

広視野ガンマ線カメラによる MeV ガンマ線銀河内天体気球観測 Observation of Galactic Gamma-ray Sources using Electron Tracking Compton Camera with Balloon borne Experiment

谷森 達 (TANIMORI TORU)

京都大学・大学院理学研究科・教授



研究の概要

MeV 領域は天文学の未開拓領域である。我々は電子飛跡検出コンプトンカメラを開発、 γ 線方位角決定と低雑音を実現、COMPTEL を凌ぐ高感度可能性を示した。当申請で中型 ETCC 気球観測装置を開発、気球による Crab の観測を行い性能実証を行う。さらに欧州非干渉散乱レーダー協会と共同で北極周回気球による地球極域ガンマ線バースト観測の国際共同実験に発展している。

研究分野：宇宙線物理学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：MeV γ 線天文学、コンプトンカメラ、高エネルギー天体、元素合成、GRB

1. 研究開始当初の背景

① 近年ガンマ線天文学は大きく発展した。しかし MeV 領域の全天観測は COMPTEL のみで、他の領域より 1 桁以上感度が悪い。Sub-MeV 領域では全天探査すら行われていない。そのため未だ数十天体しか発見されていない。これは有効な測定手段がないためである。しかしこの領域は、星ブラックホール、宇宙初期を探るガンマ線バーストなど重要な問題が多く、新しい観測手法による高感度全天観測が期待されている。

2. 研究の目的

我々は、MeV ガンマ線高感度観測を目指して、世界に先駆けガスを用いた電子飛跡検出型コンプトンカメラ (Electron Tracking Compton Camera:ETCC) を開発した。ETCC はピクセル型ガス増幅検出器 μ PIC などの独自技術により実現、図 1 のように μ PIC を用いて散乱電子の方向測定を実現、従来の Compton Camera (CC) では不可能だった入射ガンマ線の方位角の決定、また反跳ガンマ線散乱角 (図 1 の α) を用いた運動学的検証による雑音除去を実現した。06 年に小型 10 cm 角 ETCC を用いた気球実験を行い、雑音を 2 桁減少させ、0.1-1MeV で宇宙拡散ガンマ線および大気ガンマ線スペクトル観測に成功した。この申請ではさらに ETCC 技術を発展・確立させ、個々の γ 線天体観測を行い、衛星観測の可能性を定量的に示す。

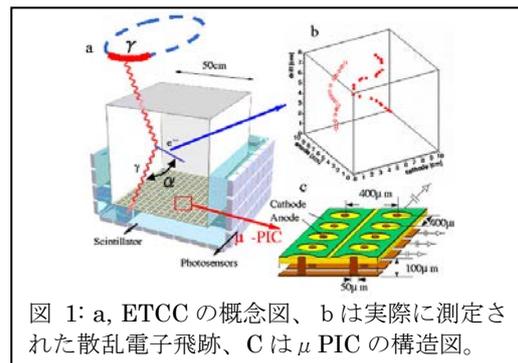


図 1: a, ETCC の概念図、b は実際に測定された散乱電子飛跡、c は μ PIC の構造図。

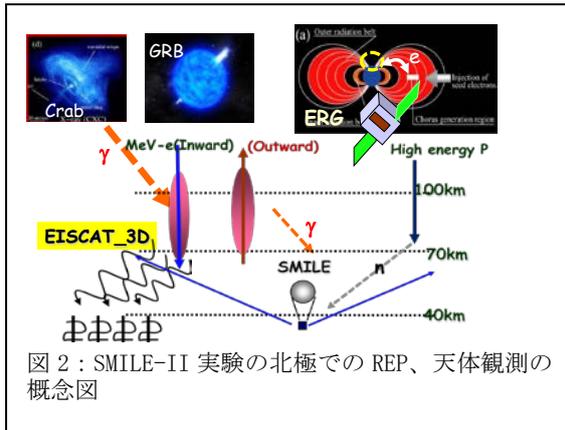
3. 研究の方法

具体的には、この申請では前回の気球実験を発展、また同時に開発した 30cm ETCC 地上装置、さら 08 年まで行った医療用高解像度 ETCC の技術を取り込み、衛星用装置に近い 30cm 角 ETCC 気球観測装置を開発し、約 50 倍の感度向上を行う。国内で 5 時間程度の観測を行う予定であったが、以下に述べるように北極域での気球実験に変更となった。

4. これまでの成果

① 省電力化：06 年の小型 ETCC に比べ信号処理数は約 5 倍程度となるが、気球実験のため、電力量、重量は前回と同程度に制限される。それを実現するために省電力型 CMOS-16 ch アンプ LSI および FPGA による信号処理装置を開発。シンチレータに対しても、アンプ、ADC 一体の回小型省電力回路を開発、TCP でチャンネルあたり 3 分の 1、シンチレータでは 10 分の 1 以下の省電力を実

現、回路の大幅な小型化も実現し、総重量 700 kg という中型サイズの気球で、観測可能な装置を実現した。

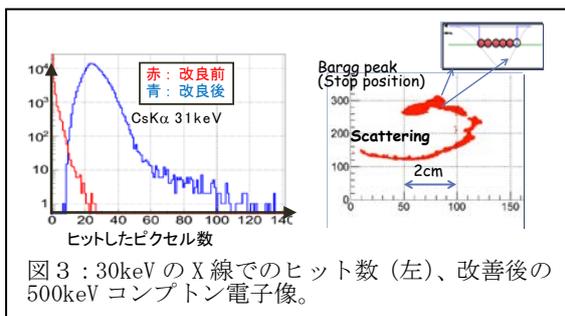


②. 地球物理との境界分野開拓

平成 21 年に欧州非干渉レーダー協会 (EISCAT) より、SMILE-II で北極周回観測を行うことにより、天体観測と同時に、極域に起こる放射線帯からの高エネルギー電子降下 (REP) によるガンマ線バースト現象の観測の共同観測提案を受けた。SMILE-II が REP からの γ 線のイメージング観測を行うことで、大幅な感度改善が出来、未知な REP 現象に大きな知見が得られることがわかった。相対論的粒子加速の直接観測でもあり宇宙線と密接に関係している。さらに JAXA が打ち上げるプラズマ観測衛星 ERG とも共同観測を目指す。2013 年の太陽活動極大期に 6 年程度の長期観測を予定している。この観測では EISCAT と ERG の連携観測で、放射線帯での高エネルギー現象、さらには成層圏での REP のオゾン、NO_x の生成への影響なども捉える。このように宇宙、地球物理、大気化学にまたがる新しい分野の開拓を行っていく (図 2)。

③ETCC の大幅な効率改善

今まで電子飛跡の検出効率が悪く ETCC の感度を大きく下げていた。新解析法の導入で μ PIC のピクセル情報がほぼすべて捉えるようにあり、電子飛跡検出効率が 5 倍以上の改善し、さらに角度精度、雑音除去にも大きな改善が予想される。図 3 にあるように 30keV 電子で以前は 2% 程度の検出効率であったものが 100% 近くに改善できた。この改善でガス中のコンプトン散乱はほぼ完全に測定



できる用になり、シミュレーションによる装置予想の精度が格段にあがる。これらの改善で数年以内にこの小規模な 30cm 角 ETCC で大型ガンマ線衛星 GOMPTEL の数倍の感度の実現も可能の可能性も出てきた。

5. 今後の計画

24 年度にスウェーデン・キルナから 1 日の気球実験を予定している。それ以後は別途資金を得て、太陽活動極大期が続く 2018 年程度まで、EISCAT や ERG 衛星と共同観測を継続し、電子降下による極域ガンマ線のほか、AGN, GRB などの天体観測を行っていく。さらに ETCC 内の TPC は速中性子のよい方向検出器となるので、太陽中性子観測、高エネルギー陽子降下現象の測定も行っていく。ETCC も感度が GOMPTEL の 10 倍を目指せる 50cm 角 ETCC に改善し、衛星規模の ETCC を 3 トンの大型気球で上げ、その能力を評価し、衛星観測の精密な予想を可能にする。このように継続的に装置の改善が可能で、重量物が搭載できる気球の特徴を生かし、宇宙物理、地球物理の融合分野を開拓していく。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

[1] "Prompt Gamma Detection for Range Verification in Proton Therapy", S. Kurosawa, H. Kubo, T. Tanimori et al., Current Applied Physics, 12 (2012), pp. 364-368

[2] "Observation of Diffuse Cosmic and Atmospheric Gamma Rays at Balloon Altitudes with an Electron-Tracking Compton Camera" A. Takada, H. Kubo, T. Tanimori et al., The Astrophysical Journal (2011) 733:13

[3] "Development of an Electron-Tracking Compton Camera using CF₄ gas at high pressure for improved detection efficiency" M. Takahashi, H. Kubo, T. Tanimori et al., Nucl. Instru. and Meth. A, 628 (2011) pp. 150-153

[4] "Observational Possibility of the Early GRBs using a Gaseous Electron Tracking Compton Camera in sub-MeV and MeV regions", T. Tanimori, AIP Conference Proc. "DECIPHERING THE ANCIENT UNIVERSE WITH GAMMA-RAY BURSTS": 1279 (2010) 220-223

[5] "Performance of 8 × 8 Pixel LaBr₃:Ce and Gd₂SiO₅:Ce Scintillator Arrays Coupled to a 64-channel Multi-anode PMT", S. Kurosawa, H. Kubo, T. Tanimori et al., IEEE Trans. on Nucl. Sci., 56, Issue 6, (2009) 3779 - 3788

ホームページ等

<http://www-cr.scphys.kyoto-u.ac.jp/research/MeV-gamma/index.htm>