

論文審査の結果の要旨

氏名 株木重人

地球から約 3.5Mpc 離れた位置にある巨大電波銀河 Centaurus A は過去に 2 つの銀河が衝突して形成されたもので中心に活動銀河核が存在すると考えられている。多波長において活動的銀河として知られている Centaurus A は、電波による観測でジェットが存在が示されており、地球とそのジェット軸のなす角度は約 60 度程度である。活動銀河核の理論によると、そのような大角度方向への TeV エネルギー領域のガンマ線放射が予言されており、その検証は積年の謎である宇宙線の起源、加速機構及びその伝播に関わる重要な研究課題である。

本論文は、オーストラリアのウーメラに設置された解像型大気チェレンコフ望遠鏡アレイ (CANGAROO-III 実験) を用いて 2004 年 3 月から 2004 年 4 月 (実観測時間は約 20 時間) にかけて実施された CANGAROO-III 実験における初めてのステレオ観測による Centaurus A からの TeV 領域ガンマ線探索に関する研究である。

本論文は 14 章からなり、第 1 章は導入部、第 2 章は活動銀河核と Centaurus A に関するレビュー、第 3 章は宇宙線の加速機構に関する説明、第 4 章は天体からのガンマ線放射過程に関する説明、第 5 章は空気シャワーが発生する大気チェレンコフ光と解像型大気チェレンコフ望遠鏡による大気チェレンコフ光の検出原理、第 6 章は CANGAROO-III 望遠鏡アレイに関わる観測装置の詳細、第 7 章は TeV ガンマ線観測の標準光源であるカニ星雲及び Centaurus A の観測期間に関するまとめ、第 8 章は CANGAROO-III 望遠鏡アレイの校正についての詳細、第 9 章はモンテカルロシミュレーションの詳細、第 10 章は解析手法に関する詳細とカニ星雲からのガンマ線観測結果について、第 11 章は Centaurus A からの TeV ガンマ線探索結果について、第 12 章は観測の系統誤差についての詳細、第 13 章は本論文の Centaurus A の観測結果に関する物理的議論および世界の他の観測結果との比較、第 14 章は結論について述べている。

約 100 メートル間隔で菱形状に設置された 4 台の直径 10 メートルの解像型大気チェレンコフ望遠鏡を用いた CANGAROO-III 大気望遠鏡アレイは 2004 年に完成し、フル稼働を開始した。本論文では、望遠鏡 2 号機と 3 号機および 3 号機と 4 号機を用いたカンガルーグループによる初めてのステレオ観測結果が

報告されている。天体から放射される TeV 領域のガンマ線が大気上空で引き起こす空気シャワー中の電子・陽電子が発する微弱な大気チェレンコフ光を大口径解像型チェレンコフ望遠鏡で検出する。検出したチェレンコフ光を約 500 チャンネルのカメラで撮像し、事例を再構成することにより、ガンマ線の方向及びエネルギーを測定し、同時に圧倒的なバックグラウンドである一次宇宙線陽子と信号であるガンマ線の識別をすることができる。ガンマ線の飛来方向に関する角度分解能はおよそ 0.15 度、エネルギー分解能は 2TeV で 25% 程度である。ステレオ観測することにより、今まで (CANGAROO-I 及び CANGAROO-II) の単一望遠鏡観測では不可能であった、事例毎にガンマ線の飛来方向を測定することができるようになった。また、エネルギー分解能をモンテカルロシミュレーションに頼らず評価することができるようになった。さらに、単一望遠鏡観測では視野が狭かったために信号とバックグラウンドを取る時期が異なり、天候等の変化による実験条件の補正が必要であったが、ステレオ観測になって信号とバックグラウンドを同時に測定することができるようになった。以上のようにステレオ観測は単一望遠鏡観測と比較して、格段の信頼度が得られるようになった。

CANGAROO-III 望遠鏡ステレオ観測の性能を評価するために CANGAROO-III 大気チェレンコフ望遠鏡のステレオ観測により、TeV 領域ガンマ線標準光源であるカニ星雲からの TeV 領域ガンマ線観測を 2003 年 12 月 (実観測時間約 15 時間) に実施した。2.3TeV 以上の積分フラックスで 5.7σ の超過信号がカニ星雲方向から得られ、HEGRA 実験や Whipple 実験で得られた標準エネルギースペクトルを良く再現した。カニ星雲は大天頂角観測なので、エネルギー閾値が 2.3TeV と高いが、天頂から飛来するガンマ線に関してはおよそ 500GeV のエネルギー閾値までさがっており、現在デザイン値の 250GeV に下げる努力をしている。

引き続き、2004 年 3 月から 2004 年 4 月 (実観測時間は約 20 時間) にかけて本論文のテーマである Centaurus A からの TeV 領域ガンマ線探索を実施したが、統計的に有意な超過信号は観測されなかった。530GeV 以上のガンマ線積分フラックスに換算すると、統計及び系統誤差を考慮して $3.2 \times 10^{-12} \text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1}$ という 2σ 相等のフラックス上限値を得た。この上限値はカニ星雲からのガンマ線強度の約 7% に相等し、過去の有限値の報告結果に対しておよそ一桁低い、世界最高の上限値である。南半球で CANGAROO-III 実験とライバル関係にある HESS 実験 (アフリカのナミビア) に先んじて出した本論文の成果に対して高い評価を与えられる。また、一日ごとのバースト現象に関しても探索したが、有意な信号は観測されなかった。これも過去の有限値を観測したと主張したするグループの約一桁下の上限値に相等する。また、これらの観測結果から活動銀河核

からのガンマ線放射の標準的なモデルを仮定して推定される Centaurus A の磁場の下限値は $210\mu\text{G}$ 程度となり、Centaurus A は通常の HBL 天体とは異なる可能性が強いとの結論に達した。これは、活動銀河核の統一記述モデルに修正をせまる観測結果である。また、最近話題になっている Cold Dark Matter についても $0.3\text{GeV}/\text{cc}$ という予想値の約 10 倍の上限値を得た。これは Centaurus A における Cold Dark Matter の世界で初めての探索結果であり、予想値まであと一桁に迫る実験結果である。

以上のように、本論文は 2004 年に完成した CANGAROO-III 大気チェレンコフ望遠鏡アレイを用いて、巨大電波銀河 Centaurus A からの TeV 領域ガンマ線を CANGAROO 実験初のステレオ観測により世界最高精度で探索した結果に関する研究であり、宇宙線物理学および宇宙物理学に大きく貢献するものである。したがって、審査員一同は本論文が博士（理学）の学位論文として合格であると判定した。なお、本論文の実験は CANGAROO 実験という大きなグループ実験であるが、論文提出者が主体となってデータ取得及び解析を行い、さらにハードウェアの貢献として実験で重要な役割を果たすカメラ部および高電圧供給システムの開発、ソフトウェアの貢献として観測装置の校正プログラムの作成を行った。従って、論文提出者の CANGAROO 実験及び論文に関する寄与が十分であると判断した。また、共同実験者全員から論文内容の結果を学位論文として提出することについて了承を得ているものであることを確認した。