

ジオスペース研究センター・プロジェクト「特異な太陽活動周期における太陽圏3次元構造の変遷と粒子加速の研究」H25年度報告書

H26.02.28

プロジェクトリーダー：徳丸宗利

所内メンバー：藤木謙一、伊藤好孝、松原 豊、埴 隆志、増田 智

実施状況

第24太陽活動周期は、過去の周期と比べ黒点の出現が少なく、極磁場が弱いことや高速太陽風の動圧が弱まっているなどの特異性がある。本プロジェクトは、この第24太陽活動周期において太陽圏の3次元構造がどのように変貌してゆくかを、国内外の研究者との共同研究を通じて明らかにしてゆこうとしている。また、同周期における太陽圏観測から粒子加速機構の解明も目指す。具体的には、次の3つ項目について取り組んでいる。

- 1) 惑星間空間磁場 (IMF) の大規模構造とその時間変動を明らかにするため、全球的なミュオン宇宙線観測網を整備する。
- 2) 太陽風の3次元構造とその時間変動を明らかにするため、名大STE研の惑星間空間シンチレーション (IPS) 観測システムを更新する。
- 3) Solar Mass Ejection Imager (SMEI) などの太陽圏撮像観測とIPS観測を組み合わせることで、太陽風の大規模構造やCMEの伝搬過程について調査する。

各課題に関する活動報告は以下の通り。

- 1) 宇宙線強度のモジュレーションから惑星間空間磁場の大規模構造を正確に捉えるには、全方向を漏れなくカバーできる汎世界的なネットワークが必要になる。このため、我々はこれまで信州大学・宗像教授のグループと共同して、名古屋ーホバート (豪)ーSao Martinho (ブラジル)ーキューートに設置した多方向ミュオン計ネットワーク (Global Muon Detector Network; GMDN) の整備を行ってきた。ここで課題となってきたのが、北米から南西インド洋上空の観測空白域である。この空白域を埋めるため、平成23年度よりメキシコSierra Negra山頂 (標高4580m) に入射方向分解能の高い宇宙線検出器を設置する計画を開始した。同地にはSTE研宇宙線グループが新しい太陽中性子観測装置SciCRTを開発中であり、本計画ではその装置をミュオン宇宙線の検出器として利用する。昨年度までにメキシコ国立天文光学電気研究所 (INAOE) にて検出器の組み上げが完了しており、今年度はこの検出器をSierra Negra山頂へ移設した。移設後の試験観測において、入射ミュオンの90%が検出でき、入射方向の決定精度も高いことが確認できた。今後、できるだけ早期に定常観測を開始する予定である。移設・調整の作業のため、信州大学・加藤が地上ネットワーク観測大型共同研究 (一般) の経費にてメキシコへ出張している。一方、千葉大学にGMDNの研究者が着任したことに伴って、PCなどの研究環境の整備を支援した。



2013年4月に、メキシコ INAOE から移送され、Sierra Negra 山頂で組上げられた SciCRT 検出器 (左)。観測小屋内でマルチアノード光電子増倍管 (MA-PMT) と計測システムが接続され、試験観測を開始した SciCRT (右)。

我々は愛知工業大・小島教授、大阪市大・林教授らのグループと共同で Ooty (印) の超大型ミュオン望遠鏡 GRAPES-3 (総面積 560 m²) を用いた宇宙線強度変動と CME の研究を平成 20 年度から実施している。この比類のない面積を持った宇宙線計を用いた観測からは、細かな角度分解能でミュオン強度の分布を決定することができ (天空を角度 7 度で 225 のセルに分割)、Forbush decrease (FD) や GLE に伴う宇宙線強度の空間分布を詳細に調べることが可能になる。本装置の持つ高分解能は、特異な太陽活動に伴う IMF の 3 次元構造の研究にとっても強みとなる。目下、本装置は面積を 980 m² へ拡張する作業が行われている。今年度は、昨年度に引き続き、林、小島らが現地を訪れ (地上ネットワーク観測大型共同研究)、開発作業に参加した。また昨年度に GRAPES-3 データをインターネット経由で迅速に入手できるようにしたが、今年度は取得したデータの処理効率を改善するソフトの開発を行った。取得した GRAPES-3 データから 2000 年～2012 年の期間に発生した FD イベントについて rigidity 依存性や太陽風・IMF との関連を調査している。



写真左は現地における比例計数管を真空作業の様子。写真右は真空計装置の一部。

- 2) 平成 24 年度補正予算および科研費基盤 A (平成 25 年度～) が採択されたことにより、我々は今年度に富士・木曽・菅平アンテナの大規模な更新作業を行った。この更新では、富士・木曽アンテナに豊川アンテナに搭載されているのと同性能の低雑音受信機 FE327-V5 を組み込むとともに、位相・利得校正システムおよび受信機雑音測定システムを新たに開発し取り付ける。また、木曽アンテナでは新型の駆動制御システムを導入する。さらに、富士・木曽・菅平アンテナのパラボラ反射面を作り直し、塗装や防水対策などを行う。更新作業のため、今年度の太陽風観測は 8 月下旬で終了した。現在、富士アンテナについて低雑音受信機や位相・利得校正システムの調整作業を実施している。木曽アンテナへの低雑音受信機の組み込み作業は来春(雪解け)以降に実施予定である。今年度に取得した太陽風データからは、北極上空に高速風が再出現していること、南極上空は依然として低速風が支配的であること、等が示された。このことは、サイクル 24 は極大を過ぎて現在下降期に入りつつあることを示している。
- 3) 今年度 11 月に名古屋大学において CAWSES-2 シンポジウムが開催された。この機会を利用して、海外の IPS 研究者を招聘し、STE 研において IPS 国際ワークショップを開催した(招聘旅費は科研費基盤 A から支出)。開催期間は CAWSES-2 終了後の 11 月 23-24 日、参加者は 23 名。この IPS ワークショップでは、IPS データの解析法や最近の研究成果、将来計画について活発な議論が行われた。会議におけるプレゼン資料は以下の URL から入手できる
(http://stsw1.stelab.nagoya-u.ac.jp/ips_nagoya.html)。また、ワークショップ後の数日間、米国 UCSD のグループと韓国宇宙天気センターのグループが名古屋大学に滞在し、IPS 観測データを用いた太陽風予報に関する共同研究に関する議論を行った。



国際 IPS ワークショップの様子 (2013 年 11 月 23-24 日)

論文リスト (2012 年以降に出版された査読付き論文)

1. Y. Nagai et al., “First cosmic-ray measurements by the SciCRT solar neutron experiment in Mexico”, submitted to *Astroparticle Physics*, 2014.
2. ROCKENBACH, M., Dal Lago, A., Schuch, N.J., Munakata, K., Kuwabara, T., Oliveira, A.G., E. Echer, Braga, C.R., Mendonca, R.R.S., Kato C., Yasue, S., Tokumaru, M., Bieber, J.W., Evenson P., Duldig, M. L., Humble, J. E., Al Jassar, H. K., Sharma M. M., Sabbah, I., GLOBAL MUON DETECTOR NETWORK USED FOR SPACE WEATHER PURPOSE, Submitted to *Space Science Reviews*, 2014.
3. M. Kozai et al., “The spatial density gradient of galactic cosmic rays and its solar cycle variation observed with the Global Muon Detector Network”, *Proc. 33rd Internat. Cosmic Ray Conf. (Rio de Janeiro)*, paper ID 183, 2013.
4. K. Munakata et al., “Long term variation of the solar diurnal anisotropy of galactic cosmic rays over four solar activity cycles”, *Proc. 33rd Internat. Cosmic Ray Conf. (Rio de Janeiro)*, paper ID 39, 2013.
5. Y. Nagai et al., “Properties of a new cosmic ray detector (SciCRT) installed at Mt. Sierra Negra Mexico”, *Proc. 33rd Internat. Cosmic Ray Conf. (Rio de Janeiro)*, paper ID 400, 2013.
6. Y. Nagai et al., “The observation of solar neutrons by a new experiment (SciCRT) using a very sensitive cosmic-ray detector”, *Proc. 33rd Internat. Cosmic Ray Conf. (Rio de Janeiro)*, paper ID 392, 2013.
7. Y. Sasai et al., “Development of a fast data taking system for a new cosmic ray detector (SciCRT) at Mt. Sierra Negra, Mexico”, *Proc. 33rd Internat. Cosmic Ray Conf. (Rio de Janeiro)*, paper ID 402, 2013.
8. 宗像一起, “銀河宇宙線強度の汎世界的ネットワーク観測”, *日本物理探査学会誌*65巻第3号, pp173-179, 2012.
9. Ken'ichi Fujiki, Haruichi Washimi, Keiji Hayashi, Gary P. Zank, Munetoshi Tokumaru, Takashi Tanaka, Vladimir Florinski, and Yuki Kubo, MHD Analysis of the Velocity Oscillations in the Outer Heliosphere, *Geophysical Research Letters*, in press, 2014.
10. T. K. Kim, N. V. Pogorelov, S. N. Borovikov, B. V. Jackson, H.-S. Yu, M. Tokumaru, Modeling the Heliosphere Using Tomographic Reconstruction of the Solar Wind from Interplanetary Scintillation Observations as Boundary Conditions, Submitted to *Journal of Geophysical Research*, 2014.
11. E. Aguilar-Rodriguez, M. Rodriguez-Martinez, E. Romero-Hernandez, J. C. Mejia-Ambriz, J. A. Gonzalez-Esparza, and M. Tokumaru, The wavelet transform function to analyze interplanetary scintillation observations, Submitted to *Geophysical Research Letters*, 2014.
12. Mejia-Ambriz, J.C., B.V. Jackson, J.A. Gonzalez-Esparsa, A. Buffington, M. Tokumaru, E. Aguilar-Rodriguez, Remote sensing of solar wind speeds using IPS at 140 and 327 MHz: MEXART and STEL, Submitted to *Solar Physics*, 2014.
13. Iju, T., M. Tokumaru, and K. Fujiki, Kinematic properties of slow ICMEs and an interpretation of a modified drag equation, *Solar Physics*, in press, 2014.
14. Iju, T., M. Tokumaru, and K. Fujiki, Radial speed evolution of interplanetary coronal mass ejections during solar cycle 23, *Solar Physics*, Vol. 286 (1), 331-353, 2013.
15. Iju, T., M. Tokumaru, and K. Fujiki, Kinematics of Interplanetary Coronal Mass Ejections in the Inner Heliosphere, *Proceedings of Solar Wind 13, AIP, (AIP Conf. Proc. 1539)*, 183-186 (2013) (doi: 10.1063/1.4811018).

16. Tokumaru, M., K. Fujiki, and M. Kojima, Evolution of global distribution of the solar wind from cycle 23 to the early phase of cycle 24, *Proceedings of Solar Wind 13*, AIP, (AIP Conf. Proc. 1539), 275-278 (2013) (doi: 10.1063/1.4811041).
17. Bzowski, M., Sokol, J.M., Tokumaru, M., Fujiki, K., Quemerais, E., Lallement, R., Ferron, S., Bochsler, P., McComas, D.J., 2013, Solar parameters for modeling the interplanetary background, Chapter 3 in "Cross-Calibration of Past and Present Far UV Spectra of Solar System Objects and the Heliosphere", ISSI Scientific Report Series 13, ed. R.M. Bonnet, E. Quemerais, M. Snow, Springer Science+Business Media, New York, pp 67-138, 2013, 10.1007/978-1-4614-6384-9_3 (astro-ph/1112.2967).
18. Tokumaru, M., Three-dimensional exploration of the solar wind using observations of interplanetary scintillation, *Proceedings of the Japan Academy Ser. B*, Vol.89(2), pp.67-79, 2013.
19. Kojima, M., W. A. Coles, M. Tokumaru, and K. Fujiki, Scintillation Measurements of the Solar Wind Velocity in Strong Scattering Near the Sun, *Solar Physics*, Vol. 283 (2), pp 519-540, 2013.
20. Sokol, J.M., M. Bzowski, M. Tokumaru, K. Fujiki, D.J. McComas, Heliolatitude and time variation of solar wind structure from in-situ measurements and interplanetary scintillation observations, *Solar Physics*, Vol. 285, Issue 1, page:167-200, 2013 (doi:10.1007/s11207-012-993-9)
21. Jackson, B.V., J. M. Clover, P. P. Hick, A. Buffington, M. M. Bisi, M. Tokumaru, Inclusion of Real-Time in-situ Measurements into the UCSD Time-Dependent Tomography and Its Use as a Forecast Algorithm, *Sol. Phys.*, Vol.285, pp.151-165, 2013 (DOI 10.1007/s11207-012-0102-x)
22. McComas, D.J., M.A. Dayeh, F. Allegrini, M. Bzowski, R. DeMajistre, K. Fujiki, H.O. Funsten, S.A. Fuselier, M. Gruntman, P.H. Janzen, M.A. Kubiak, H. Kucharek, G. Livadiotis, E. Mobius, D.B. Reisenfeld, M. Reno, N.A. Schwadron, J.M. Sokol, M. Tokumaru, The first three years of IBEX observations and our evolving heliosphere, *Astrophysical Journal*, 203, 1-36, 2012 (doi:10.1088/0067-0049/203/1/1).
23. Tokumaru, M., M. Kojima, and K. Fujiki, Long-term evolution in the global distribution of solar wind speed and density fluctuations for 1997-2009, *J. Geophys. Res.*, Vol. 117, A06108, 2012 (doi:10.1029/2011ja017379).
24. Tokumaru, M., K. Fujiki, H. Itoh, T. Iju, M. Kojima, Global Observations of Evolving 3D Solar Wind Structure, *Proceedings fo 3rd Hinode Scientific Meeting*, edited by T. Sekii, *Astronomical Society of the Pacific* (isbn: 978-1-58381-790-2), Vol.454, pp.413-420, 2012.
25. Tokumaru, M., S. Fujimaki, M. Higashiyama, A. Yokobe, T. Ohmi, K. Fujiki, and M. Kojima, Two-station interplanetary scintillation measurements of solar wind speed near the Sun using the X-band radio signal of Nozomi spacecraft, *Solar Physics*, Vol.276, issue 1-2, pp315-336, 2012 (doi:10.1007/s11207-011-9864-9).
26. McComas, D.J., M.A. Dayeh, F. Allegrini, M. Bzowski, R. DeMajistre, K. Fujiki, H.O. Funsten, S.A. Fuselier, M. Gruntman, P.H. Janzen, M.A. Kubiak, H. Kucharek, G. Livadiotis, E. Mobius, D.B. Reisenfeld, M. Reno, N.A. Schwadron, J.M. Sokol, M. Tokumaru, The first three years of IBEX observations and our evolving heliosphere, *Astrophysical Journal*, 203, 1-36, 2012 (doi:10.1088/0067-0049/203/1/1).
27. Washimi, H. K. Hayashi, M. Tokumaru, G. P. Zank, Q. Hu, T. Tanaka, V. Florinski, J. Adams, and Y. Kubo, "Preliminary analysis of dynamics and realistic heliosphere using interplanetary scintillation and photospheric magnetic data", *AIP Conf. Proc.*

1436, *Physics of the Heliosphere: A 10 years retrospective*, 350-355, 2012
(doi:10.1063/1.4723630).

28. Thompson, B.J, S.E. Gibson, P.C. Schroeder, D.F. Webb, C.N. Arge, M.M. Bisi, G. de Toma, B.A. Emery, A.B. Galvin, D.A.Haber, B.V. Jackson, E.A. Jensen, R.J. Leamon, J. Lei, P.K. Manoharan, M. Leila Mays, P.S. McIntosh, G.J.D. Petrie, S.P. Plunkett, L. Qian, P. Riley, Steven T, Suess, M. Tokumaru, B.T. Welsch, T.N. Woods, A snapshot of the sun near solar minimum, *The Whole Heliospheric Interval*, *Solar Physics*, 2012, Vol. 276, pp315-336 (DOI 10.1007/s11207-011-9864-9).