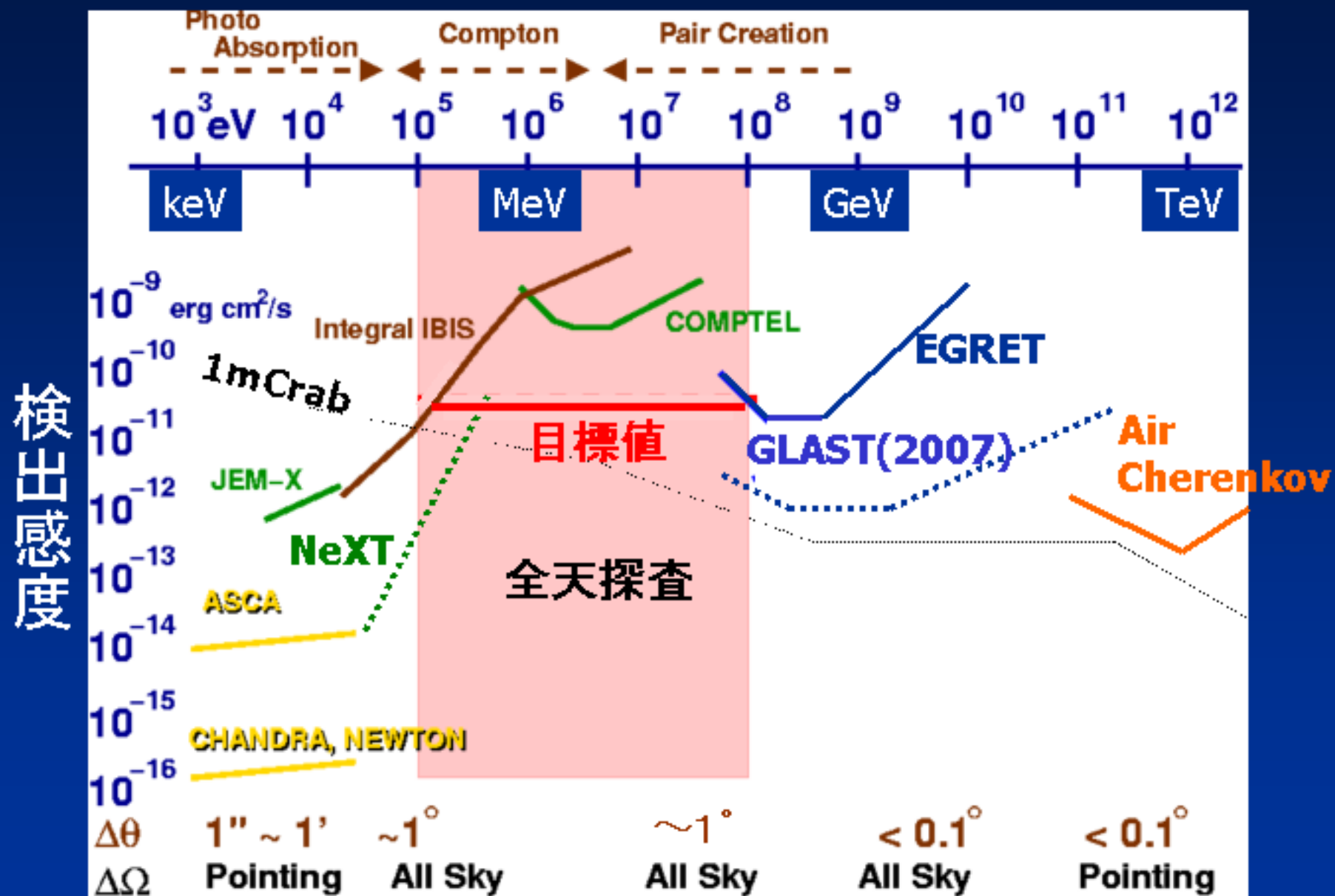


# 電子飛跡測定型コンプトンカメラによる sub-MeVおよびMeVガンマ線観測 (SMILE実験)報告

(京大理) 高田淳史、谷森 達、窪 秀利、  
身内賢太郎、株木重人、岡田葉子、西村広展、  
服部香里、上野一樹、黒澤俊介

- MeVガンマ線コンプトンカメラ
- SMILE実験観測装置
- 気球フライト、観測結果
- まとめと今後

# これまでのX・γ線検出感度

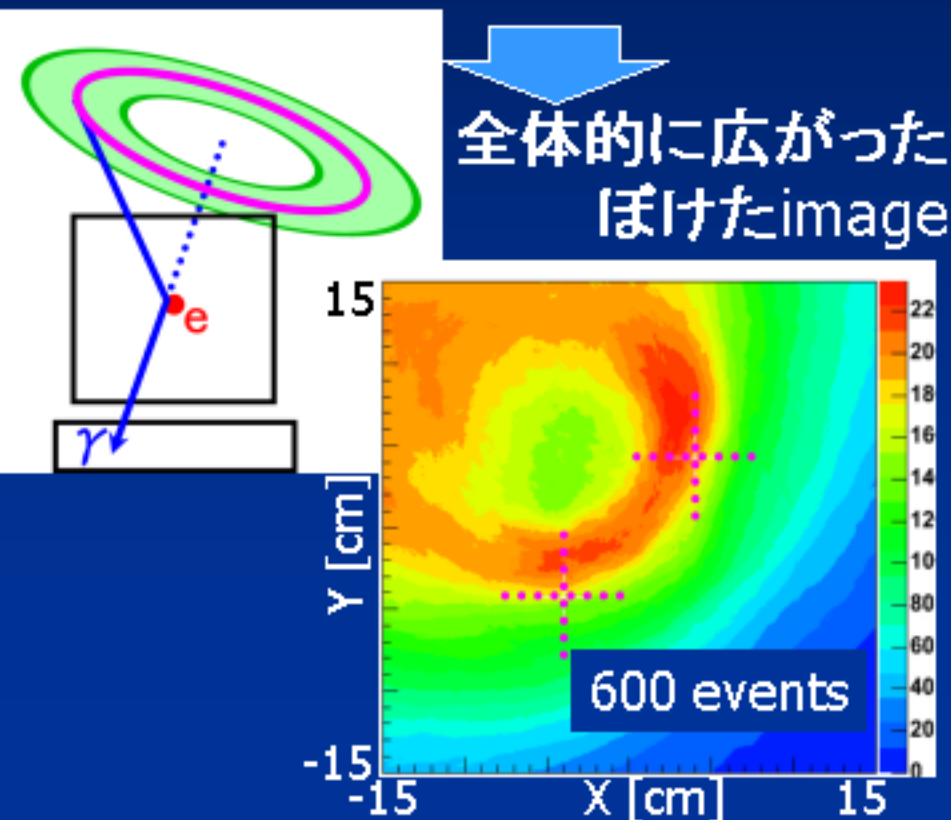


# MeVガンマ線コンプトンカメラ

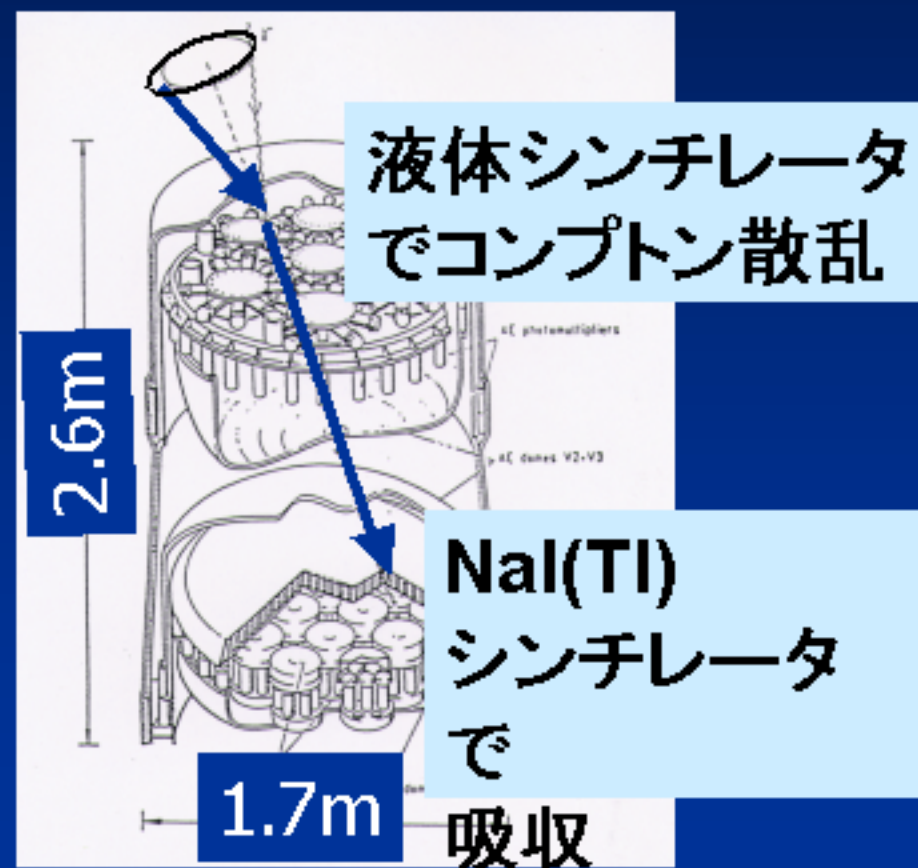
従来型

電子の反跳方向を破棄

- 到来方向を円形に制限
- 誤差はドーナツ型



CGRO衛星COMPTEL

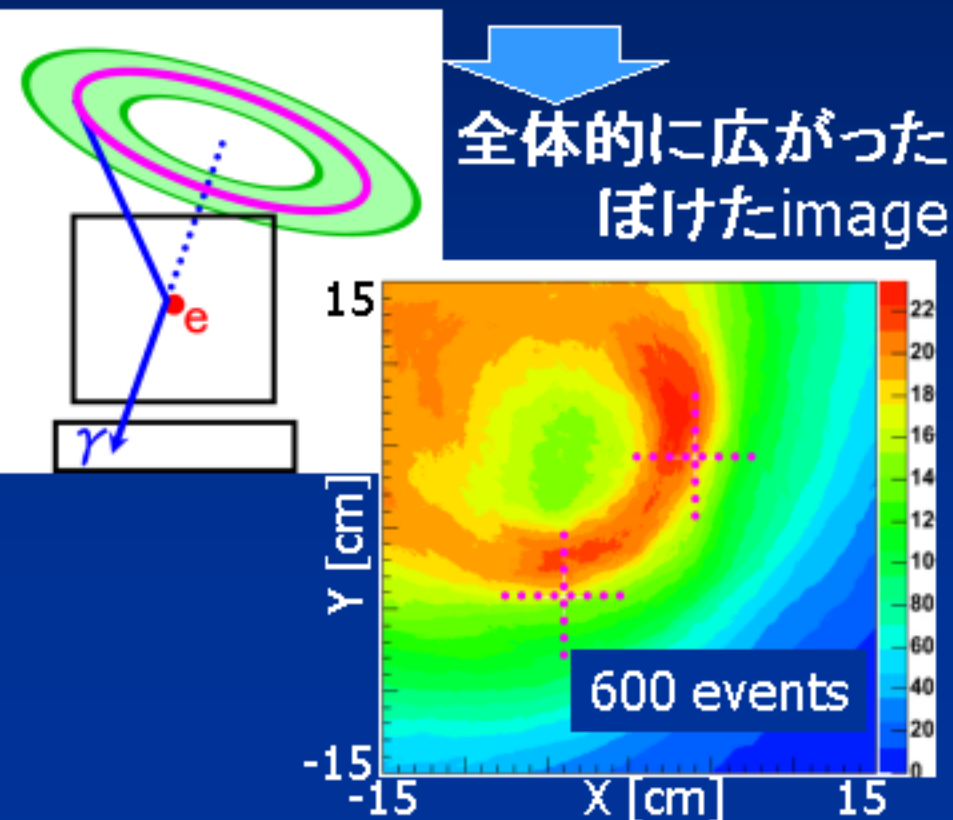


# MeVガンマ線コンプトンカメラ

## 従来型

### 電子の反跳方向を破棄

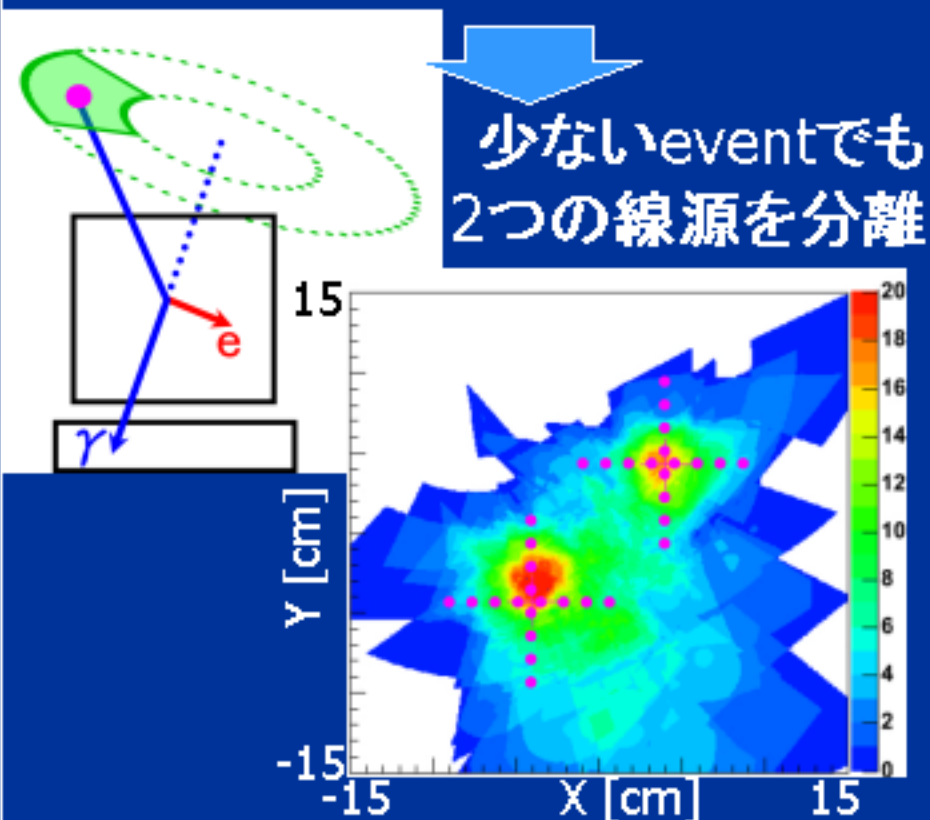
- 到来方向を**円形に制限**
- 誤差は**ドーナツ型**



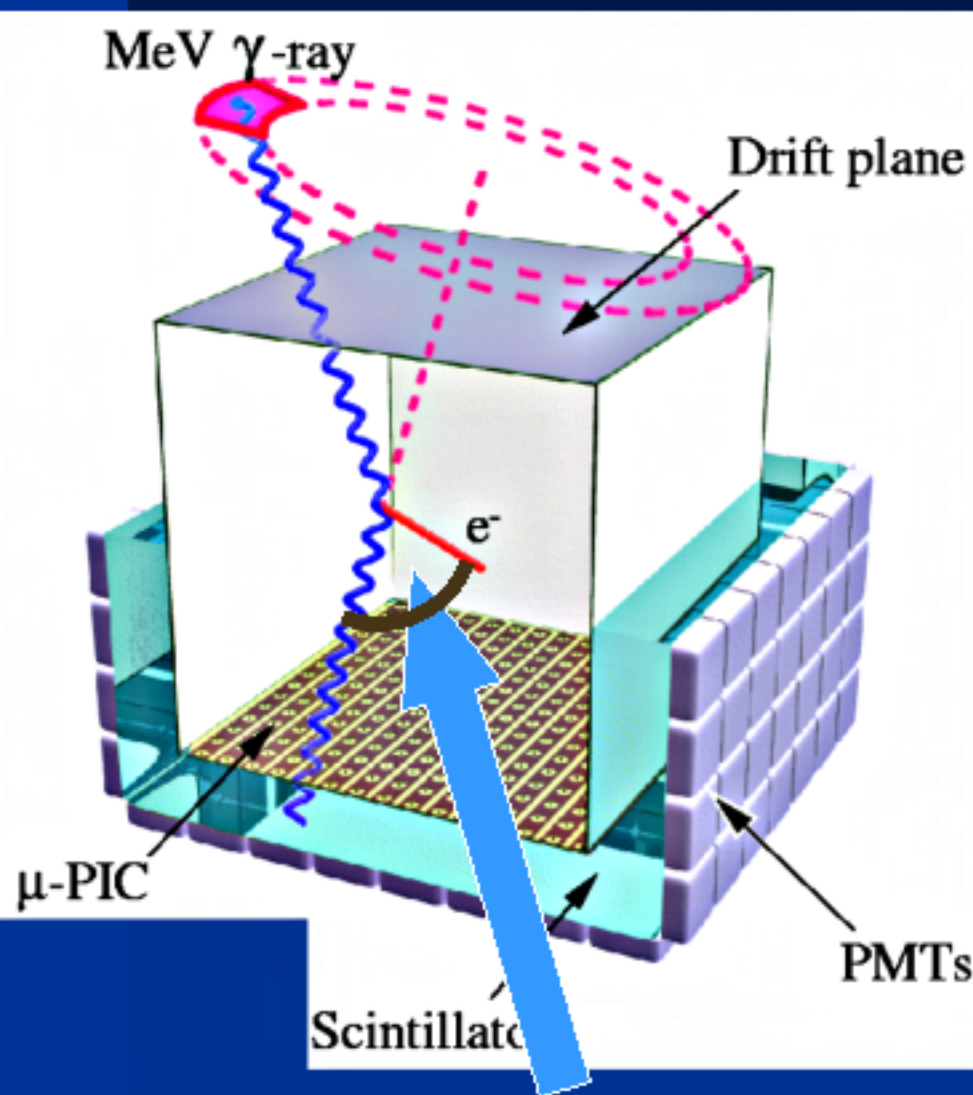
## 改良型

### 電子の反跳方向の測定

- 到来方向を**一意に決定**
- 誤差は**扇型**



# 開発したコンプトンカメラ



## ➤ ガス Time Projection Chamber

Compton散乱反跳電子の  
3次元飛跡、エネルギー  
多重散乱小さく⇒ガス

## ➤ シンチレーションカメラ

散乱 $\gamma$ 線の位置、  
エネルギー

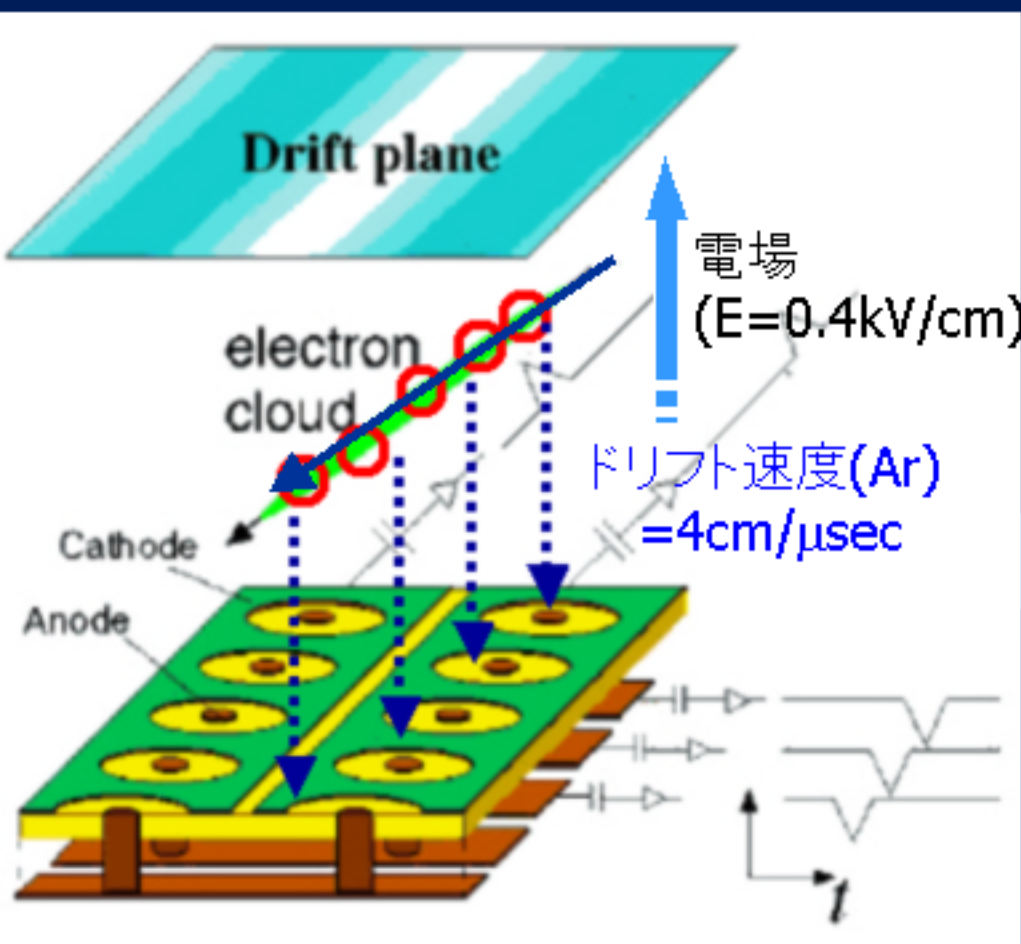
事象毎に  
入射 $\gamma$ 線の到来方向とエ  
ネルギーが分かる。

運動学から求まる値と測定値を比較

シンチレータで全吸収しなかった事象やTPCとシンチの偶発同時事象などを除去

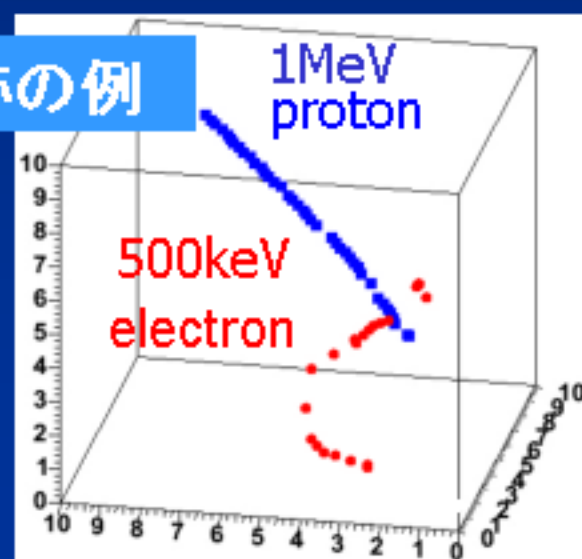
# 反跳電子3次元飛跡測定用 ガスTime Projection Chamber

## ワイヤレスガス比例計数管



- 2次元読出し  
 $10\times 10\text{cm}^2 \sim 65000\text{pixels}$
- 高い位置分解能( $\sim 120\ \mu\text{m}$ )  
細かい飛跡を捉える
- 最大ガス増幅率  $\sim 15000$
- 大強度入射にも耐える

## 飛跡の例



プリント基板技術



# SMILE計画 *Sub-MeV gamma-ray Imaging Loaded-on-balloon Experiment*

(10cm)<sup>3</sup>のMeV  $\gamma$ 線カメラ @三陸 (2006秋)

- ガスTPC@増幅率3万の動作検証  
(GSOシンチレータはWelcome・Suzaku/HXD  
で実証済)
- 宇宙背景・大気ガンマ線測定  
(予想値: 0.1~1MeV 計350フォトン@35km)

(30cm)<sup>3</sup> カメラ @日本 6時間 (2009?)

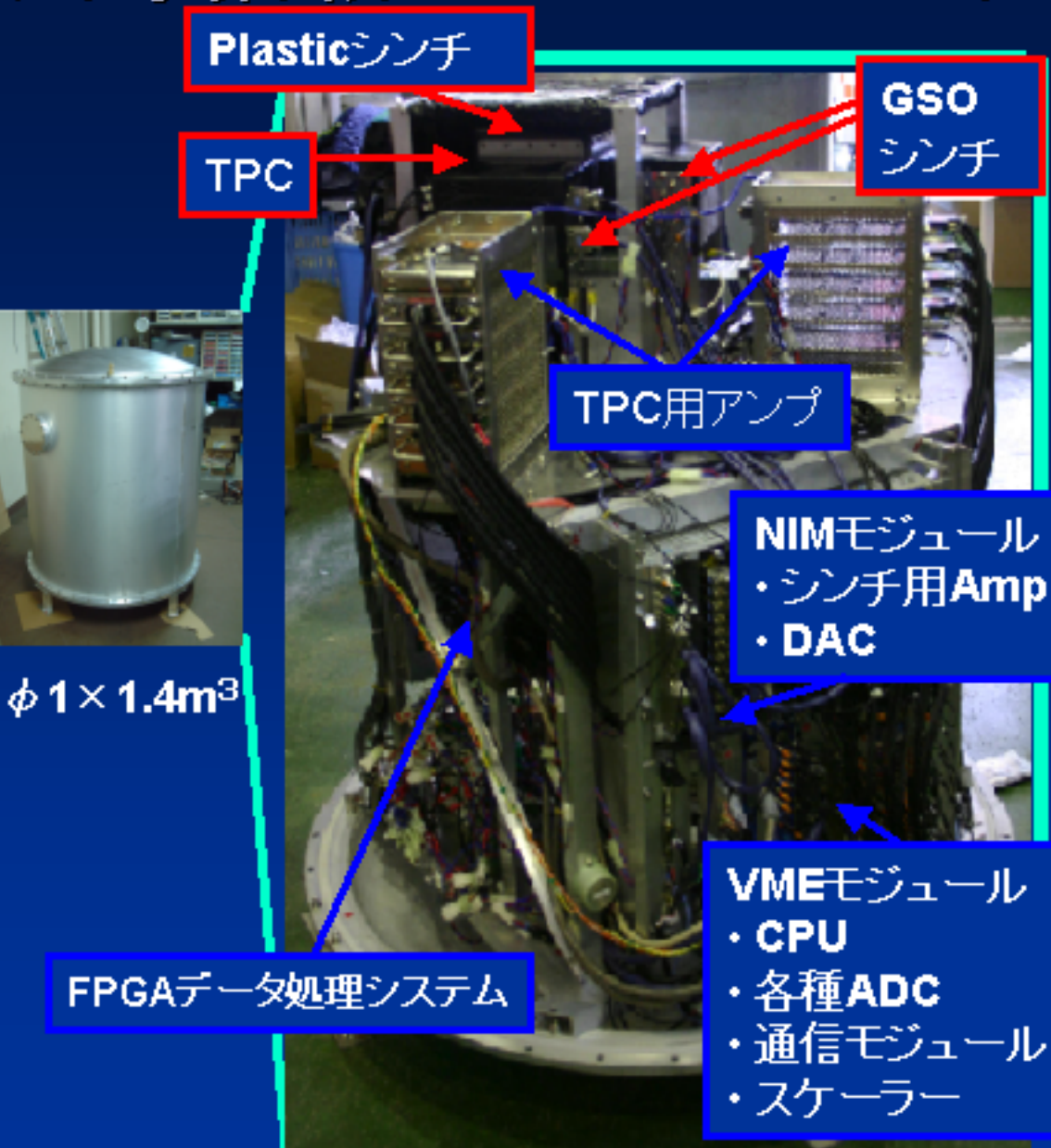
- Crab、Cyg X-1の観測

(40cm)<sup>3</sup> カメラ

スーパープレッシャー気球~10日間

(50cm)<sup>3</sup> カメラ 衛星に搭載し全天サーベイ

# 気球搭載コンプトンカメラ



$\phi 1 \times 1.4m^3$

## TPC

Xe+Ar+C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>ガス  
(80:18:2) 1気圧  
10×10×14cm<sup>3</sup>

## シンチレーションカメラ

3×3PMTs@bottom  
4×(3×2)PMTs@side

## Anti 用Plasticシンチ

30cm × 30cm × 3mm

## 取得データ

すべてHDDに書き込み

+

一部をテレメトリー

地上に送信



# SMILEフライトモデル初号機

- ・ゴンドラサイズ :  $1.45 \times 1.2 \times 1.55 \text{m}^3$
- ・ベッセルサイズ:  $\phi 1 \times 1.4 \text{m}^3$
- ・ゴンドラ 総重量 397kg
- ・総消費電力:  $\sim 350 \text{W}$
- ・ベッセル内部:  $220 \text{W}$

## 与圧ベッセル内 (1 atm)

- 検出器
- DAQシステム・記憶装置
- 温度センサー・圧力計
- GPS本体・傾斜計

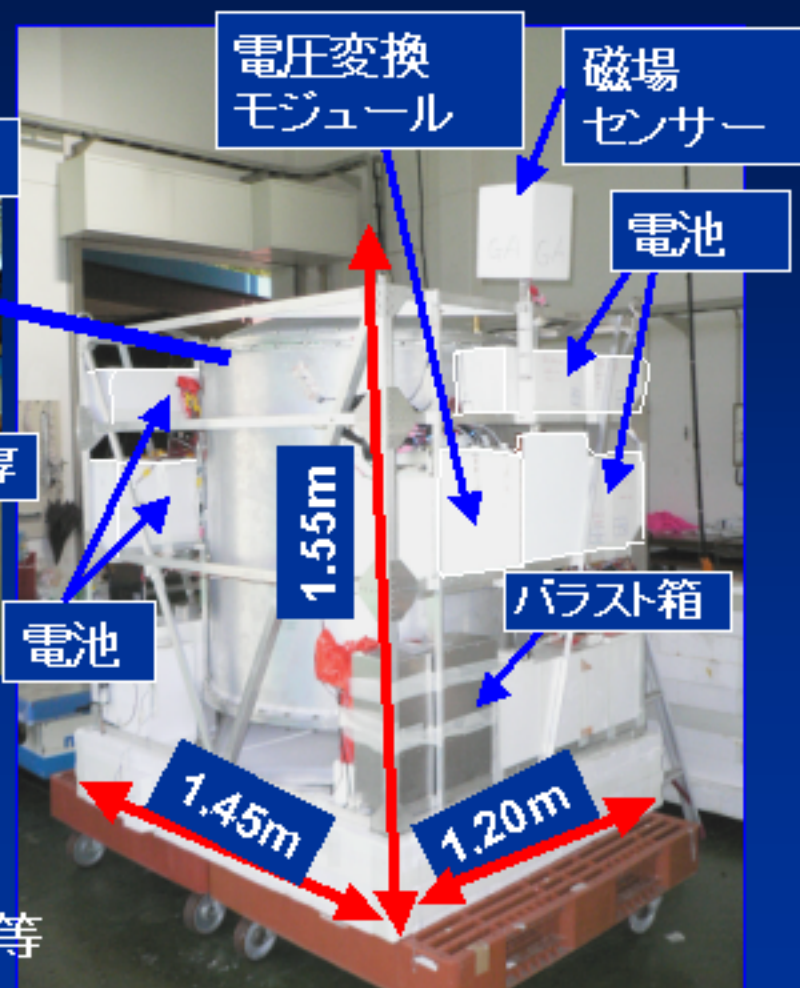


## ベッセル外

- 電源供給システム
- 電池
- 温度センサー・圧力計
- GPSアンテナ・磁場センサー

## 気球工学

- 送信器・受信器
- トラポン・ブイ・ゾンデ
- GPS・圧力計・温度計等



バックグランド測定 ⇒ 姿勢制御なし

# 気球

・ B100

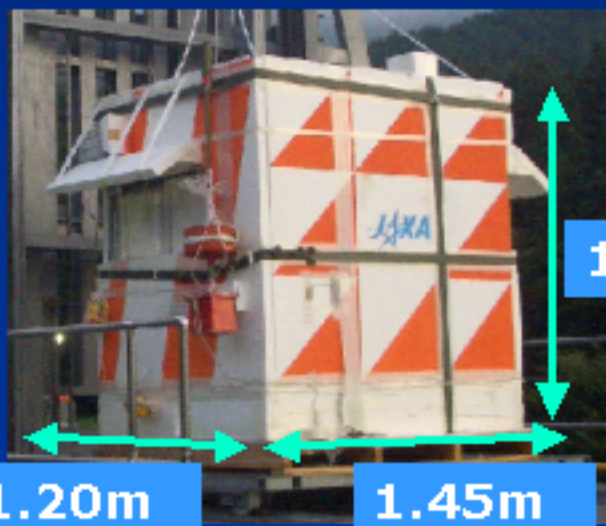
・ 総重量 816kg

（気球263kg、ゴンドラ397kg  
荷姿25.8kg、バラスト130kg）

・ 総浮力 888.2kg



SMILE



1.55m

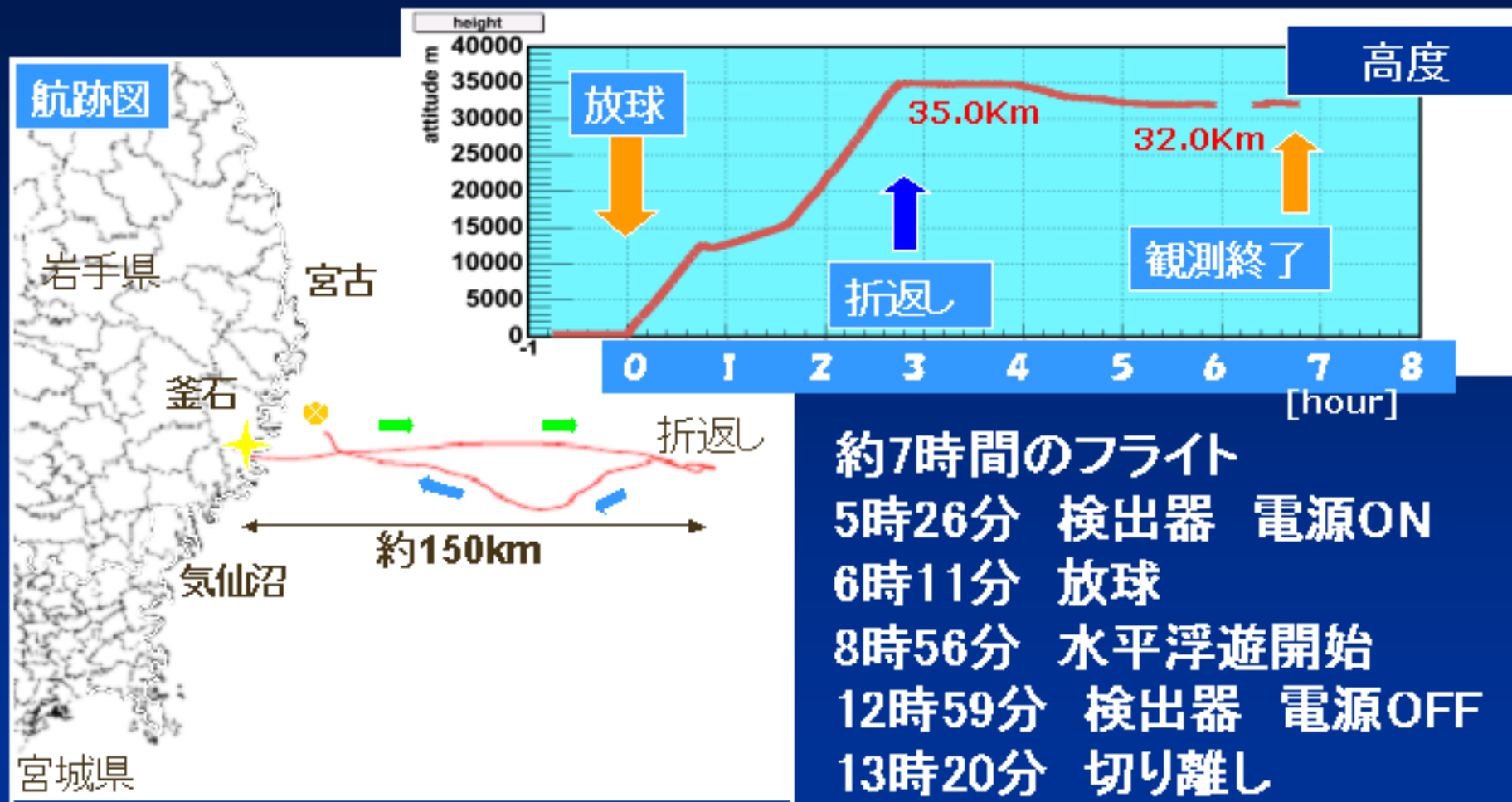
1.20m

1.45m

荷姿

# フライト

- ・ 三陸大気球観測所
- ・ 2006年9月1日6時11分放球

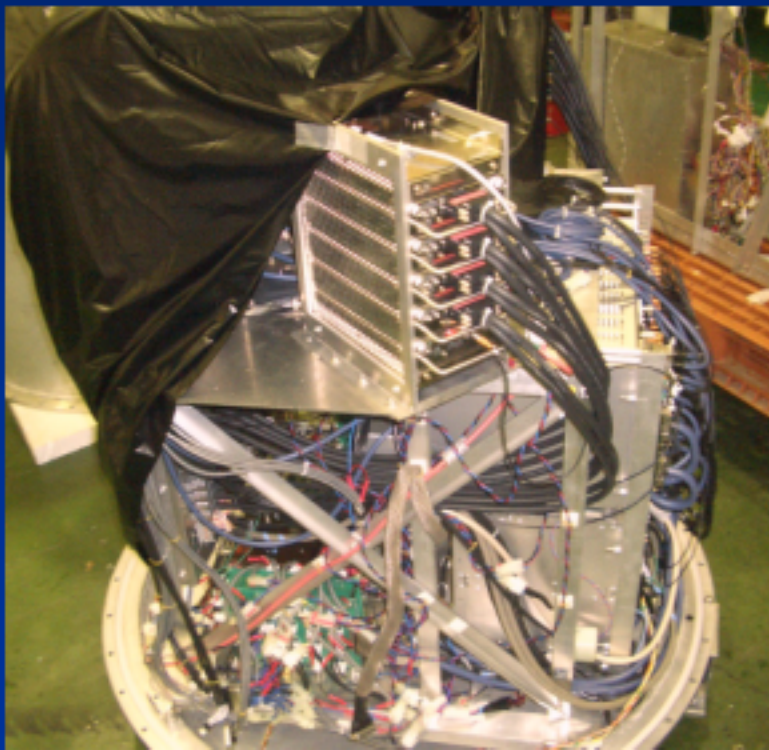


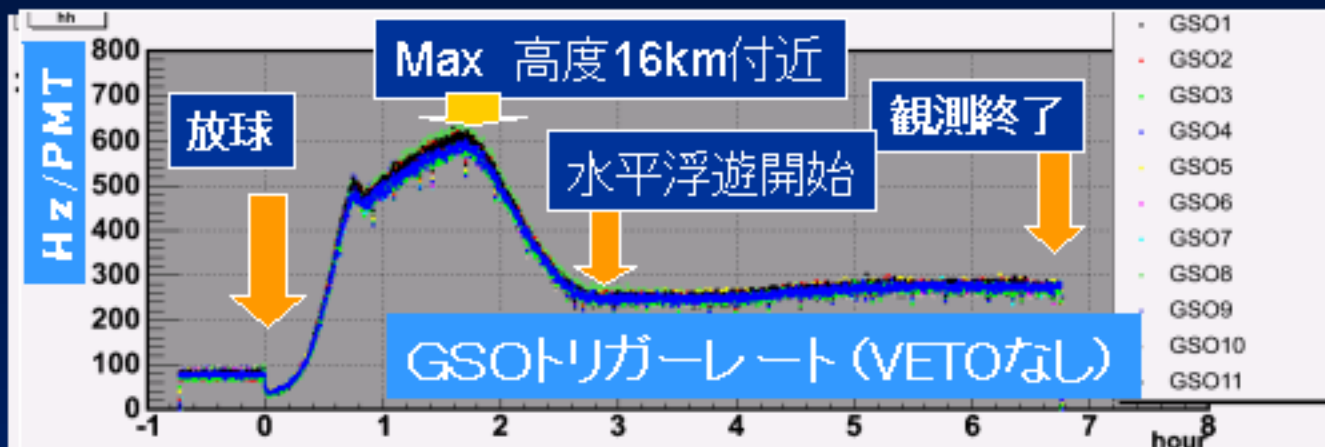
約7時間のフライト  
5時26分 検出器 電源ON  
6時11分 放球  
8時56分 水平浮遊開始  
12時59分 検出器 電源OFF  
13時20分 切り離し  
13時45分頃 釜石沖 着水  
14時32分 回収



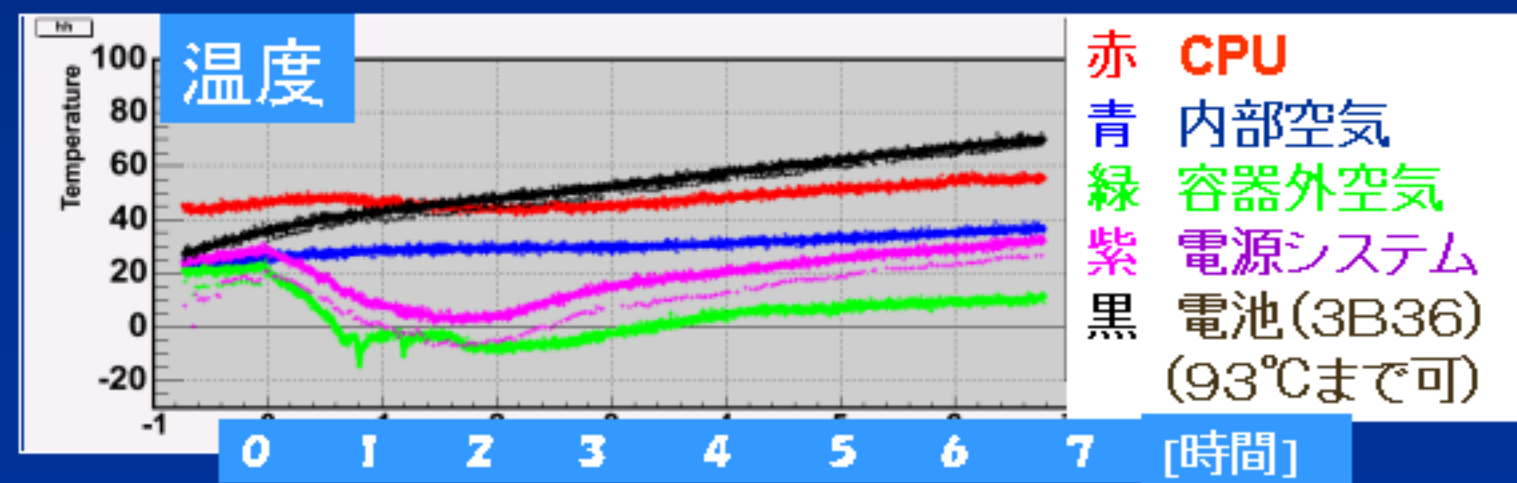
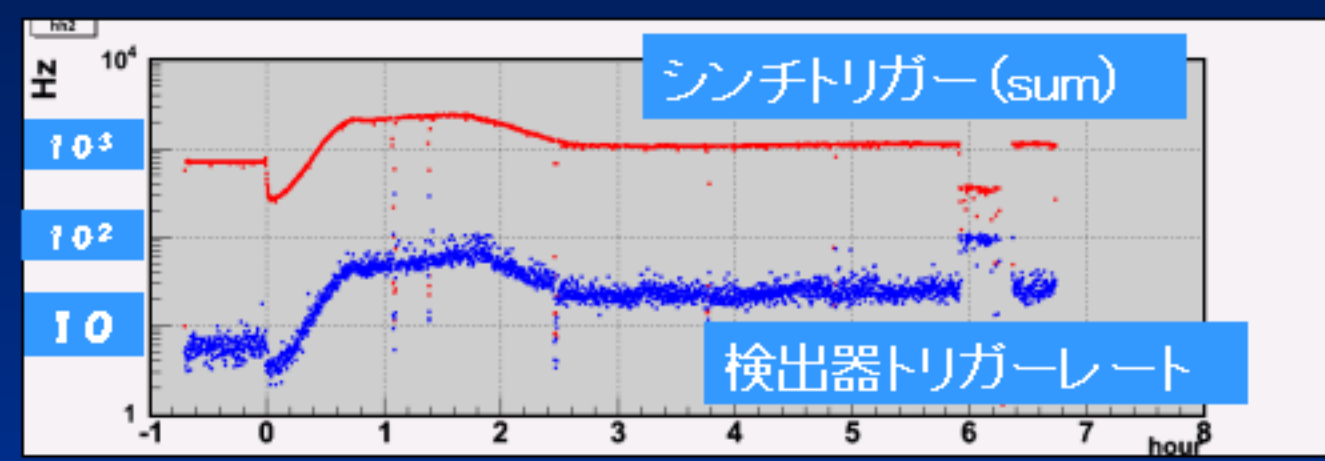
# 回収された検出器

- フレームゆがみ 特になし
- 与圧容器内 浸水なし
- 観測データHDD 損傷なし
- ガスTPC 異常なし
- GSOシンチ+PMT 異常なし

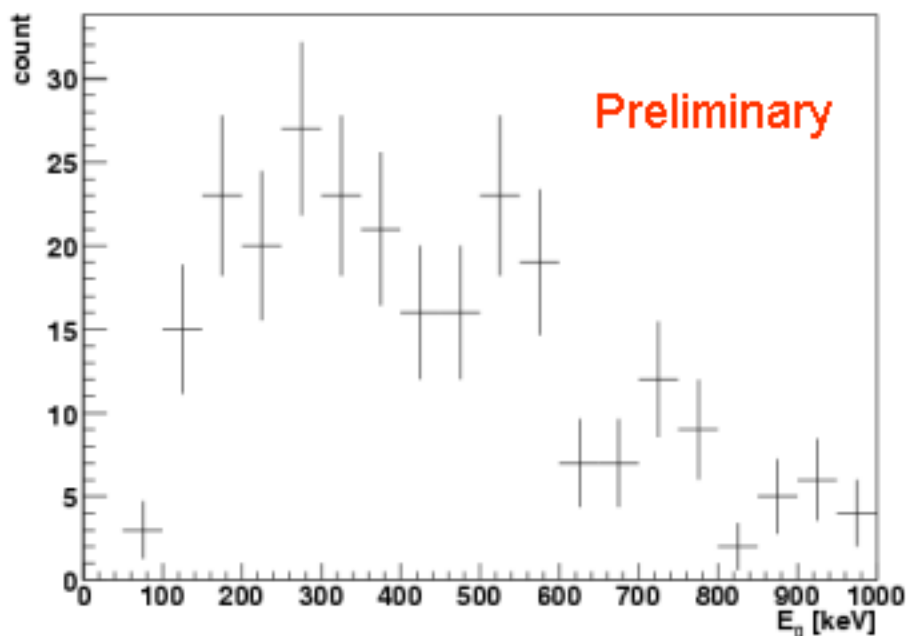




- ・ **テレメリー**  
良好
- ・ **検出器・DAQ**  
フライト全期間で  
正常に動作
- ・ **データ取得レート**  
20Hz程度
- ・ **Dead time**  
~10%



# ガンマ線観測モード

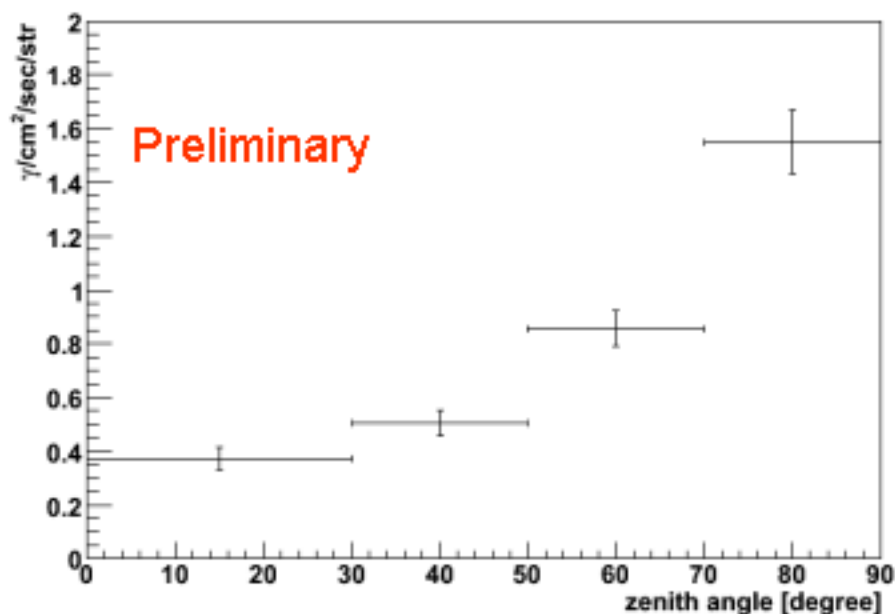


← レベルフライトで観測された  
ガンマ線スペクトル

- 高度32~35 km, 3.5時間
- 視野 3str 内のイベントのみ
- Total ~250 photons

天頂角依存性 →

- 100~900 keV
- 高度32~35km, 3.5h

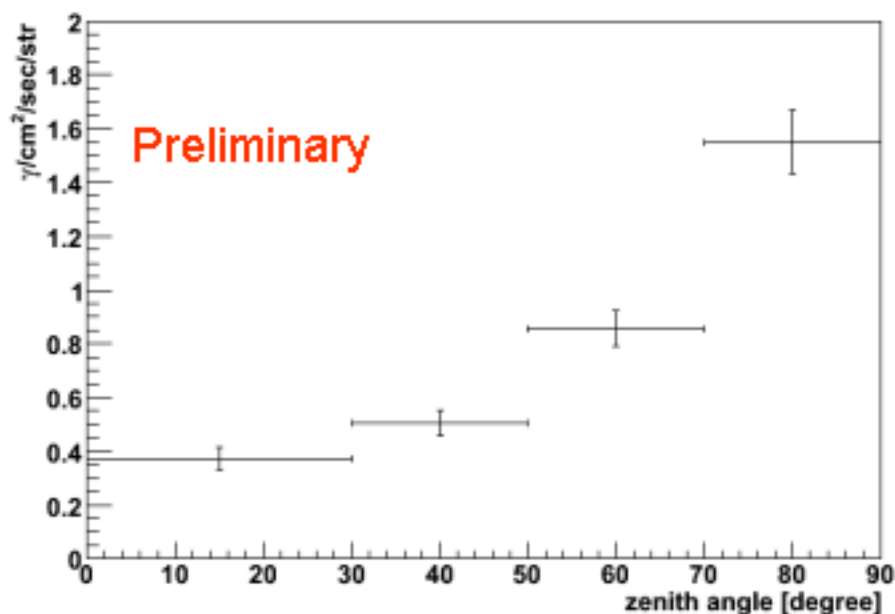
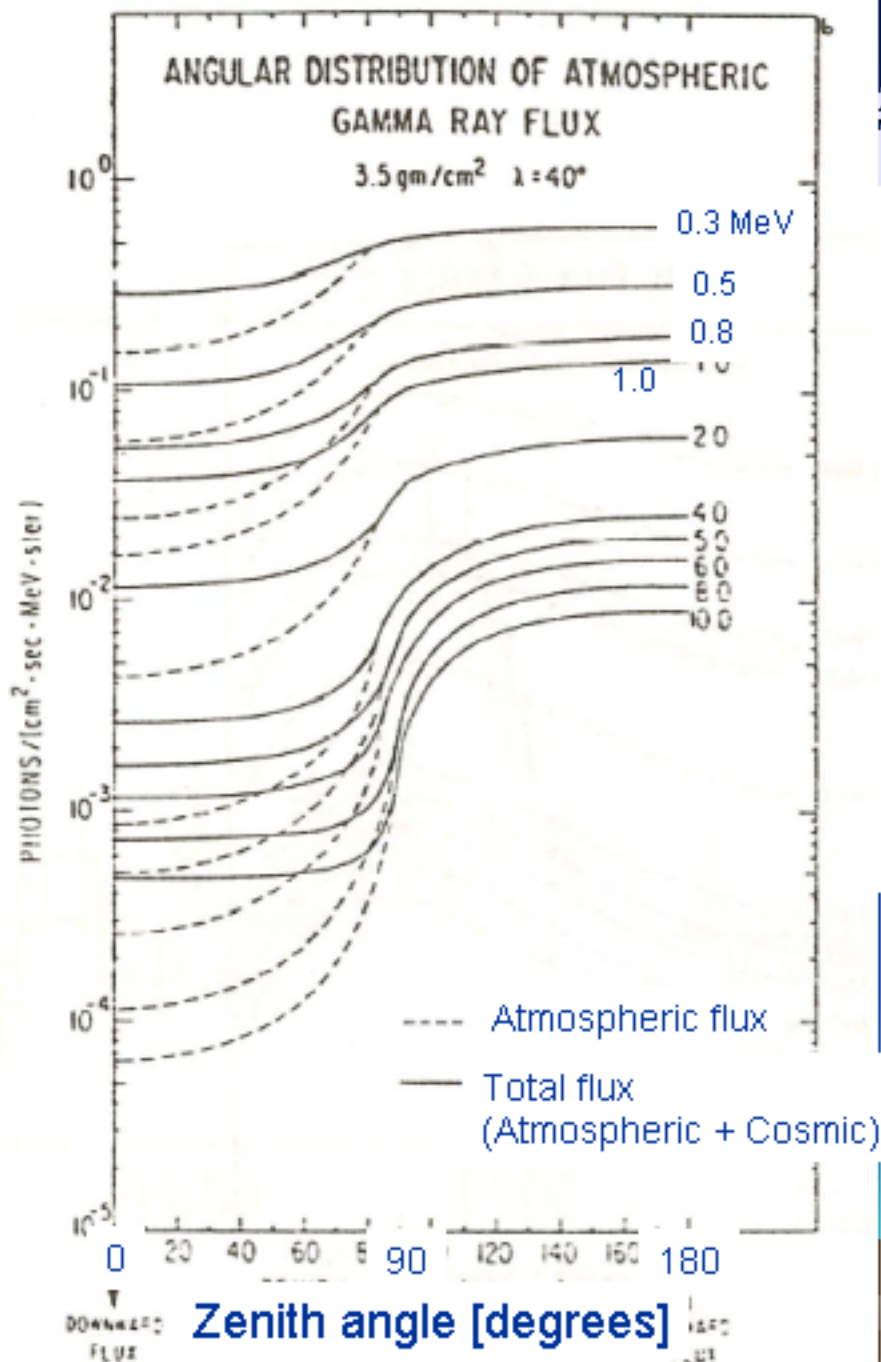




# 観測モード

← レベルフライトで観測された  
ガンマ線スペクトル

- 高度32~35 km, 3.5時間
- 視野 3str 内のイベントのみ
- Total ~250 photons



# ← 大気の厚みに対する カウントレートの変化

- 視野(3str)内
- エラーバーは統計のエラーのみ
- 図中の曲線は cosmic成分:

$$F_c = a E^{-b} \times \exp(-z/\tau_{tot})$$

a,b: free parameter

$\tau_{tot}$ : mean free path

atmospheric成分:

$$F_a = c E^{-d} \times z$$

c,d: free parameter

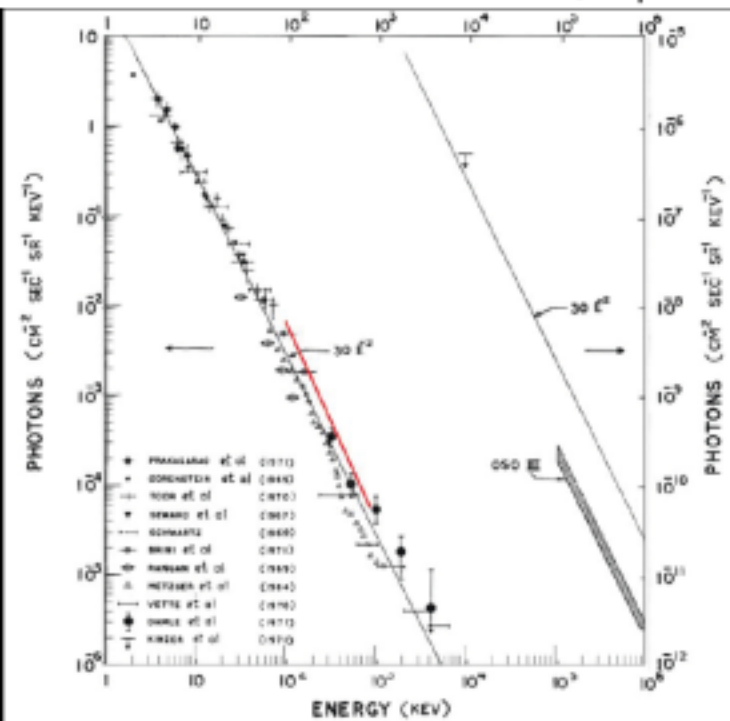
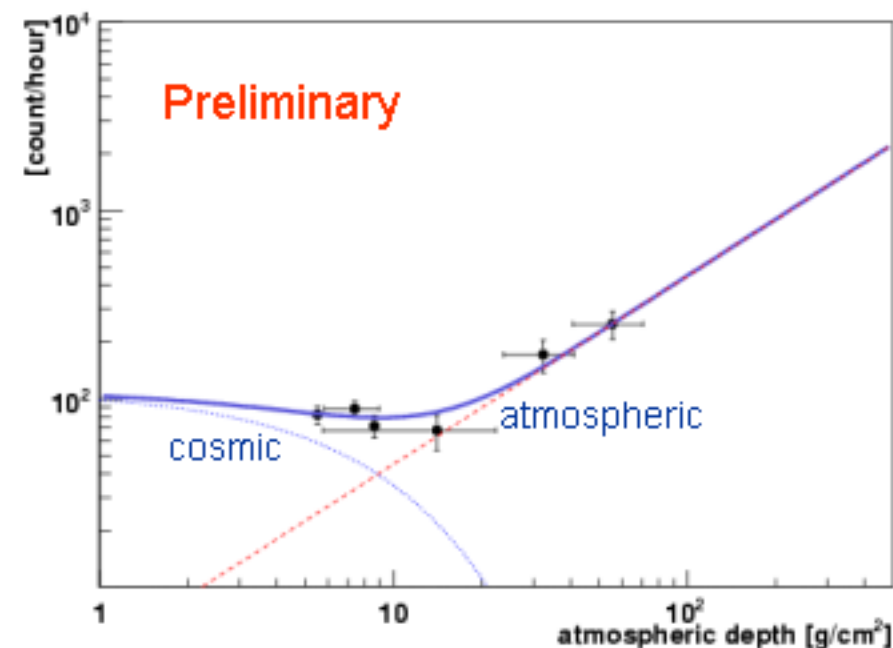
と仮定して

$$R(z) = \int (F_c + F_a) \varepsilon_{eff} dE$$

でfittingして得たもの

# ← Diffuse Cosmic Gamma-ray flux

赤線: 今回の実験で得られたflux

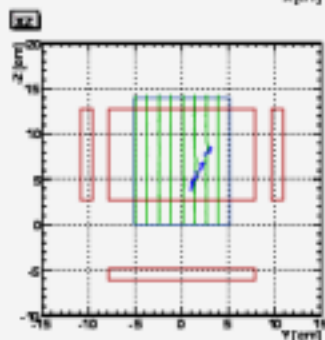
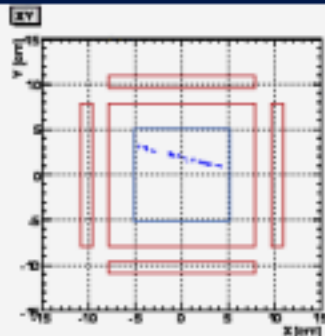
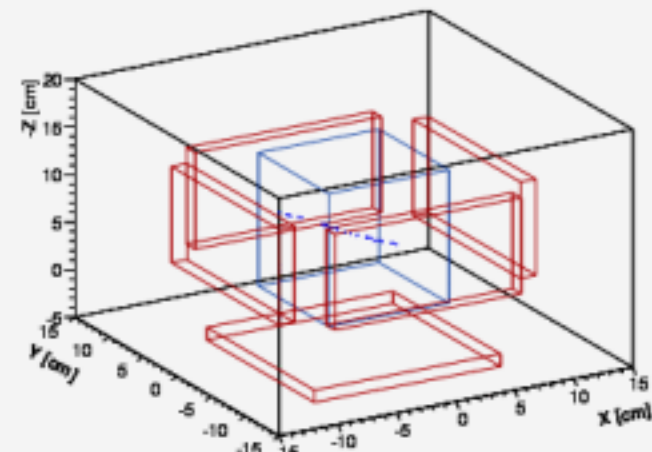


# 荷電粒子トリガーモード

## dE/dx分布 (Single track)

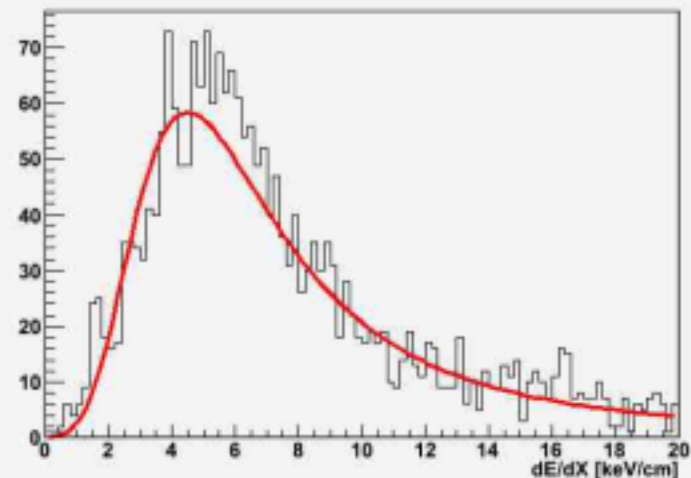
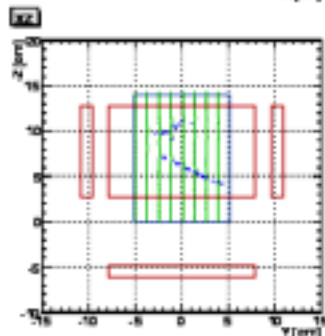
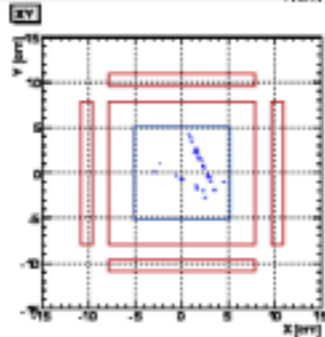
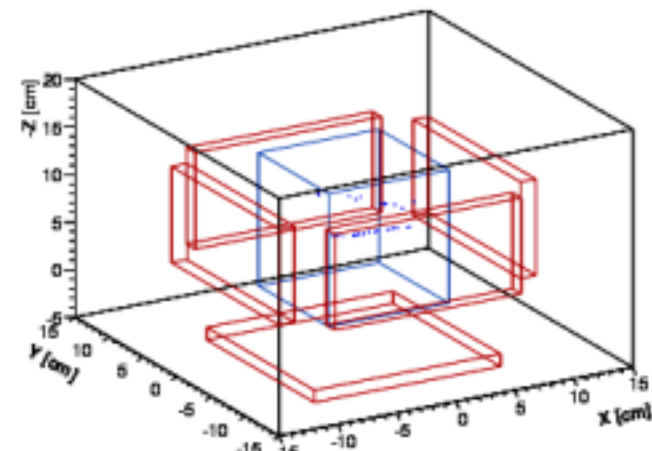
per1 track\_DD-1523  
Fri Sep 1 12:08:40 2006

### Single Track



per1 track\_DD-1739  
Fri Sep 1 12:08:46 2006

### Multi Track

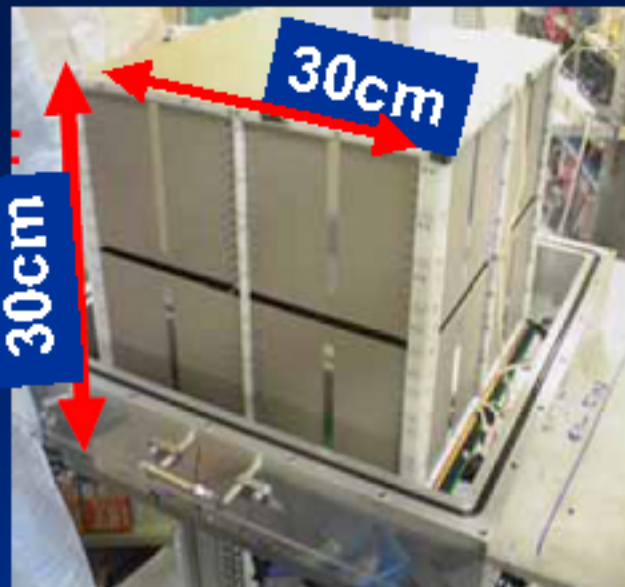


赤: ランダウ関数でのfit  
4.8 keV/cm @ ピーク

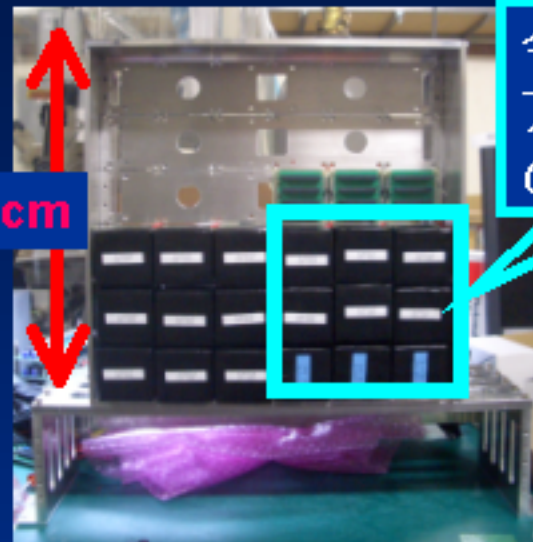
MIP計算値  
5.3 keV/cm

# 30cm角 $\gamma$ 線カメラ開発

30cm角ガスTPC

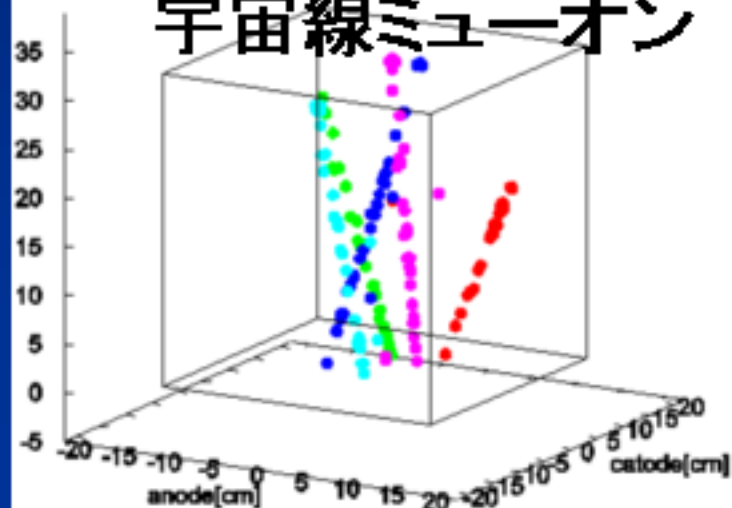


30cm角GSOシンチレーションカメラ



今までの  
アレイカメラ  
の大きさ

宇宙線ミュオン



省電力化

- TPC用CMOS LSI  
(KEKと共同開発)
- PMT用CMOS LSI  
IDE社VATAチップ試験中

## まとめ

- ◆ 電子飛跡検出型サブMeV  $\gamma$  線コンプトンカメラを用いた気球実験(SMILE)
  - 10X10X14cm<sup>3</sup> ガスTPC+GSOシンチレーションカメラ
  - 宇宙拡散・大気2次  $\gamma$  線測定
- ◆ 2006年9月1日放球、7時間フライト
  - 高度32~35kmで約4時間のレベルフライト
- ◆ 回収された検出器→異常なし
- ◆ ガンマ線検出モード、荷電粒子トリガーモード 正常動作
- ◆ 3.5時間の観測で~250個のガンマ線を検出

## 今後の予定

- ◆ 戻ってきた検出器の細かいチェック
- ◆ フライトデータの詳細な解析
- ◆ 次のフライトへ向けた準備(カメラ30cm角大型化、省電力化)