



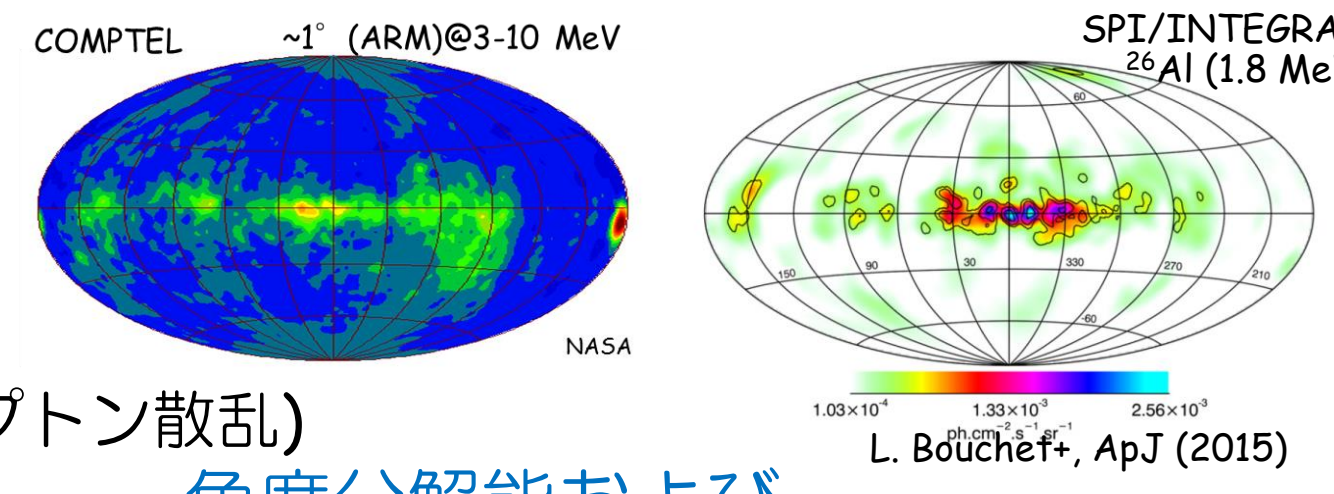
# SMILE-2+ : 広視野MeVガンマ線望遠鏡の性能評価と2018年豪州気球実験



高田淳史, 谷森達, 水村好貴, 竹村泰斗, 吉川慶, 中村優太, 小野坂健, 斎藤要, 阿部光, 水本哲矢, 窪秀利, 古村翔太郎, 岸本哲朗, 中増勇真, 谷口幹幸, 小財正義<sup>1</sup>, 黒澤俊介<sup>2,3</sup>, 身内賢太郎<sup>4</sup>, 澤野達哉<sup>5</sup> (京都大,<sup>1</sup>JAXA,<sup>2</sup>東北大,<sup>3</sup>山形大,<sup>4</sup>神戸大,<sup>5</sup>金沢大)

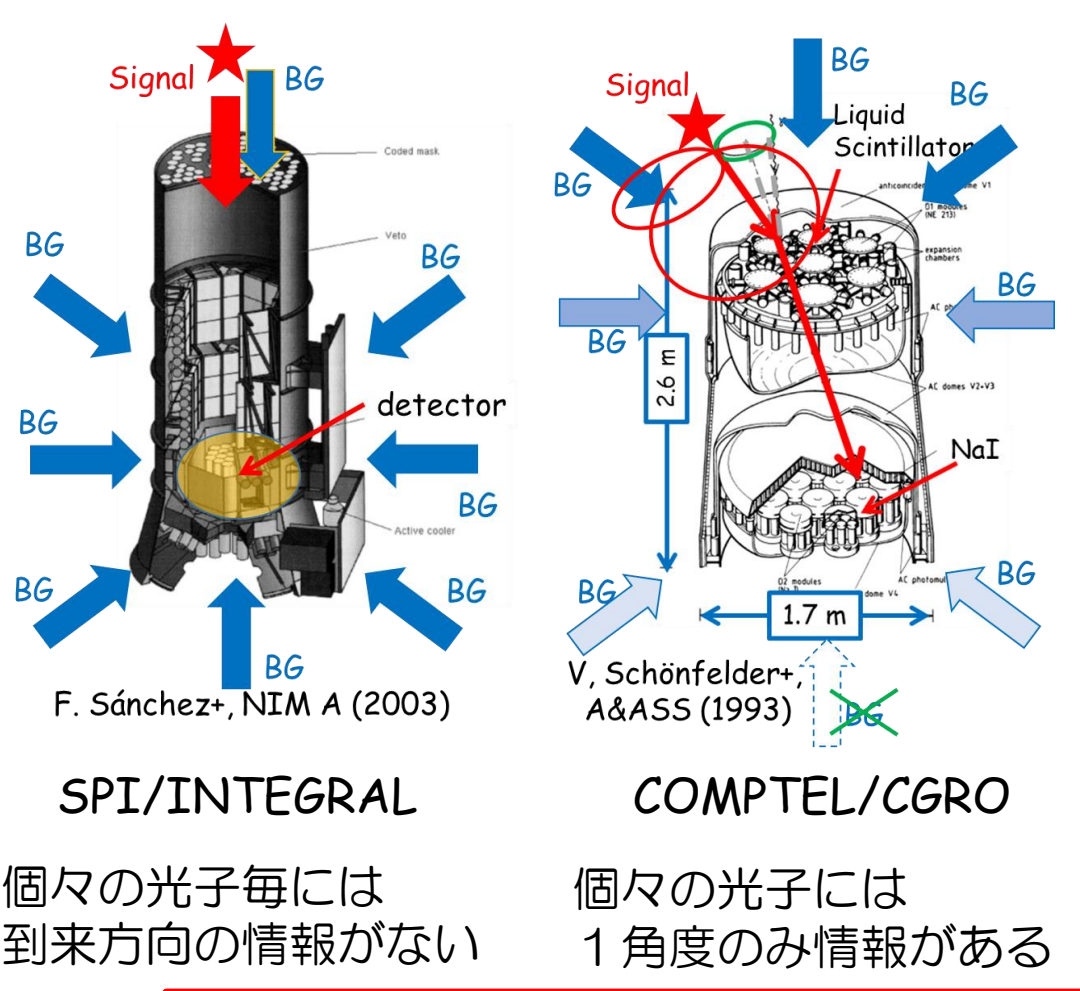
## 1. MeVガンマ線天文学の現状

- 元素合成
  - 超新星残骸：元素合成のプロセスの解明
  - 銀河面 (<sup>26</sup>Al, <sup>60</sup>Fe)：元素拡散のトレース
- 粒子加速
  - 活動銀河核, ガンマ線バースト：放射機構の解明
  - 超新星残骸：宇宙線加速源の探査 ( $\pi^0$ -decay or 逆コンプトン散乱)
- 遠方宇宙
  - 活動銀河核：銀河の進化への制限 (anisotropy)
  - ガンマ線バースト：宇宙初期の星生成 ...など



角度分解能および雑音除去に苦勞し感度は悪いまま進展がない

MeVガンマ線天文学の開拓には将来的に1 mCrabの感度が必要

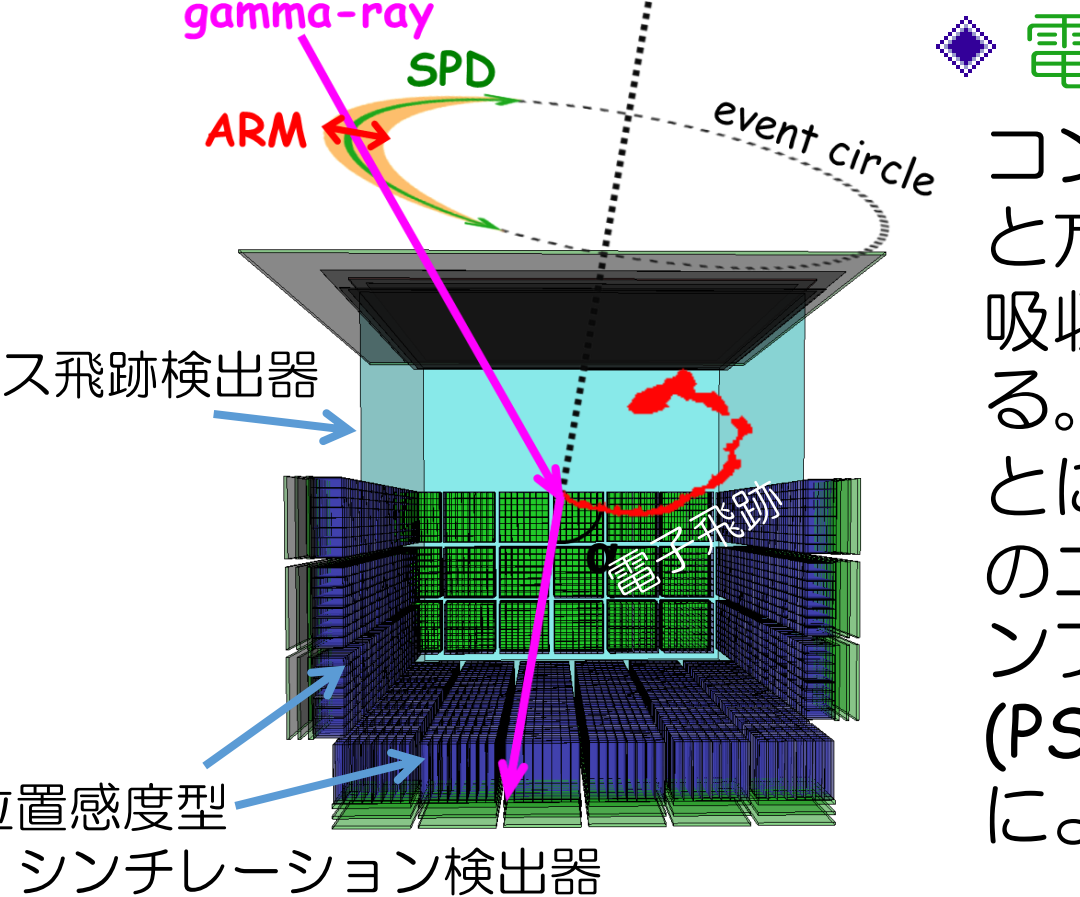


ガンマ線の到来方向：2つの角度情報で表現  
符号化マスク法：光子毎には方向情報がない  
従来コンプトン法：光子毎には角度情報は1つのみ

MeVガンマ線は、透過力が高く、相互作用は散乱が優位である。このため、情報が不足する従来の観測方法では、観測領域への多量に生成される雑音の漏れこみを防げない。従って、MeVガンマ線天文学を切り拓くには、光子毎に到来方向を測定できる、新しい手法が必須である。

到来方向の2角度を光子毎に測定する新しい観測手法が必須

## 2. 電子飛跡検出型コンプトン望遠鏡

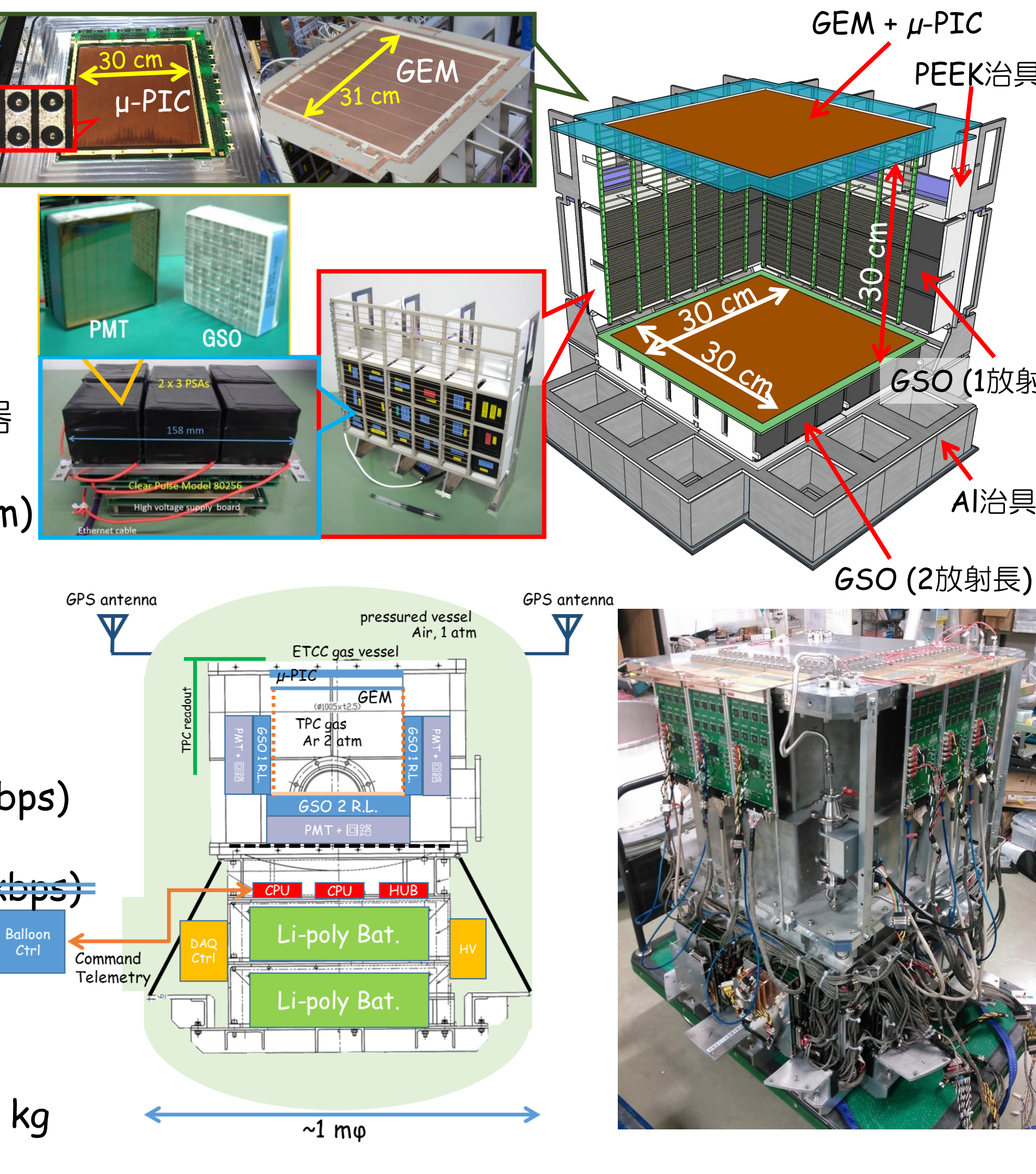


電子飛跡検出型コンプトンカメラ (ETCC)  
コンプトン散乱を利用したガンマ線望遠鏡。反跳電子のエネルギーと方向を取得するガス飛跡検出器と、散乱ガンマ線のエネルギーと吸収点を取得する位置感度型シンチレーション検出器から構成される。COMPTELでは取得できなかった反跳電子の方向を取得することにより、運動量の足し算という単純な方法で、入射したガンマ線のエネルギーと方向を光子毎に測定できる。これにより、従来のコンプトンイメージング法では不可能な鋭いPoint Spread Function (PSF)を実現できる。さらにガンマ線検出に使用しないパラメータにより、非常に強力な雑音除去を可能とする。

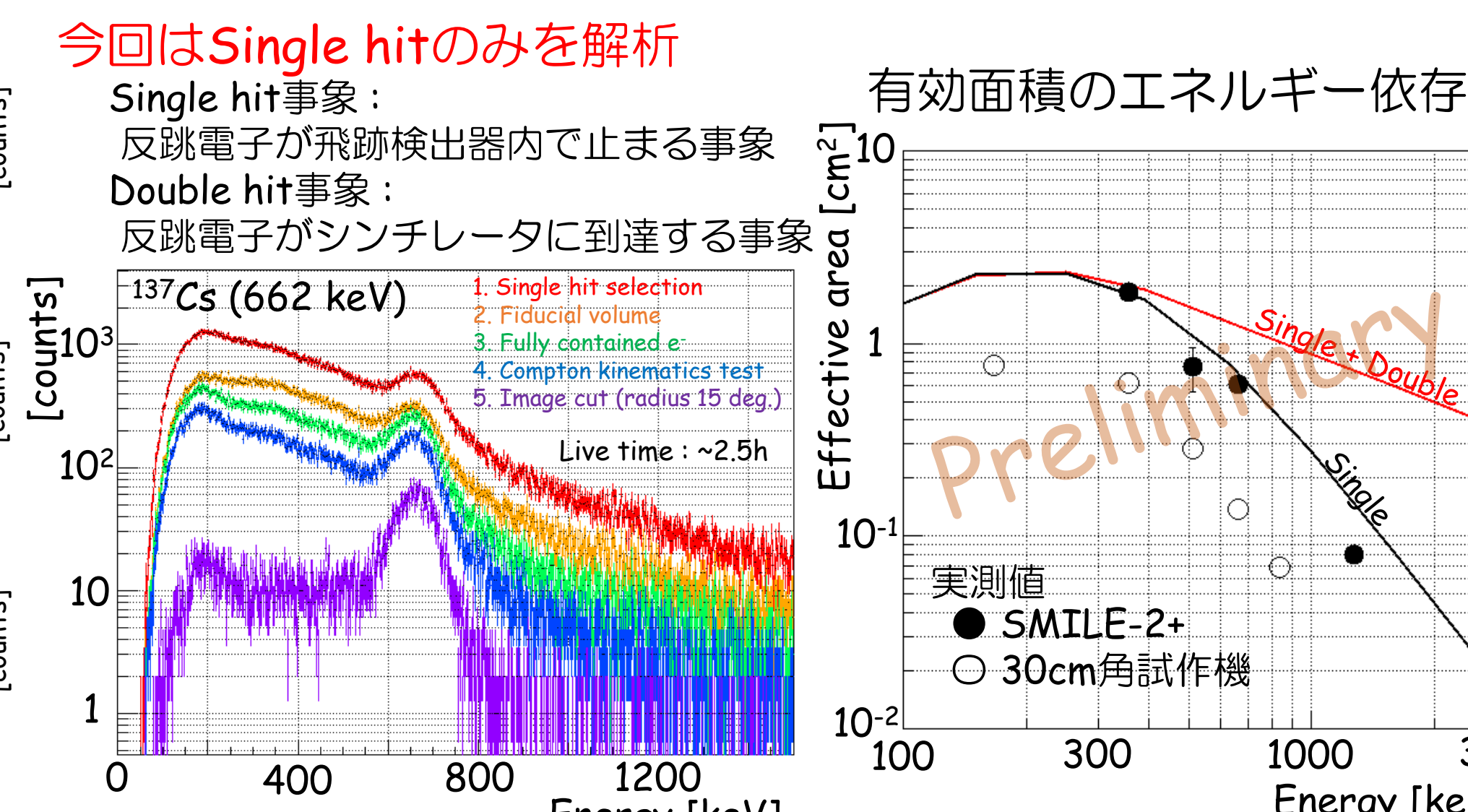
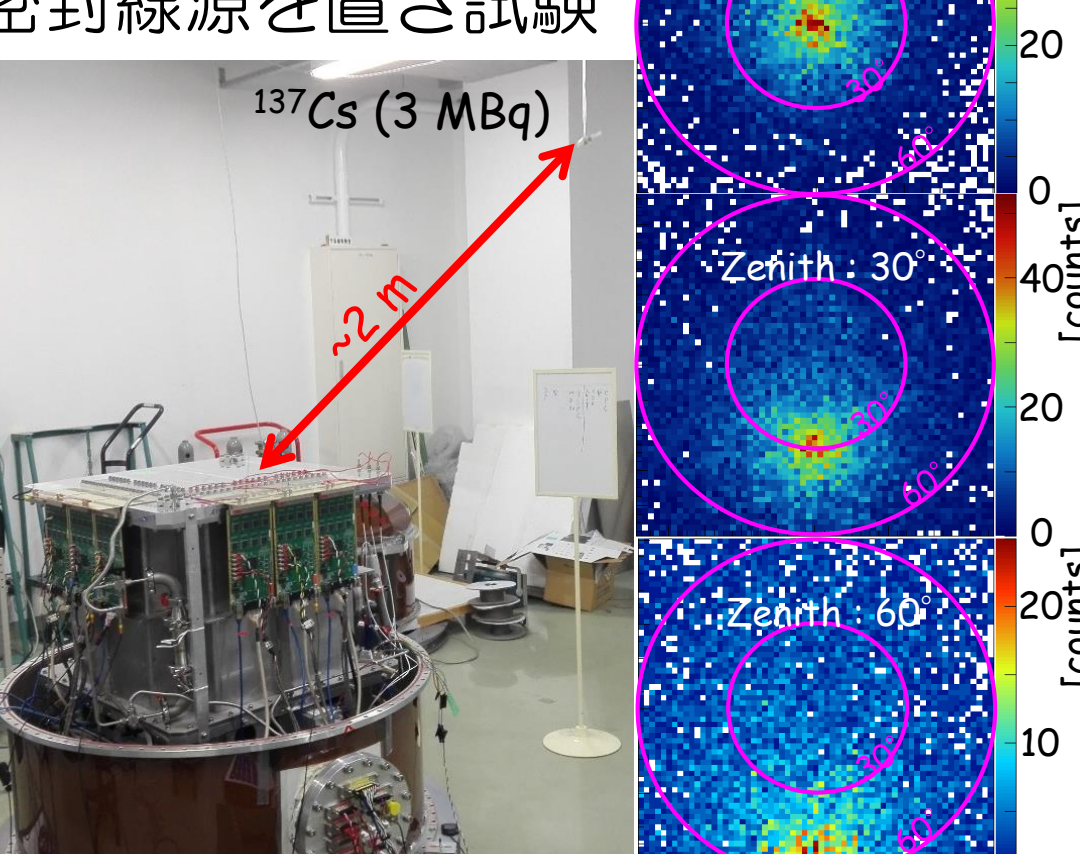
- Sub-MeV/MeV gamma-ray Imaging Loaded-on-balloon Experiments
  - SMILE-I @ 三陸 (Sep. 1st 2006) 10 cm角, Xe+Ar 1気圧 ⇒ 気球高度において安定に動作
    - 気球高度におけるETCCの動作試験
    - 宇宙拡散・大気ガンマ線の観測 (0.1~1 MeV)
  - 30 cm立方体ETCC試験機 30 cm角, Ar 1気圧 T. Tanimori+, ApJ, 2015
    - 地上試験 ⇒ 有効面積:  $\sim 1 \text{ cm}^2$  @ <300 keV ARM: 5.3度 SPD:  $\sim 100$ 度 @ 662 keV
    - ⇒ PSF:  $\sim 15$ 度 @ 662 keV
  - SMILE-2+ @ Australia (Apr. 2018) 30 cm角, Ar 2気圧
    - 明るい天体の観測によるイメージングの実証 (target: 銀河中心領域の511 keV, かに星雲)
    - 目標 有効面積:  $\sim$ 数 $\text{cm}^2$  @ <300 keV PSF:  $\sim 10$ 度 @ 662 keV
  - SMILE-III 30 cm角, CF<sub>4</sub> 3気圧
    - 長時間気球を用いた科学観測
    - 目標 有効面積:  $\sim 10 \text{ cm}^2$  @ <300 keV PSF: <5度 @ 662 keV
  - 衛星による全天観測 50 cm角, CF<sub>4</sub> 3気圧
    - 目標 有効面積:  $\sim$ 数百 $\text{cm}^2$  @ <300 keV PSF: <2度 @ 662 keV

### SMILE-2+フライトモデル

- ガス飛跡検出器
  - Gas: Ar 95% + CF<sub>4</sub> 3% + iC<sub>4</sub>H<sub>10</sub> 2%
  - 2 atm
  - Volume: 30x30x30 cm<sup>3</sup>
  - Drift velocity:  $\sim 3.5 \text{ cm}/\mu\text{sec}$
  - Readout:  $\mu$ -PIC + GEM
  - 0.08 cm pitch, 100 MHz
- 位置感度型シンチレーション検出器
  - Scintillator: GSO (Gd<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>)
  - Pixel size: 0.6x0.6x2.6 cm<sup>3</sup> (bottom)
  - 0.6x0.6x1.3 cm<sup>3</sup> (side)
  - PMT: H8500 (浜松ホトニクス)
- コントロールシステム
  - 電源: Li電池 + Li-polymer電池
  - 使用電力: 214 W
  - 通信: シリアルコマンド (FSK, 300 bps)
  - テレメトリ (bi- $\phi$ ,  $\sim 6 \text{ kbps}$ )
  - 高速テレメトリ (QPSK, 800 kbps)
- 気球諸元
  - Balloon: B500 (500,000 m<sup>3</sup>)
  - 総重量: 1825 kg
  - 気球 898 kg, 荷姿 88 kg
  - 観測器 511 kg, バラスト 328 kg
  - 総浮力: 2016 kg

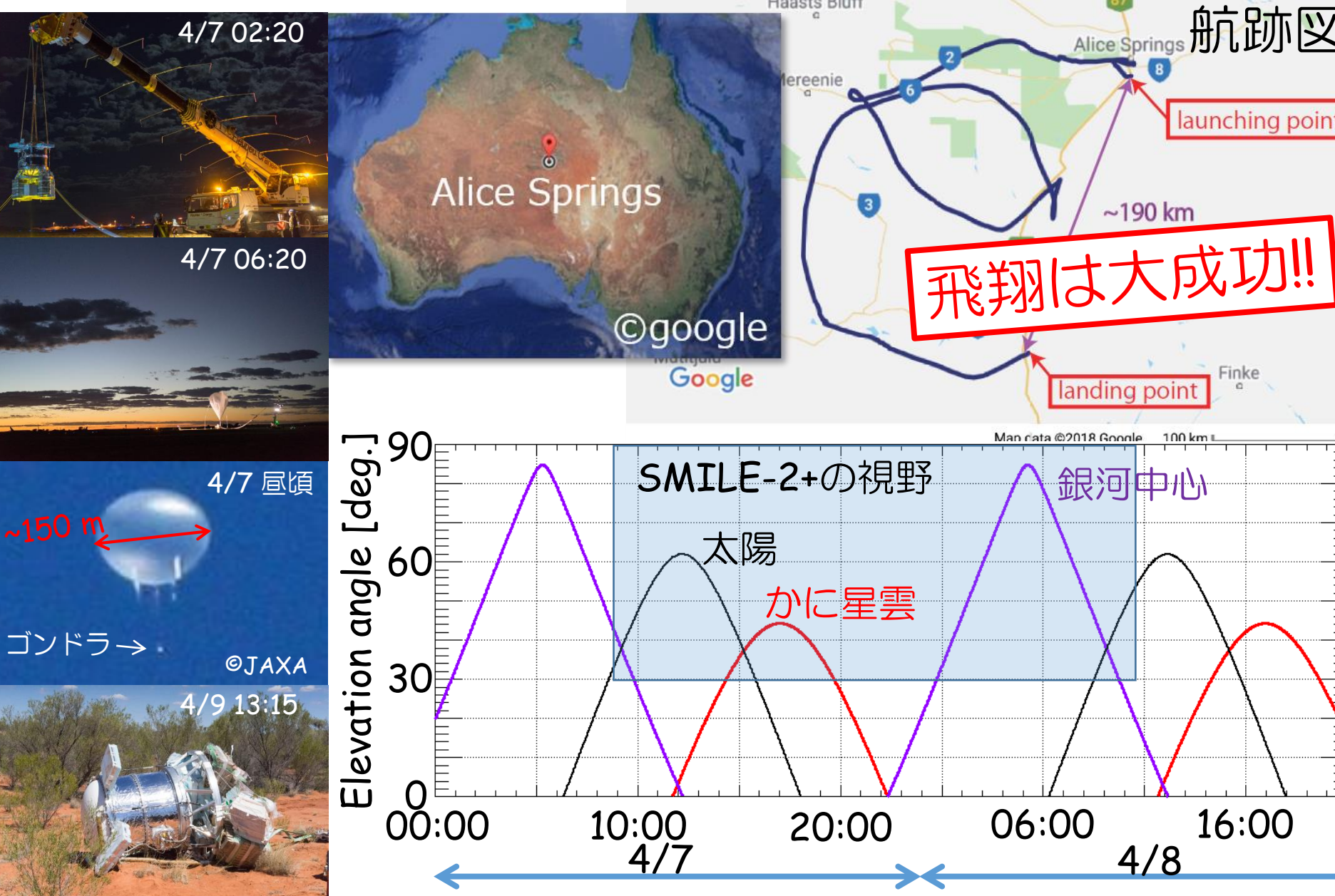


### ETCC地上較正実験

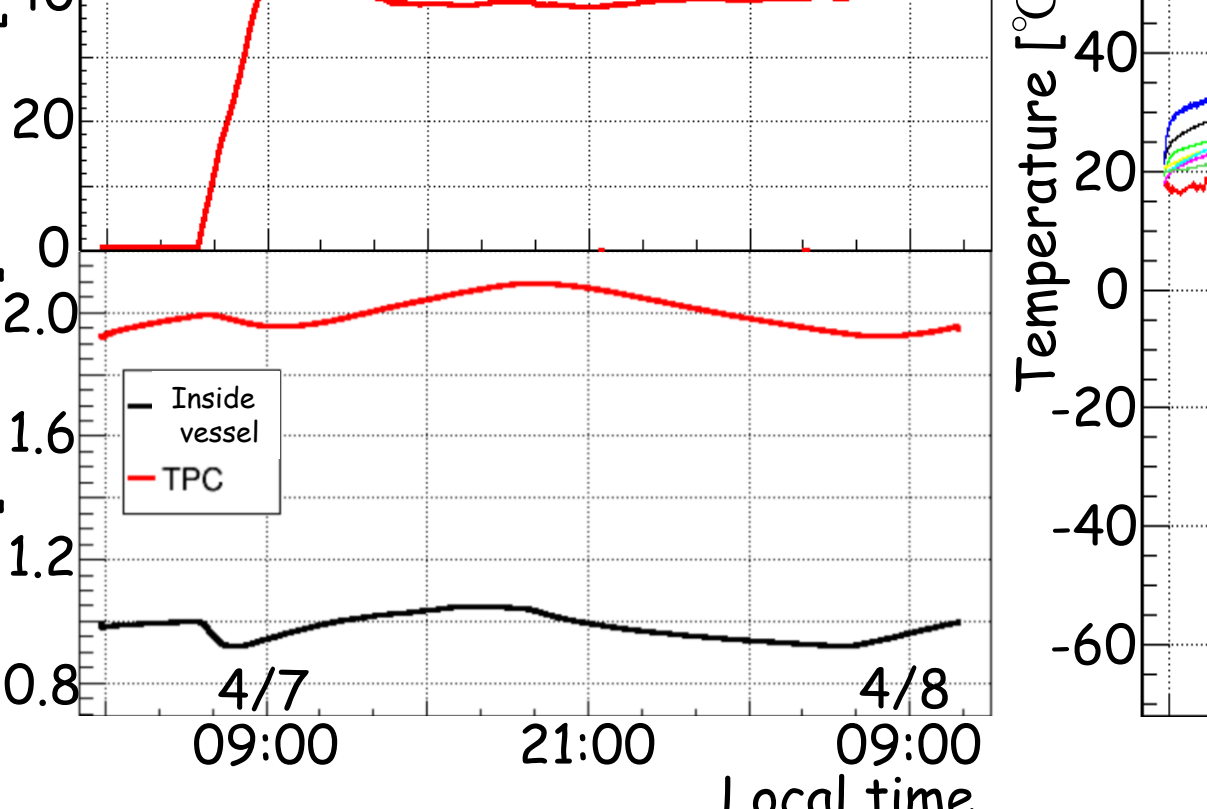


## 3. 2018年豪州気球実験

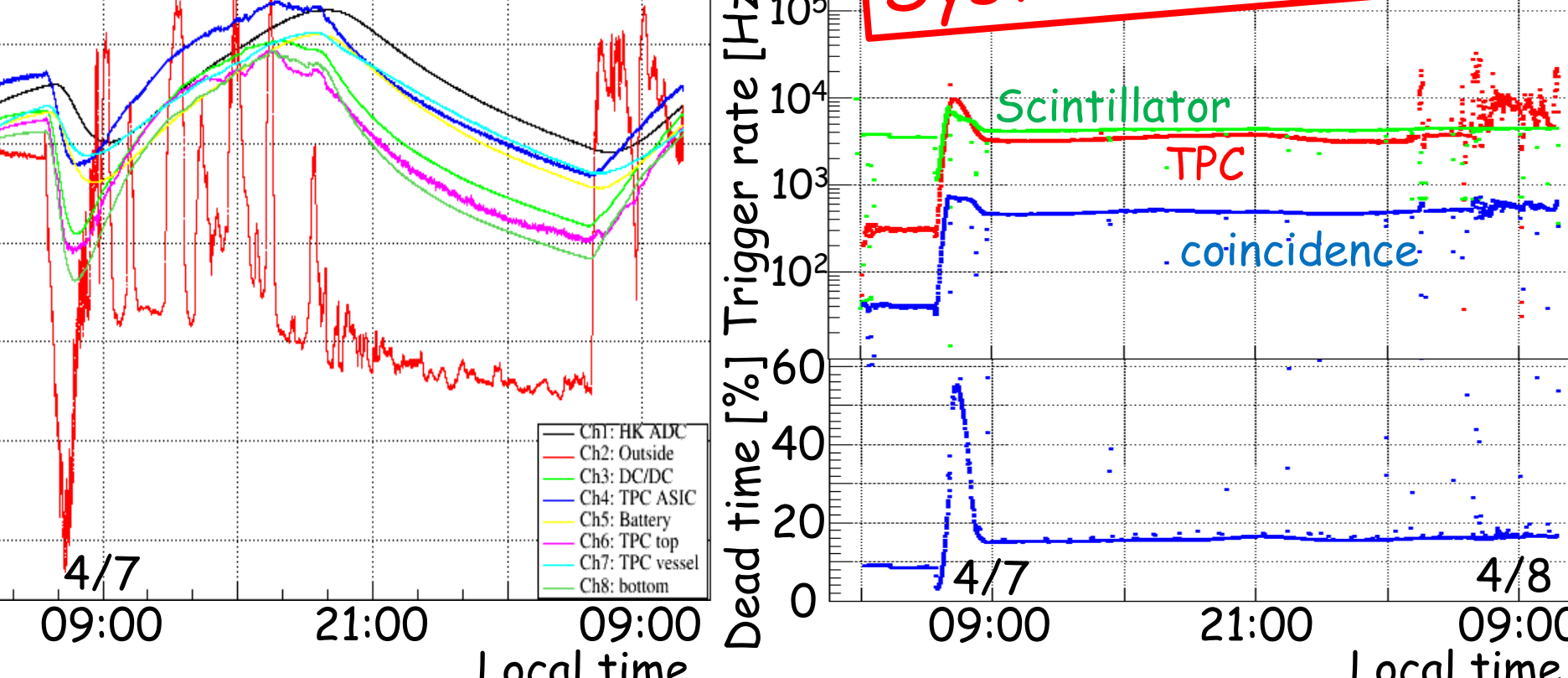
- Time table
  - 2018/4/7 オーストラリア中部標準時
    - 00:10 gondola pick up
    - 02:47 turn on
    - 03:09 start data acquisition
    - 06:24 launch
    - 08:44 reach to floating altitude
  - 2018/4/8
    - 10:45 stop data acquisition
    - 10:53 turn off
    - 11:07 cut down
    - 11:40 landing
  - 2018/4/9
    - 13:10 touch to gondola
    - 21:30 back to launching station



### House keeping data

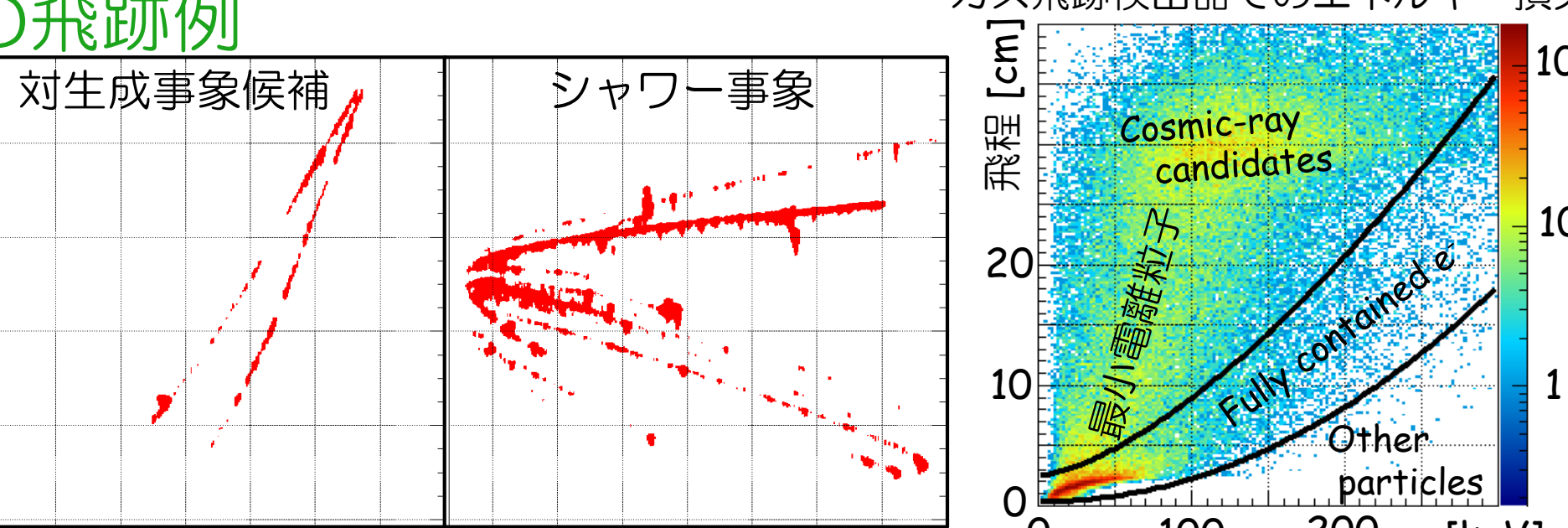
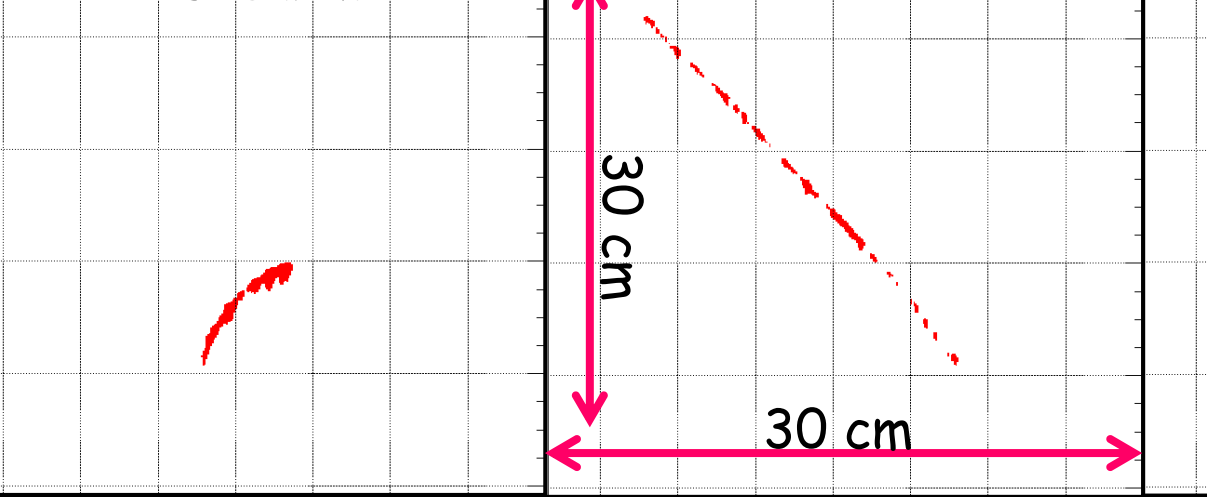


### Systemも安定に動作



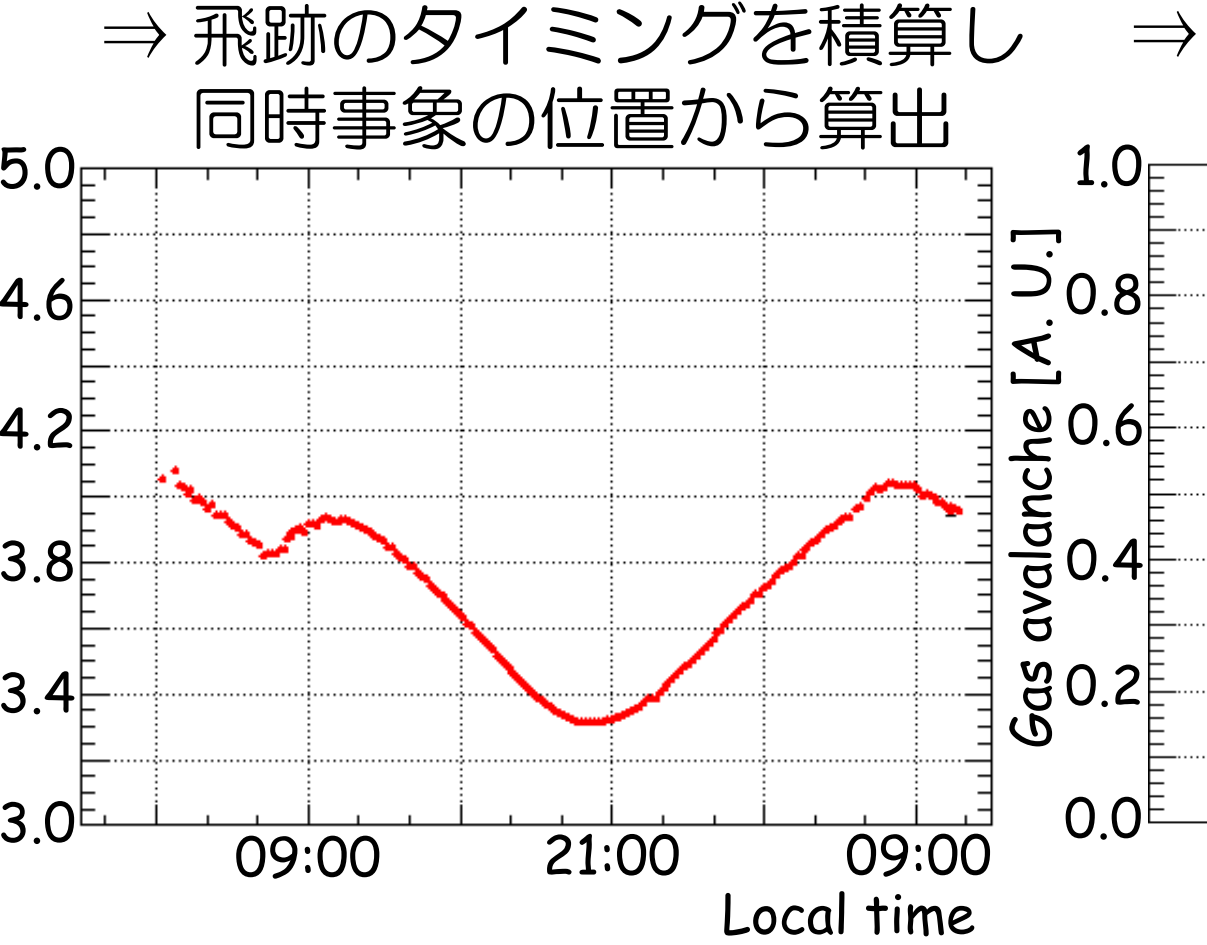
## 4. ガンマ線事象解析の現状

### 上空で観測された荷電粒子の飛跡例

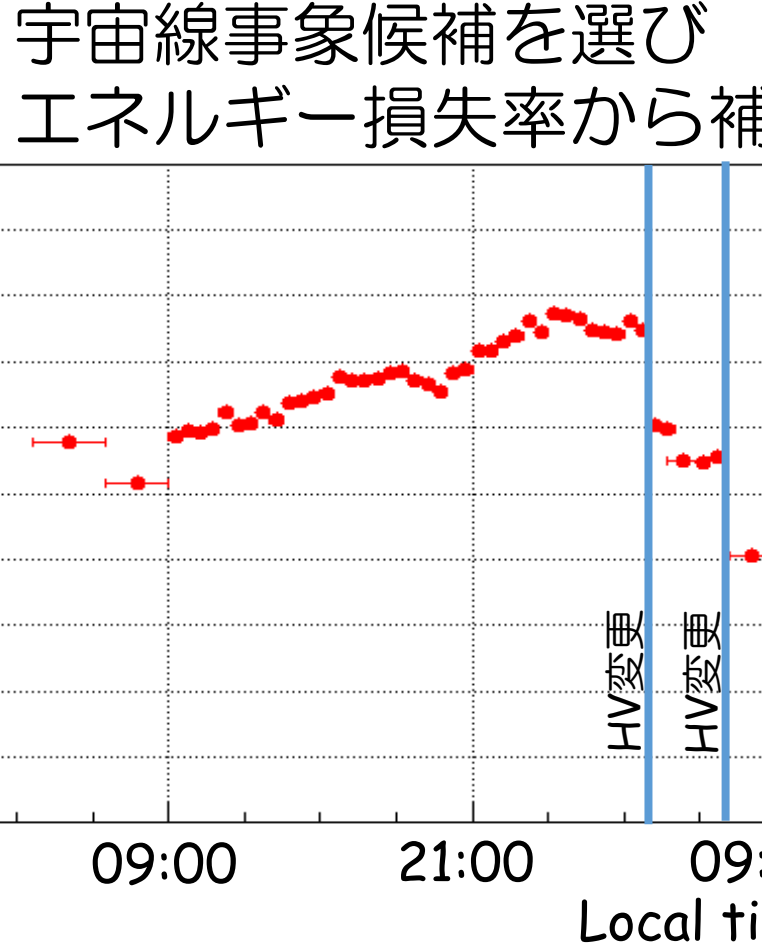


ガス飛跡検出器はほぼ健全に動作、エネルギー損失率による粒子識別も確認

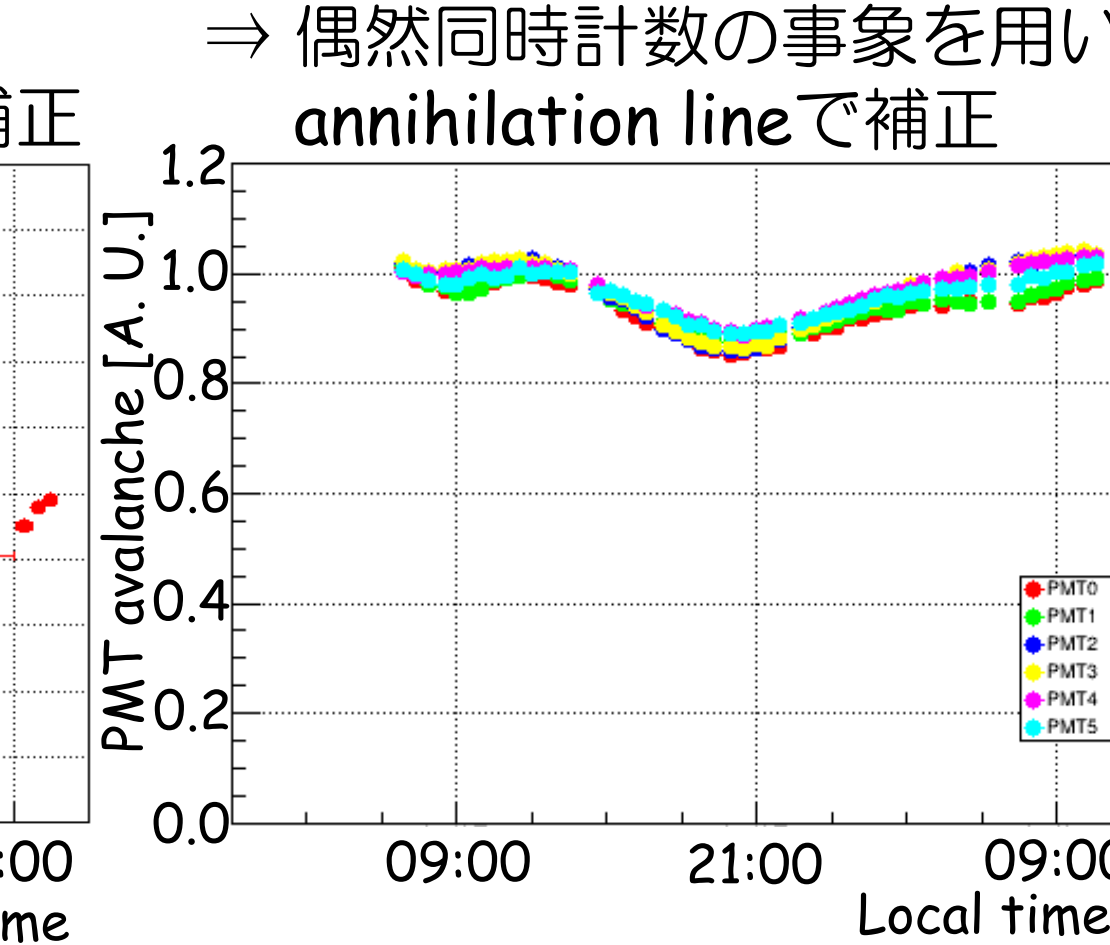
### 電子雲のドリフト速度



### ガス利得の時間変化

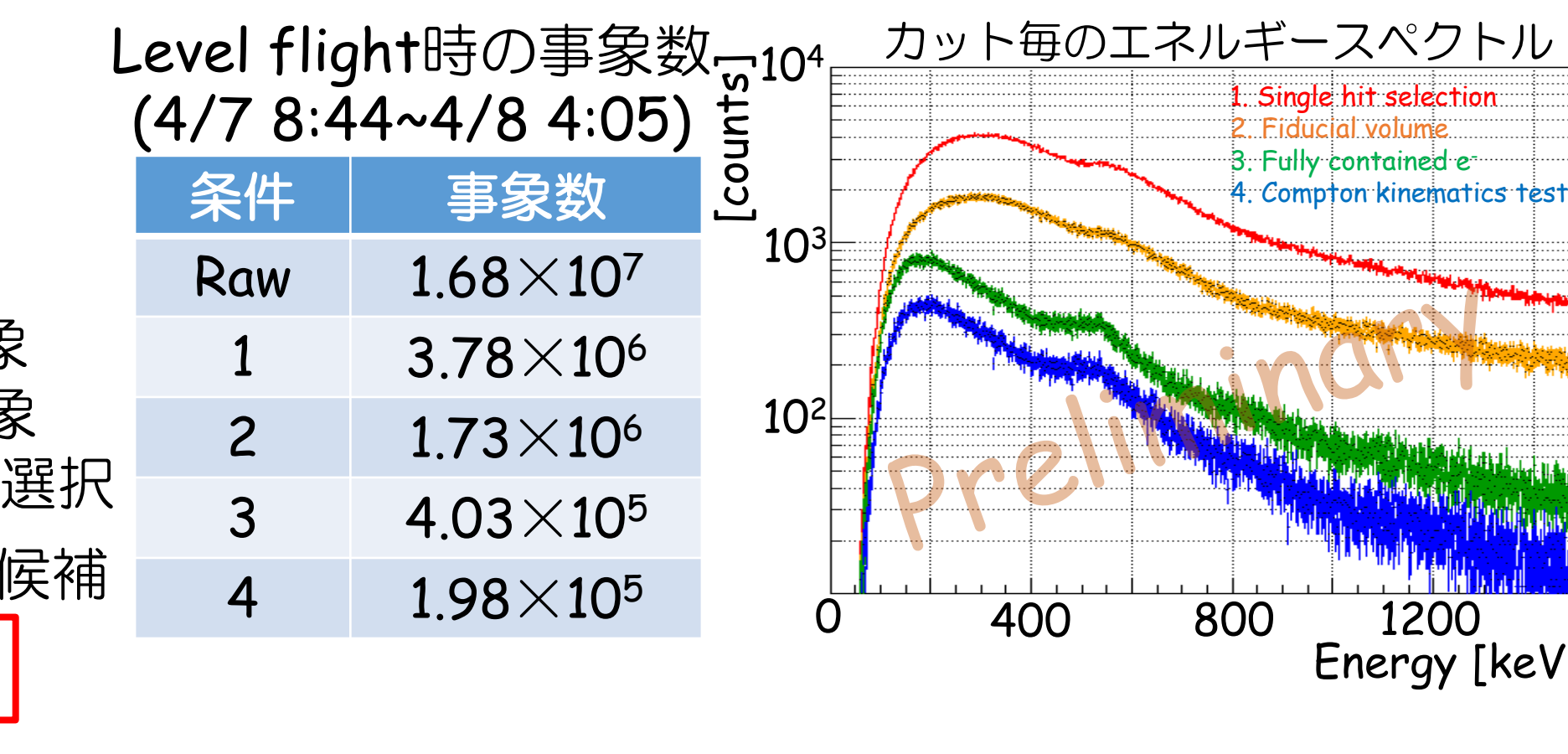


### PMT利得の時間変化

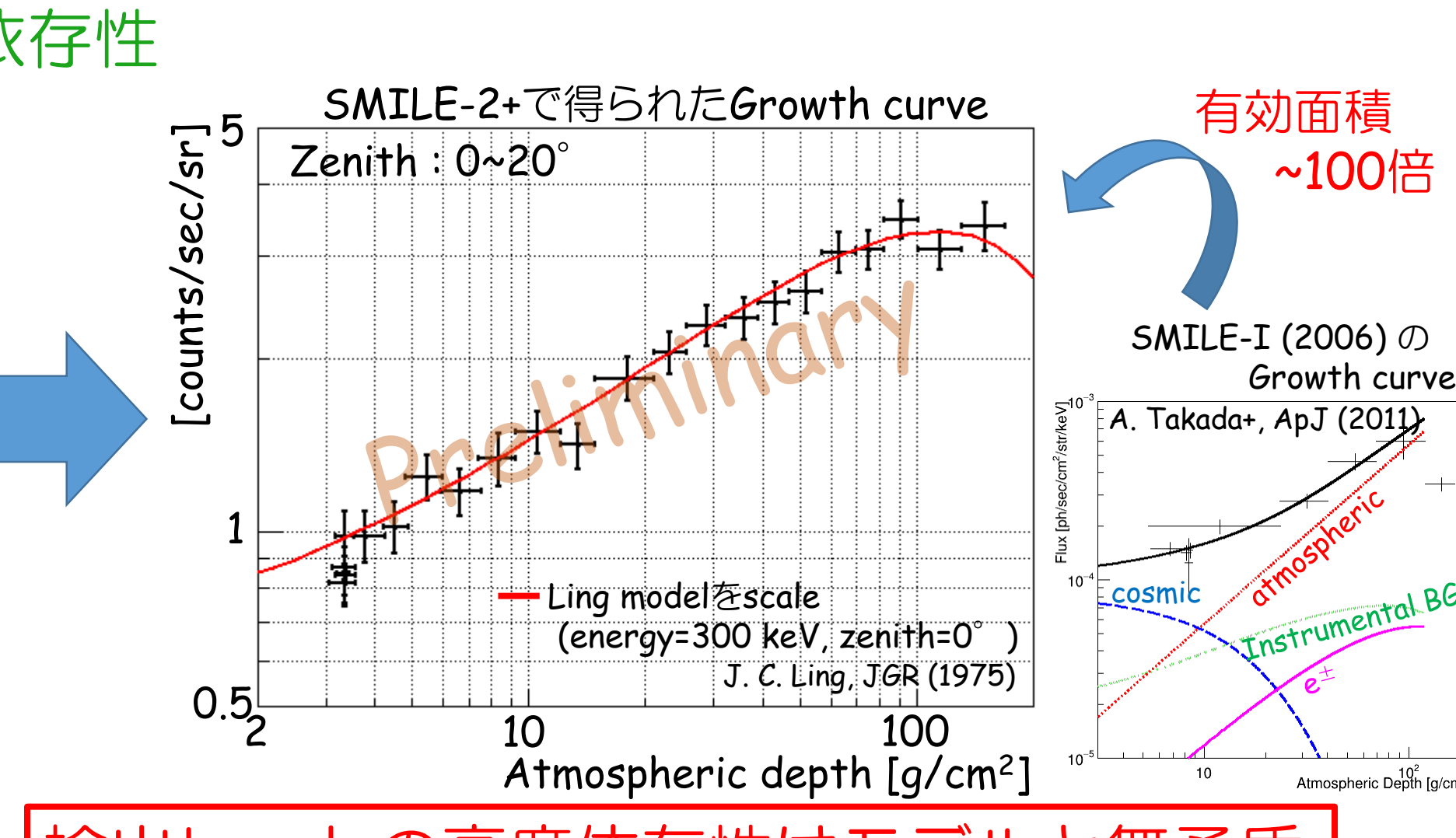
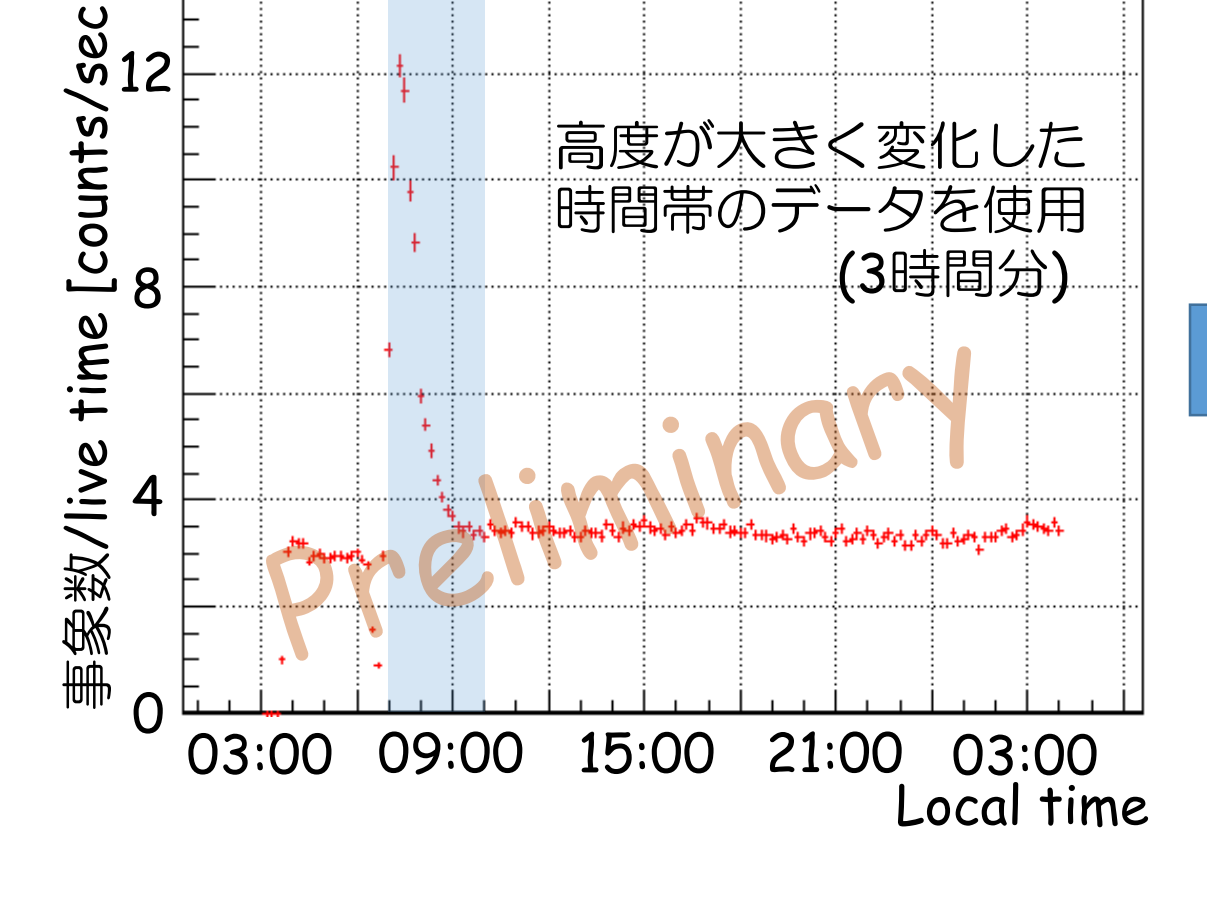


### ガンマ線再構成解析

- 地上較正実験と全く同じ条件で解析  
今回はsingle hitの事象の解析のみ
  - 1. Single hitの事象
  - 2. 有効体積内に散乱点がある事象
  - 3. Fully contained electronの事象
  - 4.  $\alpha$ 角によるCompton散乱事象の選択
- 残ったものがガンマ線事象候補



### ガンマ線強度の残留大気圧依存性



検出レートの高度依存性はモデルと無矛盾

## 5. まとめと今後の予定

- 30 cm立方体のガス飛跡検出器を用いたETCCで有効面積  $2 \text{ cm}^2$  @ 300 keVを達成
- オーストラリアで気球実験を実施
- 高度 $\sim 40 \text{ km}$ において26時間の水平浮遊に成功
- これまでに得られた結果は過去の文献と無矛盾

- Double hit事象の解析
  - ⇒ 高エネルギー側の感度が大きく向上
- シミュレータによるレスポンスマトリックスの構築
- Geant4/PHITSによる雑音シミュレーション
- SMILE-2+姿勢モニタの情報の反映
  - ⇒ ガンマ線半天下マップを描いて天体の解析へ

