

R005-12

A 会場 : 11/27 AM1 (9:15-10:45)

9:15~9:30:00

2024 年 5 月の X5.89 クラス太陽フレア中の EUV 振動によって引き起こされた D 領域電離圏変動

#久保田 朱音¹⁾, 大矢 浩代¹⁾, 土屋 史紀²⁾, 中田 裕之¹⁾

(¹⁾ 千葉大, (²⁾ 東北大・理・惑星プラズマ大気

D-region ionospheric variations driven by EUV oscillations during the X5.89 solar flare in May 2024

#Akane Kubota¹⁾, Hiroyo Ohya¹⁾, Fuminori Tsuchiya²⁾, Hiroyuki Nakata¹⁾

(¹Graduate School of Science and Engineering, Chiba University, (²Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Graduate School of Science, Tohoku University

Solar flares produce strong enhancements in solar irradiance within the extreme ultraviolet (EUV) and X-ray bands, significantly impacting the D-region ionosphere (60 – 90 km). Enhanced EUV and soft X-ray fluxes are efficiently absorbed by molecular oxygen and nitrogen, leading to rapid increases in electron density which has been confirmed by very low frequency (VLF) observations (Kumar and Kumar, 2018). Moreover, Hayes et al. (2017) reported that D-region electron density pulsations were synchronized with flare-driven X-ray and EUV pulsations. In the EUV range, Lyman- α radiation (121.6 nm) is the dominant component and is known to influence the D-region, although its contribution is slower and less variable than that of X-rays (Kitajima et al., 2024). The D-region response to Lyman- α during flares, however, remains unclear. In this study, we investigated D-region ionospheric variations for the X5.89-class solar flare that occurred at 01:10 UT on May 11, 2024, the largest flare among large geomagnetic storms in May 2024. We used LF transmitter signals observed by a worldwide VLF/LF radio propagation network OCTAVE/AVON. The LF waves were transmitted from JJY60 (60.0 kHz) in Japan and BPC (68.5 kHz) in China, and received at Pontianak (PTK), Indonesia and Rikubetsu (RKB), Japan. Normally, when a solar flare occurs the phase of the LF signal exhibits time variations similar to those of X-ray flux. However, during the X5.89-class solar flare, unusual oscillations in phase and amplitude were observed. Based on wavelet analysis of these oscillations, the periods were 549 s for the phase of the JJY60-PTK path and 388 s for the phase of the BPC-PTK path. To investigate the cause of the LF oscillations, the LF waves were compared with EUV data observed by the GOES-16 and SDO satellites. The summation of EUV in the 20 – 140 nm range, including the Lyman- α , was similar to a part of the LF oscillations, and a few peaks of the LF oscillation coincided with peaks in the composite EUV radiation. A detailed analysis confirmed that similar oscillations occurred in the LF waves 3 minutes after the EUV oscillations. Furthermore, a calculation of the ionization production rate revealed that Lyman- α radiation has the largest effect on the D-region in EUV wavelength band. These results suggest that the periodic variations in EUV radiation associated with the solar flare affected the electron density in the D-region ionosphere.

太陽フレアは、極端紫外線 (EUV) および X 線帯域における太陽放射強度を著しく増強し、D 領域電離圏 (60~90 km) に大きな影響を与える。増加した EUV および軟 X 線フラックスは分子状酸素および窒素によって効率的に吸収され、電子密度の急激な増加をもたらす。これは、超低周波 (VLF) の電波観測によって確認されている (Kumar and Kumar, 2018)。さらに、Hayes et al. (2017) は、D 領域の電子密度の脈動がフレア駆動による X 線および EUV の脈動と同期していることを報告している。EUV の範囲では、ライマン α 放射線 (121.6 nm) が主要な成分であり、その寄与は X 線よりも遅く、変動も少ない (Kitajima et al., 2024)。しかし、フレア発生時のライマン α に対する D 領域の反応は不明のままである。本研究では、2024 年 5 月 11 日 01:10 (世界時) に発生した X5.89 クラスの太陽フレアに対する D 領域電離圏の変動を、LF 帯標準電波を用いて調査した。これは 2024 年 5 月に連続して発生した太陽フレアの中で最大のものであった。本研究で使用した LF 帯標準電波は、我々の研究グループが世界中で運用している OCTAVE/AVON のデータである。LF 波は日本の JJY60 (60.0 kHz) と中国の BPC (68.5 kHz) から送信され、インドネシアのポンティアナック (PTK) と日本の陸別 (RKB) で受信された。通常、太陽フレアが発生すると、LF の位相は X 線フラックスと同様の時間変動を示す。しかし、この X5.89 クラスの太陽フレアでは、位相と振幅に異常な振動が観測された。これらの振動をウェーブレット解析した結果、周期は JJY60-PTK パスの位相で 549 秒、BPC-PTK パスの位相で 388 秒であった。LF の振動の原因を調査するため、LF 波と GOES-16 および SDO 衛星で観測された EUV データを比較した。ライマン α 線を含む 20~140nm の範囲の EUV の合計値は、LF 振動の一部と類似していた。20~140nm の範囲の EUV の合計値は、LF 振動の一部と類似しており、LF 振動のいくつかのピークは合成された EUV 放射のピークと一致した。詳細な解析から、EUV の振動の 3 分後に LF 波で同様の振動が発生したことが確認された。さらに、電離生成率を計算したところ、ライマン α 線が EUV の中で D 領域に与える影響が最も大きいことが分かった。これらの結果は、太陽フレアに伴う EUV 放射の周期的変動が、D 領域電離圏の電子密度に影響を与えることを示唆するものである。