

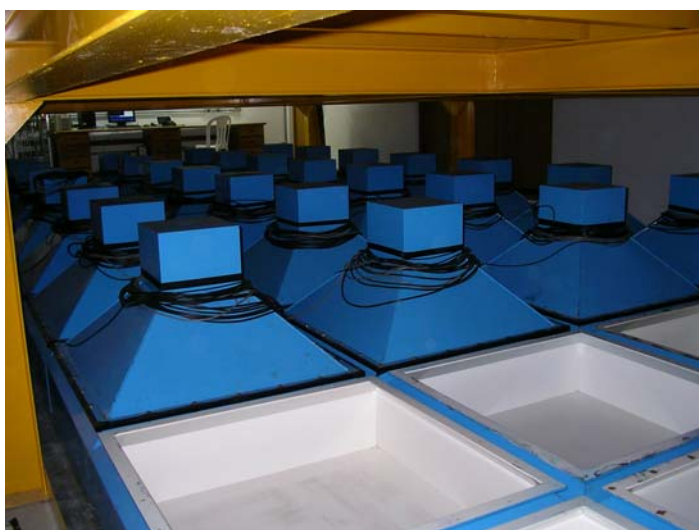
実施状況

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。この調査のために大型高感度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 (SMEDI)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、高いduty cycleで全球をカバーするグローバルな観測網の構築が必要になる。プロジェクト1では、これまでに信州大学・宗像教授のグループと共同して、世界4カ所（名古屋・Hobart・Sao Martinho・Kuwait City）に配置した多方向ミュオン計から成る観測ネットワーク（Global Muon Detector Network; GMDN）の整備を行ってきた。今年度は、San Martinho (Brazil) に設置されているミュオン計の検出面積を名古屋と同じ36 m²に拡大する計画に着手した。この計画の主要な予算は、ブラジル政府の予算によって支援されている。現地業者の事務手続きの遅れにより、拡張計画は2008年度内に完了できなかったが、2009年度には実現できる見通しが立った（図1参照）。また、2008年12月に宗像教授がSan Martinhoを訪



れ、ミュオン計の装置を一部更新した（図2参照）。これにより、同装置のduty cycleを格段に向上させることができた。尚、この活動は平成20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「宇宙線観測ネットワーク統合システムの改良」）。

図1. 増設を待つSan Martinhoのミュオン宇宙線計



図2. 2008年12月に行われたSan Martinhoのミュオン計の更新作業

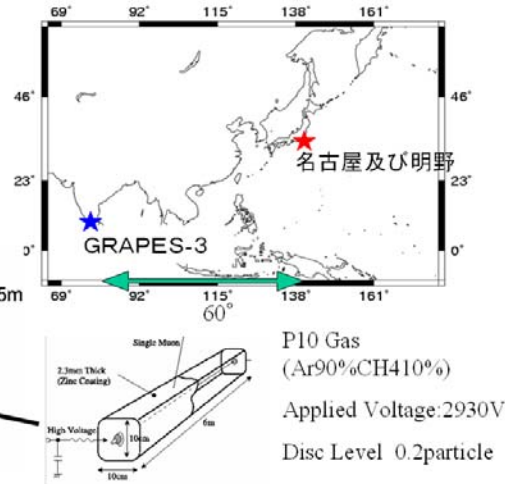
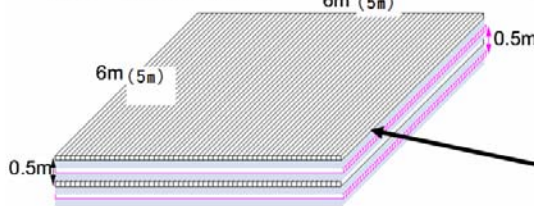
これまでに取得した GMDN 観測データの解析から、CME が地球到来する際の前兆現象が捉えられた。このイベントは、2006年12月13日の X-class フレアに伴って発生した CME によるもので、最大規模の地磁気嵐が引き起こされている。この CME が地球へ到来する約 6 時間前から、GMDN データにはピッチ角 0 度付近に明瞭な強度欠損が見られた。また、強度減少が発生する前後にピッチ角 50 度付近に強度過剰も観測されている。これらの事実は、速度 1500km/s で地球方向に伝搬する衝撃波による宇宙線の反射によりよく説明ができる。Loss Cone 前兆現象と呼ばれるこうした現象は、宇宙天気予報にとって利用価値が高い。

2008 年度からは、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を用いた宇宙線強度変動と CME の研究に着手した (図3参照)。このミュオン望遠鏡は、インド Ooty の空気シャワー観測装置 GRAPES-3 に併設されているもので、その総面積は 560 m²に達する (全 16 モジュール)。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。現在、この装置は面積を 980 m²へ拡張する計画を進めており、2008 年 8 月に現地を小島・林が訪れて、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を行った。尚、この活動は平成 20 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」)。一方、Ooty と共同で観測することができる日本の装置として、宇宙線研・明野観測所のミュオンホドスコープの強化計画にも着手している。今年度は、明野の観測精度を向上するため気象観測装置を購入した。本装置は目下、大阪市大にて試験運転中であり、近日中に明野に移設予定である。

実験

GRAPES3ミュオン観測装置 (N12 E77)と名古屋(N35E137)明野(N35E138)で多方向ミュオン望遠鏡を用い宇宙線強度をモニターする。

ミュオン望遠鏡



4層構造の比例計数管 ホドスコープ

(1層58本 @GRAPES)
4ステーション16モジュール 560m²
(1層49本 @明野) 3ステーション 75m²

名古屋ミュオンテレスコープ

2層構造36m² シンチレータ+光電子増倍管

図3 Ooty(インド)と名古屋・明野における大面積検出機によるミュオン観測計画

2) 平成17年度より豊川において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)を開発してきたが、平成20年度には同システムを用いたテスト観測を実施し、不具合の改善・性能の最適化を行った。そして、同年8月下旬からはIPS観測を開始した(図4参照)。今後、同システムの観測を継続しつつ、更なる性能改善を行ってゆく。

3C298 /2008

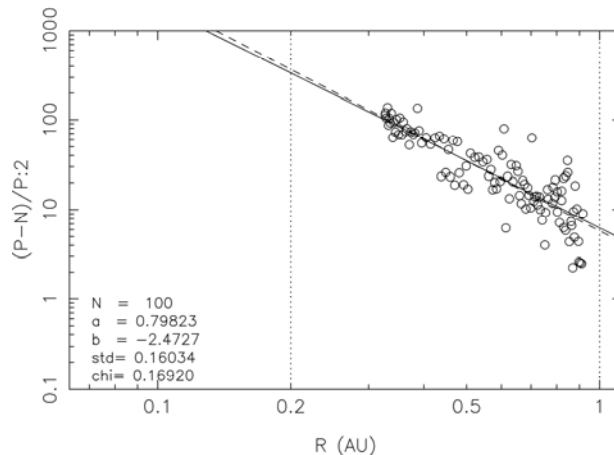


図4 太陽圏イメージング装置を用いたIPS観測によって得られたシンチレーション強度の距離依存性(電波源: 3C298)

この新アンテナの開発と並行して、H20年度に既存のIPS観測システムによる太陽風観測

を実施している。次年度からは、太陽圏イメージング装置と同期観測が可能にするため富士・木曽アンテナの更新に着手する予定である。また、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) 2008 年 3 月 20 日～4 月 16 日 (キャリントン周期 2067) に実施された国際共同観測キャンペーン Whole Heliosphere Interval(WHI)に参加し、STE 研の IPS 観測データを提供した。この WHI キャンペーンは国際太陽系観測年 (IHY) 事業の一環として企画された。得られた IPS データを UCSD のグループとトモグラフィ法により共同解析したところ、太陽風の共回転構造や CME などが同定された。この結果は、STEREO や WIND の太陽風観測結果ともよく一致していた (Bisi et al., 2008a,b)

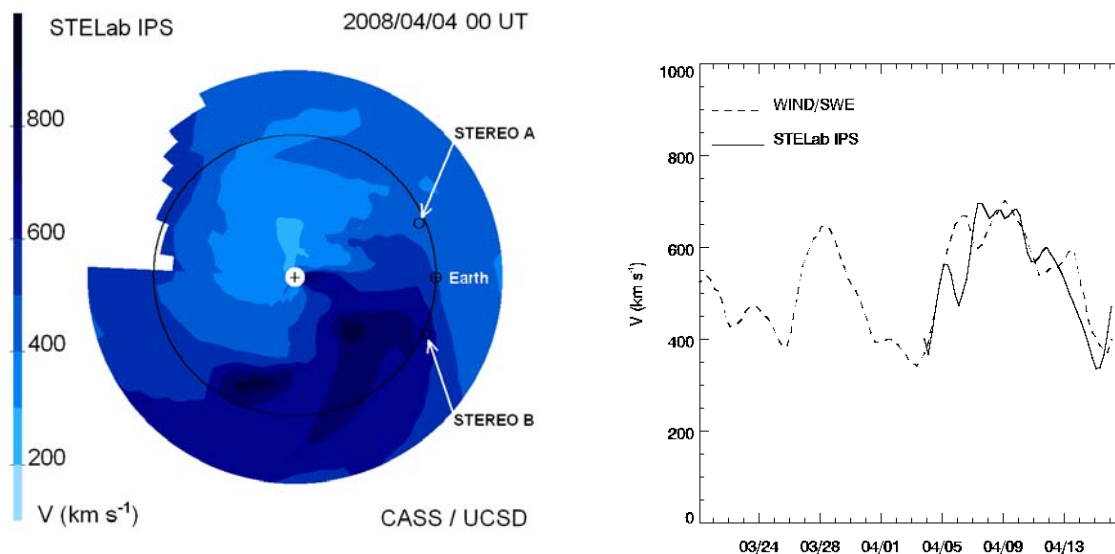


図5 STE 研の IPS 観測から決定された黄道面における太陽風速度分布 (左) と WIND 衛星の太陽風速度データと IPS 観測結果の比較 (右)

論文リスト (2008 年以降、査読付きのみ)

Tokumaru, M., M. Kojima, and K. Fujiki, "Interplanetary scintillation observations of the solar wind for space weather modeling", Space Technology Japan, Vol. 8, in press, 2009a.

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, 2009b.

Tokumaru, M., M. Kojima, K. Fujiki, and K. Hayashi, Quadrupole Solar Wind Structure Observed in the Cycle 23/24 Minimum, Submitted to Geophys. Res. Lett., 2009c.

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, 2009a.

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 SolarWind Measurements from STEREO and Wind Instrumentation, Submitted to Sol. Phys., 2009b.

T. Kuwabara et al., Determination of ICME Geometry and Orientation from Ground Based Observations of Galactic Cosmic Rays", *30 th Proc. Internat. Cosmic Ray Conf.*, 1,335-338, 2008.

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, Submitted to J. Geophys. Res., 2009.

Y. Okazaki et al., "Drift effects and the cosmic ray density gradient in a solar rotation period: First observation with the Global Muon Detector Network (GMDN)", *Astrophys. J.*, 681, 693-707, 2008.

A. Fushishita et al., "Drift effects and the average features of cosmic ray density gradient in cir during successive two solar minimum periods", *Advances in Geosciences*, 2009 (in press).