

# インジウムを用いた太陽ニュートリノ 半導体検出器の開発

---

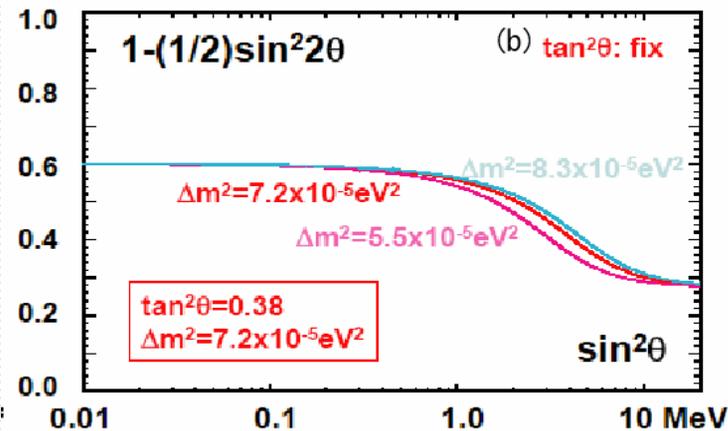
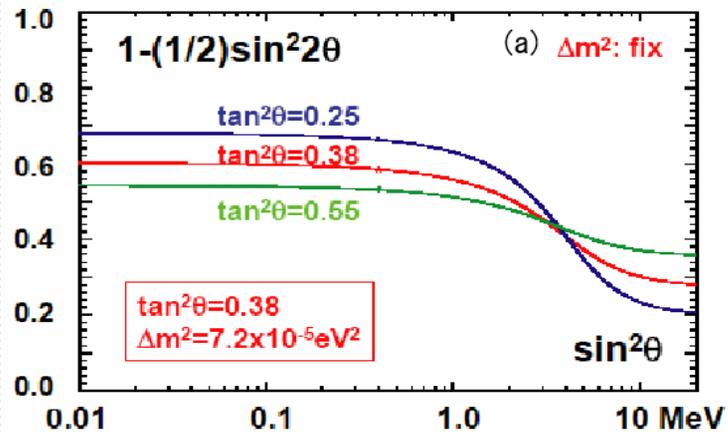
日本物理学会 2005年秋季大会  
2005年9月15日

宮城教育大学 福田善之、佐藤哲也  
東大宇宙線研 森山茂栄、塩澤真人、小汐由介、  
難波俊雄\*  
浜松ホトニクス(株) 固体事業部  
犬塚智也、井澤利之

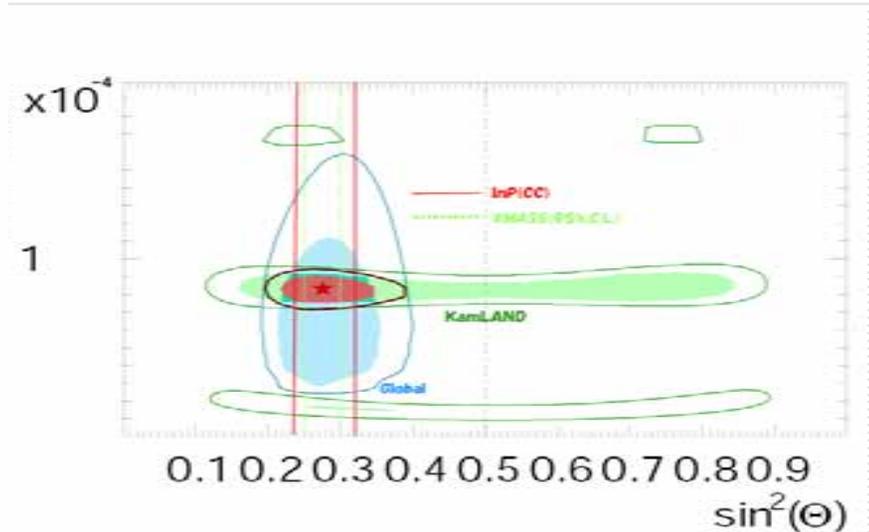
( \* 東京大学素粒子物理国際研究センター )

# 目的

## □ $\theta_{12}$ の精密観測



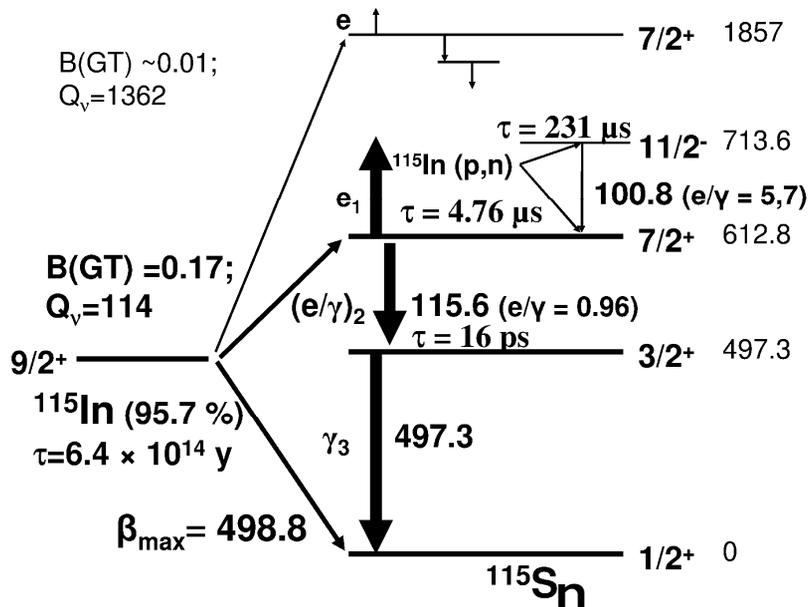
Y.Suzuki@v2004



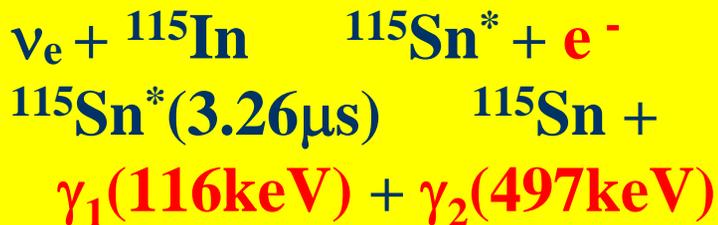
Sub-MeV以下の太陽νの  
 測定が $\theta_{12}$ を制限

# インジウムによる太陽ニュートリノ検出

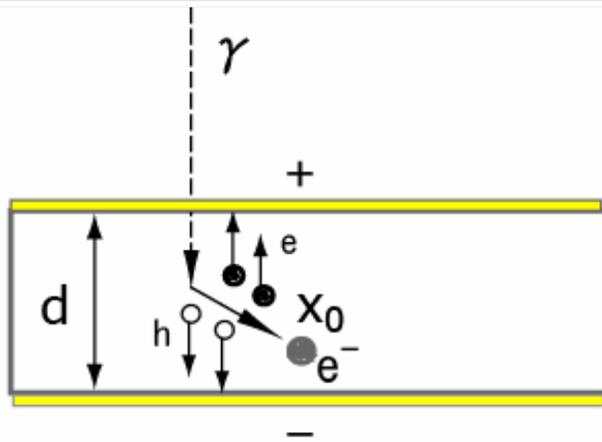
R.S.Raghavan Phs.Rev.Lett37(1976)259



- Real-time measurement
- $\nu$  energy measurable  
( $E_e = E_\nu - 125 \text{ keV}$ )
- 3 fold coincidence to extract neutrino signal
- $\beta$ -decay from  $^{115}\text{In}$   
( $\tau_{1/2} = 6 \times 10^{14} \text{ yr}$ )
- Correlated chance coincidence-Bremsstrahlung
- Correlated chance coincidence impurities



# Semi-insulating InP半導体を用いた検出器



$\mu$  : mobility [ $\text{m}^2\text{v}^{-1}\text{s}^{-1}$ ]  
 $v$  : carrier velocity [ $\text{ms}^{-1}$ ]  
 $E$  : electric field [ $\text{vm}^{-1}$ ]  
 $d$  : thickness of SI InP  
 $x_0$  : range of electron

$$E = V_0/d \quad v = \mu E = \mu V_0/d$$

drift length :  $L_d = \tau v = \mu \tau V_0/d$        $\tau$  : carrier lifetime [s]

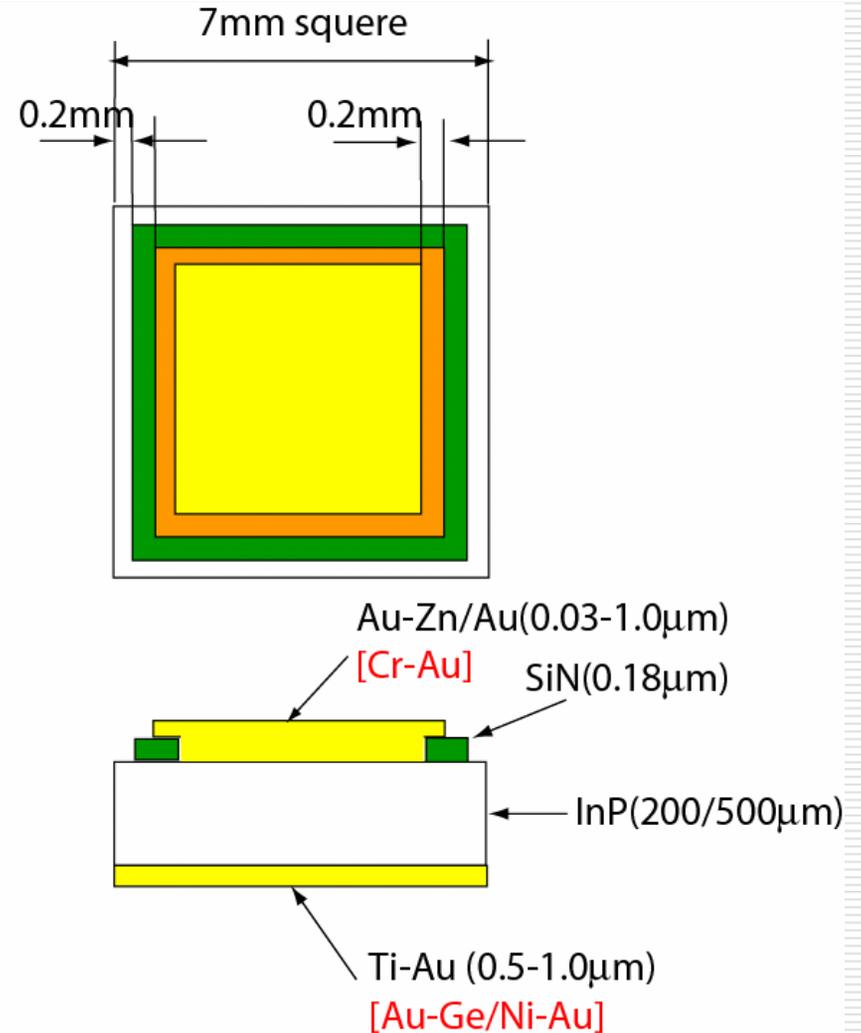
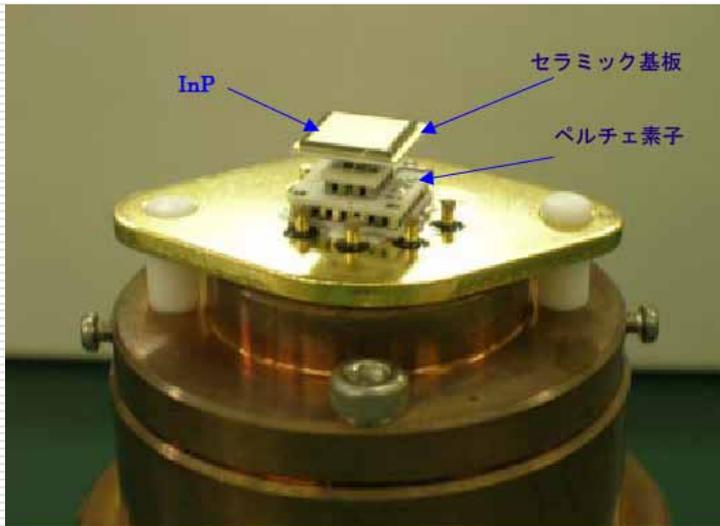
e/h creation energy :  $\epsilon_{eh}$

charge  $Q_{\text{total}}[\text{C}] = (\text{electron energy}) / \epsilon_{eh} \times e$

$$L_d \neq \infty \quad Q_{\text{obs}}[\text{C}] = \int_0^R (dE/dx) / \epsilon_{eh} e^{-r(x)/L_d} dx \times e$$

- ❑ ドリフト長を伸ばす (電荷収集効率を上げる)
- ❑ 移動度を上げる ➡ 素子を冷やす (低温)

# ペルチェ素子を用いたSI InP半導体検出器

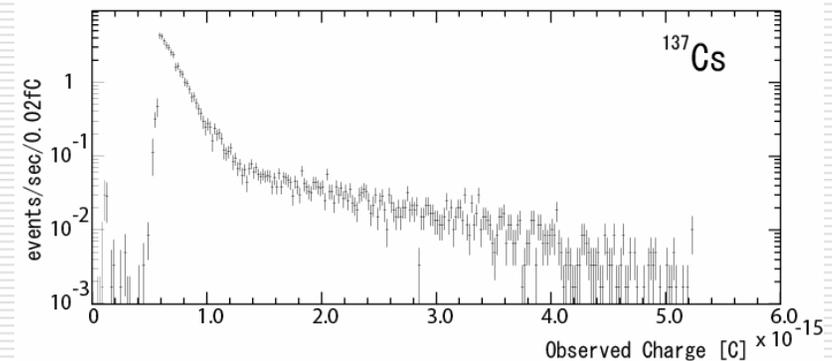
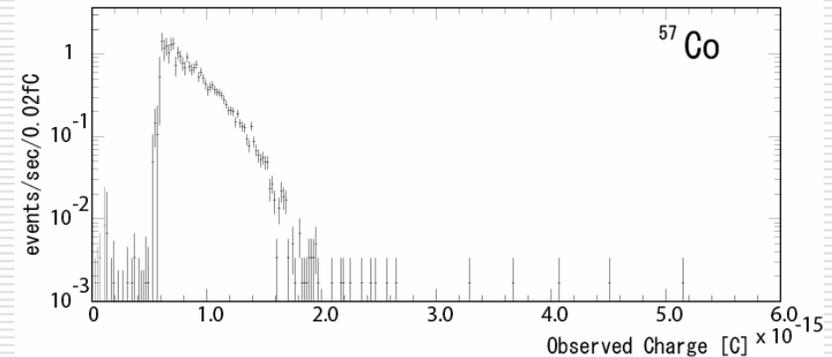
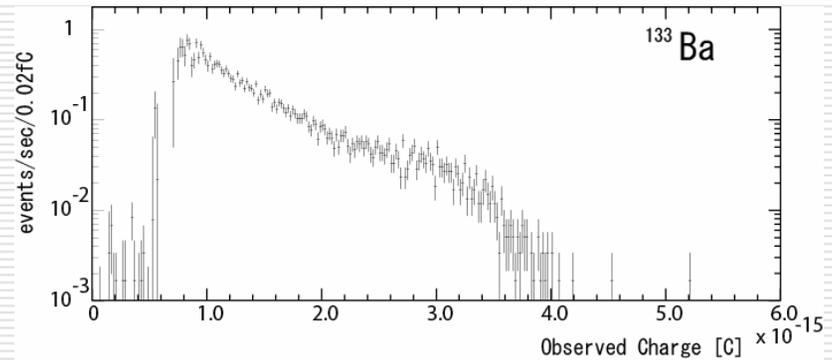


# 測定の設定アップ



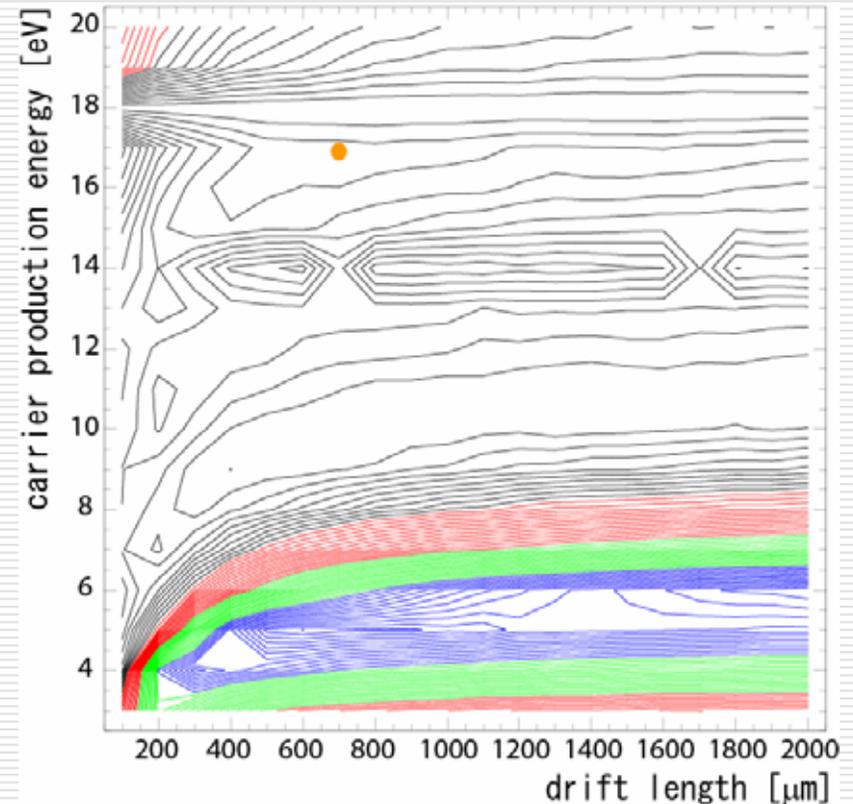
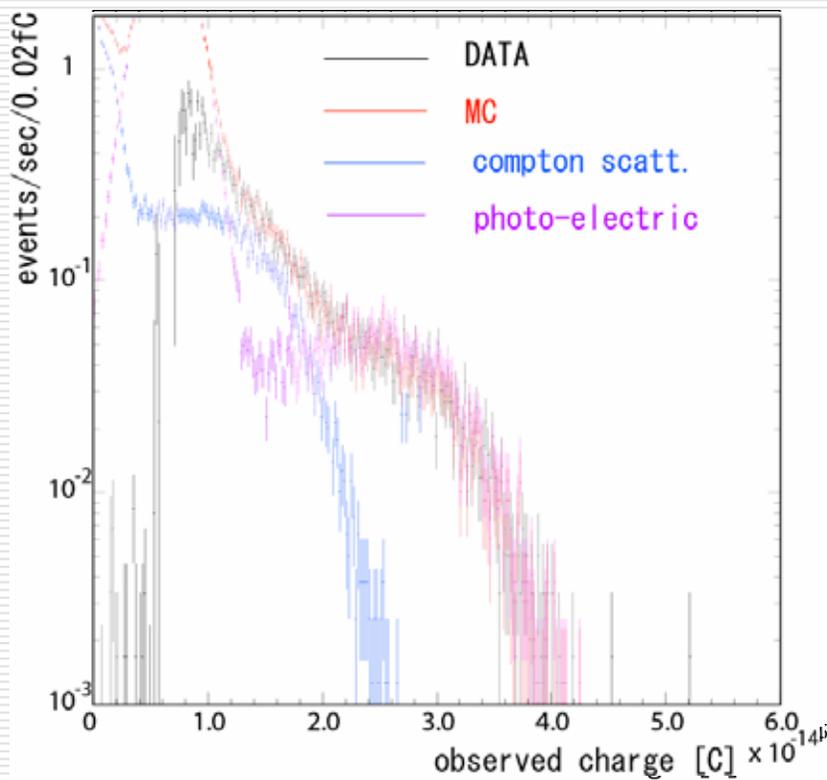
# ガンマ線による応答性

- ❑ 新電極仕様
  - ❑ thickness : 200 $\mu\text{m}$
  - ❑ temp : -35
  - ❑ bias voltage : 160V  
( $E = 8\text{kV/cm}$ )
- 
- ✓ ガンマ線を高検出効率で観測
  - ✓  $^{133}\text{Ba}$  (356keV) 線の  
光電ピークを観測
  - ✓ 電荷収集効率は~90%  
を達成



# 電荷生成エネルギーとドリフト長 (200 $\mu\text{m}$ )

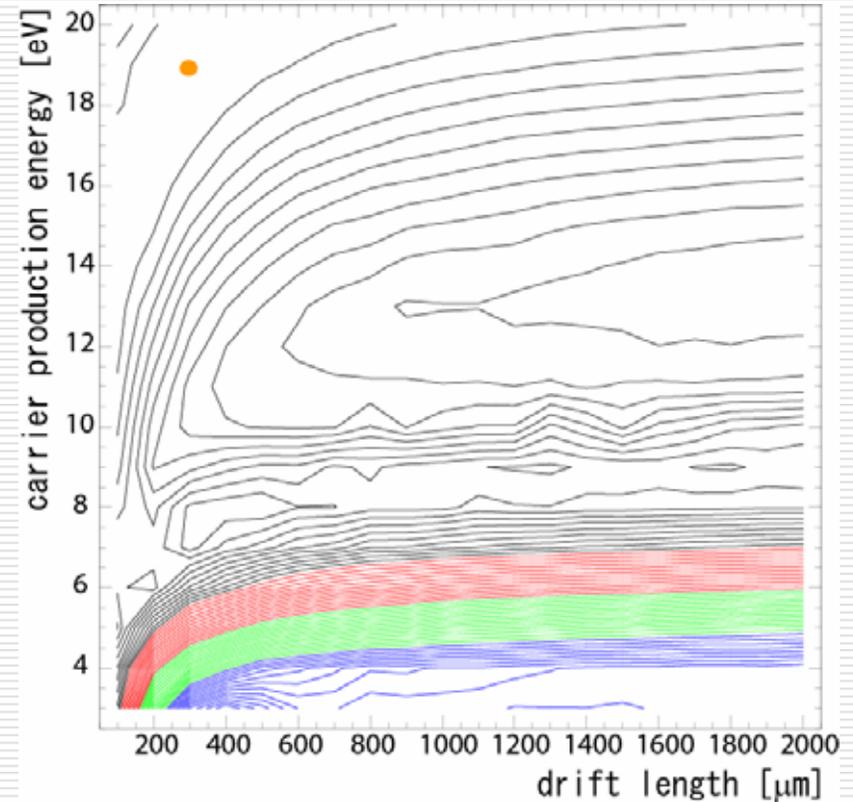
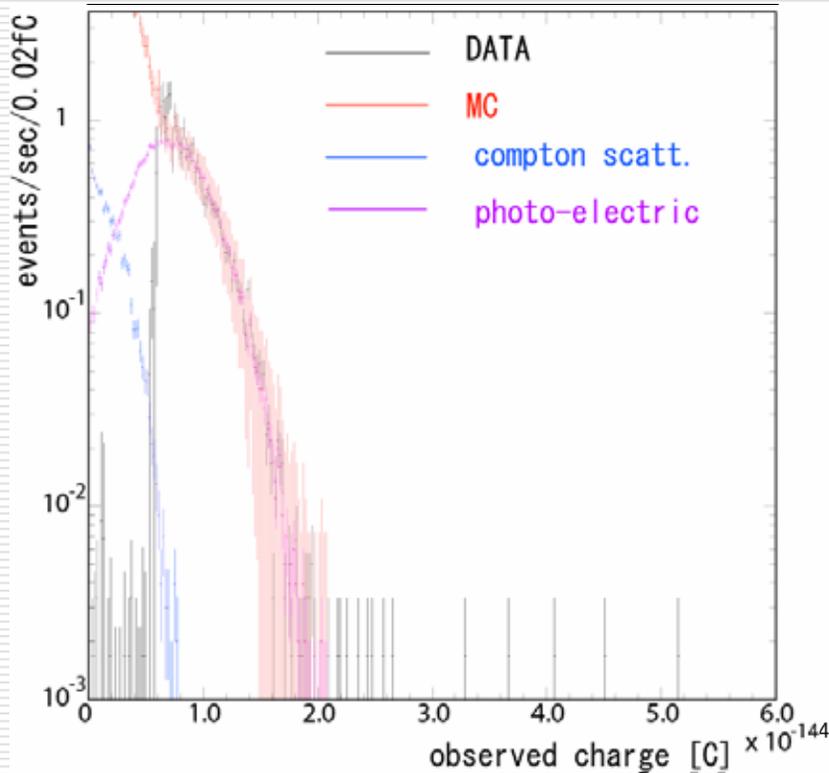
## $^{133}\text{Ba}$ (356keV)のガンマ線スペクトルとMCを比較



$$\varepsilon_{\text{eh}} \sim 17\text{eV} \quad L_d \sim 700\mu\text{m}$$

# 電荷生成エネルギーとドリフト長 (200 $\mu\text{m}$ )

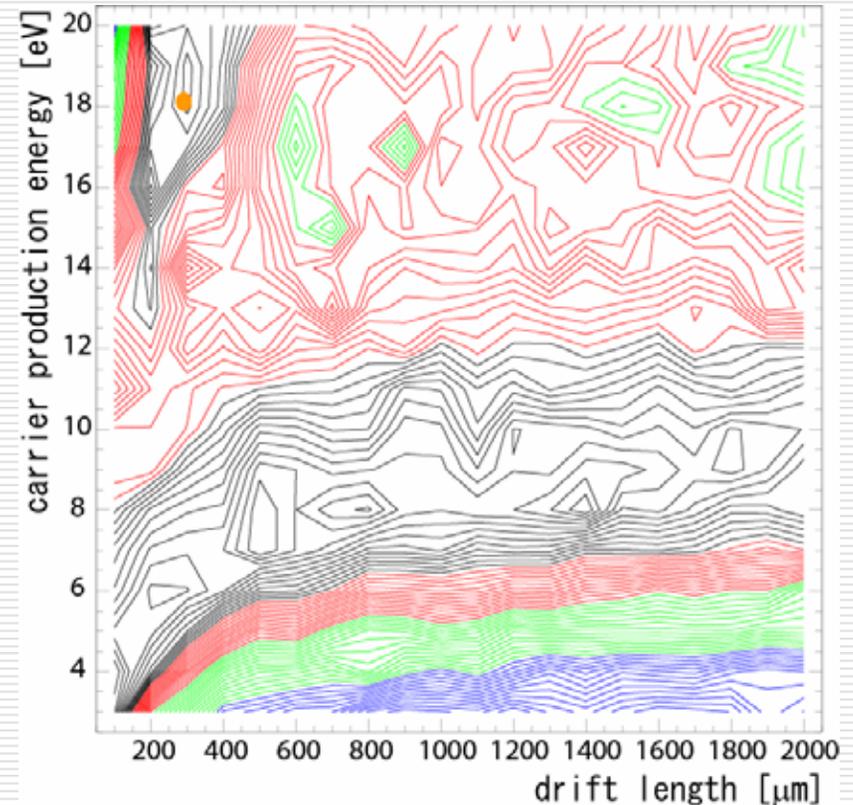
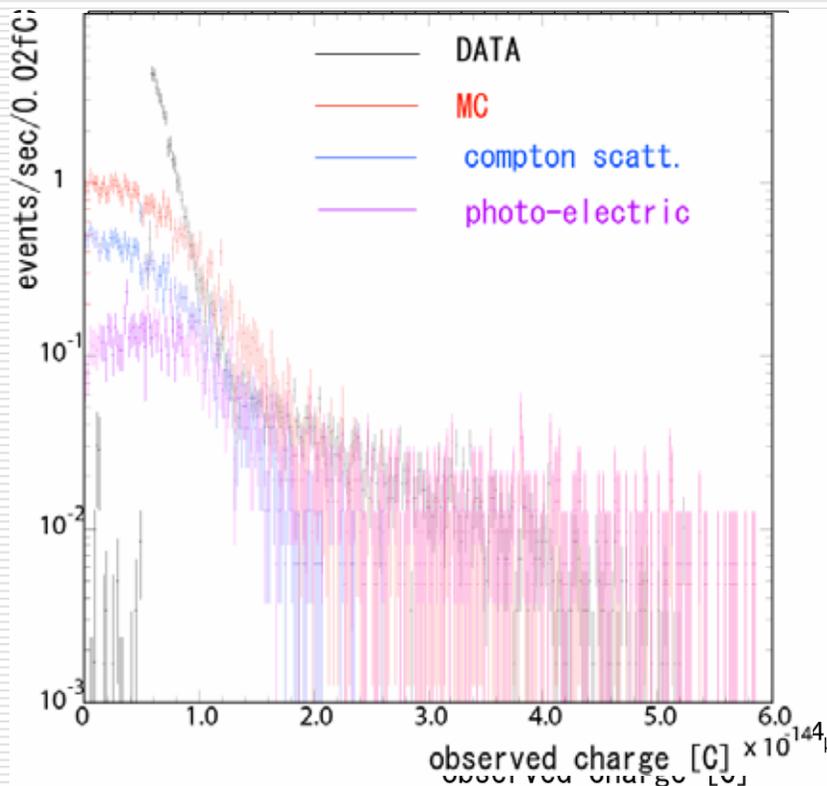
## $^{57}\text{Co}$ (122keV)のガンマ線スペクトルとMCを比較



$$\epsilon_{\text{ch}} \sim 19\text{eV} \quad L_d \sim 300\mu\text{m}$$

# 電荷生成エネルギーとドリフト長 (200 $\mu\text{m}$ )

## $^{137}\text{Cs}$ (662keV)のガンマ線スペクトルとMCを比較



$$\epsilon_{\text{eh}} \sim 18\text{eV} \quad L_{\text{d}} \sim 300\text{mm}$$

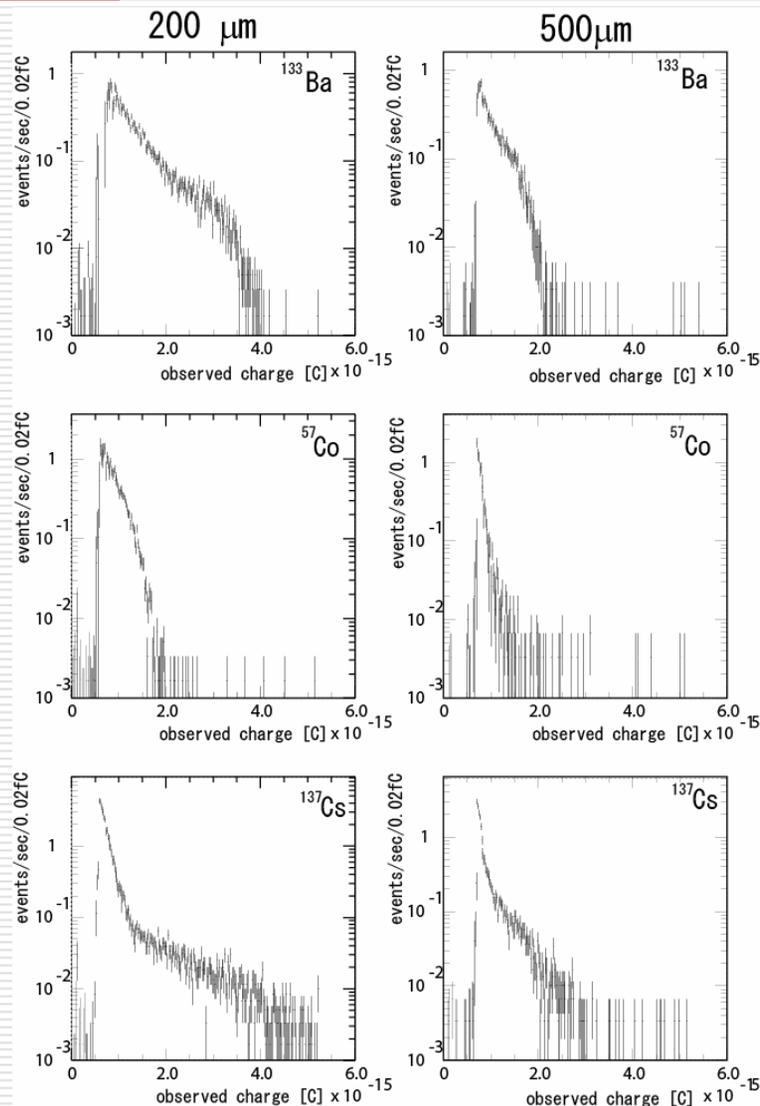
# 厚さ効果

- 厚さ200 $\mu\text{m}$ と500 $\mu\text{m}$ の検出器によるガンマ線の応答性の違い

検出電荷量は約半分  
(CCE ~ 50%)



ドリフト長が ~ 300  $\mu\text{m}$   
程度であることを支持

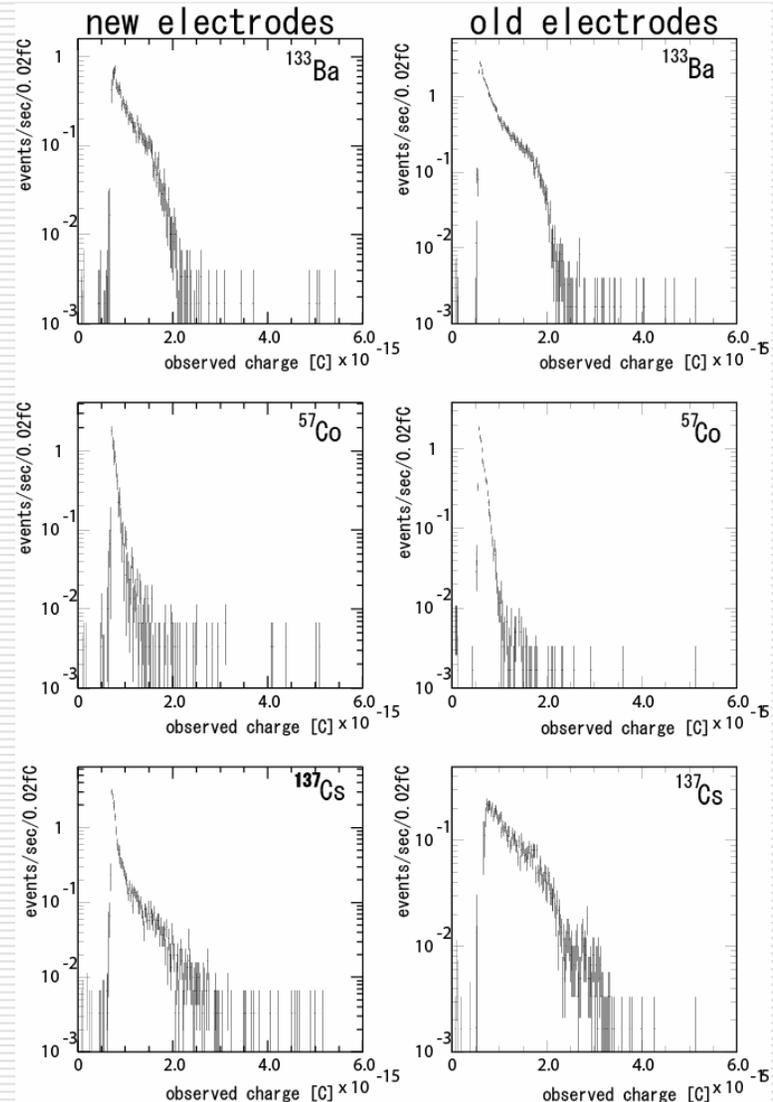


# 電極効果

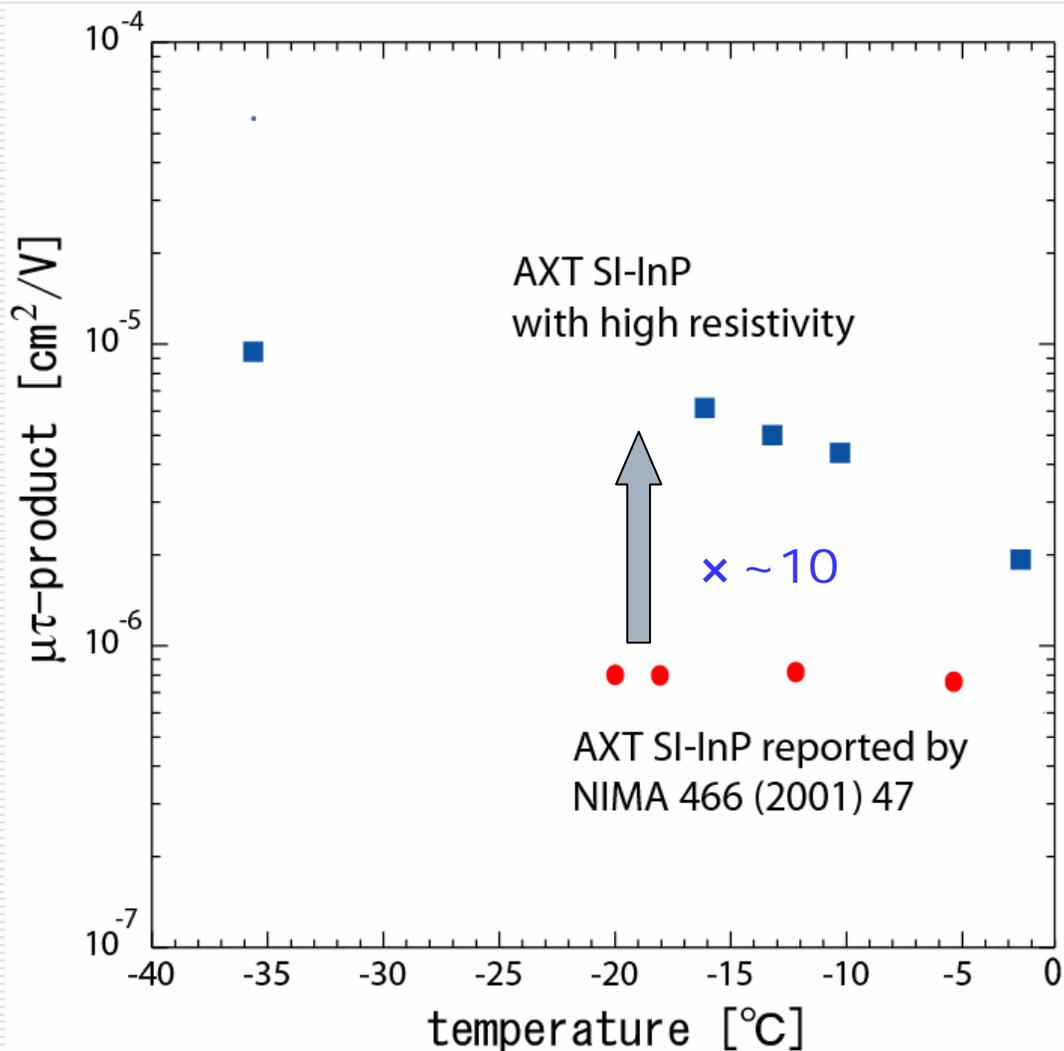
- 電極の構成によるガンマ線の応答性の違い

検出電荷量は同程度であるが、旧電極がより暗電流が少なく、エネルギー分解能が良い ( $\sigma \sim 14\% @ 356\text{keV}$ )

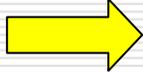
旧電極に戻すべき？



# $\mu\tau$ -productの温度依存性



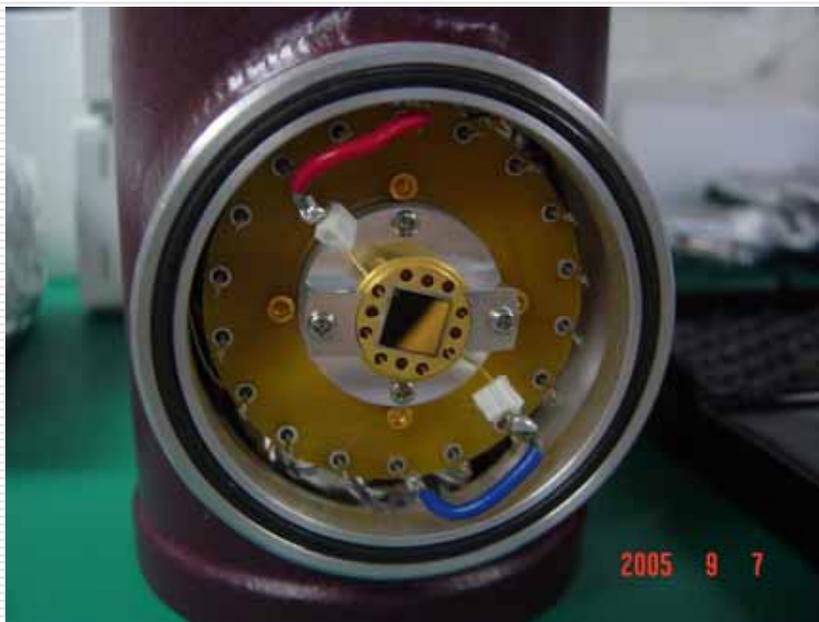
# 結果

- ❑ 冷却による 線の高検出効率を確認(再現性含む)
- ❑ 生成エネルギー: 17~19eV ドリフト長: ~300 $\mu\text{m}$
- ❑ 電極の変更により、厚さ500 $\mu\text{m}$ の検出器でも 14%@356keVの分解能を達成
- 電荷収集効率は50%  要改善(高バイアス化)

## 今後の計画

- ✓ 分解能・電荷収集効率の改善のために
  - Auにかわるショットキー障壁オーミック電極の開発による低暗電流化[新規・今年度]
  - 液体窒素・ドライアイス温度での測定 [測定中]
- ✓ pixel module detectorの設計 [今年度]
- ✓  $^{115}\text{In}$  崩壊からの制動放射X線の測定 [来年度~平成19年度]

# 液体窒素・ドライアイス冷却による測定



# 太陽ニュートリノ観測用プロトタイプ検出器案

## InP SI pixel module

