


銀河系内拡散MeVガンマ線の観測によるMeVスケール暗黒物質間接探索

	研究代表者	京都大学・理学研究科・助教
		高田 淳史 (たかだ あつし)
研究課題情報	課題番号: 23H05435	研究期間: 2023年度~2027年度
	キーワード: MeVガンマ線天文学, 気球実験, 暗黒物質探索	

なぜこの研究を行おうと思ったのか (研究の背景・目的)

● 研究の全体像

宇宙の重要な構成要素である暗黒物質の正体は謎のままである。天の川銀河内の暗黒物質は、星の分布よりも大きく広がるハロー構造を持つ一方、銀河中心領域にも集まっている。暗黒物質の有力な候補として、宇宙初期に生成された小惑星程度の質量を持つ原始ブラックホール(PBH)や、WIMPという素粒子的な未発見粒子が挙げられている。これらはどちらも可視光よりも百万分も波長が短い光であるMeVガンマ線を放出し、その空間分布は暗黒物質の広がり依存する。よって、大きな視野と低雑音観測を同時に実現する電子飛跡検出型コンプトン望遠鏡(ETCC)を開発し、長時間気球を用いた銀河中心領域の観測から、PBHやWIMPの間接探索を実施する。

● 研究の手法

これまでの人工衛星や気球を用いた観測から、天の川銀河の中心方向には明るく広がったMeVガンマ線放射(銀河系内拡散MeVガンマ線)や、電子とその反物質たる陽電子が出会って消滅することで生じる電子陽電子対消滅線が大きく広がって存在することが知られている。だが、銀河系内拡散MeVガンマ線や陽電子の起源は不明なまま解明されていない。MeVガンマ線による宇宙観測は、宇宙における元素合成やその拡散といった化学進化を調べるためのプローブになると古くから期待されてきたものの、MeVガンマ線観測そのものが難しく、可視光や赤外線・X線など他の波長域の観測と比べて大幅に遅れた状況が続いている。MeVガンマ線の粒(光子)が電子に衝突すると、光子の持つエネルギーの一部を電子に与えて弾き飛ばすコンプトン散乱という現象を起こす。コンプトン散乱により発生した電子と散乱後の光子のそれぞれの運動量を測定すれば、運動量保存則から元の光子の入射方向とエネルギーが得られる。この原理に基づくMeVガンマ線望遠鏡が、本研究で開発するETCCである。従来、光子毎には取得できなかったガンマ線の入射方向を、ETCCは完全に解くことが可能な為、高感度な天文観測が可能となる。このETCCを長時間気球に搭載し、南半球中緯度で高高度観測を行う。

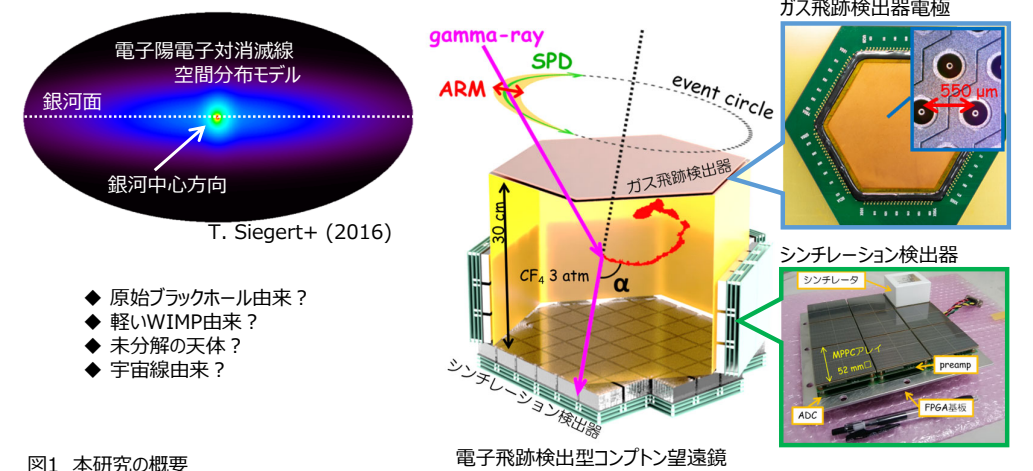


図1 本研究の概要

● SMILE計画

ETCCのガンマ線観測能力や雑音除去能力を実証し、MeVガンマ線による科学観測を実現する事を目的に、高高度気球を用いるSMILE計画を進めてきた。地上における様々な原理検証実験を経て、2006年には宇宙環境下での動作試験を目的に三陸沖での気球実験 (SMILE-I)、2018年には天体観測実証実験を目的にオーストラリアでの1日間気球実験 (SMILE-2+)を実施、それぞれ成功している。これら2つの気球実験により、ETCCによる宇宙MeVガンマ線観測は実証済みであり、本研究ではETCCを用いた科学観測 SMILE-3を実施する。

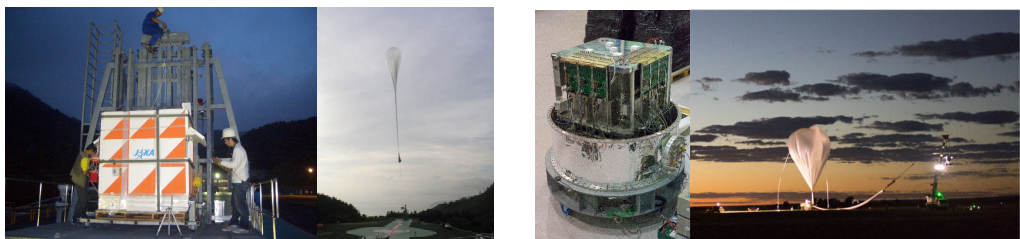


図2 SMILE-I実験 (左: 放球前準備, 右: 放球直後の気球) 図3 SMILE-2+実験 (左: ETCC, 右: 放球直前の様子)

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

● SMILE-3 ETCCの開発・構築

2018年に実施したSMILE-2+のETCCを基に、有効面積を拡大・空間分解能の向上・観測エネルギー帯域の拡大を行う。コンプトン散乱に有利な軽元素の分子ガスを使用することで有効面積を拡大する。コンプトン散乱点の位置精度向上や反跳方向の決定精度向上のため、機械学習を用いた電子飛跡解析方法を導入する。ETCCのエネルギー帯域はシンチレーション検出器で制限されるため、利得の異なる2系統の電荷読み出しを搭載する。

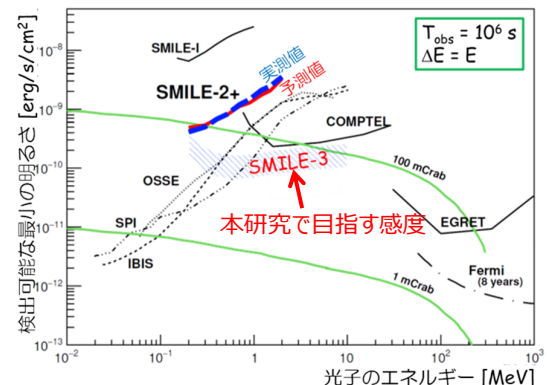


図4 様々なガンマ線望遠鏡の検出感度

● 銀河系内拡散MeVガンマ線の起源の探求

南半球中緯度において高高度長時間気球にETCCを搭載し、天の川銀河中心領域の観測を行う。銀河系内拡散MeVガンマ線のエネルギースペクトル・空間分布から原始ブラックホールやWIMPの対消滅由来のガンマ線放射を探索する。また、天の川銀河が暗黒物質由来のMeVガンマ線放射を持つならば、他の銀河でも同様の放射が期待できる為、天の川銀河の外から到来する系外拡散ガンマ線のエネルギースペクトルからも原始ブラックホールやWIMPの対消滅の存在に迫る。

● MeVガンマ線天体の探査

本研究で目指す検出感度は、2000年に観測終了したCOMPTELを上回る。従って、かに星雲や電波銀河Cen Aなど明るい既知天体に加えて、未発見天体の探索も期待できる。また、ETCCは開口角120°という大きな視野を持つ為、ガンマ線バーストをはじめとする突発的に明るくなる天体の観測にも適している。観測時間が十分確保できれば、MeVガンマ線による天文学に大きな進展をもたらすと期待できる。