

令和 6 年度（2024） 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 AS γ Experiment
研究代表者	瀧田正人
参加研究者	弘前大・名誉教授・南条宏肇、・名誉教授・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、・准教授・有働慈治、院生・鷹野和紀子、院生・佐々木翼、横浜国大・名誉教授・柴田槇雄、・准教授・片寄祐作、・院生・奥川創介、・院生・川原一輝、・院生・野口陸、・院生・碓井玲、・院生・槇島拓音、・院生・松橋祥、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・塔隆志、・助教・大西宗博、・助教・川田和正、・特任助教・佐古崇志、・研究員・加藤勢、・院生・横江誼衡、・院生・川島輝能、・院生・水野敦之、・院生・杉本布達、・院生・今和泉銀河、信州大学・特任教授・宗像一起、・教授・加藤千尋、・院生・林優希、・院生・増田吉起、・院生・松本瑞生、JAEA・研究副主幹・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、・院生・柴崎季哉、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、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-MD計画 100TeV領域(10-1000TeV)ガンマ線天文学の開拓を目指すTibet-AS+MD Project: Tibet Air shower array + Muon Detector array Project)に関する研究が活発に行われている。100TeV領域ガンマ線の低雑音観測を目指し、地下水チェレンコフ型ミュオン検出器の建設が完了し、2014年にデータ取得を開始した。2024年度は、新しいデータ解析用ソフトウェアツールの開発及びデータ解析を引き続き行った。 我々は2021年に空気シャワー観測装置とミュオン検出器の連動実験により、銀河面に沿って(銀緯$\pm 10^\circ$) sub-PeV領域の拡散ガンマ線($>398 \text{ TeV}$) 23事例を観測した結果をPRLに発表したが、それらの事例の半径0.5°以内の方向には、2021年時点のTeVcatカタログの天体との重なりはなかった。しかし、2023年になって新たに発表されたLHAASOカタログの43個のsub-PeVガンマ線放射天体の一部とシグナス領域はマスクされていたので、その上限値を求めた。(図1: ApJ 977:L3, (2024))。その結果、Tibet ASγ実験で観測されたsub-PeV銀河系内拡散ガンマ線に対して、それらの寄与はsubdominantであることが判明した。また電子起源のunresolved sourcesからの寄与もさらにsubdominantであることが図1よりわかる。したがってTibet ASγ実験で観測されたsub-PeVガンマ線は銀河系内宇宙線プールに蓄えられたPeV領域宇宙線が銀河系内星間物質と衝突して生成した中性π中間子起源であると考えることが最も自然な解釈である。 また、Tibet ASγ実験の地表空気シャワー観測装置の情報のみを用いてどの程度原子核宇宙線と宇宙ガンマ線の識別ができるかをかに星雲からのガンマ線と宇宙線のモンテカルロシミュレーションを用いて調べた。識別方法としてConvolutional Neural Network法を用いると$10 \text{ TeV} - 100 \text{ TeV}$で有意度が1.3倍から1.8倍改善された。(図2: Mach. Learn. Sci. Te

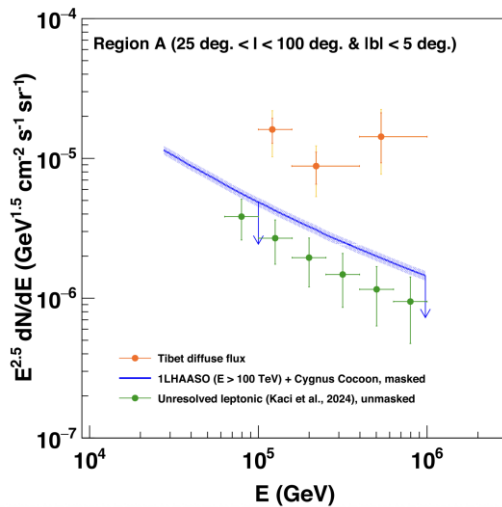


図1 チベット空気シャワー観測装置と地下ミューオン観測装置の連動実験により観測された inner Galaxy ガンマ線エネルギースペクトル (赤点) とシグナス領域+1LHAASO カタログでチベット実験ではマスクされていない新天体(>100TeV) ガンマ線エネルギースペクトル上限値 (青実線)。緑点は unresolved 天体からのフラックス予想値。

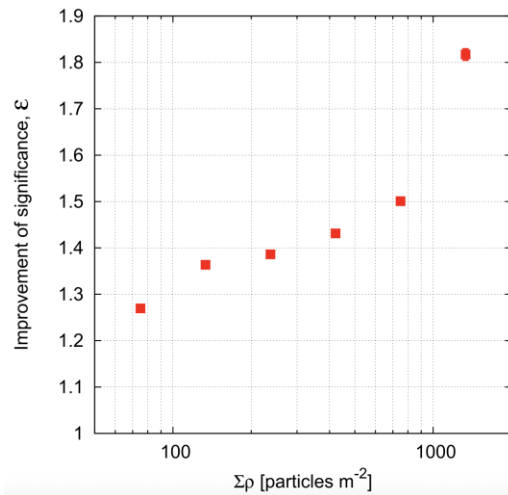


図2 モンテカルロシミュレーションにより、チベット空気シャワー観測装置のみの情報を用いて、かに星雲からのガンマ線と宇宙線の弁別が 10 TeV から 100 TeV でどの程度向上するか改善ファクターをエネルギーの関数として表す。弁別方法として Convolutional Neural Network 法を用いた。一番左の点が 10 TeV、一番右の点が 100 TeV 領域に対応する。

2. Tibet-YAC計画

Knee 領域宇宙線の各粒子成分のエネルギースペクトル観測を目指す Tibet-YAC:

Tibet air shower core detector array 計画を推進している。YAC-II (124 台の空気シャワーコア観測検出器[バースト検出器]がチベット空気シャワー観測装置の中心付近に設置されている。2014 年にエレクトロニクスやデータ取得ソフトウェアの実装作業が行われ、陽子選別に重点を絞る YAC-II がデータ取得を開始した。前年度に引き続き、今年度もモンテカルロシミュレーション等を用いて、解析用ソフトウェアツールの開発やデータ解析が活発に行われた。

3. 国内会議発表：R6 年秋の物理学会 1 講演、R7 年春の物理学会 2 講演、ISEE 研究会 1 講演

4. 国際会議発表：ASTRONUM2024, ISVHECRI2024, COSPAR2024, TeVPA2024等で 10 presentations

5. Publications

[1] S. Kato et al., ApJ, 977:L3 (8pp), (2024).

[2] S. Okukawa et al., Mach. Learn. Sci. Technol., 5: 025016 (pp1-4), (2024).

