

## 論文内容の要旨

論文題目: Very high energy gamma-ray observations of the galactic plane with the CANGAROO-III telescopes

(CANGAROO-III 望遠鏡による銀河円盤の超高エネルギーガンマ線観測)

氏名 大石 理子

CANGAROO(Collaboration of Australia and Nippon for A Gamma Ray Observatory in the Outback) は、解像型大気チェレンコフ望遠鏡を用いて、数十 GeV から TeV 領域の超高エネルギー天体の観測的研究を行うことを目的とした日豪国際共同研究計画である。この計画は南半球に観測拠点をもち、2004年3月に4台の10m口径望遠鏡によるステレオ観測システム(CANGAROO-III)が完成した。ステレオ観測システムの完成によって、1台観測では不可能だったガンマ線の到来方向の2次元再構築が可能になり、また、望遠鏡間のトリガーの同期を取ることによって、信号/雑音比は大きく向上する。

CANGAROO-III 望遠鏡の反射鏡は、直径10m、焦点距離8mの放物面を114枚の小型球面鏡で構成する複合鏡である。小型鏡はFRP(繊維強化プラスチック)を用いた複合材料からなり、軽量で堅牢である半面、研磨が不可能なことから、要求される $0.1$  (FWHM) 程度の像幅に対応する表面成形精度を安定して得ることを目的とした開発が三菱電機と共同で行われてきた。直径80cmのFRP鏡の表面形状は $1\mu\text{m}$ の精度で540点測定され、このデータを用いたray-trace計算による像精度の推定、光照射試験による像精度の測定、曲率変動の長期モニターなどによる性能評価が行われ、要求される性能を満たす小型鏡の選定が行われた。製造されるFRP鏡の曲率半径はおよそ15.5m-17.5mの範囲に分布し、2号機以降のFRP鏡については、変形は鞍型の特性を持っている。個々のFRP鏡の性能が向上したことと、小型鏡の鏡面上の配置を曲率半径・鞍型変形の軸に対する回転角の2自由度を考慮して遺伝的アルゴリズムを用いて最適化したことにより、3号機以降の新しい望遠鏡の光学的像幅は有意に改善された。

また、個々の小型鏡の光軸を主鏡光軸に合わせる光軸調整作業については、2号機から採り入れられた方法により、作業日数及び人員の負担が大幅に軽減され、全数114枚の鏡を4-5時間で調整することが可能になった。この手法では恒星を光源とし、焦点面上に投影される星像のCCD画像の差分を用いて1枚の鏡の動き・角度を検出して小型鏡の傾斜の調整が行われるが、作業は全て独自に作られたGUIを介して行われ、作業の半自動化が実現された。調整後の反射鏡の像サイズは、2/3/4号機それぞれ $0^{\circ}.21, 0^{\circ}.14, 0^{\circ}.16$  (FWHM)であり、像サイズについて有意な仰角依存性がないことが恒星を用いた測定で確認された。また、像中心の位置の精度は仰角に依存した補正を一切行わない状態で1分以下であることも確認された。

一方で、CANGAROO-III望遠鏡の4台ステレオ観測システムは完成して1年に満たず、オフラインで再構築したステレオ観測データの効率的な解析手法は未だ開発途上である。また、新規に建設した望遠鏡については、その性能は装置の各部分の性能の重ね合わせとして概ね推定はすることは可能であるが、最終較正作業の一つとして、フラックスが既知である強いガンマ線源を観測して、推定されている感度との一致度を検査する方法がある。このような較正標的としてカニ星雲の観測が2003年12月に、1,2,3号機で行われた。カニ星雲はCANGAROO-IIIの観測所からは大天頂角観測となるため、ステレオ観測における角度分解能が悪化し、エネルギーしきい値も約2.5TeVと高くなる。大天頂角観測の点源に対する角度分解能向上アルゴリズムを解析に加えた上で、 $4.6\sigma$ の統計有意度でカニ星雲からの信号が検出された。装置の性能を代入して調整されたMonte Carloシミュレーションを用いて推定したフラックスは、他グループの実測値と誤差の範囲で一致し、ステレオ観測システムの性能が正しくシミュレーションの中で記述されているということと、現在のステレオ観測データの解析手法が妥当であることが確認された。

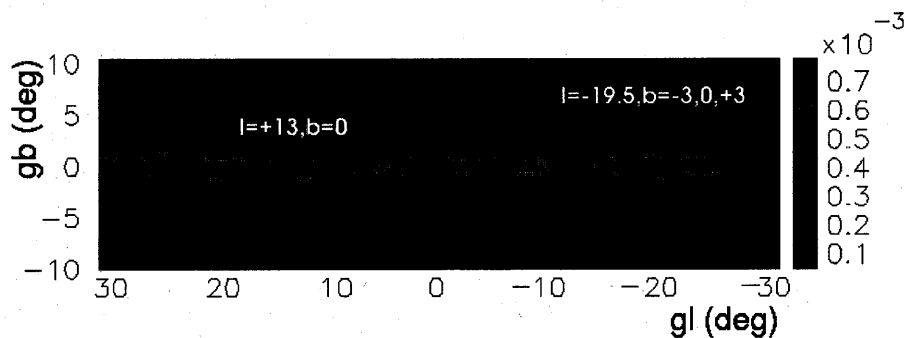


図1: EGRET diffuse model ( $E > 100$  MeV) と CANGAROO-III の観測点.

このCANGAROO-III観測システムを用いて、2004年6/8月にCANGAROO-IIIで銀河円盤 ( $b = 0^{\circ}$ ) の観測が行われた。選ばれた銀経領域は  $l = -19^{\circ}.5$ ,  $l = +13^{\circ}$  であり、これらとはともにEGRETモデルの局所的な放射強度のピークに対応している(図1)。 $l = -19^{\circ}.5$  の領域については、 $b = -3^{\circ}, 0^{\circ}, 3^{\circ}$  の銀緯方向にスキヤニング観測を行った。

カニ星雲の観測で調整した解析パラメータを天頂角の違いに合わせて修正し、拡がった天体である銀

河内盤の観測データの解析を行った。視野 1.5 度の比較的広い範囲を解析に用いるため、視野内の感度分布を 2 次元で求め、感度の補正を行った。銀河内盤の観測の解析結果は、拡散成分の解析と視野内の点源の探索の 2 つに分かれる。 $l = -19.5$  のスキャン領域については、拡散成分と点源探索の双方の解析を、 $l = +13$  については拡散成分のみの解析を行った。なお、この観測/解析手法についてエネルギーしきい値は 600 GeV と推定された。

拡散成分については、 $l = -19.5, l = +13$  の両方の領域について、有意な信号は検出されず、今回の観測結果からフラックスの上限値がつけられた。(図 2)。次に、EGRET の外挿値がこの上限値以下に来る適切なスペクトル指数を探索した結果(図 3)、 $l = -19.5$  についてはスペクトルはそれぞれ  $-2.17, l = +13$  については  $-2.12$  より軟らかいと求められた。

$l = -19.5$  の近傍の点源の探索については、視野の中にパルサーが 3 個、超新星残骸が 3 個、EGRET の点源が 2 個あるが、視野の中に統計有意度  $4\sigma$  以上の有意な点源は発見されなかった。

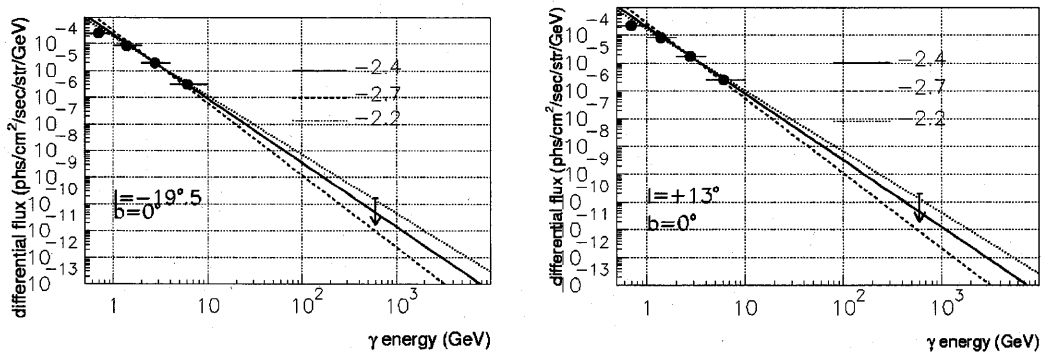


図 2: EGRET の測定値からの外挿と CANGAROO-III のつけた微分フラックス上限値 (赤矢印) の関係。左: $l = -19.5$ , 右: $l = +13$ 。

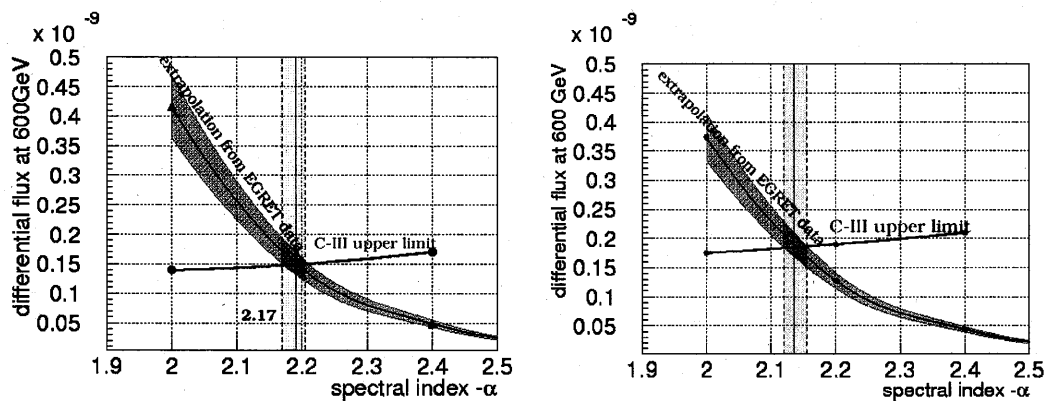


図 3: スペクトル指数の仮定に対する EGRET 領域からの外挿値と CANGAROO-III のフラックス上限値。この図の交点からスペクトル指数の制限がつけられる。