

SMILE-2+:MeVガンマ線気球観測 における高エネルギー事象の解析

Contents

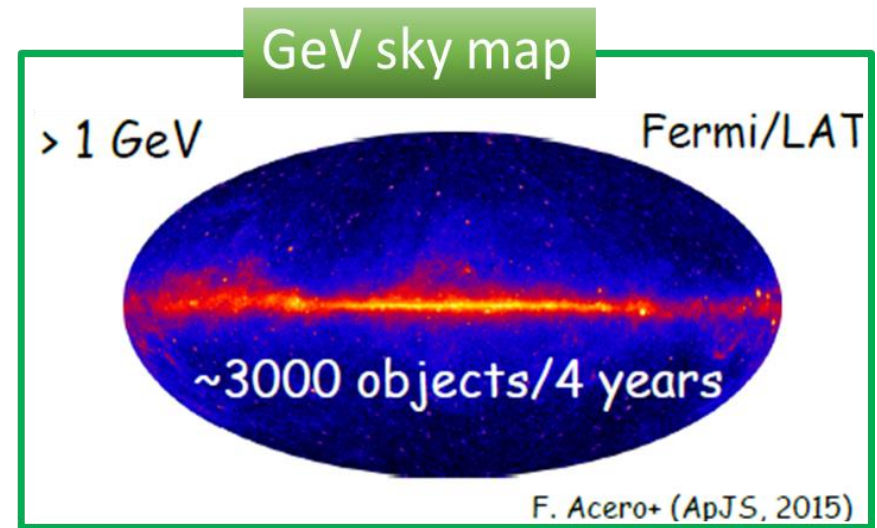
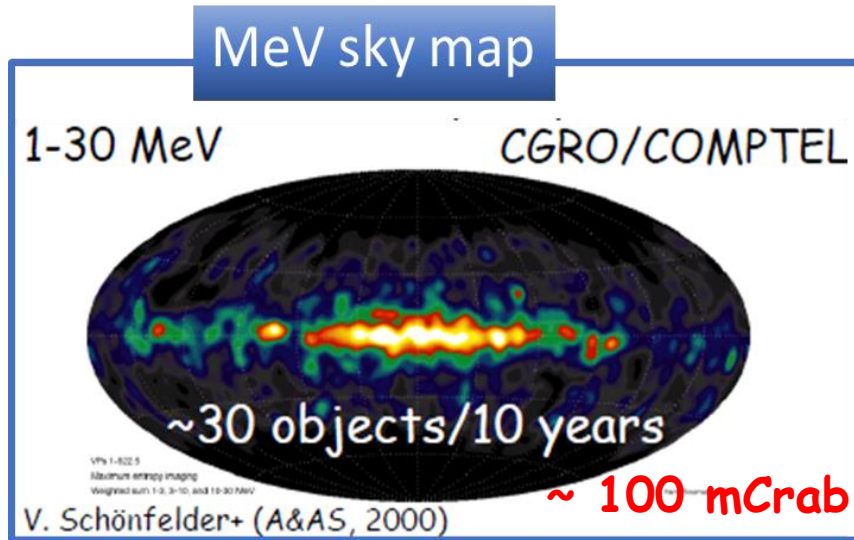
1. MeVガンマ線天文学の現状
2. SMILE実験とSMILE-2+
3. 高エネルギー事象解析の構成
4. 地上・フライトデータへの適用



京都大学 宇宙線研究室 中村優太

谷森達, 高田淳史, 水村好貴, 竹村泰斗, 吉川慶, 小野坂健, 齋藤要, 阿部光, 水本哲矢, 園田真也, 窪秀利,
古村翔太郎, 岸本哲朗, 谷口幹幸, 黒澤俊介^{A,B}, 身内賢太郎^C, 澤野達哉^D, 小財正義^E, 莊司泰弘^F
京都大学, 東北大学^A, 山形大学^B, 神戸大学^C, 金沢大学^D, ISAS/JAXA^E, 大阪大学^F

MeVガンマ線天文学の現状



数百keV-数十MeVのガンマ線帯域＝核ガンマ線のエネルギー帯域

- ◆元素合成: e^\pm 消滅線、 ^{26}Al 、 ^{60}Fe 、SNR
- ◆粒子加速: AGNジェット: Leptonic or Hadronic
- ◆強重力場: ブラックホール降着円盤 π^0

その他にもパルサー・太陽フレア・GRB・Ia型超新星など

宇宙線と衛星筐体との相互作用による雑音事象・散乱優位性

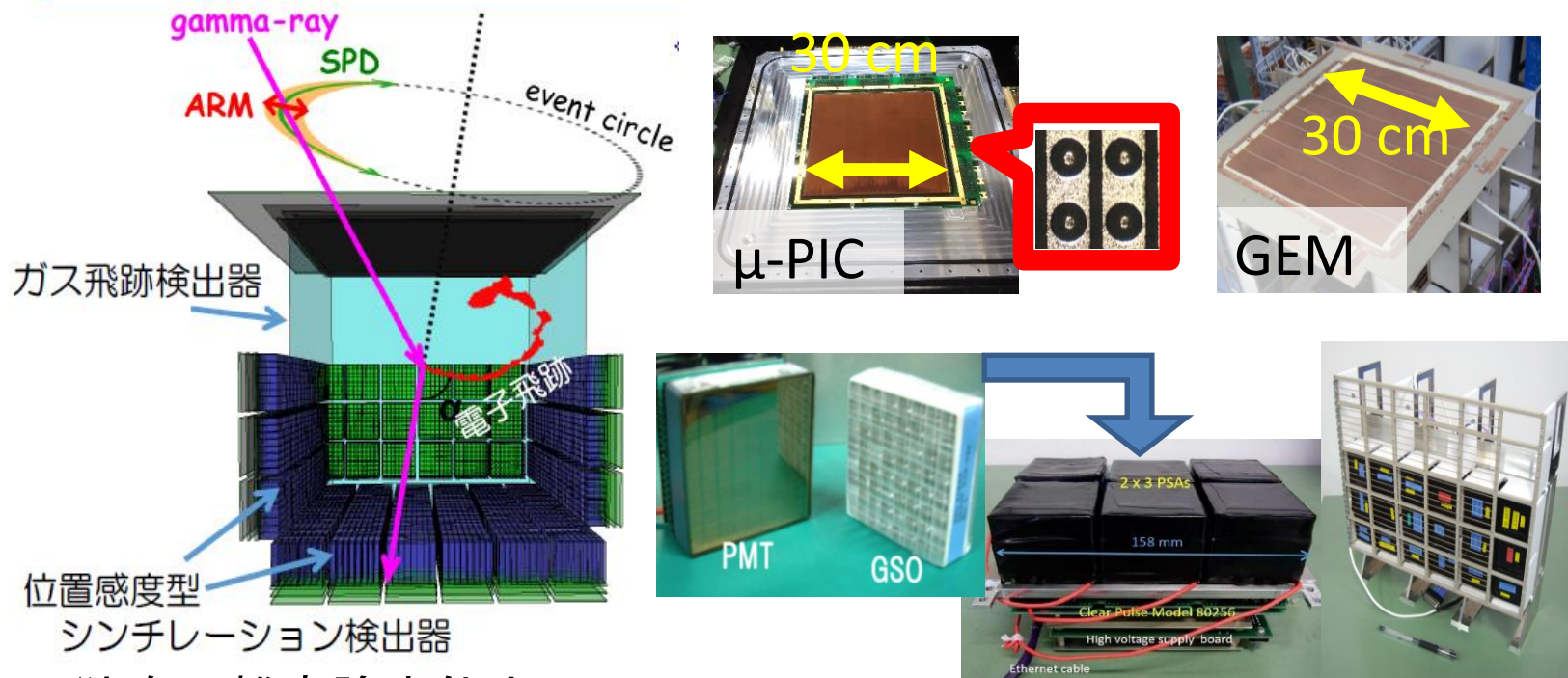
⇒MeV天文の進展には高い雑音除去能力と一意な方向決定が重要。

電子飛跡検出型コンプトンカメラ

電子飛跡検出型コンプトンカメラ(ETCC)

= ガス飛跡検出器(散乱体) + 位置敏感型シンチレーション検出器(吸収体)

⇒ 電子反跳角・光子散乱角を測定できるため、到来方向を一点に再構成可能



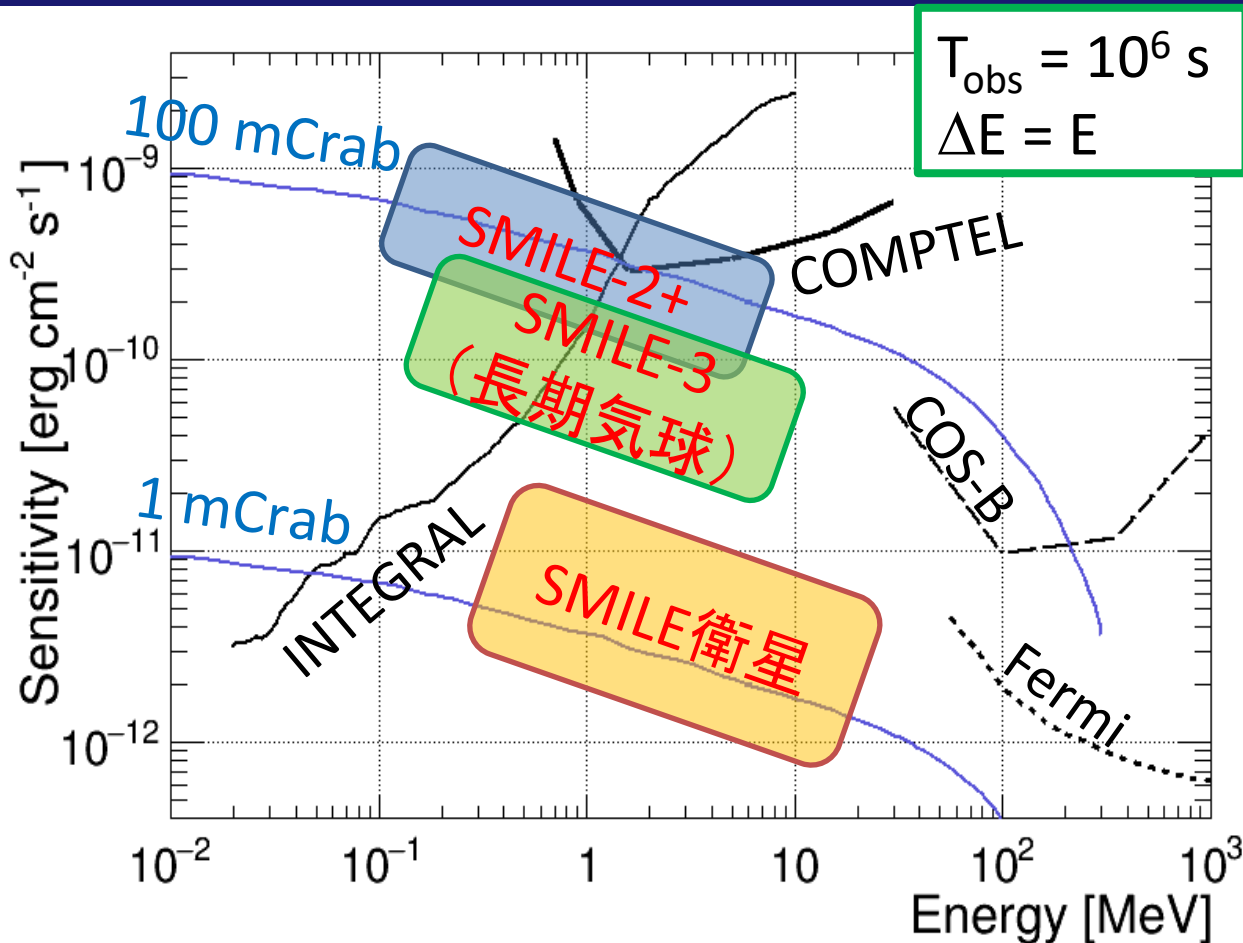
ETCC独自の雑音除去能力:

dE/dxテスト: 荷電粒子ごとの電離損失の違いによる粒子判別

運動学テスト: コンプトン散乱の運動学的制約による事象判別

⇒ 雑音フリーなMeVガンマ線観測が実現可能!!

SMILE実験

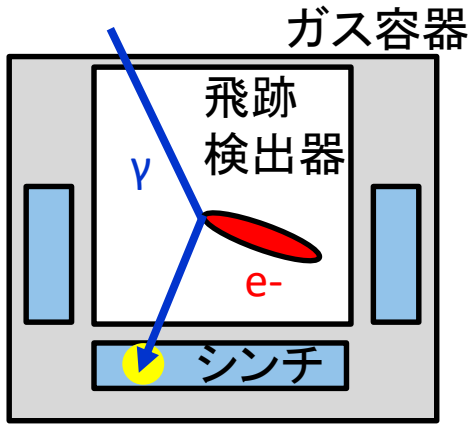


- ・ SMILE-2+ : 2018年に実施した気球高度での撮像性能実証実験
- ・ 長期気球で既存観測よりも数倍高い感度での観測が可能
⇒ ^{26}Al ・ ^{60}Fe ・ e^\pm 消滅分布などの取得
- ・ 衛星観測でIa型超新星爆発機構の解明などを目指す

SMILE-2+での事象解析

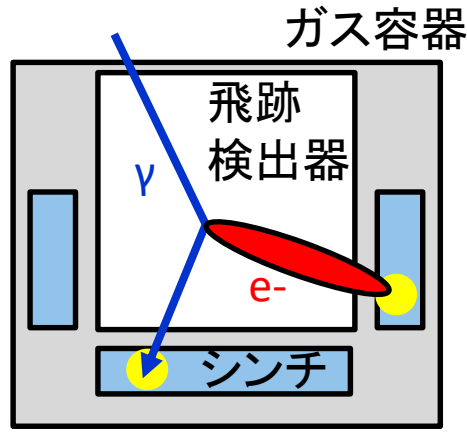
SMILE-2+では低エネルギー用と高エネルギー用の2種類の解析が可能

低エネルギー事象

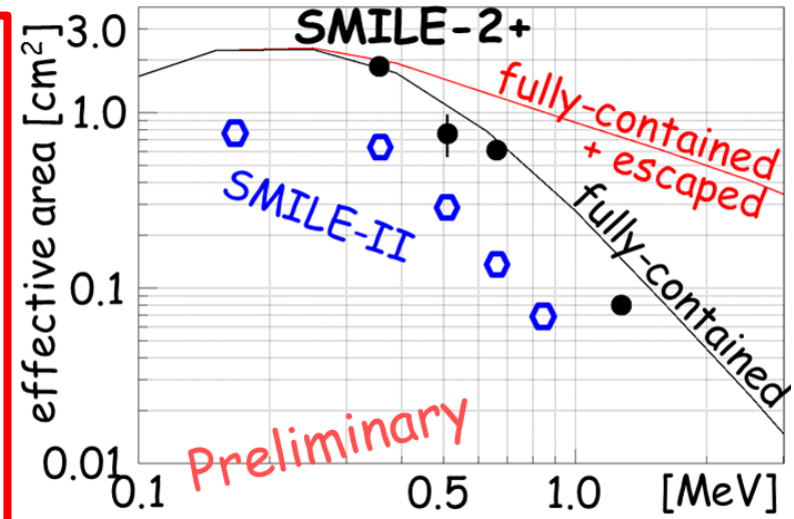


最も単純なコンプトン事象
シンチヒット点が1つ
従来から使用してきた
≲ 800 keVで主要

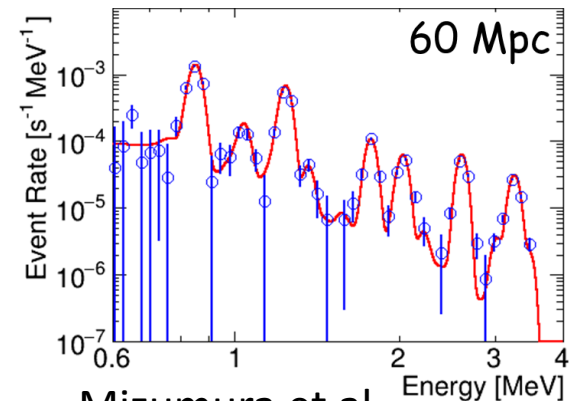
高エネルギー事象



数百keV以上の反跳電子により、
2つ目のシンチヒット点が発生
SMILE-2+で初チャレンジ
≳ 800 keVで主要



SMILE衛星で取得可能な
Ia型超新星のスペクトル

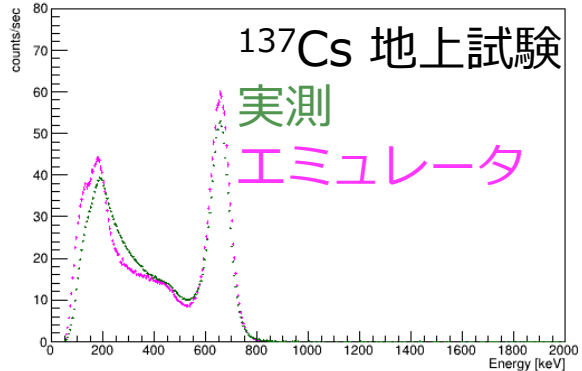


Mizumura et al.,
arXiv:1805.07939

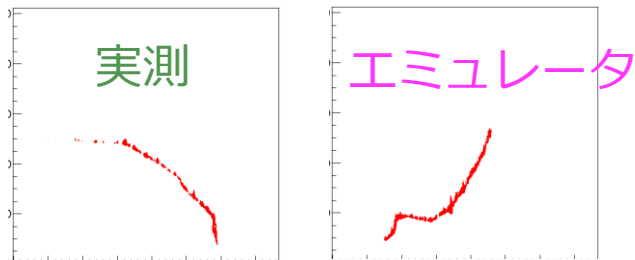
^{26}Al の1.809 MeVや ^{60}Fe の 1.332 MeV, 1.173 MeVをはじめ、
核ガンマ線の多くは高エネルギー事象解析のレンジ
反跳電子の多重散乱影響も少なく、角度分解能がよい
⇒高エネルギー事象はMeVガンマ線天文学開闢のキーワード

低エネルギー事象解析状況

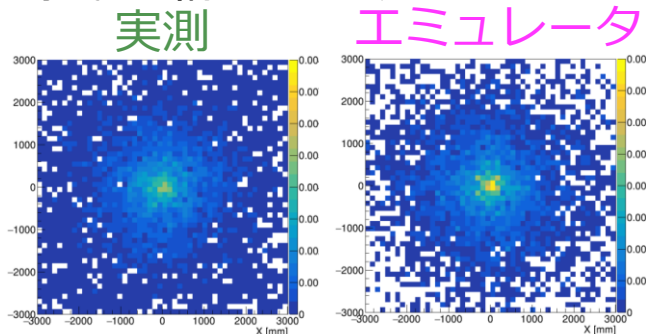
シンチスペクトルの再現



検出される電子飛跡の再現



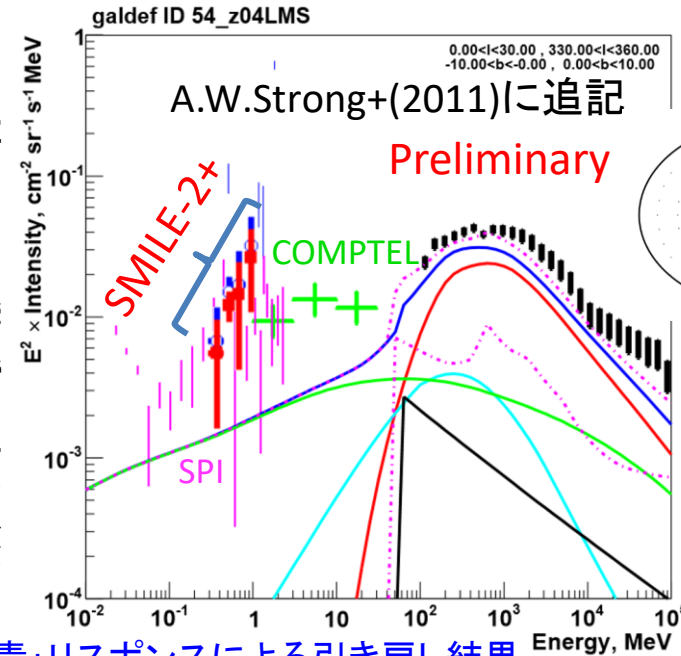
事象再構成の比較



概ね実測を再現するエミュレータが完成

フライトモデル用エミュレータで得た
レスポンスをフライトデータに適用、
拡散ガンマ線成分を解析中

銀河系内拡散ガンマ線



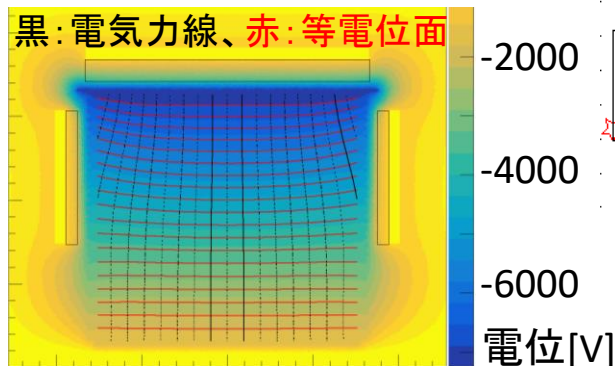
わずか1日の気球観測でありながら、
これまで衛星を要した系内拡散ガンマ線解析の
結果が出つつある。

今後の課題:

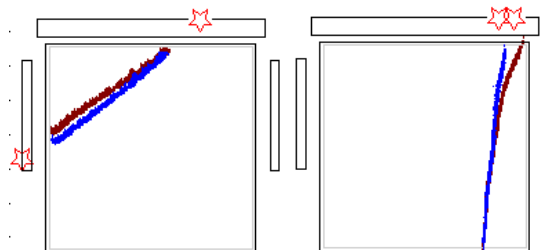
検出器由来ガンマ線・ガンマ線誤検出の見積り

高エネルギー事象解析の構成

前段解析-1(電場歪み補正)



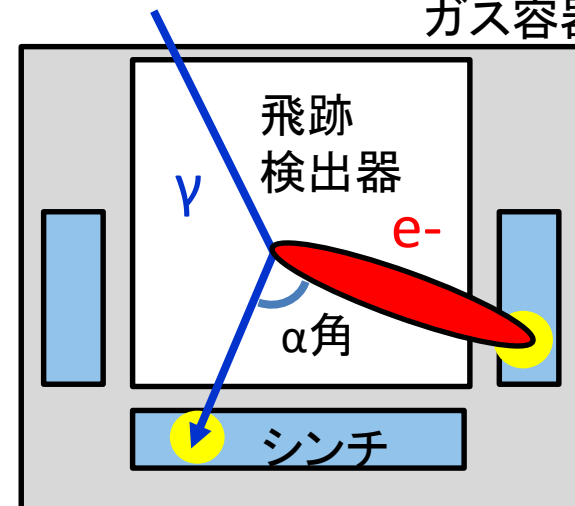
宇宙線候補事象の補正例



赤: 補正前 青: 補正後

上面脱出点の
最大補正量: 4.2 cm

ガス容器

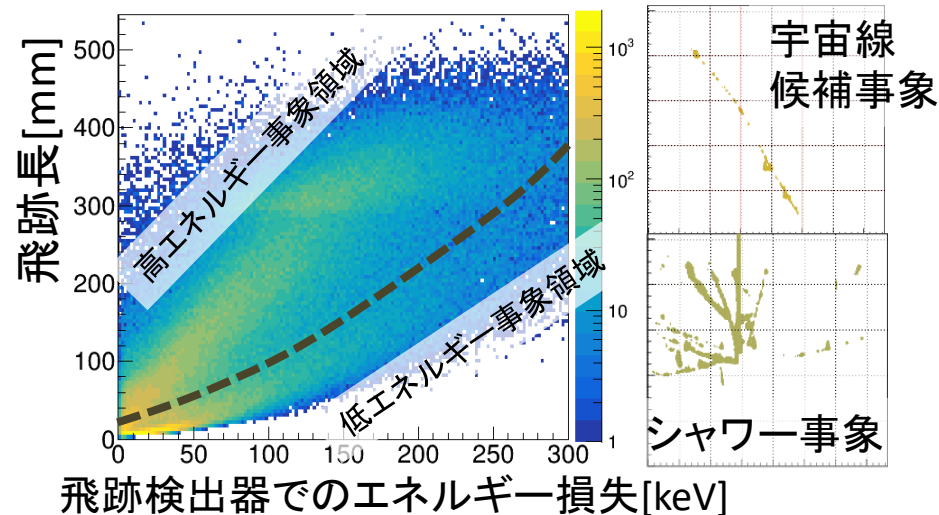


前段解析-2(事象再構成)

運動学テストにより、電子飛跡端点とシンチヒット点の4通りの組み合わせから、もっともコンプトン事象らしい組み合わせを採用

後段解析(事象選別)

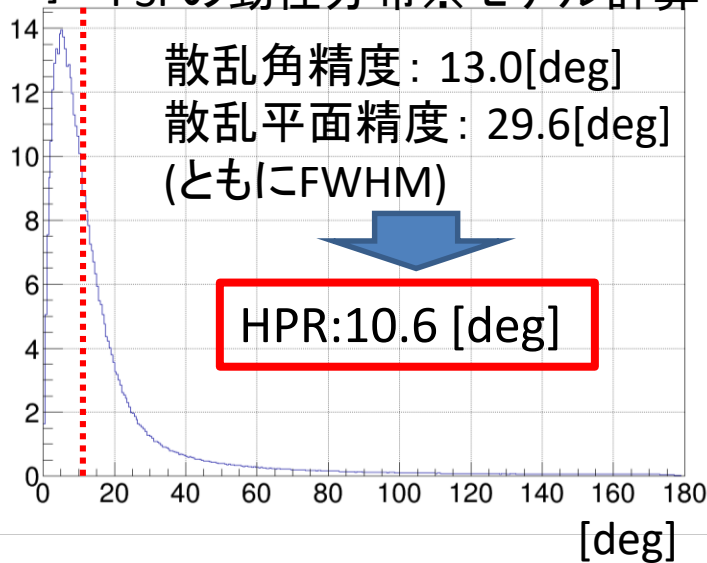
- dEdxテスト
- 運動学テスト
- 電子飛跡のFiducial条件
 - ・リム領域(5 mm)のヒットが1カ所以下
 - ・偶然同時でない(飛跡の検出タイミング)
 - ・散乱点候補がシンチ周辺(40 mm)でない
- 接続条件(飛跡端点とシンチヒット点の位置)



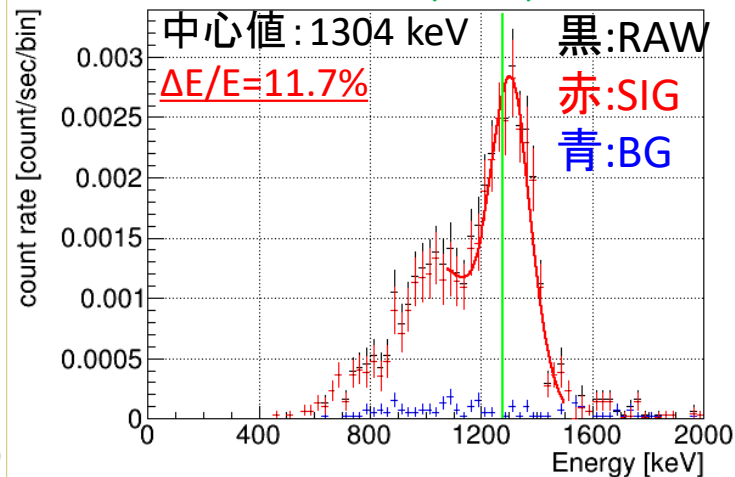
シャワー事象・宇宙線事象と同じ領域
⇒ 飛跡全体の形状を最大限に利用した事象選別が必要(深層学習など?)

地上試験による評価

[a.u.] PSFの動径分布※モデル計算



緑線: 1275 keV(真値)



^{22}Na 線源 1275 keV

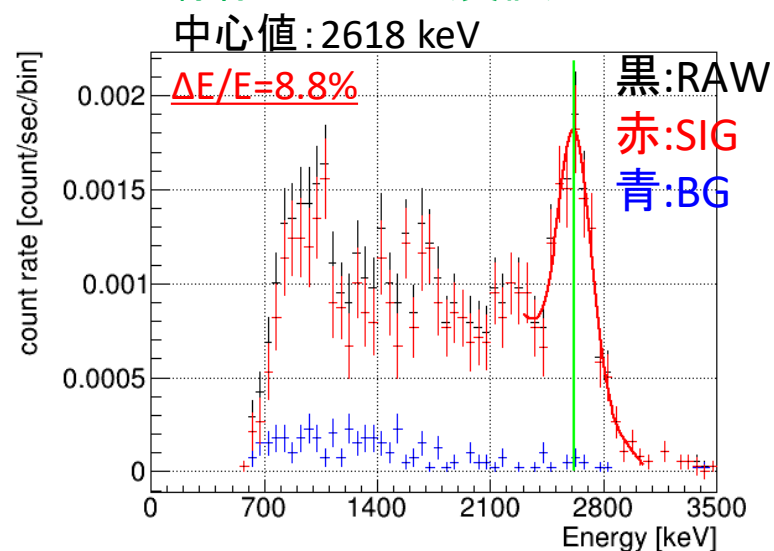
計数: 1666 events

シミュレーション:

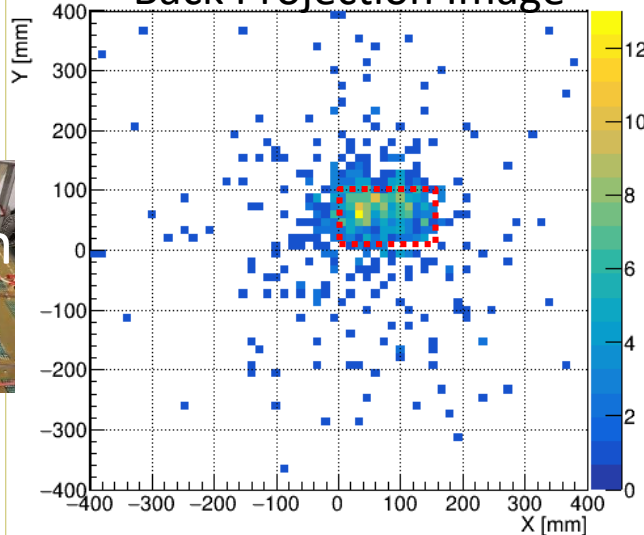
1438 events

※不感領域でのロス・
カット条件分を補正
⇒ほぼコンシステント

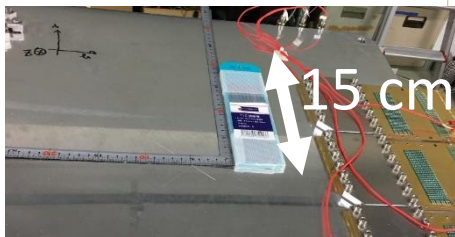
緑線: 2615 keV(真値)



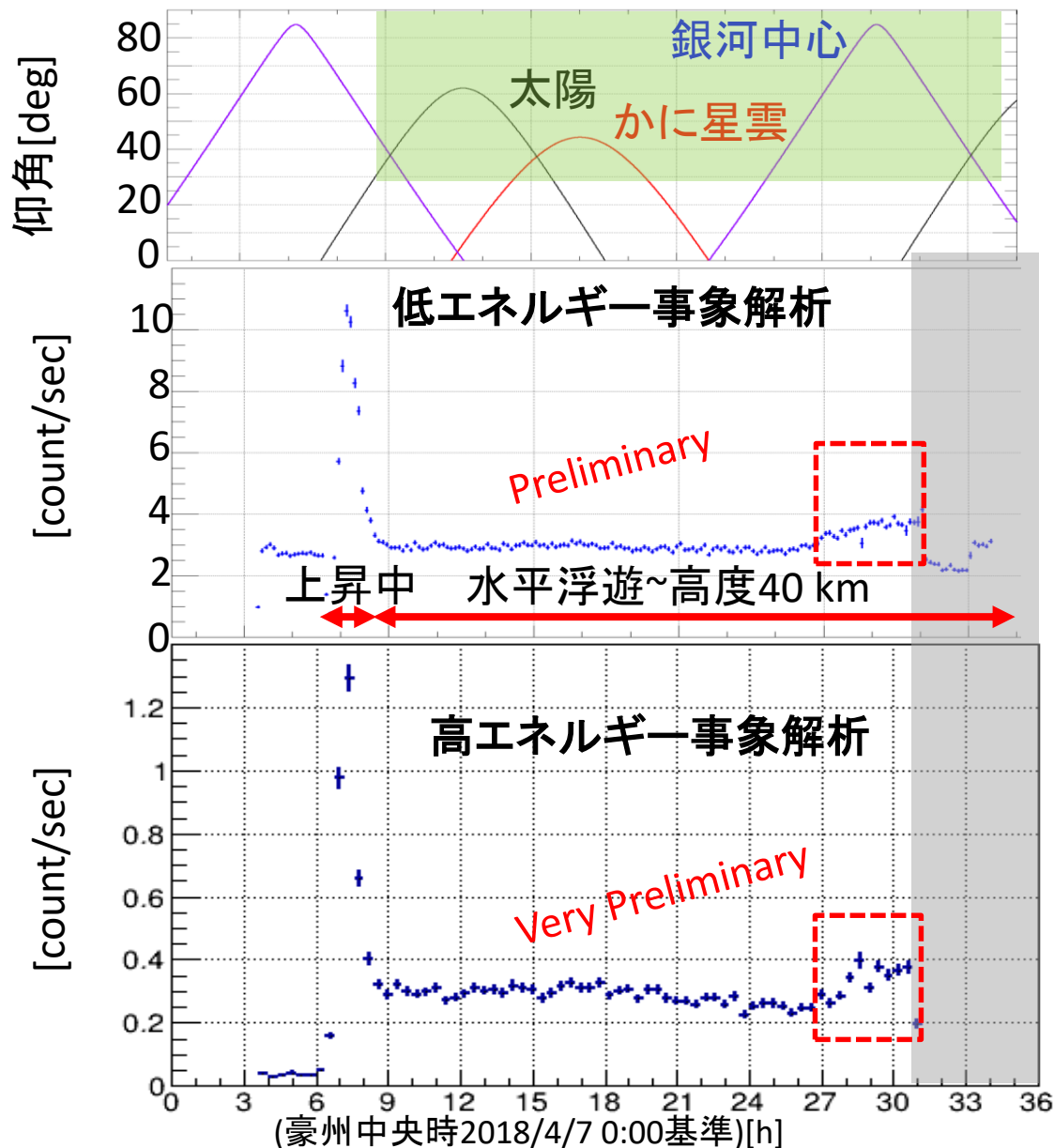
Back Projection Image



トリウム入り
タングステン棒
2615 keV



フライトデータへの適用状況



緑: ETCC視野内

灰: 飛跡検出器で雑音発生

銀河中心が視野中心に近づく
27時から30時にかけてまったく
別の事象を利用した独立な解析
手法で共に同程度の割合の
ガンマ線事象数の増加を確認
⇒雑音除去の成功を示唆

SMILE衛星での感度1 mCrab実現
は高エネルギー事象解析がカギ
⇒実現を担保する結果が得られた

地上より1桁雑音量が多い
気球高度条件下で本当に十分な
雑音除去が出来ているかは
今後、シミュレーションで検証する

まとめ

SMILE-2+の高エネルギー事象解析の状況:

- ドリフト電場歪みを補正
 - 地上試験レベルでは1275 keV, 2615 keVは問題なく撮像可能
 - 事前シミュレーションとコンシステントな検出効率
 - 解析性能:
 - PSF= 10.6 deg (HPR, @1275 keV)
 - $\Delta E/E=11.7\%$ (FWHM, @1275 keV), 8.8% (FWHM, @2615 keV)
 - フライトデータ解析にて銀河中心領域の観測時間帯に計数率の上昇を確認、雑音除去成功を示唆
- SMILE衛星での感度1mCrab実現の担保が得られた

今後の課題:

- 飛跡形状をより積極利用した解析の作成
- エミュレータによる事象選別能力等の検証
- リスponseマトリックスの作成

SMILE-3への宿題:

- ドリフト電場整形(e.g. 面抵抗)
- シンチ遮光材の薄化

