

# SMILE-2+ガンマ線望遠鏡 ETCC の性能評価

竹村泰斗、谷森達、高田淳史、水村好貴、古村翔太郎、岸本哲朗、吉川慶、  
中村優太、谷口幹幸、小野坂健、齋藤要、水本哲矢、園田真也、窪秀利、  
黒澤俊介<sup>A,B</sup>、身内賢太朗<sup>C</sup>、澤野達哉<sup>D</sup>、濱口健二<sup>E,F</sup>、小財正義<sup>G</sup>

京大理, A:東北大 NICHe, B:山形大理, C:神戸大理, D:金沢大数物

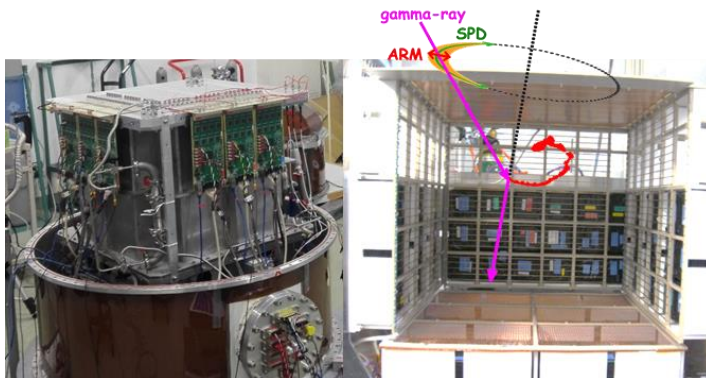
E:メリーランド大学, F:CRESST NASA/GSFC, G:ISAS/JAXA

## 1. MeV ガンマ線望遠鏡 Electron-Tracking Compton Camera (ETCC)

MeV ガンマ線天文学はイメージングの技術的困難さと膨大な雑音ゆえに発展が遅れている未開拓な帯域である。この現状を打破すべく我々はイメージングと雑音除去に優れた MeV ガンマ線望遠鏡、ガス ETCC(Electron-Tracking Compton Camera)[1][2]の開発を進めている。我々の ETCC はガス飛跡検出器とその周りのシンチレータ検出器で構成されている。到来ガンマ線がガス検出器内でコンプトン散乱を起こし、散乱ガンマ線がシンチレータ検出器に吸収されたイベントを測定する。ガス検出器で反跳電子の散乱方向、エネルギーをガス検出器で取得し、シンチレータ検出器で散乱ガンマ線の吸収点とエネルギーを取得する。これらにより、図 1 右に示すように、ガンマ線の到来方向を 2 つの角度分解能 (ARM:検出器のエネルギー分解能に依存,SPD:電子の反跳方向取得精度に依存)により一意に決定する。散乱体にガス検出器を使用することにより、反跳電子の方向をより正確に取得し、SPD を制限でき MeV ガンマ線望遠鏡として優れた角度分解能を得る。

またガス検出器を用いることで、飛跡長・エネルギー損失から粒子識別や、電子の反跳角がコンプトン運動学と一致したイベントを抽出することによる偶然同時事象の削減( $\alpha$  カット)、などの雑音除去能力を有しており、ガス ETCC は雑音に強い望遠鏡である。

## 2. SMILE-2+ ETCC 性能評価



我々は ETCC を搭載した気球観測にて Sub-MeV 領域が明るい天体(かに星雲、銀河中心の電子消滅線)を撮像することで、ETCC の天体撮像能力を実証する気球実験 SMILE-2+を 2018 年 4 月に豪州にて行った[3]。

図 1 SMILE-2+ ETCC 写真 (左:全体図 右:ガス容器内部)

我々は SMILE-2+の観測要求を満たすべく、有効面積、角度分解能を向上させる開発として、シンチレータ検出器のガス容器内部への配置、シンチレータの増長、ガスの増圧などの改良を施した。(図 1)[4]

SMILE-2+ ETCC において得られるガンマ線イベントは 2 種類に分けることが可能である。ひとつは比較的電子のエネルギーが小さく反跳電子が有感ガス領域内に収まるイベント(Single Hit Event)であり、もう一つは反跳電子のエネルギーが大きく、ガス領域を抜け出しシンチレータ内で止まるイベント(Double Hit Event)である。後者のイベントを用いることで SMILE-2+ ETCC は 1 MeV 以上のガンマ線において有効面積を大きく向上する(図 2)。しかし、後者のイベント解析は現在開発途中であるため、本文では前者のイベントに絞り性能評価を記す。

➤ 有効面積

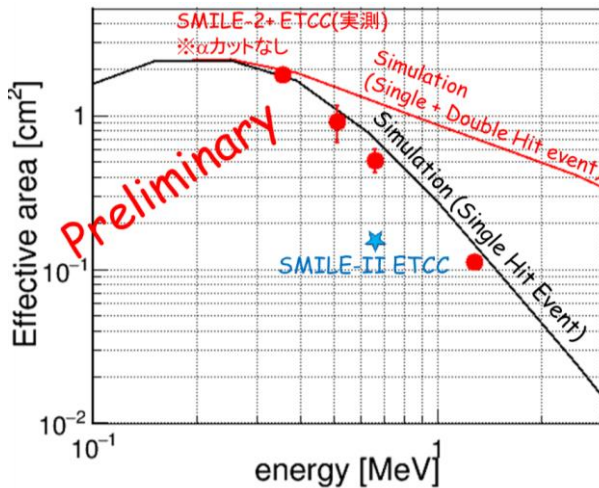


図 2 SMILE-2+ ETCC 有効面積

SMILE-2+ ETCC は SMILE-II ETCC の約 3 倍である 0.5 cm<sup>2</sup> の有効面積を 662 keV において実現した。図 2 は zenith 方向 0° における各エネルギーにおける有効面積を示した図であり、シミュレーションと大きな差はなく一致した結果が得られた。

662 keV における有効面積を Zenith、Azimuth 依存性を実測とシミュレーションにより計算した結果を図 3 に示す。Zenith 方向において有効面積が減少するのは ETCC ガス容器側面のステンレス

(上面、下面はアルミニウム)や側面配置のシンチレータがガンマ線の遮蔽物となるためである。Zenith 依存性において 60° ,70° 付近において実測値とシミュレーション値に大きな差があるが、現在原因を調査中である。

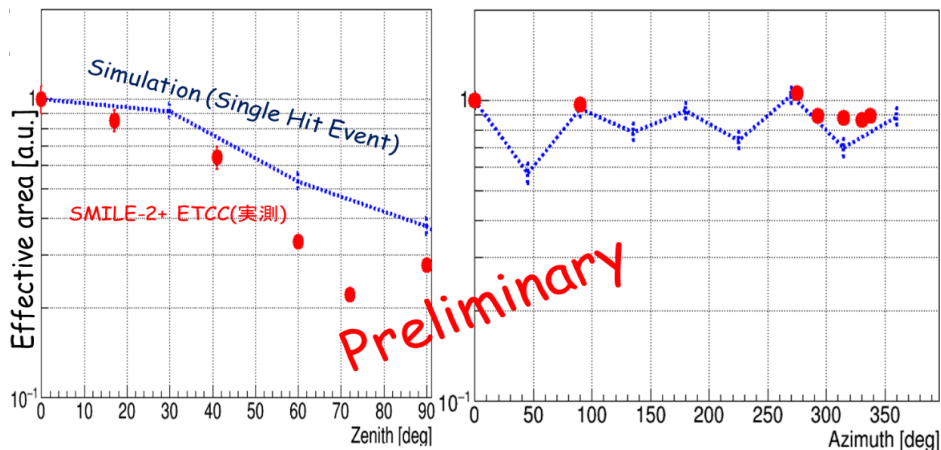


図 3 SMILE-2+ ETCC 有効面積の角度依存性

Azimuth 方向においては  $0^\circ$  ,  $90^\circ$  ,  $270^\circ$  などの対称となる角度は有効面積が同等の値を示した。また、実験とシミュレーションにおいて、ともに  $45^\circ$  相当の箇所において有効面積が微減する現象が見られ無矛盾の結果が得られた。

➤ エネルギー分解能、ARM

SMILE-2+のエネルギー分解能(FWHM)は662 keVにおいて~13% の値が得られた(図 3)。Azimuth の違いによる変化はほとんど存在しない。Zenith に対しては  $60^\circ$  において~11% と微減する。角度がつくことにより有感ガス領域内に収まる電子の飛翔距離が増加し、電子に多くのエネルギーが分配されるイベントの割合が上昇する。同等のエネルギーにおいて、エネルギー分解能はガス検出器の方が優れているため結果として ETCC のエネルギー分解能が向上する。

ARM は 662 keV において  $10^\circ$  の値を得た。Zenith の変化による ARM の変化は少なく、 $60^\circ$  においても~ $11^\circ$  の値を示しており(図 4)、視野内において ARM の変動が少ないことが示された。しかし、SMILE-2+のエネルギー分解能から予測される ARM の値は  $5.4^\circ$  (ガス検出器エネルギー分解能 25% @31 keV、シンチレータエネルギー分解能 13.0% @662 keV のとき)であり、大きく異なる。我々はガス有感領域内の電場ゆがみを補正と散乱点の取得精度を向上により ARM を  $5.4^\circ$  に回復できると考えている。

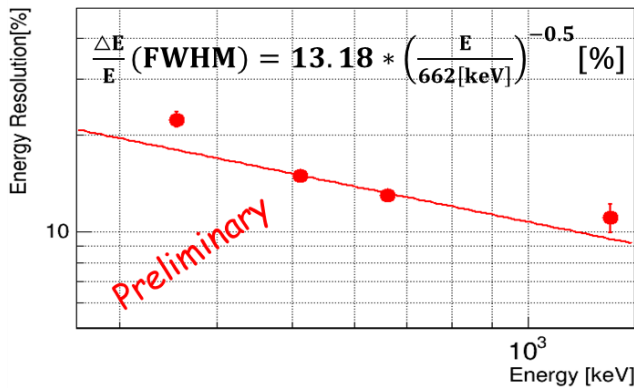


図 3 SMILE-2+ ETCC エネルギー分解能

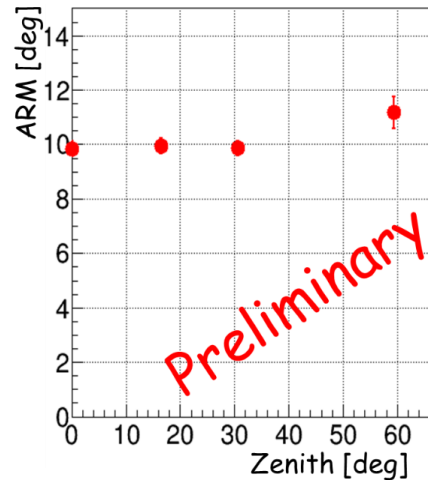


図 4 SMILE-2+ ETCC ARM の Zenith 依存性

参考文献

- [1] T. Tanimori, et al., ApJ, 810(1), (2015) p. 28.
- [2] T. Tanimori, et al., Scientific Reports, 7, (2017) p. 41511.
- [3] 高田淳史,他,平成 30 年度体気球シンポジウム, isas18-sbs-019
- [4] 竹村泰斗,他,平成 29 年度体気球シンポジウム, isas17-sbs-026