

R011-07

C 会場 : 11/24 PM1 (13:45-15:45)

15:30~15:45:00

地球周回紫外線望遠鏡のダークカウントにおける説明可能な機械学習

#古賀 亮一¹⁾, 小山 聡¹⁾, 能勢 正仁¹⁾, 吉岡 和夫²⁾

(¹ 名古屋市立大学, (² 東京大学

Explainable machine learning of the dark count observed by an Earth-orbiting UV telescope

#Ryoichi Koga¹⁾, Satoshi Oyama¹⁾, Masahito Nose¹⁾, Kazuo Yoshioka²⁾

(¹Nagoya City University, (²The University of Tokyo

Many satellites orbit the Earth in low Earth orbit (LEO) for purposes such as Earth weather and astronomical observation, but radiation affecting their electronic circuits and optical components causes malfunctions, which is a major problem. Clarifying the causes of sudden temporal variations in the inner belt of Earth radiation will contribute to solving this problem. We used data from the “Hisaki” space telescope, launched in September 2013, which continuously observed the solar system for 10 years, to detect signals from the Earth’s radiation belt. The orbital altitude is 950 km at perigee and 1,150 km at apogee, with an orbital inclination of 30° relative to the equator, corresponding to McIlwain’s L-values of 1.1 – 2.1. Many scientific satellites observing radiation belts orbit in highly eccentric elliptical orbits, so there are few satellites besides Hisaki that can continuously observe the inner belt bottom. Hisaki’s extreme ultraviolet spectrograph, EXCEED, consists of a 20 cm off-axis parabolic mirror, a diffraction grating, and a micro-channel plate (MCP) detector. The spectral region on the MCP is limited to the center, and dark counts in other regions can be used as a monitor of Earth radiation.

Data analysis revealed several sudden increases in dark count rates equivalent to 2-5 times the normal rate. To prioritize explainability, the dark count time series was divided into two training data sets and one test data set, and machine learning was performed using the following two-stage linear multiple regression. First, the satellite’s geographical parameters were used as explanatory variables to separate periodic and sudden fluctuations, and the results were applied to the test data. Next, after subtracting the model obtained from the above machine learning from the other training data and test data, we trained using data from GOES satellites in geostationary orbit (X-rays, magnetometer, protons, electrons) and the SYM-H index, as well as time-delayed data, as explanatory variables, and applied it to the test data. As a result, we were able to detect three fluctuations: the time period when the sudden phenomenon occurred in September 2017 and the one and two days prior to it. Based on conventional knowledge, it is natural to assume that the cause of this phenomenon is that extreme coronal mass ejections temporarily allow some high-energy particles to penetrate into the inner belt. However, according to SHapley Additive exPlanations (SHAP) analysis on each data point, we found that the X-ray explanatory variable without time delay contributed to the fluctuations two days before the sudden phenomenon. This result was unexpected, and it was found that X-rays may directly affect satellite detectors within a few tens of minutes after a solar flare occurs.

地球気象や天体観測などの目的で多くの人工衛星が地球低軌道 (LEO) を周回しているが、放射線がこれらの電子回路や光学部品に作用することで故障を起こすことが大きな問題となっている。地球放射線の内帯の突発的な時間変動の原因を明らかにすることはこの問題を解決することに貢献する。私たちは地球放射線帯からの信号を検出するために、2013年9月に打ち上げられ、太陽系を10年間継続的に観測した「ひさき」宇宙望遠鏡のデータを使用した。軌道高度は近地点で950km、遠地点で1,150km、赤道からの軌道傾斜角は30°であり、McIlwainのL値が1.1-2.1に相当する。放射線帯を観測する科学衛星の多くは離心率が大きい楕円軌道で周回するため、このような内帯底部を連続的に観測できる衛星はひさきの他にほとんど存在しない。ひさきの極端紫外分光器「EXCEED」は、20cmの軸外し放物面鏡、回折格子とMCPによって構成されている。MCP上のスペクトル領域は中心に限られており、それ以外の領域のダークカウントは、地球放射のモニターとして使用することができる。

データ解析によりダークカウント率の通常時の2-5倍に相当する突発的な増加が何度かあることがわかった。説明可能性を重視するためにダークカウントの時系列をふたつの訓練データとひとつのテストデータに分割し、以下の二段階の線形重回帰による機械学習を行った。まず周期的な変動と突発的な変動を分離するために衛星の地理的なパラメータの説明変数を用いて訓練し、テストデータに適用した。その次にもうひとつの訓練データとテストデータから上記の機械学習で得られたモデルを差分した後、静止軌道にいるGOES衛星のデータ(X線、磁場、プロトン、電子)とSYM-H指数、それらを時間遅延させたデータを説明変数として用いて訓練し、同じくテストデータに適用した。その結果2017/9の突発現象が起こった時間帯とその1日、2日前の三回の変動を検出することができた。従来の知見ではこの原因は極端なコロナ質量放出が起こると、一時的に一部の高エネルギー粒子が内帯まで侵入することにあると考えるのが自然である。しかし実際に各データ点にSHAP (SHapley Additive exPlanations) の解析を行ったところ、突発現象の二日前の変動に時間遅延なしのX線の説明変数の貢献があることがわかった。この結果は予想外であり、X線が太陽フレアが起こってから数十分後に衛星の検出器に直接影響を与えることもあり得ることがわかった。