

サイクル24最大の太陽フレアに伴う宇宙環境擾乱:II. 太陽磁場噴出の電磁流体力学シミュレーション

井上 諭 [1]; 塩田 大幸 [2]; 伴場 由美 [3]
[1] 名大 ISEE; [2] NICT; [3] ISAS/JAXA

Space Environment Disturbances by the Biggest Flares in Solar Cycle 24:II. Magnetohydrodynamic Simulation of the Solar Eruptions

Satoshi Inoue[1]; Daikou Shiota[2]; Yumi Bamba[3]
[1] ISEE, Nagoya University; [2] NICT; [3] ISAS/JAXA

Solar active region 12673, which was observed in September 2017, produced several M- and X-class flares, one of which is X9.3 flare which was recorded as the largest flare observed in the solar cycle 24. Due to this flare, much amount of the coronal plasma and magnetic fields were erupted toward the interplanetary space, which eventually gave lots of influences on Magnetosphere and Ionosphere.

In order to understand the initiation and dynamics of the solar eruption associated with X9.3 flare, we conducted the magnetohydrodynamic (MHD) simulation. We first performed an extrapolation of the three-dimensional (3D) magnetic field based on the observed photospheric magnetic field, under a nonlinear force-free field (NLFFF) extrapolation. Because the NLFFF provides the realistic magnetic environment. The observed magnetic field was used prior to the X2.2 flare which was observed approximately 3 hours before the X9.3 flare. Our NLFFF successfully produced multiple magnetic flux ropes (MFRs), which are a cluster of the magnetic twisted lines, lying along the magnetic polarity inversion line. Next we performed the MHD simulation using the NLFFF as the initial condition. Consequently, the simulation showed a dramatic eruption. Even though one of small MFRs becomes unstable and erupts upward, we found that, during the eruption, a large coherent flux rope composed of highly twisted magnetic field lines is formed through the reconnection between the small MFRs. Furthermore, a writhing motion in the eruptive flux rope was also confirmed. This writhing motion might contribute to the southward magnetic field observed in vicinity of the Earth. We report the detailed dynamics of the MFR obtained in the simulation.

2017年9月に観測された活動領域12673は、複数回のM、Xクラスフレアを引き起こした。特に、9月6日に発生したX9.3フレアは、太陽サイクル24において最大級のフレアとなったことから話題となった。またこの大フレアに伴い、大量のプラズマガスと磁場が惑星間空間に放出され、地球磁気圏・電離圏に多大な影響を及ぼした。

本研究は、これらの大フレアに伴う太陽磁場噴出の要因とダイナミクスを理解するために、電磁流体力学(MHD)シミュレーションを実施した。まず、より現実的な磁場配位を初期条件として与えるために、X2.2フレアが発生する約20分前(X9.3フレアが発生する約3時間20分前)の太陽表面の観測磁場データを用いて、3次元の太陽活動領域・コロナ磁場を非線形フォースフリー磁場近似に基づいて数値的に外挿した。非線形フォースフリー磁場は、磁気中性線上に強く捻れた磁力線の束である磁気フラックスロープをよく再現した。特に、複数のフラックスロープが多重に磁気中性線上に存在することを明らかにした。次に、外挿された磁場を用いて、MHDシミュレーションを実施した。その結果、磁気フラックスロープの不安定化に伴い、磁場の大規模放出の再現に成功した。特に、複数の磁気フラックスロープ同士が磁気リコネクションを介すことで、巨大でかつ強く捻れたコヒーレントな磁気フラックスロープが形成されることがわかった。さらに、新たに形成された巨大な磁気フラックスロープは、放出されながら回転し始めることも明らかになった。この磁気フラックスロープの回転は、地球近傍で観測された南向き磁場を作り出すための要因の一部となるかもしれない。本講演では、フレア前の3次元磁場構造、フレアに伴い再構成される磁気フラックスロープの3次元構造とそのダイナミクスを詳細に報告する。