

## 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。今年度に取り組んだ項目は次の3つである。

- 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磁気ロープの3次元形状について調査する。

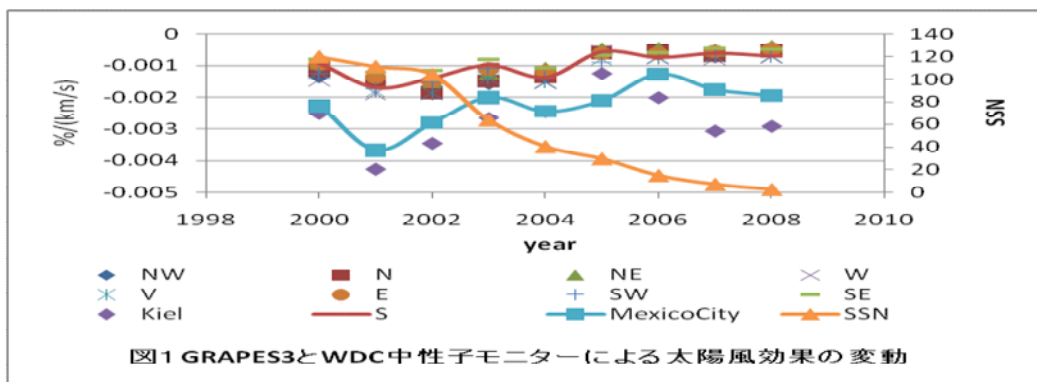
各課題に関する活動報告は以下の通り。

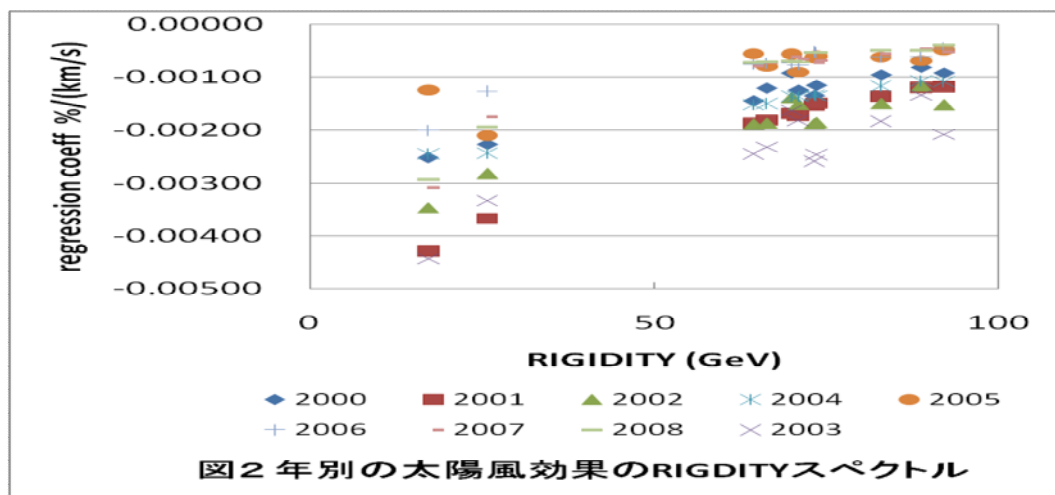
- 1) 宇宙線強度のモジュレーションから惑星間空間磁場の大規模構造を正確に捉えるには、全方向を漏れなくカバーできる汎世界的なネットワークが必要になる。このため、我々は昨年度までに信州大学・宗像教授のグループと共同して、名古屋-ホバート (豪) -Sao Martinho (ブラジル) -クエートに設置した多方向ミュオン計ネットワーク (Global Muon Detector Network; GMDN) の整備を行ってきた。ここで課題となってきたのが、北米から南西インド洋上空の観測空白域である。この空白域を埋めるため、今年度からメキシコ高山に入射方向分解能の高い新宇宙線計を設置する計画に着手した。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 SciCR 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。今年度はミュオン宇宙線観測のための機器をメキシコに輸送し、メキシコ側研究機関の建物内で検出器の組上げを行った。主に地上ネットワーク観測大型共同研究 (一般) の経費にて実施。現在、プラスチック・シンチレータ・バーに波長変換ファイバーを装着する作業を行っており、次年度も継続する。また、観測地となる山頂に小型検出器 (プロトタイプ) を設置し、予備観測を開始した。一方、カナダの研究者グループが宇宙天気観測を目的としたミュオン計をカナダに新設する計画が始まり、同ミュオン観測との共同研究について検討を行っている。



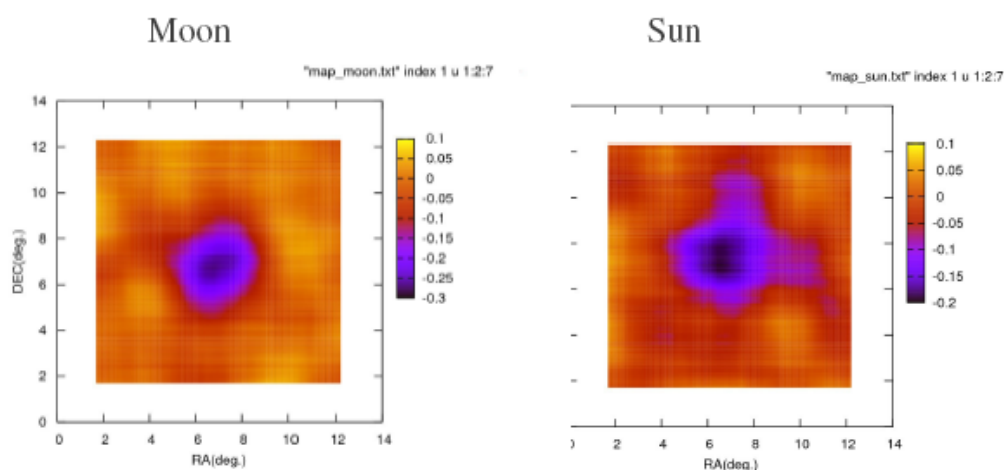
2011年8月にメキシコの施設内で組み上がった検出器（左）と装着された波長変換ファイバー（右）

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（総面積 560 m<sup>2</sup>）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 m<sup>2</sup>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て、装置開発やデータ解析について議論した。今年度は、GRAPES3 データを使って（1）太陽風速度と宇宙線強度の関係、（2）Forbush decrease の空間構造と時間変化、（3）太陽および月の影、について解析を行った。解析（1）からは、太陽風速度と宇宙線強度の関係が太陽活動度に依存していることがわかった（図参照）。解析（2）では、2006年12月イベントについて観測データを説明するモデル構築を構築した。解析（3）では、2000～2006年のデータを使って太陽・月の影の分布図求めた（図参照）。





## Performance of experiment(7year data)



- Data: 2000 – 2006 (7years data)
- Moon and Sun shadow clearly detected

2) 昨年度から富士・木曾観測所の IPS システムを更新する作業に着手している。この更新作業により、豊川観測所に開発された新 IPS アンテナ (Solar Wind Imaging Facility; SWIFT) と同期して観測を行い、相互相関解析から太陽風速度が決定可能になる。今年度は、更新されたシステムを用いて豊川・富士・木曾アンテナによる多地点 IPS 観測を実施し、太陽風速度データを取得した。ただし、観測は、東京電力の輪番停電 (4月)、台風による被害 (9月) などの影響で中断している。また、

木曾アンテナ駆動制御装置の一部を更新したが（8～9月）、作業中に事故が発生し、その復旧が完了するまで観測が中断した。11月6日に木曾アンテナの駆動システムに重大な障害が発生したため、その時点で2011年の観測は終了している。目下、次年度早期に観測が再開できるように木曾アンテナの修理を行っている。豊川アンテナは、マイナーは障害を修復しながら通年にわたりIPS観測を継続した。更新のための経費は主に科研費・基盤Bから支出し、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、太陽風構造が極大期の状態に近づいていることが判明した。

- 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いる。今年度は2011年3～5月にJackson博士を客員教授として招聘し、その後（6月）にひので衛星とSTE研IPSによるJet現象の共同観測（昨年度にジャクソン博士と共同で提案）を実施した。また、SMEI衛星とSTE研IPSによる観測から同定されたループ状の密度構造について、丸橋克英博士と共同で磁気ロープとの関連を調査した。この調査のため丸橋克英博士が12月米国に出張し、ジャクソン博士らと研究打ち合わせを行っている。

論文リスト (2010 年以降、査読付きのみ)

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).

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. Ananthkrishnan, 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*, Vol. 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.

Tokumaru, M., M. Kojima, and K. Fujiki, Solar cycle variations of the solar wind speed distribution from 1985-2008, *J. Geophys. Res.*, Vol.115, A04102, 2010 (doi:1029/2009JA014628).

Ito, H., S. Tsuneta, D. Shiota, M. Tokumaru, and K. Fujiki, Is the polar region different from the quiet region of the sun?, *Astrophys. J.*, Vol.719, 131-142, 2010 (doi:10.1088/0004-637X).

Bisi, M.M., B.V. Jackson, P.P. Hick, A. Buffington, J.M. Clover, M. Tokumaru, and K. Fujiki, Three-dimensional reconstructions and mass determination of the 02 June 2008 LASCO coronal mass ejection using STELAB IPS observations, *Astrophys. J. Lett.*, Vol. 715, L104-L108, 2010.

Fushishita, A., K. Munakata, E. Miyasaka, C. Kato, S. Yasue, T. Kuwabara, J. W. Bieber, P. Evenson, M. R. Da Silva, A. Dal Lago, N. J. Schuch, M. Tokumaru, M. L. Duldig, J.E. Humble, and I. Sabbah, Precursors of the Forbush decrease on December 14, 2006 observed with the Global Muon Detector Network (GMDN), *Astrophys. J.*, Vol. 715, 1239-1247, 2010.

Tokumaru, M., M. Kojima, K. Fujiki, K. Munakata, T. Kuwabara, and K. Marubashi, "Relation between loop-shaped interplanetary disturbances and the magnetic flux rope", *Advances in Geoscience* (World Scientific Publishing Co., USA), Vol. 21: Solar-Terrestrial (ST), pp21-32, 2010.

Bisi, M.M., B.V. Jackson, F.A. Fallows, G.D. Dorrian, P.K. Manoharan, J.M. Clover, P.P. Hick, A. Buffington, A. R. Breen, M. Tokumaru, Solar wind and CME studies of the inner heliosphere using IPS data from STELAB, ORT and EISCAT, *Advances in Geoscience* (World Scientific Publishing Co., USA), Vol.21: Solar-Terrestrial (ST), pp33-50, 2010.

Fushishita, A., Y. Okazaki, T. Narumi, C. Kato, S. Yasue, T. Kuwabara, J.W. Bieber, P. Evenson, M.R. Da Silva, A. Dal Lago, N.J. Schuch, M. Tokumaru, M.L. Duldig, J.E. Humble, I. Sabbah, J. Kota, and K. Munakata, Drift effects and the average features of cosmic ray density gradient in CIRs during successive two solar minimum periods, *Advances in Geoscience* (World Scientific Publishing Co., USA), Vol. 21: Solar-Terrestrial (ST), pp199-210, 2010.

Jackson, B.V., P.P. Hick, A. Buffington, M.M. Bisi, J.M. Clover, M. Tokumaru, and K. Fujiki, Three-dimensional reconstruction of heliospheric structure using iterative tomography: a review, *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, 73, pp1214-1227, 2010.

Jackson, B.V., M.S. Hamilton, P.P. Hick, A. Buffington, M.M. Bisi, J.M. Clover, M. Tokumaru, and K. Fujiki, SMEI 3D reconstruction of density enhancements behind interplanetary shocks; in situ comparison near Earth and at STEREO, *J. Atmos. Sol.*

Terr. Phys., 73, pp.1317-1329, 2010.

Jackson, B.V., P.P. Hick, A. Buffington, M.M. Bisi, J.M. Clover, and M. Tokumaru, Solar Mass Ejection Imager (SMEI) and interplanetary scintillation (IPS) 3D-Reconstructions of the inner heliosphere, *Advances in Geosceince* (World Scientific Publishing Co., USA), Vol. 21: Solar-Terrestrial (ST), pp339-366, 2010.

Bisi, M.M., A.R. Breen, B.V. Jackson, R.A. Fallows, J.M. Clover, P.Riley, Z.Mikic, J.A. Linker, A.P.Walsh, C.J.Owen, A. Gonzalez-Esparza, E. Aguilar-Rodriguez, A. Wood, H. Morgan, M. Tokumaru, K. Fujiki, P.K. manoharam, I.V. Chashei, E.A. Jensen, S.E. Pryse, B.Pinter. P.P. Hick, A. Buffington, *From the Sun to the Earth: the 13 May 2005 coronal mass ejection*, *Sol. Phys.*, 265, pp49-127, 2010 (doi:10.1007/s11207-010-9602-8).