

氏名	なか もり たけ し 中 森 健 之
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 3245 号
学位授与の日付	平 成 20 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻
学位論文題目	Study of Very High Energy Gamma-ray Emission from the Pulsar Wind Nebula in MSH 15-52 with CANGAROO-III (カンガルーⅢ望遠鏡によるMSH 15-52中のパルサー風星雲からの超高エネルギーガンマ線放射の研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 谷 森 達 教 授 笹 尾 登 准 教 授 鶴 剛

### 論 文 内 容 の 要 旨

CANGAROO-III 大気チェレンコフ望遠鏡のステレオ観測法により、超新星残骸 MSH15-52 中にあるパルサー星雲から広がった TeV ガンマ線放射を検出した。この論文は12章から構成されている。

1. Introduction: 発見以来100年近く解明されていない宇宙線起源と強く関連する TeV ガンマ線天体観測の現状をまとめた。最近この種の天体から TeV ガンマ線の寄与が大きいことがわかり注目されつつある。
2. High energy emission process: X線からガンマ線に渡る高エネルギー電磁放射の物理素過程をまとめた。
3. Pulsar wind nebula and its environment: 本論文の主題となるパルサー星雲システムの全体像を述べ、具体例として若い(1000年)かにパルサー星雲と中年齢(1万年)の Vela X の最新の観測例をまとめた。
4. Composite SNR MSH 15-52: MeV ガンマ線パルサー PSR B1509-58 を中に持つ超新星残骸 MSH15-52 の多波長観測の結果をまとめ、超新星残骸とパルサーの特性年齢との矛盾が議論された歴史について述べた。
5. Imaging Air Čerenkov Technique: TeV ガンマ線観測では、ガンマ線が大気との衝突で作る粒子シャワーからのチェレンコフ光を地上に設置した望遠鏡で受け、解像型カメラによってイメージとして捕らえる。雑音宇宙線とガンマ線事象の識別はイメージを楕円で近似したパラメーターの違いで実現する。
6. Instrument: CANGAROO-III 望遠鏡は南半球オーストラリアに設置された口径10mの望遠鏡3台からなる。同一事象を複数の望遠鏡が捕らえるデータ取得を行うステレオトリガーシステムにより、宇宙線ミュオンが排除されることを示した。
7. Observation: TeV ガンマ線の標準光源である「かに星雲」を解析手法確立のため57時間観測した。また研究対象である MSH15-52 を60時間観測した。
8. Monte-Carlo Simulation: ガンマ線による空気シャワーシミュレーションの仕様をのべ、さらにミュオン解析とシミュレーションから鏡の反射率を見積もった。
9. Analysis procedure and application: かに星雲のデータを用いて Fisher Discriminant 法による解析手法を確立した。11 $\sigma$  の統計有意度で TeV ガンマ線点源を検出し、他の実験結果と矛盾のないフラックスを得た。
10. Analysis of MSH 15-52: かに星雲に用いた解析手法を適用し、MSH15-52 から広がった TeV ガンマ線放射を 7.6 $\sigma$  の統計有意度で検出した。広がり的大小とフラックスは先行する H. E. S. S. 望遠鏡の TeV ガンマ線測定と一致した。
11. Discussion: TeV ガンマ線の放射機構を考察した。TeV ガンマ線の起源となる高エネルギー粒子のエネルギー源としてパルサーを考え、供給できるエネルギーの上限値を年齢から決めた。多波長スペクトル解析により陽子起源と電子起源のモデルをそれぞれ検討した。前者はエネルギー収支の破綻により棄却され、後者は initial spin-down time scale が30年という仮定の下でパルサーの Spin-down エネルギーの4%で供給可能であることを求めた。また、回転エネルギー

から放射への変換効率をかに星雲と Vela-X と比較したが、個性があり統一的な描像を得るためにはより多数のパルサー星雲の多波長観測が要求される。

12. Conclusion: MSH 15-52 の TeV ガンマ線放射を追確認した。銀河系内宇宙線加速源である可能性を否定し、また TeV ガンマ線放射は電子起源で説明できることが示唆された。

### 論文審査の結果の要旨

TeV ガンマ線天文学は1989年に最初の TeV ガンマ線放射天体が発見された最も新しい天文学分野である。特に21世紀に入ってから10m 径以上の大型反射鏡を複数台使い、宇宙 TeV ガンマ線・宇宙線が大気と衝突して作る粒子シャワー現象を多方面から同時に観測することで、そのシャワー発達を3次的に測定し、シャワー発生の基となったガンマ線や宇宙線の到来方向を測定するステレオ観測法が主流となった。その先陣をきった HEGRA、それに続く HESS により、南天から新しい TeV ガンマ線天体が多く発見され注目を集めた。

申請者の属する CANGAROO グループは南天 TeV ガンマ線観測ではパイオニアであるが、ステレオ化は HESS より遅れた。しかし世界で HESS 以外に唯一ステレオ観測を行っているグループであり（論文対象の天体観測を行った2006年当時）、TeV ガンマ線天体の同定、ステレオ観測法の確立のためには重要な位置にあった。申請者の観測した超新星残骸（SNR）MSH 15-52 は南天にあり、CANGAROO が単望遠鏡観測で TeV ガンマ線の兆候を捉え、HESS がガンマ線放射を確定した天体で、内部にガンマ線パルサー PSR1509 とそのパルサー星雲を含む興味深い SNR である。特に近年パルサー星雲で SNR より多くの TeV ガンマ線天体が発見され、宇宙線起源の有力候補となり大変注目されている。そのなかでもこのパルサー星雲はガンマ線でも広がり観測でき、また多くの他波長のデータがすでに存在し、かに星雲と同様、精密解析が可能な重要天体である。申請者は TeV ガンマ線ステレオ観測が可能な CANGAROO-III を用いてこの天体の観測を申請し、採択され観測を2006年に行った。同時に彼は望遠鏡で雑音の主な原因である宇宙線  $\mu$  を除去出来るステレオトリガー装置を開発、設置してこの観測を行った。また汎用解析法を開発、標準光源であるかに星雲で解析法を調整し、それを MSH 15-52 に適応するという確度の高い解析法を確立した。この解析により以前 HESS で観測されたような星雲と同サイズに広がったガンマ線源を観測、スペクトラムも一致し、TeV ガンマ線天体の再確認を行った。さらにこのデータに銀河面拡散赤外線の評価を行い、これに電波、X 線などの最新データを加えた多波長解析を行い、ガンマ線起源を論じ、陽子由来を否定、さらに電子由来のガンマ線である確率が高いことを示した。

このようにこの論文はステレオ観測の手法をハード、ソフトの両面で大きく改良し、今注目されているパルサー星雲 MSH 15-52 の TeV ガンマ線放射を確率、さらに繊細なガンマ線発生機構の解析を行った。

このように本論文は博士（理学）の学位論文として価値のあるものと認める。また論文内容および関連した事項についての試問を行った結果、合格と認めた。