

令和 7 年度 (2025) 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文: MeV ガンマ線背景放射の放射起源解明に向けた電子飛跡検出型コンプトン望遠鏡内在放射線の精密測定

英文: Measurement of the intrinsic radioisotopes in electron-tracking Compton telescopes for studying the radiation mechanism of extragalactic diffuse gamma-rays

研究代表者 高田 淳史 (京都大学 大学院理学研究科)

参加研究者 岡 知彦 (立命館大学 総合科学技術研究機構)

研究成果概要

数百 keV から数十 MeV における MeV ガンマ線帯域でも一様等方に到来する背景放射が観測されており、遠方銀河からの放射の重ね合わせと考えられている。しかし、その放射機構は解明されておらず、活動銀河核・ 10^{17} g 程度の原始ブラックホール・MeV スケール質量の暗黒物質といった様々な可能性があり、結論が出ていない。MeV ガンマ線帯域ではコンプトン散乱が優位な相互作用である為、検出そのものが困難である。その上、宇宙線と筐体の相互作用により多量の雑音粒子が生成される為、SN 比の悪い観測しか行われておらず、OFF 領域を取れない背景放射の観測は特に困難を極める。

我々が開発してきた電子飛跡検出型コンプトン望遠鏡(ETCC)は、粒子識別やコンプトン散乱運動学に基づいて雑音事象を排除し、光子毎に到来方向を一意に制限できる為、3 sr もの大きな視野と低雑音を同時に実現する。この ETCC を搭載し 2018 年にオーストラリアで放球された SMILE-2+ 実験は、天体観測実証実験として実施され、銀河中心領域の電子陽電子対消滅線とかに星雲を有意に検出したと同時に、大きな視野を活かして高銀緯領域も同時に観測を行っている。2025 年度は SMILE-2+ の気球上昇中の観測に着目し、MeV ガンマ線背景放射の解析を実施した。

気球高度における雑音事象としては、宇宙線と地球大気の相互作用から生じる大気ガンマ線・宇宙線と気球ゴンドラの相互作用から生じる機器由来の雑音事象があるが、これらに加えて SMILE-2+ では、結晶製造時に GSO シンチレータ内に取り込まれた U/Th 系の放射性同位体からの α 線が偶然同時計数を発生させることが、これまでの柏地下微弱放射能測定設備の Ge 検出器を用いた測定から判明している。この為、各高度・各天頂角での陽子・電子・陽電子・中性子強度を EXPACS モデルで仮定し、SMILE-2+ のフルシミュレータを用いて各雑音成分を見積もった(図 1)。SMILE-2+ の電子飛跡検出部は gas time projection chamber であるが、データ取得の時間幅を、シンチレータとの同時事象が取得できる時間幅以上に広げており、偶然同時計数レートが観測値から得られる為、これを用いて各高度での偶然

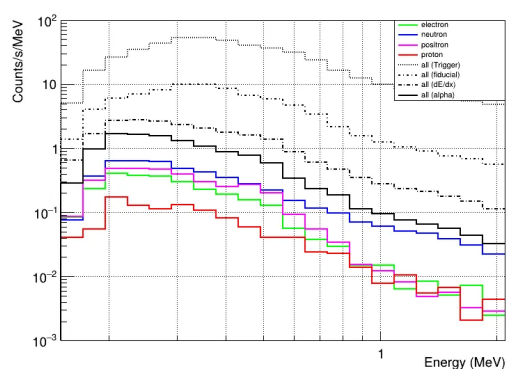


図 1: 宇宙線とゴンドラの相互作用から生じる雑音事象のエネルギースペクトル。高度毎にそれぞれシミュレーションして推定する。

同時計数の見積もりを行った。観測データからこれらを差し引くと MeV ガンマ線背景放射由来の雑音事象と大気ガンマ線が残る。背景放射は、大気による散乱・吸収を受ける一方で、残留大気圧 100 g/cm^2 以下での大気ガンマ線は大気の厚みと共に増加する。ガンマ線強度は天頂角依存性を持つが、SMILE-2+の気球上昇中のデータでエネルギーと天頂角の両方を解くのは難しい為、ガンマ線強度比の天頂角依存性は Ling (1975) のモデルで仮定し、天頂方向からのガンマ線強度の大気厚み依存性を得た(図 2)。この結果を利用して背景放射のエネルギースペクトルを得た

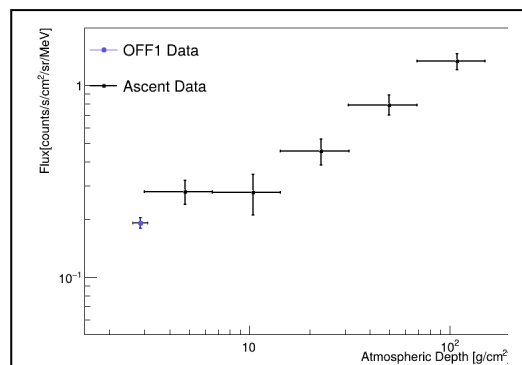


図 2 : SMILE-2+で得たガンマ線強度の残留大気圧依存性。

所、過去の気球実験や Apollo 15/16 による観測結果をサポートする結果となった。一方で、解析で仮定したガンマ線強度比の天頂角依存性に別のモデルを使用すると、1-2 MeV での背景放射エネルギーフラックスが大きく減ることも確認しており、MeV ガンマ線帯域における大気ガンマ線強度の天頂角分布の不定性が、最終的なエネルギースペクトルの系統誤差となっている事を確認している。大気ガンマ線は、MeV ガンマ線衛星観測においてアルベドガンマ線として大きな雑音源であることが、COMPTEL でも確認されており、大気ガンマ線強度の天頂角分布は全ての MeV ガンマ線観測計画に影響するものである為、2028 年に予定する SMILE-3 実験や宇宙線シミュレーションで、継続して議論をする。