

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：33910

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26400297

研究課題名(和文) 新型太陽中性子望遠鏡用実時間解析システムの開発

研究課題名(英文) Development of a dedicated real-time analysis system for the new Solar neutron telescope

研究代表者

柴田 祥一 (SHIBATA, Shoichi)

中部大学・工学部・教授

研究者番号：20267909

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、太陽フレア時にイオンがどのようにして高エネルギーにまで加速されるかを調べるため、加速されたイオンが太陽大気中で作る中性子のエネルギー分布や生成量の時間変化を観測することを目的とする。中性子を測る理由は、太陽地球間の磁場の影響を受けずに直進してくるので、イオンの加速時の情報を保持しているからである。この目的の実現のため、加速器実験で使用された粒子飛跡検出装置(SciBar)を、新型太陽中性子望遠鏡(SciCRT)として活用すべく、メキシコのシエラネグラ山頂(4600 m)に移設した。本科研費では、望遠鏡のデータ収集・解析系を改良し、高速化して、専用の実時間解析システムの実現に寄与した。

研究成果の概要(英文)：The objective of this research is to investigate the acceleration mechanism of high energy ions by Solar flares by observing energy distribution and time profile of neutrons produced in the Solar atmosphere. The neutrons are expected to provide a wealth of information about the acceleration of ions responsible for production of these neutrons which are unaffected by the magnetic field between the Sun and the Earth. For this purpose, as a new Solar neutron telescope (SciCRT), we had relocated a particle tracking detector (SciBar) used earlier in accelerator experiments to the top of the Sierra Negra volcano (4600 m) in Mexico. On this budget, improvement of data acquisition boards by speed-up has contributed in turning it into a dedicated real-time analysis system.

研究分野：数理系科学

キーワード：太陽中性子 太陽フレア 宇宙線 粒子加速 高感度宇宙放射線計測装置 宇宙天気 多方向ミュオン望遠鏡 メキシコ

1. 研究開始当初の背景

(1) 宇宙線は、宇宙のどこかで人工的には加速できないほどの高いエネルギーにまで加速されて地球に降り注ぐ放射線である。宇宙線が、そのような高エネルギーまでに、どこでどのようにして加速されるかという疑問は、発見されて以来の課題である。ところで、太陽フレア時にも、通常の宇宙線より低いエネルギーではあるが、粒子が加速されていることがわかっている。太陽は地球に近く、詳細に観測できる唯一の恒星なので、加速機構の解明のため、太陽フレアを是非観測したい。しかし、直接加速されるのは荷電粒子(イオン)で、太陽地球間の磁場によって曲げられ散乱されながら地球へやってくるため、加速時の情報の多くを失ってしまう。そこで、太陽フレア時に加速されたイオンが太陽大気中で生成する中性子(太陽中性子)を観測し、そのエネルギー分布や生成粒子数の時間変化から、親のイオンの加速機構を解き明かそうと考え、1990年以降、乗鞍観測所を始めとする世界各地の高山で、太陽中性子の観測を進めてきた。

(2) これまでの観測に使用してきた検出装置は、その当時では新しく、中性子を反跳陽子に転換して、その飛跡から、中性子が太陽方向から入射していることを確認し、物質中での反跳陽子のエネルギー損失から、入射中性子のエネルギーを知るというものである。24時間太陽を監視するために、この「太陽中性子望遠鏡」と命名した装置を世界各地の高山に設置し、国際観測網を作り上げた。

(3) しかし、開発当初から、エネルギー分解能や検出効率といった点について、その性能にはやや不満があった。そこで、本研究の代表者らは、全検出領域を、細長いプラスチックシンチレーターを井桁状に組み上げて作り、入射粒子による微弱な発光を多陽極光電子増倍管にて検出するという、「高感度の太陽中性子望遠鏡」を提案していた(Shibata et al., 1991, Sako et al., 2003)。

(4) 高エネルギー加速器研究機構の加速器で生成されたニュートリノを神岡鉱山の検出装置で測定し、ニュートリノ振動を調べようという K2K 実験で使用された SciBar と呼ばれる検出装置が、上に述べた「高感度の太陽中性子望遠鏡」と類似の構造であった。そこで、日本での実験の後、アメリカのフェルミ国立加速器研究所で使用され、役割を終えたところで、その粒子検出器をもらい受け、アメリカと陸続きで、これまで我々が太陽中性子を観測してきたメキシコのシェラネグラ山(海拔 4600 m)に移設、「高感度の太陽中性子望遠鏡」として活用、測定を開始した。

2. 研究の目的

(1) 研究の最終目的は、粒子の加速機構、つまり、太陽フレア時にイオンがいかんして高エネルギーにまで加速されるかを調べることである。そのために、そのイオンが太陽大

気中で作る中性子のエネルギー分布や生成量の時間変化を観測する。中性子を測るのは、太陽地球間の磁場の影響を受けずに直進してくるので、イオンの加速時の情報を保持しているからである。

(2) そこで、「研究開始当初の背景」で述べた SciBar という加速器実験で使用された粒子飛跡検出装置をメキシコのシェラネグラ山に移設し、新型太陽中性子望遠鏡として観測を開始したが、加速器での使用と異なり、宇宙線観測では背景雑音が多いため、観測システムの高速度・実時間処理が必要となった。その開発が本研究の直接の目的である。

3. 研究の方法

(1) 日本において、高速データ取得システムの開発を行う。

(2) メキシコにおいて、シェラネグラ山の麓(海拔 2500 m)および山頂(海拔 4600 m)にて予備観測を行う。

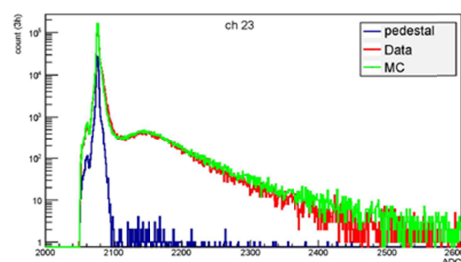
(3) 予備観測による測定結果と、計算機シミュレーションによる予想値を比較検討し、データ取得装置の性能評価の参考資料とする。特に、この資料に基づいて装置の性能に対する計算機シミュレーションを行い、加速器実験と太陽中性子観測での使用条件の相違点を検討し、観測条件設定に反映させる。

(4) 新型太陽中性子望遠鏡に、高速データ取得システムを実装し、性能評価を行う。

4. 研究成果

(1) 加速器実験で使用された粒子飛跡検出装置(SciBar)を、新型太陽中性子望遠鏡としてメキシコのシェラネグラ山頂(4600 m)に設置する前に、麓(海拔 2500 m)の INAOE にて予備観測を行った。その結果と計算機シミュレーションの結果の比較から、観測装置の性能が期待通りであることがわかった(図 1)[雑誌論文(32)]。

図 1. 宇宙線のエネルギー損失の分布



(2) ただし、山頂(4600 m)では、麓よりも背景雑音が多くなることが予想されるため、これまで加速器実験でも用いてきた VME バスではデータ取得が追いつかず、不感時間が多くなり、観測効率が落ちる。実測で、背景雑音が 22 kHz に対し、VME では、1 kHz のデータ取得頻度であった。そこで、TCP/IP をハードウェアで実現した、高速データ取得システムの開発を行った(図 2,3,4)[雑誌論文(31)]。

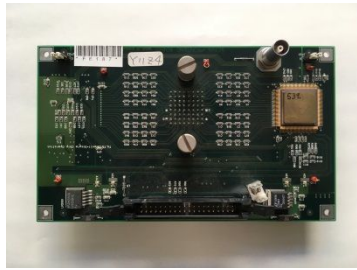


図 2. 高速データ取得システム FEB



図 3. 高速データ取得システム BEB

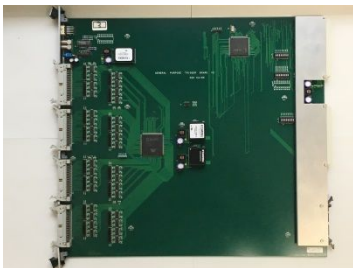


図 4. 高速データ取得システム TRGB

(3) シェラネグラ山頂にて、高速データ取得システムによるデータ収集を開始した(図 5)。メキシコでのデータ解析には、中部大学から送ったサーバーが使用されている。



図 5. 設置された太陽中性子望遠鏡

(4) 高速データ取得開始から現在に至るまでには、メキシコで観測可能なほど大きな太陽フレアは起きていないが、新型太陽中性子望遠鏡の(小型)プロトタイプにての観測結果を論文にまとめた[雑誌論文(16)]。

(5) 日本国内では、粒子弁別方法の検討などが行われた。観測されたデータの中には、中性子らしき飛跡も見つかった(図 6)。

(6) 実際の太陽フレア事象を捕らえることができなかったのは残念ではあるが、本研究の最大の成果は、高速データ取得システムによる実際の観測結果を用いて、新型太陽中性

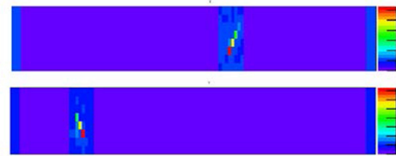


図 6. 中性子事象らしき飛跡

子望遠鏡の性能評価が行われたことである。(1)は、背景雑音の少ない場合の結果であったが、新たに開発された高速データ取得システムを用いることで、背景雑音が多くても、それと比べて遜色ない結果を得ることができた[雑誌論文(12)]。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 40 件)

(1) K.P.Arunbabu, S.Ahmad, A.Chandra, S.R.Dugad, S.K.Gupta, B.Hariharan, Y.Hayashi, P.Jagadeesan, A.Jain, V.B.Jhansi, S.Kawakami, H.Kojima, P.K.Mohanty, S.D.Morris, P.K.Nayak, A.Oshima, B.S.Rao, L.V.Reddy, S.Shibata, K.Tanaka, M.Zuberi, Dependence of the muon intensity on the atmospheric temperature measured by the GRAPES-3, Astroparticle Physics, 査読有り, Vol.94, 2017, p.22-28, DOI:10.1016/j.astropartphys.2017.07.002

(2) K.P.Arunbabu, S.R.Dugad, S.K.Gupta, B.Hariharan, Y.Hayashi, P.Jagadeesan, A.Jain, V.B.Jhansi, S.Kawakami, H.Kojima, P.K.Mohanty, S.D.Morris, P.K.Nayak, A.Oshima, B.S.Rao, L.V.Reddy, S.Shibata, P.Subramanian, Diffusion of cosmic rays in heliosphere, observations from GRAPES-3, Proc. 35th Int. Cosmic Ray Conf., 査読無し, ID:011, 2017, p.1-4, <https://pos.sissa.it/301/011>

(3) M.Anzorena, J.F.Valdes-Galicia, R.Garcia, Y.Matsubara, Y.Sasai, T.Kawabata, E.Ortiz, L.X.Gonzalez, O.Musalem, A.Hurtado, M.Barrantes, R.Taylor, Y.Itow, T.Sako, A.Tsuchiya, K.Munakata, C.Kato, Y.Nakamura, T.Oshima, T.Koike, S.Shibata, A.Oshima, H.Takamaru, H.Kojima, H.Tsuchiya, K.Watanabe, M.Kozai, T.Koi, Current status of SciCRT experiment and its expected future performance, Proc. 35th Int. Cosmic Ray Conf., 査読無し, ID:051, 2017, p.1-4, <https://pos.sissa.it/301/051>

(4) R.Garcia, J.F.Valdes-Galicia, M.Anzorena, E.Ortiz, L.X.Gonzalez, O.Musalem, A.Hurtado, M.Barrantes, R.Taylor, Y.Matsubara, Y.Sasai, Y.Itow, T.Sako, T.Kawabata, A.Tsuchiya, K.Munakata, C.Kato, Y.Nakamura, T.Oshima,

- T.Koike, S.Shibata, A.Oshima, H.Takamaru, H.Kojima, H.Tsuchiya, K.Watanabe, M.Kozai, T.Koi, Development of a pattern recognition algorithm for particle identification on the SciCRT in the Sierra Negra Volcano Summit, Proc. 35th Int. Cosmic Ray Conf., 査読無し, ID:052, 2017, p.1-4, <https://pos.sissa.it/301/052>
- (5) M.Anzorena, J.F.Valdes-Galicia, R.Garcia, Y.Matsubara, Y.Sasai, T.Kawabata, E.Ortiz, L.X.Gonzalez, O.Musalem, A.Hurtado, M.Barrantes, R.Taylor, Y.Itow, T.Sako, A.Tsuchiya, K.Munakata, C.Kato, Y.Nakamura, T.Oshima, T.Koike, S.Shibata, A.Oshima, H.Takamaru, H.Kojima, H.Tsuchiya, K.Watanabe, M.Kozai, T.Koi, Development of faster front end electronics for the SciCRT detector at Sierra Negra, Mexico, Proc. 35th Int. Cosmic Ray Conf., 査読無し, ID:053, 2017, p.1-4, <https://pos.sissa.it/301/053>
- (6) P.K.Mohanty, K.P.Arunbabu, S.R.Dugad, S.K.Gupta, B.Hariharan, Y.Hayashi, P.Jagadeesan, A.Jain, S.Kawakami, H.Kojima, S.D.Morris, A.Oshima, B.S.Rao, S.Shibata, P.Subramanian, Transient weakening of geomagnetic shield probed by GRAPES-3 experiment, Proc. 35th Int. Cosmic Ray Conf., 査読無し, ID:092, 2017, p.1-4, <https://pos.sissa.it/301/092>
- (7) Y.Sasai, Y.Matsubara, Y.Itow, T.Sako, T.Kawabata, A.Tsuchiya, K.Munakata, C.Kato, Y.Nakamura, T.Oshima, T.Koike, S.Shibata, A.Oshima, H.Takamaru, H.Kojima, H.Tsuchiya, K.Watanabe, M.Kozai, T.Koi, J.F.Valdes-Galicia, E.Ortiz, O.Musalem, A.Hurtado, R.Garcia, M.Anzorena, M.Barrantes, R.Taylor, L.X.Gonzalez, Sensitivity of the SciBar Cosmic Ray Telescope (SciCRT) to solar neutrons, Proc. 35th Int. Cosmic Ray Conf., 査読無し, ID:101, 2017, p.1-4, <https://pos.sissa.it/301/101>
- (8) K.Kamiya, K.Koga, S.Masuda, H.Matsumoto, Y.Muraki, T.Obara, O.Okudaira, Y.Tanaka, S.Shibata, T.Goka, Proton Acceleration by Very Impulsive Flare on June 3, 2012, Proc. 35th Int. Cosmic Ray Conf., 査読無し, ID:115, 2017, p.1-4, <https://pos.sissa.it/301/115>
- (9) K.Kamiya, K.Goga, S.Masuda, H.Matsumoto, Y.Muraki, S.Shibata, Y.Tanaka, Angular Distribution of Solar Gamma Rays and Solar Neutrons Simulated by GEANT4 Program, Proc. 35th Int. Cosmic Ray Conf., 査読無し, ID:116, 2017, p.1-4, <https://pos.sissa.it/301/116>
- (10) Y.Muraki, J.F.Valdes-Galicia, L.X.Gonzalez, K.Kamiya, Y.Katayose, K.Koga, H.Matsumoto, S.Masuda, Y.Matsubara, Y.Nagai, M.Ohnishi, S.Ozawa, T.Sako, S.Shibata, M.Takita, Y.Tanaka, H.Tsuchiya, K.Watanabe, J.L.Zhang, Analysis of Solar Gamma Rays and Solar Neutrons detected on March 7th and September 25th of 2011 by Ground Level Neutron Telescopes, SEDA-FIB and FERMI-LAT, Proc. 35th Int. Cosmic Ray Conf., 査読無し, ID:136, 2017, p.1-4., <https://pos.sissa.it/301/136>
- (11) K.P.Arunbabu, S.Ahmad, A.Chandra, S.R.Dugad, S.K.Gupta B.Hariharan Y.Hayashi, P.Jagadeesan, A.Jain, V.B.Jhansi, S.Kawakami, H.Kojima, P.K.Mohanty, S.D.Morris, P.K.Nayak, A.Oshima, B.S.Rao, L.V.Reddy, S.Shibata, K.Tanaka, M.Zuberi, Atmospheric temperature dependence of muon intensity measured by the GRAPES-3 experiment, Proc. 35th Int. Cosmic Ray Conf., 査読無し, ID:304, 2017, p.1-4, <https://pos.sissa.it/301/304>
- (12) Y.Sasai, Y.Matsubara, Y.Itow, T.Sako, T.Kawabata, D.Lopez, R.Hikimochi, A.Tsuchiya, M.Ikeno, T.Uchida, M.Tanaka, K.Munakata, C.Kato, Y.Nakamura, T.Oshima, T.Koike, M.Kozai, S.Shibata, A.Oshima, H.Takamaru, H.Kojima, H.Tsuchiya, K.Watanabe, T.Koi, J.F.Valdes-Galicia, E.Ortiz, O.Musalem, A.Hurtado, R.Garcia, M.Anzorena, R.Taylor, M.Barrantes, L.X.Gonzalez, A faster and more reliable data acquisition system for the full performance of the SciCRT, Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. A, 査読有り, Vol.857, 2017, p.50 - 57, DOI:10.1016/j.nima. 2016.12.060
- (13) Y.Muraki, K.Kamiya, K.Koga, H.Matsumoto, S.Shibata, A photon observed by the SEDA-FIB detector on the arrival of the gravitational wave, High Energy Astrophysical Phenomena, 査読無し, arXiv:1611.09514, 2016, p.1-9
- (14) P.K.Mohanty, K.P.Arunbabu, T.Aziz, S.R.Dugad, S.K.Gupta, B.Hariharan, P.Jgadeesan, A.Jain, S.D.Morris, B.S.Rao, Y.Hayashi, S.Kawakami, A.Oshima, S.Shibata, S.Raha, P.Subramanian, H.Kojima, Transient Weakening of Earth's Magnetic Shield Probed by a Cosmic Ray Burst, Phys. Rev. Lett. 査読有り, Vol.117, 171101, 2016, p.1-5, DOI:10.1103/PhysRevLett.117.171101
- (15) Y.Muraki, D.Lopez, K.Koga, F.Kakimoto, T.Goka, L.X.Gonzalez, S.Masuda, Y.Matsubara, H.Matsumoto, P.Miranda, O.Okudaira, T.Obara, J.Salinas, T.Sako, S.Shibata, R.Ticona, Y.Tsunesada, J.F.Valdes-Galicia, K.Watanabe, T.Yamamoto, Simultaneous Observation of

Solar Neutrons from the International Space Station and High Mountain Observatories in Association with a Flare on July 8, 2014, *Solar Phys.* 査読有り, Vol.291, 2016, p.1241-1265, DOI:10.1007/s11207-016-0887-0

(16) E.Ortiz, J.F.Valdes-Galicia, Y.Matsubara, Y.Nagai, A.Hurtado, O.Musalem, R.Garcia, M.A.Anzorna, L.X.Gonzalez, Y.Itow, T.Sako, D.Lopez, Y.Sasai, K.Munakata, C.Kato, M.Kozai, S.Shibata, H.Takamaru, H.Kojima, K.Watanabe, H.Tsuchiya, T.Koi, Observation of cosmic ray hadrons at the top of the Sierra Negra volcano in Mexico with the SciCRT prototype, *Advances in Space Research*, 査読有り, Vol.58, 2016, p.2018-2025, DOI:10.1016/j.asr.2016.02.008

(17) P.K.Mohanty, S.Ahmad, H.M.Antia, K.P.Arunbabu, A.Chandra, S.R.Dugad, S.K.Gupta, B.Hariharan, Y.Hayashi, P.Jagadeesan, A.Jain, S.Kawakami, H.Kojima, S.D.Morris, P.K.Nayak, A.Oshima, B.S.Rao, L.V.Reddy, S.Shibata, Fast Fourier transform to measure pressure coefficient of muons in the GRAPES-3 experiment, *Astroparticle Physics*, 査読有り, Vol.79, 2016, p.23-30, DOI:10.1016/j.astropartphys.2016.02.006

(18) L.X.Gonzalez, J.F.Valdes-Galicia, F.Sanchez, Y.Muraki, T.Sako, K.Watanabe, Y.Matsubara, Y.Nagai, S.Shibata, T.Sakai, O.Musalem, A.Hurtado, Re-evaluation of the neutron emission from the solar flare of september 7, 2005, detected by the solar neutron telescope at Sierra Negra, *The Astrophysical Journal*, 査読有り, Vol.814, 2015, p.136, DOI:10.1088/0004-637X/814/2/136

(19) E.Ortiz, J.F.Valdes-Galicia, Y.Matsubara, Y.Nagai, Y.Muraki, A.Hurtado, O.Musalem, R.Garcia, M.A.Anzorna, L.X.Gonzalez, Y.Itow, T.Sako, D.Lopez, Y.Sasai, K.Munakata, C.Kato, S.Shibata, H.Takamaru, H.Kojima, K.Watanabe, H.Tsuchiya, T.Koi, Observation of Cosmic Ray at the top of the Sierra Negra volcano in Mexico with the SciCRT prototype, *Revista Mexicana de Fisica*, 査読有り, Vol.61, 2015, p.466-474. https://rmf.smf.mx/pdf/rmf/61/6/61_6_466.pdf

(20) P.K.Mohanty, H.M.Antia, K.P.Arunbabu, S.R.Dugad, S.K.Gupta, B.Hariharan, Y.Hayashi, P.Jgadeesan, A.Jain, S.Kawakami, H.Kojima, S.D.Morris, P.K.Nayak, T.Nonaka, A.Oshima, B.S.Rao, S.Shibata, P.Subramanian, K.Tanaka, Measurements of solar diurnal anisotropy

with GRAPES-3 experiment, *Proc. 34th Int. Cosmic Ray Conf.*, 査読無し, ID:036(#42), 2015, <https://pos.sissa.it/236/042/pdf>

(21) P.K.Mohanty, H.M.Antia, K.P.Arunbabu, S.R.Dugad, S.K.Gupta, B.Hariharan, Y.Hayashi, P.Jgadeesan, A.Jain, S.Kawakami, H.Kojima, S.D.Morris, P.K.Nayak, T.Nonaka, A.Oshima, B.S.Rao, S.Shibata, P.Subramanian, K.Tanaka, A new method for determining atmospheric pressure coefficient using fast Fourier transform for muons in the GRAPES-3 experiment, *Proc. 34th Int. Cosmic Ray Conf.*, 査読無し, ID:039(#45), 2015, <https://pos.sissa.it/236/045/pdf>

(22) Y.Muraki, D.Lopez, K.Koga, F.Kakimoto, T.Goka, L.X.Gonzalez, S.Masuda, Y.Matsubara, H.Matsumoto, P.Miranda, O.Okudaira, T.Obara, J.Salinas, T.Sako, S.Shibata, R.Ticona, Y.Tsunesada, J.F.Valdes-Galicia, K.Watanabe, T.Yamamoto, Simultaneous Observation of Solar Neutrons from the ISS and High Mountain Observatories in association with a flare on July 8, 2014, *Proc. 34th Int. Cosmic Ray Conf.*, 査読無し, ID:088(#50), 2015, <https://pos.sissa.it/236/050/pdf>

(23) H.Kojima, S.Shibata, A.Oshima, Y.Hayashi, S.Kawakami, I.Morishita, H.Nakamura, T.Nonaka, S.Ogio, H.Takamaru, K.Tanaka, N.Ito, T.Matsuyama, K.Yamazaki, M.Tokumaru, S.K.Gupta, H.M.Antia, S.R.Dugad, P.K.Mohanty, A.Jain, B.S.Rao, An estimation of the diffusion coefficient of galactic cosmic rays in the heliosphere near the Earth, *Proc. 34th Int. Cosmic Ray Conf.*, 査読無し, ID:160(#61), 2015, <https://pos.sissa.it/236/061/pdf>

(24) H.Kojima, S.Shibata, A.Oshima, Y.Hayashi, S.Kawakami, I.Morishita, H.Nakamura, T.Nonaka, S.Ogio, H.Takamaru, K.Tanaka, N.Ito, T.Matsuyama, K.Yamazaki, M.Tokumaru, S.K.Gupta, H.M.Antia, S.R.Dugad, P.K.Mohanty, A.Jain, B.S.Rao, Rigidity dependence of the intensity variations of galactic cosmic rays, *Proc. 34th Int. Cosmic Ray Conf.*, 査読無し, ID:163(#62), 2015, <https://pos.sissa.it/236/062/pdf>

(25) K.Koga, H.Matsumoto, O.Okudaira, T.Goka, T.Obara, S.Masuda, Y.Muraki, S.Shibata, T.Yamamoto, Results of a Measurement of Solar Neutrons Emitted on March 5, 2012 using a Fiber-type neutron monitor onboard the SEDA-AP attached to the ISS, *Proc. 34th Int. Cosmic Ray Conf.*, 査読無し, ID:266(#68), 2015, <https://pos.sissa.it/236/068/pdf>

(26) K.Koga, S.Masuda, H.Matsumoto,

Y.Muraki, T.Obara, O.Okudaira, S.Shibata, T.Yamamoto, T.Goka, The Search for >35 MeV Neutrons from the June 3, 2012 Impulsive Flare, Proc. 34th Int. Cosmic Ray Conf., 査読無し, ID:769(#100), 2015, <https://pos.sissa.it/236/100/pdf>

(27) Y.Sasai, T.Kawabata, M.Ikeno, T.Uchida, M.Tanaka, Y.Matsubara, Y.Itow, T.Sako, D.Lopez, R.Hikimochi, K.Munakata, C.Kato, M.Kozai, T.Nakajima, Y.Nakamura, S.Shibata, A.Oshima, H.Takamaru, H.Kojima, H.Tsuchiya, K.Watanabe, T.Koi, J.F.Valdes-Galicia, E.Ortiz, O.Musalem, A.Hurtado, R.Garcia, M.Anzorena, R.Taylor, M.Barrantes, L.X.Gonzalez, Upgrade of a data acquisition system for SciBar Cosmic Ray Telescope (SciCRT) at Mt. Sierra Negra, Mexico, Proc. 34th Int. Cosmic Ray Conf., 査読無し, ID:911(#644), 2015, <https://pos.sissa.it/236/644/pdf>

(28) H.Kojima, H.M.Antia, S.R.Dugad, S.K.Gupta, P.Jagadeesan, A.Jain, P.K.Mohanty, B.S.Rao, Y.Hayashi, S.Kawakami, T.Nonaka, A.Oshima, S.Shibata, K.Tanaka, Dependence of cosmic ray intensity on variation of solar wind velocity measured by the GRAPES-3 experiment for space weather studies, Phys. Rev. D91, 査読有り, 121303(R), 2015, DOI:10.1103/PhysRevD.91.121303

(29) Y.Muraki, T.Mitsutani, S.Shibata, S.Kuramata, K.Masuda, K.Nagaya, Regional climate pattern during two millennia estimated from annual tree rings of Yaku cedar trees: a hint for solar variability?, Earth, Planets and Space, 査読有り, 2015, 67:31, DOI:10.1186/s40623-015-0198-y

(30) H.Kojima, H.M.Antia, S.R.Dugad, S.K.Gupta, Y.Hayashi, P.Jagadeesan, A.Jain, S.Kawakami, P.K.Mohanty, T.Nonaka, A.Oshima, B.S.Rao, S.Shibata, Measurement of the radial density gradient of cosmic ray in the heliosphere by the GRAPES-3 experiment, Astroparticle Physics, 査読有り, Vol.62, 2015, p.21-29, DOI:10.1016/j.astropartphys.2014.07.003

(31) Y.Sasai, Y.Nagai, Y.Itow, Y.Matsubara, T.Sako, D.Lopez, T.Itow, K.Munakata, C.Kato, M.Kozai, T.Miyazaki, S.Shibata, A.Oshima, H.Kojima, H.Tsuchiya, K.Watanabe, T.Koi, J.F.Valdes-Galicia, L.X.Gonzalez, E.Ortiz, O.Musalem, A.Hurtado, R.Garcia, M.Anzorena, Performance of the SciBar cosmic ray telescope (SciCRT) toward the detection of high energy solar neutrons in solar cycle 24, Earth, Planets and Space, 査読有り, 2014, 66:130, DOI:10.1186/1880-5981-66-130

(32) Y.Nagai, Y.Matsubara, Y.Itow, T.Sako,

D.Lopez, Y.Sasai, T.Itow, K.Munakata, C.Kato, M.Kozai, T.Miyazaki, S.Shibata, H.Takamaru, H.Kojima, H.Tsuchiya, K.Watanabe, T.Koi, J.F.Valdes-Galicia, A.Hurtado, O.Musalem, E.Ortiz, L.X.Gonzalez, M.Anzorena, R.Garcia, First cosmic-ray measurements by the SciCRT solar neutron experiment in Mexico, Astroparticle Physics, 査読有り, Vol. 59, 2014, p.39-46, DOI:10.1016/j.astropartphys.2014.04.005

〔学会発表〕(計 49 件)

(1) 松原豊, SciCRT による太陽中性子観測 XIII 進捗状況, 日本物理学会第 73 回年次大会, 2018 年

(2) 柴田祥一, 新計算結果を用いた 1991 年 6 月の巨大太陽フレアの再解析, 日本物理学会秋季大会, 2017 年

(3) 土屋暁, SciCRT による太陽中性子観測 XI シェラネグラで得られたデータ解析の現状, 日本物理学会第 72 回年次大会, 2017 年

(4) 佐々井義矩, SciCRT による太陽中性子観測 X 進捗報告, 日本物理学会第 72 回年次大会, 2017 年

(5) 柴田祥一, SEDA-FIB による太陽中性子の観測(11), 日本物理学会第 72 回年次大会, 2017 年

〔その他〕

ホームページ等

名古屋大学宇宙地球環境研究所宇宙線研究室: <http://www.isee.nagoya-u.ac.jp/CR/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柴田 祥一 (SHIBATA, Shoichi)

中部大学・工学部・教授

研究者番号: 20267909

(3) 連携研究者

高丸 尚教 (TAKAMARU, Hisanori)

中部大学・工学部・教授

研究者番号: 20241234

大嶋 晃敏 (OSHIMA, Akitoshi)

中部大学・工学部・准教授

研究者番号: 10546336

小島 浩司 (KOJIMA, Hiroshi)

愛知工業大学・工学部・教授(客員)

研究者番号: 80125111

土屋 晴文 (TSUCHIYA, Harufumi)

日本原子力研究開発機構・研究副主幹

研究者番号: 70415230