

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2019～2023

課題番号：19H05607

研究課題名(和文) 広エネルギー領域の精密測定による超高エネルギー宇宙線の源と伝播の統一的解釈

研究課題名(英文) Study of origins and propagation of very high energy cosmic rays with detailed measurements in the wide energy range

研究代表者

荻尾 彰一 (Ogio, Shoichi)

東京大学・宇宙線研究所・教授

研究者番号：20242258

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 155,700,000円

研究成果の概要(和文)：日米韓など9つの国と地域からの約150名の研究者が参加する国際共同実験「テレスコープアレイ実験(TA実験)」は米国ユタ州で北半球最大の宇宙線観測装置を2008年から運用している。本研究によりTA実験の宇宙線検出エネルギーを10の15乗電子ボルト(eV)領域まで下げることに成功し、安定的な観測を継続している。また、銀河系内起源宇宙線と銀河系外起源宇宙線がせめぎ合う10の17乗eVから10の19乗eVの領域における宇宙線エネルギースペクトルと化学組成(水素、窒素、鉄という代表的な原子核種の3成分組成比とそのエネルギー変化)を観測的に求めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって集められた観測データは今後速やかに解析されて、10の15乗 eV以上の銀河系内成分スペクトル、系内成分の化学組成とそのエネルギー依存性、銀河系外成分スペクトル、化学組成などが明らかになる。これらの観測的成果は(1)銀河系外宇宙線源天体とその進化の解明、(2)銀河間磁場の強さと構造に対する示唆、(3)宇宙線の遮蔽・閉じ込めの解明から、宇宙線・銀河磁場・銀河ハローを含めた多体系としての銀河系の物理、(4)銀河系内宇宙線源天体の解明、(5)粒子加速理論の構築、に寄与する。

研究成果の概要(英文)：The Telescope Array Experiment (TA), an international joint experiment involving about 150 researchers from nine countries and regions including Japan, the United States, and South Korea, has been operating the largest cosmic ray observatory in the Northern Hemisphere in Utah, USA, since 2008. Through this research, the TA experiment has succeeded in lowering the cosmic ray detection energy to the 10¹⁵ to the 10¹⁹ power electron volt (eV) region, and is continuing stable observations. In addition, the cosmic-ray energy spectrum and chemical composition (three-component composition ratios of representative nuclear species, hydrogen, nitrogen, and iron, and their energy variations) in the region from 10¹⁷ to 10¹⁹ power eV, where galactic- and extragalactic cosmic rays are coexisting, were obtained observationally.

研究分野：宇宙線物理学

キーワード：銀河系内宇宙線 銀河系外宇宙線 原子核組成

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

宇宙空間を飛び交う高エネルギー(素)粒子である宇宙線の源とその伝播機構は、発見以来 100 年以上が経った今も明らかになっていない。特に飛翔体搭載検出器による直接観測が困難な 10^{15} eV 以上の「超高エネルギー宇宙線」については、有力な源モデルすら無く、議論が続いている。

(1) TALE ハイブリッド検出器の完成

日米韓露ベルギーおよびチェコの 6 カ国 34 の研究機関の研究者で構成されるテレスコープアレイ実験グループは、最高エネルギー領域 ($E > 10^{18}$ eV) 宇宙線の起源の解明を目指して、米国ユタ州に 680 km² の地表検出器 (Surface Detector, SD) アレイと 38 台の大気蛍光望遠鏡 (Fluorescence Detector, FD) からなる Telescope Array (TA) 実験ハイブリッド検出器 (北半球最大) を 2008 年に完成し、運用を継続している。さらにこれに加えて、10 台の高仰角望遠鏡と 80 台の SD を高密度に配置した TA Low energy Extension (TALE) 実験ハイブリッド検出器を 2018 年に完成し、運用を開始した。これによって、 10^{16} eV から 10^{20} eV 超という、世界で最も広いエネルギー範囲をカバーするハイブリッド宇宙線観測装置が完成した。

(2) 明らかになった宇宙線エネルギースペクトルの微細構造

TALE 実験 FD は、データ解析手法の改良によって、当初予定のエネルギーしきい値 10^{16} eV をさらに 1 桁近く $10^{15.3}$ eV まで下げることに成功し、TALE 実験 FD 単眼解析 (ハイブリッドではない) と TA 実験の結果と合わせて、5 桁にも及ぶ広いエネルギー範囲を単一のエネルギースケールで測定した宇宙線フラックス (エネルギースペクトル) を発表した。フラックスにエネルギーの 3 乗 (E^3) を掛けて微細構造を目立たせたスペクトルには、いくつもの折れ曲り・凹みが存在する。エネルギーと一般的な名称を表 1 に掲げる。

表 1: 宇宙線のエネルギースペクトルにおける折れ曲がり構造のエネルギーと名称

エネルギー	形状から名付けられた一般的な名称
$10^{15.5}$ eV	knee
10^{17} eV	2 nd knee
$10^{18.7}$ eV	ankle
$10^{19.7}$ eV	cut-off

高エネルギー側に感度のある TA 実験ハイブリッド観測から、 $10^{18.2}$ eV 以上の宇宙線化学組成は純粋に陽子のみであるとして矛盾がないことが明らかになった。これらの結果を総合すると、 $10^{18.7}$ eV における ankle と $10^{19.7}$ eV 以上での急激なフラックスの減少 (cut-off) は、銀河系外陽子宇宙線が宇宙背景放射と反応してエネルギーを失った結果であると説明できる。

(3) knee から ankle までを彩る豊富な宇宙物理

一方、ankle 以下は銀河系内起源宇宙線と系外起源宇宙線のせめぎ合う領域であり、さらに knee 付近では系内起源宇宙線が卓越していると考えられている。系内起源宇宙線成分のスペクトルには系内起源宇宙線源天体の特徴・加速限界と銀河磁場による閉じ込め、系外起源宇宙線成分のスペクトルには宇宙線源の空間分布とその宇宙論的進化、銀河間空間でのエネルギー損失の積算記録、銀河磁場による遮蔽、といった豊富な宇宙物理学的情報が織り込まれている。

2. 研究の目的

これらの複雑に織り込まれた情報を解きほぐすためには、高精度で均質なエネルギースペクトル測定と化学組成測定を、同時にかつ広いエネルギー範囲で実施することが不可欠である。我々は本申請研究によって、TALE 実験ハイブリッド検出器による観測を 5 年間継続するとともに、さらに低エネルギー空気シャワーに対する検出効率を上げるために TALE 実験 FD のより近くに 50 台の SD をより高密度に (= 100 m 間隔) で追加設置し (申請時は 57 台、200 m 間隔を予定していた) ハイブリッド感度を 10^{15} eV まで下げる。これによって、全対象エネルギー範囲において、化学組成の指標である「シャワー最大発達深さ (X_{max})」の測定精度 20 g/cm² を達成し、 10^{15} eV 以上での系内成分スペクトル、系内成分の化学組成とそのエネルギー依存性、系外成分スペクトルを明らかにする。宇宙物理学的な意義としては、(1) 銀河系外宇宙線源天体とその進化の解明、(2) 銀河間磁場の強さと構造に対する示唆、(3) 宇宙線の遮蔽・閉じ込めの解明から、宇宙線・銀河磁場・銀河ハローを含めた多体系としての銀河系の物理、(4) 銀河系内宇宙線源天体の解明、(5) 粒子加速理論への寄与、などを挙げることができる。現在活発な理論的研究がなされているこれらの課題に対して、本研究は決定的な実験結果を提示する。

3. 研究の方法

有効面積 3 m² のプラスチックシンチレーター SD を新規に製作し、TALE 実験サイトの中の TALE 実験 FD から 0.5 km から 1.5 km の範囲に 100m 間隔で設置する (申請時は 200 m 間隔を予定していた) 。これによって、米国ユタ大学が設置した 10 台の FD と既設の 80 台の SD と

合わせて面積 32 km² をカバーし、TALE 実験ハイブリッド検出器のエネルギーしきい値をさらに1桁下げて、10¹⁵ eV を達成する。電子線形加速器で絶対エネルギー較正されている TA 実験 FD に対して、中央レーザーなどを利用してエネルギーなどを相互較正する。その他の観測量も TA 実験との空気シャワー同時検出事象を利用して較正する。また、本申請研究の5年間の観測によって、TA 実験と合わせて、10^{15.3} eV 以上5桁に及ぶ広いエネルギー範囲の宇宙線のエネルギースペクトル、化学組成、到来方向異方性を求める。

4. 研究成果

本研究の目的は、(1) TALE 実験ハイブリッド観測の継続、(2) 新規 SD (Surface Detector、地表粒子検出器) 設置 (TALE infill) によるしきい値エネルギー低下・観測開始、の2つであった。2023 年度末までの観測から以下の最頻エネルギー E_{mode}、観測統計量を達成した。

表 2 : 2023 年度末における最頻エネルギーと観測イベント数。() 内は当初予定の数字

TALE		
イベント検出	最頻エネルギー E _{mode}	イベント数
FD+SD ハイブリッド	10 ^{16.7} eV (10 ^{17.3} eV)	21,500 (25,000)
SD アレイ	10 ^{17.0} eV (10 ^{16.5} eV)	451,700 (250,000)
TALE infill (稼働時間 5 か月)		
イベント検出	最頻エネルギー E _{mode}	イベント数
FD+SD ハイブリッド	10 ^{15.7} eV (10 ^{16.3} eV)	16,200 (70,000 / 2 年)
SD アレイ	10 ^{16.0} eV (10 ^{15.5} eV)	1,560,000 (700,000 / 2 年)

イベント数は当初予定よりも少ないが、COVID-19 の影響でハイブリッド観測が約 1 年間中断されていたこと、同様の原因により TALE infill の実質的な稼働時間が 5 か月であることを考慮すると、運用されている期間にはこれらの装置は極めて順調に稼働し、期待どおりの性能を発揮していたことがわかる。また本研究において最も重要なハイブリッド観測のしきい値エネルギーを当初予定よりも下げることができていることが E_{mode} の実測値からもわかる。

これらの観測データに基づく本研究課題の主な成果を以下に述べる。

(1) 2nd knee 領域エネルギースペクトル

2018 年 11 月から 2020 年 2 月まで、COVID-19 による運用停止をはさんで観測再開後の 2021 年 4 月から 2022 年 8 月まで、合計 909.51 時間の TALE 実験ハイブリッド観測データに基づき、10^{16.5} eV から 10^{18.0} eV までの宇宙線エネルギースペクトルを求めた (H. Oshima, et al., PoS(ICRR)271)。結果を図 1 に示す。

(2) 2nd knee 領域原子核組成

2018 年 11 月から 2023 年 3 月までの TALE 実験ハイブリッド観測データに基づき、10^{16.5} eV から 10^{18.5} eV までの平均 X_{max} を求めた (K. Fujita, et al., PoS(ICRR)401)。結果を図 2 に示す。黒で描かれているのが観測結果で、色付きの実線で引かれているのは水素原子核(陽子)、窒素原子核、鉄原子核の場合の予想値である。この結果は、平均的な組成はエネルギーとともに 10¹⁷ eV 付近までは重くなり、その後軽くなることを示している。最も重くなるエネルギー 10¹⁷ eV がエネルギースペクトルに見られる 2nd knee (折れ曲がり、図 1 参照) に一致していることも興味深い。

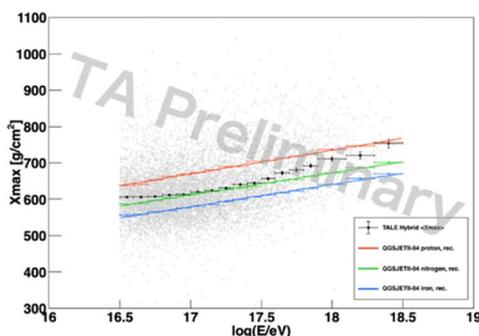


図 2 : 2018 年 11 月から 2023 年 3 月までの TALE 実験ハイブリッド観測データに基づく平均 X_{max}。10¹⁷ eV 付近で平均組成は最も「重い」ということを示している。

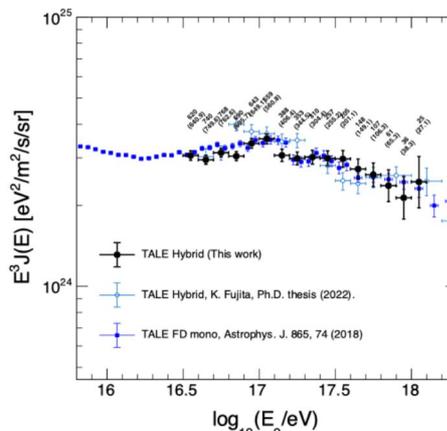


図 1 : TALE 実験ハイブリッド観測データに基づく宇宙線エネルギースペクトル。H. Oshima, et al., PoS(ICRR)271 で示されたものよりアップデートされている。

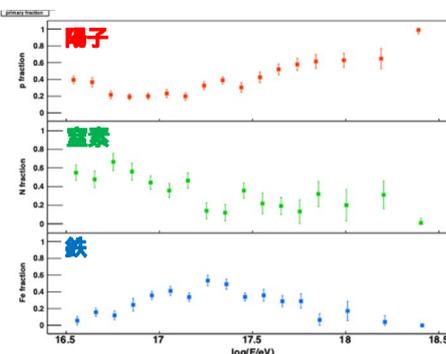


図 3 : 2018 年 11 月から 2023 年 3 月までの TALE 実験ハイブリッド観測データに基づく宇宙線陽子・窒素・鉄の 3 成分混合比のエネルギー変化。

宇宙線が陽子・窒素・鉄の3成分の原子核の混合組成であると仮定して、Xmax 観測結果をより詳細に解析し、3成分の混合比を求めたものが図3である。窒素は $10^{16.75}$ eV で存在比が最大となり、鉄は $10^{17.25}$ eV で最大となっている。このエネルギー比は $17.8/5.6 = 3.2$ であり、これが鉄と窒素の原子番号 (= 原子核の電荷) の比 $26/7 = 3.7$ に近いことは興味深い。より低いエネルギーにおいて陽子成分で同様のピークが見られるか、そのエネルギーはいくつか、など TALE infill 実験による観測結果が待たれる。

(3) TALE infill ハイブリッドの性能と初期観測の結果

TALE 実験ハイブリッド観測装置にさらに 50 台の SD を追加設置し、ハイブリッド観測のエネルギーしきい値をひと桁下げたものが「TALE infill 実験」である。TALE infill SD の設置点を図4に、設置作業と作業後のサイトの様子を図5に、実イベント例を図6に示す。

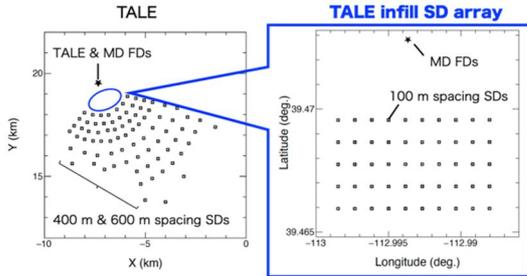


図4: TALE infill SD アレイの設置点。全体で 50 台の SD が 100 m の間隔で設置されており、面積は 0.36 km^2 である。



図5: TA 実験の Middle Drum (MD) サイトには TA 実験用 FD、TALE 実験用 FD が設置されている。2022 年 10 月にこの近くに TALE infill SD が設置された。MD サイトの遠景と設置作業の様子を示した。

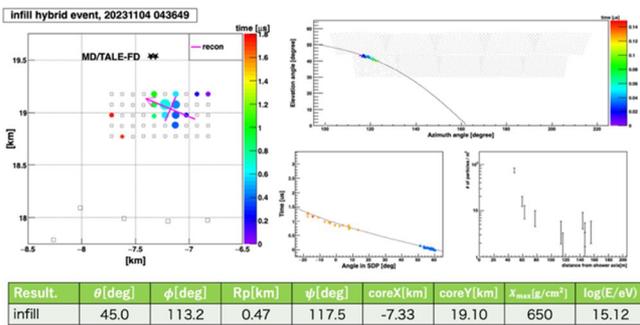


図6: TALE infill 実験によって検出されたハイブリッドイベントの例。下の表はイベント再構成によって求められた一次宇宙線のパラメータで、このエネルギーは最頻エネルギーの4分の1程度ととても小さい。

TALE infill ハイブリッド観測の検出器としての精度をモンテカルロシミュレーションによって評価した(図7)。 $10^{15.5}$ eV の宇宙線に対して、Xmax の決定精度は 29 g/cm^2 、エネルギーEの決定精度は 12.5% である。これは TALE ハイブリッドの値 (Xmax : 33 g/cm^2 、E : 12.3% for $E > 10^{16.5}$ eV) に比べてエネルギーがひと桁低いにもかかわらず、ほぼ同じ精度が達成できている。また実際の観測から最頻エネルギーは $10^{15.7}$ eV、イベントレートは 42 個/時と求まった。

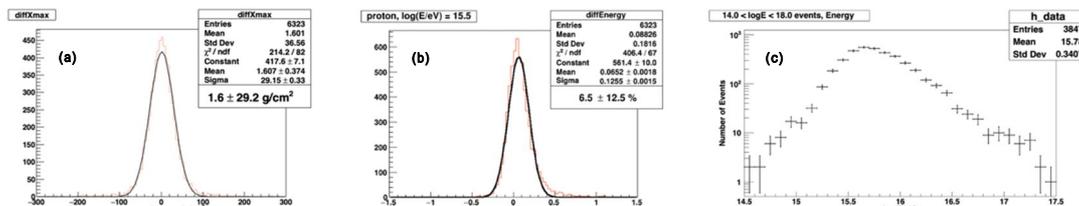


図7: TALE infill ハイブリッド検出器の性能を求めた結果。(a)は Xmax 分解能、(b)はエネルギー分解能でモンテカルロシミュレーションによって評価した。(c)は 2023 年 11 月 4 日から 21 日の観測によって得られた宇宙線エネルギー分布で、最頻エネルギーは $10^{15.7}$ eV と求まった。

(4) TALE infill SD アレイ単体での性能と初期観測の結果

SD アレイ単体としても運用されており、昼夜天候に関係なく稼働されていることから、その観測統計量は圧倒的に多い。2023 年 10 月 24 日の稼働開始から 2024 年 2 月 27 日までの 127 日の観測で 105 万イベントが検出されている。これらのイベントを用いて TALE infill SD アレイの到来方向決定精度は 1.4° 、最頻エネルギーは $10^{16.0}$ eV と求まった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 11件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Telescope Array Collaboration	4. 巻 382
2. 論文標題 An extremely energetic cosmic ray observed by a surface detector array	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 903 ~ 907
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.abo5095	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Oshima Hitoshi for the Telescope Array collaboration	4. 巻 444
2. 論文標題 Measurement of cosmic-ray energy spectrum with the TALE detector in hybrid mode	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 PoS(ICRC2023)	6. 最初と最後の頁 271
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.444.0271	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Fujita Keitaro for the Telescope Array collaboration	4. 巻 444
2. 論文標題 Cosmic ray mass composition measurement with the TALE hybrid detector	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 PoS(ICRC2023)	6. 最初と最後の頁 401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.444.0401	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Komae Ichiro for the Telescope Array collaboration	4. 巻 444
2. 論文標題 Measurement of the cosmic ray energy spectrum in the 2nd knee region with the TALE-SD array	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 PoS(ICRC2023)	6. 最初と最後の頁 405
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.444.0405	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Iwasaki Aoi, et al.	4. 巻 283
2. 論文標題 Performance of the TALE infill experiment as a TA-TALE extension down to the PeV region	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 06015 ~ 06015
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/epjconf/202328306015	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Fujita Keitaro, et al.	4. 巻 283
2. 論文標題 Cosmic ray mass composition measurement with the TALE hybrid detector	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 02009 ~ 02009
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/epjconf/202328302009	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Arimura Ryuhei, et al.	4. 巻 283
2. 論文標題 A machine learning approach for mass composition analysis with TALE-SD data	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 02011 ~ 02011
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/epjconf/202328302011	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Oshima Hitoshi, et al.	4. 巻 283
2. 論文標題 Measurement of Cosmic-ray Energy Spectrum with the TALE Detector in Hybrid Mode	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 02006 ~ 02006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/epjconf/202328302006	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Abbasi R. U., et al.	4. 巻 909
2. 論文標題 The Cosmic-Ray Composition between 2 PeV and 2 EeV Observed with the TALE Detector in Monocular Mode	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 178 ~ 178
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abdd30	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 R. U. Abbasi, et al.	4. 巻 898
2. 論文標題 Search for Large-scale Anisotropy on Arrival Directions of Ultra-high-energy Cosmic Rays Observed with the Telescope Array Experiment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L28 ~ L28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/aba0bc	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Abbasi R. U., et al.	4. 巻 899
2. 論文標題 Evidence for a Supergalactic Structure of Magnetic Deflection Multiplets of Ultra-high-energy Cosmic Rays	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 86 ~ 86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aba26c	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計36件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 19件)

1. 発表者名 藤田慧太郎
2. 発表標題 TALE実験ハイブリッド観測による2nd knee領域宇宙線のエネルギースペクトルと原子核組成
3. 学会等名 CALETによる銀河宇宙線・ガンマ線観測の現状と展望 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Keitaro Fujita
2. 発表標題 Recent results from TALE and Telescope Array
3. 学会等名 Theory meeting Experiment 2023 (TMEX2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hitoshi Oshima
2. 発表標題 Measurement of cosmic-ray energy spectrum with the TALE detector in hybrid mode
3. 学会等名 The 38th International Cosmic Ray Conference (ICRC2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Keitaro Fujita
2. 発表標題 Cosmic ray mass composition measurement with the TALE hybrid detector
3. 学会等名 The 38th International Cosmic Ray Conference (ICRC2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ichiro Komae
2. 発表標題 Measurement of the cosmic ray energy spectrum in the 2nd knee region with the TALE-SD array
3. 学会等名 The 38th International Cosmic Ray Conference (ICRC2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤田慧太郎
2. 発表標題 最高エネルギー宇宙線観測でみる宇宙
3. 学会等名 日本物理学会 第78回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 難波宏樹
2. 発表標題 TA実験403: TA実験及びTALE実験における到来方向の大角度異方性
3. 学会等名 日本物理学会 第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Keitaro Fujita
2. 発表標題 Cosmic ray energy spectrum measurements by Pierre Auger Observatory and Telescope Array
3. 学会等名 The 27th European Cosmic Ray Symposium (ECRS 2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroyuki Sagawa
2. 発表標題 Highlights from the Telescope Array Experiment
3. 学会等名 31st Texas Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 IWASAKI, Aoi
2. 発表標題 Performance of the TALE infill experiment as a TA-TALE extension down to the PeV region
3. 学会等名 UHECR2022 (L'Aquila, Italy) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 FUJITA, Keitaro
2. 発表標題 Cosmic ray mass composition measurement with the TALE hybrid detector
3. 学会等名 UHECR2022 (L'Aquila, Italy) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 ARIMURA, Ryuhei
2. 発表標題 A machine learning approach for mass composition analysis with TALE-SD data
3. 学会等名 UHECR2022 (L'Aquila, Italy) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 OSHIMA, Hitoshi
2. 発表標題 Measurement of cosmic-ray energy spectrum with the TALE detector in hybrid mode
3. 学会等名 UHECR2022 (L'Aquila, Italy) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 古前 啓朗
2. 発表標題 TA実験387: TALE実験全体報告 8
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 古前 啓朗
2. 発表標題 TA実験395: TALE実験全体報告 9
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大島 仁
2. 発表標題 TA実験396: TALE実験ハイブリッド観測による エネルギースペクトル測定
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤田 慧太郎
2. 発表標題 TA実験367: TALE実験ハイブリッド観測によるエネルギースペクトル及び質量組成測定
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村優介
2. 発表標題 TA実験368: TALE-SD及びTA-SDで測定された宇宙線の到来方向の異方性解析
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩崎葵
2. 発表標題 TA実験369: TALE実験のinfill SDアレイによる拡張と観測精度などのシミュレーションによる評価
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 FUJITA, Keitaro
2. 発表標題 Cosmic Ray Composition in the Second Knee Region as Measured by the TALE Hybrid Detector
3. 学会等名 ICRC2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 SATO, Koki
2. 発表標題 Cosmic ray energy spectrum in the 2nd knee region measured by the TALE-SD array
3. 学会等名 ICRC2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 OGIO, Shoichi
2. 発表標題 The status of the TALE surface detector array and a TALE infill project
3. 学会等名 ICRC2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 荻尾彰一
2. 発表標題 TA実験355: TALE実験全体報告6
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤田慧太郎
2. 発表標題 TA実験356: TALE実験ハイブリッド観測によるデータの解析
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤光希
2. 発表標題 TA実験357: TALE-SDアレイで測定された2nd knee領域宇宙線のエネルギースペクトル
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤光希
2. 発表標題 TA実験343: TALE-SDによるエネルギー決定精度の評価
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤田慧太郎
2. 発表標題 TA実験348: TALE実験大気蛍光望遠鏡を用いた単眼観測によるデータの解析
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shoichi Ogio
2. 発表標題 Highlights from the Telescope Array experiment
3. 学会等名 20th Anniversary of the Foundation of the Pierre Auger Observatory (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shoichi Ogio
2. 発表標題 Highlights from the Telescope Array experiment
3. 学会等名 The 36th International Cosmic Ray Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keitaro Fujita
2. 発表標題 MC study for TALE Hybrid detector
3. 学会等名 Topics on Astrophysics and Underground Physics 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shoichi Ogio
2. 発表標題 Telescope Array Low energy Extension(TALE) Hybrid
3. 学会等名 The 36th International Cosmic Ray Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jihyun Kim
2. 発表標題 Propagation of Ultra-high-energy Cosmic Rays in the Magnetized Cosmic Web
3. 学会等名 The 36th International Cosmic Ray Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rosa Mayta
2. 発表標題 Analysis of Air Shower Structure Measured with The Telescope Array Surface Detector
3. 学会等名 The 36th International Cosmic Ray Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田上裕太
2. 発表標題 TA実験333:TALE実験全体報告 5
3. 学会等名 日本物理学会第 75 回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Jihyun Kim
2. 発表標題 TA 実験 338:Correlation analysis between TA UHECRs and filaments of galaxies connected to the Virgo cluster
3. 学会等名 日本物理学会第 75 回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤田慧太郎
2. 発表標題 TA実験330:TALE実験ハイブ リッド検出器の性能評価
3. 学会等名 日本物理学会 2019 年秋季大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p> テレスコープアレイ実験 http://www-ta.icrr.u-tokyo.ac.jp/ta_public/index.html Telescope Array project http://www.telescopearray.org/ TALE実験 http://www-ta.icrr.u-tokyo.ac.jp/ta_public/tale.html </p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	竹田 成宏 (Takeda Masahiro) (40360581)	東京大学・宇宙線研究所・助教 (12601)	
研究分担者	常定 芳基 (Tsunesada Yoshiki) (50401526)	大阪公立大学・大学院理学研究科・教授 (24405)	
研究分担者	有働 慈治 (Udo Shigeharu) (50506714)	神奈川大学・工学部・准教授 (32702)	
研究分担者	富田 孝幸 (Toimida Takayuki) (70632975)	信州大学・学術研究院工学系・助教 (13601)	
研究分担者	多米田 裕一郎 (Tameda Yuichiro) (90467019)	大阪電気通信大学・工学部・准教授 (34412)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	マシューズ ジョン (Matthews John)	ユタ大学・Department of Physics and Astronomy・Research Professor	
研究協力者	大島 仁 (Oshima Hitoshi) (40968294)	東京大学・宇宙線研究所・特任研究員 (12601)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	藤田 慧太郎 (Fujita Keitaro) (30964887)	東京大学・宇宙線研究所・特任研究員 (12601)	
研究協力者	佐川 宏行 (Sagawa Hiroyuki) (80178590)	東京大学・宇宙線研究所・シニアフェロー (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
米国	Loyola University Chicago	University of Utah		
韓国	Hanyang University	Sungkyunkwan University	Yonsei University	他2機関
ロシア連邦	Institute for Nuclear Research	Moscow M.V. Lomonosov State University		
ベルギー	Universite Libre de Bruxelles			
チェコ	Czech Academy of Sciences			
スロベニア	University of Nova Gorica			
ポーランド	National Centre for Nuclear Research			