

令和 5 年度 (2023) 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・柴田楨雄、・准教授・片寄祐作、・院生・奥川創介、・院生・長屋開人、・院生・榊原陽平、・院生・川原一輝、・院生・野口 陸、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、・協力研究員・中村佳明、・院生・加藤勢、・院生・横江諠衡、・院生・川島輝能、信州大学・特任教授・宗像一起、・教授・加藤千尋、・院生・林 優希、日本原子力研究開発機構・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・准教授・塩見昌司、・院生・中澤優樹、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	<p>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:</p> <p>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。2023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。</p> <p>ガンマ線解析として、HESS J1849-000に着目した。HESS J1849-000は非常に高いエネルギーを持つガンマ線源で、middle ageのPWNとされている。HESS J1849-000領域からの100TeVを超えるガンマ線のエネルギースペクトルを初めて観測した。その統計的有意性は25 TeV以上で4.0σ、100 TeV以上で6.2σであった。25 TeV < E < 320 TeV において初めて測定されたガンマ線エネルギースペクトルは単純な冪型$dN/dE = (2.86 \pm 1.44) \times 10^{-16} \times (E/40 \text{ TeV})^{-(2.24 \pm 0.41)} \text{ TeV}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$で記述可能である (図1)。我々の結果と他の実験(sub-PeVからsub-PeV領域)合成スペクトルをフィットすると電子起源(PSR J1849-0001のPWNによって加速された電子)で説明できる。他方、近傍のSNRと分子雲の重なった領域からガンマ線が来ている陽子起源シナリオとも無矛盾であり(図1)、その場合は、ガンマ線のカットオフエネルギー(E_{p_cut})は$\log_{10}(E_{p_cut}/\text{TeV}) = 3.73^{+2.98}_{-0.66}$となる。すなわち、陽子がPeV領域まで加速されている可能性を示唆し、新たなPeVatron候補を見つけたことになる(ApJ, 954:200, (2023))。</p> <p>また、空気シャワー観測装置とミュオン検出器により、銀河面に沿って(銀緯± 10度)sub-PeV領域の拡散ガンマ線(>398 TeV)23事例を観測した結果をPRLに発表した。その23事例の飛来方向と1LHAASOカタログの43sub-PeVガンマ線放射天体の方向を比較した。(図2: ApJ 961:L13, (2023))。その結果、sub-PeV領域拡散ガンマ線23事例と1LHAASOカタログのsub-PeV領域の43個のガンマ線放射天体から飛来していないことが分かった。このことはTibet A</p>

S γ 実験が観測した23事例がソース由来でないこと、つまり拡散的ガンマ線であることを支持する観測結果となった。もちろん、多数の非常に弱いunresolvedソースが拡散ガンマ線の起源である可能性は否定できないが、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ことに変わりはない。

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。

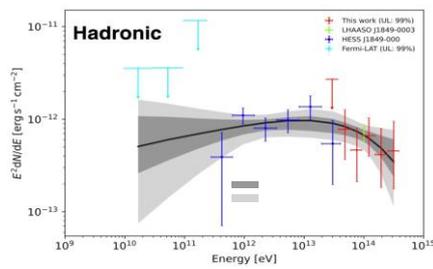


図1 チベット空気シャワー観測装置と地下ミュオン観測装置の連動実験により観測された HESS J1849-000 からのガンマ線エネルギースペクトル (赤丸:This work)。黒実線は陽子起源シナリオを仮定した場合のベストフィット予想値。

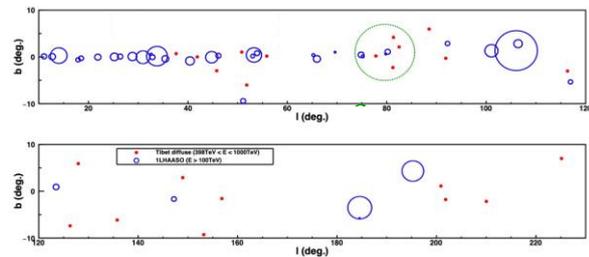


図2 チベット空気シャワー観測装置と地下ミュオン観測装置の連動実験で観測された銀河面に沿った(銀緯 ± 10 度) 398 TeV以上の23事例(赤点)と1LHAASOカタログの43個のsub-TeV(> 100 TeV)ガンマ線放射天体との方向(青○)の銀経・銀緯分布。

3. 国内会議発表

R5 年秋の物理学会(東北大学) 3 講演、R6 年春の物理学会(オンライン) 2 講演
ISEE 研究会 1 講演

4. 国際会議発表:

ICRC2023, TAUP2023, TeVPA2023, CRA2023等で 12 presentations

5. Publications

[1] M. Amenomori et al., ApJ, 954:200 (pp1-7), (2023).

[2] S. Kato et al., ApJ, 961:L13 (pp1-4), (2023).

整理番号 F08