

令和 3 年度 (2021) 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・准教授同・准教授)、 Rosa MAYTA (同・博士研究員)、藤田慧太郎 (同・大学院生) 荒井優斗 (同・大学院生)、佐藤光希 (同・大学院生)、 福島涼 (同・大学院生)、木村優介 (同・大学院生)、 津田涼輔 (同・大学院生)、尾村勇吾 (同・大学院生)、 有村龍平 (同・大学院生)、岩崎葵 (同・大学院生)、 竹田成宏 (東京大学宇宙線研究所・助教)
研究成果概要	<p>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続けており、安定運用によるデータ蓄積とデータ解析を継続している。TALE ハイブリッド実験は 10^{18} eV 以下に感度を有する世界初・唯一のハイブリッド (地表検出器 (SD) アレイ+大気蛍光望遠鏡 (FD)) 検出器であり期待される高精度・高信頼度から、この実験が今後公開する成果はこのエネルギー領域の宇宙線研究にとって非常に重要である。</p> <p>2021 年度の TALE 実験の計画は、安定運用、観測継続、SD アレイと FD の時間差測定、追加 SD の製作であった。以下、2021 年度の成果を述べる。</p> <p>(1) 観測継続</p> <p>2021 年度中は、TALE 実験は中断なく順調に安定運用を続け、2017 年 11 月のハイブリッド観測開始からの観測時間が 2021 年度末に約 1,800 時間に到達した。</p> <p>(2) SD アレイと FD の時間差測定</p> <p>米国ユタ州での時間差測定は、現地に行くことができず、見送られた。しかし、ハイブリッド観測の実データの解析からフィッティングの最確値として求めることができ、200 ns と求まった。さらにその誤差がデータ解析結果に及ぼす系統誤差も見積もられ、宇宙線の 1 次エネルギーに対しては 1%以下で無視でき、シャワー最大発達深さ X_{max} に対しては 3.5 g/cm^2 であることがわかった。</p>

(3) 追加設置用 SD の明野観測所での製作

TALE ハイブリッド観測のエネルギーしきい値をさらに下げるため、FD の近くに SD50 台を追加する計画が進められている。そのための SD 製作を明野観測所で実施した。

TALE 実験のハイブリッド観測は 2017 年 11 月に開始されたが、これまでに得られたデータの解析から求められた preliminary な結果を、2021 年 7 月の ICRC2021、2022 年 3 月の日本物理学会などで発表した。以下に 2017 年 1 月から 2020 年 2 月までのハイブリッド観測による宇宙線エネルギースペクトル (図 1) と、平均 Xmax のエネルギー変化 (図 2)、平均質量数の自然対数 $\langle \ln A \rangle$ のエネルギー変化 (図 3) を示す。

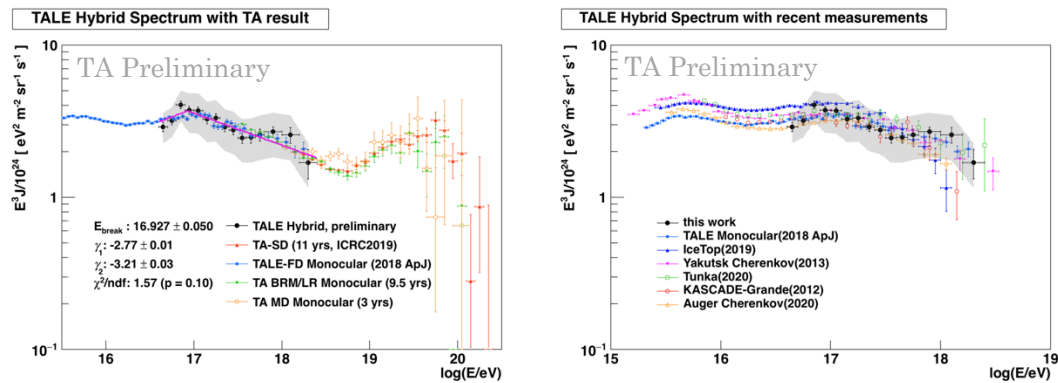


図 1 : TALE 実験ハイブリッド観測で求めた宇宙線エネルギースペクトル。網掛け領域は系統誤差の範囲を表す。TA 実験や他の実験と誤差の範囲で一致している。

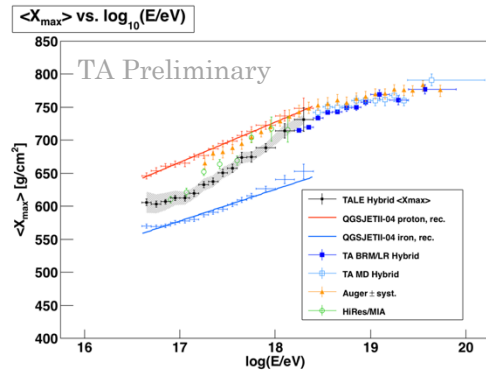


図 2 : $10^{16.5}$ eV から $10^{18.2}$ eV までのエネルギーごとの平均 Xmax。 $10^{18.2}$ eV では 100%陽子と一致し、過去の他の測定とも一致する。エネルギーが低くなるとともに組成が重くなるように平均 Xmax が変化していることがわかる。

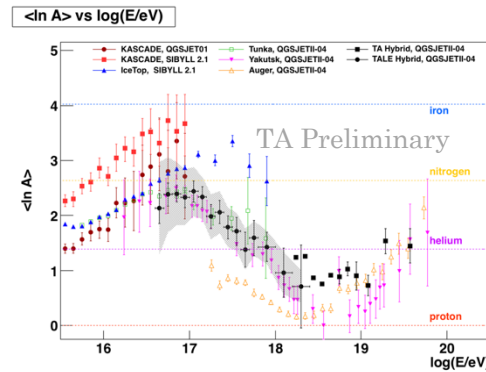


図 3 : $10^{16.5}$ eV から $10^{18.2}$ eV までのエネルギーごとの $\langle \ln A \rangle$ 。 $10^{18.2}$ eV では $A=1$ に近く、エネルギーが低くなると A は大きくなるが、100%鉄にまでは達していないことには注意したい。