

R010-08

A 会場 : 9/24 PM2 (15:45-18:15)

16:15~16:30

## 機械学習を用いた太陽フレア時の太陽 EUV 放射スペクトル予測

#前田 護<sup>1</sup>, 渡邊 恭子<sup>1</sup>, 西本 将平<sup>1</sup>, 北島 慎之典<sup>1</sup>, 下条 圭美<sup>2</sup>, 行方 宏介<sup>2</sup>, 増田 智<sup>3</sup>

<sup>1</sup>防衛大,<sup>2</sup>国立天文台,<sup>3</sup>名大

## Prediction of solar EUV spectra during solar flares using Machine Learning

#Mamoru Maeda<sup>1</sup>, Kyoko Watanabe<sup>1</sup>, Shohei Nishimoto<sup>1</sup>, Shinnosuke Kitajima<sup>1</sup>, Masumi Shimojo<sup>2</sup>, Kosuke Namekata<sup>2</sup>, Satoshi Masuda<sup>3</sup>

<sup>1</sup>National Defense Academy,<sup>2</sup>National Astronomical Observatory of Japan,<sup>3</sup>Nagoya University

X-ray (0.1-10 nm) and extreme ultraviolet (EUV: 10-124 nm) emissions from the Sun ionize atoms and molecules in the Earth's upper atmosphere and contribute to the formation of the ionosphere. The ionosphere is used for satellite and terrestrial communications. Since the ionospheric environment fluctuates with the 11-year solar cycle and sudden space weather phenomena such as solar flares, it is necessary to monitor and predict the ionospheric environment to keep a stable communication environment.

Observations of solar X-rays and EUV emissions, which have a large impact on the ionosphere, are limited to the period of satellite operation. On the other hand, microwave emissions from the Sun can be observed on the ground. It is known that there is a good correlation between solar microwaves and solar EUV emissions, and microwave at 2.8 GHz (F10.7) have traditionally been used as proxies for EUV emission when estimating the impact of solar emissions on the Earth's upper atmosphere, including the ionosphere. Recently, however, it has become clear that F10.7 alone cannot explain the actual affect to the Earth's upper atmosphere, because the variation of the EUV spectrum varies with wavelength. For this reason, studies such as Zhang & Paxton (2018) have recently been conducted to reproduce solar EUV radiation from multiple frequencies of radio observation data using machine learning.

We have studied solar cycle variations by using machine learning method to reproduced EUV emission spectra from multi-frequency radio emissions. By using data from the NoRP (1, 2, 3.75, 9.4 GHz) and Learmonth solar radio telescopes monitor (610, 1415 MHz), we have succeeded in reproducing the EUV emission spectrum observed by TIMED/SEE. The machine learning method also revealed which frequencies contribute to the reproduction of EUV emissions and found that lower frequencies such as 1 GHz and 2 GHz contribute significantly to the reproduction of EUV emissions.

In this study, we try to reproduce of solar EUV emission spectrum observed by SORCE/XPS during solar flare by using multi-frequency data from NoRP. The time resolution of SORCE was only about 5 minutes, which was not enough to obtain sufficient data during flares, so it was not possible to discuss time variability. Therefore, we first tried to reproduce the total amount of EUV emission for each flare event using SDO/EVE data with high temporal resolution of 10 seconds. The time-integrated intensities of both radio and EUV data for each flare event are used as input values and as output values for machine learning. As a result, a good correlation is observed at a ten few nm, and we are able to reproduce to some extent the amount of EUV radiation during solar flares from the radio data.

In this presentation, we will report the results of reproduced solar EUV emission spectrum during solar flares by machine learning method, and discuss the reproduction of the temporal variation of EUV emission with radio data.

太陽からの X 線 (0.1-10 nm) と極紫外線 (EUV: 10-124 nm) 放射は、地球上層大気中の原子や分子を電離することで、電離圏の形成に寄与している。電離圏は衛星通信や地上の通信に使用されているが、電離圏の環境は太陽の 11 年周期や太陽フレアなどの突発的な現象によっても変動するため、安定した通信環境を確保するためには、電離圏環境を監視・予測することが必要である。

電離圏への影響の大きい太陽 X 線・EUV 放射の観測は、人工衛星の運用期間に限られている。一方、太陽からの放射のうち電波は地上で観測できる。太陽電波と太陽 EUV 放射は相関が良いことが知られており、これまで電離圏を含む地球圏環境への太陽放射の影響を見積もる際には F10.7 という 2.8 GHz の電波が EUV 放射のプロキシとして用いられてきた。しかし近年、EUV 放射スペクトルの変動は波長によって異なるため、F10.7 だけでは実際に地球圏環境に影響している放射を説明できないことが分かってきた。そのため最近では、Zhang & Paxton (2018) のような機械学習を用いて複数周波数の電波観測データから太陽 EUV 放射の再現をおこなう研究がなされている。

これまで太陽周期変動において、多周波の電波放射から EUV 放射スペクトルを再現する研究を行った。野辺山強度偏波計 (NoRP; 1, 2, 3.75, 9.4 GHz) と Learmonth solar radio telescopes monitor (610, 1415 MHz) の観測データを用いることで、TIMED/SEE で観測された EUV 放射スペクトルを機械学習で概ね再現することに成功した。また、機械学習の手法を用いることによって、どの周波数の電波が EUV 放射の再現に寄与しているかについても分かり、1 GHz や 2 GHz といった低い周波数の電波が EUV 放射の再現に大きく寄与していることが分かった。

今回は太陽フレア時における太陽 EUV 放射スペクトルの再現を試みた。NoRP の多周波データからフレア時に SORCE/XPS で観測された EUV データの再現を試みたところ、元々良い相関が見られていた十数 nm の放射は再現できたが、相関が悪い EUV 放射の再現は難しく、また SORCE の時間分解能は 5 分程度でありフレア時のデータが十分に得られなかったため、時間変動に関する議論はできなかった。そこで、時間分解能が 10 秒の SDO/EVE のデータを使用し、

まずフレアイベントごとの EUV 放射量の総量の再現を目指した。電波、EUV データ共にフレアイベントごとの放射強度を時間積分したものを入力値、出力値とし機械学習に入力し学習させた。その結果、やはり十数 nm では良い相関が見られ、電波データから太陽フレア時における EUV の紫外線放射量がある程度再現できた。

今回の発表では、太陽フレア時における太陽 EUV 放射スペクトルの再現について試みた結果について報告するとともに、電波データと EUV 放射の時間変動の再現についても議論する。

太陽からの X 線 (0.1-10 nm) と極紫外線 (EUV: 10-124 nm) 放射は、地球上層大気中の原子や分子を電離することで、電離圏の形成に寄与している。電離圏は衛星通信や地上の通信に使用されているが、電離圏の環境は太陽の 11 年周期や太陽フレアなどの突発的な現象によっても変動するため、安定した通信環境を確保するためには、電離圏環境を監視・予測することが必要である。

電離圏への影響の大きい太陽 X 線・EUV 放射の観測は、人工衛星の運用期間に限られている。一方、太陽からの放射のうち電波は地上で観測できる。太陽電波と太陽 EUV 放射は相関が良いことが知られており、これまで電離圏を含む地球圏環境への太陽放射の影響を見積もる際には F10.7 という 2.8 GHz の電波が EUV 放射のプロキシとして用いられてきた。しかし近年、EUV 放射スペクトルの変動は波長によって異なるため、F10.7 だけでは実際に地球圏環境に影響している放射を説明できないことが分かってきた。そのため最近では、Zhang & Paxton (2018) のような機械学習を用いて複数周波数の電波観測データから太陽 EUV 放射の再現をおこなう研究がなされている。

これまで太陽周期変動において、多周波の電波放射から EUV 放射スペクトルを再現する研究を行った。野辺山強度偏波計 (NoRP; 1, 2, 3.75, 9.4 GHz) と Learmonth solar radio telescopes monitor (610, 1415 MHz) の観測データを用いることで、TIMED/SEE で観測された EUV 放射スペクトルを機械学習で概ね再現することに成功した。また、機械学習の手法を用いることによって、どの周波数の電波が EUV 放射の再現に寄与しているかについても分かり、1 GHz や 2 GHz といった低い周波数の電波が EUV 放射の再現に大きく寄与していることが分かった。

今回は太陽フレア時における太陽 EUV 放射スペクトルの再現を試みた。NoRP の多周波データからフレア時に SORCE/XPS で観測された EUV データの再現を試みたところ、元々良い相関が見られていた十数 nm の放射は再現できたが、相関が悪い EUV 放射の再現は難しく、また SORCE の時間分解能は 5 分程度でありフレア時のデータが十分に得られなかったため、時間変動に関する議論はできなかった。そこで、時間分解能が 10 秒の SDO/EVE のデータを使用し、まずフレアイベントごとの EUV 放射量の総量の再現を目指した。電波、EUV データ共にフレアイベントごとの放射強度を時間積分したものを入力値、出力値とし機械学習に入力し学習させた。その結果、やはり十数 nm では良い相関が見られ、電波データから太陽フレア時における EUV の紫外線放射量がある程度再現できた。

今回の発表では、太陽フレア時における太陽 EUV 放射スペクトルの再現について試みた結果について報告するとともに、電波データと EUV 放射の時間変動の再現についても議論する。