電子飛跡検出型コンプトン望遠鏡による豪州気球実験SMILE-2+

京都大学　宇宙線研究室　吉川慶

写真：気球放球直前 2018/4/7 @ アリススプリングス, オーストラリア

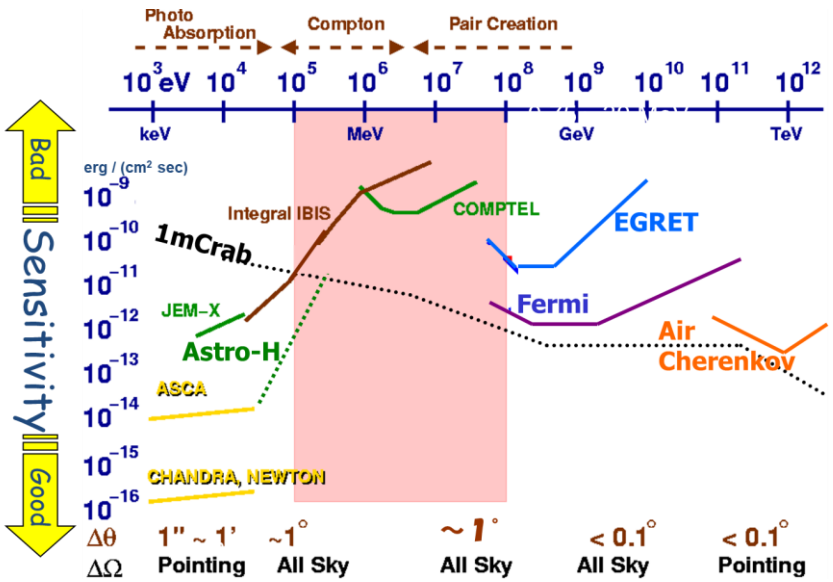
目次

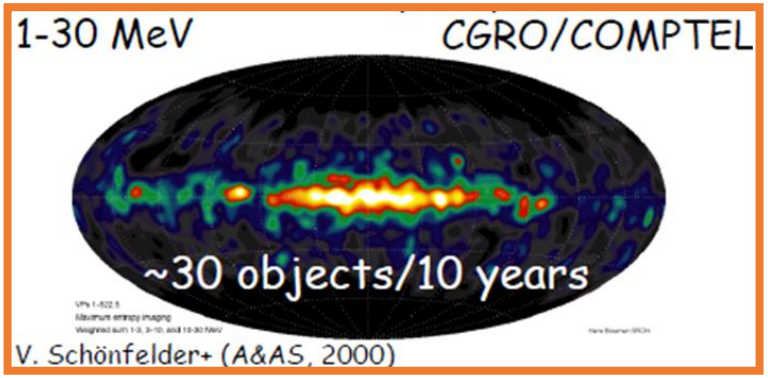
- MeVガンマ線天文学
- 電子飛跡検出型コンプトン望遠鏡
- SMILE実験全体
- SMILE-2+実験 (上空でのTPCの動作・観測結果)

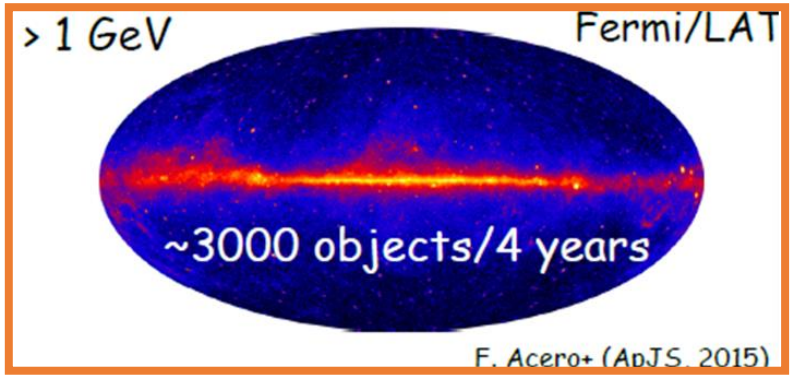
MeVガンマ線天文学

- 元素合成
  超新星爆発：元素合成のプロセスの解明
  銀河面(^{26}Al, ^{60}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
  (π_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
  ガンマ線バースト：宇宙初期の星生成

…など



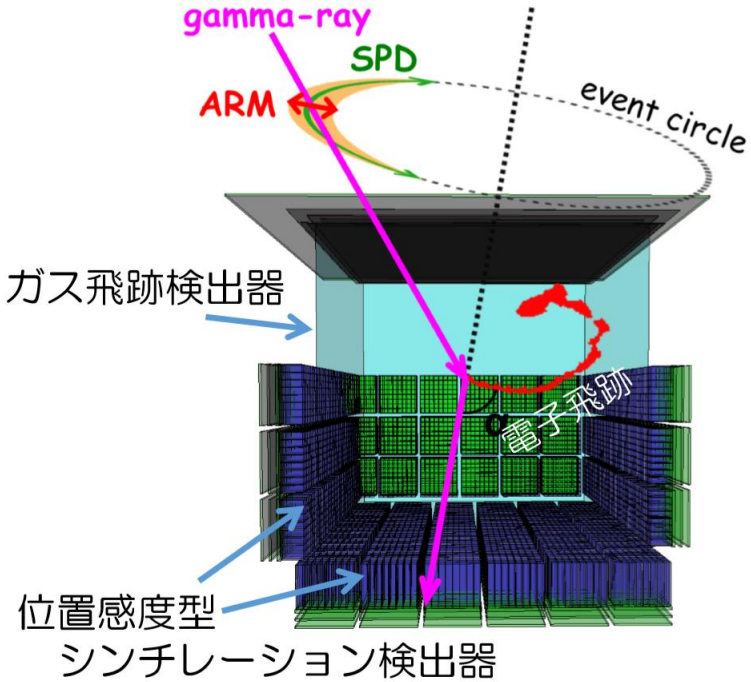




次世代MeVガンマ線望遠鏡への要請

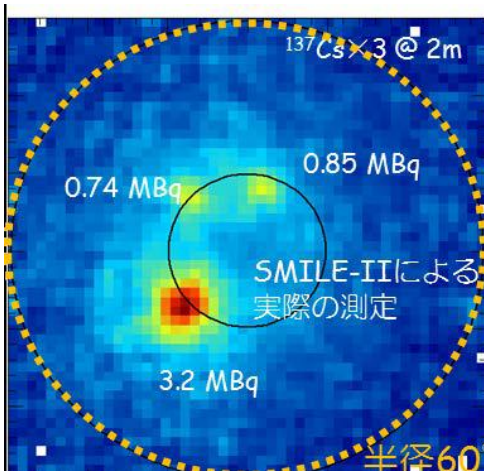
- 数百keV ～ 100 MeVの広帯域
- 全天探査の為の広い視野
- 高S/Nのために強力な雑音除去能力, 高角度分解能

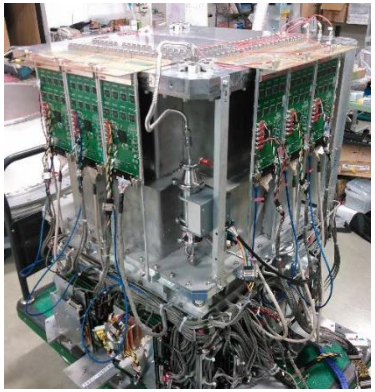
電子飛跡検出型コンプトンカメラETCC



- ガス飛跡検出器(TPC + GEM + μPIC)
  反跳電子の飛跡とエネルギー
- 位置有感シンチレーション検出器(GSO + PMT)
  散乱ガンマ線の吸収点とエネルギー

検出事象ごとに
コンプトン散乱における全物理量を取得





SMILE-2+ ETCC

- 到来方向を一意に決定
- 天空上の像の拡がり関数PSFを厳密定義
- 大きな視野 ~3 str
- α角によるコンプトン散乱運動学テストと
  エネルギー損失率による粒子識別で
  冗長な雑音除去能力

SMILE全体計画

SMILE-I	2006年9月	10 cm角 Xe Ar 1気圧	気球高度で安定動作 宇宙拡散・大気拡散ガンマ線を観測 他の観測と矛盾のないスペクトル
SMILE-II	地上実験 のみ	30 cm角 Ar 1気圧	有効面積 ~1 cm²@ < 300 keV 豪州での既知天体の5σ以上検出に 向けて、有効面積拡大へ
SMILE-2+	2018年4月	30 cm角 Ar 2気圧	PSF 有効面積 ~10度@662 keV ~ 数 cm² 明るい天体の観測で撮像能力の検証
SMILE-3		30 cm角 CF_4 3気圧	~ 5度 ~10 cm² 長期気球を用いた科学観測
衛星搭載 ETCC		50 cm角×4 CF_4 3気圧	~ 2度 ~数百cm² 全天観測

気球実験　SMILE-2+

目的　　：明るい天体の観測によるイメージングの実証

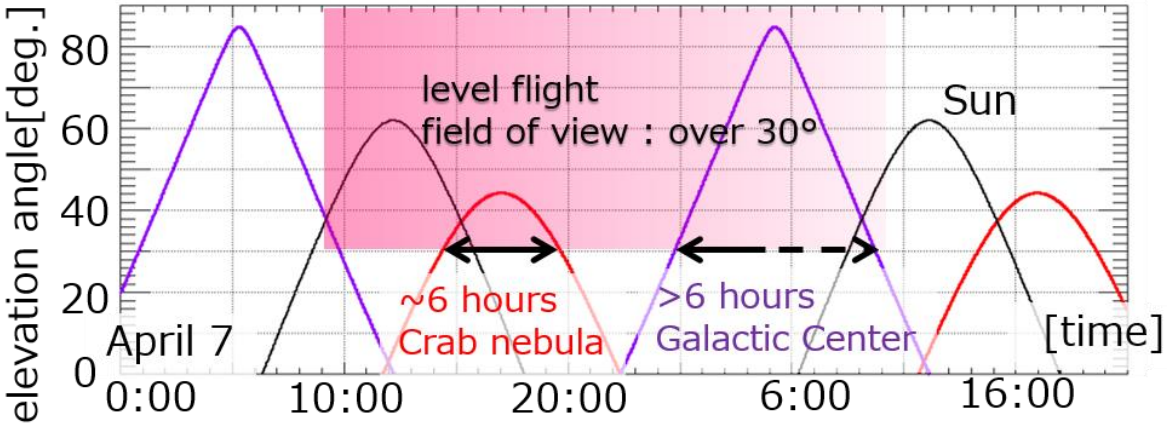
観測天体：銀河中心領域からの電子・陽電子対消滅線 (511 keV)

かに星雲

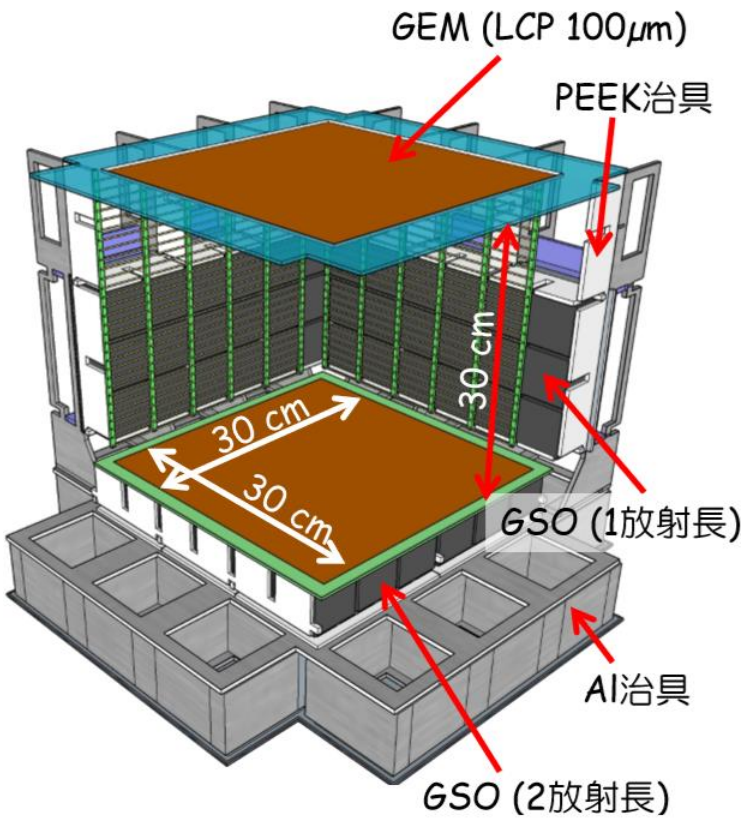
オーストラリア

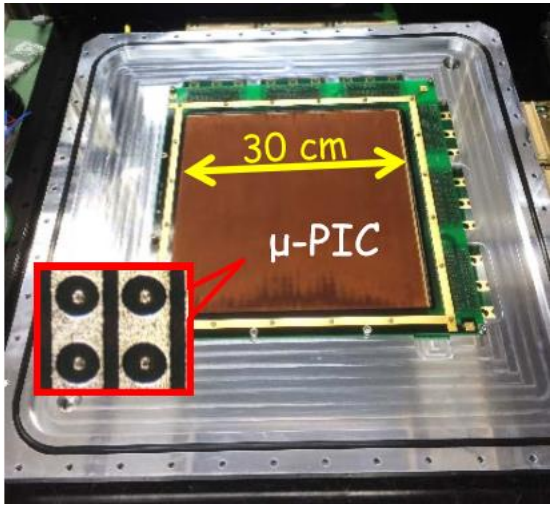
検出有意度>5σのための要求：

- 高度：~39 km (残留大気量 ~3.5 g/cm²)
- Half Power Radius：~10°
- エネルギー範囲：0.3 – 1.5 MeV
- 有効面積：数 cm²
- 銀河中心領域 >6時間
- かに星雲　　~6時間



SMILE-2+ ETCC

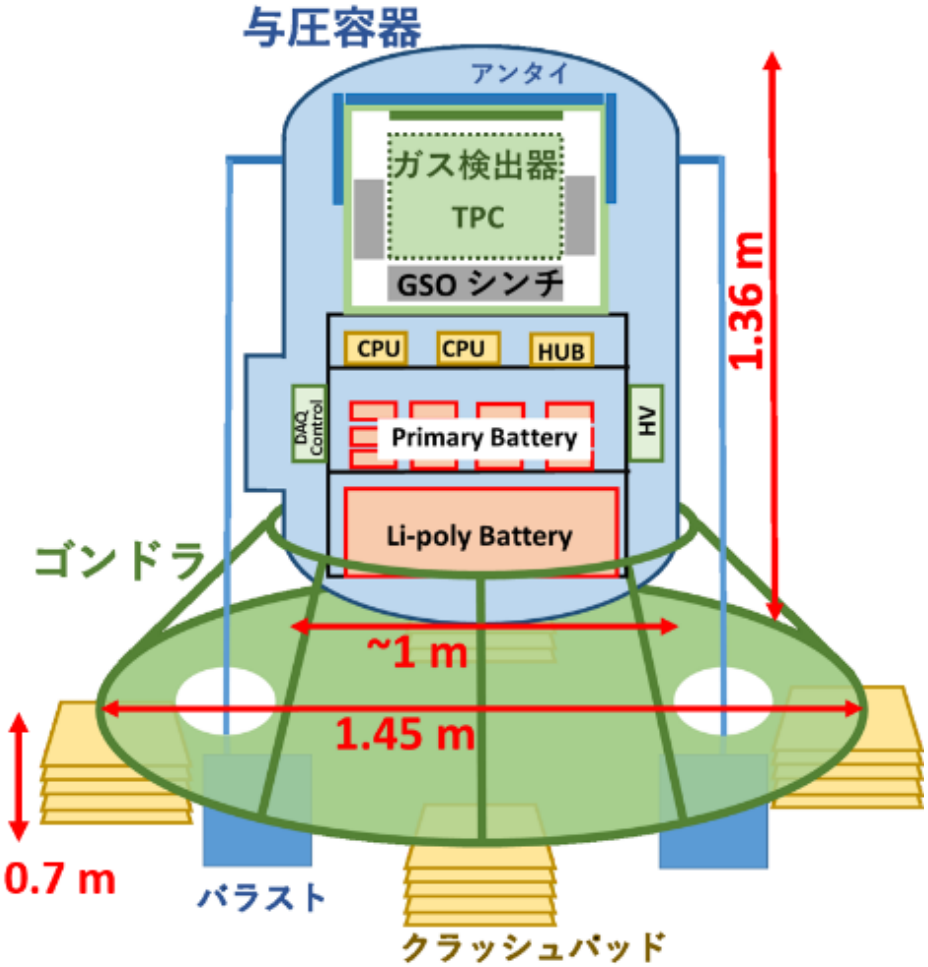


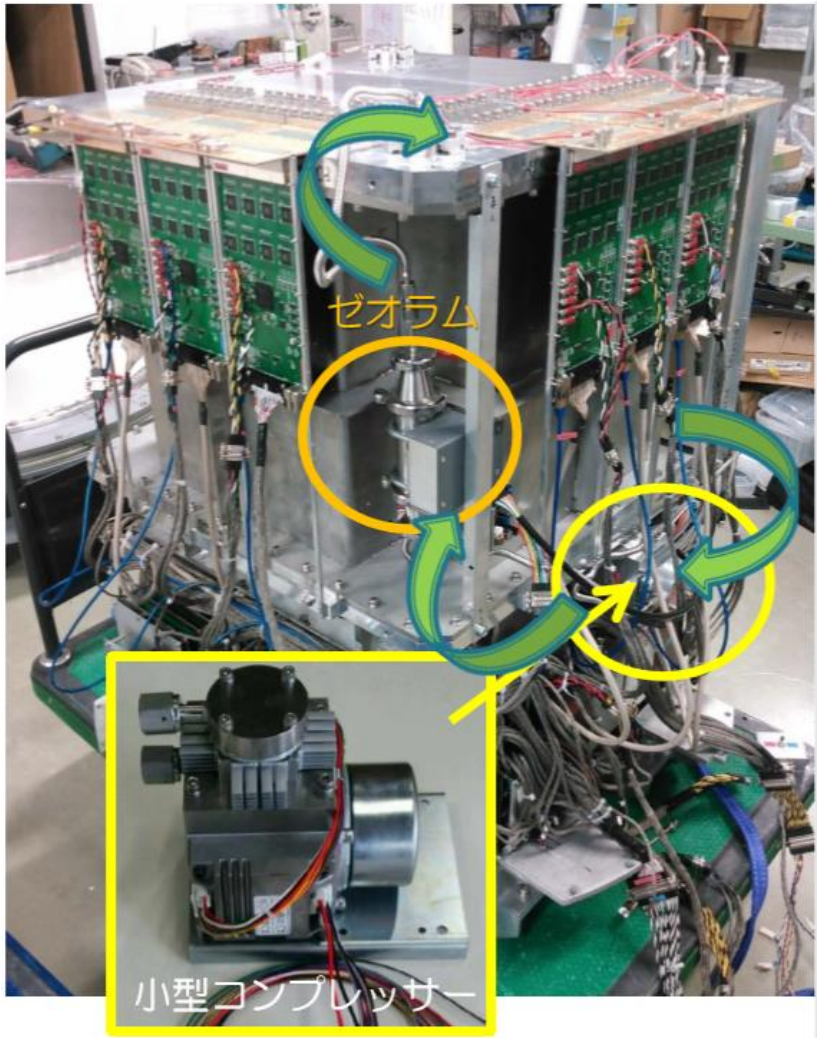


2気圧

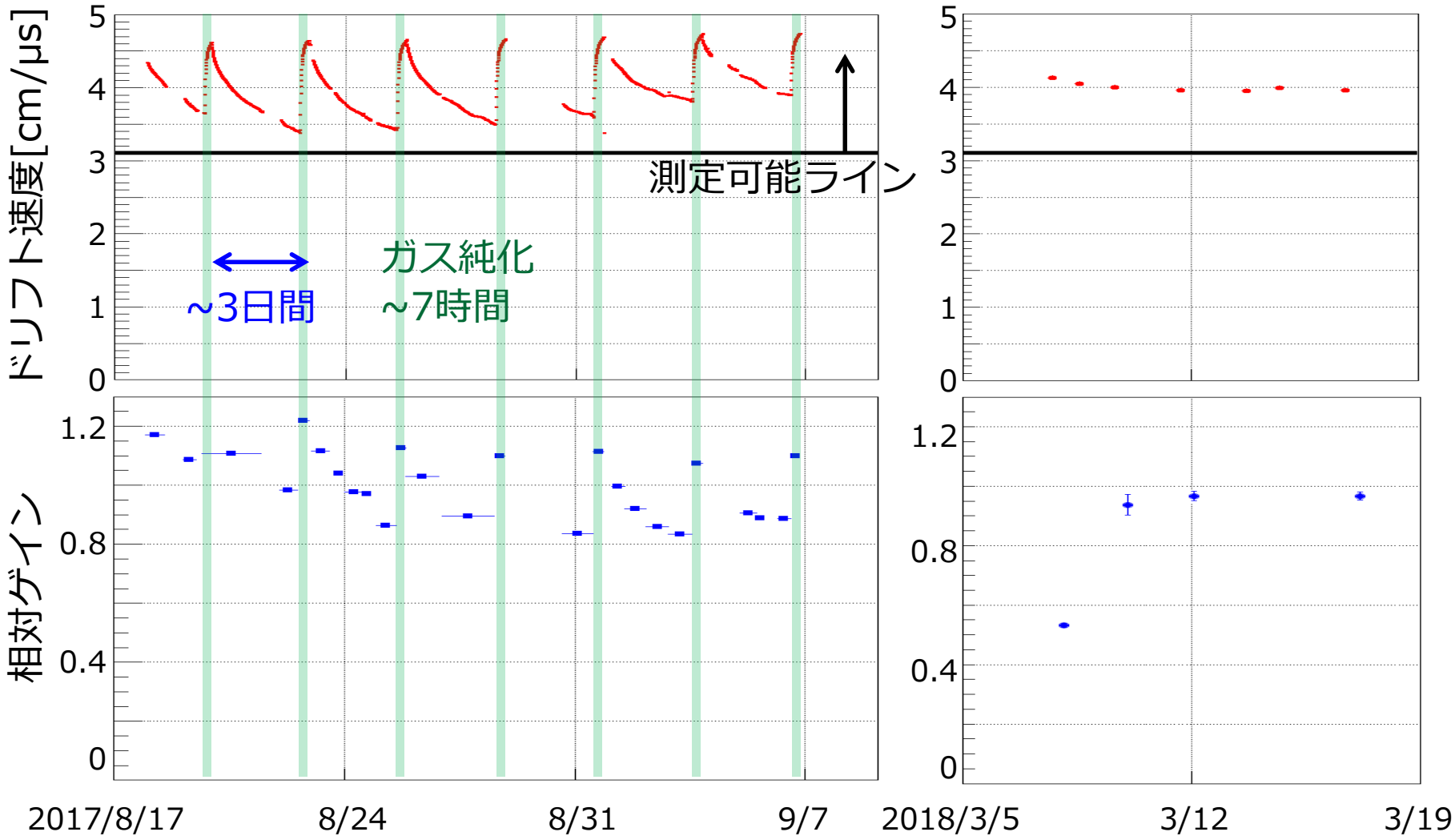
分圧比
Ar : CF4 : isoC4H10
95 : 3 : 2

装置全体と純化システム



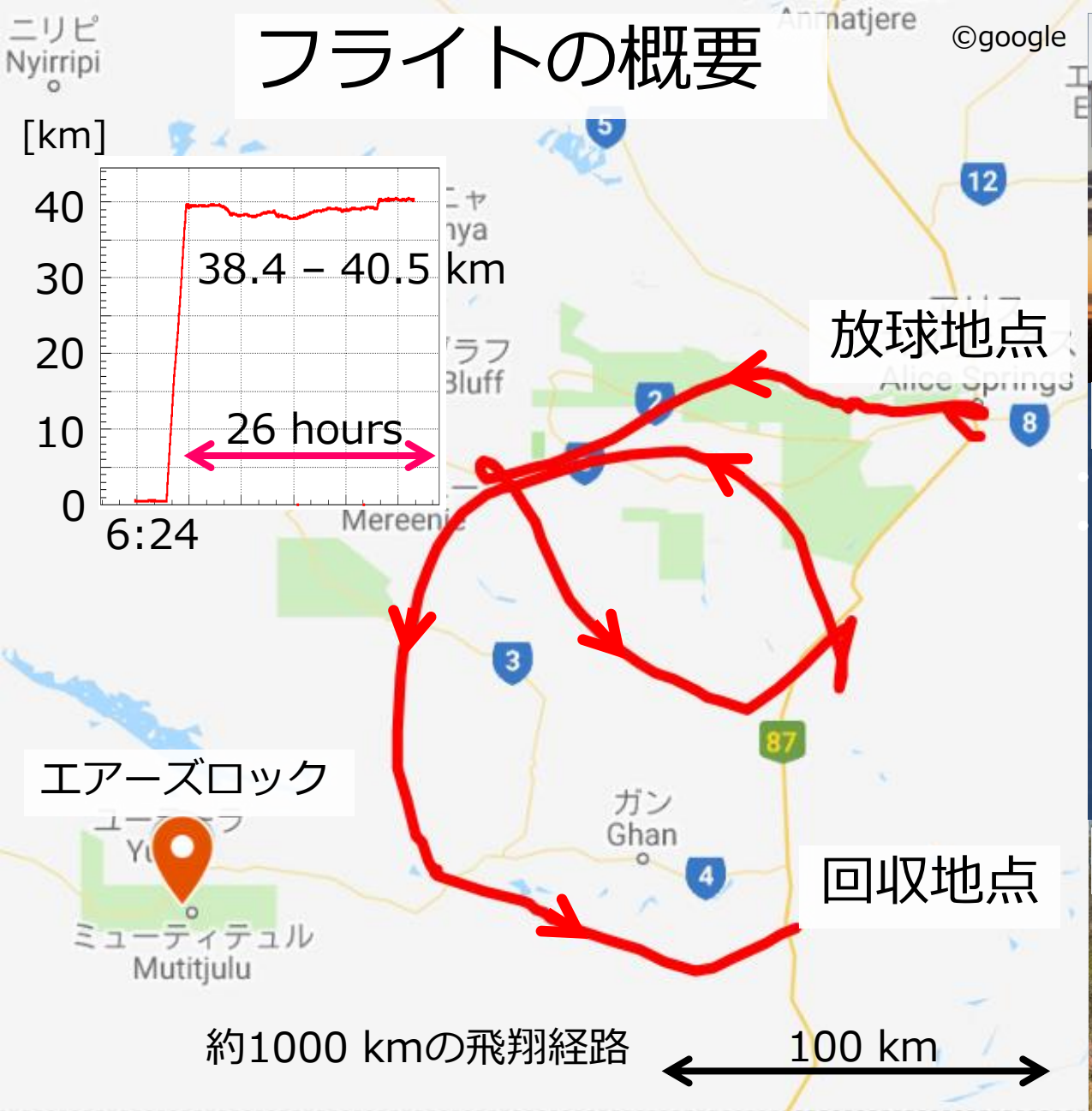


地上試験でのドリフト速度とゲイン



1カ月以上ガス交換なしで動作可能。純化を繰り返すことで、より安定に。

フライトの概要

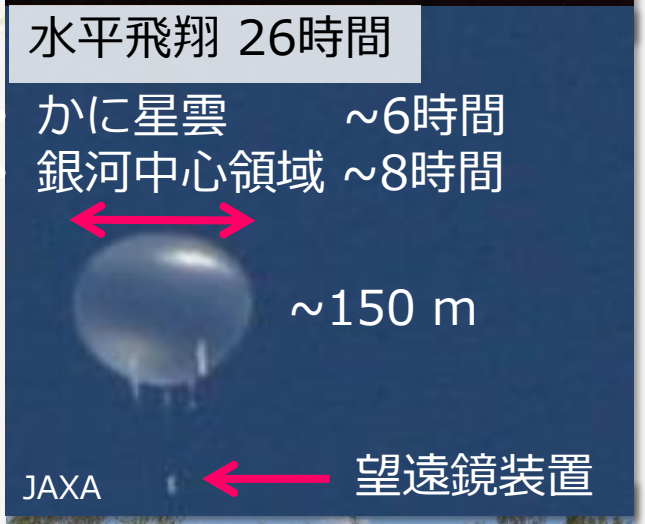


4/7 6:24 放球

JAXA気球グループの運用

水平飛翔 26時間

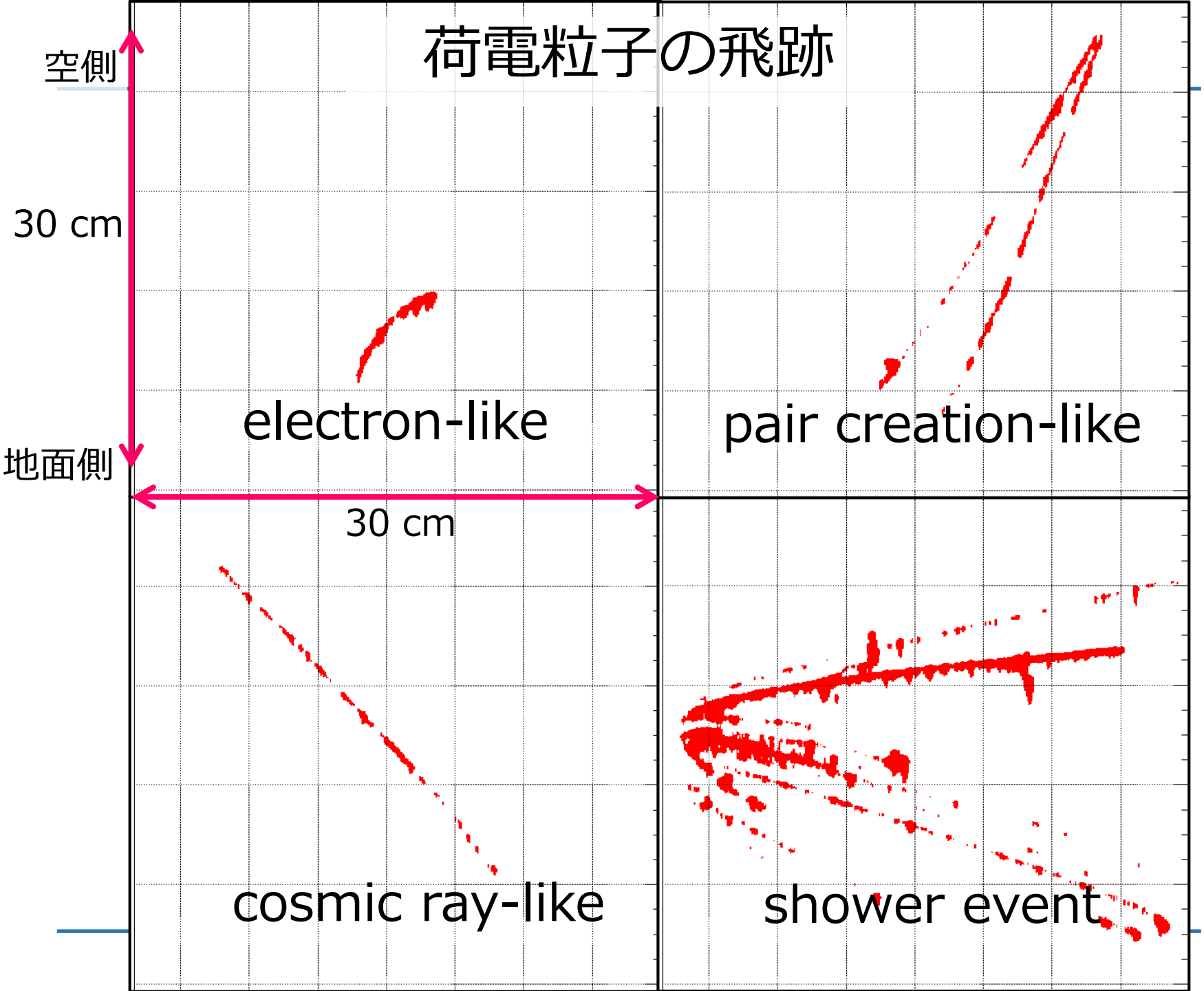
かに星雲 ~6時間
銀河中心領域 ~8時間



4/9 装置の回収

天体の観測、装置の回収に成功

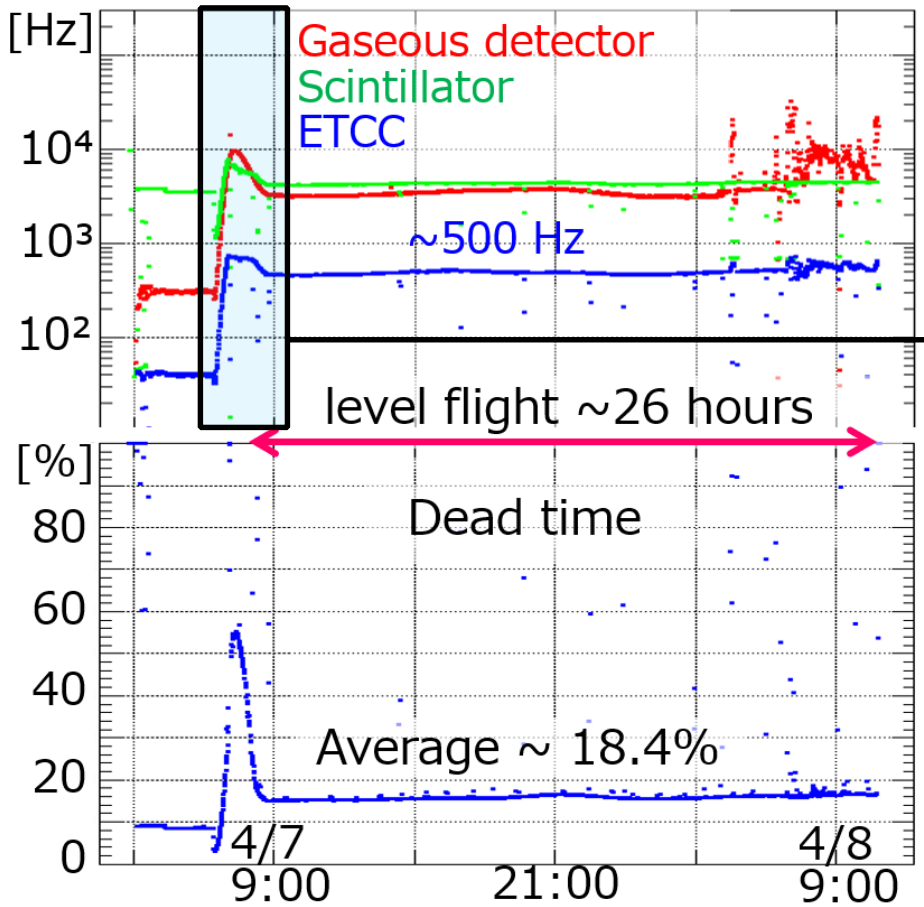
荷電粒子の飛跡

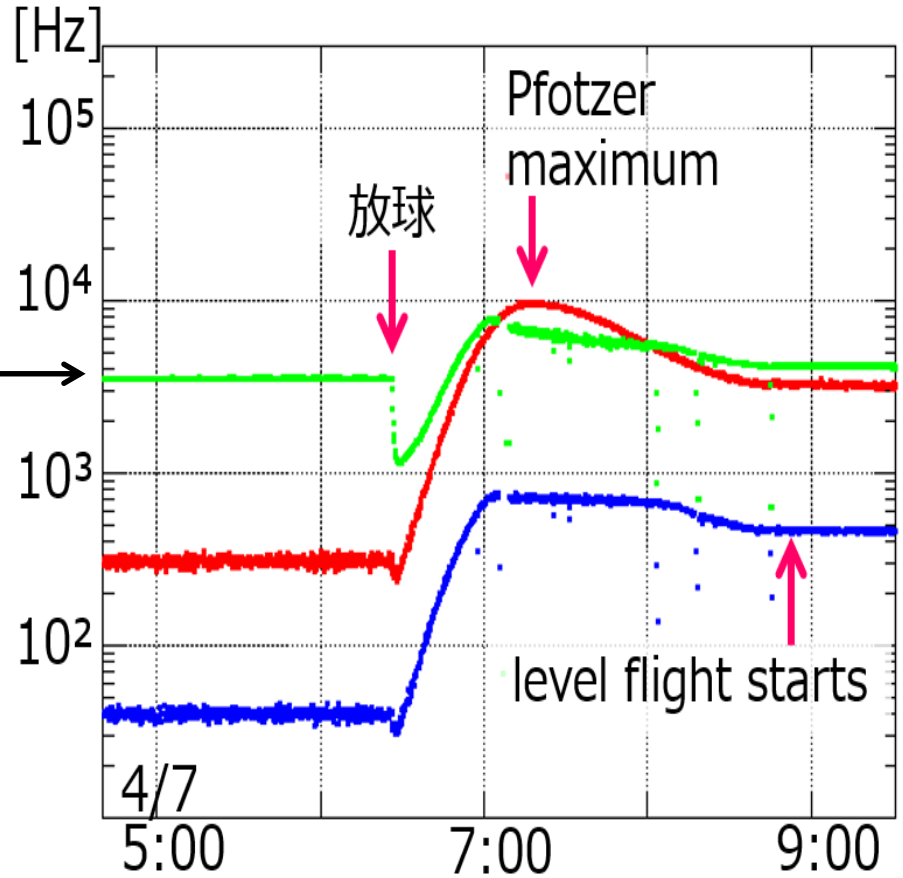

空側
30 cm
地面側
30 cm
electron-like
pair creation-like
cosmic ray-like
shower event

検出レートの時間変化

ETCC 検出=ガス飛跡検出器とシンチレーション検出器の同時検出

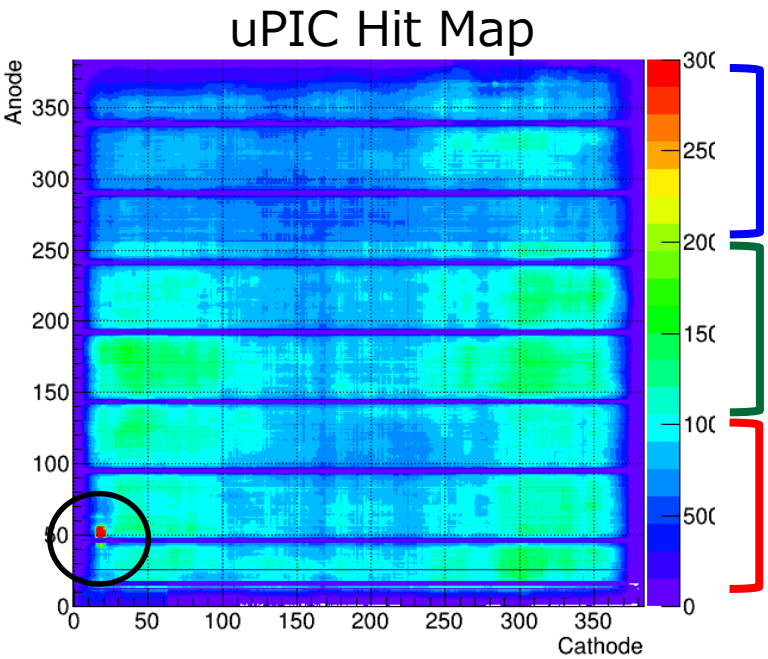
実験前のETCC予測検出レート = 500 Hz

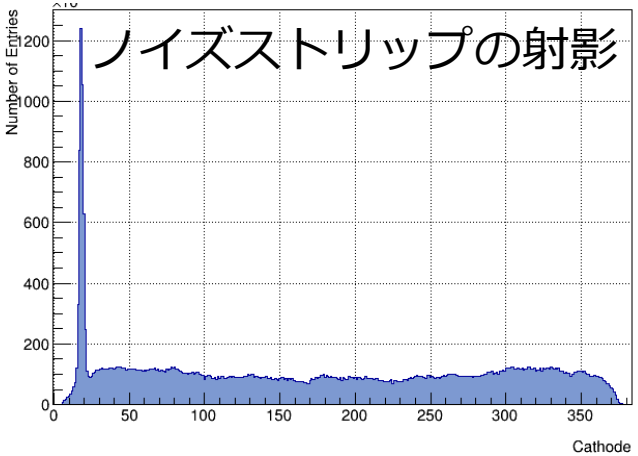


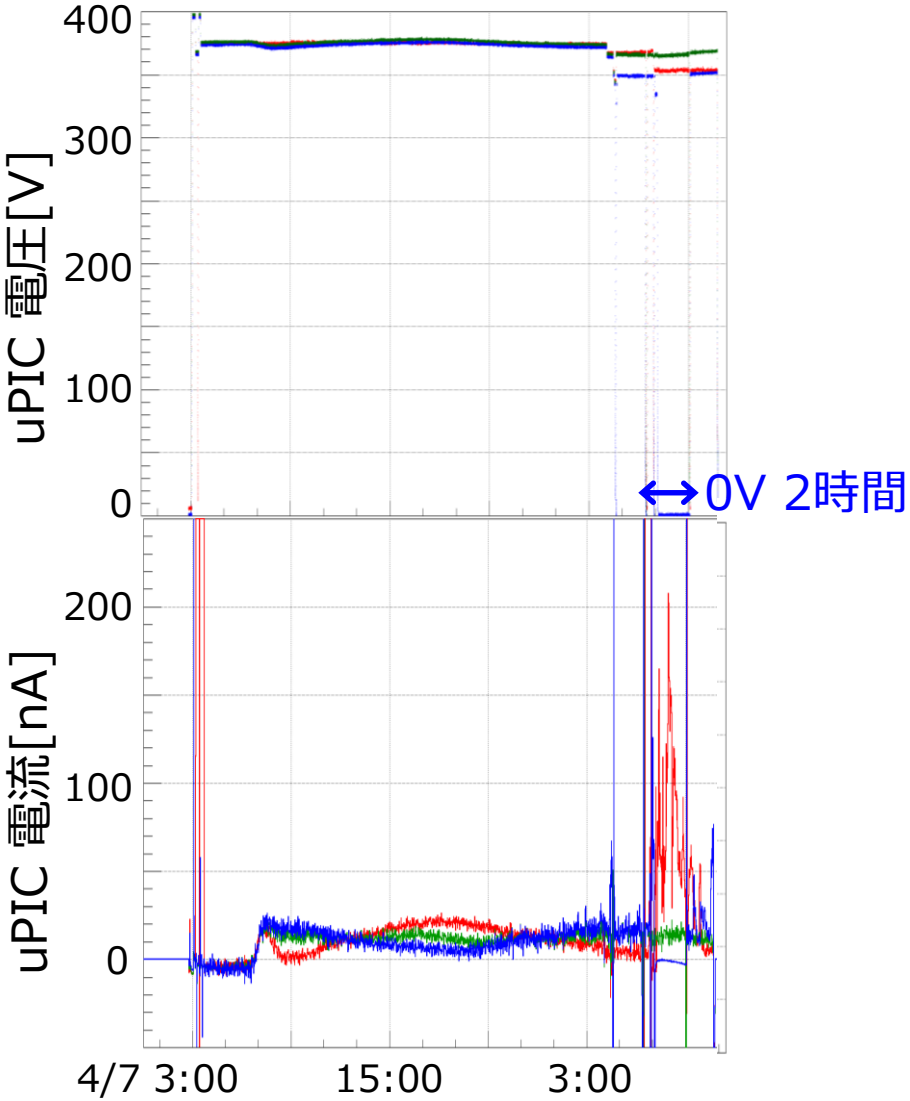


気球実験中、検出器は計画通りの検出レートで、安定に動作した。

上空でのノイズ・電圧・電流

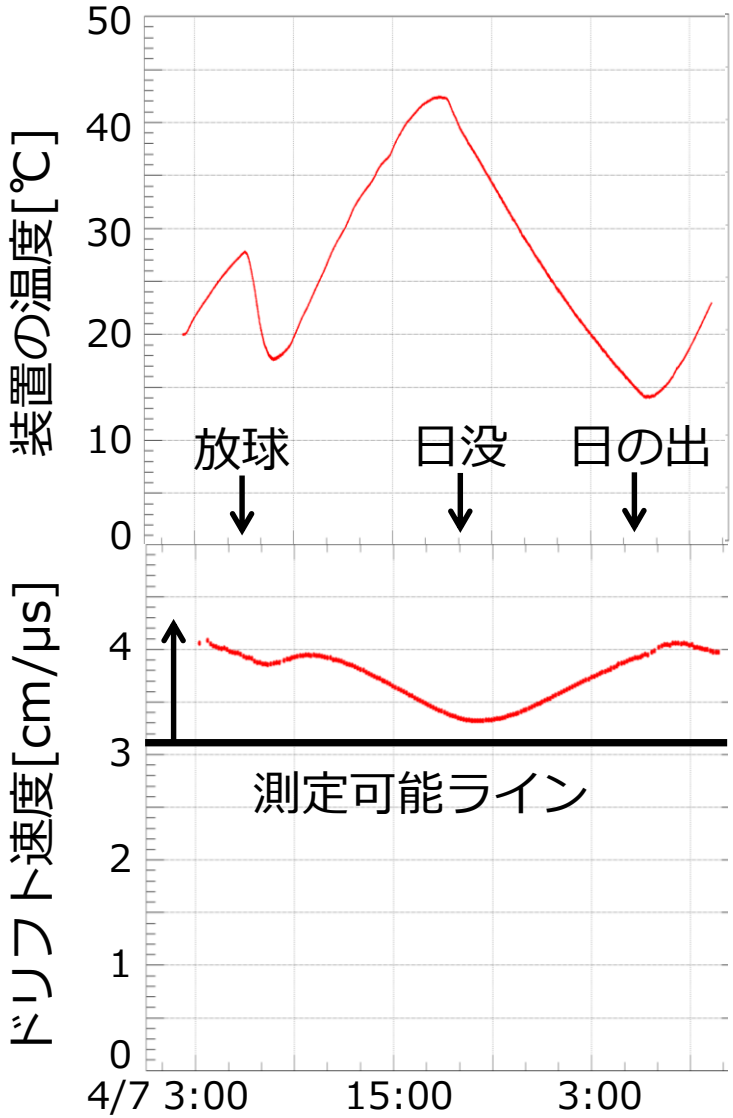


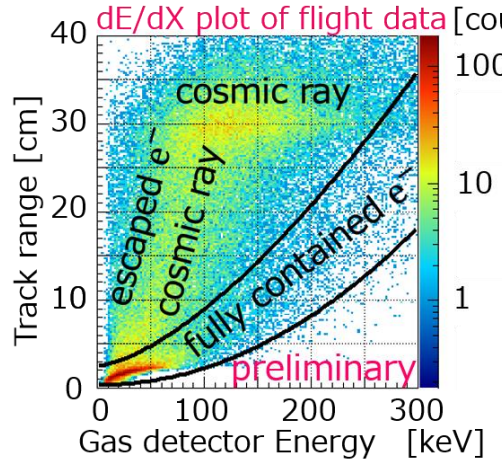


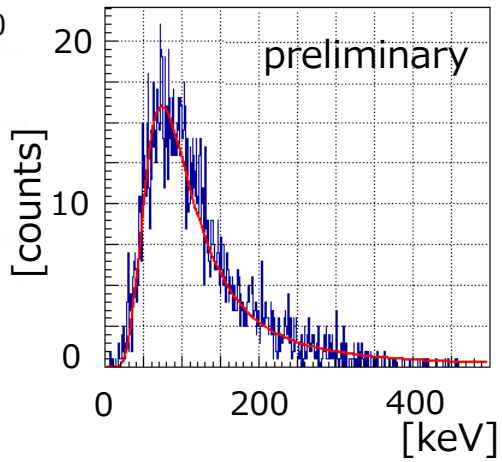


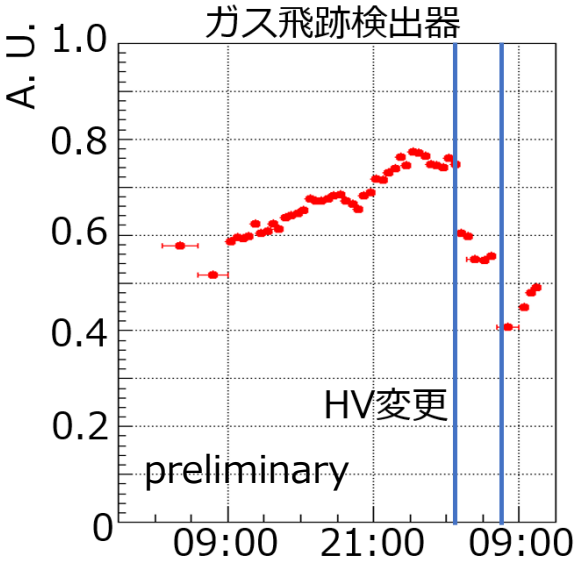
TPCのノイズはストリップを切って、解析的に除去で対応。

上空でのドリフト速度・ゲイン









Ar 2気圧

最小電離粒子

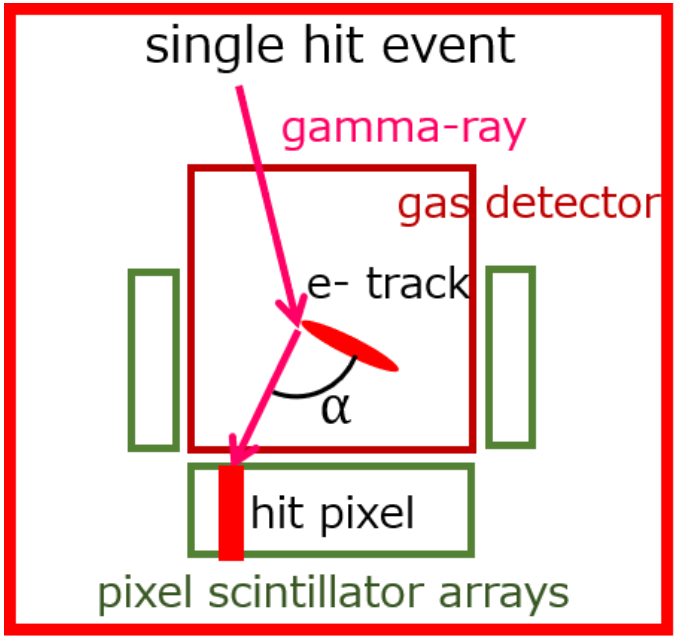
エネルギー損失率

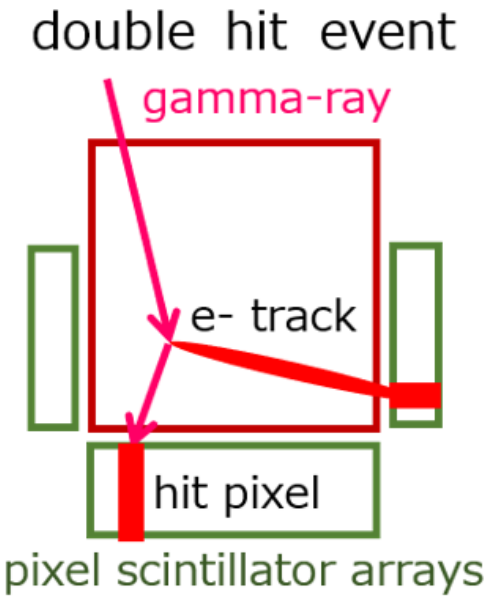
5.08 keV/cm

機上データのドリフト速度・ゲインの較正完了。

ETCCデータの解析方法

検出できるガンマ線事象は2通り





割合(カットなし) 3 : 2

選別条件(今回はシングルヒット事象のみ)

1. single scintillator hitの事象
2. 有効体積内に粒子飛跡が収まる事象
3. fully contained e- の 事象
4. α角によるCompton散乱事象の選択

- シンプルなセレクションのみ
- ガンマ線vetoが必要ない

level flight 時の解析

level flight

4/7 8:45 - 4/8 4:05

livetime 5.8 x 10^4 sec

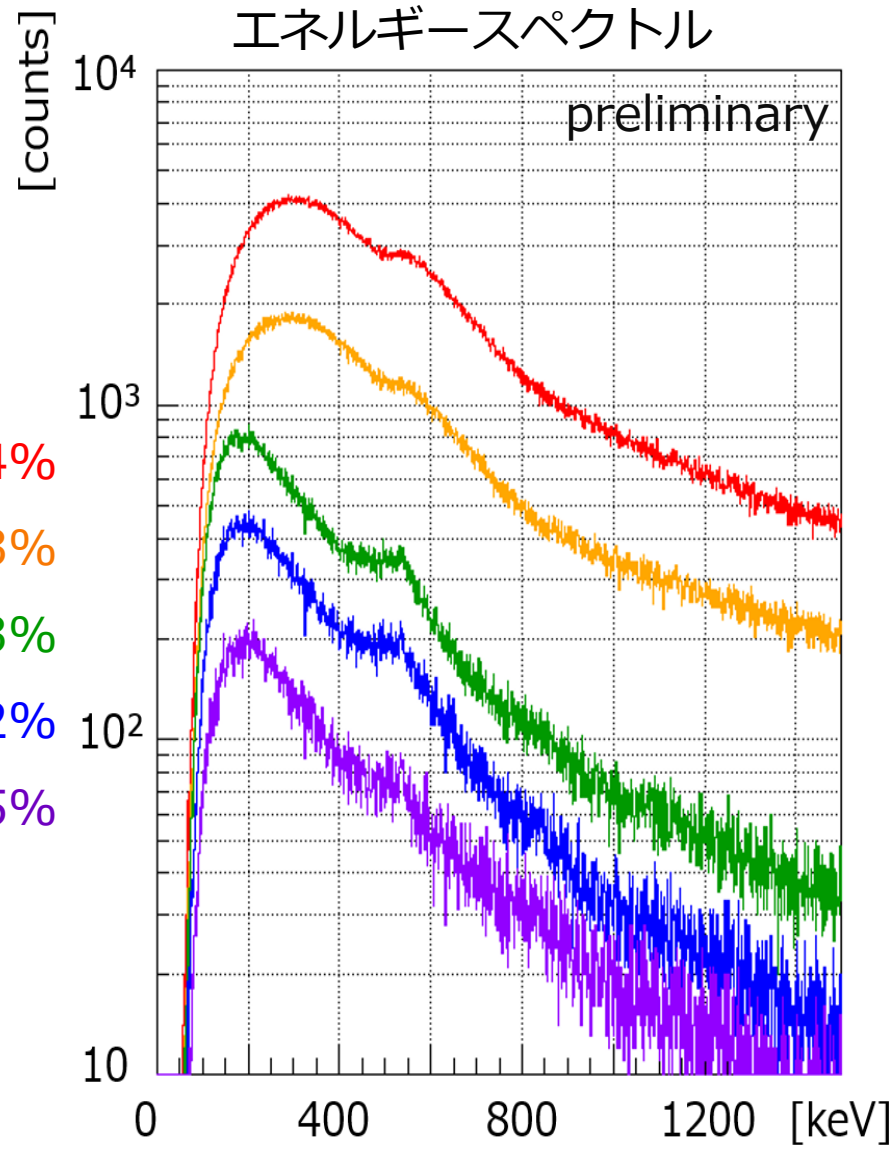
Raw 1.7 x 10^7 events

1. single scintillator hitの事象 22.4%
2. 有効体積内に散乱点がある事象 10.3%
3. fully contained e- の 事象 2.3%
4. α角によるCompton散乱事象の選択 1.2%
5. zenith angle 0 – 60° 0.5%

2桁のノイズ除去ができた。

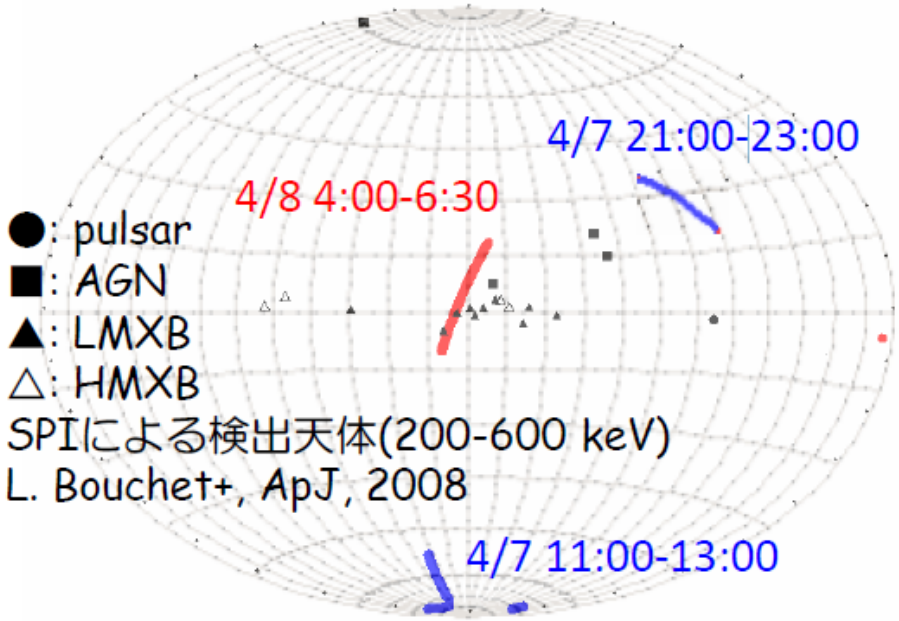
第１回気球実験 SMILE-Iとコンシステント

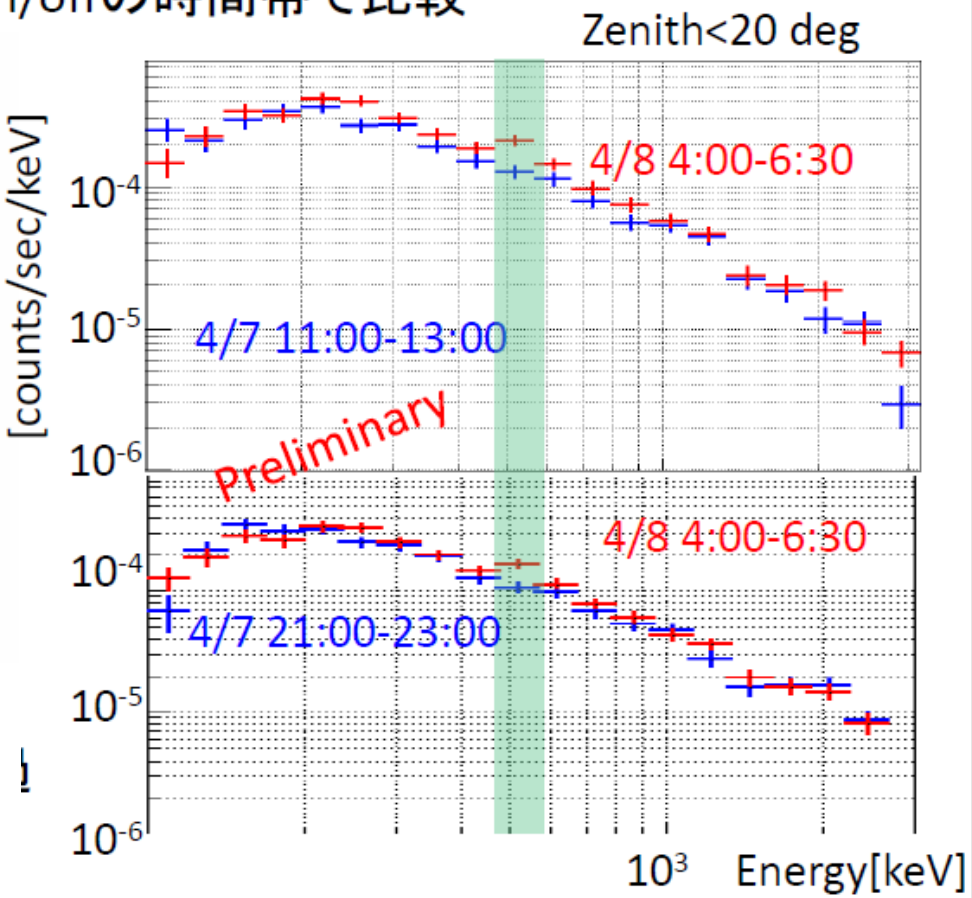
Takada et al., ApJ (2011)



銀河中心領域からの511 keVガンマ線放射

時刻でカットし、スペクトルを確認
Livetime補正を行い銀河中心領域on/offの時間帯で比較





今後、雑音量などの精査が必要

まとめ

- SMILE-2+の目的は天体観測によるイメージングの実証
- 2018年4月にオーストラリアで気球実験を実施し、高度~40 kmで26時間の水平飛翔に成功した。
- 銀河中心領域を8時間、かに星雲を6時間の観測ができた。
- 飛翔中、装置は安定に稼働し、機上データの較正完了
- これまでに得られた結果は過去の文献と無矛盾。
- 銀河中心領域の方向からの~511 keVの超過を確認。
- 今後、検出器のレスポンスの算出・Double hit事象の解析を進め、天体解析を詰める。