

# 論文内容の要旨

## 論文題目

Observation of TeV Gamma-ray from the Active Radio Galaxy Centaurus A with CANGAROO-III Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope

(CANGAROO-III 解像型大気チェレンコフ望遠鏡による活動電波銀河 Centaurus A からのガンマ線の観測)

氏名 株木 重人

活動銀河 Centaurus A (Cen A) (NGC5128) は過去に 2 つの銀河が衝突して形成された天体と考えられており、非常に電波での放射が強いことが観測から示されている。またこの天体はジェットが存在が電波及び、X 線で観測されている。ジェットとカウンタージェットの観測より、中心部を見込む角度は 50 度から 75 度程と考えられており、ファナロフ・ライリ 1 型の天体と分類される。この天体は我々の銀河から非常に近いおよそ 3.5Mpc の距離に位置にあり、電波銀河の中では最も近い位置にある。このため全波長に渡って詳細な観測結果があるのが特徴である。更に南半球でのみ観測できる天体で CANGAROO グループでの観測が可能であることも特徴の 1 つである。

Cen A は 1975 年に TeV 領域で非常に大きなバーストを起こし Narrabri Observatory (Grindray et al) により TeV ガンマ線が観測されている。この報告が世界で初めての活動銀河からの高エネルギーガンマ線の検出となった。また JANZOS や、Buckland Park でもバースト時のガンマ線検出に成功している。しかしその後、TeV 領域でのガンマ線の検出報告はされなくなり、CANGAROO グループでも過去に、CANGAROO3.8m 望遠鏡で 1995 年 3 月から 4 月の期間に観測を行ったが、ガンマ線の検出は出来なかった。我々は新しく建設された CANGAROO - III 望遠鏡を用いて Cen A を 2004 年 3 月から 4 月にかけて観測を行った。この解析結果を博士論文としてまとめた。

高エネルギーガンマ線は天体で加速、放射され飛来し、大気と相互作用し多数の2次粒子を発生させる。さらにその粒子中の電子、陽電子がチェレンコフ光と呼ばれる微かな放射する。CANGAROO - III 望遠鏡では10 m口径を用い、ガンマ線シャワーからのチェレンコフ光を捉えることにより天体からの高エネルギーガンマ線の検出し、宇宙線起源、加速物理などの解明を目的としている。さらに4台でのステレオ観測を2004年3月から開始した。今回、報告する Cen A の観測では、この内3台での望遠鏡を用い、2台ずつでのステレオ観測を行った。これはCANGAROOのステレオ観測の初の結果となる。従来の1台のみでの観測に比べ、2台以上での観測を行うため、シャワーの空間情報の取得が増え、到来方向が0.15度までの精度決まり、エネルギー分解能も2 TeVで25%になった。上記のCANGAROO - III 望遠鏡での特性を活かし Cen A は以下のような物理を考える。

- 1、ジェットが観測されていることより、この銀河は High frequency BL lac(HBL)と Low frequency BL lac(LBL)の大きく2つのモデルに分類できる可能性がある。信号が検出された場合、GeV領域にまで電子のsynchrotron放射が伸び、TeV領域ではICの放射が検出されたHBLと考えられる。これはCANGAROO - IIIでの感度領域に一致する。LBLでの場合、synchrotron放射がMeVまでしか伸びず、ICの放射は $\sim 10$  GeVの所にカットオフがくる。このためCANGAROO - IIIでは観測できない。
- 2、また一般に Mrk421 等ではそのバースト時と安定時ではおよそ10倍のフラックスの違いがある。一般的にどの活動銀河でおよそ10倍の違いがあるが、安定時で10倍以下での上限値をつけることはバースト時での上限値になると考えられる。Cen A に関してバースト時のモデルがあるが、このモデルに対し制限が与えられる。
- 3、さらに Cold Dark Matter (CDM) の質量密度に上限値をつけることが可能である。Cen A の特徴として、3.5Mpcと非常に近い位置にあり、さらに質量も $4 \times 10^{11} M_{\text{SUN}}$  あり比較的重い銀河であることを考慮すると有意な上限値を与えることができる可能性がある。さらにCen AではCDMに対する上限値は未だにつけられていないため重要であると考えられる。

以上を踏まえ観測、解析をおこなった。

Cen A では前述のように2004年3月、4月に渡って観測を行い、観測時間は2019分になった。また観測方法はWobbleモードと呼ばれる方法を採用した。この方法では観測天体から天頂方向に20分おきに視野の中心から $\pm 0.5$ 度ずらして観測を行うモードである。このモードの特徴は解析時に0.5度ずれた円周上に狙う天体(ON)とそのバックグラウンド(OFF)を同時にとることができ、観測時間や、シャワーレートがONとOFFでよく一致

するという利点がある。さらに OFF を円周上に複数点取ることにより、OFF の統計をあげることが可能である。Cen A では6 点のバックグラウンドをとった。

解像型チェレンコフ望遠鏡ではイメージパラメータと呼ばれる量を用いて解析を行う。これはシャワーの視野上のイメージを楕円に見立て、この長軸方向の長さ (length)、短軸方向の長さ (width) とし、各望遠鏡のイメージの長軸が交わる位置 (Intersection Point) とする。天体の位置の距離と交点の位置が統計的有意に一致すれば天体からのガンマ線を捉えたことになる。そこで天体と交点の距離の2乗 ( $\theta^2$ ) を考える。ここにその  $\theta^2$  分布を図1に示す。縦軸がイベント数で、横軸が  $\theta^2$  である。今回のCen Aの観測、解析結果では、この分布から有意にガンマ線を得られなかったことがわかる。この時の2 上限値はCrabのフラックスの7%を与えた。過去の観測と比べてみると、過去の観測のどの値よりもきつい上限値を与えることができた (図2)。同様にCrabの解析では840min.での5.7のexcessが得られフラックスも予想される冪 - 2.5 に沿った結果が得られた。系統誤差も調べて約30%以内の範囲に収まった。

Cen Aでは過去の観測に対し1/10以下のフラックスが得られ、最も良い結果が得られた。さらにHBLである場合、磁場  $B > 210 \mu\text{G} (R/12\text{kpc})^{-1}$  のlower limitを与えることができた。今回、TeV領域での検出が出来なかったことは、Cen Aという銀河の活動性から考えると、我々の銀河、他のHBL天体と比べても非常にガンマ線が弱いことになる。このことからCenAはAGN統一モデルでまとめられない天体の可能性があることがわかった。さらにバースト時の理論モデルのフラックスとくらべ1/10以下に上限値を与え、このモデルが困難であることを示した。さらにCDM密度に関しては10倍以上の上限値を与えた。この値は宇宙論的には有意ではないが、Cen Aに 関して初めての上限値を与えた。

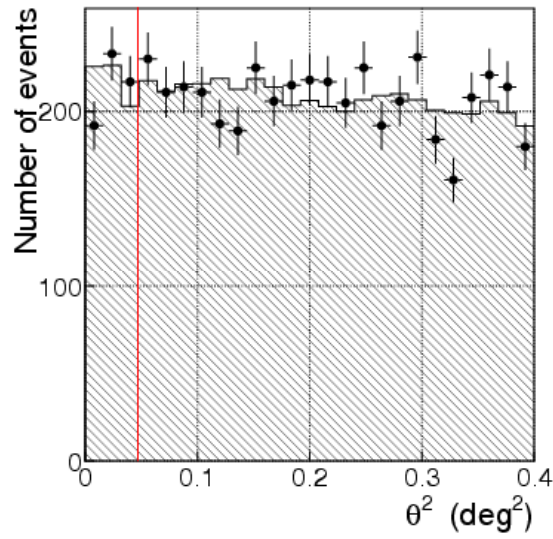


図 1、 $\theta^2$  分布。赤い線は $(\theta)^2$ カット  $< (0.2)^2$ を示す。 有意な信号は見えない。

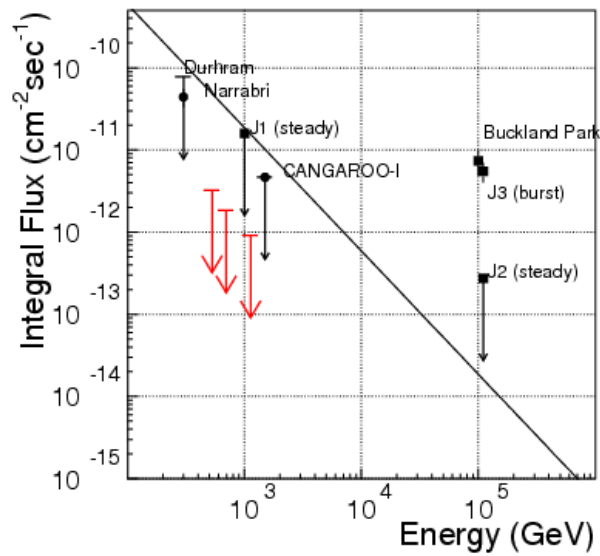


図 2、 $\gamma$  フラックス上限値。赤い矢印が今回の結果。7%Crab フラックスを与えた。これは他の結果より 1/10 も低い制限である。( J1 ~ J3 は JANZOS の結果。J1, J2, Durham, CANGAROO-I は上限値の結果、 J2, Buckland park, Narrabri は検出結果。)