

## 令和 3 年度 (2021) 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 $\gamma$ Experiment
研究代表者	東京大学宇宙線研究所・教授・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、教授・鳥居祥二、院生・鷹野和紀子、横浜国大・名誉教授・柴田慎雄、准教授・片寄祐作、院生・中田大樹、院生・大浦敏宏、院生・五味 明日香、院生・倉茂大智、院生・奥川創介、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、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・木原 渉、院生・高柚季乃、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、JAXA・研究員・小財正義、中国国家天文台・教授・陳鼎、中国高能物理研究所・教授・黄晶、研究員・中村佳昭
研究成果概要	<p>1. Tibet-MD計画</p> <p>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。2021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。銀河面からsub-PeV 拡散ガンマ線の世界初検出(5.9 <math>\sigma</math>)に成功した(図1)。驚くべきことに、銀河面から飛来した400 TeV以上のガンマ線23事例は既知のTeVガンマ線源の方向から離れて飛来しているのみならず、10 TeV以上の事例を伴うことがないことが判明した。これらは、PeV宇宙線が銀河系内の星間物質と反応して生じた中性パイ中間子が崩壊する際に生ずるガンマ線と解釈される。もしもPeV電子がガンマ線の起源であるとする、PeV電子はシンクロトロン放射によるエネルギー損失のために源を離れることができないため、ガンマ線は高エネルギー天体から飛来するはずである。また、エネルギースペクトルも原子核宇宙線起源のガンマ線と理論予想と矛盾しない。従って、これは原子核宇宙線起源のsub-PeVガンマ線の初めての実験的証拠である。さらに、PeV宇宙線加速器 (PeVatron) が銀河系内にある初めての実験的証拠でもある。それらの成果はPRL <b>126</b>, 141101 (2021)に掲載され、Editors' Suggestion &amp; VIEWPOINT (APSの出版する論文の0.5%が該当) に選出された。さらに、アメリカ物理学会主催や東京大学等主催のプレスコンフェレンスで発表されるとともに、読売新聞、NHKニュース等にも広く報道された。また、Cygnus OB1およびOB2領域からの100 TeV領域ガンマ線の検出(図2)に成功し、その成果はPRL <b>127</b>, 031102 (2021)に掲載された。</p> <p>2. Tibet-YAC計画</p> <p>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:</p>

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。2021 年度には、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。

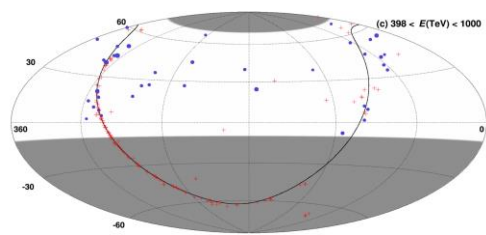


図 1 チベット空気シャワー観測装置と地下ミュオン観測装置の連動実験により観測された 400 TeV 以上のガンマ線の飛来方向 (青丸：赤道座標)。黒実線は銀河面、赤×印は既知の TeV ソースの位置を示す。灰色は視野外。

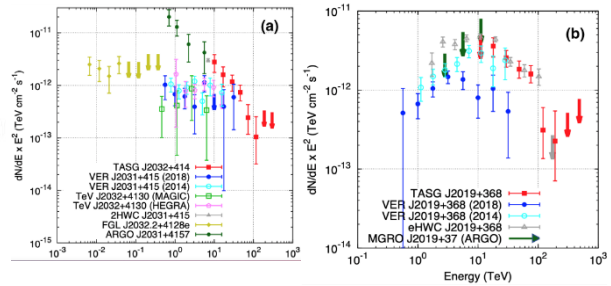


図 2 チベット空気シャワー観測装置と地下ミュオン観測装置の連動実験により観測された Cygnus OB2 (a) と OB1(b) 方向からのガンマ線のエネルギー分布。赤丸がチベットの観測データ。

### 3. 国内会議発表

R3 年秋の物理学会(オンライン) 3 講演、R4 年春の物理学会(オンライン) 3 講演  
ISEE 研究会 2 講演

### 4. 国際会議発表：

ICRC2021等で 10 presentations

### 5. Publications

[1] M. Amenomori et al., PRL 126, 144101 (2021)

[2] M. Amenomori et al., PRL 127, 031102 (2021)