

SMILE 4

micro-TPCを用いたガンマ線 イメージング検出器の開発現状

京都大学 理学研究科 宇宙線研究室

*ISAS/JAXA

上野 一樹

谷森達、窪秀利、身内賢太郎、株木重人、*高田淳史、服部香里、
西村広展、黒澤俊介、井田知宏、岩城智、高橋慶在

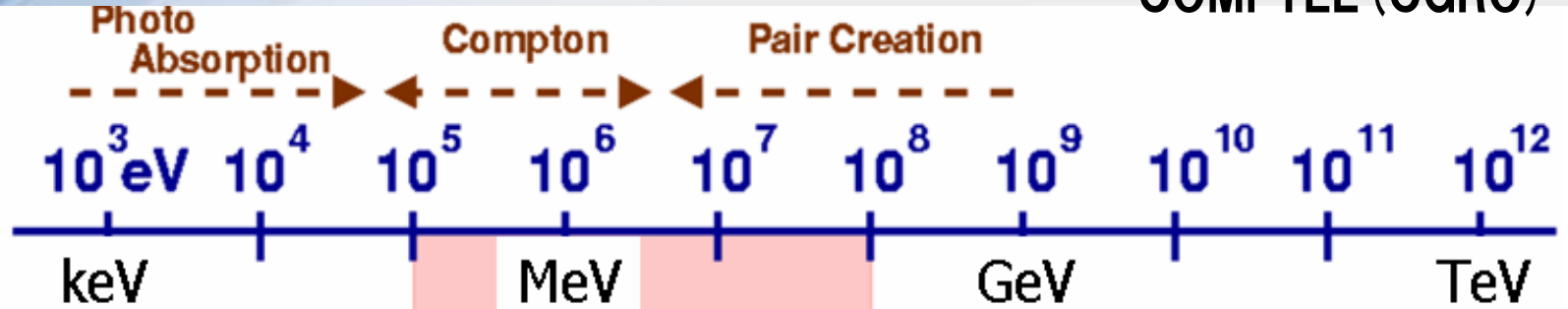
もくじ

- ・ **イントロ～MeVガンマ線イメージング検出器**
- ・ **SMILE計画**
- ・ **(30cm)³MeVガンマ線カメラの現状**
- ・ **まとめ**

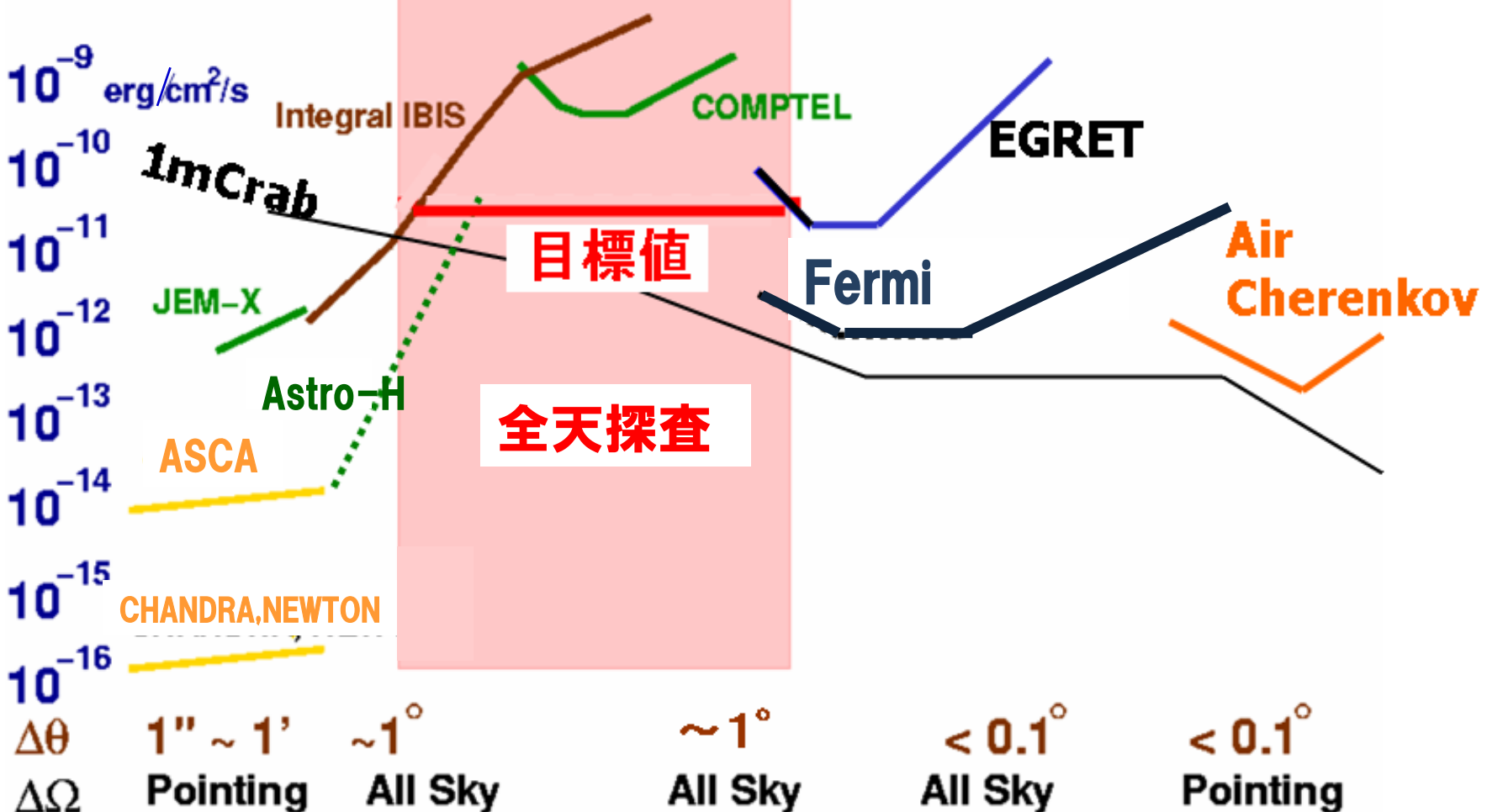
これまでのX線・ガンマ線観測

MeV領域の観測

・ COMPTTEL (CGRO)

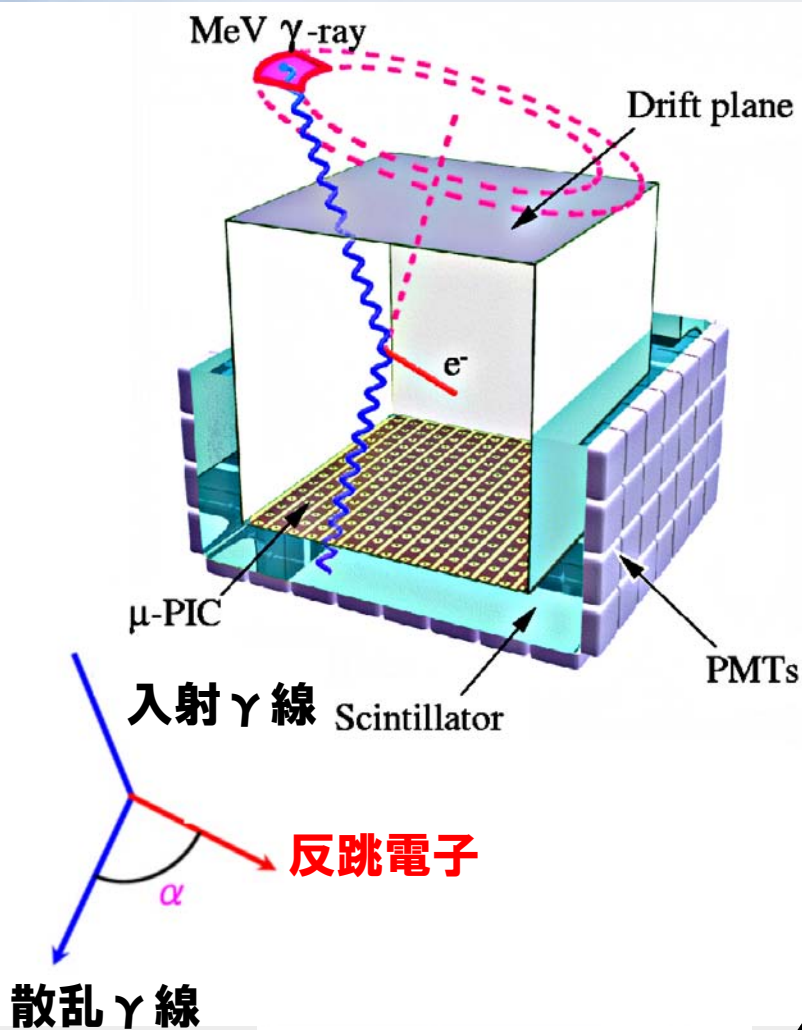


悪
↑
検出感度
↓
良



MeVガンマ線イメージング検出器

MeVガンマ線カメラの概念図



● micro-TPC (μ -PICを用いたTPC)

⇒ 反跳電子のtrackとEnergy

● Scintillation camera (PSA)

⇒ 散乱ガンマ線の吸収点(位置)とEnergy



光子毎にCompton散乱を再現

- ☛ 1光子 ⇒ 到来方向 + energy
- ☛ 大きな視野 ($\sim 3str$)
- ☛ 強力なbackground除去能力

$$\cos \alpha_{\text{geo}} = \vec{g} \cdot \vec{e} \iff \cos \alpha_{\text{kin}} = \left(1 - \frac{m_e c^2}{E_\gamma} \right) \sqrt{\frac{K_e}{K_e + 2m_e c^2}}$$

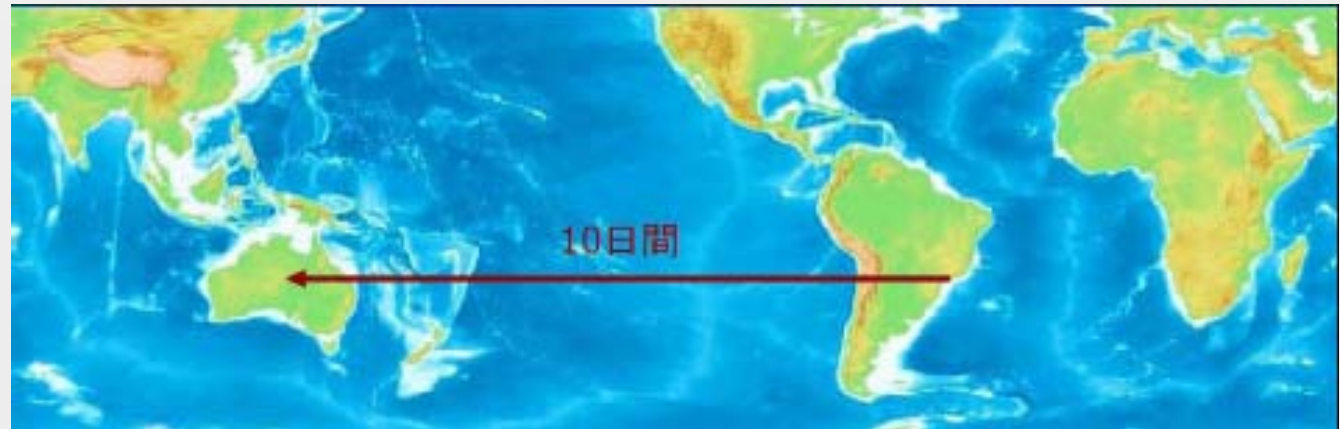
SMILE計画

Sub-MeV γ -ray Imaging Loaded-on-balloon Experiment

2006年 (10cm) ^3MeV γ 線カメラ 0.1~1 MeV 気球@三陸 4時間
動作実証 宇宙背景・大気ガンマ線測定

2011~ (30cm) ^3MeV γ 線カメラ 0.1~1 MeV 気球@大樹町 6時間
明るい天体の観測

2013~ (40cm) ^3MeV γ 線カメラ 0.1~10 MeV
JAXAスーパープレッシャー気球 ~10日間
銀河中心・銀河面サーベイ 4回以上/7年



2020~ (50cm) ^3MeV γ 線カメラ 0.1~30 MeV
30日間周回気球または衛星に搭載し全天サーベイ

SMILE-1は成功

(10cm)³ カメラ @三陸

- ・2006年9月1日放球
(約33kmの高度で～4時間の水平フライト)
- ・最後まで正常動作
- ・水平フライト中～200光子を検出
(0.1～1MeV、live time3時間)



SMILE-2にむけて

・MeVガンマ線カメラの大型化 (10cm)³ ⇒ (30cm)³

・省電力化

- ・TPC用CMOS LSI(KEKと共同)
- ・新型Scintillation camera読み出し(クリアパルスと共同)

← JPS2008春季井田講演

← JPS2008春季岩城講演

・高性能化

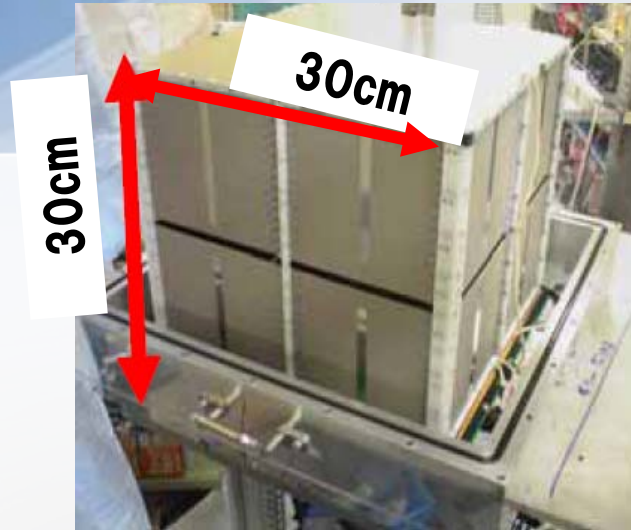
- ・反跳電子のtracking能力向上(FPGAロジック変更)
- ・Scintillation cameraエネルギー分解能(LaBr3の利用)
- ・解析手法の向上(ML-EM法)

← 20aSJ3 服部講演

← 22pSD5 高橋講演

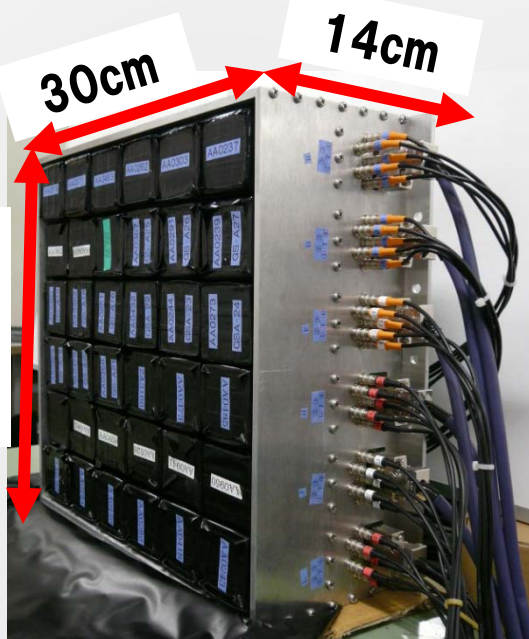
← 20aSJ4 株木講演

micro-TPC



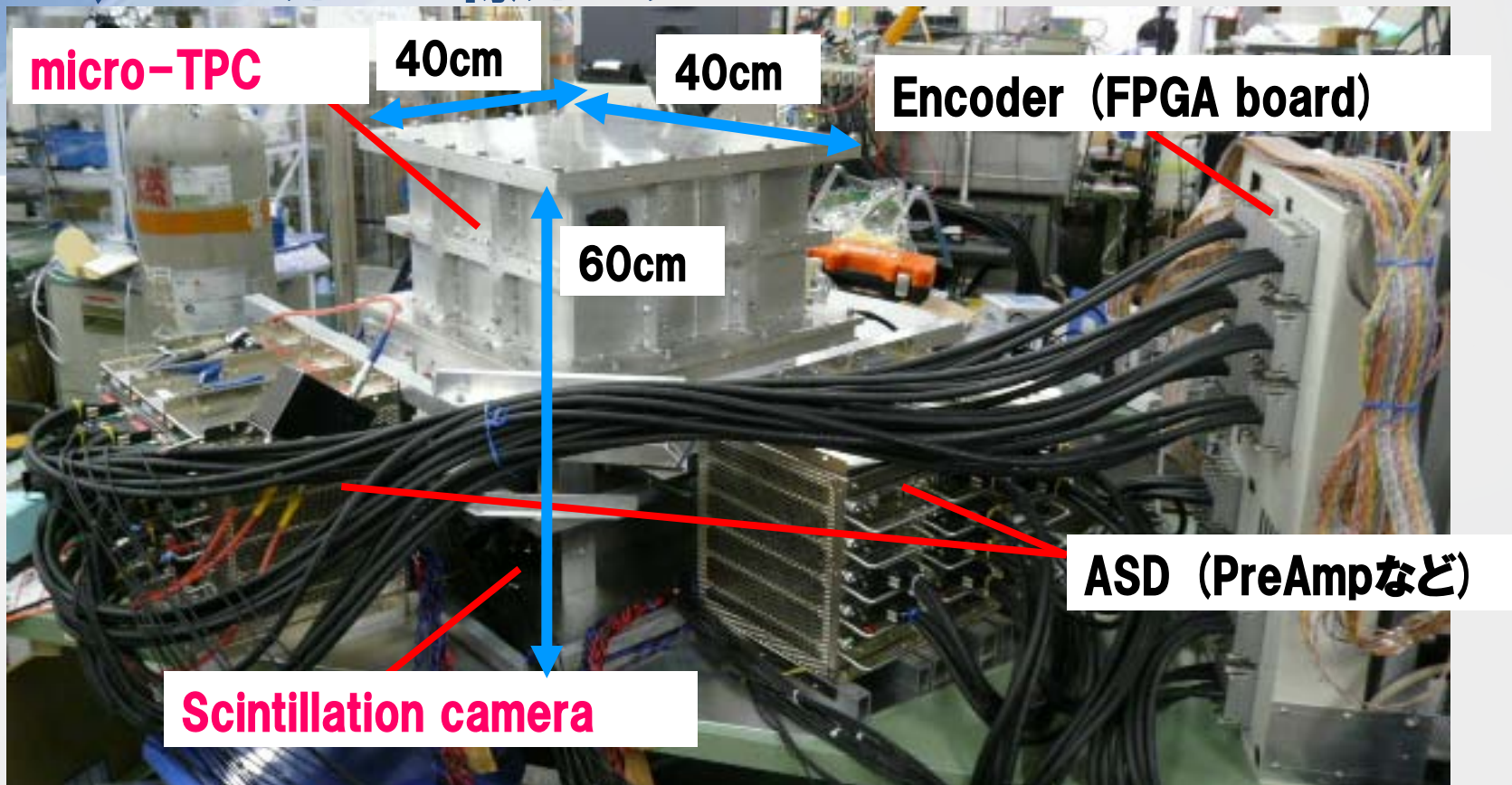
- ・ サイズ : $30 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$
- ・ ガス : Ar 90% + C_2H_6 10%
1atm 封じ切り
- ・ ドリフト電場 : $\sim 250 \text{ V/cm}$
- ・ ドリフト速度 : $\sim 4 \text{ cm}/\mu\text{sec}$
- ・ gain : ~ 30000
- ・ エネルギー分解能 : 46%@31keV (FWHM)
- ・ 位置分解能 (3次元) : $\sim 400 \mu\text{m}$

Scintillation Camera

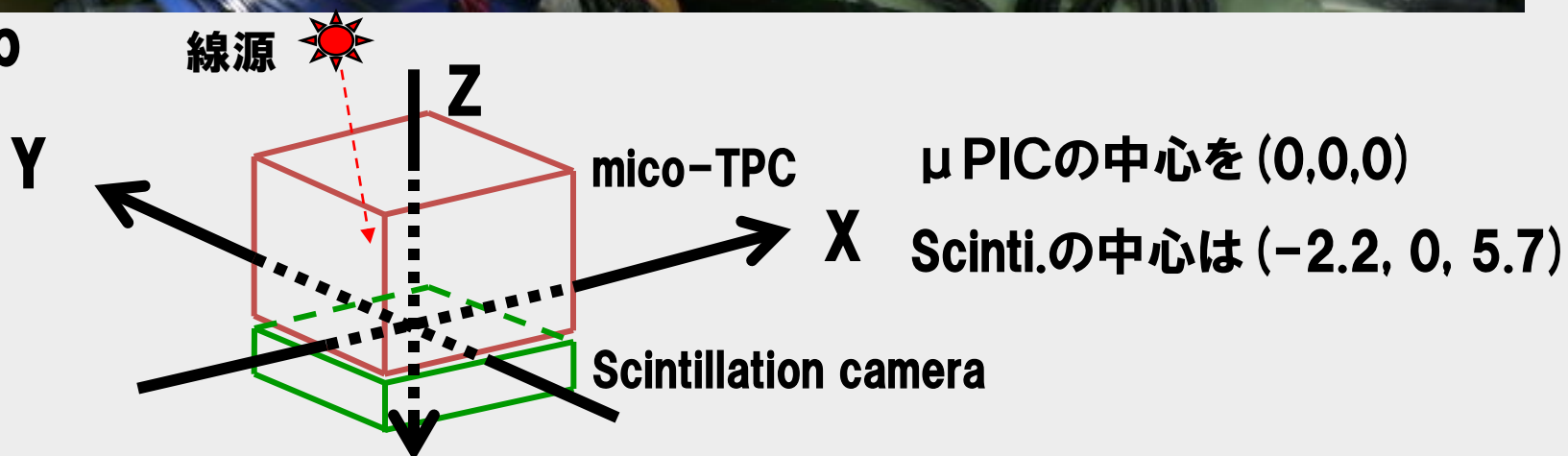


- ・ 総ピクセル数 : 2304
- ・ 結晶 : GSO (Ce)
- ・ ピクセルサイズ : $6 \times 6 \times 13 \text{ mm}^3$
- ・ 光読み出し : 64chMAPMT H8500 (HPK)
- ・ 読み出し : 抵抗チェーン(192pixel4端)
- ・ エネルギー分解能 : 10.9%(@662keV, FWHM)
- ・ 位置分解能 : 6mm

(30cm) ^3MeV ガンマ線カメラ



Setup



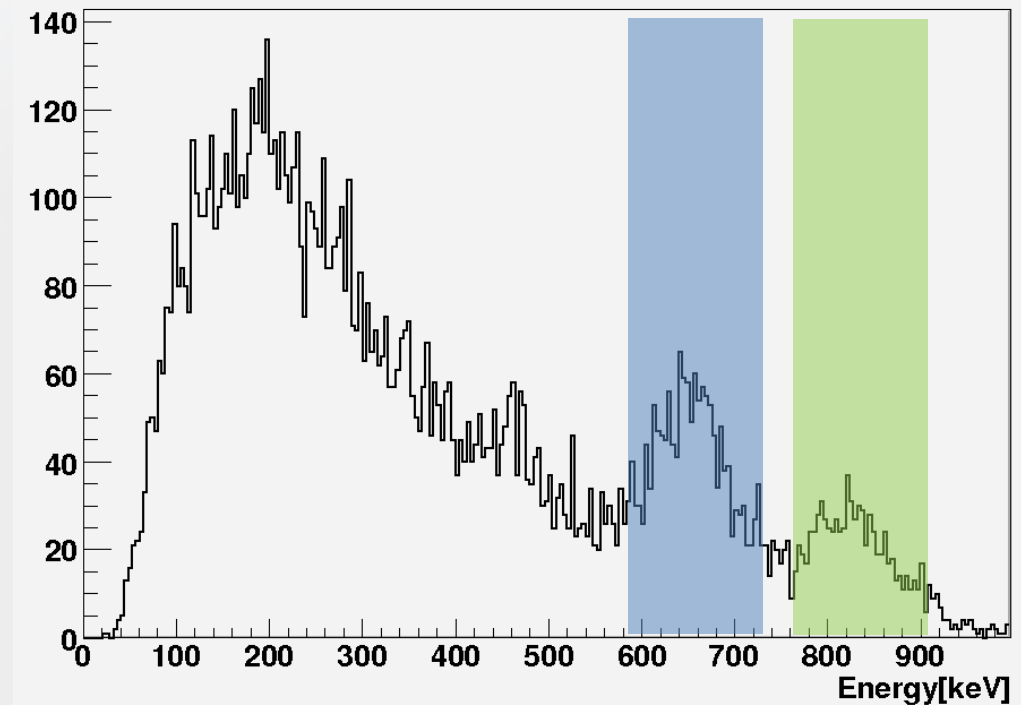
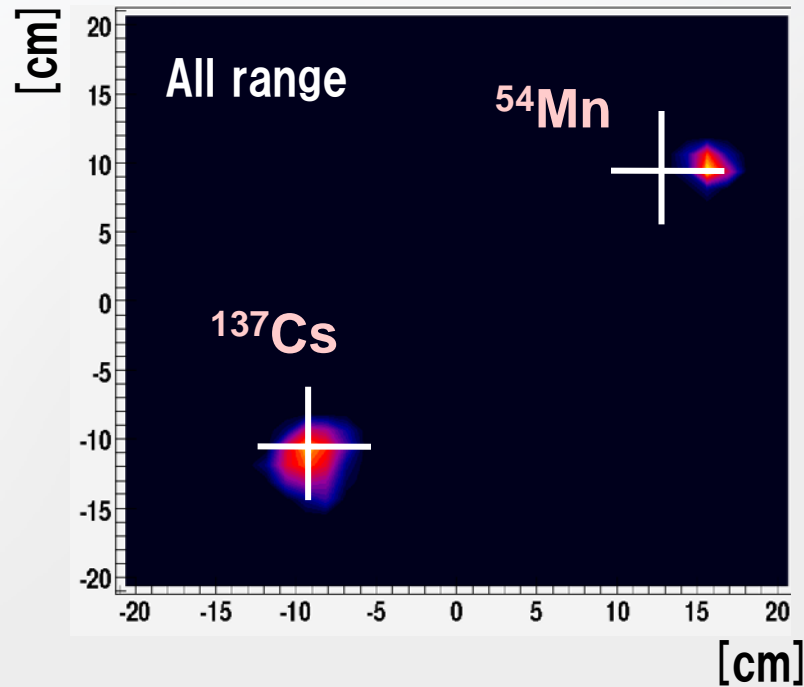
MeVガンマ線イメージング

^{137}Cs : 662keV, 1MBq (X,Y,Z) = (-10,-10,-52)

^{54}Mn : 835keV, 1MBq (X,Y,Z) = (10,10,-52)

感度補正 + ML-EM法 を使用

Preliminary!!



エネルギー範囲を指定

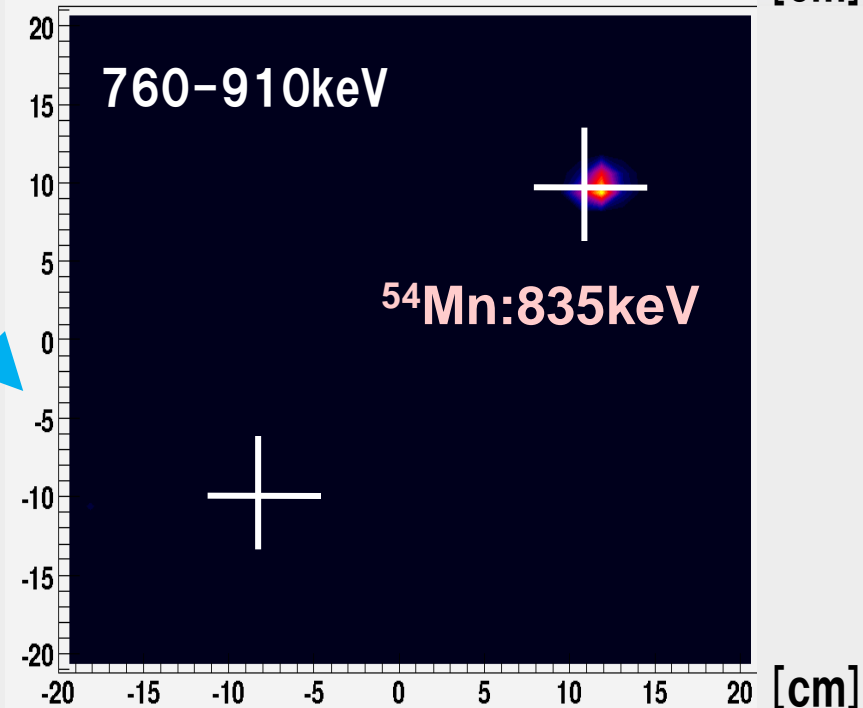
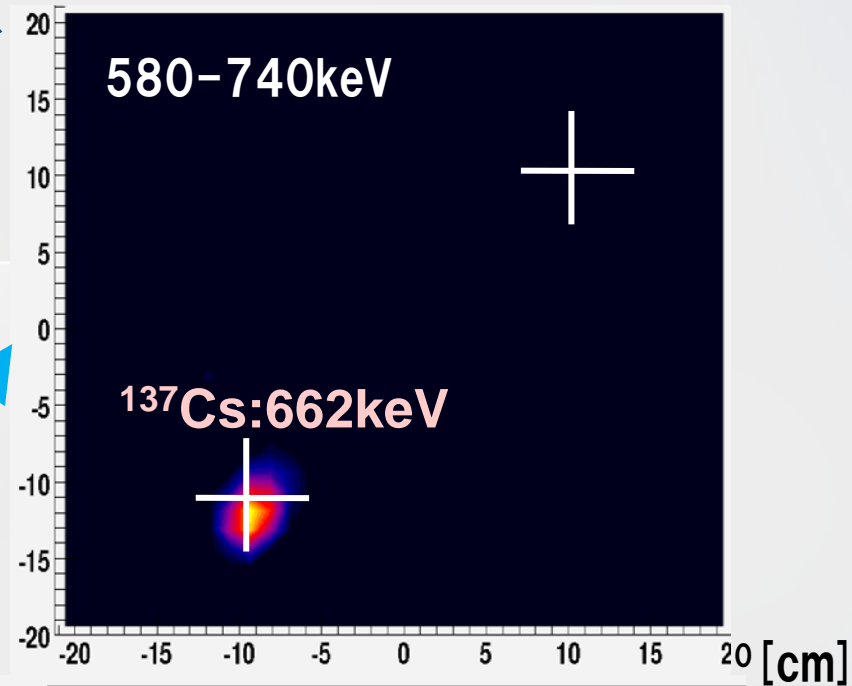
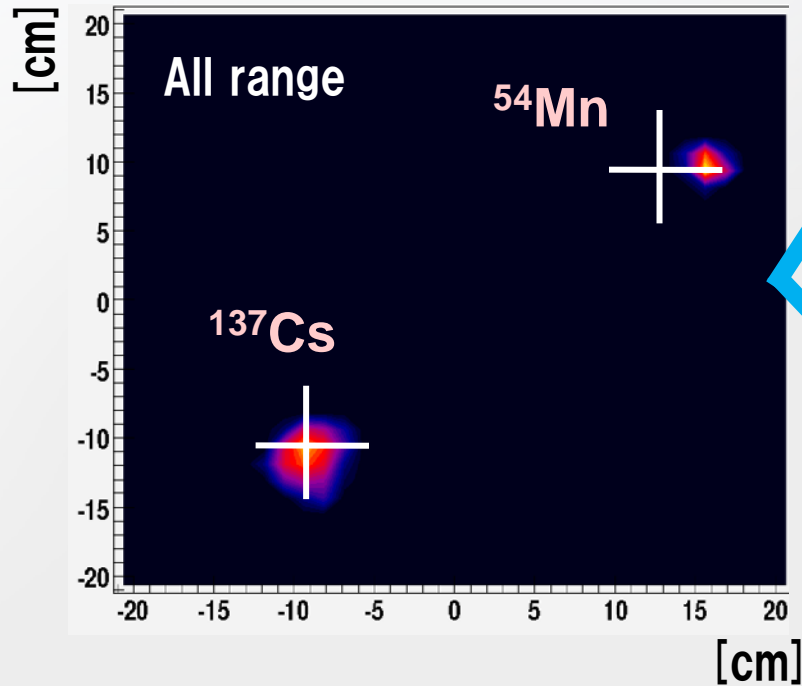
MeVガンマ線イメージング

^{137}Cs : 662keV, 1MBq (X,Y,Z) = (-10,-10,-52)

^{54}Mn : 835keV, 1MBq (X,Y,Z) = (10,10,-52)

感度補正 + ML-EM法 を使用

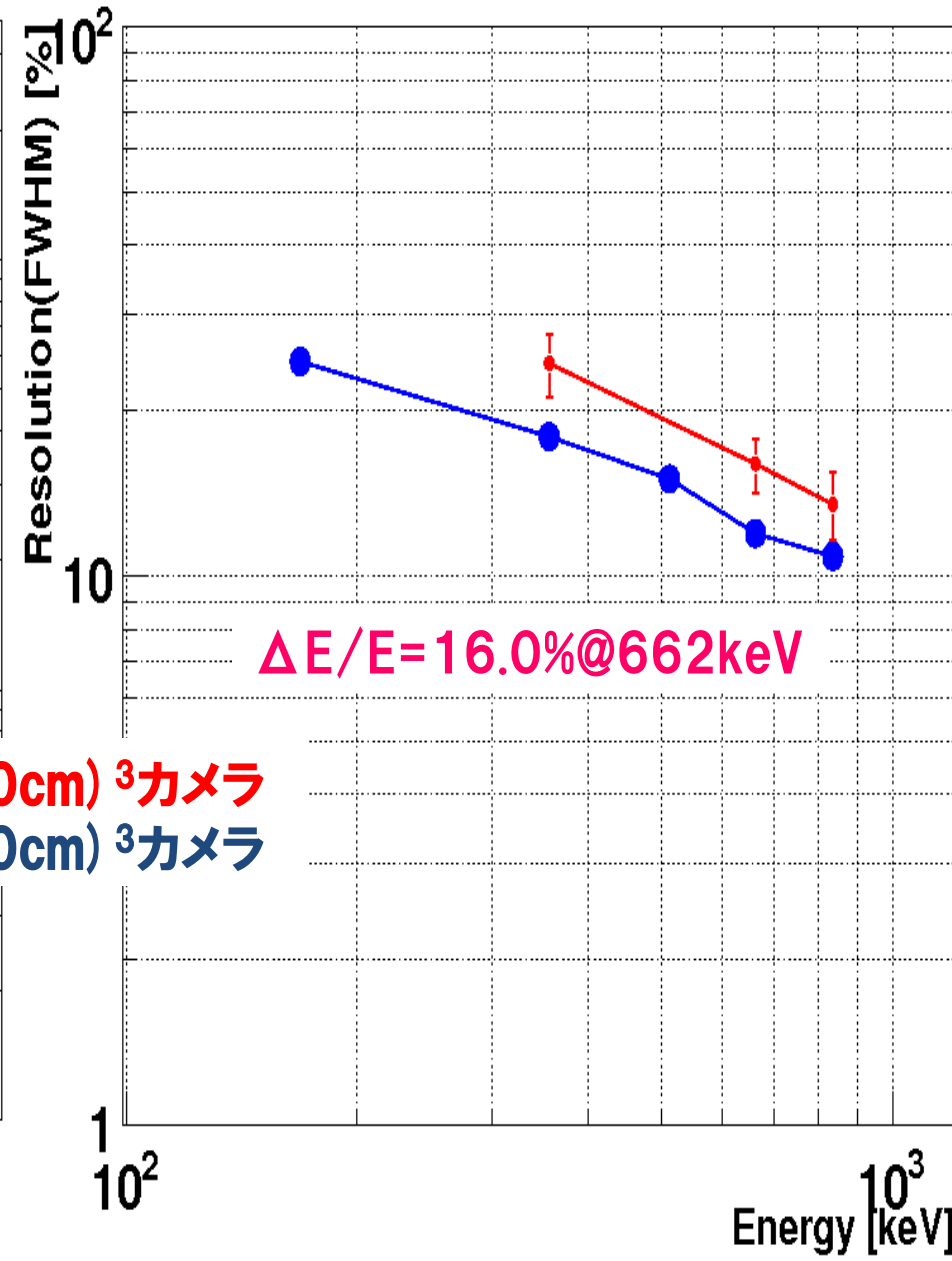
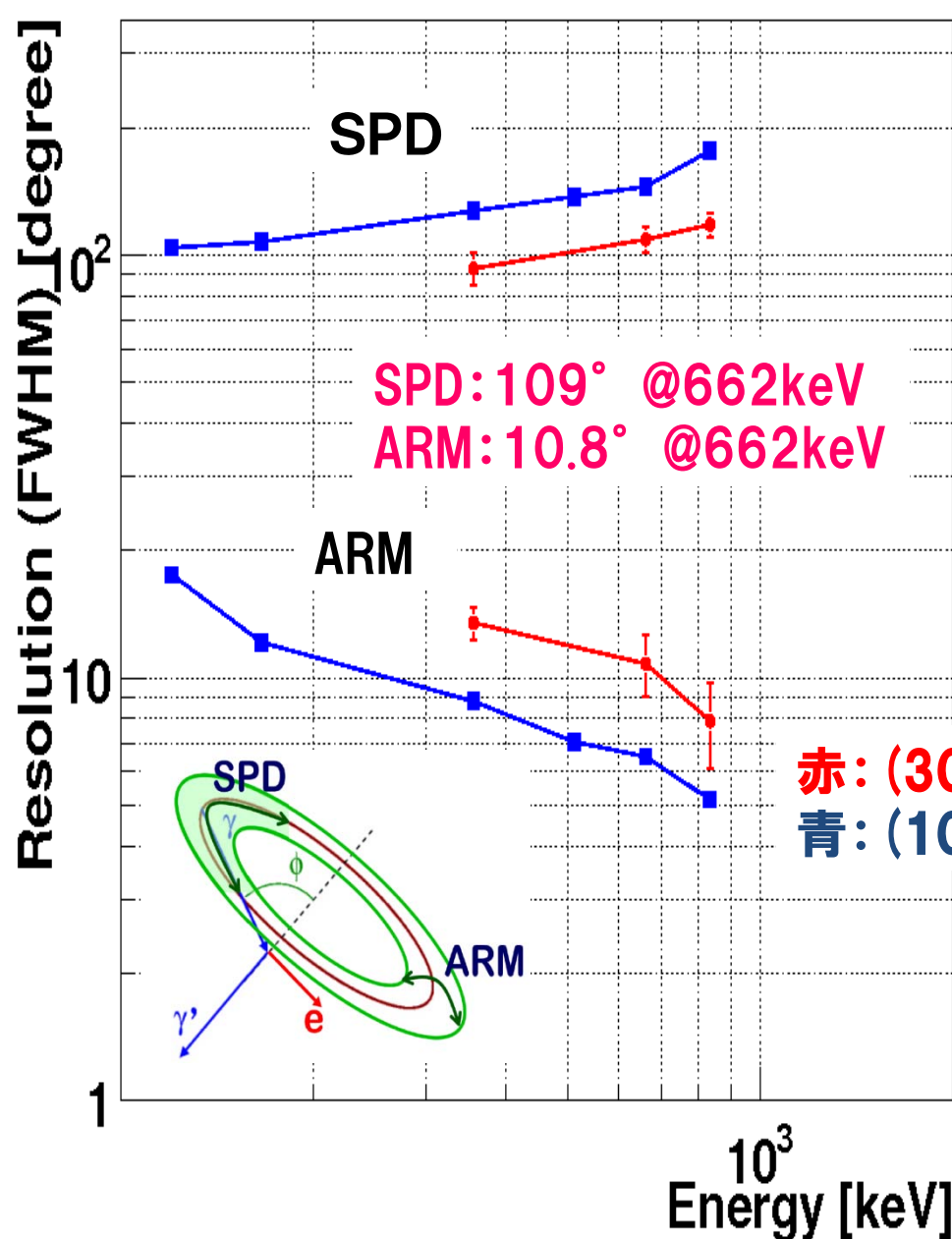
Preliminary!!



エネルギーごとの分解に成功!

定量的な評価はまだ

ARM, SPD, Energy resolution (Preliminary!!)



まとめ

- ・ SMILE
- ・ (30cm) $^3\text{micro-TPC+Scintillation camera}$ を用いたMeVガンマ線カメラの開発
- ・ 2核種(662keV, 835keV)の同時イメージングに成功
- ・ エネルギー分解能 16.0% @662keV(FWHM)
- ・ 角度分解能 ARM:10.8° SPD:109° @662keV(FWHM)

今後

- ・ チューニング
(10cm) ^3MeV ガンマ線カメラのエネルギー分解能12.0% ARM 6.6°
に近づける
- ・ 広いエネルギー範囲でのイメージング (100keV~a few MeV)
- ・ 感度向上 - 更なる大型化、gas study (CF4など)

おわり