

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：宇宙線望遠鏡による極高エネルギー宇宙線の研究 英文：Study of Extremely-high Energy Cosmic Rays by Telescope Array
研究代表者	(東京大学・宇宙線研究所) 荻尾彰一
参加研究者	(東京大学) 佐川 宏行、瀧田 正人、塚 隆志、竹田 成宏、野中 敏幸、大西 宗博、川田 和正、藤田 慧太郎、大島 仁、福島 正己、大岡 秀行、下平 英明、岡崎 奈緒、関野 幸市、小林 良一、申 興秀、藤末 紘三、高橋 薫、武多 昭道、(大阪公立大学) 常定 芳基、藤井 俊博、Fraser W. Bradfield、古前 亮朗、敷田 淳、中原 美紅、河内 祐輔、(京都大学) 難波 宏樹、(大阪電気通信大学) 多米田 裕一郎、佐藤 聖真、高木 勇太郎、村上 実哉斗、岩上 拓生、楠森 優貴、小森 康平、森 瑞季、加藤 晴香、坂本 琉之助、島本 尚樹、豊村 偉吹、中島 健太郎、長田 純輝、中山 侑哉、野々山 美羽、藤井 愛美、松本 穂乃花、(大阪産業大学) 櫻井 信之、(神奈川大学) 日比野 欣也、垣本 史雄、林田 直明、有働 慈治、池田 大輔、(KEK) 田中 真伸、芝田 達伸、(高知大学) 中村 亨、(埼玉大学) 井上直也、(信州大学) 富田 孝幸、齊藤 亮介、日比 亮佑、阿部 泰明、水野 航太、佐藤大輝、宮下 航平、(千葉大学) 河合 秀幸、(中部大学) 大嶋 晃敏、山崎 勝也、(東京都市大学) 門多 顕司、(広島市立大学) 田中 公一、(放医研) 内堀 幸夫、(山梨大学) 石井 孝明、本田 建、(理研) 長瀧 重博、伊藤 裕貴、小野 勝臣、木戸 英治、樋口 諒、Noemie Globus、Haoning He、Donald Warren、榊 直人、(立命館大学) 奥田 剛司、(芝浦工業大学) 笠原 克昌、(未来 ICT 研究所) 小澤 俊介、(ユタ大学、米国) Pierre Sokolsky、Gordon Thomson、Charles Jui、John Belz、Carsten Rott、John N. Matthews、Douglas Bergman、Wayne Springer、Stanton Thomas、Jeremy Smith、Dmitri Ivanov、Jihyun Kim、Matt Potts、Isaac Buckland、Zane Gerber、(シカゴロヨラ大学、米国) Tareq Abu-Zayyad、Rasha Abbasi、(成均館大学、韓国) Il Hung Park、Hyomin JeongKwangho Lee、Sanwoo Kim、(UNIST、韓国) Dongsu Ryu、Bok Kyun Shin、(漢陽大学、韓国) Hang Bae Kim、ByungGu Cheon、(ロシア科学アカデミー原子核研究所、ロシア) Grigori I. Rubtsov、Igor I. Tkachev、Sergey V. Troitsky、Oleg E. Kalashev、B.K. Lubsandorzhev、Ivan V. Kharuk、Yana V. Zhezher、Igor A. Vaiman、(Moscow M.V. Lomonosov State university、ロシア) Maksim Pshirkov、(Universite Libre de Bruxelles、ベルギー) Peter Tinyakov、Mikhail Yu. Kuznetsov、(Central European Institute for Cosmology and Fundamental Physics、チェコ) Federico Urban、(Academia Sinica、台湾) Anatoli Fedynitch

研究成果概要

2023年度には、FD 反射鏡の清掃・反射率測定、SD 検出器の修理を実施し、特に TALE infill SD アレイの運用を開始した。SD アレイ、FD 望遠鏡ともに日本からも遠隔運用を行なっている。データ解析も継続し、ICRC2023、日本物理学会などの研究集会で成果発表した。以下、それらの中からいくつか選んで報告する。

TA FD+SD アレイハイブリッド観測による原子核組成

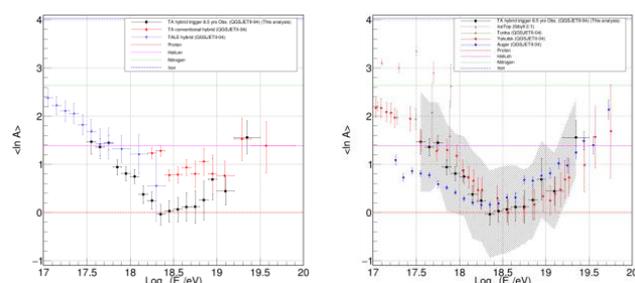


図1：TA ハイブリッド観測に基づく<lnA> (●) と他の TA 実験との比較 (左)、他の実験結果との比較 (右)

TA ハイブリッド観測 8.5 年分のデータ解析からエネルギースペクトル、原子核組成を求めた (図1)。<lnA>は $10^{18.43 \pm 0.06}$ eV で最も小さくなった。TALE ハイブリッドの結果とも $10^{17.7}$ eV 付近でスムーズに接続している。

TALE FD+SD アレイハイブリッド観測による原子核組成

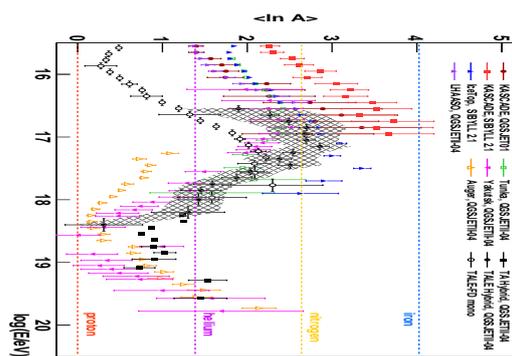


図2：TALE ハイブリッド観測に基づく<lnA>と他の実験結果との比較。●で描かれているのが TALE ハイブリッド観測の結果で系統誤差の範囲が網掛けで示されている。

2018年11月から2023年3月までの TALE 実験ハイブリッド観測データに基づき、 $10^{16.5}$ eV から $10^{18.5}$ eV までの<lnA>を求めた。結果を図2に示す。この結果は、平均的な組成はエネルギーとともに 10^{17} eV 付近までは重くなり、その後軽くなり、 $10^{18.5}$ eV では純粋陽子となることを示している。最も重くなるエネルギー 10^{17} eV がエネルギースペクトルに見られる 2nd knee という構造に一致していることも興味深い。

ペルセウス座・うお座超銀河団 (PPSC) 方向へのイベント集中

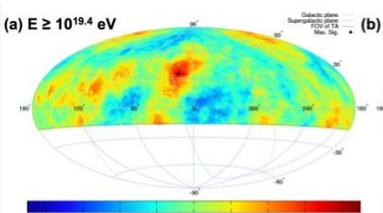


図3：赤道座標系での PPSC イベント過剰のスカイマップ。カラーは有意度を示す。

TA 実験 SD アレイの 15 年分のデータをもとに、PPSC 方向への $10^{19.4}$ eV 以上のイベントの到来方向集中の結果をアップデートした (図3)。赤経 17.9° 、赤緯 35.2° の方向を中心に 4.0σ のイベント集中が見られ、その chance probability は 3.3σ と求まった。