

2019（令和元）年度 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^{17} 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	荻尾 彰一（大阪市立大学・大学院理学研究科・教授）
参加研究者	常定 芳基（大阪市立大学・大学院理学研究科・准教授） KIM, Jihyun（大阪市立大学・大学院理学研究科・博士研究員） MAYTA, Rosa（大阪市立大学・大学院理学研究科・D3） 尾村 勇吾（大阪市立大学・大学院理学研究科・D1） 田上 裕太（大阪市立大学・大学院理学研究科・M2） 中井 慧（大阪市立大学・大学院理学研究科・M2） 藤原 亮太（大阪市立大学・大学院理学研究科・M2） 松宮 弘幸（大阪市立大学・大学院理学研究科・M1） 竹田 成宏（東京大学・宇宙線研究所・助教） 木戸 英治（東京大学・宇宙線研究所・特任助教）
研究成果概要	10^{18}eV 以下の超高エネルギー宇宙線の精密観測から銀河系内起源宇宙線・銀河系外起源宇宙線の源・伝播機構の統一的解釈を目指す TA Low energy Extension (TALE) 実験は、2018 年 11 月から定常ハイブリッド観測を開始した。これによって実験装置の建設とコミッショニングは完了し、研究は安定運用によるデータ蓄積とデータ解析のフェーズに移行した。本年度は、観測実施とデータ解析プログラムの開発を実施した。 （１）観測実施 2019 年 9 月および 2020 年 2 月に大規模なメンテナンス作業を実施した結果、TALE 実験全 80 台中 75 台が連続稼働するようになり、また安定したデータ収集が続いている。全装置とデータ収集の状態が毎日モニターされ、毎週 domestic、international の 2 つの TALE 実験に関する運用会議が開かれ、必要に応じて随時現地在住のユタ大学職員によってメンテナンスされている（図 1 参照）。  図 1：（左）TALE 実験地表検出器の電子回路交換作業の様子、（右）TA × 4 実験 South Cricket データ通信塔(2019 年 9 月)

（２）データ解析プログラムの開発

データ解析プログラム、モンテカルロシミュレーションプログラムなどの開発も行われ、2020 年 3 月までに完成した。これらのプログラム群による評価結果の一例が図 2 で、TALE-SD アレイの mode エネルギー（最頻エネルギー）は 10^{17} eV であることがわかる。TALE ハイブリッド観測のための解析プログラムも完成しており、観測結果と解析の一例が図 3 である。また、TALE ハイブリッド観測の性能を評価した結果が表 1 である。これらの解析プログラム群は、観測エネルギーが TALE に比べ高い TA 実験用のものからの流用も多く、TALE 実験のためへの最適化が今後の課題である。また Xmax の精度は当初の目標（20g/cm²）に達していないが、今後のプログラムの改良で向上させたい。特に、大気蛍光の中に混ざりこんでくる大気チェレンコフ光の影響を積極的に取り入れた空気シャワー画像フィッティング法に大いに期待している。

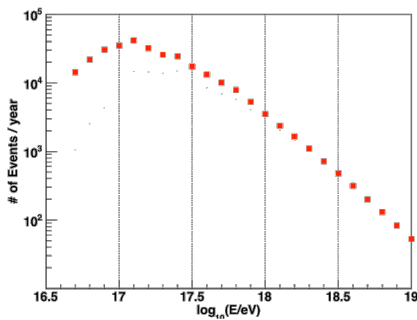


図 2：モンテカルロシミュレーションで評価された TALE-SD アレイの検出効率と期待される年間イベン

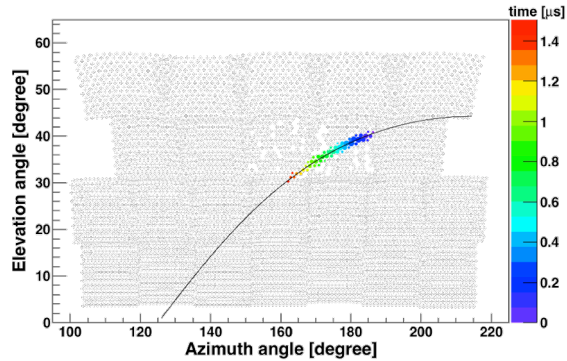
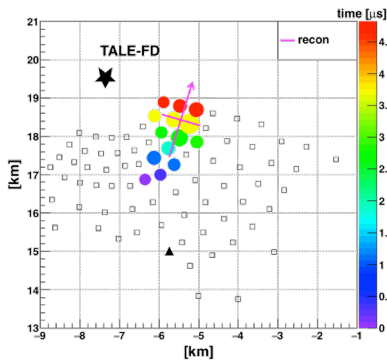


図 3：ハイブリッド事象の観測例（2018 年 11 月 7 日）。入射天頂角 47.2° 、Xmax 661 g/cm²、エネルギー $10^{17.49}$ eV、と求められている。

エネルギー [eV]	粒子種	決定精度（バイアス±標準偏差）		
		到来方向 [deg]	エネルギー [%]	Xmax [g/cm ²]
$10^{17.5}$	陽子	1.3	-6.3 ± 9.3	-5.6 ± 42.6
	鉄	1.4	-11.1 ± 8.4	-8.0 ± 44.2
$10^{18.0}$	陽子	1.1	-13.1 ± 6.8	-17.4 ± 31.9
	鉄	1.2	-17.2 ± 4.9	-22.7 ± 28.5

表 1：TALE ハイブリッド観測による一次宇宙線のパラメーター決定精度。「Xmax」は空気シャワー最大発達深さである。