

平成 21 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：福島正己、参加研究者：大阪市大：荻尾彰一・林嘉夫・川上三郎、神奈川大：日比野欣也・有働滋治、近畿大：千川道幸、高エ機構：藤井啓文・田中真伸・山岡広、高知大：中村亨、埼玉大：井上直也、早稲田大：笠原克昌・小澤俊介、千葉大：河合秀幸・吉田滋、東工大：垣本史雄・常定芳基、宇宙線研：佐川宏行・瀧田正人・大西宗博・竹田成宏・林田直明・桜井信之・大岡秀行・下平英行・得能久生・芝田達伸・野中敏幸、広島市大：田中公一、放医研：内堀幸夫、武蔵工大：門多顕司、山梨大：本田建・石井孝明、数物機構：K.Martens, Univ. of Utah: T.Abu-Zayyad, J.W.Belz, R.Cady, C.C.H.Jui, J.N.Matthews, J.D.Smith, P.Sokolsky, R.W.Springer, S.B.Thomas, Rutgers Univ.: D.R.Bergman, B.T.Stokes, G.B.Thomson, Hanyang Univ.: B.G.Cheon, H.B.Kim, Yonsei Univ.: L.S.Cho, Y.J.Kwon, Inst. for Nucl. Research (RAS): D.Gorbunov, O.Kalachev, V.Kuzmin, G.Rubtsov, I.Tkachev, S.Troitsky, P.Tinyakov, Pusan National Univ.: H.Kang, Ewha Womans Univ.: S.W.Nam, I.H.Park, J.Yang, Chungnam Univ.: D.Ryu

研究成果概要

平成 21 年度は、地表検出器 (SD: Surface Detector) アレイと大気蛍光望遠鏡 (FD: Fluorescence Detector) を安定に稼働させ、観測を継続してデータを取得した。SD は平成 20 年 3 月の定常観測開始以来、効率 95% 以上と極めて安定に運用されている。FD による合計観測時間は 2000 時間を超え、平成 20 年 5 月よりスタートした SD アレイと FD によるハイブリッド観測も 700 時間に達した。

(1-1) ハイブリッド観測・エネルギー較正

平成 20 年度末に FD のエネルギー絶対較正用小型電子加速器 (ELS: Electron Light Source) を望遠鏡サイトの 1 つに設置し (図 1)、電源・冷却系の整備を進め、ユタ大学が州政府に設置申請を行った。平成 22 年夏の電子ビーム射出に向けて、今後、放射線遮蔽壁の建設、クライストロンの交換、エージングなどを行う。ハイブリッド・トリガーの開発を進め、動作試験を行うと共に、deadtime などの影響を評価した。平成 22 年度に導入を目指す。(ハイブリッド・トリガーは、FD の空気シャワートリガーで SD アレイの波形収集を行う。)

(1-2) SD 観測

SD 座標較正のための GPS 精密測量器の動作試験を日本国内で行った。また故障した SD、通信塔などの改修を行った。サブアレイの境界付近のイベントを収集し、観測効率をあげるための境界トリガーシステムが完成し、定常運用を始めた。さらにサブアレイの区画分けを変更し SD アレイ全体でのエネルギー閾値を下げた。交換用予備 SD14 台の製作を開始した。

(1-3) FD 観測

FD の 2 つのサイトで、耐用期限を超過した自家発電装置を改修した。今後、観測効率の改善と重油消費の減少が期待される。また現地の運用センターや日本などから発電機のインターネットによる遠隔モニターが可能になった。第 2 ステーションに遠隔操作機構、監視カメラを導入し、第 1 ステーションからの遠隔観測を実現した。これによって日々の観測シフト従事者は前年比の約 7 割に縮減された。予備の高電圧電源を製作した。中央レーザー施設に lidar (レーザーレーダー) 観測機能を追加するために、受光装置の製作を開始した。

(2-1) データ解析全般、ハイブリッド解析

空気シャワーおよび検出器シミュレーション、データ解析ソフトウェアを日米で並行して開発し、お互いに検証しあうことで、ソフトウェアの信頼度が向上した。FD 解析に SD の情報を加えたハイブリッド解析により、 $10^{18.7}$ eV 以上のエネルギー領域における宇宙線のエネルギースペクトルを得て、学会講演等で公表した (図 2)。

(2-2) SD データ解析

平成 20 年 5 月から 11 月までの観測に基づいた極高エネルギー宇宙線到来方向分布、平成 20 年 5 月から平成 21 年 10 月までの観測に基づいた極高エネルギーガンマ線フラックスの上限値などについて、第 31 回宇宙線国際会議、日本物理学会等で公表した。

(2-3) FD データ解析

平成 19 年 11 月から平成 21 年 10 月までに得られたステレオイベントの解析を行った。得られた X_{\max} 分布とシミュレーション計算を比較した結果を図 3 に示す。エネルギーが $10^{18.6}$ から $10^{19.3}$ eV までの一次宇宙線の成分は、ほとんど陽子であるとの結論を得た。結果を学会講演等で公表した(図 3)。

(3) 共同利用 group meeting など

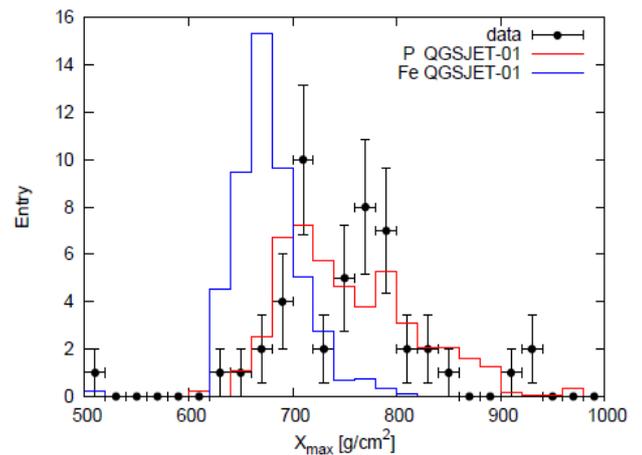
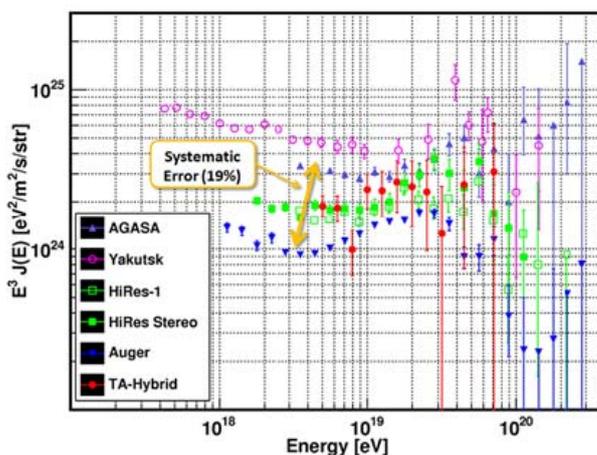
共同利用経費により、TA 日本グループの meeting を隔月で開催した。また、TA 全体 meeting を米国で 2 回、日本で 1 回開催した。



図 1 (左)： 望遠鏡ステーションから 100m 前方の地点に設置された小型電子加速器による較正システム。白いコンテナに、加速器本体（左上挿絵にある）が収納されている。

図 2 (下左)： 超高エネルギー宇宙線のエネルギースペクトル。赤印が TA のハイブリッド解析によるスペクトル。

図 3 (下右)： シャワー最大発達点 X_{\max} の分布。黒丸が観測結果、実線ヒストグラムはシミュレーション計算結果である（赤は陽子、青は鉄）。



整理番号