

《ハイテクとおめがね事情⑩》

カンガルー望遠鏡

—超高エネルギーガンマ線の
オーストラリアでの観測—

カンガルー (CANGAROO) は東大宇宙線研、東工大、名大太陽地球研などの日本のグループとオーストラリア、アデレード大学との共同研究の名称で、Collaboration between Australia and Nippon for GAMMA RAY OBSERVATORY in the OUTBACK の略称である。カンガルー (Kangaroo) が跳びはねる南オーストラリア州ウーメラの荒地 (Outback) で 1000 GeV 領域のガンマ線を観測している。

高エネルギーガンマ線とその検出法

超高エネルギーガンマ線 (光子 1 個のエネルギーが数 100 GeV (ギガ電子ボルト) 以上で波長が X 線より 1 億分の 1 程度短かい) の観測は“発見的時代”を迎えた段階にあり、現在 4 個の天体からの信号が検出されている。研究内容 (天文月報 昨年 11 月号のスカイライト参照) は“天文学”のコミュニティとまだなじみが薄いきらいがあるが、月のない晴れた夜にのみ行なわれる観測は“古典的天文学”と共通したものである。ガンマ線望遠鏡を一言で要約すると、光学望遠鏡と素粒子/宇宙線実験に使われる電子回路や計算機システムとの結合である。高エネルギーガンマ線が大気に入射すると電子陽電子対生成などによる粒子増殖過程からカスケードシャワーが作られる。電子と陽電子は大気上層でチェレンコフ効果による青い光を放射する。ナノ秒 (10^{-9} 秒) の短い時間内に集中する光子の個数、角度分布や到着時間などを検出する。ガンマ線からの光は 1° 程度に広がっているので夜光雑音の影響は厳しく、気象条件の良いオーストラリアへ夜空の明るい日本から脱出する

必要があった。

約 10 km の上空でガンマ線の到来方向のまわりの約 1° 以内に放出されるチェレンコフ光は地上に到達すると約 10 万 m^2 の範囲に分布する。チェレンコフ光を検出すれば、この広い面積のどこかを通過したガンマ線を見たことになる。頻度が $\sim 10^{-7} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (強いガンマ線源からの 1000 GeV での値) 程度である超高エネルギーガンマ線を一晩に数 10 個程度観測できる。

望遠鏡本体

国立天文台堂平観測所にあった 3.8 m 口径望遠鏡を譲り受けた。広い視野 (さしわたし約 3°) をえるため主焦点面にカメラを置いている (表紙)。この堂平望遠鏡の鏡面精度は外国のチェレンコフ望遠鏡の $0.2^\circ \sim 0.3^\circ$ 程度に比べて格段に優れている。これまでのチェレンコフ望遠鏡は大きな口径の実現を優先したため、鏡面精度が犠牲にされてきた。チェレンコフ光の $1^\circ \times 0.1^\circ$ の広がりにはガンマ線がボケて見えることを意味し、粗い鏡面精度で充分だからである。ところが最近になって、チェレンコフ光の像の形状の測定により、ガンマ線検出の対雑音比や角度分解能を大幅に改善できることが確かめられた。像の形状の決定にも 1 分角程度の鏡面精度で充分だから、堂平望遠鏡は理想的な口径と鏡面精度を持っている。

光電子増倍管カメラと電子回路装置

カメラは光電子増倍管 256 本 (1 本の視野は $0.12^\circ \times 0.12^\circ$) で構成されている。この解像度はチェレンコフ望遠鏡の中で最も優れている。宇宙線が起こすシャワーもチェレンコフ光を放出するので観測の障害となる。しかし、点源からのガンマ線は、天空のすべての方向から一様に到来する宇宙線から区別することができる。ガンマ線点源に望遠鏡を向けて視野の中心、すなわちカメラ (図 1 のグラフに挿入された 256 個の正方形で示されている) の中心が点源の方向になるようにすると、

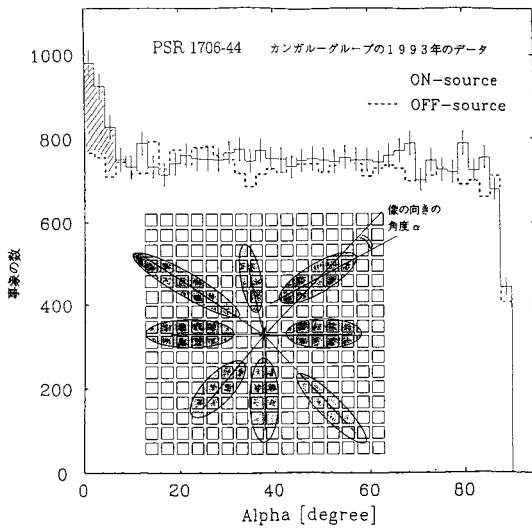


図1 カメラとガンマ線のチェレンコフ像、およびガンマ線信号。図の中央の挿入部の、正方形がそれぞれ1本の光電子増倍管を示し、総計256本でカメラを構成する。ガンマ線による光の像はガンマ線源の方向(カメラ中央の+印)を向いた楕円形となる。像の向きの角度 alpha が0に近い値をとるため、alpha について一様な宇宙線雑音から区別できる。

ガンマ線のチェレンコフ像はカメラ中心から四方八方に伸びる飛跡のように見える。チェレンコフ光の像の向きの角度 alpha の分布をとると、ガンマ線による事象は alpha=0°にピークを作り宇宙線雑音から識別できる(図1のグラフ)。alpha を5°程度の精度で決定すると、天体の方向について0.1°の角度分解能が可能になる。

チェレンコフ光は微弱である(1000 GeV ガンマ線からの光子数は約50個/m²程度でガンマ線エネルギーにほぼ比例する)。できるだけ漏れなく光子を検出し電子回路は光電子1個程度の微弱信号を処理する必要がある。電子回路はできるだけコンパクトに簡便な方式で組み合わせられ、各光電子増倍管毎の光量(ADC)、到達時間(TDC)を記録し波高弁別や簡単な演算処理を行なう回路(32チャンネルを1枚の基板で処理)をカンガルー実

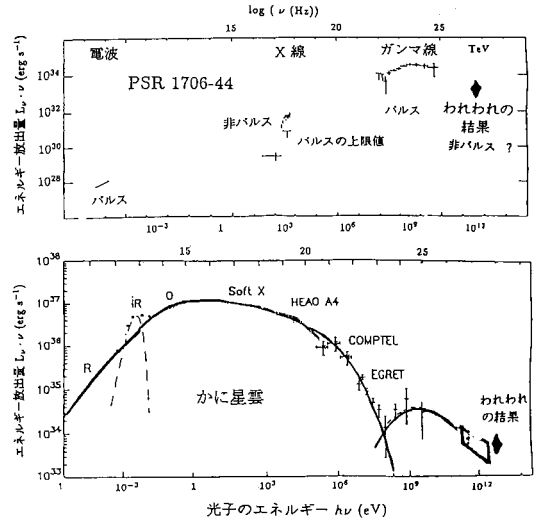


図2 かに星雲(下)とパルサー PSR1706-44(上)についての、電波やX線などのデータも合わせた全波長領域でのエネルギースペクトル。横軸は光子1個のエネルギーで縦軸は各エネルギー領域での(光子の観測エネルギーと同じ値の幅からの)エネルギー放出量である。われわれの結果はひし形で示され、最も短い波長領域の観測データを提供している。

験専用開発製作した。電子計算機との接続とデータ取り込みは国立高エネルギー研究所で開発した方式をもとにしている。

建設中の10 m口径望遠鏡

現在までの観測からはパルサー PSR 1706-44 や“かに”星雲からの信号が検出されている(図2)。より微弱な光を大口径望遠鏡で検出し、ガンマ線エネルギーの検出閾値を下げ、100 GeV 領域の観測を実現するため、本年度から10 m口径の望遠鏡の建設を開始した。限られた予算でできるだけ広い受光面積と高分解能広視野の観測を実現することが工夫のこらしどころとなっている。

木舟 正(東京大学宇宙線研究所)