

令和 7 年度（2025） 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	藤井 俊博（大阪公立大学）
参加研究者	櫻井 駿介（大阪公立大学） Fraser Bradfield（大阪公立大学） 橘 春花（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として、私たちは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ている。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。 2025 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ている。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、同時観測による解析結果の比較を通じて観測結果を検証できる利点がある。 観測運用と並行して、新型大気蛍光望遠鏡を使った解析ソフトウェアの開発およびデータ解析を進めている。具体的には、TA 大気蛍光望遠鏡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で検出された信号から到来方向・エネルギーといったパラメータを推定する解析ソフトウェアを開発した。この解析ソフトウェアを使い、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た値を使うことで、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）。

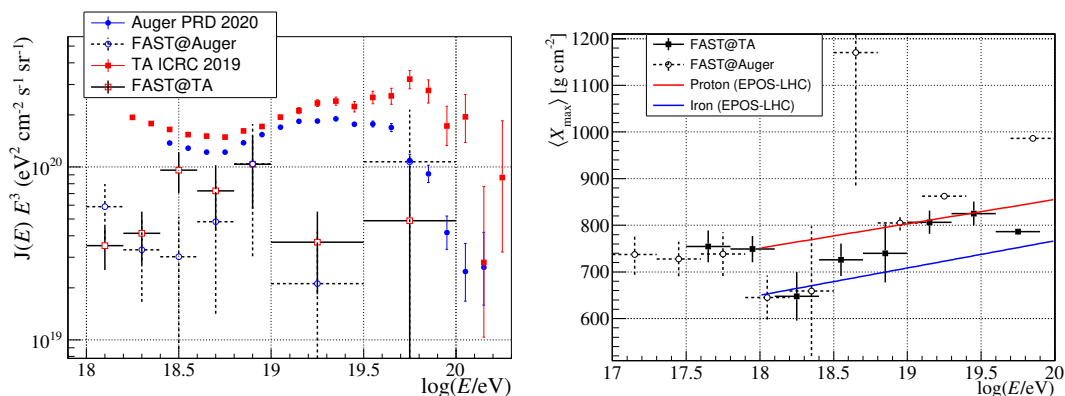


図 1 テレスコープアレイ実験（TA）とピエールオージェ観測所（Auger）に設置された新型大気蛍光望遠鏡（FAST@TA、FAST@Auger）による宇宙線のエネルギースペクトル（左）。TA と Auger で測定されたスペクトルと比較している。右図は、 $X_{\max}$ の平均値を使った質量組成解析結果であり、陽子と鉄のシミュレーションから推定した期待値と実測値を比較している [F. Bradfield, 博士論文, 大阪公立大学 (2025)]。

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 $X_{\max}$ ）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陽子と鉄原子核の 2 種類と仮定したシミュレーションによる期待値を評価した。図 1 の右図は、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 $X_{\max}$ の期待値と、新型大気蛍光望遠鏡によって測定された $X_{\max}$ 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。なお、図 1 のエネルギースペクトルおよび質量組成の解析結果および解析手法の詳細については、F. Bradfield 氏の博士論文として 2025 年 9 月に公表された [F. Bradfield, “Development of the Reconstruction Procedure of the Fluorescence detector Array of Single-pixel Telescopes for measuring Ultra-High Energy Cosmic Rays”, 博士論文, 大阪公立大学 (2025)]。

新型大気蛍光望遠鏡による宇宙線の観測事象数をさらに増やすために、今後も継続して観測を行い、データ解析を進めていく予定である。