

## かにパルサーの周波数分散を用いたサイクル24/25極小期における極域太陽風密度の研究

# 徳丸 宗利 [1]; 丸山 益史 [1]; 俵 海人 [1]; 岳藤 一宏 [2]; 関戸 衛 [2]; 宮内 結花 [2]; 寺澤 敏夫 [3]  
[1] 名大 ISEE; [2] NICT 鹿島; [3] 東大・宇宙線研

### Study of the polar solar wind density at Cycle 24/25 minimum using dispersion measures of Crab pulsar

# Munetoshi Tokumaru[1]; Yasushi Maruyama[1]; Kaito Tawara[1]; Kazuhiro Takafuji[2]; Mamoru Sekido[2]; Yuka Miyauchi[2]; Toshio Terasawa[3]  
[1] ISEE, Nagoya Univ.; [2] KSTC, NICT; [3] ICRR, Univ. Tokyo

<http://www.isee.nagoya-u.ac.jp/~tokumaru>

The solar activity of the current Cycle 24, is the lowest in 100 years, and peculiar aspects of the solar wind of this cycle have been reported from some observational studies. The most remarkable feature among those peculiarities is a significant drop of the solar wind density. Ulysses observation made during Cycle 23/24 minimum (2007-2008) demonstrated that the fast wind density from the polar coronal hole decreased by about 30 %, as compared to the previous cycle (McComas et al., 2008; 2013). Interplanetary scintillation (IPS) observations made at the Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE) of Nagoya University showed that the solar wind density fluctuations ( $\Delta N_e$ ) drops globally in this cycle (Janardhan et al., 2011; Tokumaru et al., 2012; Bisoi et al., 2014). This result suggests the global reduction of the solar wind density, since  $\Delta N_e$  is roughly proportional to the bulk density. While Ulysses measurements are no longer available at present, ISEE IPS observations, which have conducted continuously, show that  $\Delta N_e$  keeps declining up to now. The sun is about to enter the next (Cycle 24/25) solar minimum, and recent ISEE IPS data show that fast solar winds have developed over both North and South poles. It has been pointed out the possibility that the activity level of the next cycle is as low as or even weaker than the current cycle, hence to elucidate how the solar wind evolves in future is an important subject.

We plan to make observations of pulsar DM (dispersion measure) as well as IPS to investigate evolution of the solar wind toward the next cycle in detail. The DM is a parameter to represent the frequency dispersion observed in the pulsar signal, and also the integrated plasma density along the line-of-sight (los). By taking difference between DMs when the pulsar's los is located close to and far from the Sun, one can determine the (integrated) density of the solar wind. This kind of remote-sensing measurements using either IPS or pulsar DM is the only method to observe the high-latitude solar wind at present, since Ulysses observations are no longer available. Pulsar DMs are more direct measurements of the density, while IPS observations provide data of  $\Delta N_e$ . The los of Crab pulsar observed in this study approaches to the Sun in mid-June as close as 5 solar radii over the South pole. DM measurements using the Crab pulsar were made in 1970s (Counselman III & Rankin, 1972, 1973; Weisberg et al., 1976), and the solar cycle change of the polar solar wind density was revealed. In this study, we intend to reveal peculiarity of the present solar wind by comparing with those data. The radial distance range observed in this study includes the region in close proximity to the Sun, where our IPS observations are unavailable owing to the effect of strong scattering. Hence, pulsar measurements for such near-Sun region may enable us to provide new information to gain insight into the solar wind acceleration.

We established a system for pulsar DM measurements by utilizing the radio-telescope at Toyokawa (SWIFT; Tokumaru et al., 2011). The observation frequency of SWIFT is 327 MHz, and the effective area is 1970 m<sup>2</sup> (at zenith). For pulsar DM measurements, a high-speed (2Gbps) data sampler ADS3000+ and a 10-TB file server was installed at Toyokawa. The 10GB Ethernet is used to data transfer from ADS3000+ to the file server. Software for data acquisition and analysis were provided from the Kashima Space Technology Center of NICT. Observations of Crab pulsar using this system started in last November, and clear pulsar signals have been detected from the data. I will report preliminary results obtained from the analysis of data collected at Toyokawa.

現在の太陽活動周期、サイクル24は過去100年来の低い活動度を示し、これに伴って過去のサイクルとは異なる太陽風の特性が様々な観測から報告されている。今サイクルの特異性の中で、特に目立つのは太陽風密度の低下である。サイクル23/24極小期(2007-2008年)に実施されたUlyssesによる観測からは、極域コロナホールから吹き出す高速風の密度が前サイクルに比べ約30%減少していることが示された(McComas et al., 2008; 2013)。名古屋大学宇宙地球環境研究所(ISEE)の惑星間空間シンチレーション(IPS)による観測からは、今サイクルにおいて太陽風(電子)密度ゆらぎ $\Delta N_e$ が全球的に低下していること示すデータが得られた(Janardhan et al., 2011; Tokumaru et al., 2012; Bisoi et al., 2014)。ここで、 $\Delta N_e$ は太陽風密度とほぼ比例していることから、この観測結果は太陽風密度の低下を全球的に起こっていることを示している。Ulyssesの観測は2008年に終了したが、連続的に実施されているISEEのIPS観測からは $\Delta N_e$ が現在に至るまで減少し続けていることがわかった。目下、次のサイクル24/25極小期が目前に迫っており、最近のISEEのIPS観測からは南北極域に高速風が出現したことが判る。次のサイクル25は現在と同程度の活動、またはより一層活動が低下する可能性が指摘されており、これに伴って太陽風がどう変化してゆくに注目が集まっている。

そこで我々は従来から実施している IPS 観測に加えて、パルサーの DM (dispersion measure) を測定することにより、次サイクルに向けた太陽風の変化を正確に調査することを計画している。DM はパルサーからの信号が示す周波数分散度を示し、視線に沿ったプラズマ密度の積分値に対応している。パルサーが見かけ上太陽に接近する時と太陽から遠ざかった時の DM の差をとることで、太陽風密度 (積分値) を決定することができる。パルサー DM や IPS のような遠隔測定は、Ulysses 観測が終了した現在では高緯度の太陽風を観測する唯一の手段である。IPS 観測が  $\Delta N_e$  のデータであるのに対して、パルサー DM はより直接的な密度に関するデータとなる。本研究で観測対象とする「かに星雲」のパルサー (Crab pulsar) は、見かけ上 6 月中旬に太陽の南極極上空、太陽半径 5 倍の距離まで近づく。Crab パルサーの DM 測定は 1970 年代に実施されており (Counselman III & Rankin, 1972, 1973; Weisberg et al., 1976)、太陽活動に伴う極域太陽風の密度分布の変化が明らかにされた。本研究では、その観測結果と比較することで現在の太陽風の特異性を明らかにできる。また、本研究の観測範囲は ISEE の IPS 観測では強散乱の効果のため観測できない太陽のごく近傍の領域を含んでいる。このような太陽近傍のパルサー観測からは太陽風加速に関する新たな情報が得られる可能性がある。

我々は、豊川分室の電波望遠鏡 (SWIFT; Tokumaru et al., 2011) を利用してパルサー DM 測定のためのシステムを整備した。SWIFT の観測周波数は 327MHz、有効面積は 1970  $\text{m}^2$  (天頂方向) である。パルサー DM 測定のため高速 (2Gbps) サンプラ ADS3000+ と容量 10TB のファイルサーバが豊川に設置された。これらの 2 つ装置のデータ通信には 10GB Ethernet を用いている。データの収集および解析ソフトウェアは情報通信研究機構・鹿島センターから提供された。本システムを用いた Crab パルサーの観測は、昨年 11 月から開始され、そのデータから明瞭なパルサーの信号が検出されている。本講演では、これまでに取得したデータ解析の初期結果について報告する。