

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、昨年度からメキシコ高山に入射方向分解能の高い新宇宙線計を設置する計画に着手した。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 を開発しようとしており、その装置をミュオン宇宙線の検出器として利用する計画である。今年度は、標高2150mにあるメキシコ国立天文光学電気研究所 (INAOE) にて検出器を組み上げ、実際のサイズの検出器によるミュオン宇宙線の予備観測を実施した。この作業のため信州大学・宮崎が地上ネットワーク観測大型共同研究 (一般) の経費にて出張した。SciCRT ではミュオンより遙かに確率が低い太陽中性子の観測を目的としているため、ミュオン観測について固有のトリガー条件を最適化する必要がある。今回の予備実験の結果、入射ミュオンの約90%が検出可能なトリガー条件を設定することができた。また、入射方向も高い精度で決定することが可能なことも確かめられた。来年度の早期に、同検出器を Sierra

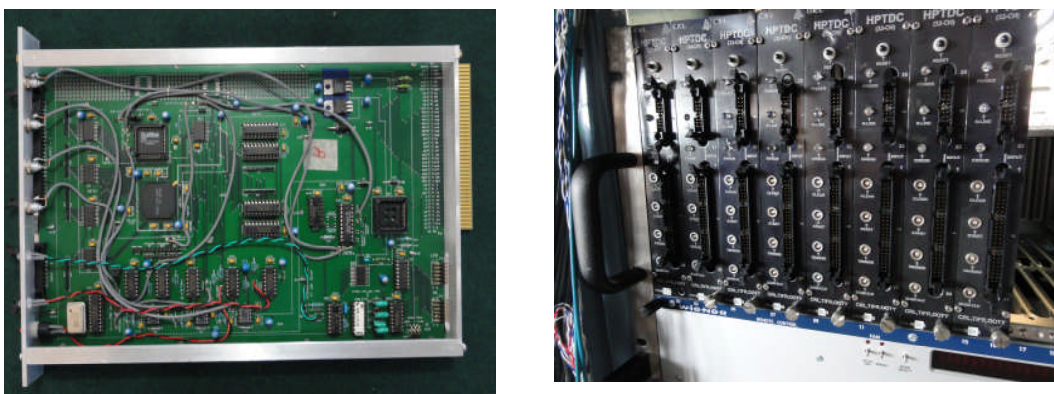
Negra 山頂（標高 4580m）に移設し、本格的な観測を開始する予定である。一方、これまでに取得したデータの解析から地磁気嵐の前兆現象に関する論文などが出版されている。



2012年8月にメキシコ INAOEにて組み上げられた SciCRT 検出器。幅 2.5cm、厚さ 1.3cm、長さ 300cm のプラスチック・シンチレータ・バー約 15,000 本を井桁状に 128 層積み上げている。各シンチレータ・バーに装着された波長変換ファイバーはマルチアノード光電子増倍管に接続される。

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 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、地上ネットワーク観測大型共同研究の下で現地を訪れ、装置の改修作業（TDC を自作 HPTDC モジュールに交換、写真参照。新 Realtime TDC monitor 導入など）を行った（作業は帰国後も継続して実施中）。また、GRAPES-3 観測データがインターネットで収集できるようにした。これまでに取得したデータの解析から宇宙線恒星時日変化と IMF 磁気中性面までの距離との関係について解析を行っている（解析

結果は物理学会などで報告)。



HPTDC module (左) と CAMAC Crete に挿入した状態 (右)

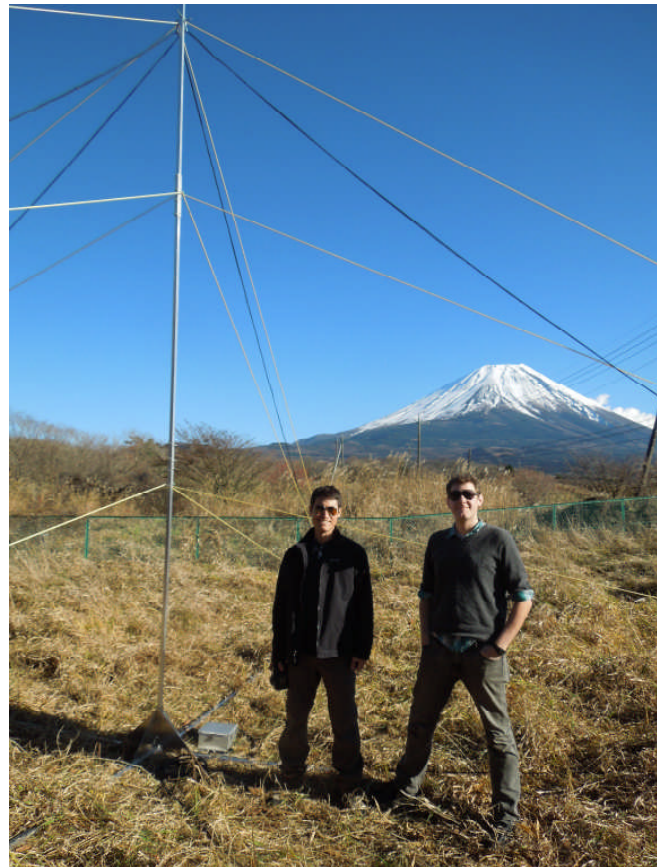
- 2) 我々は平成 22 年度より IPS システムを更新する作業を行ってきた。この更新作業により、富士・木曾アンテナについて豊川観測所に開発された新 IPS アンテナ (Solar Wind Imaging Facility; SWIFT) と同期して観測し、相互相関解析から太陽風速度を決定することが可能となった。今年度は、残る菅平アンテナのシステム更新と木曾アンテナの位相校正システムの開発を行った他、更新されたシステムを用いて観測データを 4～11 月の期間、連続して収集した。ただし、3 地点で観測データが得られるようになったのは 5 月木曾アンテナの駆動系の復旧工事が完了してからである。富士アンテナは 6～7 月に台風により被害を受けたため、復旧までの期間についてデータはない。また夏期に富士アンテナの低雑音受信機の制御ラインが浸水し効率低下する問題が発生し、この期間のデータ数が減少した。12 月に豊川アンテナの RF スイッチが誤動作する障害が発生し、緊急に RF スイッチの交換を行っている。更新や小規模な修繕の経費は主に科研費・基盤 B から支出し、大きな修理には研究所の装置維持のための予算を用いている。今年度取得した太陽風データからは、両極の高速風が消滅し、太陽風構造が極大期の状態に達したことが判明した。来年度に予定している富士・木曾の低雑音受信機更新の準備として、木星電波観測の機器をどのように組み込むかについて 3 月に東北大・三澤を招いて検討を行う予定。
- 3) 我々は USCD (米) ジャクソン博士のグループと共同で、計算機トモグラフィ法を応用した太陽圏 3 次元構造の再構築の研究を行ってきた。今年度は Jackson 博士と協力して、2013 年 1 月 21-26 日の期間に台湾国立中央大学キャンパスにて International Space Weather Winter School (iSWWS-2013) を開催した (<http://iswss.ss.ncu.edu.tw/2013iSWWS/>)。日本、台湾、韓国、マレーシア、インドなどから大学院生、若手研究者が集まり、太陽圏の大規模構造や CME の伝搬、宇宙天気予報について活発な議論が行われた。



iSWWS2013 の集合写真

- 4) 11月26-27日に Stanford 大学から大学院生2名が来所し、富士観測所に VLF 電波観測システムを設置した。本活動は、プロジェクト1の課題に直接関連するものではないが、国際協同やジオスペース研究の観点から有意義な研究課題であるので支援を行った。

富士観測所に設置した VLF アンテナと Stanford 大学の大学院生



論文リスト (2011 年以降、査読付きのみ)

Tokumar, M., Three-dimensional exploration of the solar wind using observations of interplanetary scintillation, Proceedings of the Japan Academy Ser. B, in press, 2013.

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.

Jackson, B.V., J. M. Clover, P. P. Hick, A. Buffington, M. M. Bisi, M. Tokumar, Inclusion of Real-Time in-situ Measurements into the UCSD Time-Dependent Tomography and Its Use as a Forecast Algorithm, Sol. Phys., in press, 2012.

Kojima, M., W. A. Coles, M. Tokumar, and K. Fujiki, Scintillation Measurements of the Solar Wind Velocity in Strong Scattering Near the Sun, Solar Physics, in press, 2012.

Tokumar, 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).

Tokumar, 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.

Sokol, J.M., M. Bzowski, M. Tokumar, K. Fujiki, D.J. McComas, Heliolatitude and time variation of solar wind structure from in-situ measurements and interplanetary scintillation observations, Solar Physics. in press, 2012 (doi 10.1007/s11207-012-9993-9).

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. Tokumar, 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).

Washimi, H. K. Hayashi, M. Tokumar, 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).

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).

Jackson, B.V., P.P. Hick, A. Buffington, J.M. Clover, and M. Tokumaru, Forecasting transient heliospheric solar wind parameters at the location of the inner planets, *Advances in Geosciences Vol. 30: Planetary Science and Solar & Terrestrial Science*, pp.93-115, 2011.

Hayashi, K., M. Tokumaru, K. Fujiki, and M. Kojima, Three-dimensional solar wind Structures obtained with MHD simulation model using observation-based time-varying inner boundary map, in *ASP Conference Series, 444, 5th international conference of numerical modeling of space plasma flows (ASTRONUM 2010)*, edited by N. V. Pogorelov, Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 111-116, 2011.

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*, 2011 (doi:10.1007/s11207-011-9864-9).

Tokumaru, M., M. Kojima, K. Fujiki, M. Maruyama, Y. Maruyama, H. Ito, and T. Iju, A newly-developed UHF radiotelescope for interplanetary scintillation observations; *Solar Wind Imaging Facility*, *Radio Science*, 46, RS0F02, 2011 (doi:10.1029/2011RS004694).

Janardhan, P., S. K. Bisoi, S. Ananthakrishnan, M. Tokumaru, K. Fujiki, The prelude to the deep minimum between solar cycles 23 and 24: interplanetary scintillation signatures in the inner heliosphere, *Geophysical Research Letters*, Vo. 38, L20108, 2011 (doi:10.1029/2011GL049227).

M. Rockenbach, A. Dal Lago, W. D. Gonzalez, K. Munakata, C. Kato, T. Kuwabara, J. W.

Bieber, N. J. Schuch, M. L. Duldig, J. E. Humble, H. K. Al Jassar, M. M. Sharma, and I. Sabbah, “Geomagnetic Storm’s Precursors Observed from 2001 to 2007 with the Global Muon Detector Network – GMDN”, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L16108-1~4, doi:10.1029/2011GL048556, 2011.

Hara, T., K. Seki, Y. Futaana, M. Yamauchi, M. Yagi, Y. Matsumoto, M. Tokumaru, A. Fedorov, and S. Barabash, Heavy ion flux enhancement in the vicinity of the Martian ionosphere during CIR passage: Mars Express ASPERA-3 Observations, *J. Geophys. Res.*, 116, A02309, 2011 (doi:10.1029/2010JA015778).

H. Washimi, G. P. Zank, Q. Hu, T. Tanaka, K. Munakata and H. Shinagawa, “Realistic and time-varying outer heliospheric modeling”, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 416, 1475-1485, doi:10.1111/j.1365-2966.2011.19144.x, 2011.

K. Munakata, “Probing the heliosphere with the directional anisotropy of galactic cosmic γ -ray intensity”, *Proc. IAU Sympo.*, 286, 185-194, 2011.

宗像一起 (共著), 「総説・宇宙天気」(総ページ数 660 ページ), 第 15 章 pp537-549 「銀河宇宙線観測による宇宙天気リモート・センシング」, 京都大学学術出版会, 柴田一成・上出洋介編著, 平成 23 年 (2011) 5 月 31 日 初版第一刷発行, ISBN978-4-87698-554-8 C3044.