

CANGAROO の現況

東京大学宇宙線研究所 森 正樹

1 . CANGAROO-I

超新星 1987A のニュートリノバーストが見つかったことは、重力崩壊型超新星であることを意味し、その際に高速回転パルサーが誕生すれば、高エネルギーガンマ線の強い源であることが予想された。この予想の元に JANZOS collaboration が結成され、ニュージーランド南島ブラックバーチ(標高 1600m)に空気シャワーアレイと固定型チェレンコフ望遠鏡 3 台が急遽建設された。しかし、ニュージーランドは湿潤で、チェレンコフ観測には適さず、天文台堂平観測所の 3.8m 月測距儀を転用してチェレンコフ望遠鏡にして設置する場所は他を探すことになった。南オーストラリア州ウーメラには Adelaide 大学グループが BIGRAT というチェレンコフ望遠鏡を運用しており、かつてのロケット発射場があってインフラが整っているこの地を選び、CANGAROO がスタートした。望遠鏡は駆動部を作り直し、主焦点面に光電子増倍管 224 本を並べて視野 3 度をカバーするイメージングカメラを取り付け、カスタムメイドの TKO 規格 TDC/ADC モジュールで信号をデジタル化し、OS/9 搭載 VME コンピュータで 8mm テープドライブに記録するというデータ収集システムにより観測が始まったのは 1992 年であった。エネルギー閾値はガンマ線に対して約 1.5 TeV である。3.8m 鏡は反射面がカニゼン鍍金であり、年月を経て反射率は約 40% であり、1996 年にアルミニウム蒸着を行い、反射率を約二倍としたが、2 年ほどで再び劣化した。この望遠鏡の結果については文献[1]を参照されたい。

2 . CANGAROO-II

1995 年から 4 年間の科研費の重点領域研究の計画研究として、新規大型チェレンコフ望遠鏡の建設が認められ、1999 年に 7m 望遠鏡として CANGAROO-II が完成した。反射鏡は、三菱電機と共同で開発した直径 80cm の球面鏡を 60 枚放物面上に並べ、焦点距離 8m としたもので、FRP 基材とアルミニウムシートを型に載せて電気炉で焼成したプラスチック鏡である。星像の測定から点像が 0.15 度(FWHM)で結像することがわかったが、これはチェレンコフ光のもともとの広がりには比べれば十分小さい。架台は電波望遠鏡で実績のある経緯台に載せ、主焦点に置かれるカメラは 1/2 インチ光電子増倍管 512 本で構成して視野 3 度をカバーし、信号は CAMAC 規格の TDC のみを用いて TOT (Time Over Threshold)から波高を推定してチェレンコフ光のイメージが再構成された。データは SPARC 搭載 VME コンピュータでハードディスクに記録され、DDS テープで持ち帰ってオフライン解析にかけた。望遠鏡は GPS 受信機で時刻を同期した Linux 搭載の PC



図 1 CANGAROO-III 10m 望遠鏡 4 台 (2003 年 7 月)。

で 100ms 毎に指令を出しながら天体を追尾している。エネルギー閾値はガンマ線に対して約 400 GeV で、口径からすると改良の余地があった。

3 . CANGAROO-III

1999 年から 5 年間の科研費 COE 研究リーダー構想として、10m 望遠鏡 4 台の建設が認められた。同じチェレンコフ光のイメージを複数の望遠鏡でとらえることにより、像の方向性から到来方向が 0.1 度程度で定まり、また粒子シャワーの地上からの高さが推定できることからエネルギー分解能が向上する。1 号機は 7m 望遠鏡に小型球面鏡を 54 枚追加し、エレクトロニクスにも ADC を追加して 2000 年から観測を開始した。2 号機は球面鏡の精度を上げ、カメラも 427 本の光電子増倍管を六角形に並べ視野 4 度をカバーし、高圧を個別に調節できるタイプに変え、エレクトロニクスも VME 化して Linux 搭載 PC によるデータ収集速度を向上させ、2002 年から観測を開始した。エネルギー閾値は約 200 GeV まで下がった。3 号機、4 号機もほぼ同一の仕様で、3 号機は 2003 年に稼働を開始

し、4 号機は 2004 年の初めに観測が始まる予定となっている(図 1)。4 台はステレオ観測を考慮して約 100m 間隔でダイヤモンド形の頂点に設置され、光ファイバーで結ばれて望遠鏡間のタイミング情報が記録される。データ収集と望遠鏡コントロールの PC はネットワークで結ばれ、観測中は観測者が 1 号機脇の小屋からリモートで制御している。

4 . 最近の結果

10m 望遠鏡 1 号機の観測による結果はすでいくつか発表されている。以下その一部を紹介する。

(1) 超新星残骸 RX J1713.7-3946

非熱的放射を示すシェル型超新星残骸として X 線で見つかり、超新星残骸 1006 と似た性質を示すことから TeV 領域での検出が期待された天体である。10m 望遠鏡の観測によるエネルギースペクトルの解析結果は、観測範囲で単一のべき乗で表され、高エネルギー電子からの放射では説明できない(図 2) [2]。これは陽子の加速を示唆するもので、宇宙線の起源の問題の解明に大きな鍵を与え得る結果と言えよう。

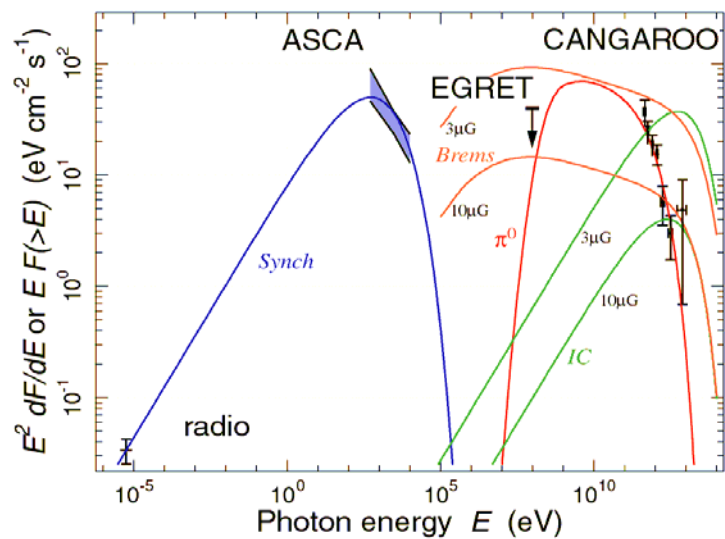


図 2 超新星残骸RX J1713.7-3946 の広域エネルギースペクトル。電子加速によるモデル(Brems, IC)ではTeV領域の観測データを説明できず、陽子加速(π^0)では合わせることが可能。

(2) 活動銀河核Mrk421

2001年2月から3月にHEGRAグループなどによりTeVガンマ線のフレアが観測された速報を受けて、大天頂角ではあるが10m望遠鏡による観測を試みた。CANGAROOでは天頂角は70度ほどになるのでエネルギー閾値は10 TeV程度となってしまう、銀河間の背景赤外線により吸収を受け、大きく減衰しているはずである。ところが、ガンマ線の信号が有意度5程度で見つかった(図3)[3]。これは背景赤外線の量についての疑問を投げかけるだけにとどまらない重要な結果である³。

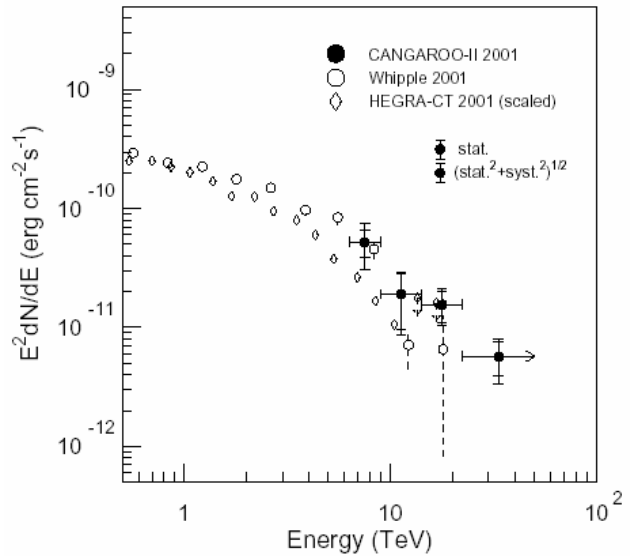


図3 活動銀河核 Mrk421 の2001年活動期のエネルギースペクトル。

(3) 爆発的星形成銀河 NGC253

今まであまり注目されていなかった新しいタイプの高エネルギーガンマ線天体として、超新星爆発の頻度が高い爆発的星形成銀河 NGC253 を10m望遠鏡により観測し、予想を超える強度のガンマ線信号が見つかった(図4)[4,5]。これは通常銀河として初めてのガンマ線天体となる。また、このガンマ線信号は空間的に点源より広がった様相を示しており、Compton衛星 EGRET 検出器によってGeV領域では上限のみが得られていることと合わせ、その起源について興味を持たれる。

(4) 超新星残骸SN1987A

大マゼラン星雲で起こったこの歴史的な超新星残骸からは、現在まで高エネルギーガンマ線の確実な検出例はないが、高エネルギー粒子加速が起こるまでに十年単位の年月が必要かもしれない。2001年に10m望遠鏡で行った観測では有意なガンマ線信号は得られず、上限値を得て、論文として発表した[6]。

(5) 二重星パルサーPSR1259 - 63

Be星との周期1237日の長楕円軌道の連星をなすこのパルサーは、パルサーで加速された粒子が星の大気と衝突して、軌道上の位置により変化するガンマ線を作ると予想されており、加速理論の良い実験場となることが期待されている。10m望遠鏡による観測は、ガンマ線強度が最大とされる近日点は逃したものの、得られた上限値は

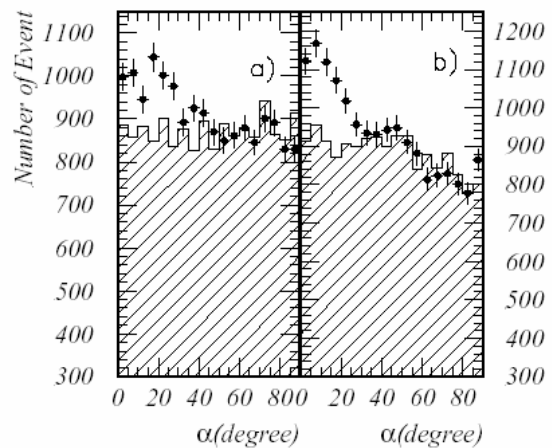


図4 爆発的星生成銀河 NGC253 に対するアルファ分布。点がONソース、ヒストグラムがOFFソースのデータを示す。ゼロ付近のピークがガンマ線信号を示す。a) 2000年、b) 2001年の観測データ。

理論モデルに制限を与える結果となっている[7]。

(6) 銀河中心

この研究会の土屋氏の報告を参照されたい[8]。

(7) 超新星残骸 RX J0852.0-4622

この研究会の片桐氏の報告を参照されたい[9]。

References

- [1] "CANGAROO, Present Status and Future", A.Kawachi, in "Neutron Stars and Pulsars – thirty years after the discovery –" (Edited by N.Shibazaki, N.Kawai, S.Shibata and T.Kifune, Universal Academy Press, Tokyo, Japan, 1998); "Gamma-rays of TeV Energy from Plerions and Results of CANGAROO Project", T. Kifune, Adv. Space Res., 25, pp.641-646 (2000) and references therein.
- [2] "The Acceleration of Cosmic-ray Protons in the Supernova Remnant RX J1713.7-3946 ", Enomoto, R. et al., Nature, 416, 823-826 (2002)
- [3] "Observation of gamma-rays greater than 10 TeV from Markarian 421 during the flaring state in 2001", K. Okumura et al., Astrophys. J. 579 (2002) L9-L12
- [4] "Detection of diffuse gamma-ray emission in nearby starburst galaxy: NGC253 ", C. Itoh et al., Astronomy and Astrophysics 396 (2002) L1-L4
- [5] "Evidence for TeV gamma-ray emission from the nearby starburst galaxy NGC 253", C. Itoh. et al., Astronomy and Astrophysics, 402 (2003), 443-455
- [6] "Search for TeV gamma-rays from SN1987A in 2001", R. Enomoto et al., Astrophys. J. Lett. 591 (2003), L25-L28
- [7] "TeV Gamma-ray Observations of the PSR B1259-63/SS2883 Binary System with the CANGAROO-II 10mTelescope", A.Kawachi et al., The Universe Viewed in Gamma-Rays" eds. R.Enomoto, M.Mori and S.Yanagita, Universal Academy Press (Tokyo, Japan, 2003)
- [8] "Very High Energy Gamma-ray Observations of the Galactic Center with te CANGAROO-II telescope"-- K.Tsuchiya et al., Proc. 28th International Cosmic Ray Conference (Tsukuba), p.2517 (2003)
- [9] "Observation of sub-TeV gamma-rays from RX J0852.0-4622 with the CANGAROO-II telescope", H.Katagiri et al., *ibid.*, p.2409 (2003)

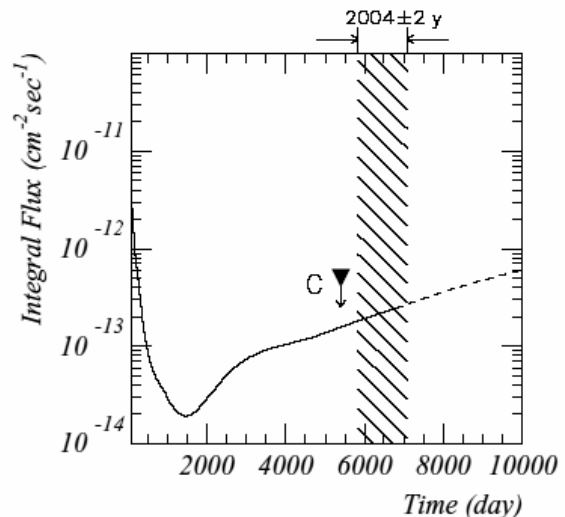


図5 SN1987Aの爆発後のTeVガンマ線フラックスの予想光度曲線(Berezhko and Ksenofontov 2000)とCANGAROOの上限値。2004年頃衝撃波が内側のリングと衝突する。