

科学研究費助成事業（特別推進研究）公表用資料
〔平成30年度研究進捗評価用〕

平成27年度採択分

平成30年 5月 8日現在

研究課題名（和文） **拡張テレスコープアレイ実験 - 最高エネルギー宇宙線で解明する近傍極限宇宙**

研究課題名（英文） **Extended Telescope Array Experiment - Nearby Extreme Universe Elucidated by Highest-Energy Cosmic Rays**

課題番号：15H05693

研究代表者

佐川 宏行 (SAGAWA HIROYUKI) 東京大学・宇宙線研究所・教授



研究の概要：最高エネルギー宇宙線観測装置テレスコープアレイ（TA）の有効観測面積を4倍に拡張する **TAx4** 計画を遂行する。**TAx4** によって、高い統計精度で北天における最高エネルギー宇宙線の到来方向を測定し、エネルギースペクトルと質量組成をあわせて、最高エネルギー宇宙線を生む**宇宙の極限現象・極限天体**の研究を推進する。

研究分野：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：宇宙線（実験）

1. 研究開始当初の背景

(1) 本研究の研究者らは北半球で最大の宇宙線装置 TA で宇宙線観測を行ってきた。5年間のデータを用いて、 5.7×10^{19} 電子ボルト (eV) 以上の**最高エネルギー宇宙線**の到来方向が特定の領域に集中する**ホットスポット**の兆候を見出した (図1)。

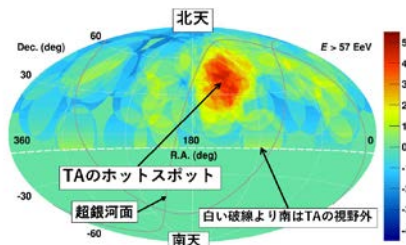


図1 TA ホットスポット (APJL 790:L21 (2014))

(2) TA では最高エネルギー領域の宇宙線強度の急激な減少を上記のエネルギー閾値付近で観測し、GZK カットオフの予言と一致した。

これらは、GZK 地平線 (2 億光年程度) 以内に限られる最高エネルギー宇宙線の起源天体が同定できる可能性を世界で初めて示した。

2. 研究の目的

TA の有効観測面積を4倍に拡張し、宇宙線データの取得ペースを加速して、最高エネルギー宇宙線のエネルギースペクトル、質量組成、到来方向の異方性の詳細な測定を行い、起源天体における発生、加速、および伝播のメカニズムを解明する。これにより、最高エネルギー

宇宙線を生む宇宙の極限現象・極限天体の研究を推進する。特に、TA によって見出したホットスポットの詳細観測が重要課題である。また、超高エネルギーガンマ線、ニュートリノ探索により、GZK メカニズムに対する確認あるいは制限を与えることができる。

3. 研究の方法

超高エネルギー宇宙線が大気中に入射した際に膨大な二次粒子群が発生し、直径約10キロメートルにわたって地表に降り注ぐ (空気シャワー)。現 TA では、米国ユタ州に、面積が3平方メートルのプラスチックシンチレータ検出器 (SD) 507 台を1.2キロメートル間隔で碁盤の目状に配置して約700平方キロメートルの地表をカバーし、降り注ぐ二次粒子を直接観測している。SD アレイの周辺3か所に大気蛍光望遠鏡ステーションを建設し、空気シャワーの縦発達を観測している。

本研究では、2.1キロメートル間隔で500台のSDをTAの北東と南東に追加設置し、現TAを合わせて、観測面積を約4倍の3000平方キロメートルに拡張する予定である (TAx4、図2)。なお、TAx4用の2か所のFDステーションは米国が担当し、すでに建設が始まっている。

最高エネルギー宇宙線は、電荷を持っていても宇宙磁場の影響をあまり受けないことから直進性が高く、その到来方向分布には起源天体の分布が反映されていると予想される。したがって、宇宙線の到来方向と天体の天球上の位置の相関を調べることにより、起源天体を同定できると期待できる。また、ホット

〔3. 研究の方法（続き）〕

スポットのように、宇宙線同士の到来方向の関係を調べることで、その異方性の存在を確認できる。

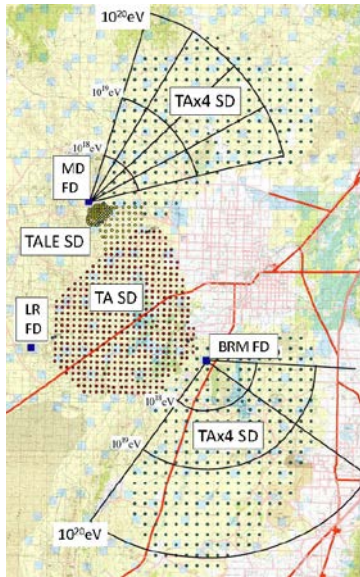


図2 TAx4の配置図。扇形は望遠鏡の視野。

4. これまでの成果

(1) 山梨県にある宇宙線研究所明野観測所においてシンチレータ検出器本体の組立を行い(図3)、米国に輸送した。TAサイト近郊のデルタ市にある宇宙線センターで最終組立を行っている(図4)。また、TAx4サイトのSD設置予定箇所をすべて訪れて、設置場所が適しているかを確認した。米国土地管理局(BLM)がTAx4計画の公聴会を開き、意見を集めた。以上等をもとに、BLMからの最終許可を得る手続きを進めている。平成30年度後半にSDの設置を行う予定である。

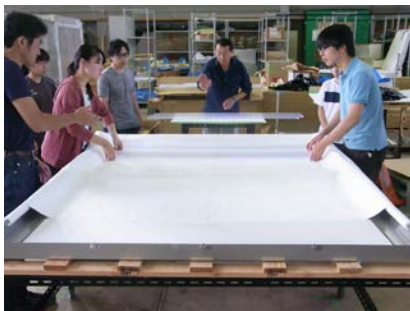


図3 シンチレータ検出器の組み立て

(2) 現TA装置を用いて超高エネルギー宇宙線のデータ収集を継続している。得られたデータを用いて、天球上の領域によってエネルギースペクトルが違うという兆候をとらえたことが、新たな展開である。ひとつは近傍銀河が集まっている超銀河面に近い領域からの宇宙線のカットオフエネルギーが超銀河面か

ら遠い領域からの宇宙線よりも高いという結果である。近傍の銀河からの宇宙線の方がエネルギーの減衰が少なく、カットオフが高くなることが予想される。また、赤道座標でTAの視野内の北側の宇宙線のカットオフエネルギーが南側よりも高いという結果である。これもTAの視野の南側と比較して北側では近傍の銀河が多いことから期待される。



図4 ユタの宇宙線センターで仮置きしたSD群

5. 今後の計画

(1) 平成30年度にSDの追加製作を行い、それまでに製作したSDと合わせてヘリコプターによる設置および調整を行う。その後、宇宙線データ収集システムの安定稼働を目指す。
(2) 収集した最高エネルギー宇宙線のデータを用いて、エネルギースペクトル、質量組成、到来方向の測定を行う。これらの解析により、最高エネルギー宇宙線の起源を探索し、宇宙線の物理的描像を解明する。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

(研究代表者は二重線、研究分担者は一重下線、連携研究者は点線)

(1) R. U. Abbasi, W. Hanlon, D. Ikeda, E. Kido, S. Nagataki, T. Nonaka, S. Ogio, H. Sagawa, M. Takeda, Y. Tsunesada, S. Udo, et al. (Telescope Array Collaboration), "Depth of Ultra High Energy Cosmic Ray Induced Air Shower Maxima Measured by the Telescope Array Black Rock and Long Ridge FAC Fluorescence Detectors and Surface Array in Hybrid Mode", *Astrophysical Journal*, 858 (2018) 76 (27pp)

(2) Hiroyuki Sagawa for the Telescope Array Collaboration, "Telescope Array Extension", *Nuclear and Particle Physics Proceedings* 279-281 (2016) 145-152

(3) H. Sagawa for the Telescope Array Collaboration, "Telescope Array extension: TAx4", *PoS ICRC2015* (2016) 657 (8pp)

ホームページ等

<http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/~hsagawa/TAx4>