様式８

令和６年度（2024）　共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：TA 実験サイトでの新型大気蛍光望遠鏡による極高エネルギー宇宙線観測 英文：Observing ultrahigh-energy cosmic rays with new fluorescence detectors at Telescope Array site
研究代表者 参加研究者	藤井 俊博（大阪公立大学） 櫻井 駿介（大阪公立大学） Fraser Bradfield（大阪公立大学）

研究成果概要

極高エネルギー宇宙線の将来計画に向けた検出器開発を目的として、従来よりも小型の集光部と、わずか 4 本の大口径光電子増倍管から構成される低コスト型の新型大気蛍光望遠鏡を開発した。この新型望遠鏡を、テレスコープアレイ（TA）実験サイトに 3 基設置し、宇宙線の定常観測およびデータ解析を継続して行っている。

2024 年度にはこれら 3 基の新型大気蛍光望遠鏡を遠隔操作し、TA 実験の外部トリガーを受け取って宇宙線観測を実施した。これら 3 基の望遠鏡の視野角は、TA 大気蛍光望遠鏡 12 基の視野角の約 80%に相当し、同時観測による測定データを比較することで、観測結果の検証を可能にしている。

観測運用と並行して、新型大気蛍光望遠鏡による測定データの解析も進めた。具体的には、TA 大気蛍光望遠鏡または TA 地表粒子検出器アレイによって再構成された宇宙線の到来方向を初期値として用い、新型大気蛍光望遠鏡によって検出された極高エネルギー宇宙線から生成される空気シャワーの情報を推定した。

2018 年 3 月から 2023 年 2 月までの 247 時間にわたる測定データを解析した結果、新型大気蛍光望遠鏡と TA 大気蛍光望遠鏡によって同時に検出された宇宙線は、438 事象が確認された。宇宙線のエネルギースペクトルの推定には、新型大気蛍光望遠鏡がどの程度の領域に到来する宇宙線を検出できるかを示す計数「幾何学的因子（アパーチャー）」の評価が重要である。これは面積と立体角の積で表され、検出器シミュレーション

によって算出した。このアパーチャーに観測時間を掛け合わせることで、新型大気蛍光望遠鏡によるエネルギースペクトルを測定した（図 1 左）。その結果、他の実験と比較して系統的に低めのエネルギースペクトルが得られており、現在、その原因究明を進めているところである。

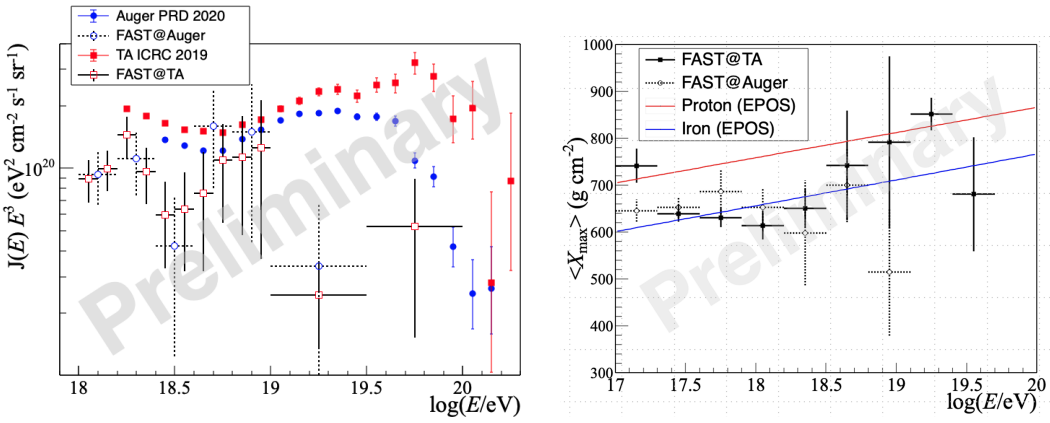

図 1 テレスコープアレイ実験（TA）とピエールオージェ観測所（Auger）に設置された新型大気蛍光望遠鏡（FAST@TA、FAST@Auger）による宇宙線のエネルギースペクトル（左）。TA と Auger で測定されたスペクトルと比較している。右図は、Xmax の平均値を使った質量組成解析結果であり、陽子と鉄のシミュレーションから推定した期待値と実測値を比較している［F. Bradfield, PoS (UHECR2024)052 (2025)］。

宇宙線の粒子種に高い感度を持つ空気シャワー粒子の最大発達深さ（通称 Xmax）について、実測値とシミュレーション結果を比較するために、宇宙線を陽子と鉄原子核の 2 種類と仮定してシミュレーションを行った。図 1 の右は、あるハドロン相互作用モデル（EPOS-LHC）を用いたときの陽子および鉄による Xmax の期待値と、新型大気蛍光望遠鏡によって測定された Xmax の平均値を比較している。観測事象数が不足していることから誤差は大きいが、宇宙線が原子核で構成されていることと矛盾しない結果となっている。

このようなエネルギースペクトルおよび質量組成の解析結果は、新型大気蛍光望遠鏡を用いたものとして初めての成果であり、UHECR 2024 国際シンポジウムにて報告した［F. Bradfield, PoS (UHECR2024)052 (2025)］。

現在のところ、宇宙線の観測事象数はまだ限られているため、今後も継続して観測を行い、さらに詳細なデータ解析を進めていく予定である。

整理番号　F06