

SMILE-2+バックグラウンド事象の研究

竹村泰斗、谷森達、高田淳史、水村好貴、吉川慶、中村優太、阿部光、古村翔太郎
岸本哲朗、谷口幹幸、小野坂健、齋藤要、黒澤俊介^{A,B}、身内賢太郎^C、澤野達哉^D
濱口健二^{E,F}、窪秀利、小財正義^G、庄司康弘^H

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, H:大阪大

1. Introduction

数百 keV から数十 MeV にわたる MeV ガンマ線領域は、原子核の脱励起に伴うガンマ線が検出可能であり、その観測により元素生成プロセスや元素拡散の様子について解明が期待されている領域である。その他にも、活動銀河核における粒子加速からの放射や太陽フレア、最遠方 GRB の観測など、天文学的・物理学的に非常に重要な領域である。1991 年に全天探査 MeV ガンマ線望遠鏡 COMPTEL を搭載した CGRO 衛星が打ち上げられた。しかし、COMPTEL が発見した定常天体の数は 30 個程度にとどまった[1]。そして COMPTEL 以降、全天 MeV ガンマ線望遠鏡は今日まで衛星として打ち上げられることがなく、現在、MeV 領域は未開拓かつ停滞した領域となっている。

この停滞した現状を形成している理由は MeV ガンマ線領域特有の膨大なバックグラウンド事象と MeV ガンマ線撮像の難しさにある。MeV ガンマ線領域において、宇宙線と衛星筐体が相互作用を起こすことで膨大なバックグラウンドが発生する。さらに、既存の MeV ガンマ線イメージング法ではガンマ線をイベントごとに到来方向を一意に決定することができない。そのため、既存の MeV ガンマ線望遠鏡では筐体からくるバックグラウンド事象と天体由来のガンマ線を切り分けられず、望遠鏡感度を大きく落とすとした。

この現状を打破すべく、我々は全く新しい MeV ガンマ線望遠鏡 Electron-Tracking Compton Camera (ETCC)[2]の開発を進めている。ETCC はコンプトン散乱を利用した望遠鏡であり、反跳電子飛跡とそのエネルギーを測定するガス飛跡検出器 TPC と、散乱ガンマ線の吸収点とエネルギーを測定するピクセルシンチレータ検出器で構成されている。従来のコンプトンカメラと異なり、反跳電子の飛跡を得ることにより、ガンマ線の到来方向を一意に決定する。また、ETCC はガス中を走った粒子の落としたエネルギーと飛程の比 (dE/dX) をもととした粒子識別能力、コンプトン散乱角の運動学的テストによるコンプトンイベントの抽出能力を備えている。ETCC はこれらのガンマ線方向決定能力とバックグラウンド除去能力により、高感度な MeV ガンマ線観測が可能となる。我々は ETCC による科学観測を進めるべく、Sub-MeV/MeV gamma-ray Imaging Loaded-on-balloon Experiment, SMILE 計画を進めている。最初の SMILE 実験である SMILE-I は 10 cm 立方の TPC で構成した ETCC を気球に搭載し、2006 年 9 月に実験実施、高度 32~35 km の水平浮遊にて 3 時間の観測を行った。この実験により宇宙拡散・大気ガンマ線を観測し、観測光子数とシミュレーションの一致から ETCC の雑音除去能力を実証した[3]。

2. SMILE-2+気球実験概要

ETCC の天体撮像能力の実証試験として、sub-MeV/MeV 領域で明るいかに星雲と銀河中心領域を観測ターゲットとした気球実験 SMILE-2+を 2018 年 4 月 7 日豪州アリススプリングスにて実施した。SMILE-2+ 気球は現地時間 (ACST) 2018/4/7 6:24 に放球し、8:44 に水平浮遊に至り、4/8 11:07 までの約 29 時間、飛翔を続けた。気球高度は 38.4 km~40.5 km であり、かに星雲を 5 時間と銀河中心領域を 8 時間観測した。

SMILE-2+ ETCC は Ar(95%), CF₄(3%), iso-C₄H₁₀(2%) (ガス圧比) 2atm を封入した 30cm TPC と、TPC を囲むように配置した GSO(Ce)ピクセルシンチ

レータで構成している。SMILE-2+ ETCC の重要な点はシンチレータもガス容器内に配置していることである[4]。この配置にすることで SMILE-2+ ETCC は反跳電子が有感ガス領域内におさまるイベントの解析(従来解析)に加えて反跳電子がガス領域を抜け出してシンチレータで止まるイベントの解析が可能となった。後者の解析方法は 1 MeV 以上のガンマ線において重要であり、[5]にて解析方法の詳細を記述している。本文にて以下で述べる SMILE-2+観測結果は、前者解析手法による結果のみ記述している。

SMILE-2+フライトデータからガンマ線イベントを抽出するために、(1)シンチレータに対して 1 Hit のみ、(2)飛跡が TPC 内に収まっている、(3)dE/dX による粒子識別、(4)コンプトン運動学テスト、(5)Zenith < 60° のカットをしている。これらのカットにより ETCC は 2 桁近くのバックグラウンド事象を削減することに成功している(図 1)。

3. SMILE-2+観測 かに星雲

図 2 の左図は SMILE-2+観測により得られたガンマ線イベントの到来方向を銀河座標で描いた図である。ETCC 視線方向が高銀緯となる 4/7 9:30~13:00、4/7 21:00~4/8 1:00 (ACST)のイベントを OFF 領域とした。つまり系外ガンマ線の成分を OFF としている。左図から OFF 成分を引いた図が図 2 右図である。この図から分かるようにかに星雲と銀河中心領域においてガンマ線量は明らかな超過がみられる。かに星雲方向から検出したガンマ線イベントは 106.6event であり、この値は INTEGRAL/SPI のかに星雲スペクトルと ETCC 地上性能評価試験による結果から零次近似的に算出したイベント数 132 イベント[6]と一致を見せている。

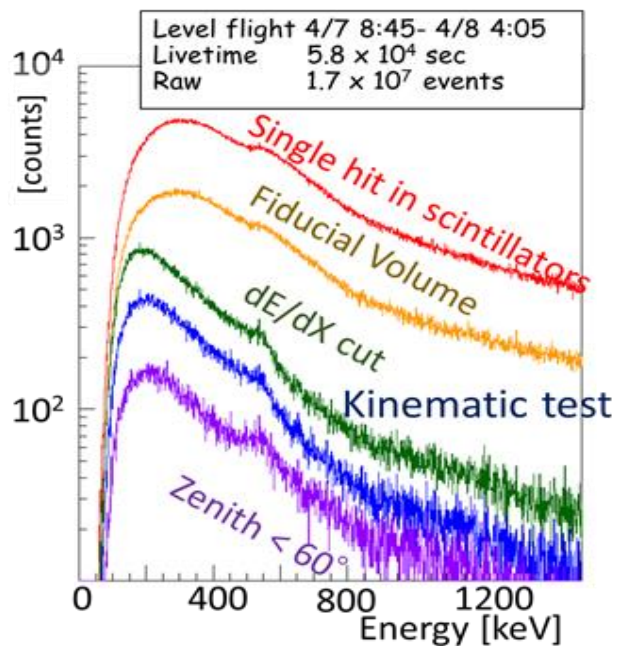


図 1. SMILE-2+気球観測における各カット条件での Energy Spectrum

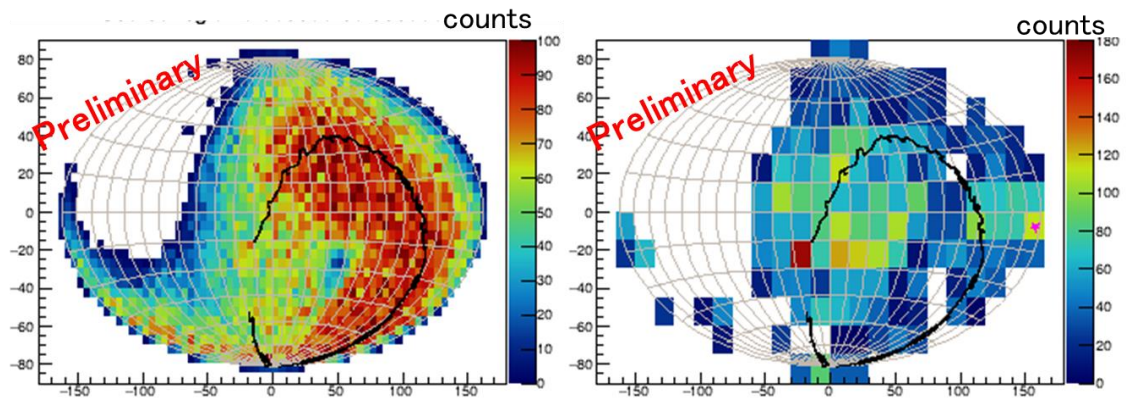


図 2. (左図)銀河座標における SMILE-2+ガンマ線イベントマップ (右図) ON - OFF 解析により系外ガンマ線を取り除いたイベントマップ、ピンク星はかに星雲の位置を示している

4. 宇宙線由来のガンマ線バックグラウンド事象について

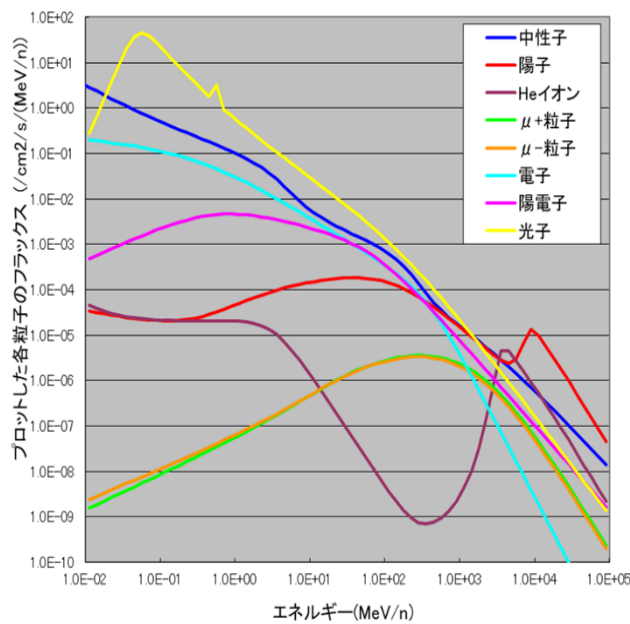


図 3. EXPACS により算出した SMILE-2+気球環境下の宇宙線フラックス (高度 39 km, 南緯 23.7°、東経 133.9°、2018 年4月 7 日)

宇宙線と衛星筐体の相互作用により発生するバックグラウンドガンマ線量を見積もることは SMILE-2+の詳細解析を進めていく上で必須となる。そこで任意の場所、時間における宇宙線量を算出するツール EXPACS[7]を用いることで SMILE-2+気球実験日、気球高度における陽子、中性子、電子、陽電子などの宇宙線フラックスを算出した(図 3)。算出したフラックスにて各種宇宙線と SMILE-2+フライトモデルを Geant4 上で相互作用をシミュレーションすることで、宇宙線由来のガンマ線バックグラウンド量を計算している。現在、様々な Zenith、Azimuth において各宇宙線がどの程度の sub-MeV/MeV ガンマ線を生成するかをシミュレーション中である。

参考文献

- [1] V. Schönfelder, et al., *A&ASS*, 143 (2000) 145-179
- [2] T. Tanimori, et al., *ApJ*, 810(1), (2015) 28.
- [3] A. Takada, et al., *ApJ*, 733 (2011) 13
- [4] 竹村泰斗, 他, 平成 30 年度体気球シンポジウム, isas18-sbs-020
- [5] 中村優太, 他, 平成 31 年度体気球シンポジウム, isas19-sbs-023
- [6] 竹村泰斗, 他, 日本物理学会第 74 回年次大会
- [7] <https://phits.jaea.go.jp/expacs/jpn.html>