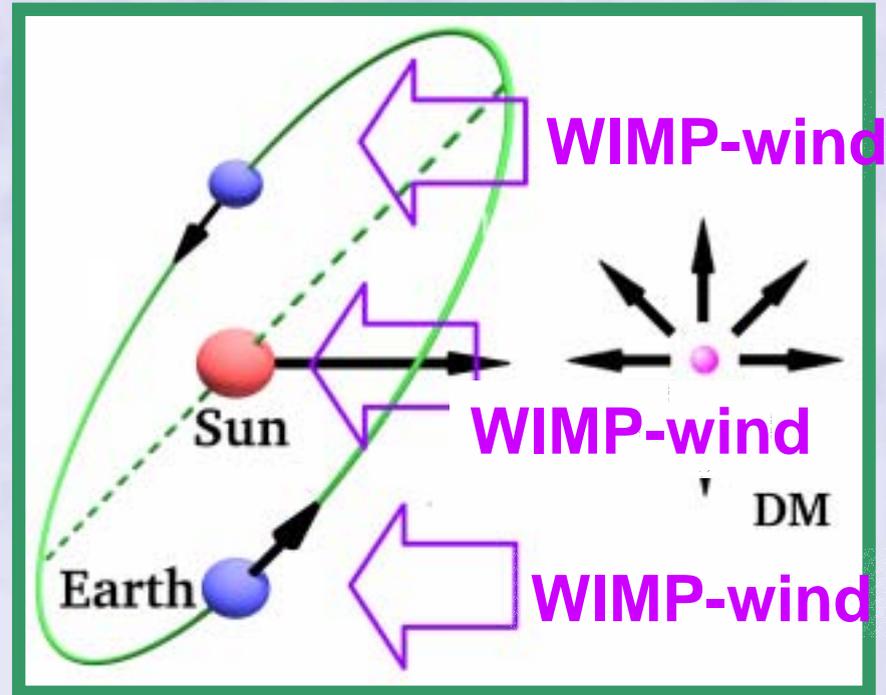


## Movement of the Earth

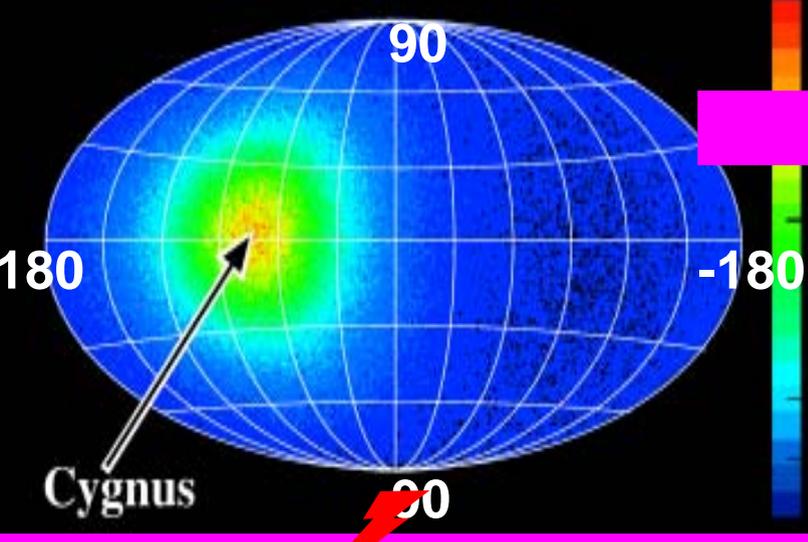
- カウンtrateの  
数%の季節変化

# WIMPの風

太陽系として感じる「WIMPの風」



## WIMP-wind distribution



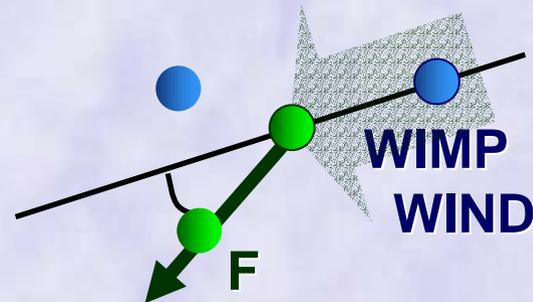
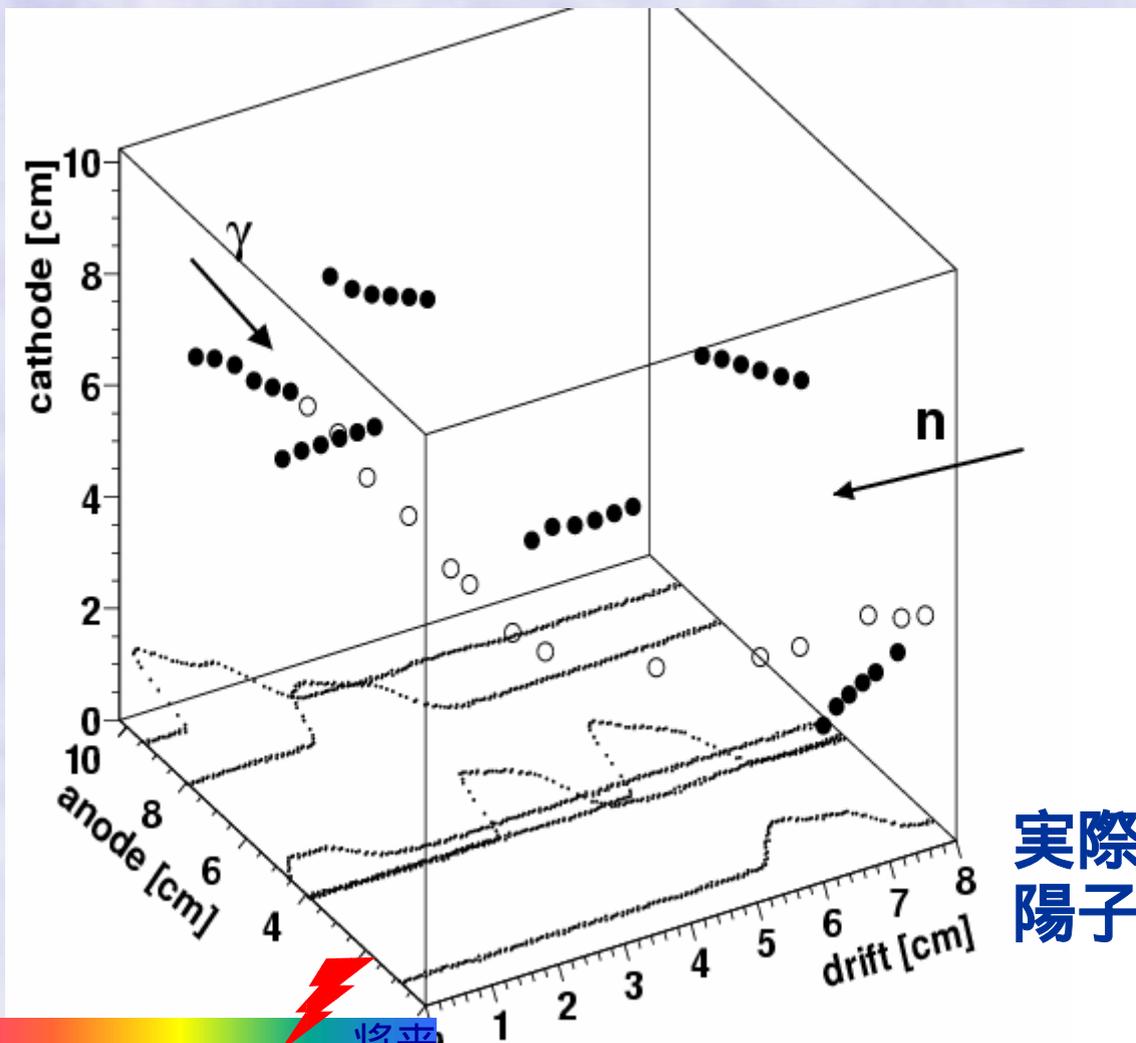
Cygnus 方面より強く吹く。

方向に感度のある検出器

ガスです、ガス。

# ◆ どうやって見る？

- シンチレータ (東大蓑輪研) : 質量が稼げる
- ガス検出器 : 原子核の飛跡を追える



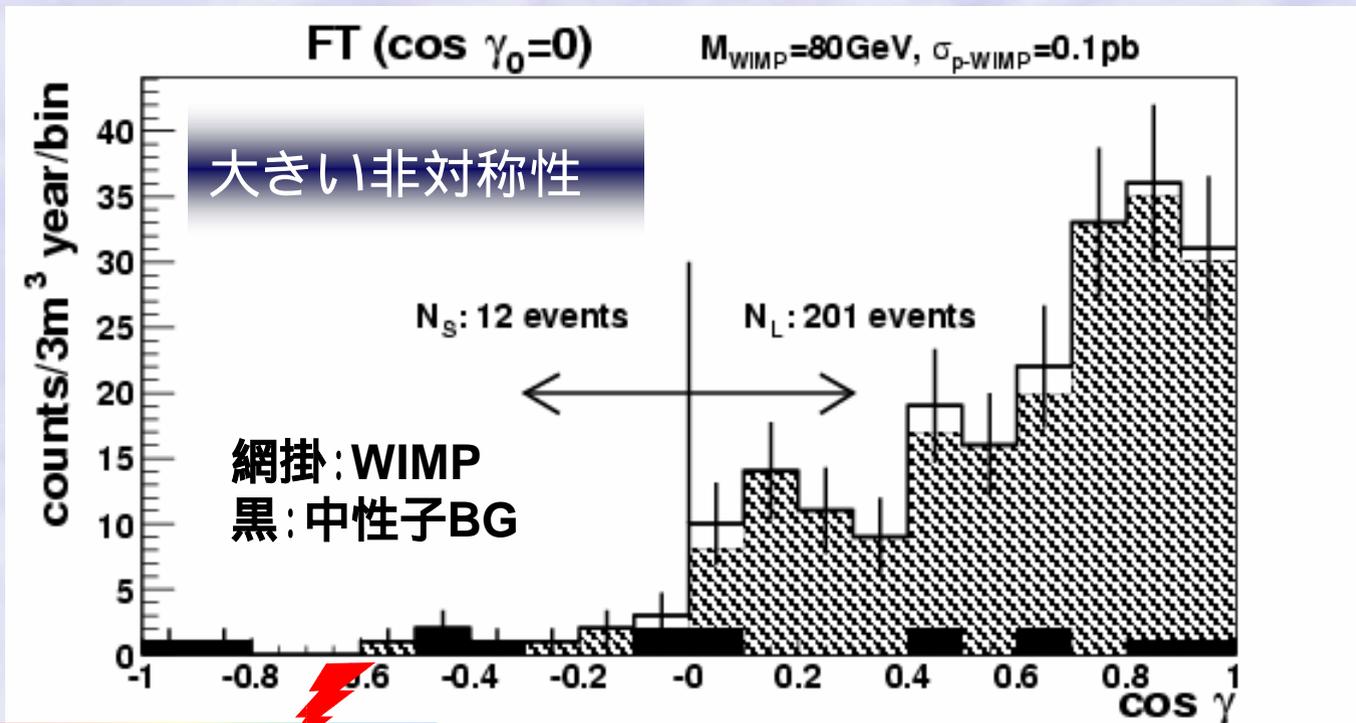
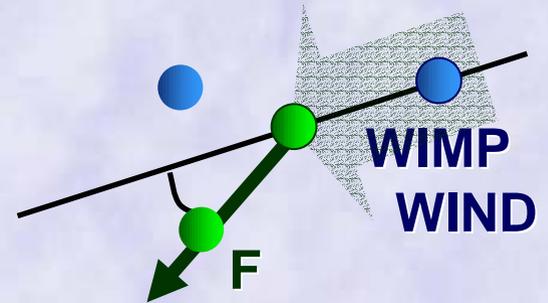
原子核反跳のイメージ

実際に得られている  
陽子の飛跡



# 期待されるシグナル

- $\text{CF}_4$  ガス
- 地下で宇宙線BGを遮蔽
- 線BGは自分で落とせる
- 中性子BGを水50cmで遮蔽

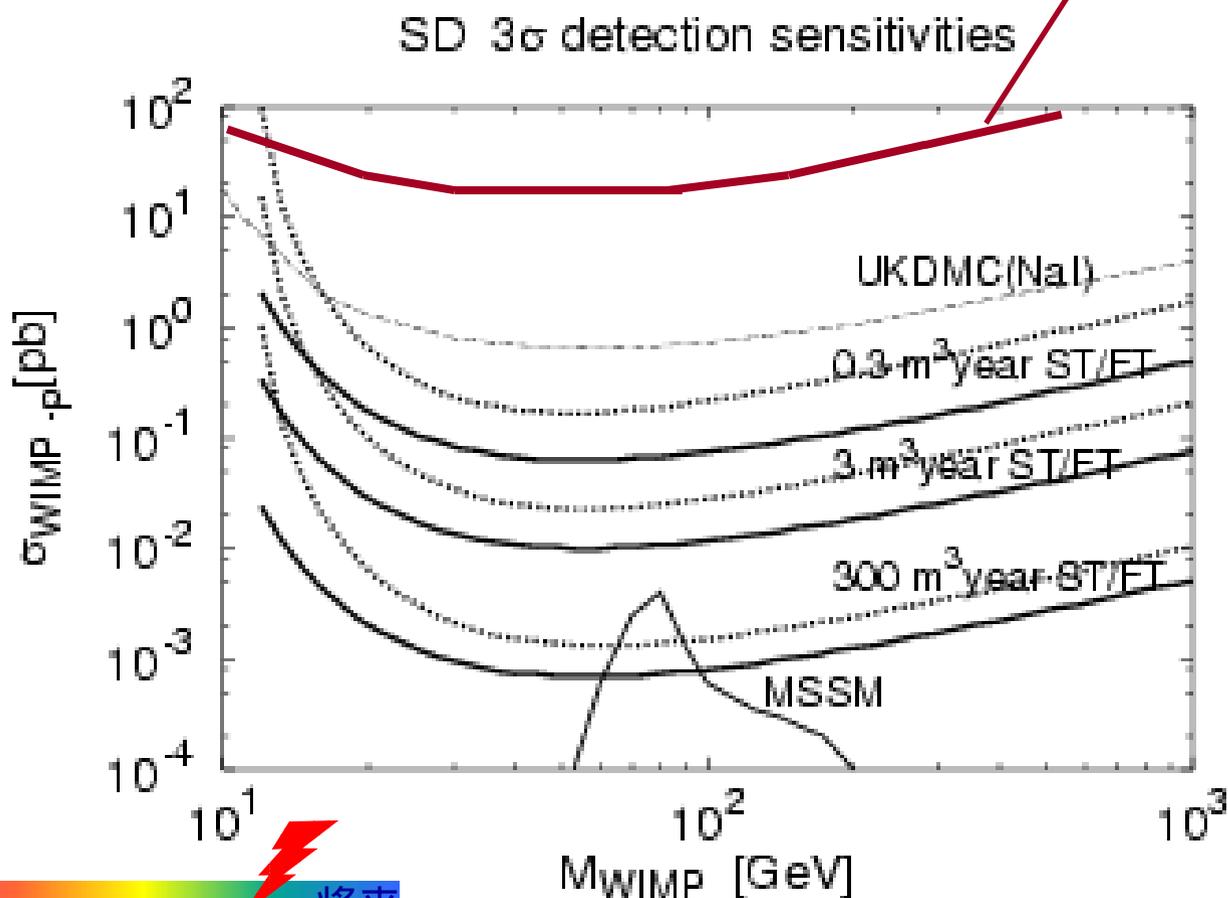


# 期待される結果

- Forward/Backward で3 の非対称性が観測されるlimit

K. Miuchi et.al Astropart. Phys  
19 (2003) 135 (ミウチD論)

は、軽く越せる？

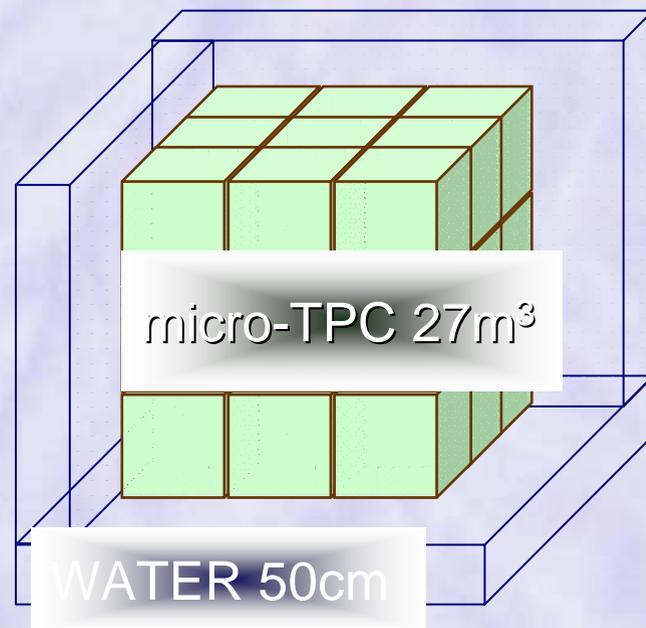


# もちろんそんなにうまい話ばかりではなくて

簡単ならもう誰かやってるわけで、

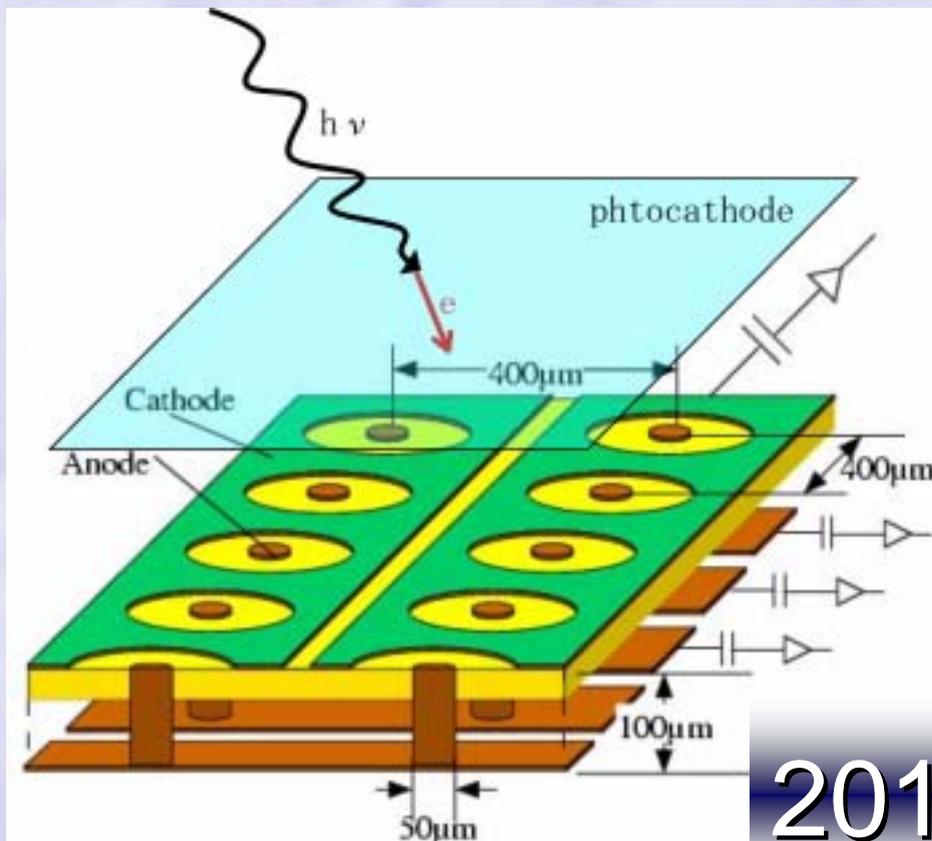
- 低圧力での検出器動作試験
- ガンマ線バックグラウンドの除去能力評価
- 電子の拡散の影響
- 長期安定動作
- 大容積検出器の開発

などの開発要素をクリアしたら、  
でっかいの作って、  
地下に持って行って、  
水で囲んで長期測定。



### 3-3. 薄型PTMとして

- SKなどのチェレンコフ光を電子に変換  
：フォトカソード
- 薄型、大面積のPTMが原理的には製作可能。



$\mu$ -PICのガスゲイン向上  
(要請:  $10^5 \sim 10^6$ )  
超長期安定性  
などがクリアされれば、

201?・IN WATER ?

# 5.Outro

- ◆ とういわけで、駆け巡りました。今から未来。ここに本日のネタ、列挙しますので、思い出しながら質問してください。
  - $\mu$ -PIC 本体 / 2次元イメージング
  - micro-TPC / ガンマ線イメージング / 偏光検出器
  - 中性子検出器 / 暗黒物質検出器 / 薄型PTM

