

平成24年度共同利用研究・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：佐川 宏行（東大宇宙線研）；参加研究者：大阪市大・准教授・荻尾彰一、教授・林嘉夫、名誉教授・川上三郎、特任助教・桜井信之；技官・松本利夫、院生・藤井俊博、院生・山崎勝成、院生・山根涼、院生・米田泰久、院生・後藤昂司、院生・南平兵衛；神奈川大・特任教授・林田直明、教授・日比野欣也、助手・有働滋治；近畿大・教授・千川道幸；院生・北本兼統、院生・周小溪、院生・峪中良介、院生・野里明香；KEK・教授・藤井啓文、准教授・田中真伸、技官・山岡広；高知大・准教授・中村亨；埼玉大・教授・井上直也；院生・永澤啓介；早稲田大・教授・笠原克昌、講師・小澤俊介；千葉大学・准教授・河合秀幸、准教授・吉田滋；東工大・教授・垣本史雄、助教・常定芳基、特任助教・得能久生；院生・北村雄基、院生・北村星爾、院生・小倉潤；東大宇宙線研・教授・福島正己、准教授・瀧田正人、助教・大西宗博、助教・竹田成宏、助教・野中敏幸、特任助教・芝田達伸、技官・大岡秀行、技官・下平英行、研究員・多米田裕一郎、研究員・池田大輔、院生・木戸英治；広島市立大学・准教授・田中公一；放医研・課長・内堀幸夫；東京都市大・講師・門多頭司；山梨大学・教授・本田建、准教授・石井孝明、院生・富田孝幸、院生・柴田文哉、院生・町田和広、院生・向井啓児郎；東京理科大・教授・千葉順成、院生・高村菜衣、屋代健太；東大地震研・助教・武多昭道；立命館大学 助手・奥田剛司；ユタ大・教授・P.Sokolsky、教授・C.C.H. Jui、教授・G.B. Thomson、准教授・J.N.Matthews、准教授・R.W. Springer、助教・J.W. Belz、助教・D.R. Bergman、助教・R. Cady、研究員・T.Abu-Zayyad、研究員・B.T. Stokes、研究員・T.A.Stroman、技官・S.B. Thomas、技官・J.D. Smith、院生・M. Allen、院生・E. Barcikowski、院生・S.A. Blake、院生・O. Brusova、院生・W. Hanlon、院生・D. Ivanov、院生・M.Llamozas、院生・J. Martineau、院生・I.Myers、院生・J.S.Rankin、院生・D. Rodriguez、院生・P.D. Shah、院生・T.J. Sonley、院生・Z. Zundel；Rutgers 大学 院生・S.R. Stratton 漢陽大 教授・B.G.Cheon、教授・H.B. Kim、院生・J.H. Kim、院生・B.K. Shin；延世大・教授・Y.J. Kwon、院生・W.R. Cho、院生・H.K.Kim、院生・K.H.Kim；INR・教授・V. Kuzmin、教授・I.Tkachev、准教授・P. Tinyakov、研究員・S. Troitsky、研究員・D. Gorbunov、研究員・O. Kalashev、研究員・G. Rubtso；梨花女子大・教授・S.W. Nam、教授・I.H. Park、教授・J. Yang、院生・S.I. Lim；忠南大・教授・D. Ryu、院生・J.H. Kim、院生・S.Y. Rho；IPMU 准教授・K.Martens；ブリュッセル自由大・研究員・M.S.Pshirkov

研究成果概要

【エネルギースペクトル】

図1に Telescope Array (TA) の地表検出器 (SD) で測定したエネルギースペクトルを示した。TA で測定したエネルギースペクトルは HiRes によるエネルギースペクトルと一致している。また、 5.5σ の有意度で GZK suppression と一致する flux の急激な減少を観測した [1]。

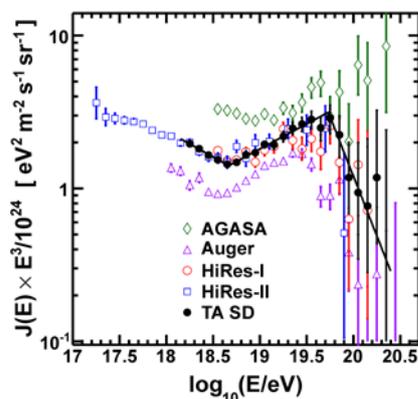


図1 TAのSDによるスペクトル(●)と他の実験で測定したスペクトルの結果。

【質量組成】

これまで大気蛍光望遠鏡 (FD) のステレオ解析でのシャワー最大発達点 X_{\max} を用いて陽子組成と一致することを報告していた。ここでは新たに HiRes 望遠鏡を移設し

た Middle Drum サイトの FD と地表検出器のハイブリッド事象の解析による X_{\max} とエネルギーの関係シミュレーション計算とともに比較した結果を図2に示す。エネルギーが $10^{18.2}$ eV 以上で一次宇宙線の成分は、陽子と一致している。

【異方性】

SD データを用いて、極高エネルギー宇宙線の異方性の研究結果を発表した [2]。E > 57

EeV 以上の宇宙線 (25 事象) の到来方向と AGN (Veron12 版カタログで $z_{\max} < 0.018$) の位置を sky map に示した (図 3)。AGN と 3.1 度以内で相関がある宇宙線は 11 事象で、一様分布から期待される 5.9 事象と比較して有意な差は見られなかった。また大規模構造 (LSS : Large-Scale Structure) との相関を $E > 10$ EeV (988 事象)、40 EeV (57 事象)、57 EeV の宇宙線に対して調べた。40 EeV と 57 EeV 以上に対しては LSS と一致しているが、10 EeV 以上に対してはこれまでの予想より強いあるいは厚いハローを含んだ銀河磁場を考慮するとうまく説明できるという結果であった。ただし、すべてのエネルギー閾値で一様分布と一致した結果でもある。更に AGASA で示唆された宇宙線同士の到来方向の small scale clustering に関して有意な信号は見られなかった。

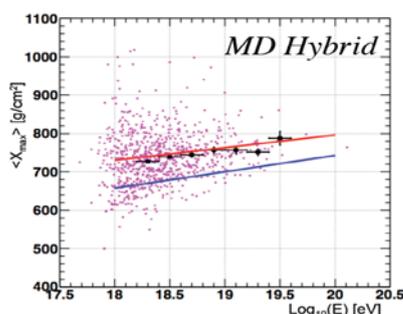


図 2 TA の MD サイトのハイブリッドデータによる preliminary な X_{\max} の平均値とエネルギーの関係。黒丸が観測結果で、線はシミュレーションの計算結果である (赤は陽子、青は鉄)。

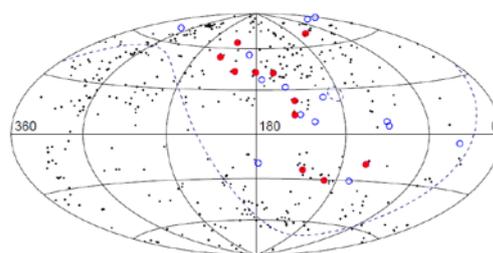


図 3 銀河座標で表示した TA の 57 EeV 以上の宇宙線の到来方向 (赤丸は 3.1° の半径内で AGN と相関がある事象で、青丸は相関がない事象) と AGN の位置 (黒印)。破線は TA で観測可能な領域の境界線。

[1] T. Abu-Zayyad et al., "The Cosmic-Ray Energy Spectrum Observed with the Surface Detector of the Telescope Array Experiment", The Astrophysical Journal Letters, 768:L1 (5pp), 2013, [e-Print: ArXiv:1205.5067v2\[astro-ph.HE\]](https://arxiv.org/abs/1205.5067v2)

[2] T. Abu-Zayyad et al., "Search for Anisotropy of Ultra-High Energy Cosmic Rays with the Telescope Array Experiment", Astrophys. J. 757 (2012) 1-11