

平成23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 東京大学宇宙線研究所・佐川宏行； 参加研究者 大阪市立大学：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、大学院生・奥田剛司、院生・藤井俊博、院生・倉本和幸、院生・山崎勝成； 神奈川大学：特任教授・林田直明、准教授・日比野欣也、助手・有働滋治； 近畿大学：教授・千川道幸、講師・新居毅人、院生・北本兼統、院生・尾崎誠亮； 高エネルギー加速器研究機構：教授・藤井啓文、准教授・田中真伸、技官・山岡広； 高知大学：准教授・中村亨； 埼玉大学：教授・井上直也、院生・川名進吾、院生・白浜隆男； 早稲田大学：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； 東京工業大学：教授・垣本史雄、助教・常定芳基、特任助教・得能久生、院生・堤一樹、院生・松浦孝典； 東京大学宇宙線研究所：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・田中公平； 放射線医学総合研究所：主任研究員・内堀幸夫； 東京都市大学：講師・門多顕司； 山梨大学：教授・石井孝明； 院生・富田孝幸、院生・相田龍太、院生・奥大介、院生・柴田文哉； 東京理科大学 教授・千葉順成； 東京大学地震研究所 助教・武多昭道； ユタ大学：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・R. Cady、研究員・T.A.Stroman、技官・S.B. Thomas、技官・J.D. Smith、大学院生・M. Allen、院生・E. Barcikowski、院生・S.A. Blake、院生・O. Brusova、院生・W. Hanlon、院生・J. Martineau、院生・D. Rodriguez、院生・P.D. Shah、院生・T.J. Sonley、院生・B. Van Klaveren、院生・M. Wood、院生・Z. Zundel； Rutgers 大学：助教・D.R. Bergman、研究員・B.T. Stokes、院生・G. Hughes、院生・S.J.J. Innemee、院生・D. Ivanov、院生・S.R. Stratton； Hanyang 大学：教授・B.G.Cheon、教授・H.B. Kim、院生・J.H. Kim、院生・E.J. Cho、院生・B.K. Shin； Yonsei 大学 教授・Y.J. Kwon、研究員・L.S. Cho、院生・W.R. Cho、院生・J. Shin； 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. Rubtsov； Ewha Womans University 教授・S.W. Nam、教授・I.H. Park、教授・J. Yang、院生・S.I. Lim； Chungnam National University 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学 研究員・H.Koers

研究成果概要

(1) 観測・校正・保守

増水したダムの水の開放により TA サイトの一部の水かさが増えて、影響を受けた 9 台の地表検出器 (Surface Detector: SD) の交換をした (2 台は場所を移動)。SD のバッテリーが劣化してきたので、全体の約 40% を新品のバッテリーに交換した。

大気蛍光望遠鏡 (Fluorescence Detector: FD) 観測は、年度末に強風によって西側の望遠鏡サイトの建物の壁がはがれたために鏡が汚れて観測を停止したが、おおむね順調である。望遠鏡の end-to-end の校正のための電子加速器が安定に動き、電子ビーム電流の測定および FD 観測データとシミュレーションの比較に対する理解も深まってきた。

(2) データ解析

TA の結果を 8 月に北京で開かれた第 32 回宇宙線国際会議で発表した。図 1 に TA で測定したエネルギースペクトル (HiRes 望遠鏡を移設した MD サイトの FD 単眼解析、SD 解析、新規望遠鏡と SD のハイブリッド解析) 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、SD 解析によるエネルギースペクトルで 3.9σ の有意度で GZK suppression と一致する flux の急激な減少を観測した。

FD ステレオイベントの解析によるシャワー最大到達点 X_{max} とエネルギーの関係を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。

SD データを用いて、 $E > 57$ EeV 以上の宇宙線 (20 事象) の到来方向と AGN (Veron

12 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 8 事象で、一様分布から期待される 5 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 (854 事象)、40 EeV (49 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しないとうまく説明できないという結果であった。なお、すべてのエネルギー閾値で一様分布と一致した結果が得られた。更に AGASA で示唆された宇宙線同士の到来方向の small scale clustering に関しては有意な信号は見られなかった。

(3) TA 日本グループの会議を隔月で開催した。

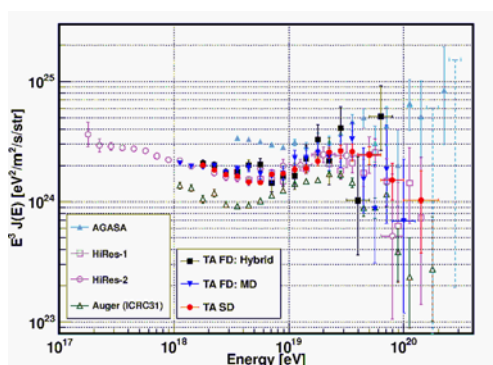


図 1 TA の preliminary な SD (●)、MD 単眼解析 (▼)、hybrid 解析 (■) によるスペクトル、および他の実験のスペクトルの結果。

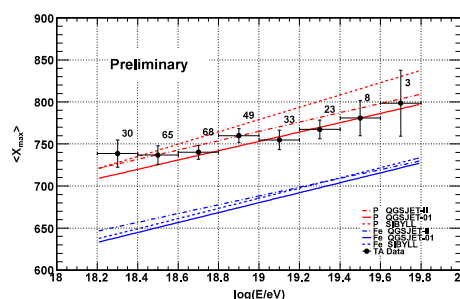


図 2 TA の preliminary な X_{\max} の平均値とエネルギーの関係。黒丸が観測結果で、線はシミュレーション計算結果である (赤は陽子、青は鉄)。

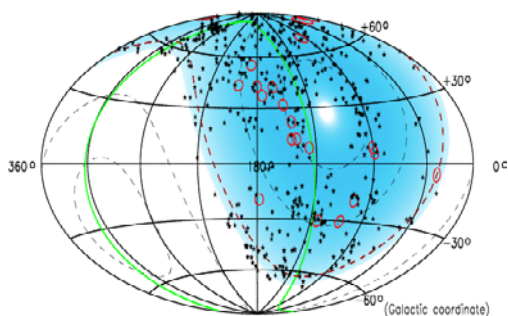


図 3 銀河座標で表示した TA の 57 EeV 以上の宇宙線の preliminary な到来方向 (3.1° の半径で示した赤丸) と AGN の位置 (黒印)。水色の領域は TA で観測可能な領域。