

2022 年 6 月 13 日に発生した II 型太陽電波バーストの変調に対応する CME 伝搬環境について

#金野 直人¹⁾, 加藤 雄人¹⁾, 熊本 篤志¹⁾, 岩井 一正²⁾, 三澤 浩昭¹⁾

(¹ 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻, (² 名古屋大学宇宙地球環境研究所

CME Propagation Environment for Type II Solar Radio Bursts Modulation on June 13, 2022

#Naoto KINNO¹⁾, Yuto KATOH¹⁾, Atsushi KUMAMOTO¹⁾, Kazumasa IWAI²⁾, Hiroaki MISAWA¹⁾

(¹Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University, (²ISEE, Nagoya University

Coronal mass ejection (CME) is a phenomenon in which a large mass of plasma is ejected from the solar surface into interplanetary space due to active solar activity. MHD shock waves produced by CME accelerate ambient plasma particles and type II solar radio bursts (SRB II) are excited [e.g., Uchida 1960]. By analyzing time variation of emission frequency of SRB II propagating at the speed of light, velocity of CME shock waves, density structure of the solar corona, and magnetic field structure can be estimated before CMEs reach the earth [e.g., Koval et al. 2021, 2023, 2024]. However, actual coronal environment is complex, and effects of inhomogeneous density and magnetic field structure around radio emission sources are not well understood. In particular, radio source region in the HF-VHF band (3 - 300 MHz) corresponds to the transition region from the solar corona to interplanetary space, where density gradients and magnetic field structures change drastically. Therefore, it is important to understand the environment of the solar corona from SRB observations. However, SRB II observations in this frequency band are limited, and understanding CME propagation and SRB excitation mechanisms in the middle corona remains a challenge in solar physics.

In this study, we analyzed in detail CME/Flare erupted at 03:12 UT on June 13, 2022, and associated SRB II event on 03:25:40-03:33:00 UT with a couple of radio observation data (Iitate Jupiter Galaxy Radio Observatory HF band antenna (15-40 MHz) [Kumamoto et al. IUGONET workshop, 2011]; IPRT/AMATERAS (100-500 MHz) [Iwai et al. 2012]). In 25-37 MHz, SRB II emission lane appeared, and it was second harmonic. In the harmonic emission lane, frequency drift rate (FDR) corresponding to peak flux increased sharply by a factor of 1.67-1.92 after 03:28:45 UT. To further examine this phenomenon, we analyzed environmental conditions of the corona near the solar surface for this event using image observation data. We found that this event had following characteristics:

1. Through two coronagraphs analysis, MLSO/K-Cor (1.1-3.0Rs) [K-Cor Team 2013] and SOHO/LASCO-C2 (3.0-6.0Rs), it showed that the CME erupted at around 03:12 UT at AR13030/13032 (including N21E44) and propagated eastward.

2. By analyses of SDO/AIA [Lemen et al., 2012], HMI [Scherrer et al., 2012] and PFSS magnetic field model, it is shown that closed magnetic field lines were observed from the CME source region and a coronal hole accompanied by open magnetic field lines were also observed in its vicinity.

3. We analyzed magnetic field azimuth angle using Stokes parameters observed by MLSO/UCoMP (1.03 to 1.95Rs) [Landi et al., 2016]. We used observation data at 03:06:51 UT before the CME generation and at 03:36:50 UT when CME was outside the field of view of UCoMP. We subtracted former data from latter data, and it was found that north part of magnetic field of the CME propagation path rotated clockwise up to 30 degrees. This indicates that in this time period CME may have interacted with streamer region which was formed by open magnetic field lines extending from the coronal hole on the north side of the CME propagation path.

As a generation process of electron beam producing SRB II, shock drift acceleration is considered. This is the mechanism of electron acceleration under quasi-perpendicular conditions between CME shock waves and coronal magnetic field. Accelerated electrons excite Langmuir waves, and SRB II is excited through non-linear mode conversion [e.g., Holman and Pesses 1983; Melrose 1991; Ball and Melrose 2001]. Based on this generation scenario, the spectral feature in this SRB II event, and the observation results of 1-3 mentioned above, it is considered that the observed change in FDR was caused by different magnetic field structure along the CME propagation path. At first, CME shocks waves passed through closed magnetic field lines above the active region, and as propagating, they passed through open magnetic field lines above the coronal hole. And then, the radio source region or wave mode conversion efficiency may have changed [e.g., Kong et al. 2012; Zhang et al. 2024].

In this presentation, based on the analyses, we consider changes of magnetic field and density structures along the CME propagation path and discuss their elementary processes. Also, we discuss the spectral structure and the interaction between CME shock wave and coronal magnetic field structures.

コロナ質量放出 (CME) は活発な太陽活動の影響により、太陽表面から大規模なプラズマの塊が惑星間空間へ放出される現象である。CME が生み出す MHD 衝撃波の伝搬により、II 型太陽電波バースト (SRB II) がプラズマ周波数で発生する [e.g. Uchida 1960]。光速で伝搬する SRB II の放射周波数の時間変化を解析することで、CME の地球到達前に CME 衝撃波の速度や太陽コロナの密度構造、磁場強度を推定できる [e.g., Koval et al. 2021, 2023, 2024]。しかし、実際のコロ

ナ環境は複雑であり、密度・磁場構造の不均一性が電波放射源周辺のプラズマ環境に与える影響は十分に理解されていない。特に HF-VHF 帯域 (3 – 300 MHz) の電波放射源領域は太陽コロナと惑星間空間の境界付近に相当し、密度勾配や磁場構造が大きく変動する。そのため、SRB 観測から太陽近傍のコロナ環境を理解することが重要であるが、この周波数帯域における SRB II 観測例は限られており、Middle corona での CME 伝搬および SRB 発生機構の解明は太陽物理学の課題となっている。

本研究では、複数の電波観測データ (飯館木星銀河電波観測所 HF 帯アンテナ (15-40 MHz) [Kumamoto et al. IUGONET workshop, 2011]; IPRT/AMATERAS (100-500 MHz) [Iwai et al. 2012]) を用いて、2022 年 6 月 13 日 03:12UT に発生した CME/Flare と、それに付随する SRB イベントを詳細に解析した。03:25:40-03:33:00UT に CME に付随する SRB II の 2 倍高調波を 25-37 MHz で観測した。高調波の放射レーンでは、03:28:45UT を境にして電波放射強度のピークに対応する周波数ドリフト率 (FDR) が 1.67-1.92 倍へと急激に増加していた。次に、画像観測データを用いて SRB II 発生時刻付近の太陽表面を解析したところ、このイベントは以下の特徴があることが分かった。

1. MLSO/K-Cor (1.1-3.0Rs) [K-Cor Team 2013], SOHO/LASCO-C2 (3.0-6.0Rs) の 2 つのコロナグラフの解析から、該当する CME は 03:12UT ごろに AR13030/13032 (N21E44 付近) で発生し、東方向に伝搬していた。

2. SDO/AIA [Lemen et al., 2012], HMI [Scherrer et al., 2012] と PFSS 磁場モデルを解析したところ、CME 発生領域からは閉じた磁力線が確認できた。また、その近傍にはコロナホールがあり、開いた磁力線が伸びていた。

3., MLSO/UCoMP (1.03 to 1.95Rs) [Landi et al., 2016] で CME 発生前の 03:06:51UT と UCoMP 視野外への伝搬後の 03:36:50UT に観測した Stokes パラメータを用いて磁場の角度を解析した。上記の時間においてデータの差分を取ったところ、CME 伝搬後に伝搬経路北側の磁場が最大 30 度ほど時計回りに回転していたことがわかった。これは、コロナホールから延びていた開いた磁力線が CME 伝搬経路の北側に形成していたストリーマ領域と CME がこの時間帯に作用した可能性を示している。

SRB II を発生させる電子ビームの生成メカニズムとして衝撃波ドリフト加速が考えられている。これは CME 衝撃波とコロナ磁場が quasi-perpendicular の条件下で衝撃波ドリフト加速によって電子が加速され、Langmuir 波を励起し、それが非線形モード変換することで SRB II が発生する、というものである [e.g., Holman and Pesses 1983; Melrose 1991; Ball and Melrose 2001]。この生成説と観測された SRB II の出現特徴および上記の 1~3 の観測結果を勘案することにより、観測された FDR の変化は、CME 伝搬経路上の磁場構造が活動領域上空の閉じた磁力線からコロナホール上空の開いた磁力線に変化したことで電波発生領域や電波変換効率が変化した結果であると考えられる [e.g., Kong et al., 2012; Zhang et al., 2024]。本発表では、解析結果に基づく CME 伝搬経路上の磁場構造の変化を示し、スペクトル構造を決定する物理素過程ならびに CME 衝撃波とコロナ磁場構造の相互作用について考察する。