

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：チベット高原での高エネルギー宇宙線の研究

英文：Experimental Study of High-energy Cosmic Rays in the Tibet ASy Experiment

研究代表者 東京大学宇宙線研究所・准教授・川田和正

参加研究者 弘前大・名誉教授・南条宏肇、雨森道紘、宇都宮大・名誉教授・堀田直己、神奈川大学・名誉教授・立山暢人、教授・日比野欣也、教授・有働慈治、院生・鷹野和紀子、佐々木翼、横浜国大・名誉教授・柴田慎雄、教授・片寄祐作、院生・小林柊斗、竹山祐希、野口陸、山岸元輝、湘南工大・教授・杉本久彦、国立情報学研・准教授・西澤正己、都立産業技術高専・教授・齋藤敏治、甲南大学・名誉教授・坂田通徳、東大宇宙線研・准教授・塚隆志、助教・大西宗博、研究員・藤田慧太郎、Anzorena Marcos、院生・横江諄衡、川島輝能、水野敦之、杉本布達、今和泉銀河、玉置功、山中祐示、信州大学・特任教授・宗像一起、教授・加藤千尋、院生・林優希、小林峻輔、三石翔、JAEA・研究主幹・土屋晴文、芝浦工大・名誉教授・笠原克昌、情報通信研究機構・研究員・小澤俊介、日大・教授・塩見昌司、情報システム研究機構・研究員・小財正義、早稲田大学・名誉教授・鳥居祥二、長野県工科短期大学校・准教授・佐古崇志、Sorbonne Universite・研究員・加藤勢、理研・研究員・Rocio Garcia、中国国家天文台・教授・陳鼎、中国高能物理研究所・教授・黄晶

研究成果概要

1. Tibet AS+MD アレイによる 100TeV 領域ガンマ線天体の研究

I. Geminga からの 100TeV 超えガンマ線の観測 [1] : Geminga 周辺の 100 TeV 超ガンマ線ハローを観測し、その広がりから周囲の磁気流体 (MHD) 乱流の性質を調べた。観測結果は、宇宙線電子・陽電子の拡散係数が銀河平均より著しく小さいことを示し、Geminga 近傍では強い乱流磁場が形成されていることを示唆する。また、この乱流環境が高エネルギー電子の輸送を抑制し、ガンマ線ハロー形成に重要な役割を果たしていることを明らかにした。

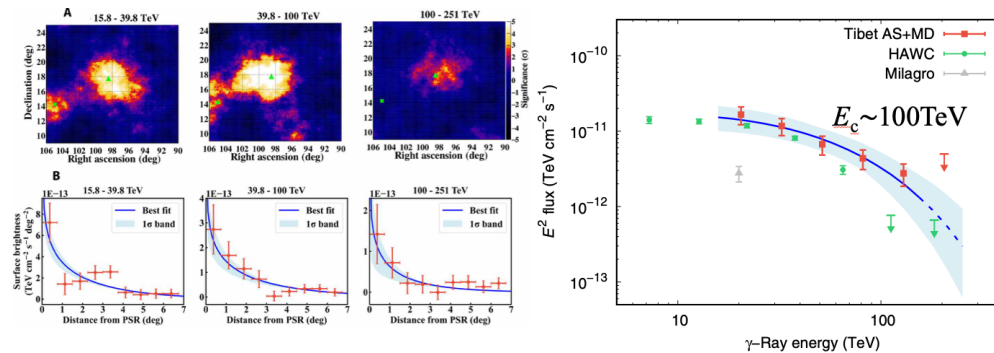


図 1 Geminga 方向のガンマ線分布のエネルギー依存(左)とエネルギースペクトル(右)

II. CNN を用いたガンマ線とバックグラウンド宇宙線の選別 [2] : 畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を用いた γ 線・宇宙線事象分離手法を実データで検証した。空気シャワー検出器のみの情報から高精度な γ ・ハドロン識別を実現し、従来法に比べて TeV ガンマ線観測感度が向上することを示した。特に Crab 星雲方向で

ータを用いて有効性を確認した。

III. Sub-PeV 銀河拡散ガンマ線の研究 [3]: 2021 年に Tibet AS γ 実験から発表された sub-PeV 拡散ガンマ線の観測結果をベースに、銀河系内で観測されるガンマ線放射起源を議論した。超新星残骸や星形成領域などの PeVatron 候補に加え、宇宙線の拡散や分子雲との相互作用を考慮し、銀河面拡散放射の寄与を評価した。

2. Tibet AS+MD+YAC(コア検出器)を用いた宇宙線化学組成の研究

I. ペイジアン・アンフォールディング法による宇宙線化学組成スペクトルの研究 [4]: 本研究では、チベット空気シャワーアレイと地下ミューオン検出器を用い、ペイジアン・アンフォールディング法によって宇宙線の元素別エネルギースペクトルを再構成するシミュレーション研究を行った。軽元素から重元素までの質量群ごとのスペクトル推定性能を評価した。

3. 国際会議発表:

AIAC2025 (4/6 - 4/11 Santiago de Compostela, Spain) M. Takita

ASTRONUM 2025 (7/13-7/18, Madison, Wisconsin, USA) K. Munakata

ICRC2025 (7/15- 7/24, Geneva, Switzerland) 5 講演

XVIII TAUP 2025 (8/24-8/30, Xichang, China) S. Kato

MeV-PeV Frontiers Workshop (12/16, IMPU, Kashiwa) K. Kawata

4. 国内会議発表:

日本物理学会第 80 回年次大会 (9/16-19 広島大学) 3 講演

2025 年春季大会 (3/23-26 オンライン) 1 講演

5. 査読論文

[1] M. Amenomori, et al., (Tibet AS γ Collaboration), Constraining the magnetohydrodynamic turbulence around Geminga by observing the γ -ray halo beyond 100 TeV, Science Advances, 12, adv8173 (Mar. 2026)

[2] M. Amenomori, et al., (Tibet AS γ Collaboration), Experimental Verification of a Convolutional Neural Network Separation Method in TeV Gamma-Ray Observations by the Tibet AS γ Experiment, Progress of Theoretical and Experimental Physics, 2025, id.103F01 (Oct. 2025)

[3] Kato et al., A Discussion on the Origin of the Sub-PeV Galactic Gamma-Ray Emission, The Astrophysical Journal, Volume 984, id.98 (May 2025)

[4] G. Imaizumi et al., A Simulation Study on the Cosmic-Ray Energy Spectra of Elemental Mass Groups using the Tibet Air-Shower and Muon Detector Arrays through the Bayesian Unfolding Method, Progress of Theoretical and Experimental Physics, 2025, id.103F02

[5] Akash Gupta, Eduardo de la Fuente, et al., Are Kronberger 80 and/or Kronberger 82 regions PeVatron candidates for LHAASO J2108+5157?, Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 77, 773-784 (June 2025)