

R010-06

C会場：11/4 PM1 (13:45-15:30)

15:05~15:20

機械学習を用いた太陽 EUV 放射スペクトルの予測

#前田 護¹⁾, 渡邊 恭子¹⁾, 西本 将平¹⁾, 北島 慎之典¹⁾, 下条 圭美²⁾, 行方 宏介³⁾, 増田 智⁴⁾

(¹⁾防衛大, (²⁾国立天文台・チリ観測所, (³⁾国立天文台, (⁴⁾名大)

Prediction of Solar EUV Emission Spectrum Using Machine Learning

#Mamoru Maeda¹⁾, Kyoko Watanabe¹⁾, Shohei Nishimoto¹⁾, Shinnosuke Kitajima¹⁾, Masumi Shimojo²⁾, Kosuke Namekata³⁾, Satoshi Masuda⁴⁾

(¹⁾NDA, (²⁾Chile Observatory, NAOJ, (³⁾NAOJ, (⁴⁾Nagoya U.,

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, and 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.

The effects of solar X-rays and EUV emissions on the ionosphere are not known precisely because these emissions are observed by satellites, and satellites data are limited both in duration and resolution of observations. On the other hand, since microwave emissions from the Sun can be observed on the ground, especially microwave observation 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. However, recent satellite observations of EUV emission spectra have shown that there is a discrepancy in the flux variation between F10.7 and the EUV emission spectra.

In this study, we investigate the solar cycle variation of the relationship between microwave and EUV emission spectra using data from the Nobeyama Radio Polarimeters (NoRP) and Thermosphere・Ionosphere・Mesosphere・Energetics and Dynamics (TIMED)/Solar Extreme ultraviolet Experiment (SEE). The NoRP measures the flux of microwave emissions from the full Sun at multiple frequencies (1, 2, 3.75, 9.4 GHz), and TIMED/SEE measures 0.5-190 nm EUV emission spectra with a resolution of 1 nm. When we use daily data and investigated the relationship between them, all frequencies of microwave emissions had good correlations with EUV radiation spectra, however, lower frequency emissions tended to have a better correlation with EUV emissions. In addition, the correlation tended to be worse especially in the EUV wavelength band which contains a large amount of line emissions from the chromosphere, and the slope of the correlation also differed.

It is difficult to accurately derive the relationship between microwave frequency and EUV emission spectra only by comparing the observed data, because the emission mechanisms of microwave and EUV emissions are different. Therefore, we reproduced solar EUV emission spectra from multiple frequencies of microwave observations using a machine learning method with reference to Zhang & Paxton (2018). The input microwave data to machine learning were not only the NoRP data mentioned above, but also the Learmonth solar radio telescopes monitor data which was used in Zhang & Paxton (2018) (245, 440, 610, 1415, 2695, 4995, 8800, 15400 MHz) were used. Using daily observations between 2002 and 2016, we reproduced several EUV wavelength bands (e.g., 13.5, 30.5, 121.5 nm) obtained with TIMED/SEE and found that none of the EUV bands are well reproduced and had correlation coefficients of 0.97 or higher. However, it was not possible to identify the frequency of the microwave that is mainly responsible for the EUV emission spectrum, and the results showed that machine learning can be used to reproduce the EUV emission spectrum at any frequency.

In this presentation, the relationship between microwave and EUV emissions during solar activity cycles will be discussed using data analysis and machine learning results.

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し、多量の電子やイオンを生成することにより、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で利用されているが、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変動するため、安定した通信環境確保のために、電離圏環境を監視・予測することが必要となっている。

太陽放射の電離圏への影響は、太陽 X 線・EUV が人工衛星を用いて観測されており観測データが少ないことから、正確には分かっていない。一方、太陽からの放射のうち電波は地上で観測できるため、地球圏環境への太陽放射の影響を見積もる時には 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、近年の EUV 放射スペクトルの衛星観測などにより、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。

そこで、太陽周期変動による電波放射と EUV 放射スペクトルの関係の変動について、野辺山強度偏波計 (NoRP) と TIMED/SEE のデータを用いて調べた。NoRP は太陽全体からの電波強度を多周波 (1, 2, 3.75, 9.4 GHz) で測定しており、TIMED/SEE は 0.5-190 nm の EUV 放射スペクトルを 1 nm の分解能で 1 日に 15 回測定している。これらの電波放射と EUV 放射の関係を調べたところ、どの周波数の電波も EUV 放射スペクトルと良い相関が見られたが、低周波数の電波放射の方が EUV 放射との相関が良い傾向が見られた。また、彩層からのライン放射を多く含む EUV 放射チャンネルで相関が悪くなり、傾きも変化している様相が見られた。

電波放射と EUV 放射では放射機構が異なることから、これらの放射の関係を観測データの比較のみから正確に導出することは難しい。そこで本研究では、Zhang & Paxton (2018) を参考にして、機械学習を用いて複数周波数の電波観測データから特定の太陽 EUV 放射スペクトルの再現をおこなった。入力電波データは、上記の NoRP のデータのみならず、Zhang & Paxton (2018) で用いられていたオーストラリアの Learmonth solar radio telescopes monitor の観測データ (245, 440, 610, 1415, 2695, 4995, 8800, 15400 MHz) も使用した。2002 年から 2016 年間の日観測データを用いて、TIMED/SEE で得られた太陽 EUV 放射スペクトルのうちいくつかの波長バンド (13.5, 30.5, 121.5 nm など) の再現を行ったところ、どの EUV 放射も相関係数 0.97 以上で再現することができた。しかし、EUV 放射スペクトルに主に効いている電波の周波数は特定することができず、機械学習を用いれば、どの周波数の電波でも EUV 放射スペクトル再現できるという結果が得られた。

今回の発表では、これらの太陽活動周期における電波放射と EUV 放射の関係について、データ解析と機械学習の結果を用いて議論する。