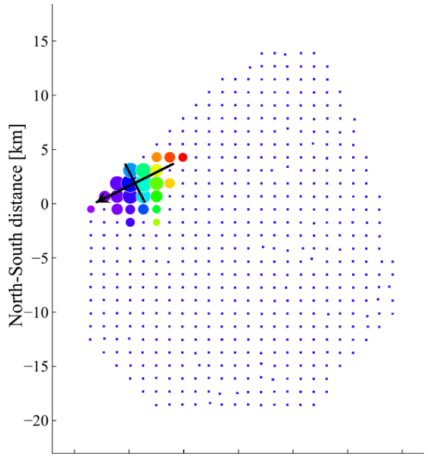
様式８

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：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 参加研究者	（東京大学・宇宙線研究所）荻尾彰一 （東京大学）佐川宏行、瀧田正人、埣隆志、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、海老澤裕、藤末紘三、高橋薫、小山千里、武多昭道、（大阪公立大学）常定芳基、藤井俊博、Fraser W. Bradfield、古前壱朗、敷田淳、中原美紅、河内祐輔、遠藤康平、能勢幸弘、古坊龍一、櫻井駿介、Heungsu Shin、（大阪電気通信大学）多米田裕一郎、高木勇太朗、岩上拓生、楠森優貴、小森康平、森瑞季、坂本琉之助、中山侑哉、井上芹華、葛谷侑也、佐々木春人、寺 理貴、中澤奏駿、中村広樹、花岡大河、（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、細野甚八、（KEK）田中真伸、芝田達伸、（高知大学）中村亨、（信州大学）冨田孝幸、水野航太、佐藤大輝、黒岩美羽、小松晃一、松澤碧、中山翼、小磯光、（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、（放射線医学総合研究所）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、木戸英治、樋口諒、Noemie Globus、Haoning He、Donald Warren、（芝浦工業大学）笠原克昌、（未来 ICT 研究所）小澤俊介、（ユタ大学）Pierre Sokolsky、Gordon Thomson、Charles Jui、John Belz、Carsten Rott、John N. Matthews、Douglas Bergman、Wayne Springer、Jeremy Smith、Dmitri Ivanov、Jihyun Kim、Zane Gerber、（シカゴロヨラ大学）Tareq Abu-Zayyad、Rasha Abbasi、（成均館大学）Il Hung Park、Myeoung Jae Lee、（UNIST）Dongsu Ryu、（漢陽大学）Hang Bae Kim、ByungGu Cheon、（ロシア科学アカデミー原子核研究所）Grigori I. Rubtsov、Igor I. Tkachev、Sergey V. Troitsky、Oleg E. Kalashev、B.K. Lubsandorzhiev、Mikhail Yu. Kuznetsov、Ivan V. Kharuk、Mariia Kudenko、（Moscow M.V. Lomonosov State university）Maksim Pshirkov、（Universite Libre de Bruxelles）Peter Tinyakov、（Central European Institute for Cosmology and Fundamental Physics）Federico Urban、（Academia Sinica）Anatoli Fedynitch、
研究成果概要	Telescope Array（TA）実験は、超高エネルギー宇宙線の起源、伝播、エネルギー限界を解明するため米国ユタ州の約 700 km^2 の領域に地表検出器（SD）アレイと合計 38 台の大気蛍光望遠鏡（FD）からなるハイブリッド観測装置を設置し、2008 年以来ハイブリッド観測を継続している。さらに TA 実験の有効面積を 4 倍に拡張する TA×4 計画をスタートし、2018 年には約 1,700 km^2 まで拡張してハイブリッド観測を開始した。

2024 年度には、FD 反射鏡の清掃・反射率測定、SD 検出器の修理を行い、TA-SD, TA-FD, TALE-SD, TALE-FD, TALE infill SD アレイという 5 種の検出器の安定運用を実施した。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、UHECR2024（アルゼンチン）、日本物理学会などの研究集会で成果発表した。2024 年度までに観測されているエネルギースペクトル・質量組成のほか、「Hotspot」、「ペルセウス座・うお座超銀河団方向への $10^{19.4}$ eV 以上のイベントの集中」などについてのアップデートを報告したほか、観測史上 2 番目のエネルギーを持つ宇宙線イベント「アマテラス粒子」の検出（図 1）[1]、最高エネルギー領域の宇宙線の到来方向分布から示唆される宇宙線原子核組成の推定（図 2）[2][3]などを報告した。



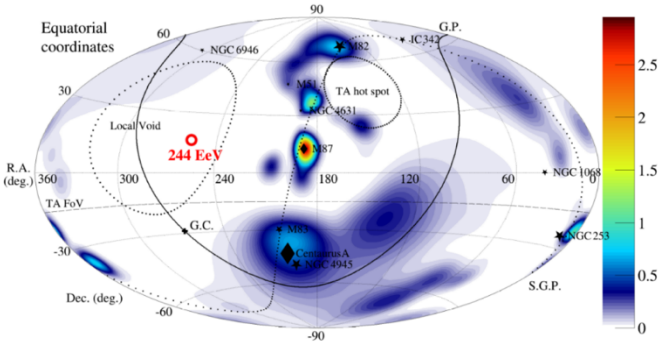
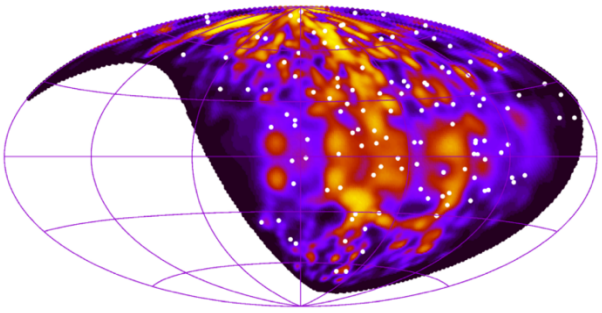


図 1 ：左：アマテラス粒子のイベントディスプレイ、右：アマテラス粒子の到来方向分布と、宇宙における銀河分布との比較



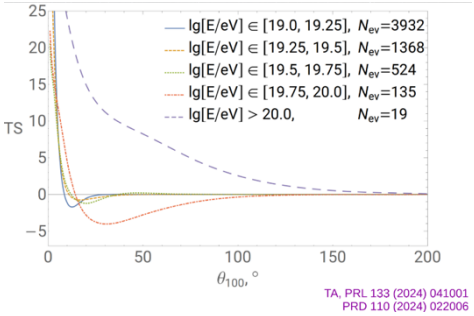


図 2 ：左：テレスコープアレイで観測された E>10^{20}eV イベントの分布（白丸）と 2MRS カタログによる銀河分布の比較。右：宇宙線を陽子と仮定したとき、銀河分布を起源天体としたときに要求される宇宙線の平均的曲がり角の推定計算。E>10^{20} eV では明確な谷が見えず、最高エネルギー宇宙線の陽子モデルはテレスコープアレイの結果からは支持されない。

本研究課題に関連する最近の発表論文

[1] R. U. Abbasi, et al., Science 382, 903-907 (2023)

[2] R. U. Abbasi, et al., Phys. Rev. Lett., 133, 041001 (2024)

[3] R. U. Abbasi, et al., Phys. Rev. D, 110, 022006 (2024)

[4] R. U. Abbasi, et al., Geophys. Res. Lett., 50, e2023GL102958 (2023)

整理番号　F01