

科学研究費助成事業（基盤研究（S））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3月20日現在

広エネルギー領域の精密測定で探る超高エネルギー宇宙線源の進化

Study of the ultra high energy cosmic ray source evolution  
by detailed measurement of cosmic rays in the wide energy range

課題番号：15H05741

荻尾 彰一（OGIO SHOICHI）

大阪市立大学・大学院理学研究科・教授



研究の概要

米国ユタ州にハイブリッド宇宙線検出器を設置して2年間観測し、 $10^{16}$ eV から4桁にわたる広いエネルギー領域で、宇宙線のフラックスとその到来方向異方性、そして化学組成を測定する。これにより、銀河系内起源の重い宇宙線（鉄核など）、銀河系外起源の軽い宇宙線（陽子）、それぞれのエネルギースペクトルを明らかにし、宇宙線源と宇宙線伝播の物理に迫る。

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

超高エネルギー宇宙線の観測を2008年から継続しているテレスコープアレイ実験（TA実験）は $10^{16}$ eVから4桁にわたるエネルギースペクトルを描き出し、そこに多様な構造があることを示した。特に、 $10^{16}$ eV～ $10^{18}$ eVのエネルギー領域のスペクトルに現れる構造は、系内起源での粒子加速の限界、銀河磁場による閉じ込め・遮断、そして系外起源の宇宙論的進化といった豊富な物理を反映している。

2. 研究の目的

TA実験と合わせて、TALEハイブリッド検出器を完成し、 $10^{16}$ eV以上のエネルギー領域で、宇宙線の化学組成を高精度で測定する。これにより、銀河系内起源の重い宇宙線（鉄核）と、銀河系外起源の軽い宇宙線（陽子）の寄与を分離して、それぞれのエネルギースペクトルを明らかにし、宇宙線源と宇宙線伝播の物理に迫る。

3. 研究の方法

米国ユタ州に展開されているテレスコープアレイ実験に隣接して、大気蛍光望遠鏡（TALE-FD）10台と地表粒子検出器（SD）103台からなるTALEハイブリッド検出器を建設する。これによってシャワー最大発達深さ（ $X_{max}$ ）の測定精度を $20\text{g}/\text{cm}^2$ へと劇的に向上し、2年間の観測から $10^{16}$ eV以上の系外成分・系内成分それぞれのスペクトルを明らかにする。

4. これまでの成果

$3\text{m}^2 \times 1.2\text{cm}$ プラスチックシンチレーター、波長変換光ファイバー、光電子増倍管からなるシンチレーション検出器を2層重ねた粒子検出器、電源（太陽電池+蓄電池）からなるSD（図1）45台製作し、またデータ収集エレクトロニクス（図2）100台を製作し、既設の35台と合わせて合計80台、さらに暫定的にTA×4実験SDを23台仮設置して加え、TALE実験SDアレイが完成した（図3、4）。

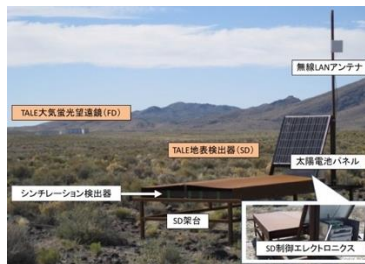


図1：TALE実験地表検出器（SD）の外観。

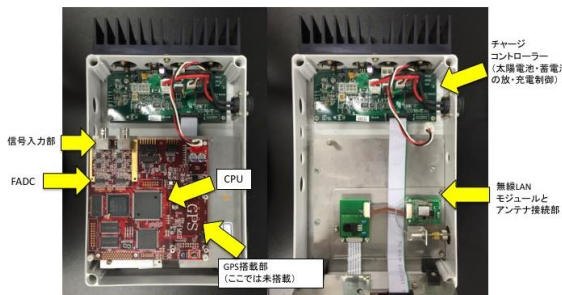


図2：製作したエレクトロニクスの構成、部品配置

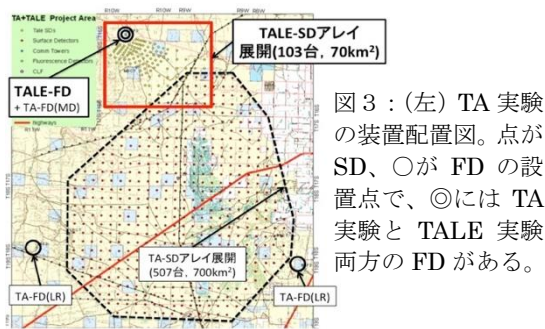


図3：(左) TA 実験の装置配置図。点が SD、○が FD の設置点で、◎には TA 実験と TALE 実験両方の FD がある。

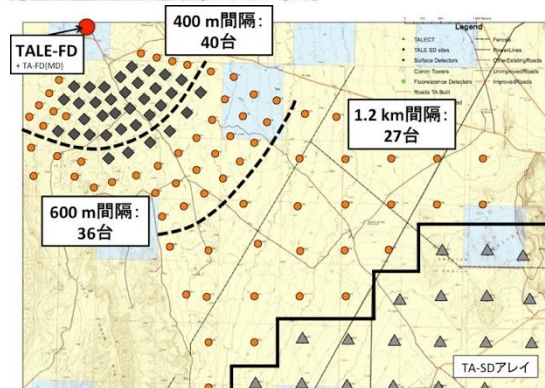


図4：図2太線部分の拡大図である。大きな●が TALE-FD の設置点で、SD の設置点は◇と小さな●である。点線は設置間隔の異なる領域の境界を表す。▲は TA-SD の設置点で、実線は TA と TALE の境界である。

2015 年度からエレキとデータ収集 (DAQ) システムの開発と試験を続け、2016 年 10 月に 18km の長距離通信試験にも成功、2017 年 6 月に通信プロトコルの UDP への変更することで通信速度を向上させ、2018 年 2 月には 87 台でアレイを構成し、定常運転状態に入った。

図5のようなハイブリッドイベントが観測されており、FD 単眼、および複数の FD による同時観測 (ステレオ観測) に対する解析プログラムがほぼ完成している。

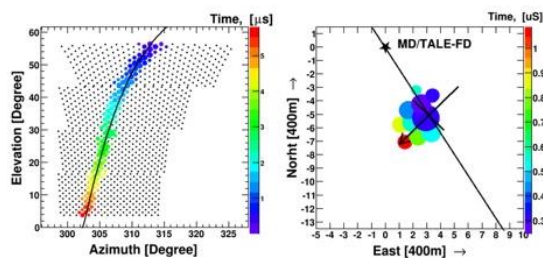


図5：TALE-FD、TA の MD ステーション、TALE-SD アレイで観測されたハイブリッド事象の例 (実イベント)

## 5. 今後の計画

定常観測を 2 年間継続する。また、大阪市立大学のテストアレイで 2018 年 2 月に完成しているハイブリッドトリガーを同年 7 月に TALE 実験に実装する。データ解析に本格的に着手する。Xmax 解析に精通する専門家を研究分担者に迎え、また銀河間空間での宇宙線の伝播の専門家を博士研究員として雇用することで、建設からデータ解析・結果の解釈への研究の重点を移す。さらに、TA 実験および、チェレンコフ光検出によって TALE 実験よりさらに低エネルギー側への観測感度を拡張する NICHE 実験と連携を進める。2018 年度半ばの TALE 実験のハイブリッド観測開始から 2019 年度終了までに、7,500 個のハイブリッド事象 (モードエネルギー  $10^{17.3}$  eV)、75,000 個の SD 事象 (モードエネルギー  $10^{16.5}$  eV) が期待される。

## 6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

1. Y. Takahashi, R. Sahara, S. Konishi, T. Goto and S. Ogio for the Telescope Array collaboration, "Development of the News DAQ System for the SD Array of TA×4 and TALE", Proc. of UHECR2016, JPS Conf. Proc. 19, 011038 (2018)
2. S. Ogio for the Telescope Array collaboration, "Telescope Array Low energy Extension: TALE", Proc. of UHECR2016, JPS Conf. Proc. 19, 011026 (2018)
3. R.U. Abbasi, T. Nonaka, S. Ogio, H. Sagawa, M. Takeda, Y. Tsunesada, S. Udo et al., "The energy spectrum of cosmic rays above  $10^{17.2}$  eV measured by the fluorescence detectors of the Telescope Array experiment in seven years", Astropart. Phys., 80, 131-140 (2016)
4. R.U. Abbasi, T. Nonaka, S. Ogio, H. Sagawa, M. Takeda, Y. Tsunesada, S. Udo et al., "Study of Ultra-High Energy Cosmic Ray composition using Telescope Array's Middle Drum detector and surface array in hybrid mode", Astropart. Phys., 64, 49-62 (2015)

ホームページ等

1. <http://taws100.icrr.u-tokyo.ac.jp/>
2. <http://www.telescopearray.org/>