

## 実施状況

プロジェクト1では、謎となっているCMEの諸特性を解明するため、次の研究項目を実施している。

- 1) 宇宙線モジュレーション観測から、CMEに伴う惑星間空間磁場の特性を調べる。この調査のため所外のグループと共同で宇宙線モジュレーション観測網の整備を行う。
- 2) IPS観測から太陽風中におけるCMEのグローバルな速度・密度分布や伝搬特性について調べる。また、大型高感度IPS観測用アンテナの開発や既存のシステムの調整を行う。
- 3) Solar Mass Ejection Imager (SMEI)などの太陽圏撮像観測データとIPS観測データを組み合わせて、CMEの3次元構造やダイナミクスについて調査する。

各課題に関する活動報告は以下の通り。

- 1) 突発的に発生するCMEを宇宙線モジュレーションによって捉えるには、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、プロジェクト1では信州大学・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) - ケ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。今年度は、11月にケートに出張し、ミュオン計に新型レコーダを組み込んで、入射方向の判定精度を向上させた (尚、Sao Martinhoのミュオン計の拡張計画は今年度完成する見込みであったが、ブラジル側の事情により延期となった)。

これまでのプロジェクト1の取り組みによりGMDNは整備されてきたが、未だ不十分な点も明らかになっている。特に深刻な問題として、次の3点が挙げられる；北米上空から南西インド洋にかけて観測の空白域が存在すること (このためロスコーン前兆現象の補足率が50%しかない)、ホバートとケートの検出面積 (9 m<sup>2</sup>) が名古屋、Sao Martinho に比べて小さいこと (このためネットワークの統計精度に偏りがある)、プラスチックシンチレータを基本にして開発されたため入射方向の分解能が悪いこと (このためロスコーン前兆現象の拡がりを決定的にできない)、の改善のためには、メキシコおよび南アフリカに入射方向分解能の優れた宇宙線計を新たに設置することが有効である。また、の改善のためには、ホバート、ケートの検出面積を2または3倍にすることが必要である。次期プロジェクト1では、これらの課題について取り組んでゆきたい。

今年度は、2006年12月13日に発生したCMEの地球到来に先立ってGMDNで明瞭に捉えられたロスコーン前兆現象について詳細な解析を行った。図1に、Sao Martinhoと

ホバートで観測された宇宙線 2 次元マップを示すが、超撃破到来（地磁気嵐発生）の約 8 時間前から特定のピッチ角に明瞭な強度欠損（青い領域）が現れていることがわかる。この欠損は、衝撃波の背後の宇宙線強度が減少した領域が地球と磁力線（IMF）でつながったために生じる（図 2 参照）。また、強度過剰域も見られるが、これは衝撃波で反射された成分と考えられる。

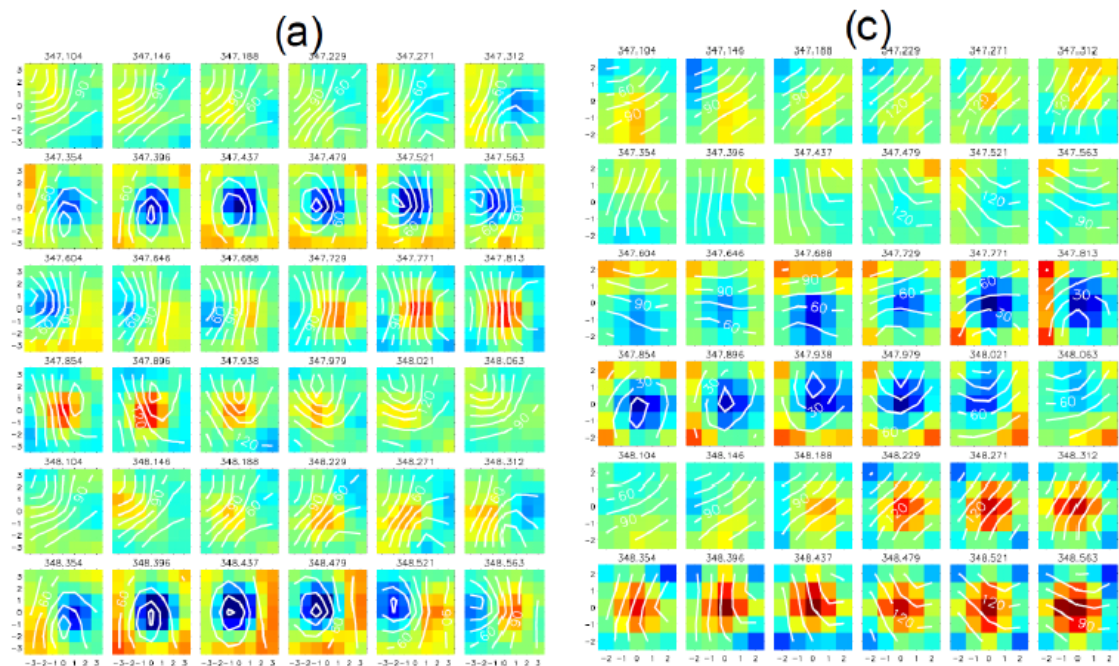


図 1 GMDN が捉えた 2006 年 12 月の地磁気嵐前兆現象。各小パネルが 1 時間に観測された宇宙線強度の 2 次元マップを示す。(a)(c)がそれぞれ、Sao Martonhho と Hobart による観測結果に対応する。それぞれ、X 線フレアの onset 直後から SSC 直前までのデータであり、時間は左上から右下へと進む。各小パネル中央が鉛直方向、上(下)が北(南)、右(左)が東(西)から入射する宇宙線の入射方向強度を表わす。強度の高い(低い)ピクセルを赤(青)で示す。

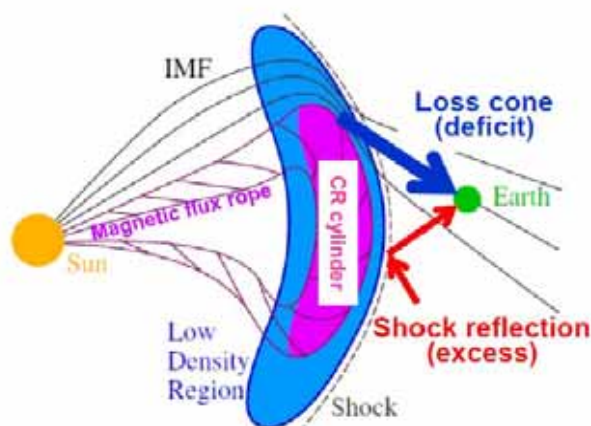


図 2 宇宙線前兆現象の模式図

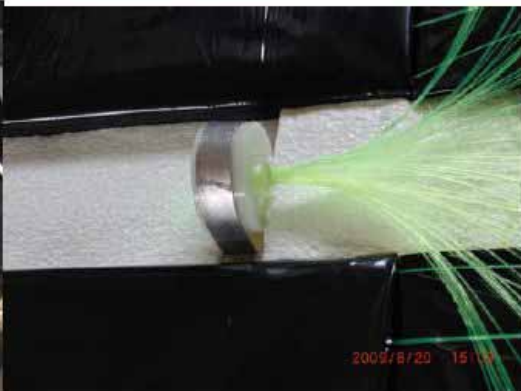
この前兆現象は、宇宙天気予報への応用の観点から重要であるとともに、宇宙線の拡散係数に関して貴重な示唆を与えるものである。特に、今回のイベントでは強度欠損と過剰が同時に観測されているが、これは過去に例がない。この研究成果は、ポーランドで開催された宇宙線国際会議やハワイでの国際研究会で報告し、論文にまとめて投稿している。

昨年度から、名古屋女子短大・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  $560 \text{ m}^2$ ) を用いた宇宙線強度変動と CME の研究に着手した。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。目下、本装置は面積を  $980 \text{ m}^2$  へ拡張する作業が行われている。

今年度は、2009年7～9月に現地を小島・林・柴田(中部大学)が訪れて、現地スタッフと共同で比例計数管の試作や電子機器の開発・修理を行った。図3には新しい検出機のための鉄パイプのクリーニング・溶接作業の様子を示す。この他、比例計数管のガスの詰め替え作業や、本装置の低エネルギー宇宙線に対する応答を再現するための計算機シミュレーションの整備を行った。尚、この活動は平成21年度所長リーダーシップ経費から支援を受けている(課題「日印両国に設置された超大型ミュオン望遠鏡による宇宙線強度の空間変動と惑星間空間におけるCMEの素過程の研究」)。



図3 Ootyにおける検出機の開発作業



周辺風景、作業状況、電子回路、気象観測装置、ファイバー型シンチレーター等の写真

2) 豊川のジオスペース電波計測システム(太陽圏イメージング装置 SWIFT)は昨年度から定常観測を開始し、今年度は1年を通じて順調にデータ収集を行った。また、今年度からは、名大STE研の富士・木曽IPSシステムについてSWIFTと同期して観測が可能にするため同システムの更新作業に着手している。2009年12月に富士アンテナの駆動制御装置が更新された。目下、富士・木曽アンテナのダイポールアンテナ素子336本、IF段以降の受信機、観測制御・データ集システムの開発が進行中である。この予算には、主に科研費・基盤Bを用い、所長リーダーシップ経費・重点配分でも支援を受けている。

これまでに取得した名大STE研のIPSデータを用いて、太陽風中におけるCME速度の変化について解析を行った。その結果、あるCMEイベントでは太陽風中で急激に減速しており、その変化は太陽風との相互作用モデルでよく説明できた。しかし、別なCMEイベントの速度変化はモデルでは説明できず、太陽風中で付加的な加速作用が働いていることを示唆している。この結果は、2009年8月に開催されたAOGS国際会議にて発表した。

共同研究に採択された課題の中でIPS観測に関連する次の2件をプロジェクト1で支援した。

- 太陽近傍における太陽風速度の変化をIPSデータから検出する解析方法について検討を行った(小島)。
- 富士・木曽のアンテナを用いて木星デシメータ電波の観測を行った(三澤@東北大、他)。

3) USCD(米)ジャクソン博士のグループと、2004年11月のCDAW磁気嵐イベントや2008年3月のWHIキャンペーンなどにおける太陽風の3次元構造について共同で解析を行った。この解析では、名大STE研のIPS観測による速度データと、SMEIによる白色光撮像データが用いられた。その結果、共回転構造やCMEが伝搬する様子が明瞭に復元されている。この結果は、国際天文学連合IAU総会や太陽風国際会議Solar Wind12などで発表され、論文としても出版された。

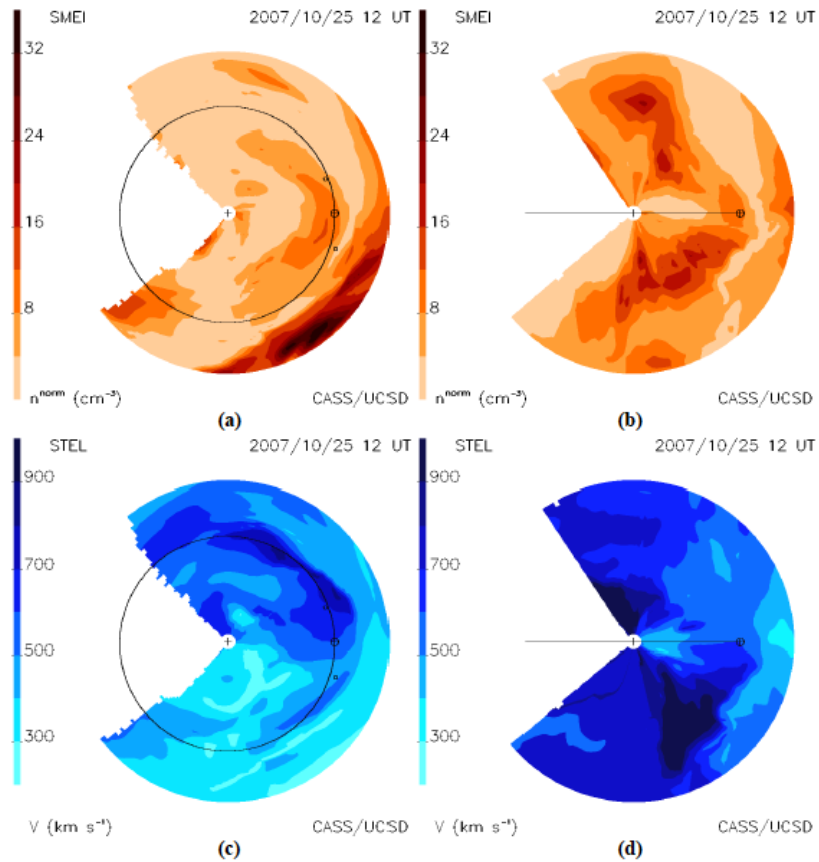


図4 SMEI 衛星撮像データと STE 研の IPS データを組み合わせて求められた(上段; a,b) 太陽風密度と(下段 c,d) 速度の分布。左列(a,c) および右列(b,d) は、それぞれ黄道面と地球を含む南北面における分布を示す。

論文リスト (2009 年以降、査読付きのみ)

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

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.4, in press, 2010.

Jackson, B.V., P.P. Hick, A. Buffington, M.M. Bisi, J.M. Clover, M. Tokumaru, and K. Fujiki, 3D Reconstruction of Density Enhancements Behind Interplanetary Shocks from Solar Mass Ejection Imager White-Light Observations, *Proceedings of Solar Wind 12*, in press, 2009.

Bisi, M.M., B.V. Jackson, P.P. Hick, J.M. Clover, S. Hamilton, M. Tokumaru, and K. Fujiki, Large-Scale Heliospheric Structure during Solar-Minimum Conditions using a 3D Time-Dependent Reconstruction Solar-Wind Model and STELab IPS Observations, *Proceedings of Solar Wind 12*, in press, 2009.

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.3, in press, 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.3, in press, 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.3, in press, 2010.

Tokumaru, M., M. Kojima, K. Fujiki, and K. Hayashi, Non-dipolar solar wind structure

observed in the cycle 23/24 minimum, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L09101, 2009 (doi:10.1029/2009GL037461).

Bisi, M.M., B. V. Jackson, J. M. Clover, P. K. Manoharan, M. Tokumaru, P. P. Hick, and A. Buffington, 3D reconstructions of the early-November 2004 CDAW geomagnetic storms: analysis of Ooty IPS speed and density data, *Ann. Geophys.*, Vol.27, pp4479-4489, 2009.

Bisi, M.M., B.V. Jackson, A. Buffington, J.M. Clover, P.P. Hick, and M. Tokumaru, Low-resolution STELab IPS 3D reconstructions of the Whole Heliospheric Interval and comparison with in-ecliptic solar wind measurements from STEREO and Wind instrumentation, *Sol. Phys.*, 256, 201-217, 2009 (doi:10.1007/s11207-009-9350-9).

Kataoka, R., T. Ebisuzaki, K. Kusano, D. Shiota, S. Inoue, T. Yamamoto, and M. Tokumaru, Three-dimensional magnetohydrodynamic (MHD) modeling of the solar wind structures associated with 13 Decemeber 2006 coronal mass ejection, *J. Geophys. Res.*, Vol.114, A10102, 2009 (doi:10.1029/2009JA014167).

Kuwabara, T., J. W. Bieber, P. Evenson, K. Munakata, S. Yasue, C. Kato, A. Fushishita, M. Tokumaru, M. L. Duldig, J. E. Humble, M. R. Silva, A. Dal Lago, and N. J. Schuch, Determination of ICME geometry and orientation from ground based observations of galactic cosmic rays, *J. Geophys. Res.*, 114, A05109, 2009 (doi:10.1029/2008JA013717).

Tokumaru, M., M. Kojima, and K. Fujiki, "Interplanetary scintillation observations of the solar wind for space weather modeling", *Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Space Technology Japan* (online issn: 1347-3840), Vol. 7, No.ists26, Pr\_2\_1-P\_2r\_5, 2008-r-2-02, 2009.