

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2年 6月 29日現在

機関番号：12601
 研究種目：特別推進研究
 研究期間：2015～2019
 課題番号：15H05693
 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
 研究代表者
 佐川 宏行 (SAGAWA Hiroyuki)
 東京大学・宇宙線研究所・教授
 研究者番号：80178590
 交付決定額（研究期間全体）（直接経費）：447,100,000円

研究成果の概要（和文）：米国ユタ州のテレスコープアレイ（TA）宇宙線観測所は、最高エネルギー宇宙線が天球上の特定の領域から過剰に到来する、異方性の兆候（ホットスポット）をとらえた。本研究により、観測所を拡張してデータ取得ペースを加速するために、地表粒子検出器（SD）の製作を行い、257台のSDを設置した。現在、TAを含めて合計でTA SDの2.5倍の有効面積で稼働して、宇宙線のデータ収集を行っている。建設中も既存TAは稼働し、異方性に関する新たな兆候も得た。今後、拡張TAにより、TAでとらえた異方性の兆候を確認する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

10の20乗電子ボルトという極めて高いエネルギーの宇宙線（最高エネルギー宇宙線）が宇宙から地球に到来している。最高エネルギー宇宙線が宇宙のどこでどのように作られているかは分かっておらず、宇宙物理学の大きな謎である。拡張TAの一環として稼働を継続してきたTAのデータによってホットスポットの他にも近傍の超銀河宇宙（多くの銀河団の集まり）に発生源があるという兆候などを定量的にとらえた。現在、拡張TAによりデータの収集と解析が進んでおり、今後発生源の謎を明らかにしていく。

研究成果の概要（英文）：The Telescope Array (TA) cosmic-ray observatory operating in Utah in the U.S.A. found evidence for anisotropy or a cluster (hotspot) that the highest-energy cosmic rays were arriving. To extend the TA observatory and accelerate the data collection pace by this grant, we assemble the surface detectors (SD) and deployed totally 257 SDs. In total, the effective area of SD is 2.5 times TA including TA and we are collecting cosmic-ray data. The TA has been operating during the construction, evidence for different feature of anisotropy was obtained. We are going to reveal the mystery that the TA found with the extended TA.

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） 最高エネルギー宇宙線

1. 研究開始当初の背景

これまで宇宙線はほぼ一様等方的に地球に到来しており、確認されていた異方性は0.1%程度にすぎなかった。北半球最大規模の宇宙線観測所TAは、2008年から5年間の観測によって、 5.7×10^{19} の19乗電子ボルト (5.7×10^{19} eV) 以上の72事象の最高エネルギー宇宙線のうち19事象の到来方向が大熊座付近の特定の領域に集中するホットスポットの兆候を捉えた(図1)。

またTAでは宇宙線の到来頻度の急激な減少を 5.7×10^{19} eV 付近で観測した。これは最高エネルギー宇

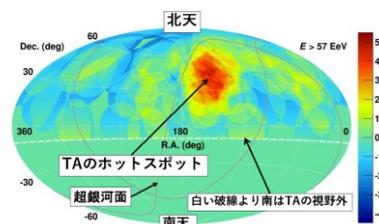


図1 TAのホットスポット

宇宙線の発生源が地球から約 2 億光年以内の近傍に限られる GZK カットオフの予想と矛盾しない。これらは、最高エネルギー宇宙線の起源天体を近傍の宇宙で確定できる可能性を示す初めての観測結果であった。

2. 研究の目的

本研究では TA の観測面積を最終的に 4 倍に拡張して観測事象取得ペースを加速することにより、ホットスポットを確認し新たな異方性を捉える。宇宙線のエネルギーと到来方向の測定、質量組成の同定、超高エネルギーニュートリノ・光子の探索を行い、最高エネルギー宇宙線による近傍の極限宇宙の解明を目指す。

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）。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 SD 507 台を 1.2 キロメートル間隔で基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、シンチレータを通過する二次粒子を直接とらえて空気シャワーの横広がりを観測する。本研究では 2.08 キロメートル間隔で 500 台の検出器を追加設置し TA SD を拡張する。TA を合わせて、観測面積が約 4 倍の 3000 平方キロメートルを最終目標とする。また 2 か所に大気蛍光望遠鏡 (FD) を建設し (米国担当)、空気シャワーの縦方向発達を観測して、質量組成の同定および SD で測定したエネルギーの較正を行う。

最高エネルギー宇宙線を高統計で検出し、北天のサーベイを行い、宇宙線のエネルギースペクトル、質量組成および最高エネルギー宇宙線の到来方向の測定により最高エネルギー宇宙線を生む宇宙の極限現象・極限天体の起源を解明する研究を推進する。

4. 研究成果

(1) 地表粒子検出器 (SD) の製作

平成 27 年度には 100 台のシンチレータ検出器本体の製作を群馬県の明星電気株式会社で行った。平成 28 年～30 年度には 130 台の製作を山梨県宇宙線研究所明野観測所で行い、平成 30 年度には韓国で 30 台の製作を行った。合計 260 台の検出器本体を製作し、米国に輸送し、宇宙線センターで SD の最終組み立てを行った。

また生産中止になった TA の無線 LAN モデムの代わりに新しい無線 LAN モデムを選定した。TA では各 SD と通信ホストでは同じ SD エレクトロニクスを使っていたが、高速な CPU と大容量の記憶媒体を装着できる産業用 PC を使い、通信塔では市販の無線 LAN 用アクセスポイントを使う。SD エレクトロニクスの組立・試験は、明野観測所、大阪市立大学、柏の宇宙線研究所で行った。



図 2 ヘリコプターによる SD の設置。予め地上で待っている部隊が SD を誘導している。

(2) TA_{x4} の設置認可

当初は平成 29 年度後半に SD を設置する計画であったが、米国土地管理局 (BLM) から設置許可が下りたのは平成 31 年 2 月であった。この過程で平成 29 年の夏には研究者らが SD 設置予定のすべて場所を全地形型対応車 (ATV) あるいはヘリコプターで訪れて、設置場所の確認を行った。平成 29 年 11 月には TA_{x4} 計画に関する公聴会を開いた。また BLM の要請で平成 29 年の秋に TA_{x4} サイト内の遺跡・遺物の調査を行い、平成 30 年の春に希少植物の調査を行った。

(3) SD の設置および調整

平成 30 年 2 月と 3 月にヘリコプターを用いて 257 台の地表粒子検出器を設置し (図 2)、TA SD アレイを合計で 2.5 倍に拡張した (図 3)。通信塔を 6 か所建設し、通信塔との通信のために SD のアンテナ調整を行った。2020 年度には不具合があった SD の調整・修復や通信塔のデータ収集の改善を行った。11 月の作業以降は新設 SD のほぼ 90% からのデータ収集を安定して継続している。

各 SD の較正・モニターデータをもとに、宇宙線空気シャワートリガーで得られた SD の粒子数および時間の情報からエネルギーおよび到来方向を再構成し、精査中である。図

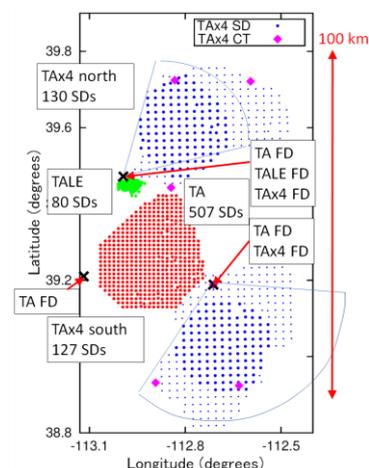


図 3 TA_{x4} の配置図。青丸印が設置済みの TA_{x4} SD で青点が未設置。ピンク色のダイヤモンド印が TA_{x4} の通信塔。赤丸印が TA SD、緑丸印が TALE SD、×印が FD で、扇型は FD の視野を表す。

4にSDで観測した空気シャワーの例を示す。

北側および南側のTAx4 FDはそれぞれ2018年2月および2019年10月に観測を開始し、データを取得している。FDで取得したデータはSDで求めたエネルギーの較正および質量組成の同定に重要である。SDとFDの同時観測データも取得しており、今後SDとFDのエネルギーを比較して、SDエネルギーの較正を行う。

(4)計画では500台のSDを追加する予定であったが、本研究では257台のTAx4 SDを設置した。当面はこの状態で安定稼働を維持し、今後は海外の共同研究者からの協力や既存の検出器の移設などの可能性を考慮して当初目標とした4倍の有効面積の実現を目指す。

(5)TAデータの解析

TAx4実験の一環としてのTAで得られた超高エネルギー宇宙線データを用いて、天球上の領域によってエネルギースペクトルが違う兆候をとらえたことが新たな展開である[発表⑦]。赤道座標でTAの視野内の赤緯が 24.8° 以上の宇宙線のカットオフエネルギー($10^{19.64 \pm 0.04} \text{eV}$)の方が、赤緯が 24.8° 未満のカットオフエネルギー($10^{19.84 \pm 0.02} \text{eV}$)

よりも高い(図5)。一様到来分布の場合に偶然にこの差がおこる確率は 8.5×10^{-6} (4.3σ)である。

また超銀河面との相関の兆候も見られた[発表⑧]。エネルギーが低い宇宙線ほど宇宙磁場のために発生源からより大きい偏向を受けることが予想される。発生源から複数の宇宙線が観測された場合に発生源の近傍からエネルギーの高い順に宇宙線の到来方向が並ぶことが期待される。TAの視野内で宇宙線の発生源の方向と宇宙線の方向とエネルギーの相関の強さの分布を発生源の方向ごとに求めた。TAの10年分のデータに対して 4σ 程度の発生源の異方性の兆候を捉え、その分布は超銀河面付近に集中している。

ホットスポットに関しては、11年間にTAで取得した $5.7 \times 10^{19} \text{eV}$ 以上の168事象を半径が 25° の円によるoversamplingで最大の有意度は 5.1σ であった。これが偶然起こる確率は 2.1×10^{-3} (2.9σ)であった[発表⑤]。また7年間のデータに対して、ホットスポット領域付近では $10^{19.2} \text{eV}$ 以上の宇宙線に対して、 $5.7 \times 10^{19} \text{eV}$ 未満の宇宙線の到来数が予想(ホットスポットの外)より少ないという、エネルギースペクトルの異方性の兆候を得た(偶然の確率で 9×10^{-5} (3.74σ)) [論文④]。

さらに複数の宇宙線が一か所から到来する点源の兆候も見られている。TA SD 9年分のデータで 10^{20}eV 以上の宇宙線の到来方向が 1.4° 以内にある場合(点源候補)が2か所見つかっている。これが偶然起こる確率は 3σ 程度である[発表⑫]。

質量組成に関しては、FDデータを用いた $10^{18.2} \text{eV}$ 以上の宇宙線の空気シャワーの最大発達深さ(X_{max})の解析で、TAのデータは軽い組成と一致している結果を得た[論文⑤]。ただし、 10^{19}eV 以上に対しては、もっと統計が必要である。またSDデータから空気シャワーの横拡がり、シャワーフロントの曲率、ミューオンに感度のある情報を用いて、質量組成に関して、FDによる X_{max} からの質量組成と定性的に矛盾のない結果を得た[論文③]。

超高エネルギーガンマ線の探索[雑誌論文②]と超高エネルギーニュートリノの探索[論文①]を行ったが、有意な信号は見つからず、それぞれのフラックスの上限を与えた。

これまでの進捗状況については、国内学会で発表している。令和元年度には、令和元年7月に米国ウィスコンシン州で開催された宇宙線国際会議(ICRC2019)とその他の国際会議で発表を行い、さらに日本物理学会(令和元年9月、2令和2年3月)において発表を行った。今後の進捗状況も、国内外の学会発表および学術雑

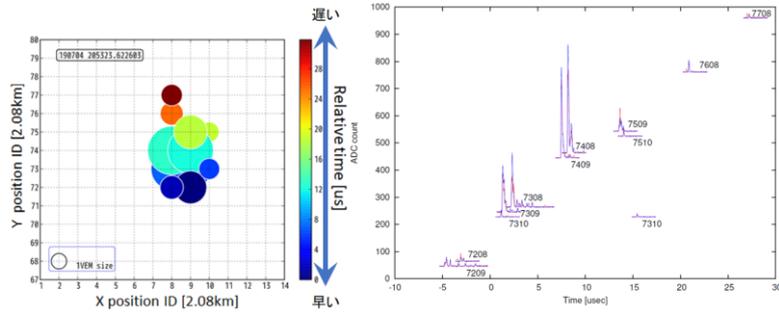


図4 TAx4 SDで観測した空気シャワーの例。(左)空気シャワーの信号を観測したSDの位置。横軸は検出器の東西方向の識別番号で縦軸は南北方向の識別番号。点線で描かれた格子の上にSDが存在する。丸の大きさは通過した粒子数(信号の大きさ)の平方根に比例する。青色は到来時間が早く、赤色は遅い。(右)各SDの信号の波形。横軸が時間で単位はマイクロ秒で縦軸は信号の大きさを表す。

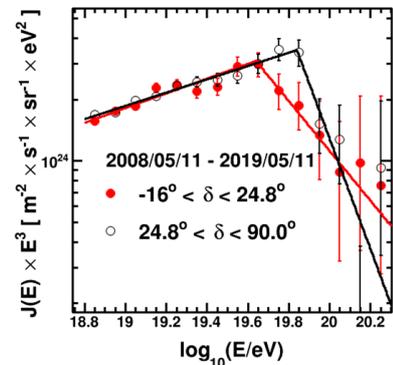


図5 TA SDで観測した11年分のデータで測定したエネルギースペクトルの赤緯依存性。白丸と赤丸はそれぞれ赤緯が 24.8° 以上と 24.8° 以下のデータである。曲線はbroken power lawでのフィットである。

誌

誌での発表を行っていく予定である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 16 件)

- ①R. U. Abbasi, D. Ikeda (26 番目)、E. Kido (42 番目)、S. Nagataki (62 番目)、T. Nonaka (66 番目)、S. Ogio (68 番目)、H. Sagawa (80 番目)、M. Takeda (108 番目)、Y. Tsunesada (124 番目)、S. Udo (126 番目)、*Y. Zhezher (136 番目) et al. (Telescope Array Collaboration 計 137 名)、Search for Ultra-High-Energy Neutrinos with the Telescope Array Surface Detector、accepted for JETP in March 2020、査読有、arXiv:1905.03738[astro-ph.HE] *は責任著者
- ②R. U. Abbasi, D. Ikeda (26 番目)、E. Kido (43 番目)、S. Nagataki (65 番目)、T. Nonaka (68 番目)、S. Ogio (70 番目)、*G. Rubtsov (85 番目)、H. Sagawa (87 番目)、M. Takeda (111 番目)、Y. Tsunesada (126 番目)、S. Udo (129 番目) et al. (Telescope Array Collaboration 計 142 名)、Constraints on the diffuse photon flux with energies above 10^{18} eV using the surface detector of the Telescope Array experiment、Astroparticle Physics、査読有、Vol. 110、2019、pp. 8-14、DOI:10.1016/j.astropartphys.2019.03.003
- ③R. U. Abbasi, D. Ikeda (26 番目)、E. Kido (43 番目)、S. Nagataki (65 番目)、T. Nonaka (68 番目)、S. Ogio (70 番目)、H. Sagawa (87 番目)、M. Takeda (111 番目)、Y. Tsunesada (126 番目)、S. Udo (129 番目)、*Y. Zhezher (142 番目) et al. (Telescope Array Collaboration 計 143 名)、Mass composition of ultra-high-energy cosmic rays with the Telescope Array Surface Detector Data、Physical Review D、査読有、Vol. 99、2019、022002(11pp)、DOI:10.1103/PhysRevD.99.022002
- ④R. U. Abbasi, D. Ikeda (26 番目)、E. Kido (43 番目)、*J. P. Lundquist (55 番目)、S. Nagataki (65 番目)、T. Nonaka (68 番目)、S. Ogio (71 番目)、H. Sagawa (86 番目)、Y. Tsunesada (124 番目)、S. Udo (127 番目) et al. (Telescope Array Collaboration 計 140 名)、Evidence of Intermediate-scale Energy Spectrum Anisotropy of Cosmic Rays $E > 10^{19.2}$ eV with the Telescope Array Surface Detector、The Astrophysical Journal、査読有、Vol. 862、2018、91(6pp)、DOI:10.3847/1538-4357/aac9c8
- ⑤R. U. Abbasi, *W. Hanlon (20 番目)、*D. Ikeda (26 番目)、E. Kido (43 番目)、S. Nagataki (65 番目)、T. Nonaka (68 番目)、S. Ogio (70 番目)、H. Sagawa (85 番目)、M. Takeda (109 番目)、Y. Tsunesada (124 番目)、S. Udo (127 番目) et al. (Telescope Array Collaboration 計 140 名)、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、The Astrophysical Journal、査読有、Vol. 858、2018、76(27pp)、DOI:10.3847/1538-4357/aabad7
- ⑥V. Verzi, D. Ivanov and Y. Tsunesada、Measurement of energy spectrum of ultra-high energy cosmic rays、Progress of Theoretical and Experimental Physics、査読有、Vol. 2017、2017、12A103(27pp)、DOI:10.1093/ptep/ptx082
- ⑦R. U. Abbasi, *T. Fujii (15 番目)、D. Ikeda (23 番目)、E. Kido (38 番目)、S. Nagataki (57 番目)、T. Nonaka (59 番目)、S. Ogio (61 番目)、H. Sagawa (75 番目)、M. Takeda (92 番目)、Y. Tsunesada (107 番目)、S. Udo (110 番目) et al. (Telescope Array Collaboration 計 123 名)、The energy spectrum of cosmic rays above $10^{17.2}$ eV measured by the fluorescence detectors of the Telescope Array experiment in seven years、Astroparticle Physics、査読有、Vol. 80、2016 年、131-140、DOI:10.1016/j.astropartphys.2016.04.002
- ⑧*R. U. Abbasi, D. Ikeda (24 番目)、E. Kido (39 番目)、S. Nagataki (59 番目)、T. Nonaka (61 番目)、S. Ogio (63 番目)、H. Sagawa (77 番目)、M. Takeda (94 番目)、Y. Tsunesada (109 番目)、S. Udo (112 番目) et al. (Telescope Array Collaboration 計 125 名)、Measurement of the proton-air cross section with Telescope Array's Middle Drum detector and surface array in hybrid mode、Physical Review D、査読有、Vol. 92、2015、032007(9pp)、DOI:10.1103/PhysRevD.92.032007

[学会発表] (計 145 件)

- ①木戸 英治、TA 実験 332 : TAx4 実験全体報告 6、日本物理学会第 75 回年次大会、2020 年
- ②H. Sagawa、A New Window into Ultra-High-Energy Cosmic Rays、The 10th International Symposium of Global Research and Development Centers (GRDC 2019)、Korea (招待講演) (国際学会)、2019
- ③木戸 英治、TA 実験 329 : TAx4 実験全体報告 5、日本物理学会 2019 年秋季大会、2019 年
- ④T. Nonaka、Long distance network link for TAx4 expansion、36th International Cosmic Ray Conference (ICRC2019)、USA (国際学会)、2019
- ⑤K. Kawata、Updated Results on the UHECR Hotspot Observed by the Telescope Array Experiment、36th International Cosmic Ray Conference (ICRC2019)、USA (国際学会)、2019

- ⑥E. Kido、Status and Prospects of the TAx4 Experiment、36th International Cosmic Ray Conference (ICRC2019)、USA (国際学会)、2019
- ⑦D. Ivanov、Energy Spectrum Measured by the Telescope Array Experiment、36th International Cosmic Ray Conference (ICRC2019)、USA (国際学会)、2019
- ⑧J.P. Lundquist、SUPERGALACTIC STRUCTURE OF ENERGY-ANGLE CORRELATIONS、36th International Cosmic Ray Conference (ICRC2019)、USA (国際学会)、2019
- ⑨S. Ogio、Recent progress in observations of Ultra-high energy cosmic rays、The 24th JSPS "Science in Japan" Forum 2019、USA (招待講演) (国際学会)、2019
- ⑩M. Takeda、Recent results from the Telescope Array experiment、The 10th VHEPA Workshop、ICRR, Kashiwa, Japan (招待講演) (国際学会)、2019
- ⑪佐川 宏行、TA 実験 321 : TAx4 実験全体報告 4、日本物理学会第 74 回年次大会、2019 年
- ⑫K. Kawata、TA Anisotropy Summary、Ultra High Cosmic Rays 2018 (UHECR2018)、France (招待講演) (国際学会)、2018
- ⑬E. Kido、Status and prospects of the TAx4 experiment、Ultra High Cosmic Rays 2018 (UHECR2018)、France (招待講演) (国際学会)、2018
- ⑭Y. Tsunesada、Recent results from the Telescope Array、QCD at Cosmic Energies VII、Latvia (招待講演) (国際学会)、2018
- ⑮S. Ogio、Telescope Array Experiment、20th International Symposium on Very High Energy Cosmic Ray Interactions (ISVHECRI2018)、Nagoya, Japan (招待講演) (国際学会)、2018
- ⑯木戸 英治、TA 実験 303 : TAx4 実験全体報告 2、日本物理学会秋季大会、2017 年
- ⑰E. Kido、The TAx4 experiment、The 35th International Cosmic Ray Conference (ICRC2017)、Korea (国際学会)、2017
- ⑱木戸 英治、TA 実験 293 : TAx4 実験全体報告、日本物理学会第 72 回年次大会、2017 年
- ⑲D. Ikeda、Recent Results from the Telescope Array Experiment、Astroparticle Physics Yachay Tech、Ecuador (招待講演、国際会議)、2016
- ⑳E. Kido、The TAx4 experiment、2016 International Conference on Ultra-High Energy Cosmic Rays (UHECR2016)、Kyoto, Japan (国際会議)、2016
- ㉑木戸 英治、TA 実験 287 : TAx4 実験 地表検出器全体報告、日本物理学会秋季大会、2016 年
- ㉒E. Kido、The extension of the Telescope Array experiment、38th International Conference on High Energy Physics、USA (国際学会)、2016
- ㉓齊藤 公紀、TA 実験 278 : TAx4 実験用地表検出器の R&D、日本物理学会 第 71 回年次大会、2016 年
- ㉔木戸 英治、TA 実験 277 : TAx4 実験 地表検出器全体報告、日本物理学会 第 71 回年次大会、2016 年
- ㉕有働 慈治、TA 実験 275 : TA, TAx4, TALE 全体報告、日本物理学会 第 71 回年次大会、2016 年
- ㉖T. Nonaka、Surface detector for TAx4 expansion and status of Muon measurement at TA site、Next-Generation Techniques for UHE Astroparticle Physics、USA (招待講演、国際会議)、2016
- ㉗S. Nagasaki、The Possible Extragalactic Source of Ultra-High-Energy Cosmic Rays at the Telescope Array Hotspot、TeV Particle Astrophysics 2015 (TEVPA2015)、Kashiwa, Japan (国際会議)、2015
- ㉘T. Nonaka、Results from the Telescope Array experiment, Hot spot and anisotropy、TeV Particle Astrophysics 2015 (TEVPA2015)、Kashiwa, Japan (招待講演、国際会議)、2015
- ㉙荻尾 彰一、超高エネルギー宇宙線観測による宇宙線起源探査 Search for cosmic ray origins with ultra high-energy cosmic rays、日本物理学会 2015 年秋季大会 (招待講演)、2015 年
- ㉚木戸 英治、TA 実験 268 : 拡張 TA 実験地表検出器アレイによるイベント再構成、日本物理学会 2015 年秋季大会、2015 年
- ㉛H. Sagawa、Telescope Array Extension、Cosmic Ray International Seminar 2015 (招待講演、国際学会)、2015
- ㉜H. Sagawa、Telescope Array Extension: TAx4、34th International Cosmic Ray Conference (ICRC2015)、The Netherlands (国際学会)、2015

[その他]

報道関係情報

- ・高エネルギー宇宙線 逃がさぬ瞳、読売新聞、2019 年 3 月 24 日
- ・最高エネルギー宇宙線 発生源は、毎日新聞、2019 年 3 月 14 日
- ・BLM seeking public feedback on proposal to expand research into cosmic rays、FOX 13 News:、15 November 2017、
<https://fox13now.com/2017/11/15/blm-seeking-public-feedback-on-proposal-to-expand-research-into-cosmic-rays/>

- ・最高宇宙線補足へ装置自作、山梨日日新聞、2016年8月25日
- ・米ユタ州の実験、日本が挑む宇宙の謎解き、日本経済新聞、2015年6月15日
- ・Japan to enlarge massive cosmic ray array in Utah、Science Magazine、27 May 2015、<https://www.sciencemag.org/news/2015/05/japan-enlarge-massive-cosmic-ray-array-utah>

ホームページ情報

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

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：荻尾 彰一
ローマ字氏名：(OGIO, shoichi)
所属研究機関名：大阪市立大学
部局名：理学（系）研究科（研究院）
職名：教授
研究者番号（8桁）：20242258

研究分担者氏名：野中 敏幸
ローマ字氏名：(NONAKA toshiyuki)
所属研究機関名：東京大学
部局名：宇宙線研究所
職名：助教
研究者番号（8桁）：30506754

研究分担者氏名：常定 芳基
ローマ字氏名：(TSUNESADA yoshiki)
所属研究機関名：大阪市立大学
部局名：理学（系）研究科（研究院）
職名：准教授
研究者番号（8桁）：50401526

(2) 連携研究者

研究協力者氏名：竹田 成宏
ローマ字氏名：(TAKEDA, masahiro)

研究協力者氏名：有働 慈治
ローマ字氏名：(UDO, shigeharu)

研究協力者氏名：長瀧 重博
ローマ字氏名：(NAGATAKI, shigehiro)

研究協力者氏名：池田 大輔
ローマ字氏名：(IKEDA daisuke)

研究協力者氏名：木戸 英治
ローマ字氏名：(KIDO eiji)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。