

令和 7 年度 (2025) 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文: CTA 大口径望遠鏡によるペバトロン候補天体における宇宙線加速機構の研究

英文: Systematic study of the cosmic-ray acceleration mechanism in PeVatron candidates using the Large-Sized Telescopes of the CTA

研究代表者

片桐 秀明 (茨城大学)

参加研究者 (所属は令和 7 年度のもの)

齋藤 隆之 (東京大学)、辻 直美 (東京大学)、Ievgen Vovk (東京大学)、Marcel Strzys (東京大学)、阿部 正太郎 (東京大学)、武石 隆治 (東京大学)、Kin Hang YEUNG (東京大学)、Yating Chai (東京大学)、山崎 了 (青山学院大学)、吉田 龍生 (茨城大学)、佐野 栄俊 (岐阜大学)、井上 進 (千葉大学)、阿部 和希 (東海大学)、馬場 彩 (東京大学)、須田 祐介 (広島大学)、櫛田 淳子 (東海大学)、井上 陽登 (岐阜大学)

研究成果概要

宇宙線陽子が宇宙のどこでどのように加速されているかという起源の問題は、現在も未解決の高エネルギー宇宙物理学における重要課題である。加速源を特定するためには、加速された宇宙線陽子が天体近傍の星間物質と相互作用して生成するガンマ線の観測が有効である。2000 年代以降、地上チェレンコフ望遠鏡による TeV ガンマ線観測やフェルミ衛星による GeV ガンマ線観測が進展し、多数の超新星残骸 (SNR) からのガンマ線放射が確認され、銀河系内における数 10 TeV 以下の宇宙線陽子の主たる加速源は SNR であるという理解が広まりつつある。

一方で、銀河系内において数 10 TeV を超え、PeV (10^{15} eV) に達する宇宙線陽子を加速する天体については未だ明確ではない。近年、100 TeV を超えるガンマ線観測により「ペバトロン候補天体」が報告されているが、その放射は電子による逆コンプトン散乱でも説明可能であり、放射機構の識別が重要な課題となっている。

この問題を解決するためには、GeV から PeV に至る広帯域ガンマ線スペクトルの取得に加え、ガンマ線の空間分布を分子雲や非熱的 X 線と比較することが重要である。CTA 大口径望遠鏡 LST は高感度・高角度分解能を有し、これらを同時に検証可能な観測手段として期待されている。

本研究では、LST を用いた観測および多波長データとの比較解析により、ペバトロン候補天体における粒子加速機構の解明を目指す。

令和 7 年度は、LST-1 を用いた観測およびデータ解析を進め、複数の天体について加

速粒子の性質に関する制約を得た。

超新星残骸 G17.8+16.7 では、約 11 時間の観測データ解析の結果、preliminary な解析では有意なガンマ線検出には至らなかったものの、電子起源モデルに基づき電子スペクトルのカットオフエネルギーおよび総エネルギーに制限を与え、加速機構に重要な制約を得た（日本天文学会で報告）。

銀河中心領域では、大天頂角観測により広がった放射の存在を確認するとともに、スペクトルの約 20 TeV 付近におけるカットオフ構造を約 3σ で再確認した。この結果は、宇宙線加速環境への制約を与えると同時に、広がった放射源に対する LST の有効性を示すものである。

また、未同定天体 1LHAASO J0056-6346u に対して約 40 時間のフォローアップ観測を実施し、preliminary ながら約 4σ の信号を得た（物理学会で報告）。

さらに、Cygnus 領域を含む複数のペバトロン候補天体についても解析を進めており、今後の高統計データおよび多波長観測との比較により、加速粒子種および加速機構の系統的理解が期待される。

また、本研究の成果を基に基盤研究 A へ申請を行い、ペバトロン候補天体の系統的研究に向けた研究計画の高度化を図った。採択には至らなかったものの、観測成果および課題整理を通じて、今後の研究展開および外部資金獲得に向けた基盤を構築した。