

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：TALE ハイブリッド実験による 10 の 17 乗 eV 領域宇宙線の研究
 英文：Study of very high energy cosmic rays around 10^{17} eV
 with the TALE hybrid experiment

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・宇宙線研究所) 竹田成宏、藤田慧太郎、大島仁
 (東京大学・理学系研究科) 小山千里
 (大阪公立大学・理学研究科) 常定芳基、古前孝朗、敷田淳

研究成果概要

2023 年度は (1) TALE 実験の観測実施による安定運用・観測継続、(2) データ解析、
 (3) TALE infill 実験の観測開始、を目標に共同研究を申請し、以下の成果を得た。

(1) TALE 実験の安定運用・観測継続

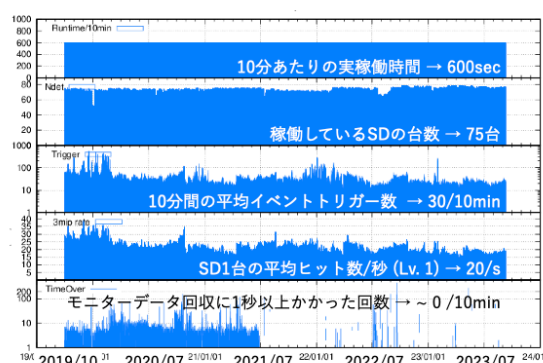


図 2：2019 年 10 月以来の TALE 実験 SD アレイの稼働状況

日本からのリモート監視とユタ大学の現地雇用職員による現地作業を連携させて観測装置の保守を行い、定常観測を継続した。図 1 に示されているように、2019 年以来安定稼働を継続しており、稼働している検出器台数が平均して 75 台を超えていることがわかる (最大稼働可能台数は 78 台)。なお、2021 年 7 月にデータ収集にかかる時間が短縮されているのは、データ収集を制御する中央のコンピューターを更新した事による改善による効果である。

(2) データ解析

ハイブリッド観測によるエネルギースペクトル、原子核組成について、第 38 回宇宙線国際会議で発表した (H. Oshima, et al., PoS(ICRR)271、K. Fujita, et al., PoS(ICRR)401)。それぞれ、図 2、図 3 に示す。これらの結果を査読付論文として公表するための作業を進めている。図 3 は、宇宙線が陽子・窒素・鉄の 3 成分の原子核の混合組成であると仮定して、 X_{max} 観測結果をより詳細に解析し、3 成分の混合比を求めたものである。窒素原子核は $10^{16.75}$ eV で、鉄原子核は $10^{17.25}$ eV でピークを示している。このエネルギー比は $17.8/5.6 = 3.2$ であり、これが鉄と窒素の原子番号 (= 原子核の電荷) の比 $26/7 = 3.7$ に近いことは興味深い。より低いエネルギーにおいて陽子成分で同様のピークが見られるか、そのエネルギーはいくつか、など TALE infill 実験による観測結果が待たれる。

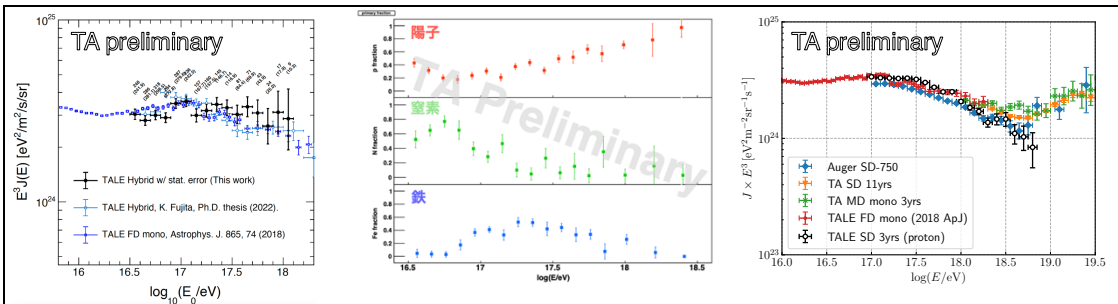


図2: TALE 実験ハイブリッド観測データに基づく宇宙線エネルギースペクトル

図3: TALE 実験ハイブリッド観測データに基づく宇宙線陽子・窒素・鉄の3成分混合比のエネルギー変化。

図4: TALE 実験 SD アレイ観測データに基づく宇宙線エネルギースペクトル

SD アレイ単体での観測に基づく高統計データを用いたエネルギースペクトルを2023年秋の日本物理学会で公表した。2019年10月から2022年9月までの1093日間のTALE 実験 SD アレイによる観測データに基づき、 $10^{17.0}$ eV から $10^{18.8}$ eV までの宇宙線エネルギースペクトルを求めた。結果を図4に示す。

(3) TALE infill 実験の観測開始

2023年9月25日から中央通信棟の設置作業を開始し、その後データ収集エレクトロニクスなどの設置・通信状態の調整を経て、10月20日に全ての作業を完了し、安定運用を開始した。運用開始初期に取られたデータの初期解析の結果から、TALE infill ハイブリッド観測装置としての最頻観測エネルギーは $10^{15.7}$ eV ($10^{16.7}$ eV)、イベントレートは41.8/時 (3.86/時)、TALE SD アレイの最頻観測エネルギーは $10^{16.0}$ eV ($10^{17.0}$ eV)、イベントレートは4,100/日 (112/日) である (カッコ内はTALE 実験の場合の値、イベント数はイベント選別後の値)。エネルギーしきい値はひと桁下がり、順調にイベント統計量を増やしつつある (トリガー頻度はTALEの10倍)。これは当初の期待どおりであり、TALE 実験と同じ統計量に10分の1未満の観測時間で到達することになる。

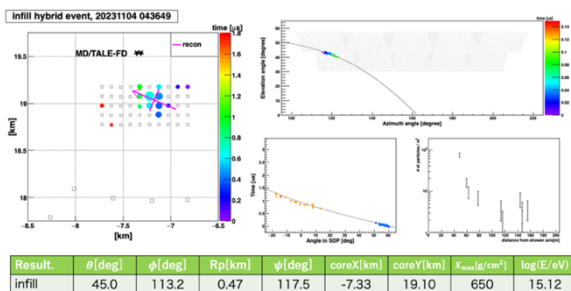


図5: TALE infill 実験によって検出されたハイブリッドイベントの例。下の表はイベント再構成によって求められた一次宇宙線のパラメータで、このエネルギーは最頻エネルギーの4分の1程度ととても小さい。

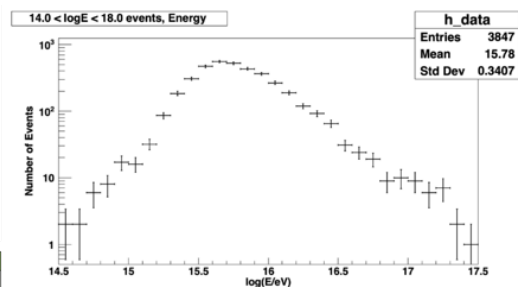


図6: TALE infill ハイブリッド検出器の性能を求めた結果。2023年11月4日から21日の観測によって得られた宇宙線エネルギー分布で、最頻エネルギーは $10^{15.7}$ eV と求まった。