

(続紙 1)

京都大学	博士（理学）	氏名	水上 拓
論文題目	“Study of Very High energy Gamma-ray Emission from the Unidentified source HESS J1614-518 with CANGAROO-III”		
(論文内容の要旨)			
CANGAROO00-Ⅲ解像型大気チェレンコフ望遠鏡のステレオ観測法により、ガンマ線未同定天体 HESS J1614-518 からの広がった TeV ガンマ線放射を検出した。この論文は 7 章から構成されている。			
1. Introduction: 近年の TeV ガンマ線天文学の発展と、発見以来 100 年の謎となっている宇宙線加速起源の問題についてまとめた。			
2. Very high energy gamma-ray emission in the galaxy: 宇宙線加速メカニズム、および TeV ガンマ線の放射の素過程についてまとめた。また銀河系内の TeV ガンマ線天体のレビューを行い、さらに銀河系内の宇宙線加速起源として、近年の観測から重要視されている未同定天体 HESS J1614-518 の観測状況についてまとめた。			
3. Imaging Air Cherenkov 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を定量的に評価し判定される。			
4. CANGAROO-III: CANGAROO-Ⅲ望遠鏡は日豪共同で南半球オーストラリアに設置された口径 10m の望遠鏡 3 台からなる解像型大気チェレンコフ望遠鏡である。この望遠鏡を用いて 2008 年の 5-8 月に 53.5 時間の HESS J1614-518 の観測を実施した。			
5. Analysis: 解析的手法である Fisher Discriminant 法を用いてガンマ線識別プログラムを作成し、HESS J1614-518 の観測データに適用した。また解析にあたりカメラ状のシャワー画像のエッジ処理の新技术を導入し、高エネルギー事象の検出効率を向上させた。解析の結果、この放射領域から 760GeV 以上のガンマ線を 8.9σ の統計有意度で検出した。その放射領域・スペクトルは HESS 望遠鏡による最初の報告と一致し、この天体が銀河面内にあり放射強度が変化していないことを明らかにした。			
6. Discussion: HESS J1614-518 からの TeV ガンマ線の放射機構を観測によって得られた TeV ガンマ線スペクトルに加えて、Fermi 衛星による GeV ガンマ線、Suzaku 衛星による X 線、および Spitzer 衛星による赤外線の観測データを用いて考察した。広がった放射であることから対応天体として未知の超新星残骸、星団 Pismis22 で生じた超新星残骸、星団 Pismis22 からの星風、この領域にある 5 つのパルサーに付随したパルサー風星雲の 4 つのシナリオについて議論した。また放射機構としては電子起源による逆コンプトン散乱もしくは制動放射、そして陽子起源による中性 π 崩壊を議論した。多波長スペクトルの再現性、放射を生み出すのに必要な荷電粒子の総エネルギーの議論から、未知の超新星残骸、もしくは星団 Pismis22 で生じた超新星残骸からの陽子起源の放射である可能性が高いことを明らかにした。さらに陽子起源の 2 次電子からのシンクロトロン放射スペクトルについて計算を行い、電波から赤外線でのこの放射の検出が陽子起源の証拠となることを明らかにした。			
7. Conclusion: HESS J1614-518 の観測および解析を行い、TeV ガンマ線放射について追確認した。また多波長の観測データをまとめ、放射機構の議論を行い、超新星残骸起源の陽子起源による放射の可能性が高いことを明らかにした。			

(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 口径以上の大型反射鏡を複数台用い、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 次元的に測定し、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り、ガンマ線
の方向決定が確立したことで、多くの放射天体が発見できるようになった。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 2008 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。特に 2006 年 HESS が行った銀河面探査観測で当初予想されなかった TeV ガンマ線のみで光る得意な銀河天体
が多数発見され、そのような未同定天体が TeV ガンマ線天体総数の 3 分の 1 を占めるに
いたった。申請者の観測した未同定天体 HESS J1614-618 は南天にあり、銀河内で 5
番目に強い TeV ガンマ線天体であり、この正体を探ることは宇宙線起源問題にきわめて
重要であった。そのため申請者はまず HESS により発見されたこの天体の CANGAROO
での再観測を行い、放射領域のサイズ、スペクトラムなどが HESS の結果と一致する
ことを示し、この天体の追確認を行った。さらにこの天体の正体を明らかにすべく、
GeV ガンマ線、X 線、赤外線など多くの多波長データを加え、理論物理学者と協力し
ながら超新星残骸、星団、パルサー星雲などの候補天体を仮定することで、この未
同定天体のスペクトルを説明できるかを調べ、超新星残骸での陽子加速が最も有望な
候補であることを定量的に示した。

さらに申請者は望遠鏡の改良でも雑音の主な原因である宇宙線 μ 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。またシャワーの画像が大きくなり視野にはみ出してしま
うことで高エネルギーガンマ線の感度が急激に下がる効果を低減する手法を開発、この
天体のスペクトルも HESS のデータより高エネルギーな範囲のスペクトル測定に成功
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、
今注目されている未同定天体 HESS J1614-618 の正体を多波長のデータを用い、最
新の理論を適用して調べ、候補天体を大きく絞り込むことに成功した。

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、平成 25 年 1 月 22 日論文内容および関連した事項についての試問を行った。その結果合格と認めた。