

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：24405

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18H03705

研究課題名（和文）テレスコープアレイによる超高エネルギー宇宙線のエネルギースペクトル異方性の研究

研究課題名（英文）Exploring energy spectrum anisotropies in ultra-high energy cosmic rays with the Telescope Array

研究代表者

常定 芳基 (Tsunesada, Yoshiki)

大阪公立大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：50401526

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 33,700,000円

研究成果の概要（和文）：超高エネルギー宇宙線の起源解明を目指す「テレスコープアレイ（TA）」を安定稼働させ、宇宙線のエネルギースペクトルの異方性を測定することにより、宇宙線起源天体の種類同定を目指すプロジェクトである。現在はTAによる北半球とAugerによる南半球での観測が行われているが、両者の視野の重なる領域での宇宙線のエネルギースペクトルはよく一致するが、それ以外の領域でのエネルギースペクトルは一致しないことが見いだされた。またその不一致はある宇宙線到来方向の過剰領域（ホットスポット、PSCC方向）を除けば解消されることも見いだされ、これは特異なエネルギー分布を示す特別方向が存在することを示している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

超高エネルギー宇宙線のエネルギースペクトルは観測事例も少なく、そのエネルギースペクトルは全天方向からのイベントを合算して得られるのが常であった。TAの長期安定稼働を異実現させることにより、到来方向ごとのエネルギースペクトルを行うだけの統計量を実現するとともに、その解析手法を開発することで宇宙線の異方性と起源天体を議論する基盤を確立した。またTAでの最高エネルギーイベント「アマテラス粒子」（観測史上では2番目の高エネルギー）を発見することとなった。このイベントの到来方向には起源となりそうな天体が見つかっておらず、このイベントは宇宙線の起源について我々に課題を突き付けることにもなった。

研究成果の概要（英文）：This project aims at carrying out long-term operation of the Telescope Array (TA), the largest cosmic ray observatory in the northern hemisphere constructed at Utah, USA, and at measuring energy spectrum of cosmic rays from different sky regions. We found that the energy spectra of cosmic rays observed at the Telescope Array (TA), the northern hemisphere, and that observed at the Pierre Auger Observatory, the southern hemisphere, agree well in the common declination band, but not in the northern and southern skies. This discrepancy improves if some cosmic-ray-intense regions like the "hot spot" and "PSCC" region are removed from the analysis. This is interpreted that the cosmic ray energy spectrum is uniform as a whole, however, there are some regions where the cosmic ray intensity is different from others. This may suggest the two regions contain origin of cosmic ray sources. We also found an extremely energetic event, 244EeV cosmic ray named the "Amaterasu particle" on May 2021.

研究分野：超高エネルギー宇宙線

キーワード：超高エネルギー宇宙線 アマテラス粒子 異方性

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

宇宙線とはこの宇宙を満たす高いエネルギー（ 10^9 eV 以上）をもつ陽子や原子核である。最大のエネルギーは 10^{20} eV を超えており、これは現行の人工の加速器で実現できるエネルギーの 1000 万倍にもおよぶ。粒子がこの宇宙において「自然に」エネルギーが 10^{19} eV を超え、さらにそこから 10 桁以上にも達する極めて高いエネルギーを持ちうるという驚くべき事実から、宇宙線の生成と加速が、この宇宙における最も激烈な天体現象と関連していることは疑いない。宇宙線の起源を解明することは現代の宇宙物理学における最重要課題の 1 つであるが、広い検出面積と長い観測時間が必要となるなど技術的には大きな困難がともなう。しかし北半球最大の宇宙線観測施設であるテレスコープアレイ(TA)、そしてその拡張実験である Tax4 は、地表検出器(SD)と大気蛍光望遠鏡(FD)という 2 種類の検出器で大面積をカバーし、宇宙線のエネルギー決定方法を確立し、この問題解決に迫ろうとしている。

宇宙線の起源解明は、「どのような種類の天体から来ているか」と「どの天体から来たか」という 2 つのステップによってなされるであろう。宇宙線は宇宙磁場の中では直進しないため、各宇宙線イベントの地球への到来方向からその起源天体の方向を知ることは期待できないため、より直接的な「どの天体から来たか」の前に、この宇宙のどのような種類の天体が宇宙線を生成・加速し、地球に到来しているかという問いに答えられるようになることが先決である。

宇宙線の起源解明のために重要な観測量は、宇宙線の到来方向分布の異方性とエネルギースペクトルである。宇宙線の異方性とは、到来方向分布の偏りや集中、あるいは過小である。個々の宇宙線の到来方向は必ずしも起源天体の方向と一致しないが、多数の宇宙線イベントを蓄積して到来方向分布を調べれば、そこには起源天体の分布が反映されているはずである。特に直進性の高い超高エネルギー宇宙線（エネルギー 10^{18} eV 以上）においてこれが期待できる。これまでの宇宙線の異方性を調べるデータ解析では、観測された宇宙線イベントの方向を 2 次元マップに表示し、到来方向が集中している領域を探るのが一般的であった。2014 年に発表された、TA によるある特定の領域から超高エネルギー宇宙線の到来方向が集中している「ホットスポット」の発見はその一例である。そして従来のこのような解析は、宇宙線のエネルギースペクトルの解析とは特にリンクされることなく独立に行われてきた。

2. 研究の目的

従来の超高エネルギー宇宙線研究では、観測された宇宙線イベント数（統計量）が十分でなかったため、到来方向ごとに複数のデータセットに分割しては、エネルギースペクトルを得るには各データセットの統計量が小さくなりすぎてしまっていた。本研究は、北半球で最大の TA および Tax4 を長期安定運用し、初めて「エネルギースペクトルの異方性」、すなわち到来方向ごとの宇宙線のエネルギースペクトルという、真に物理的・運動学的に意味があり、宇宙線の起源や伝播機構解明に結びつく観測とデータ解析を行う。

3. 研究の方法

米国ユタ州に建設した TA および Tax4 の 5 か年にわたる長期安定運用を行う。これによって十分な統計量のイベント数を蓄積し、方向ごとの宇宙線のエネルギースペクトルをこの分野の研究史上初めて実現し、そのための解析手法を開発する。また南半球（アルゼンチン）で観測を行っている Pierre Auger Observatory とも協働し、北天（TA）と南天（Auger）での観測結果の比較を行う。

4. 研究成果

エネルギー $E = 10^{18.2}$ eV 以上の宇宙線のエネルギースペクトルを決定した。TA によって観測された北半球から到来する宇宙線のエネルギースペクトルと、Auger によって観測された南半球から到来する宇宙線の比較を行った。まずそれぞれの観測の全天比較からは、TA（北天）と Auger（南天）のエネルギースペクトルは最高エネルギー領域で有意な差異が見られた（Figure 1）。いっぽう TA と Auger で視野の重なる領域（共通赤緯領域 common declination band）ではその差は小さく、ほぼ一致するエネルギースペクトルが得られた（Figure 2）。

また北天と南天でのエネルギースペクトルが異なる原因として、TA の宇宙線イベント集中領域である“Hot Spot”と、銀河団 PPSC の方向のエネルギースペクトルが異なる兆候を見せており（Figure 3）、もしこの 2 領域を除外したエネルギースペクトルを計算すると、TA と Auger

の結果はよい一致を示すこともわかった (Figure 4)。現在はこの解析をすすめており、論文投稿間近である。

また TA で最高エネルギーとなる $E = 244 \text{ EeV}$ ($2.44 \times 10^{20} \text{ eV}$) という超高エネルギー宇宙線を発見した。観測史上最高のエネルギーは 1991 年に米国の Fly 's Eye 実験で観測された 320 EeV ($3.2 \times 10^{20} \text{ eV}$) で、これは “Oh-My-God particle” と称されてきたが、今回の TA の最高エネルギーイベントは、解析を主導したのが日本グループであったことにちなみ日本の神の名前を冠して “Amaterasu particle” と呼ばれるようになった。アマテラス粒子の方向には宇宙線の起源となりそうな天体が位置しておらず、宇宙線起源論に一石を投じることとなった。

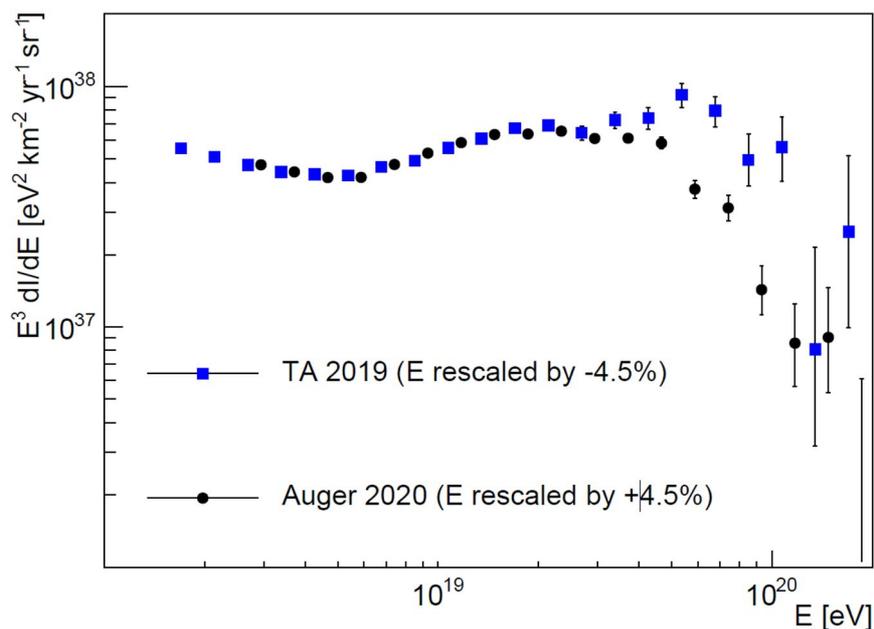


Figure 1 : TA (北天) と Auger (南天) のエネルギースペクトルの比較

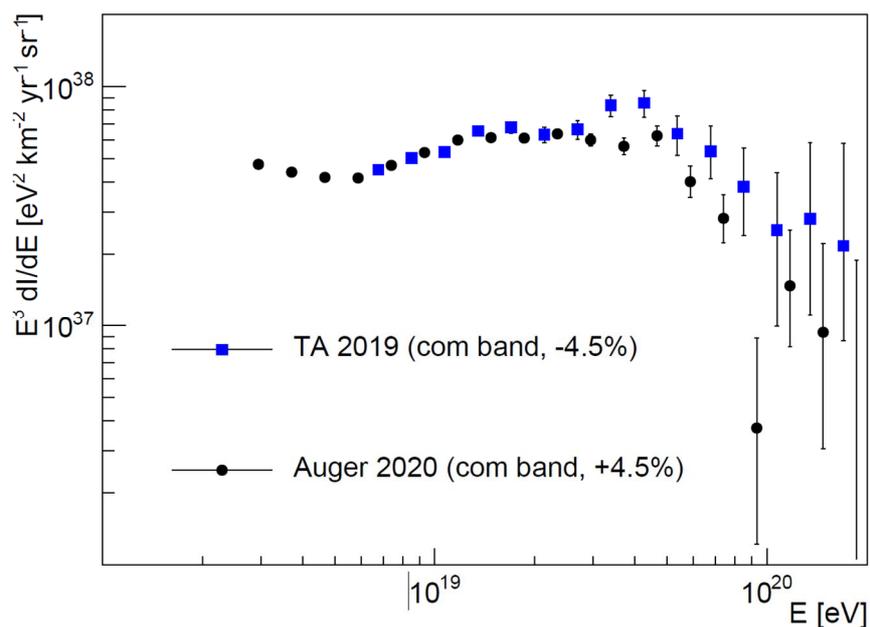


Figure 2: TA, Auger の共通視野内でのエネルギースペクトルの比較

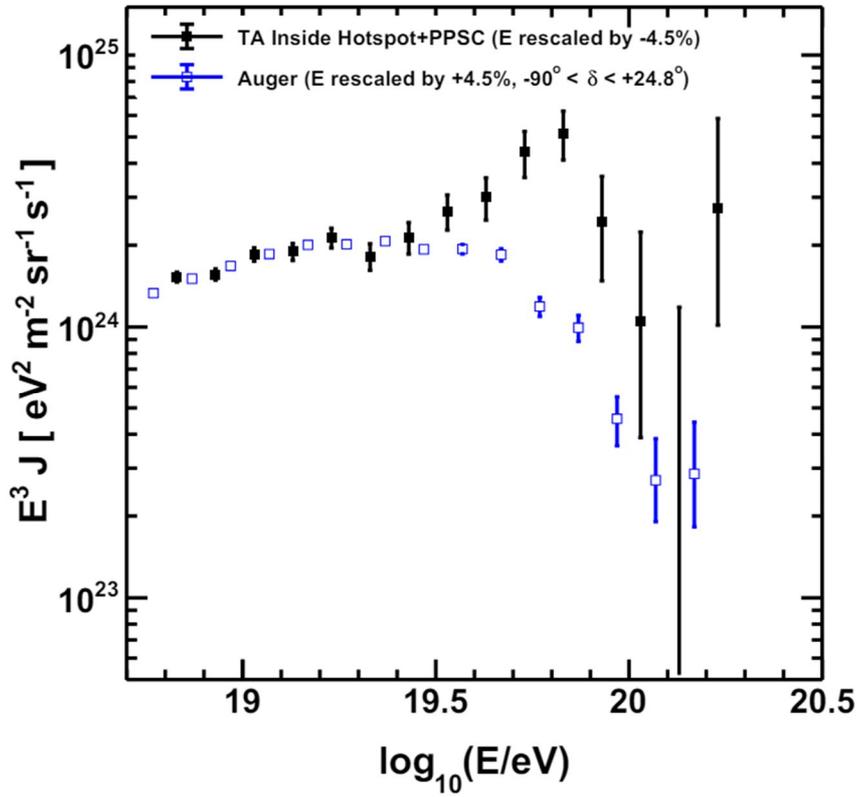


Figure 3: Hot spot, PPSC 領域でのエネルギースペクトル

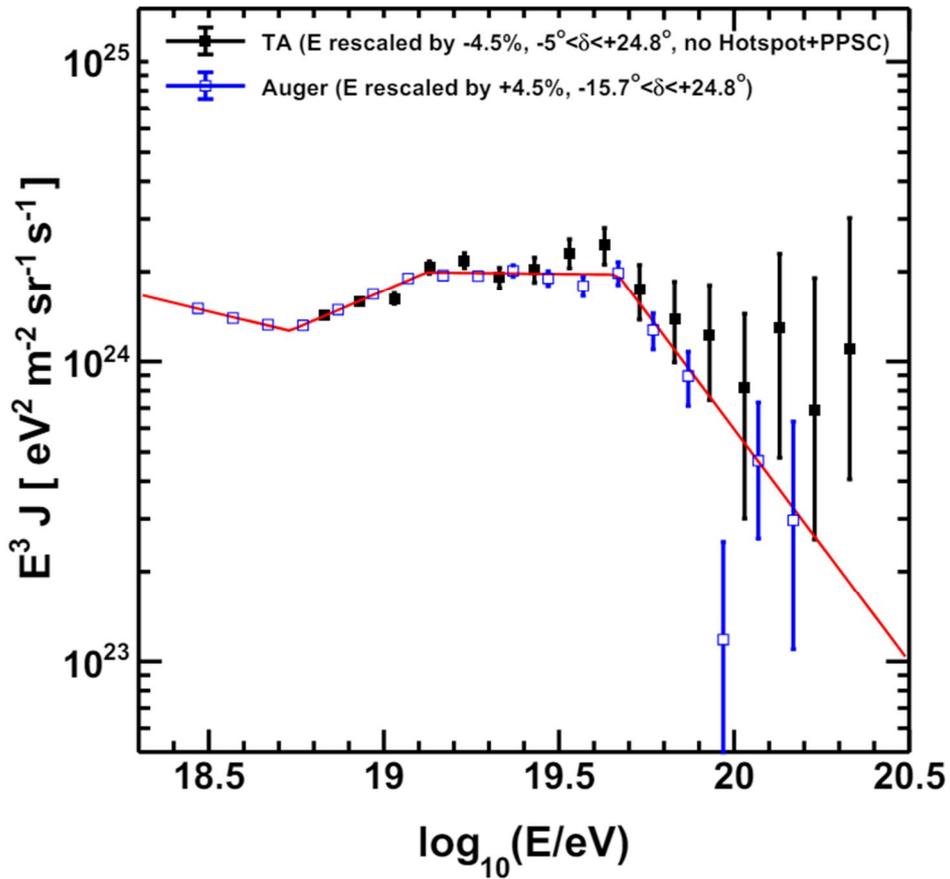


Figure 4: Hot spot, PPSC 領域を除いた TA のスペクトルと Auger との比較

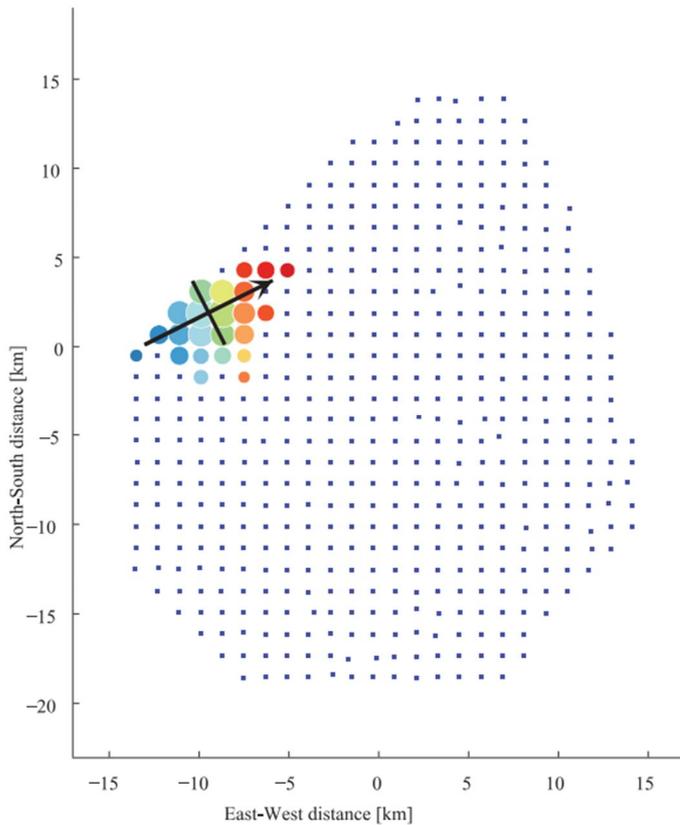


Figure 5: アマテラス粒子のイベントマップ。小さな点は TA の 507 台の地表検出器の位置を表し、色をついた点はアマテラス粒子によって大気中で発生した空気シャワー現象の荷電粒子を検出した信号の大きさを表す。矢印はアマテラス粒子の進んだ向きを示す。

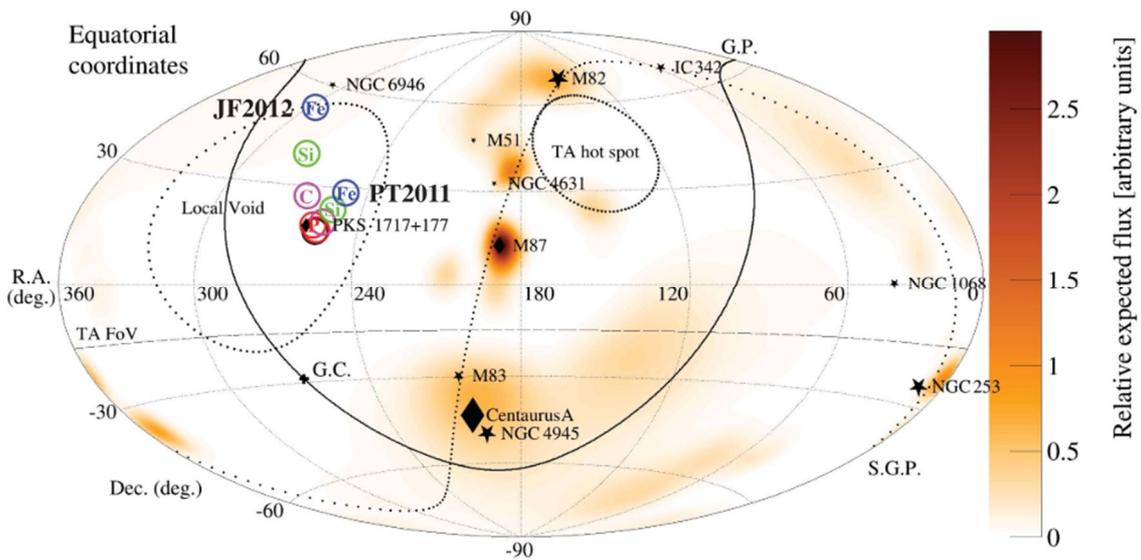


Figure 6: アマテラス粒子の到来方向から推定した起源天体の位置。アマテラス粒子が陽子 (P) であった場合、炭素原子核 (C)、ケイ素 (Si)、および鉄原子核 (Fe) であった場合それぞれについて予想される位置を示す。仮定する銀河系内磁場によってその推定位置は異なるため、C, Si, Fe については代表的な 2 つの磁場モデル (PT2011, JF2012) についてそれぞれの予想位置を示してある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件 / うち国際共著 18件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Abbasi R. U. et al.	4. 巻 102
2. 論文標題 Measurement of the proton-air cross section with Telescope Array 's Black Rock Mesa and Long Ridge fluorescence detectors, and surface array in hybrid mode	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.102.062004	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 1019
2. 論文標題 Surface detectors of the TAx4 experiment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 165726 ~ 165726
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2021.165726	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 105
2. 論文標題 Observation of variations in cosmic ray single count rates during thunderstorms and implications for large-scale electric field changes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.105.062002	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 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 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

1. 著者名 Belz J. W. et al.	4. 巻 125
2. 論文標題 Observations of the Origin of Downward Terrestrial Gamma Ray Flashes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Atmospheres	6. 最初と最後の頁 1-26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019JD031940	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 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 Abbasi R. U. 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 R.U. Abbasi et al.	4. 巻 -
2. 論文標題 Search for Ultra-High-Energy Neutrinos with the Telescope Array Surface Detector	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Experimental And Theoretical Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 492
2. 論文標題 Search for point sources of ultra-high-energy photons with the Telescope Array surface detector	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 3984-3993
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 110
2. 論文標題 Constraints on the diffuse photon flux with energies above 10^{18} eV using the surface detector of the Telescope Array experiment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 8014
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.astropartphys.2019.03.003	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 荻尾彰一、常定芳基、佐川宏行	4. 巻 68
2. 論文標題 Telescope Arrayによる最高エネルギー宇宙線観測 -兆候の発見から精密観測へ-	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Radioisotopes	6. 最初と最後の頁 843-856
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

1. 著者名 R.U. Abbasi et.al.	4. 巻 98
2. 論文標題 Study of muons from ultrahigh energy cosmic ray air showers measured with the Telescope Array experiment	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 22002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.98.022002	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 858
2. 論文標題 Depth of Ultra High Energy Cosmic Ray Induced Air Shower Maxima Measured by the Telescope Array Black Rock and Long Ridge FADC Fluorescence Detectors and Surface Array in Hybrid Mode	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 76
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 867
2. 論文標題 Testing a Reported Correlation between Arrival Directions of Ultra-high-energy Cosmic Rays and a Flux Pattern from nearby Starburst Galaxies using Telescope Array Data	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 862
2. 論文標題 Evidence of Intermediate-scale Energy Spectrum Anisotropy of Cosmic Rays $E \geq 10(19.2)\text{eV}$ with the Telescope Array Surface Detector	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 91
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 110
2. 論文標題 Constraints on the diffuse photon flux with energies above 1018?eV using the surface detector of the Telescope Array experiment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 8 ~ 14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.astropartphys.2019.03.003	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 123
2. 論文標題 Gamma Ray Showers Observed at Ground Level in Coincidence With Downward Lightning Leaders	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Atmospheres	6. 最初と最後の頁 6864 ~ 6879
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2017JD027931	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 865
2. 論文標題 The Cosmic Ray Energy Spectrum between 2PeV and 2EeV Observed with the TALE Detector in Monocular Mode	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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24件 (うち招待講演 19件 / うち国際学会 21件)

1. 発表者名 O.Deligny, D.Ikeda, E.Kido, S.Ogio, S.Nagataki, H.Sagawa, T.Nonaka, M.Takeda, Y.Tsunesada, S.Udo et al. (Telescope Array Collaboration)
2. 発表標題 The energy spectrum of ultra-high energy cosmic rays measured at the Pierre Auger Observatory and at the Telescope Array
3. 学会等名 International Cosmic Ray Conference (ICRC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J.P.Lundquist, D.Ikeda, E.Kido, S.Ogio, S.Nagasaki, H.Sagawa, T.Nonaka, M.Takeda, Y.Tsunesada, S.Udo et al. (Telescope Array Collaboration)
2. 発表標題 SUPERGALACTIC STRUCTURE OF ENERGY-ANGLE CORRELATIONS
3. 学会等名 International Cosmic Ray Conference (ICRC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川田和正、池田大輔、有働慈治、荻尾彰一、木戸英治、佐川宏行、竹田成宏、常定芳基、長瀧重博、野中敏幸、他Telescope Array Collaboration
2. 発表標題 TA実験327：地表粒子検出器アレイによるTAホットスポットの最新結果
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木戸英治、池田大輔、有働慈治、荻尾彰一、佐川宏行、竹田成宏、常定芳基、野中敏幸、他Telescope Array Collaboration
2. 発表標題 TA実験329：TAx4実験全体報告5
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 E.Kido, D.Ikeda, S.Ogio, S.Nagasaki, H.Sagawa, T.Nonaka, M.Takeda, Y.Tsunesada, S.Udo et al. (Telescope Array Collaboration)
2. 発表標題 Recent results and status of the Telescope Array Experiment
3. 学会等名 The 2019 TeV Particle Astrophysics conference (TeVPA 2019) (国際学会) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 仲田海人、常定芳基、野中敏幸、佐川宏行、他Telescope Array Collaboration
2. 発表標題 TA実験336 : $10^{18.5}$ eV以上のEAS粒子ディスク時空間構造とEAS発達(5)
3. 学会等名 "日本物理学会 第75回年次大会"
4. 発表年 2019年 ~ 2020年

1. 発表者名 Yoshiki Tsunesada
2. 発表標題 Latest results form TA
3. 学会等名 "AMS Days at La Palma", La Palma, Spain (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shoichi Ogio
2. 発表標題 Telescope Array Experiment
3. 学会等名 ISVHECRI2018, Nagoya, Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshiki Tsunesada
2. 発表標題 Recent results from the Telescope Array
3. 学会等名 "QCD at Cosmic Energies VII", Riga, Latvia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Charles Jui
2. 発表標題 Results from the Telescope Array Experiment
3. 学会等名 CRIS2018, Scitilia, Italy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 John Belz
2. 発表標題 TA/Lightning
3. 学会等名 ICAIE, Nara, Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Il Park
2. 発表標題 Highlights from the Telescope Array Experiment
3. 学会等名 The 39th ICHEP, Seoul, Korea (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro Takeda
2. 発表標題 Observation of EHE Cosmic Rays with the Telescope Array Experiment
3. 学会等名 ICNFP2018, Crete, Greece (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Maxim Prishkov
2. 発表標題 Summary of Results from the Telescope Array Experiment
3. 学会等名 The 26th E+CRS/35th RCRC (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shoichi Ogio
2. 発表標題 Latest results and current status of the Telescope Array Experiment
3. 学会等名 VHEPU 2018, Quy Nhon, Vietnam (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Dmitri Ivanov
2. 発表標題 Telescope Array Experiment
3. 学会等名 TeVPA 2018, Berlin, Germany (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroyuki Sagawa
2. 発表標題 Recent results of the Telescope Array Experiment on ultra-high energy cosmic rays and TA extension
3. 学会等名 PACIFIC2018, Moorea, French Polynesia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazumasa Kawata
2. 発表標題 Observation of Ultra-High-Energy Cosmic Rays with the Telescope Array Experiment
3. 学会等名 IWARA2018, Peru (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Grigory Rubtsov
2. 発表標題 Status and results of the Telescope Array Observatory
3. 学会等名 WASDHA2018, Moscow, Russia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Rasha Abbasi
2. 発表標題 TA/Lightning
3. 学会等名 AtmoHEAD2018, Capri, Italy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Dmtri Ivanov
2. 発表標題 TA Spectrum
3. 学会等名 UHECR2018, Paris, France (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Armando di Matteo
2. 発表標題 The Telescope Array experiment
3. 学会等名 eXtreme2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro Takeda
2. 発表標題 Recent results from the Telescope Array experiment
3. 学会等名 The 10th VHEPA Workshop, ICRR, Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryuji Takeishi
2. 発表標題 Report on the discrepancy of muon densities between data and MC from cosmic ray air shower experiments
3. 学会等名 Workshop for Atmospheric Neutrino Production in the MeV to PeV range, Nagoya, Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 井上、小山、高橋、水本、常定ほか	4. 発行年 2019年
2. 出版社 日本評論社	5. 総ページ数 324
3. 書名 宇宙の観測III 第2版 (シリーズ現代の天文学)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	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 (Tomida 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・講師 (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	荻尾 彰一 (Ogio Shoichi)		
研究協力者	藤井 俊博 (Fujii Toshihiro)		
研究協力者	木戸 英治 (Kido Eiji)		

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
---------	---------