

サイクル24最大の太陽フレアに伴う宇宙環境擾乱 : I. 連続Xクラスフレアの発生過程

伴場 由美 [1]; 井上 諭 [2]; 今田 晋亮 [3]; 草野 完也 [4]; 塩田 大幸 [5]
[1] ISAS/JAXA; [2] 名大 ISEE; [3] 名大・ISEE; [4] 名大 S T E 研; [5] NICT

Space Environment Disturbances by the Biggest Flares in Solar Cycle 24 : I. Generation of the sequential X-class flares

Yumi Bamba[1]; Satoshi Inoue[2]; Shinsuke Imada[3]; Kanya Kusano[4]; Daikou Shiota[5]
[1] ISAS/JAXA; [2] ISEE, Nagoya University; [3] ISEE, Nagoya Univ.; [4] STEL, Nagoya Univ.; [5] NICT

Solar active region (AR) NOAA 12673, which appeared on the solar surface in September 2017, showed us amazing growth of magnetic field and produced numbers of flares including four X-class flares. We focused on the sequential X2.2 and X9.3 flares that occurred while rapid growth of the AR on September 6, because latter the X9.3 flare caused increase of high energy protons and disturbances in ionosphere and magnetosphere. We aimed to understand onset mechanism of the X-class flares. Hence we analyzed the data obtained by Hinode and Solar Dynamics Observatory (SDO), and compared the analysis results to nonlinear force-free field (NLFFF) modeling.

We revealed that the key feature to trigger the X-class flares is the negative polarity region that emerged in the east in the AR and rapidly intrude into the positive polarity region. Highly sheared fields were located along the intruding negative field, and those were elongated and were pressed along with the intruding motion. Then the sheared fields were reconnected, and this could be a trigger of the X-class flares. Hinode and SDO observed proxies of the magnetic reconnection, such as fast (over 100 km/s) down flow and brightening in the solar corona, over the intruding negative field approximately 2 hours before the X2.2 flare onset. The NLFFF modeling produced several small flux ropes that lying along the magnetic polarity inversion line. We found that one of the flux ropes is already unstable (or close to unstable) and we confirmed that eruption in the magnetohydrodynamic simulation. Therefore, the intruding motion of the negative field would drive the flux rope further unstable state. This would cause the X2.2 small eruption. Following the X2.2 eruption, we further found that the twisted magnetic fields that lying under the small flux rope that erupt in the X2.2 flare reconnected and produced a new flux rope, which is larger and highly twisted. This new flux rope shows dramatic eruption. We suggest that this eruption causes the X9.3 flare. In fact, the continuous intruding motion of the negative field is observed after the X2.2 flare, therefore it would play an important role in producing the X9.3 flare.

From these results, we propose a scenario that the sequential X2.2 and X9.3 flares were triggered by push-mode-like magnetic reconnection corresponding to the intruding motion of the negative polarity field. We also discuss possibilities of other triggering scenario such as emerging flux that has specific features of so-called the reversed shear type.

2017年9月に太陽表面に現れた太陽活動域 (AR) NOAA12673 は、その急速な成長に伴い、4つのXクラスフレアを含む多くのフレアを生じた。特に、9月6日のX9.3フレアは、今太陽活動サイクル24最大のフレアで、高エネルギー陽子の増加と磁気圏・電離圏の擾乱を引き起こしたことから、宇宙天気的にも注目に値するイベントであった。そこで我々は、このX9.3フレア、およびその直前(約3時間前)に発生したX2.2フレアの2つのXクラスフレアに着目し、これらの発生過程を理解することを目的として、ひので衛星およびSolar Dynamics Observatory (SDO) 衛星のデータ解析を行った。また、観測データより得られた結果を非線形フォースフリー磁場 (nonlinear force-free field : NLFFF) モデリングと比較を行い、X2.2フレアからX9.3フレアへと至る磁気フラックスロープの噴出過程を考察した。

観測データ解析より、AR東側に浮上し、同西側の正極領域に急速に貫入する負極の磁場構造が、2つの連続するXクラスフレアを引き起こすうえで重要であることを見出した。これらの正極・負極間の磁気中性線上には、シアした磁気アーケードが存在していた。これらのシアした磁気アーケードは、負極の貫入運動により押し付けられ、磁気リコネクションし、これが連続するXクラスフレアを発生させた可能性がある。ひので衛星は、最初のX2.2フレア発生の約2時間前に、負極の貫入運動に伴うコロナ中でのダウンフロー(100 km/s程度)を観測しており、これは前述のアーケード磁場どうしのリコネクションに伴うプラズマの運動を捉えたものと考えられる。また、NLFFFモデリングでは、磁気中性線に沿って小さなフラックスロープが複数生成される様子が見られた。これらのフラックスロープの一部は、フレア発生前にすでに不安定(あるいは不安定に近い状態)であり、磁気流体シミュレーション(MHD)においてフラックスロープの噴出が確認された。これらのことから、前述の負極の貫入運動は、フラックスロープをさらに不安定な状態に移行させ、X2.2フレアの噴出の発生の原因となったと考えられる。また、シミュレーションでは、X2.2フレアで噴出したフラックスロープの下部に存在していた捻れた磁力線群が、X2.2フレアの噴出後に磁気リコネクションし、より大きく、より捻れたフラックスロープを新たに形成する様子が見られた。この新たに形成されたフラックスロープの噴出により、X9.3フレアが発生した可能性が考えられる。負極の貫入運動は、X2.2フレア発生前からX9.3フレア発生後まで連続的に観測されており、シミュレーション結果と併せて、連続する2つのXクラスフレアのいずれの発生に対しても重要な役割を担ったと解釈できる。

発表では、ひので衛星および SDO 衛星の観測データ解析結果と、NLFFF モデリング、MHD シミュレーションの詳細な比較結果に基づき、負極磁場の貫入運動に伴う X2.2 および X9.3 フレアの発生シナリオについて議論する。