



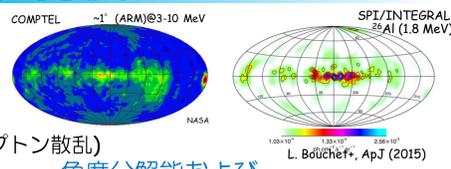
SMILE-2+ : 広視野MeVガンマ線望遠鏡の性能評価と2018年豪州気球実験



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¹, 黒澤俊介^{2,3}, 身内賢太郎⁴, 澤野達哉⁵ (京都大,¹JAXA,²東北大,³山形大,⁴神戸大,⁵金沢大)

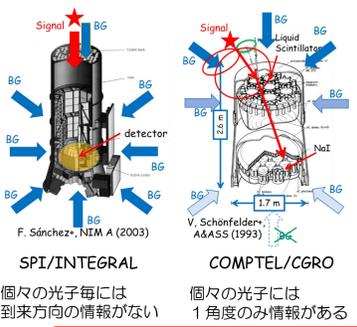
1. MeVガンマ線天文学の現状

- 元素合成
 - 超新星残骸：元素合成のプロセスの解明
 - 銀河面 (²⁶Al, ⁶⁰Fe)：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 (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

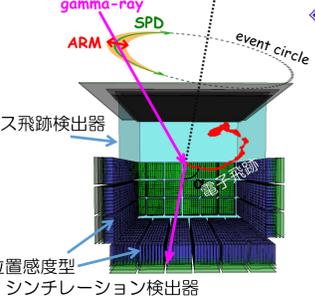


ガンマ線の到来方向：2つの角度情報で表現
 符号化マスク法：光子毎には方向情報がない
 従来コンプトン法：光子毎には角度情報は1つのみ

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

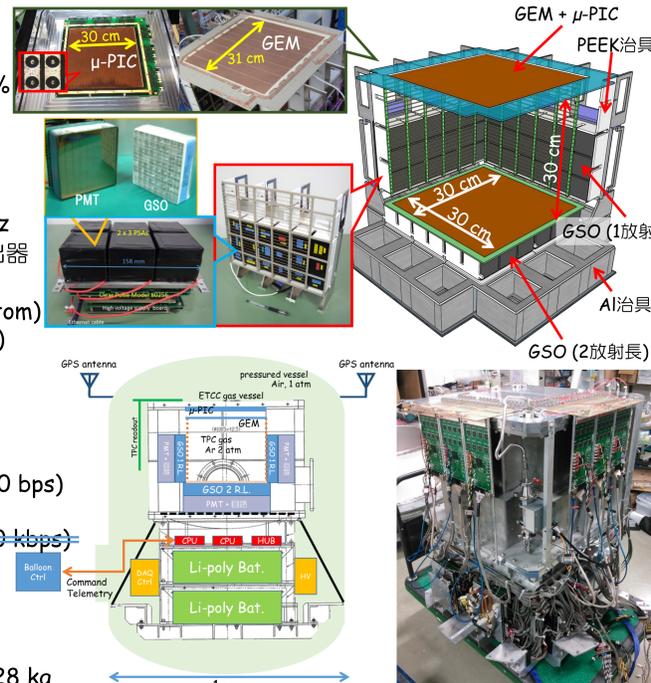


電子飛跡検出型コンプトンカメラ (ETCC)
 コンプトン散乱を利用したガンマ線望遠鏡。反跳電子のエネルギーと方向を取得するガス飛跡検出器と、散乱ガンマ線のエネルギーと吸収点を取得する位置感度型シンチレーション検出器から構成される。COMPTELでは取得できなかった反跳電子の方向を取得することにより、運動量の足し算という単純な方法で、入射したガンマ線のエネルギーと方向を光子毎に測定できる。これにより、従来のコンプトンイメージング法では不可能な鋭いPoint Spread Function (PSF)を実現できる。さらにガンマ線検出に使用しないパラメータにより、非常に強力な雑音除去を可能とする。

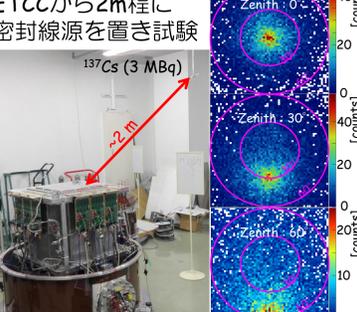
- Sub-MeV/MeV gamma-ray Imaging Loaded-on-balloon Experiments
 - SMILE-I @ 三陸 (Sep. 1st 2006) 10 cm角, Xe+Ar 1気圧 ⇒ 気球高度において安定に動作
 - 気球高度におけるETCCの動作試験
 - 他の観測と矛盾のないスペクトル
 A. Takada+, ApJ, 2011
 - 30 cm立方体ETCC試験機 30 cm角, Ar 1気圧 T. Tanimori+, ApJ, 2015
 - 地上試験 ⇒ 有効面積：~1 cm² @ <300 keV ARM : 5.3度 SPD : ~100度 @ 662 keV ⇒ PSF : ~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：~数cm² @ <300 keV PSF : ~10度 @ 662 keV
 - SMILE-III 30 cm角, CF₄ 3気圧
 - 長時間気球を用いた科学観測
 - 目標 有効面積：~10 cm² @ <300 keV PSF : <5度 @ 662 keV
 - 衛星による全天観測 50 cm角, CF₄ 3気圧
 - 目標 有効面積：~数百cm² @ <300 keV PSF : <2度 @ 662 keV

SMILE-2+フライトモデル

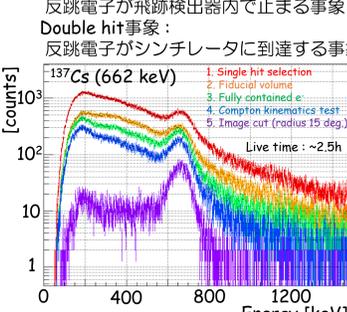
- ガス飛跡検出器
 - Gas : Ar 95% + CF₄ 3% + iC₄H₁₀ 2%
 - 2 atm
 - Volume : 30x30x30 cm³
 - Drift velocity : ~3.5 cm/ μ sec
 - Readout : μ -PIC + GEM
 - 0.08 cm pitch, 100 MHz
- 位置感度型シンチレーション検出器
 - Scintillator : GSO (Gd₂SiO₅)
 - Pixel size : 0.6x0.6x2.6 cm³ (bottom)
 - 0.6x0.6x1.3 cm³ (side)
 - PMT : H8500 (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- ϕ , ~6 kbps)
 - 高速テレメトリ (QPSK, 800 kbps)
- 気球諸元
 - Balloon : B500 (500,000 m³)
 - 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



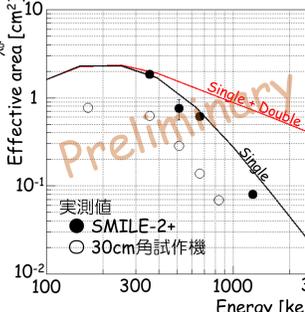
ETCC地上較正実験



今回はSingle hitのみを解析

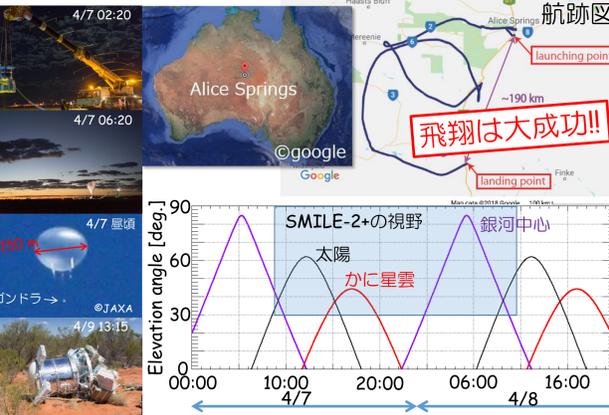


有効面積のエネルギー依存性

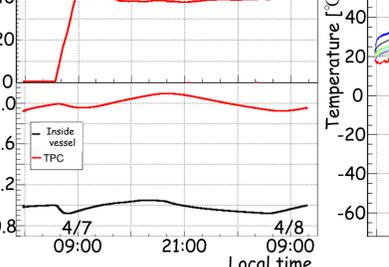


3. 2018年豪州気球実験

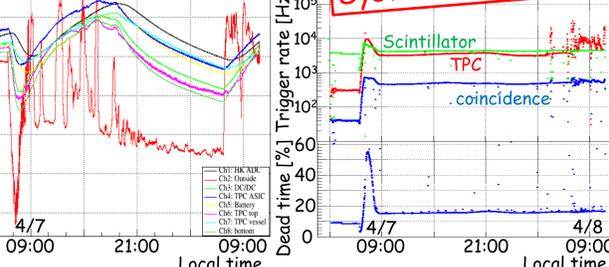
- Time table
 - 2018/4/7 オーストラリア中部標準時
 - 00:10 gondola pick up
 - 02:47 turn on
 - 03:09 start data acquisition
 - 06:24 launch
 - 08:44 reach to floating altitude
 - 2018/4/8
 - 10:45 stop data acquisition
 - 10:53 turn off
 - 11:07 cut down
 - 11:40 landing
 - 2018/4/9
 - 13:10 touch to gondola
 -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



House keeping data



Systemも安定に動作

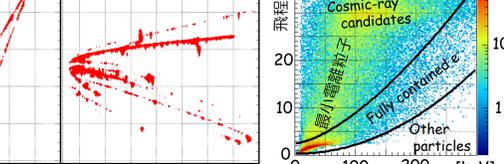


4. ガンマ線事象解析の現状

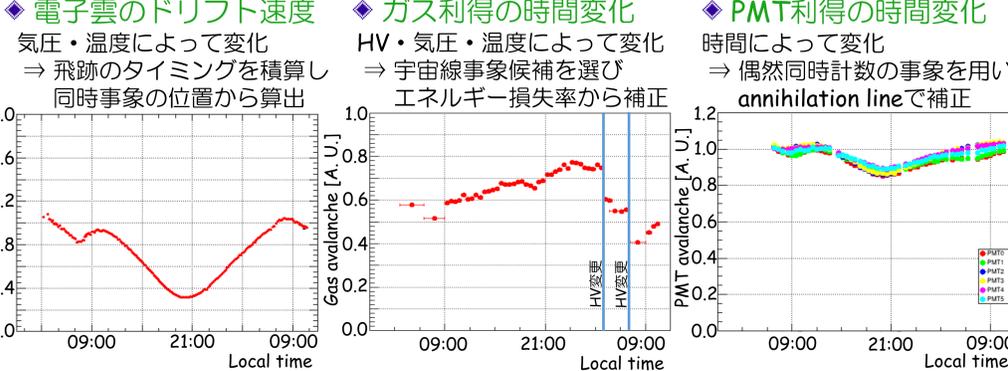
上空で観測された荷電粒子の飛跡例



ガス飛跡検出器でのエネルギー損失

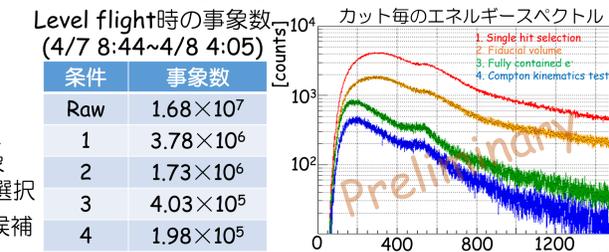


ガス飛跡検出器はほぼ健全に動作、エネルギー損失率による粒子識別も確認

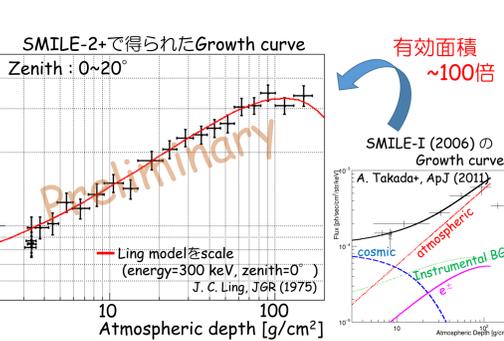
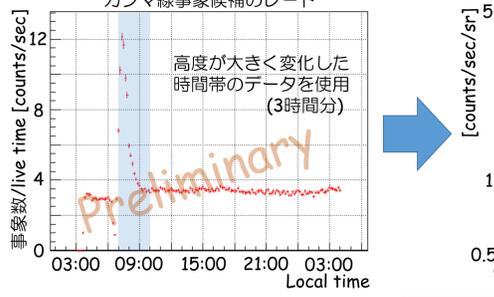


ガンマ線再構成解析

- 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. α 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 cm² @ 300 keVを達成
- オーストラリアで気球実験を実施
- 高度~40 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 ⇒ ガンマ線全天マップを描いて天体の解析へ

地上較正実験で得られたDouble hit事象の例

