

SMILE 5

上空におけるバックグラウンド特性 とコンプトンカメラの開発現状

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

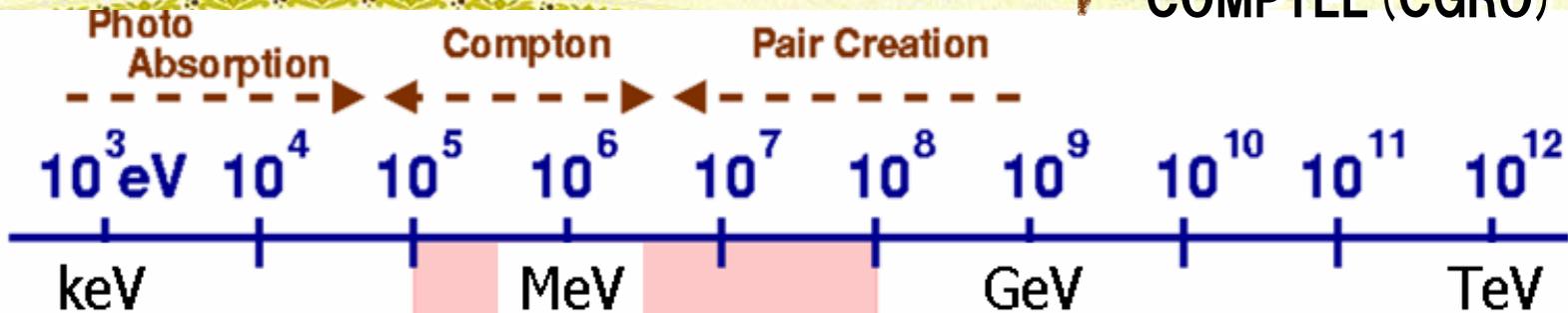
もくじ

- ⅴ イントロ～MeVガンマ線イメージング検出器
- ⅴ SMILE計画
- ⅴ 上空におけるバックグラウンド
- ⅴ SMILE-IIの現状
- ⅴ まとめ

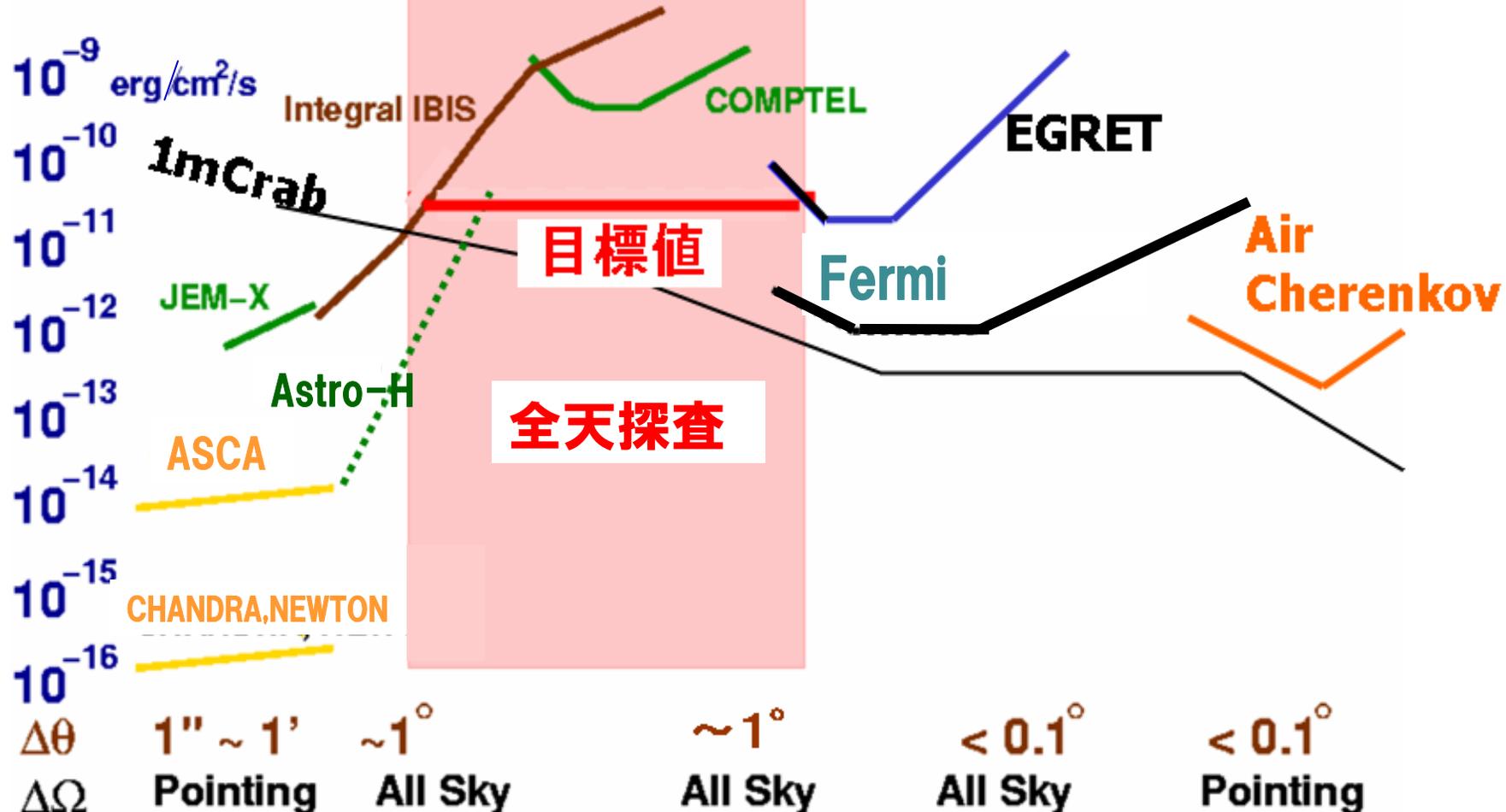
これまでのX線・ガンマ線観測

MeV領域の観測

COMPTTEL (CGRO)

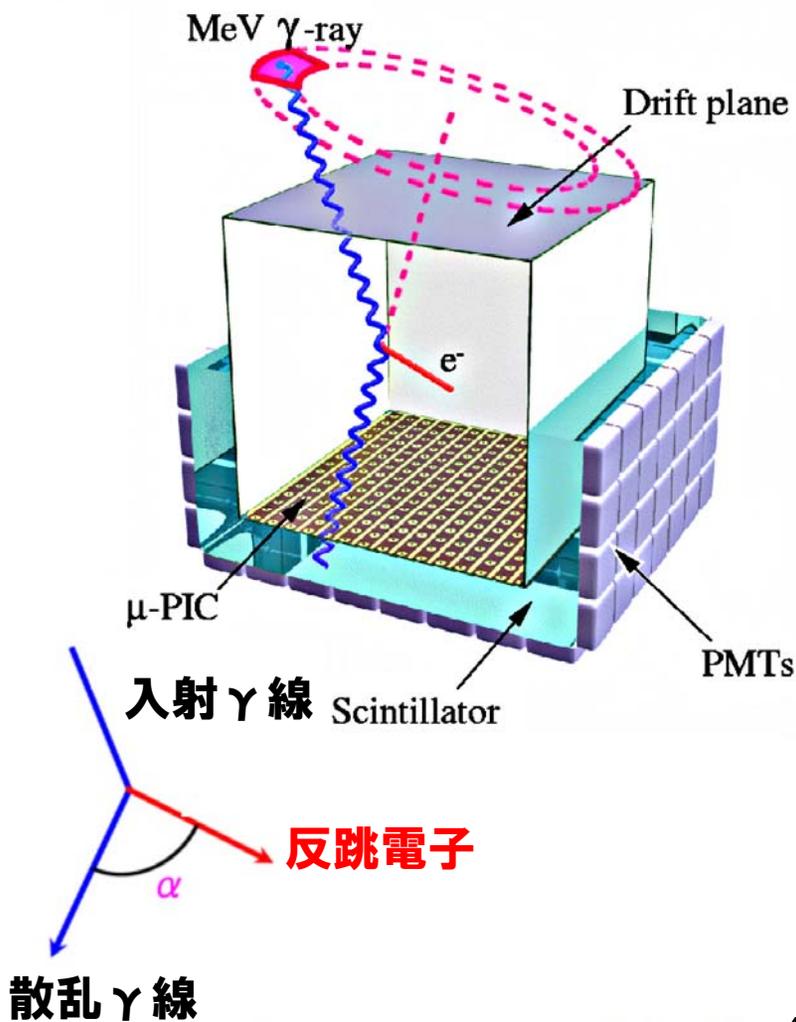


悪
↑
検出感度
↓
良



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

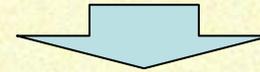


●micro-TPC (μ-PICを用いたTPC)

⇒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 (~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
気球@ブラジル 6時間
または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～420光子を検出
(0.1～1MeV、live time3時間)

SMILE-2にむけて

• 上空におけるバックグラウンドstudy

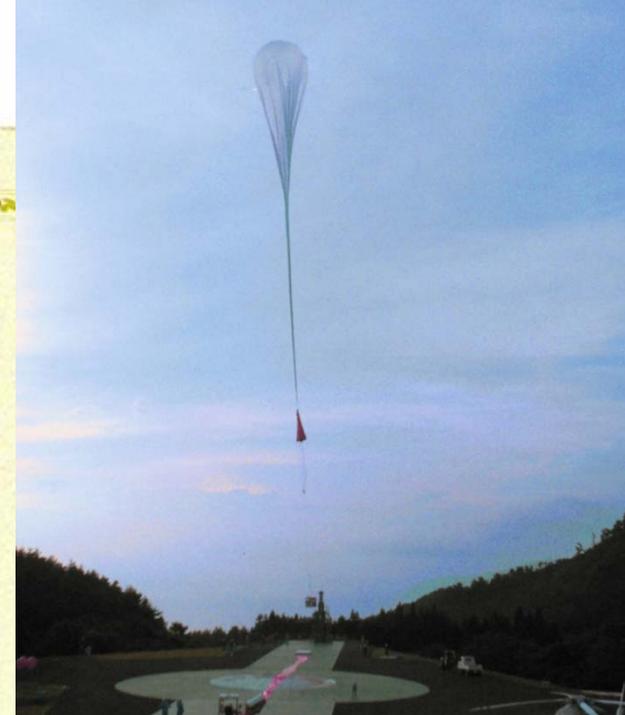
• MeVガンマ線カメラの大型化 (10cm)³ ⇒ (30cm)³

• 省電力化

- TPC用CMOS LSI(KEKと共同) ← JPS2008春季井田講演
- 新型Scintillation camera読み出し(クリアパルスと共同) ← 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) ← JPS2008秋季 服部講演
- Scintillation cameraエネルギー分解能(LaBr3の利用) ← JPS2008秋季 高橋講演
- 解析手法の向上 (ML-EM法) ← JPS2008秋季 株木講演



上空におけるバックグラウンド

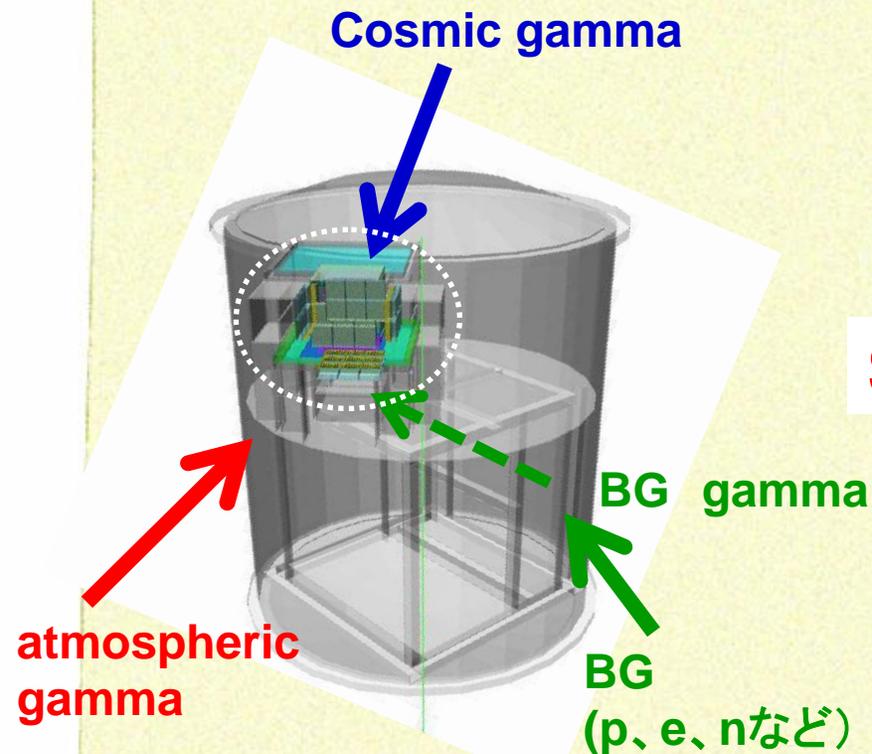
上空の環境

cosmic, atmospheric gamma
その他BG (p,e,nなど)

さらに

筐体と反応してBG gamma生成

SMILE- I の結果をもとにシミュレート



(10cm)³カメラ(白枠内)
in アルミベッセル
(Geant4のgeometry)

① 上空でのBGの見積もり
with QARM(次頁)

② カメラに入ってくるBGの見積もり
with Geant4

③ SMILE- I の結果に反映

QARM

F. Lei et. al. IEEE TNS (2004, 2006)

（上空）大気中のradiation model

場所、時間毎の p , α , n , e , γ , π^\pm , μ^\pm のスペクトル、flux

航空電子工学(SEE study)、パイロットの被爆量計算用に開発

2004年にfirst release

Response matrix : MCNPX codeがベース

さらに、cut-off rigidity : SAMPEX

neutron : NASA ER-2, IBM

charged particles : CAPRICE98 等の実験と比較済

入力パラメータ: 緯度、経度、時間、高度(大気厚み)、地磁気(Kp)

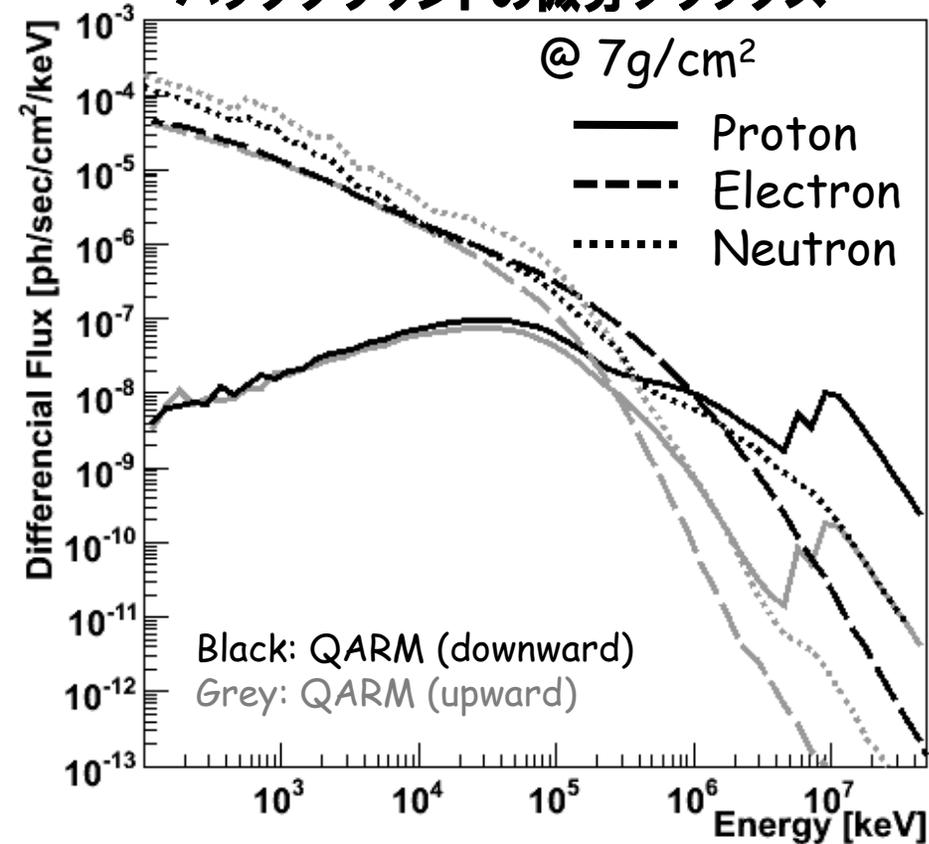
高度範囲: 1-100km、0.01-1035g/cm²

Kp: 0-6 (離散的)

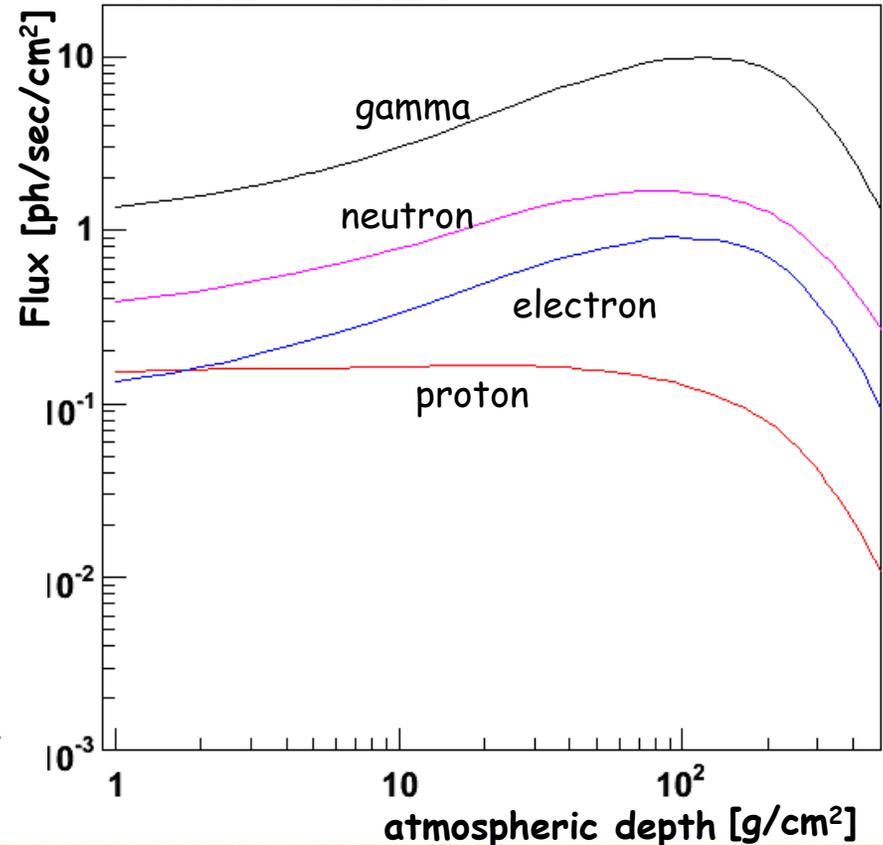
Energy range: <100GeV

①バックグラウンド simulation with QARM

バックグラウンドの微分フラックス

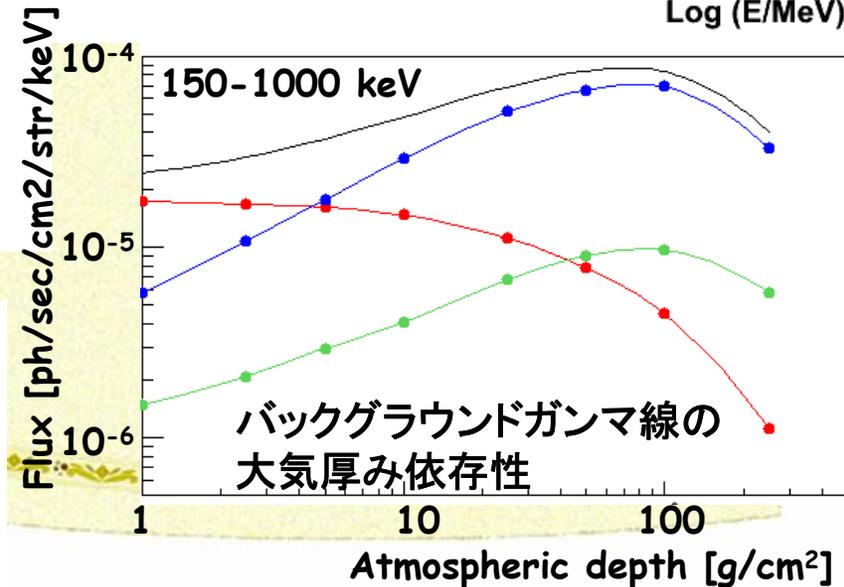
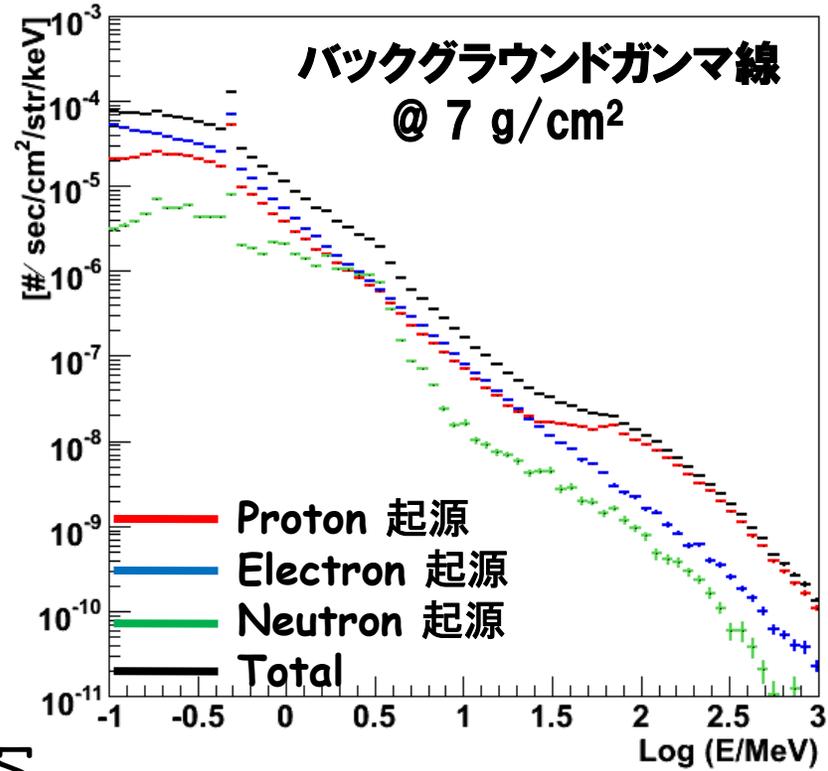
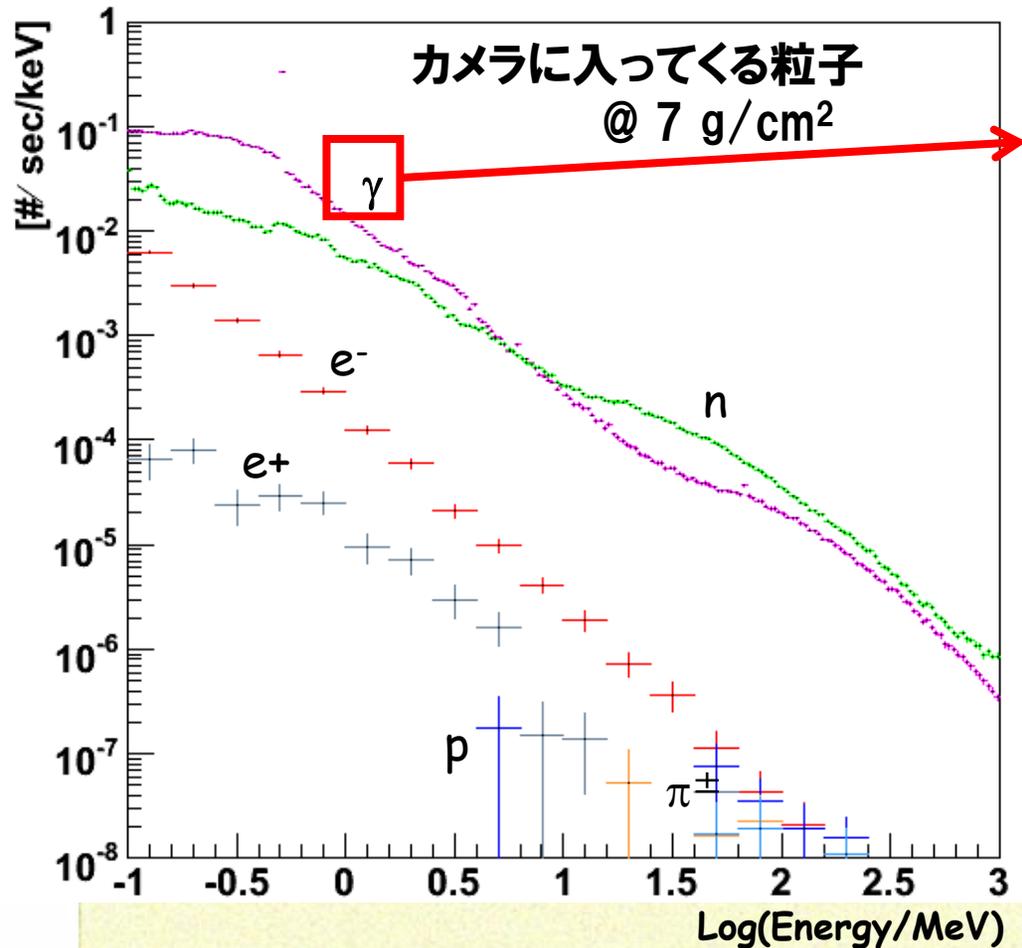


大気厚み 依存性



2006/09/01, 39.16N, 141.82E,
Source: Galactic Cosmic Rays, Kp=3

②BG simulations with Geant4

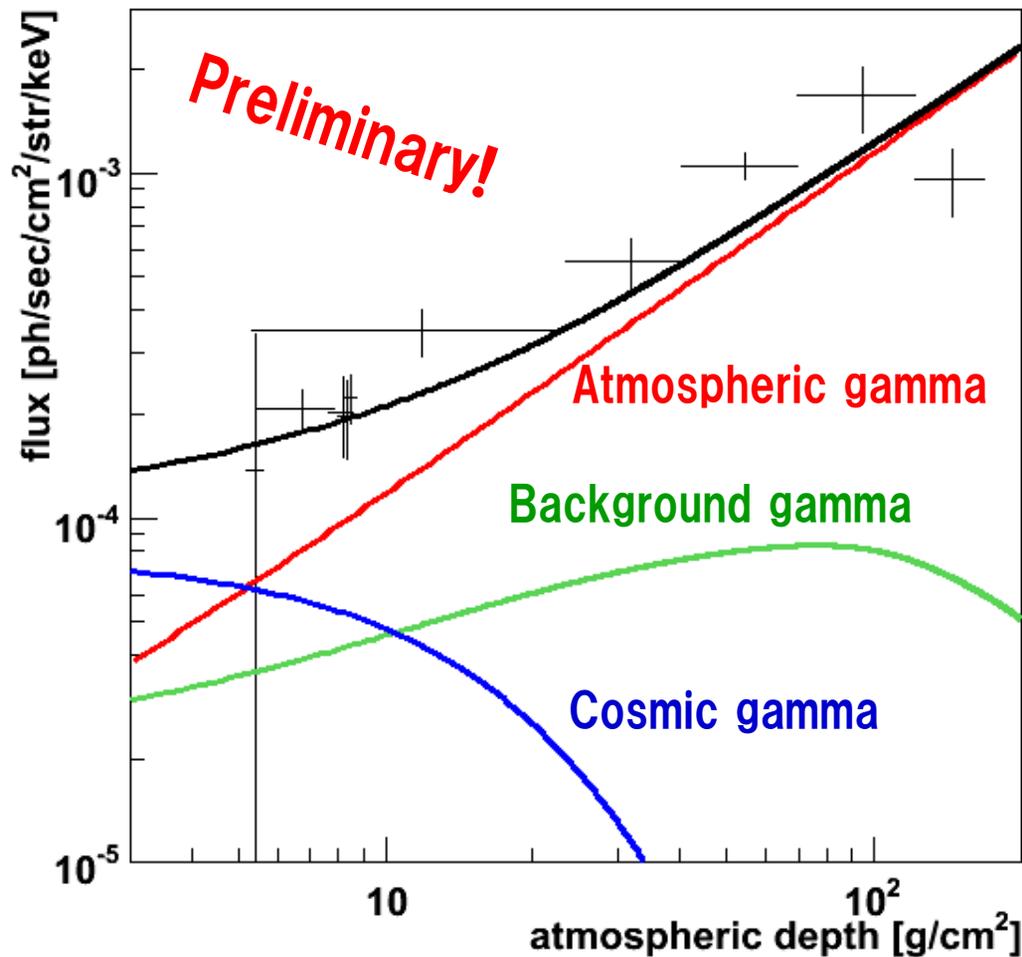


- BGの大半は筐体で生成されるガンマ
- シミュレータにより予想されるイベント@7g/cm²

BG-gamma	~20 %
neutron	~1%
electron	< 0.25%

③ Growth curve

大気厚みに対するガンマ線フラックス変化
SMILE-Iの結果にシミュレーション結果を適用



$\phi_C + \phi_A + \phi_B$ でfitting

➤ **Cosmic** : $\phi_C = \phi_d + \phi_s$
 $\phi_d = A \times \exp(-z/\tau_{tot})$
 $\phi_s = p(E, z) \times \phi_d$

➤ **Atmospheric** : ϕ_A
 $\phi_A = B \times z$

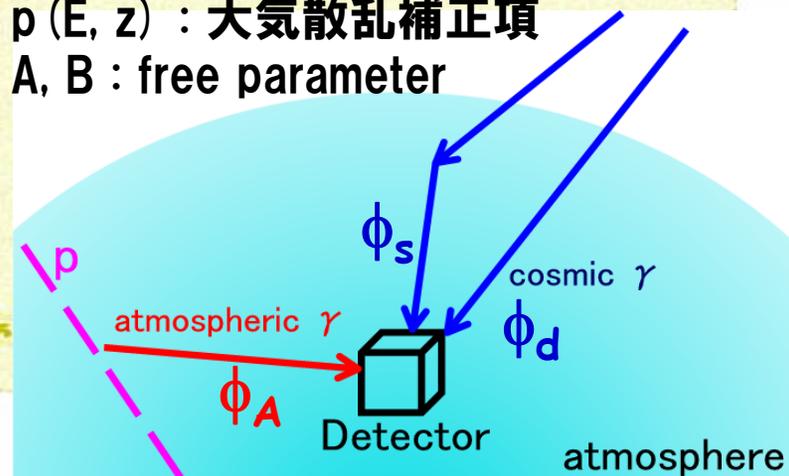
➤ **BG** : ϕ_B
 $\phi_B = \text{simulation結果}$

z : 大気厚み

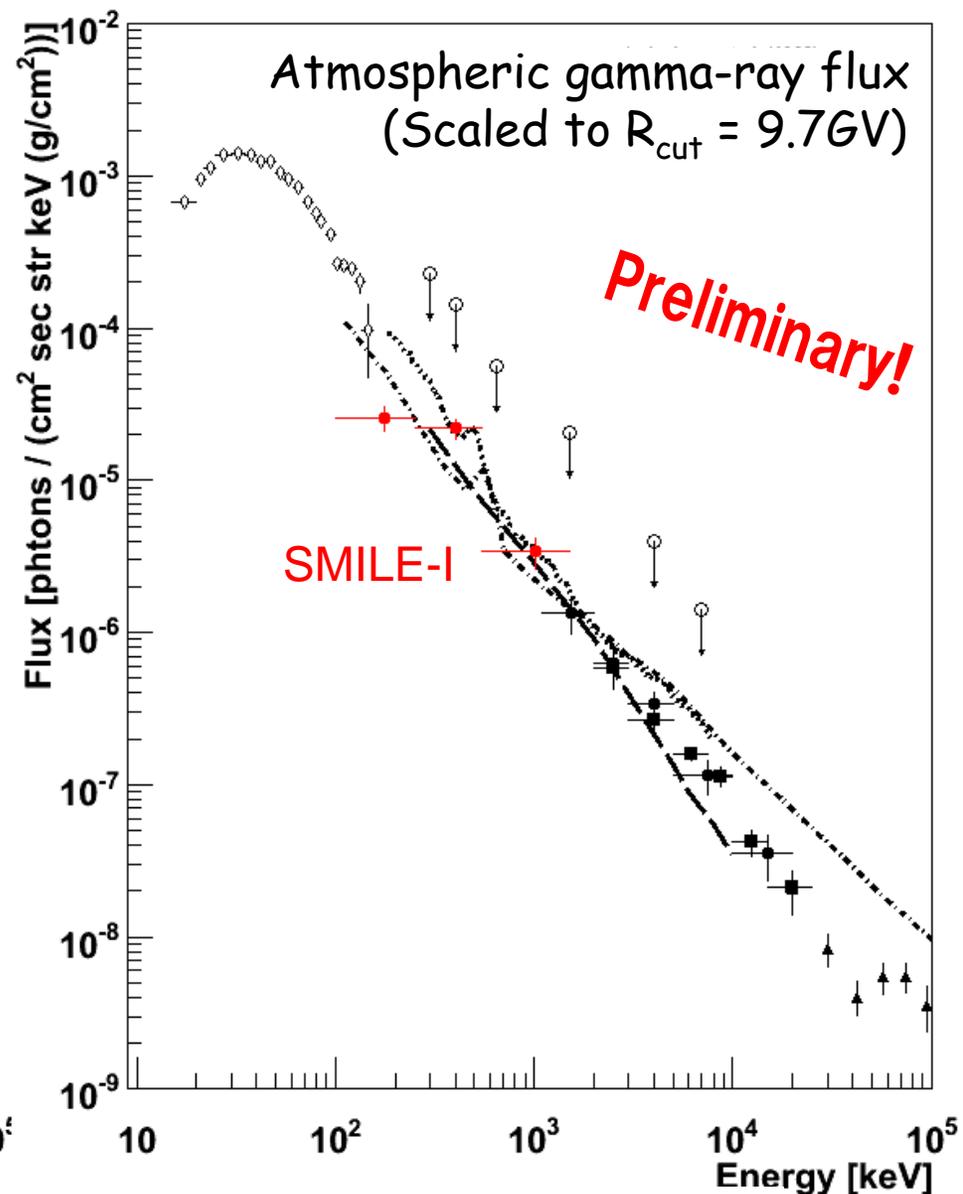
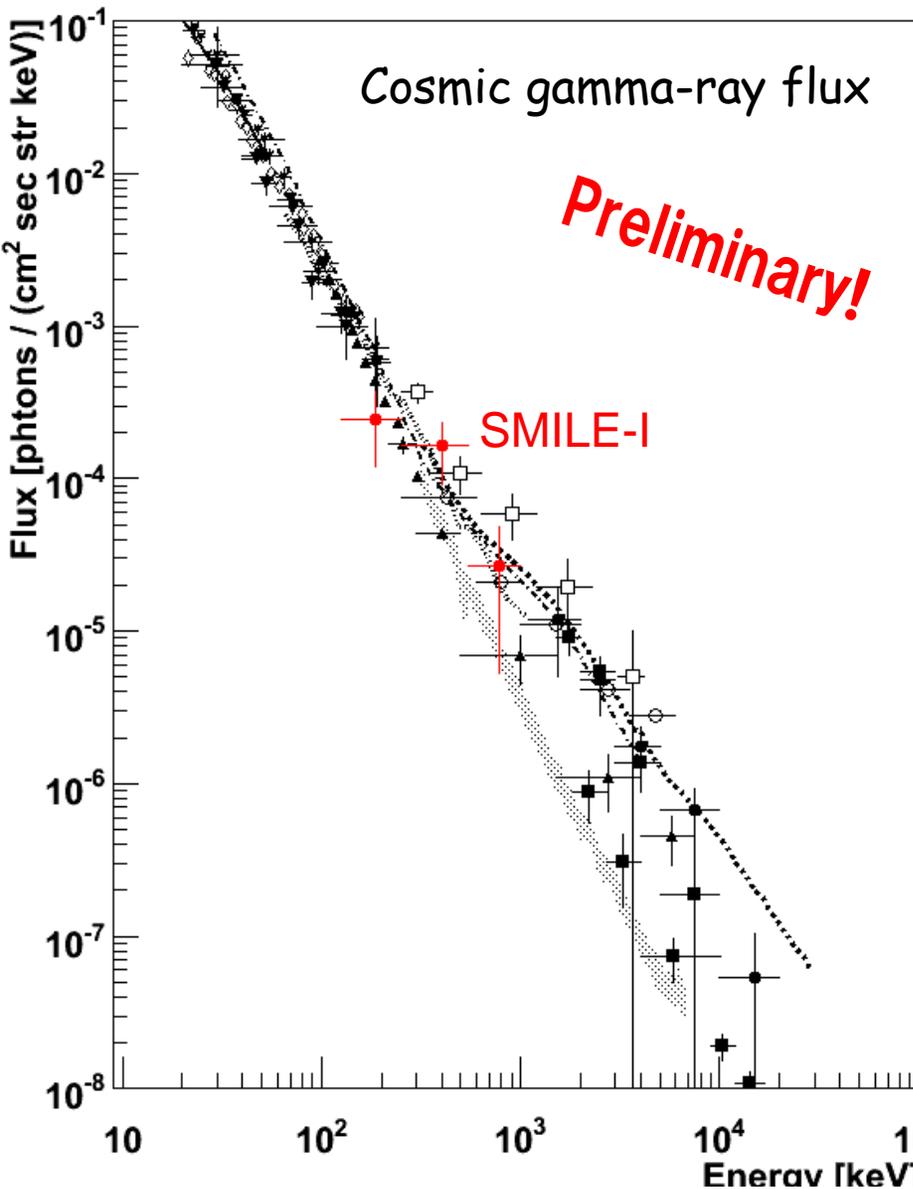
t_{tot} : mean free path

$p(E, z)$: 大気散乱補正項

A, B : free parameter

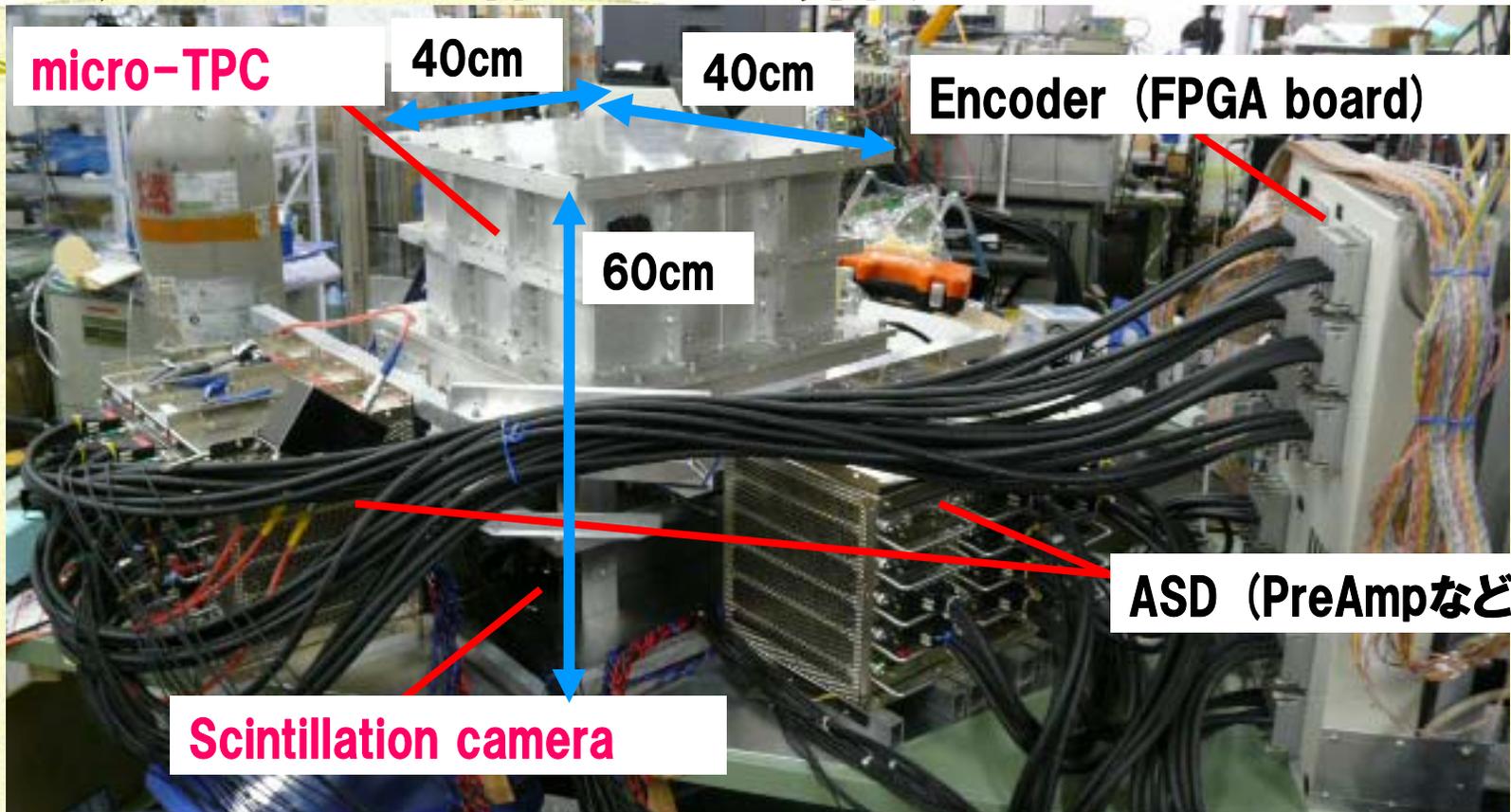


Cosmic & Atmospheric ガンマ線フラックス

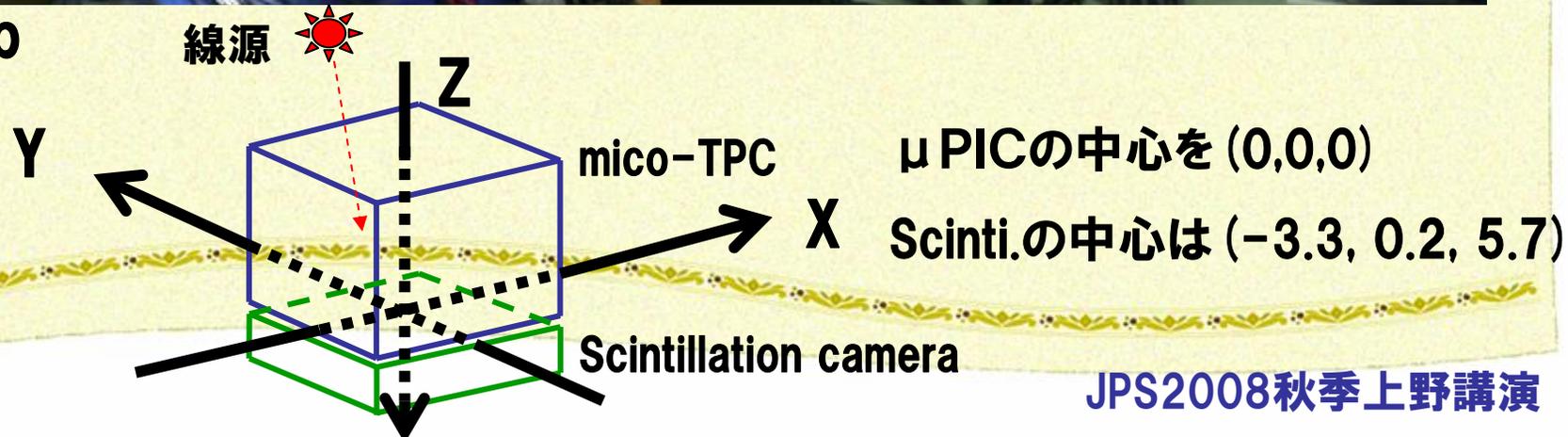


過去の観測と矛盾しない!! ⇒今後、SMILE-IIにも反映させる

(30cm) ^3MeV ガンマ線カメラの現状



Setup



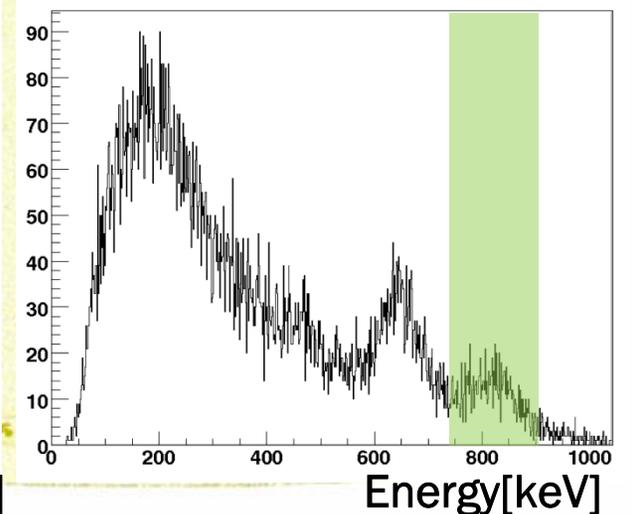
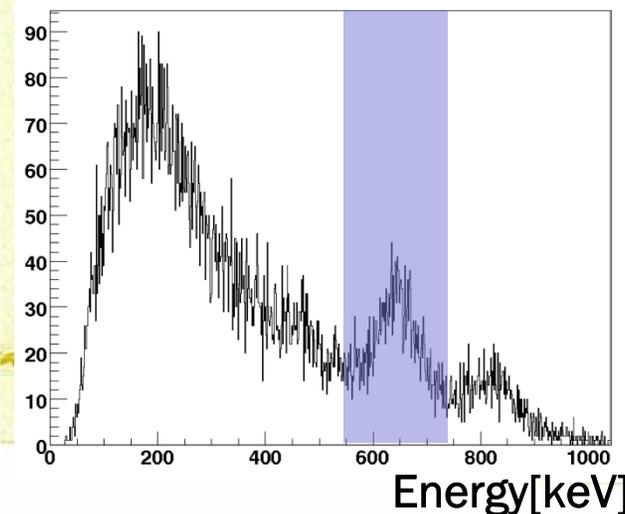
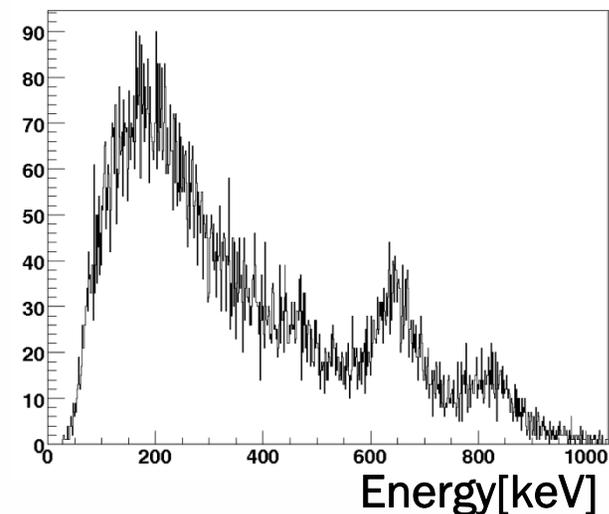
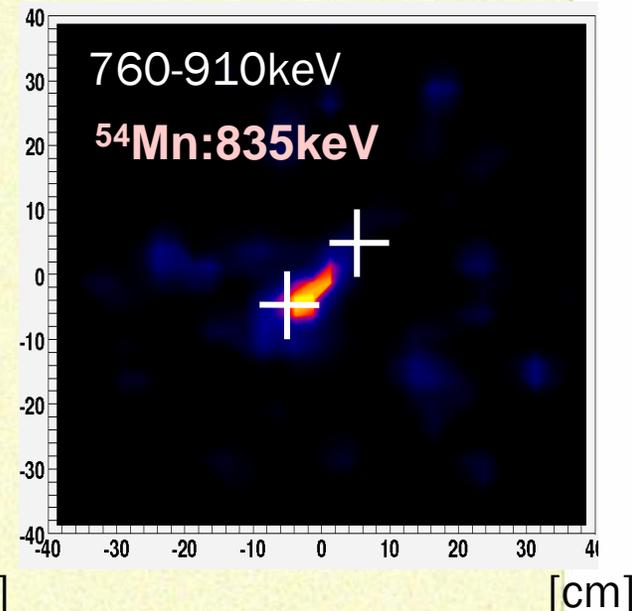
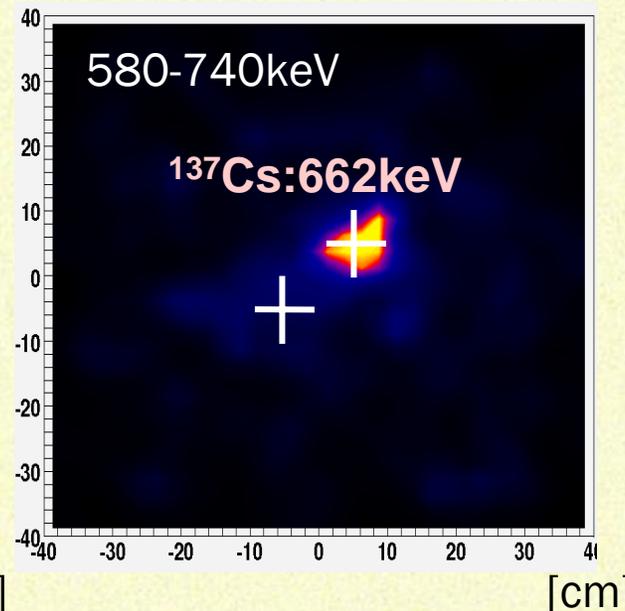
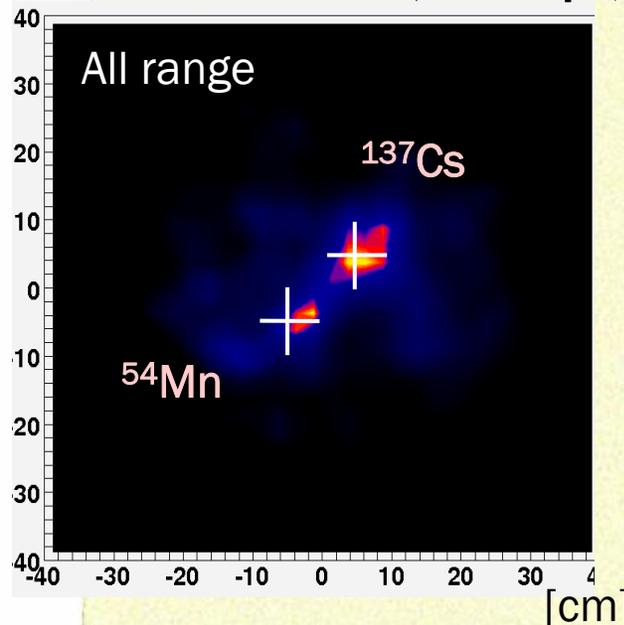
2線源イメージング (preliminary)

^{137}Cs : 662keV, 1MBq (X,Y,Z) = (-5,-5,-58)

ノイズレベル改善

^{54}Mn : 835keV, 1MBq (X,Y,Z) = (5,5,-58)

感度補正+ML-EM法を適用

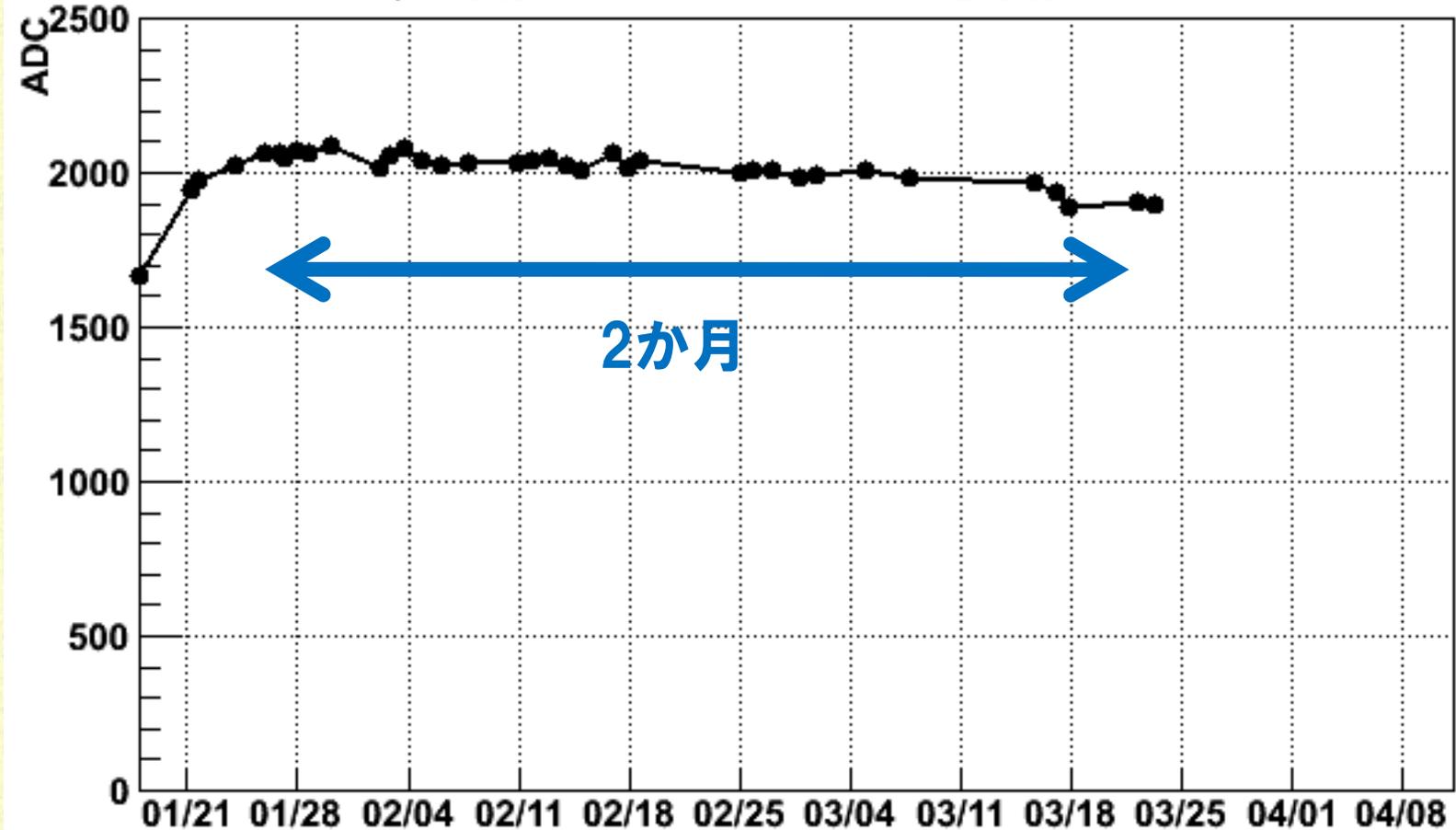


定量的評価はこれから

長期安定性

^{133}Ba : 32keV, 1MBq (X,Y,Z) = (0,0,-58)

TPCのgain変化(32keVピークのADC値変化)



約2か月の間5%以内で安定 ⇒ 気球実験で十分使える

まとめ

- ✓ SMILE計画進行中
- ✓ QARMとGeant4による上空でのバックグラウンド評価
- ✓ SMILE-Iの結果はBGを含め過去の観測と矛盾なし
- ✓ SMILE-IIの現状
 - ✓ 2線源イメージングに成功
 - ✓ 長期安定性 約2か月安定(5%以内)に動作

今後の予定

- ✓ SMILE-IIに向けたバックグラウンド評価
- ✓ (30cm)³カメラの性能向上:tracking logic, gas study
- ✓ 更なる大型化:40cm角カメラ(20cm角 μ PIC \times 4)