

R010-01

B会場：11/27 AM1 (9:00-10:15)

9:00~9:15

スードストリーマの1次元数値シミュレーションと経験則の構築

#戸頃 響吾¹⁾, 庄田 宗人¹⁾, 今田 晋亮¹⁾

¹⁾ 東大・理

One-dimensional numerical simulation and empirical construction of Pseudostreamer

#Kyogo Tokoro¹⁾, Munehito Shoda¹⁾, Shinsuke Imada¹⁾

¹⁾The University of Tokyo

The Earth's surrounding space, where human activities take place, is constantly exposed to the supersonic plasma flow from the Sun, known as the solar wind. The solar wind can sometimes cause disruptions to artificial satellites and power infrastructure, leading to potential chaos in social systems. To mitigate these impacts, it is essential to predict the density and velocity of the solar wind near Earth. The SUSANOO model, currently in operation by the National Institute of Information and Communications Technology, serves as an example of such predictive models. This model estimates the solar wind velocity at 25 solar radii using an empirical model based on the expansion factor of magnetic flux tubes (Wang & Sheeley 1990, Arge & Pizzo 2000), and calculates the solar wind velocity and structure beyond this point by directly solving the magnetohydrodynamic equations (Shiota et al. 2014). While this empirical formula is effective in regions with relatively simple magnetic structures, such as coronal holes, it has been suggested that it tends to overestimate the solar wind speed in the region between coronal holes of the same magnetic polarity, known as the pseudostreamer (Riley et al. 2015). This is thought to be due to the non-monotonic distribution of the magnetic flux tubes within the pseudostreamer, with roughly 20% of flux tubes exhibiting non-monotonic expansion factors. In other words, whenever a pseudostreamer appears, there is a risk of a significant decrease in the accuracy of space weather models, including SUSANOO. Therefore, this study aims to develop a new empirical solar wind speed formula that accurately accounts for the pseudostreamer. To consider the effects of the non-monotonic expansion of the pseudostreamer, we performed one-dimensional solar wind MHD numerical simulations, varying the shape parameters of the magnetic flux tubes for both monotonic and non-monotonic cases. As a result, we found that even under conditions that yield the same speed prediction in the Wang-Sheeley model, cases could arise where the speed is reduced by up to several hundred km/s, the density increases by about three times, and the temperature decreases to about half. These results are consistent with observational data indicating that the solar wind from pseudostreamers tends to have relatively low speeds. Furthermore, a parameter survey of approximately 80 cases indicated that the weighted integral of the expansion factor is a more effective feature than the convergence value of the expansion factor used in the WS rule, allowing a unified description of both regular coronal holes and pseudostreamers. Our findings suggest the potential for improving solar wind velocity models without new observational data.

人類の活動する地球周辺の宇宙空間には太陽からの超音速プラズマ流である太陽風が絶えず吹き付け、時には人工衛星や電力インフラなど社会システムに混乱を生じさせることすらある。その被害を抑えるためには地球近傍での太陽風の密度や速度を事前に予測する必要がある。そのような太陽風予測モデルとして、例えば情報通信研究機構で運用中されている SUSANOO モデルが挙げられる。このモデルでは磁束管の断面積拡大率を特徴量とする経験モデル (Wang & Sheeley 1990, Arge & Pizzo 2000) によって 25 太陽半径での太陽風速度を見積り、それより外側の太陽風構造は磁気流体方程式を直接解くことで太陽風速度とその構造を計算する (Shiota et al. 2014)。この経験則はコロナホールの比較的磁場構造が単純な領域では有効であるものの、スードストリーマという同一の磁気極性を持ったコロナホールの狭間の領域では太陽風速度を過大評価してしまうことが示唆されている (Riley et al. 2015)。これはスードストリーマの磁束管が非単調な拡大率 (expansion factor) の分布を持つためと考えられる。一般におおよそ 20% 程度の磁束管が非単調な拡大率を持つ。そのような磁束管から地球へ太陽風が吹く度に SUSANOO をはじめとする宇宙天気モデルは精度が一気に悪化する危険がある。そこで本研究ではスードストリーマにも精度の良い新しい太陽風速度経験則を目指す。スードストリーマの非単調な拡大による効果を考慮すべく、磁束管の形状が単調な場合と非単調な場合に分けて形状のパラメータを変化させ一次元太陽風 MHD 数値計算を行った。その結果、WS 経験則において同一の速度予測を与える条件下でも速度が最大数百 km/s 低く、密度が約 3 倍高く、温度が約半分まで変化するケースが生まれた。これはスードストリーマからの太陽風は速度が比較的低いという観測結果と整合的である。また、約 80 ケースにわたるパラメータサーベイを実行した結果、WS 経験則で採用される expansion factor の収束値よりも expansion factor の重みつき積分値の方が特徴量として有効であり、通常のコロナホールもスードストリーマも統一的に記述できることがわかった。我々の研究成果は新たな観測データを用いることなく太陽風速度モデルを改善できる可能性を示唆する。

R010-02

B 会場 : 11/27 AM1 (9:00-10:15)

9:15~9:30

惑星間空間磁場を増加させる太陽黒点の特徴

#吉田 南^{1,2)}, 清水 敏文^{1,2)}, 鳥海 森²⁾, 飯島 陽久³⁾

(¹ 東大, (² ISAS/JAXA, (³ 名大 ISEE

Characteristics of sunspots that increase the interplanetary magnetic field

#Minami Yoshida^{1,2)}, Toshifumi Shimizu^{1,2)}, Shin Toriumi²⁾, Haruhisa Iijima³⁾

(¹The University of Tokyo, (² ISAS/JAXA, (³ Nagoya University

The solar “open” magnetic field in the solar corona extends into the interplanetary space with the solar wind to create the heliosphere. The magnetic field structure of interplanetary space is important as the basis for space weather. Therefore, magnetic field development is a key to understanding how solar activity creates the heliosphere and interplanetary space. However, comprehensive interplanetary space magnetic field (IMF) observations are difficult. Therefore, understanding the structure of the heliospheric magnetic field has been advanced by estimating the open flux from observable photospheric magnetic field information and comparing it with the IMF observed in situ near the Earth. However, the understanding is still poor, as there is a problem that the estimated values underestimate the in situ observed values by a factor of 2-5 (Linker et al., 2017). Yoshida et al. (2023) suggest that the photospheric magnetic field at mid- and low-latitude is important to increase the open flux.

In this study, we investigate how low-latitude active regions during the solar maximum contribute to the evolution of the open flux. First, the dipole sunspot groups were placed in magnetograms and the magnetic field was diffused for one year by the surface flux transport model. The sunspot parameters are latitude, longitude, and sunspot tilt angle. Second, the coronal magnetic structures and open flux were calculated by magnetograms using the potential field source surface (PFSS) model. As a result, the open flux extending from sunspot groups tended to increase up to 3-4 months after sunspot emergence, depending on the tilt angle of the sunspot group and the latitude of emergence. Further analysis shows that the simulated increase in open flux is produced by the equatorial magnetic dipoles, which are formed by a largely tilted sunspot group sheared by the differential rotation. Comparing these results with observations is expected to provide a detailed understanding of the structure leading from solar low-latitudes to interplanetary space.

太陽磁場は太陽内部で生成されコロナへと延びる。コロナでの開いた磁場 (オープンフラックス) は、太陽風とともに惑星間空間へと広がり太陽圏を作り出す。惑星間空間の磁場構造は宇宙天気現象の基盤として重要である。そのため、太陽がどのように太陽圏や惑星間空間を作り出しているのかを理解するには、磁場発展が鍵となる。しかし、惑星間空間磁場 (IMF) を包括的に観測することは難しい。そこで、観測可能な太陽光球磁場情報からオープンフラックスを推定し、地球近傍でその場観測された IMF と比較することで、太陽圏磁場構造の理解が進められてきた。しかし、推定値が実測値に対して 2-5 倍程度過小評価される問題 (Linker et al., 2017) があるなど、未だ理解は不十分である。Yoshida et al. (2023) では、太陽黒点数の変動に対して IMF の時間変動が数ヶ月から 1 年遅れていることに着目し、光球中低緯度の磁場が問題解決に重要である可能性を示唆した。

そこで本研究では、太陽極大期の光球中低緯度に分布する活動領域が、どのようにオープンフラックスの増加に寄与しているかを調べる。まず、surface flux transport モデルを用いて、双極型黒点群を光球に配置し、緯度や経度、黒点傾き角などの特徴をパラメータとして変化させ、それぞれ 1 年分の磁場拡散を計算した。次に、得られた光球磁場マップと potential field source surface (PFSS) モデルを用いてコロナ磁場を外挿し、黒点の特徴ごとのオープンフラックスの時間発展を解析した。その結果、黒点群から延びるオープンフラックスは、黒点群の傾き角と出現緯度に依存し、黒点出現から 3-4 ヶ月後まで増加する傾向が見られた。このオープンフラックスの増加は、磁場拡散時に極性の異なる先行黒点と後行黒点の緯度差が大きい場合に、差動回転によって磁場が引き延ばされることで大局的な赤道方向双極子磁場が生み出され、コロナ磁場が作られることで起こると考えられる。これらの結果を観測に適用することで、太陽低緯度から惑星間空間へ繋がる構造の詳細な理解が期待される。

R010-03

B会場：11/27 AM1 (9:00-10:15)

9:30~9:45

#宮原 ひろ子¹⁾, 片岡 龍峰²⁾, 山本 和明³⁾, 門叶 冬樹⁴⁾, 森谷 透⁴⁾, 武山 美麗⁴⁾, 櫻井 敬久⁴⁾, 大山 幹成⁵⁾, 堀内 一穂⁶⁾, 堀田 英之⁷⁾

(¹⁾ 武蔵美, (²⁾ 極地研, (³⁾ 国文研, (⁴⁾ 山形大, (⁵⁾ 東北大, (⁶⁾ 弘前大, (⁷⁾ 名大

Solar cycles and extreme space weather events in the Medieval Solar Activity Maximum

#Hiroko Miyahara¹⁾, Ryuho Kataoka²⁾, Kazuaki Yamamoto³⁾, Tokanai Fuyuki⁴⁾, Toru Moriya⁴⁾, Mirei Takeyama⁴⁾, Sakurai Hirohisa⁴⁾, Ohyama Motonari⁵⁾, Kazuho Horiuchi⁶⁾, Hideyuki Hotta⁷⁾

(¹⁾Musashino Art University, (²⁾National Institute of Polar Research, (³⁾National Institute of Japanese Literature, (⁴⁾Yamagata Univ., (⁵⁾Tohoku Univ., (⁶⁾Hirosaki Univ., (⁷⁾Nagoya Univ.

Solar activity indicates centennial and longer-term variations in addition to the basic decadal-scale cycles. Such long-term variations sometimes result in extremely high solar activity periods, such as the Medieval Solar Activity Maximum. During this time, several large sunspots and red auroral events were recorded in the literature. In this presentation, we report solar cycles based on the annually measured carbon-14 content in tree rings from around 1190-1120 CE, one of the periods when the Sun was most active. We find that solar cycles were modulated to be shorter compared to the modern period. Comparison with extreme space weather events and solar cycles suggests that extreme events can also occur near the minima of solar cycles during such high solar activity periods.

R010-04

B会場：11/27 AM1 (9:00-10:15)

9:45～10:05

SOLAR-Cによる宇宙天気研究への貢献

#今田 晋亮¹⁾

⁽¹⁾ 東大・理

Contribution to space weather research by SOLAR-C

#Shinsuke Imada¹⁾

⁽¹⁾The University of Tokyo

As a fundamental step towards answering how the plasma universe is created and evolves, and how the Sun influences the Earth and other planets in our solar system, the proposed mission is designed to comprehensively understand how mass and energy are transferred throughout the solar atmosphere. Understanding the solar atmosphere, which connects to the heliosphere via radiation, the solar wind and coronal mass ejections, and energetic particles, is pivotal for establishing the conditions for life and habitability in the solar system. SOLAR-C is a mission designed to provide a conclusive answer to the most fundamental question in solar physics: how does the interplay of magnetic fields and plasma drive solar activity? The most significant examples of this interplay are atmospheric heating and explosive energy release, such as flares and coronal mass ejections (CMEs). Thus, the two primary science objectives for SOLAR-C are:

I. Understand how fundamental processes lead to the formation of the solar atmosphere and the solar wind.

II. Understand how the solar atmosphere becomes unstable, releasing the energy that drives solar flares and eruptions.

In order to advance our understanding of the mysterious Sun, especially of the origin of the hot solar atmosphere and the occurrence of the solar flares, the SOLAR-C mission concept tackles the scientific objectives by taking the following unique approaches:

A. To seamlessly observe all the temperature regimes of the atmosphere from the chromosphere to the corona simultaneously,

B. To resolve elemental structures of the solar atmosphere and track their changes with sufficient cadence, and,

C. To obtain spectroscopic information on dynamics of elementary processes taking place in the solar atmosphere.

Towards answering how and when the Sun causes disturbances to the Earth and other planets, quantification of physical conditions in and around the flare-productive active region obtained from SOLAR-C observations will advance our understanding of the physical processes of the solar flares and eruptions. The knowledge will be utilized to develop new algorithms of flare predictions and estimate impacts on the terrestrial environments with the help of other observations and theoretical modeling. It is expected that in the forth-coming decades, humanity will expand its territory to the Moon and Mars. The knowledge obtained by SOLAR-C will be utilized to predict space environments of the Earth, Moon, Mars, and beyond, supporting the sustainable space exploration.

R010-05

B会場：11/27 AM2 (10:30-12:00)

10:30～10:45

AR11158における太陽フレア前の太陽コロナ磁場における高リコネクションレート環境の時間変化

#近藤 光志¹⁾

¹⁾ 愛媛大・RCSCE

Temporal change of high reconnection rate environment in the solar coronal magnetic field before the solar flare in AR11158

#Koji Kondoh¹⁾

¹⁾Research Center for Space and Cosmic Evolution, Ehime University

Solar flares are thought to be explosive releases of magnetic energy due to magnetic reconnection. On the other hand, we have demonstrated the relationship between the magnetic reconnection rate and the magnetic field strength ratio and shear angle on both sides of the current layer through large-scale and high-spatial resolution numerical calculations of asymmetric magnetic reconnection. In this presentation, we report on the identification of regions with magnetic field strength ratios and shear angles that may lead to high magnetic reconnection rates in the solar coronal magnetic field before a solar flare, and the results of investigating their temporal variations and their relationship with solar flares.

太陽フレアは、磁気リコネクションによる磁場エネルギーの爆発的な解放であると考えられる。一方、我々は、非対称磁気リコネクションの大規模かつ高空間分解能な数値計算により、電流層を挟んだ両側の磁場強度比やシア度の磁気リコネクション率との関係性を示してきた。本発表では、太陽フレア前の太陽コロナ磁場において磁気リコネクション率が高くなる可能性のある磁場強度比やシア度をもつ領域を同定し、それらの時間変動と太陽フレアとの関係を調べた結果について報告する。

R010-06

B会場：11/27 AM2 (10:30-12:00)

10:45~11:00

説明可能な太陽高エネルギー粒子事象予測 AI モデルの高度化とその判断根拠の解析について

#藤田 菜穂¹⁾, 加藤 裕太^{1,2)}, 草野 完也²⁾, 光田 千紘^{1,2)}, 石原 康秀¹⁾

(¹ 富士通株式会社, (² 東海国立大学機構 名古屋大学 宇宙地球環境研究所)

Enhancement of an Explainable AI Model for Solar Energetic Particle Event Prediction and Analysis of its Decision Rationale

#Naho Fujita¹⁾, Yuta Kato^{1,2)}, Kanya Kusano²⁾, Chihiro Mitsuda^{1,2)}, Yasuhide Ishihara¹⁾

(¹Fujitsu Limited, (²Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University)

As human activities in space, such as the Artemis program, become increasingly ambitious, ensuring safety in the space environment is important. To address this, Fujitsu Ltd. and Tokai National Higher Education and Research System (THERS) entered into a comprehensive agreement in early 2023 to conduct joint research on space weather. A key focus of this research is Solar Energetic Particle (SEP) events, which are mostly triggered by solar flares (SFs) and coronal mass ejections (CMEs), and can pose risks to human health and space systems.

This study builds upon our previous work developing an explainable AI model for SEP event binary prediction. We utilize Wide Learning, a technology developed by Fujitsu, to perform multi-class classification of SFs. This model classifies SFs into three categories: those not associated with SEP events, those associated with SEP events below S2 threshold (based on NOAA scales, >10 MeV, ≥ 100 pfu), and those associated with SEP events above S2 threshold.

We enhanced our previous model by incorporating data from Solar Cycle 25, including approximately 20 new SEP events identified by July 2024. The dataset comprises 56 features derived from GOES/XRS X-ray data, SDO/HMI magnetic field data, and the κ -scheme flare prediction data (Kusano et al. 2020).

The strength of Wide Learning lies in its ability to not only predict but also provide insights into its decision-making process. The model automatically extracts categorical features and numerical patterns that are significantly associated with each prediction class. This allows us to analyze the specific conditions that differentiate flares associated with different SEP event severities.

This presentation will discuss these results of our model enhancement achieved by new data and expanding to a multi-class classification approach. We will also delve into the analysis of the decision rationale provided by the Wide Learning. This analysis provides valuable insights driving SEP event occurrence and severity, ultimately contributing to more reliable space weather forecasting and risk mitigation for future space exploration.

米国アルテミス計画を筆頭に、より活発化している月・火星・深宇宙空間への人類活動の進出を背景に、富士通株式会社と東海国立大学機構は、宇宙環境における安全確保を見据えた包括協定を2023年2月に締結し、共同研究を実施している。太陽高エネルギー粒子 (Solar Energetic Particle; SEP) イベントは、太陽フレアやコロナ質量放出といった太陽の突発現象に伴い発生し、人体への被ばくや宇宙システムへの障害といった影響を及ぼす、重要な研究対象である。

我々はこれまで、富士通の開発する説明可能 AI である Wide Learning を用いた分類タスクを、太陽活動第 24 周期における NOAA SWPC データベースの >10 MeV, ≥ 10 pfu を満たす SEP イベントに紐づいているフレアを正例、それ以外の GOES フレアカタログ記載のフレアについてを負例とする二値分類問題として実施し、その予測モデルを構築してきた。今回、2024 年 7 月までに掲載された、太陽活動第 25 周期における同様の条件を満たす SEP イベントに紐づいているフレア約 20 例を追加し、更に NOAA の S2 スケール以上 (>10 MeV, ≥ 100 pfu) を新たな予測クラスとして追加するマルチクラスの分類問題として実施することで、モデルの高度化に取り組んだため、その結果について議論する。特徴量に関しては、X 線や磁場に関する観測データおよび、 κ スキーム (Kusano et al. 2020) のフレア予測データから計 56 特徴量を作成した。

また、説明可能 AI である Wide Learning を用いた分類タスクでは、機械学習による予測結果だけでなく、学習したデータに含まれる各予測クラスに顕在的に現れる、カテゴリカルな特徴や特徴量の数値範囲のパターンを自動で抽出し、その予測に用いた判断根拠の条件として提示する。今回、① SEP イベントを伴わない、② S2 以下の SEP イベントを伴う、③ S2 以上の SEP イベントを伴う、の各予測クラスのフレアの条件について解析を行ったため、その結果について議論する。

R010-07

B会場：11/27 AM2 (10:30-12:00)

11:00~11:15

#西宮 祐太¹⁾, 三好 由純²⁾, 田 采祐³⁾, 堀 智昭⁴⁾, 三谷 烈史⁵⁾, 篠原 育⁶⁾, 高島 健⁶⁾, 東尾 奈々⁶⁾, 浅村 和史⁷⁾, 齊藤 慎司⁸⁾, 塩田 大幸⁹⁾

(¹⁾ISEE, (²名大 ISEE, (³名大 ISEE 研, (⁴名大 ISEE, (⁵宇宙研, (⁶宇宙機構/宇宙研, (⁷宇宙研, (⁸情報通信研究機構, (⁹情報通信研究機構

Solar Wind Parameter Dependence of the Radiation Belt Electron Flux Variations using the XAI technique

#Yuta Nishimiya¹⁾, Yoshizumi Miyoshi²⁾, ChaeWoo Jun³⁾, Tomoaki Hori⁴⁾, Takefumi Mitani⁵⁾, Iku Shinohara⁶⁾, Takeshi Takashima⁶⁾, Nana Higashio⁶⁾, Kazushi Asamura⁷⁾, Shinji Saito⁸⁾, Daikou Shiota⁹⁾

(¹Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, (²Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, (³Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, (⁴Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, (⁵Japan Aerospace Exploration Agency, Institute of Space and Astronautical Science, (⁶Japan Aerospace Exploration Agency/Institute of Space and Astronautical Science, (⁷Japan Aerospace Exploration Agency, (⁸National Institute of Information and Communications Technology, (⁹National Institute of Information and Communications Technology (NICT)

The radiation belt is a region in the inner magnetosphere where the most energetic electrons in geospace are trapped by the Earth's magnetic field. Significant variations in energetic electron flux occur during magnetic storms, and a continuous increase in the outer belt electron flux often leads to satellite anomalies. Thus, forecasting flux variations of energetic electrons is crucial for mitigating these risks and is a key aspect of space weather research. We have developed a forecast model for outer belt electron flux variations using a recurrent neural network (RNN) with a long short-term memory (LSTM) architecture. This model utilizes electron flux data obtained by the Arase/HEP and XEP instruments, which observe electrons in the energy range of ~100 keV to ~3 MeV, along with solar wind parameters. Furthermore, we have incorporated Shapley Additive exPlanation (SHAP) from eXplainable Artificial Intelligence (XAI) into our model to analyze the relative contribution of the input parameters affecting electron flux variations. The SHAP values indicate that both the solar wind speed and the time-integrated southward IMF significantly contribute to the flux enhancement. Solar wind speed is the primary factor, accounting for more than 50% of the flux enhancement, with the southward IMF Bz also playing a significant role. Solar wind density at >5/cm³ contributes to the loss of electron flux. These findings using SHAP are consistent with previous statistical analyses. We also performed a similar SHAP analysis to compare the relative contributions of these input parameters for the electron flux variations between CME- and CIR-driven storms in different L-shell regions. The results show that southward IMF is more effective for flux enhancement in CIR-driven storms and lower L-shell regions compared to CME-driven storms and larger L-shell regions. The diagnostic of the radiation belt variation using XAI not only improves the forecasting skill with AI but also enhances our understating of parameter dependencies on the radiation belt flux variations.

R010-08

B会場 : 11/27 AM2 (10:30-12:00)

11:15~11:30

#中村 雅夫¹⁾, 松井 大智¹⁾

⁽¹⁾ 大阪公大・工・航空宇宙

Analysis of the surface charging events and their plasma environment of the Van Allen probes

#Masao Nakamura¹⁾, Daichi Matsui¹⁾

⁽¹⁾Department of Aerospace Engineering, Osaka Metropolitan University

Spacecraft surface charging is induced by the interaction of ambient plasma with the spacecraft surface and sometimes causes spacecraft anomalies due to electrostatic discharging (ESD) in the inner magnetosphere. We studied surface charging events of the Van Allen Probes using their Electric Field and Wave (EFW) instruments and their Helium Oxygen Proton Electron (HOPE) sensors from 2012 to 2019. During daylight, almost all surface charging (< -10 V) events are observed in the region from night to dawn where $L > 4 R_E$, and during the first three years, which correspond to the solar maximum phase. Analysis of the period shows that the large integral flux of high-energy (> 8 keV) electrons is a necessary condition for negative charging. However, the charging rate is less than 0.2, even under severe flux conditions. Statistical analysis indicates that secondary electron emission induced by sufficient electron flux with energies in the hundreds of eV prevents negative charging in the inner magnetosphere. In the last five years, which correspond to the solar declining and minimum phases, almost no charging events are observed, even though severe plasma conditions, which are similar to those of the first three years, occur occasionally in the declining phase and rarely in the minimum phase. We discuss the effects of surface material degradation due to years of exposure, resulting in an increase in the secondary electron emission coefficient, and how to model the plasma environment for the statistical analysis of surface charging in the inner magnetosphere.

R010-09

B会場：11/27 AM2 (10:30-12:00)

11:30～11:50

静止軌道衛星搭載に向けた宇宙環境センサの開発

#齊藤 慎司¹⁾, 坂口 歌織¹⁾, 大辻 賢一¹⁾, 滑川 拓¹⁾, Park Inchun¹⁾, 高橋 直子¹⁾, 榎 海星¹⁾, 長妻 努¹⁾, 三宅 弘晃³⁾, 三谷 烈史²⁾, 浅村 和史²⁾, 高嶋 健²⁾, 久保 勇樹¹⁾, 津川 卓也¹⁾, 鈴木 龍太郎¹⁾, 門脇 直人¹⁾

¹⁾ 情報通信研究機構, ²⁾ 宇宙研, ³⁾ 東京都市大学

Development of Radiation Monitors for Space Weather (RMS) on Geostationary Earth Orbit Satellite

#Shinji Saito¹⁾, Kaori Sakaguchi¹⁾, Kenichi Otsuji¹⁾, Taku Namekawa¹⁾, Inchun Park¹⁾, Naoko Takahashi¹⁾, Kaisei Enoki¹⁾, Tsutomu Nagatsuma¹⁾, Hiroaki Miyake³⁾, Takefumi Mitani²⁾, Kazushi Asamura²⁾, Takeshi Takashima²⁾, Yuki Kubo¹⁾, Takuya Tsugawa¹⁾, Ryutaro Suzuki¹⁾, Naoto Kadowaki¹⁾

¹⁾National Institute of Information and Communications Technology, ²⁾Japan Aerospace Exploration Agency, Institute of Space and Astronautical Science, ³⁾Tokyo City University

情報通信研究機構では我が国上空を中心に位置する静止軌道衛星周辺の宇宙放射線と、これによる衛星材料の帯電量を計測する装置の開発を行っている。静止軌道衛星が位置する宇宙環境には地球磁場に捕捉された高エネルギー電子線や太陽フレアを起源とする高エネルギー陽子線が存在する。これらが衛星材料の内部へ侵入し帯電することにより、衛星の不具合や衛星運用に致命的な障害を引き起こす。また、高エネルギー陽子線が衛星材料内部へ侵入すると、半導体素子の誤動作による衛星障害や材料劣化による衛星寿命の短縮等のリスクが生じる。本研究開発では、衛星障害リスクとなりうる宇宙放射線を監視するため、静止気象衛星ひまわり10号（以下、ひまわり10号）に搭載可能な高エネルギー電子線と陽子線を計測する装置を開発している。また、ひまわり10号に搭載する気象観測装置との同時搭載性の向上のため、各計測装置内で電力・通信等の共通化が可能な部分を統合するための共通回路部の研究開発を行っており、これに加え静止衛星に限らない衛星帯電監視技術の確立に向けた計測機器の研究開発を行っている。本講演ではエンジニアリングモデルとして開発したこれらの機器の概要とともに、ひまわり10号搭載を目的としたプロトフライトモデルの開発計画について紹介する。

R010-10

B会場：11/27 PM1 (13:15-15:15)

13:15~13:30

RS CVn 型星の “X-10,000,000 クラス” 巨大フレア X 線観測における非平衡電離過程の調査

#栗原 明稀^{1,3)}, 岩切 涉²⁾, 辻本 匡弘³⁾, 海老沢 研^{1,3)}, 鳥海 森³⁾, 今田 晋亮¹⁾, 坪井 陽子⁴⁾, 笛吹 一樹⁴⁾, Keith Gendreau⁵⁾, Zaven Arzoumanian⁵⁾

(¹ 東大, (² 千葉大, (³ 宇宙研, (⁴ 中央大, (⁵ NASA GSFC

X-ray Investigation of non-thermal plasma in “X10,000,000-class” flare of the RS CVn binary star

#Miki Kurihara^{1,3)}, Wataru Iwakiri²⁾, Masahiro Tsujimoto³⁾, Ken Ebisawa^{1,3)}, Shin Toriumi³⁾, Shinsuke Imada¹⁾, Yohko Tsuboi⁴⁾, Kazuki Usui⁴⁾, Gendreau Keith⁵⁾, Arzoumanian Zaven⁵⁾

(¹The University of Tokyo, (²Chiba University, (³ISAS, (⁴Chuo University, (⁵NASA GSFC

Flare phenomena in stars, including the Sun, are based on common physical processes, albeit on different scales. Insights of plasma heating and evolution gained from studying giant stellar flares, which are rare on the Sun, are expected to provide a deeper understanding of the flare mechanisms and their ripple effects on the surrounding environment. In this presentation, we focus on the non-equilibrium ionization (NEI) processes in plasma and report on the X-ray spectroscopic observations of a GOES X10,000,000-class flare that occurred in an RS CVn-type binary system.

In the case of sudden stellar flares, it is expected that in addition to the collisionally ionized equilibrium (CIE) plasma with a temperature of around $T \sim 10^7 - 8$ K, which is the main component of X-ray emission, NEI plasma also exists. However, observational evidence for NEI in flares is still scarce. In solar flares, the time scale to reach CIE is very short, on the order of tens of seconds. On the other hand, in giant flares on active stars, longer time scales are expected, but capturing and analyzing sudden flares, whose occurrence location in the celestial sphere cannot be predicted, is challenging with a single X-ray instrument. We overcame this difficulty with the “MANGA (MAXI and NICER Ground Alert)” project, which started in June 2017. This system detects transient objects with the wide-field, low-sensitivity all-sky X-ray monitor MAXI, and then immediately follows up with high statistics X-ray observations using the narrow-field NICER instrument, both payloads on the International Space Station.

In our analysis, we focused on a flare event that occurred in UX Arietis (UX Ari), one of the representative success cases of MANGA, on August 17, 2020. Approximately 90 minutes after the detection by MAXI, NICER successfully conducted observations before the flare peak for the first time and continued to observe until the flare had significantly decayed, for about five days. In the 0.5-8 keV range, the peak X-ray luminosity was 2×10^{33} erg s⁻¹, and the total X-ray emission energy during the flare was $\sim 10^{38}$ erg. We investigated the possibility of NEI plasma by examining the intensity ratio variations of the Fe XXV He α and Fe XXVI Ly α emission lines. While the X-ray spectrum across the entire flare was consistent with a CIE plasma model, during the rising phase of the flare, the spectrum could also be explained by an ionizing plasma model that deviated from CIE. Additionally, we estimated the flare loop size to be 3×10^{11} cm and the peak electron density to be approximately 4×10^{10} cm⁻³.

太陽を含む恒星のフレア現象は、異なるスケールながら共通した物理過程に基づく。太陽では発生が稀な、巨大な恒星フレア研究から得られるプラズマの加熱・進化過程の知見は、フレアメカニズム、ひいては恒星周辺環境への波及効果についてより深い理解をもたらすと期待される。本講演では、特にプラズマの電離非平衡過程について焦点を当て、RS CVn 型連星で発生した GOES X-10,000,000 クラスフレアの X 線分光観測結果について報告する。

突発的な恒星フレアの現場においては、X 線放射の主成分となる $T \sim 10^7 - 8$ K の衝突電離平衡 (CIE) プラズマに加え、電離非平衡プラズマの発生が予想される。しかし、その観測的な存在証拠は未だ乏しい。太陽フレアでは、電離平衡到達までの時間スケールが O(10 s) と非常に短いためである。一方、活動的な恒星による巨大フレアにおいては、より長い時間スケールが期待されるが、そもそも地球上のどこで発生するか予測できない突発的なフレアを捕捉し、詳細解析することが単一の X 線装置でできない。我々は 2017 年 6 月に開始した「MANGA (MAXI and NICER Ground Alert)」プロジェクトで後者の困難を克服することに成功した。これは、低感度だが広視野を持つ全天 X 線監視装置 MAXI で検出した突発天体を、狭視野ながら高統計 X 線観測ができる NICER 装置で即時追観測するシステムである。

解析では、MANGA の代表的な成功例である、おひつじ座 UX 星 (UX Ari) が 2020 年 8 月 17 日に起こしたフレアイベントを扱った。MAXI による検出の約 90 分後、NICER で初めてフレアピーク以前から観測を行うことに成功し、十分減衰するまで 5 日間ほど継続的に観測できた。0.5-8 keV 帯域において、ピーク時の X 線光度は 2×10^{33} erg s⁻¹、フレア期間の X 線放出エネルギーは $\sim 10^{38}$ erg であった。Fe XXV He α および Fe XXVI Ly α 輝線の強度比の変動を調べることで、非平衡電離プラズマの可能性について検証した。X 線スペクトルはフレア全体で CIE プラズマモデルと整合していたが、フレアのフラックス上昇段階では、CIE から外れた Ionizing プラズマモデルでもスペクトルを説明できた。また、フレアループのサイズを 3×10^{11} cm、ピーク電子密度を約 4×10^{10} cm⁻³ と推定した。

R010-11

B会場：11/27 PM1 (13:15-15:15)

13:30~13:45

#北島 慎之典¹⁾, 渡邊 恭子¹⁾, 陣 英克²⁾, 埜 千尋²⁾, 増田 智³⁾, 西岡 未知²⁾, 村瀬 清華⁴⁾

(¹⁾防衛大, (²⁾情報通信研究機構, (³⁾名大, (⁴⁾極地研

Reproduction of electron density in the lower ionosphere during solar flares by PHITS code

#Shinnosuke Kitajima¹⁾, Kyoko Watanabe¹⁾, Hidekatsu Jin²⁾, Chihiro Tao²⁾, Satoshi Masuda³⁾, Michi Nishioka²⁾, Kiyoka Murase⁴⁾

(¹⁾National Defense Academy of Japan, (²⁾National Institute of Information and Communications Technology, (³⁾Nagoya University, (⁴⁾National Institute of Polar Research

Solar flare emissions cause ionization of the ionosphere and rapid variation in electron density. Shortwave fadeout (SWF) is caused by increased electron density in the lower ionosphere, primarily due to flare X-ray emission. There are several simulation models for the whole global atmosphere, which can provide electron density variations throughout the ionosphere in solar flare emissions (e.g., GAIA: Jin et al., 2011; WACCM: Liu et al., 2010). However, these models do not calculate the electron density variations in the lower ionosphere accurately. In order to estimate the occurrence and magnitude of SWF, it is necessary to accurately estimate the altitude distribution of electron density variation in the ionosphere during solar flare.

In this study, we use the PHITS code (Sato et al., 2024), a particle transport and collision simulation code using the Monte Carlo method, to reproduce electron density variations in the lower ionosphere due to flare X-ray emission. We input the GOES X-ray data into PHITS to simulate the ionization rate (q) in the ionosphere. At this time, we also derived the effective recombination coefficient (α_{eff}) using the electron density (n_e) observed by EISCAT from $n_e^2 = q/\alpha_{eff}$. The α_{eff} values are almost consistent with α_{eff} data during solar flares in the daytime given by Gledhill (1986). Then we reproduced the electron density (n_e) in the lower ionosphere using obtained α_{eff} values. Finally, we compare the electron density calculated by PHITS with the electron density observed by EISCAT during the daytime since 2010. The electron density by EISCAT is reproduced within the range of 1σ standard deviation of the electron density by PHITS.

The occurrence and magnitude of SWF can be known from the minimum reflection frequency in the ionogram (f_{min}), and the variation of f_{min} value during solar flare corresponds to the electron density variation in the lower ionosphere. We simulated f_{min} values using the electron density calculated by PHITS. Then, we compared their simulated f_{min} with observed f_{min} and validate the reproduction of electron density by PHITS. The correlation coefficient between the simulated and observed f_{min} values is 0.87, and the true positive rate of blackouts is $\sim 80\%$. In this presentation, we will discuss the reproduction of electron density variations using PHITS in comparison with electron density calculated by GAIA model.

R010-12

B会場：11/27 PM1 (13:15-15:15)

13:45~14:00

太陽フレアにおける太陽水素ライマン線放射とその地球への影響

#大窪 遼介¹⁾, 渡邊 恭子¹⁾, 北島 慎之典¹⁾, 増田 智²⁾, 家田 章正²⁾, 陣 英克³⁾, 埜 千尋³⁾, 西岡 未知³⁾

(¹⁾防衛大, (²⁾宇宙地球環境研究所, (³⁾情報通信研究機構)

Solar Hydrogen Lyman line emissions from solar flares and their effects on the Earth's ionosphere

#Ryosuke Okubo¹⁾, Kyoko Watanabe¹⁾, Shinnosuke Kitajima¹⁾, Satoshi Masuda²⁾, Akimasa Ieda²⁾, Hidekatsu Jin³⁾, Chihiro Tao³⁾, Michi Nishioka³⁾

(¹⁾National Defense Academy of Japan, (²Institute for Space-Earth Environmental Research, (³National Institute of Information and Communications Technology

It is well known that solar EUV emission (10-124 nm) significantly contributes to the ionization of the Earth's ionosphere. Among them, the Lyman-alpha line (Ly α , 121.6 nm) is the hydrogen line with the largest irradiance, making up more than half of the EUV irradiance from the transition region (Fontenla et al., 1991). Therefore, Ly α is considered to influence the ionization of the ionosphere. However, Ly α does not have enough energy to ionize the oxygen and nitrogen atoms and molecules that are abundant in the Earth's atmosphere. On the other hand, Lyman-beta (Ly β , 102.6 nm), has a shorter wavelength than Ly α and sufficient energy to ionize oxygen molecules. Understanding how solar EUV emission, including these Lyman lines, affects the ionization of the Earth's atmosphere is crucial importance for space weather.

Due to its strong irradiance and expected influence on space weather, Ly α has been observed by many satellite instruments. Currently, GOES/EUVS-E is observing the time variation of Ly α and Solar Orbiter/EUI is observing the image of Ly α . Milligan et al. (2020) showed the relevance of the Ly α to space weather phenomena by investigating the time variations of soft X-rays, Ly α , and the Kakioka magnetometer (reflecting the response of the ionospheric E-layer) during the X1.8-class flare on September 7, 2011. They concluded that Ly α emission affected the ionospheric E-layer because the Ly α peak preceded the Kakioka magnetometer's peak, while the soft X-ray peak occurred later than the Kakioka magnetometer's peak. However, Ly α cannot ionize atoms and molecules in the ionospheric E-layer. Therefore, Ly β or other shorter-wavelength EUV emissions with similar time variations to Ly α could have affected the ionosphere.

In this study, we first investigated the behavior of Ly α observed by GOES/EUVS-E and Ly β obtained from SDO/EVE during solar flares. We investigated 40 M-class or larger flares that occurred between 2010 and 2014. We found that the time variations of the Lyman lines during flares were almost identical for both Ly α and Ly β . However, the increase rates in irradiance of Ly β was more than 2.5 times higher than that of Ly α . Additionally, all EUV emissions, including Lyman lines, reached their peaks several minutes earlier than soft X-rays.

Furthermore, to investigate which wavelengths of solar flare EUV emission affect the ionization in the Earth's ionosphere at which altitudes, we used the GAIA model (Jin et al., 2011), which can simulate ionization in the Earth's ionosphere by inputting the flare spectrum. The results of the GAIA simulations show that Ly β has a significant impact on ionization in the ionospheric E-layer (altitude 90-150 km). In particular, it was confirmed that Ly β ionizes nearly half of the oxygen molecules (O₂) at an altitude of around 100 km.

In this presentation, we will also report on the results of comparing these GAIA calculations with observations from ionosondes to verify the actual impact of Ly β on the ionospheric E-layer.

太陽 EUV 放射 (10-124 nm) は地球電離圏の電離に大きく寄与していることが知られている。この太陽 EUV 放射の中でもライマン α 線 (Ly α 線、波長 121.6 nm) は最も照度が高い水素線であり、遷移層からの EUV 放射の半分以上を占めている (Fontenla et al., 1991)。このため、Ly α 線は電離圏の電離にも影響していると考えられているが、Ly α 線は地球大気中に豊富に存在する酸素や窒素の原子・分子を電離するエネルギーを持っていない。一方、同じ水素のライマン線であるライマン β 線 (Ly β 線、波長 102.6 nm) は、Ly α 線よりも短い波長を持ち、酸素分子をイオン化するのに十分なエネルギーを持っている。宇宙天気観測から、これらのライマン線を含めた太陽の EUV 放射がどの地球大気の電離にどのように影響するかを知ることが重要である。

Ly α 線は、その照度の強さと宇宙天気への影響への期待から、多くの衛星観測機器により観測されており、またその有用性も報告されている。例えば、Milligan et al. (2020) では、2011 年 9 月 7 日の X1.8 クラスフレアにおける軟 X 線と Ly α 線、そして柿岡磁力計 (地球電離圏 E 層の電離度を反映) の時間変動とこれらの関係を調べた。このフレアにおいては、Ly α 線のピークが柿岡磁力計のピークよりも先行していた一方で、軟 X 線のピークは柿岡磁力計のものよりも遅かったことから、Ly α 線の変動が電離圏 E 層に影響していると結論づけ、Ly α 線の有用性を示した。しかし、Ly α 線は電離圏 E 層に存在する大気の原子・分子を電離できないため、この結論は成り立たない。Ly α 線と同様の時間変動をする Ly β 線やその他の短波長の EUV 放射が影響している可能性が考えられる。

そこで本研究ではまず、GOES/EUVS-E で観測されている Ly α 線と SDO/EVE の観測データより得られる Ly β 線を使用して、太陽フレア時における Ly α 線と β 線の様相を探った。2010-2014 年の間に発生した M クラス以上のフレア 40 例について詳しく調べたところ、フレアにおけるライマン線の時間変動は Ly α 線 β 線ともほぼ同様であった。しか

し、放射照度増加率を比較したところ、Ly β 線のほうが Ly α 線よりも 2.5 倍以上増加率が高かった。また、ライマン線を含む EUV 放射のピーク時間について調べたところ、全ての EUV 放射が軟 X 線よりも数分早くピークに達していることが分かった。

更に、どの波長の太陽フレアの EUV 放射がどの高度の地球電離圏の電離に影響しているのかを詳しく調べるために、フレア放射による地球電離圏の電離をシミュレーションできる GAIA モデル (Jin et al., 2011) を用いて検証を行った。GAIA のシミュレーション結果より、Ly β 線が電離圏 E 層 (高度 90-150 km) の電離に大きな影響を与えていることがわかった。特に高度 100 km 付近では、Ly β 線が酸素分子 (O_2) の半数近くを電離していることが確認された。

また本発表では、これらの GAIA の計算結果とイオノゾンデによる観測値とを比較することで、Ly β 線が電離層 E 層に与える実際の影響について検証した結果についても報告する。

R010-13

B会場：11/27 PM1 (13:15-15:15)

14:00～14:15

データ同化による電離圏・熱圏大気の予測技術の開発

#陣 英克¹⁾, 安藤 慧²⁾, 埜 千尋¹⁾, 三好 勉信³⁾, 品川 裕之⁴⁾, 藤原 均⁵⁾

(¹⁾ 情報通信研究機構, (²⁾ NICT, (³⁾ 九大・理・地球惑星, (⁴⁾ 九州大学国際宇宙惑星環境研究センター, (⁵⁾ 成蹊大学

Development of Upper Atmospheric Assimilative Model using GAIA

#Hidekatsu Jin¹⁾, Satoshi Andoh²⁾, Chihiro Tao¹⁾, Yasunobu Miyoshi³⁾, Hiroyuki Shinagawa⁴⁾, Hitoshi FUJIWARA⁵⁾

(¹⁾National Institute of Information and Communications Technology, (²⁾National Institute of Information and Communications Technology, (³⁾Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Sciences, Kyushu University, (⁴⁾International Research Center for Space and Planetary Environmental Science, Kyushu University, (⁵⁾Seikei University

Prediction of the earth's ionosphere and thermosphere is an important topic of space weather research, since the variation in these regions have impacts on the GNSS applications and communications as well as satellite operations.

For the purpose of upper atmospheric prediction, we are developing a data assimilative model using a whole atmosphere-ionosphere model called GAIA and ionospheric observations. We adopt an ensemble Kalman filter approach, in which the most probable solution is obtained in considering observation errors and model uncertainties. It is necessary for the approach being effective that the model uncertainty is well reproduced by the ensemble. For this reason, we first selected several uncertain parameters used in GAIA by examining the sensitivity of the model output to those parameters and incorporated the parameters into the data assimilation scheme. We will introduce our data assimilation method and report its prediction performance.

電離圏や熱圏領域は地上-衛星間をつなぐ電波や低軌道衛星の通り道であり、この領域の大気の状態を把握および予測することは、通信や衛星測位、衛星の運用などにとっての障害や誤差の把握・減少につながり、宇宙空間利用の安定化に寄与しうる。

本研究では、これまでに開発した大気圏から電離圏まで再現する数値モデル GAIA を用い、これに電離圏の観測データを同化することにより、現実的な熱圏と電離圏の状態をリアルタイムに推定し、さらに予測する技術を開発する。データ同化の手法としてアンサンブルカルマンフィルタを使用する。この手法は観測の誤差とモデルの不確実性から、最もありうる解を見出すものである。その際にモデルの不確実性をアンサンブルで上手く再現することが、同化計算の性能を高めるために重要である。データ同化で先行する気象モデルの場合は初期値の不確実性をデータ同化によって推定し、予測が行われる。一方、電離圏や熱圏の場合は初期値に加えて、太陽紫外光や磁気圏、下層大気など外部からの入力やモデル内部の不確実性が計算結果の不確実性に寄与する。

したがって、本研究ではまずモデルで使用する入力パラメータや内部のパラメータを抽出し、それらの不確実性がどれくらい電離圏および熱圏の空間分布・時間変化の範囲に寄与するか調べる。そこから同化に最適な内外パラメータの不確実性を検討・導入し、データ同化の性能を評価する。

R010-14

B会場：11/27 PM1 (13:15-15:15)

14:15~14:30

#片岡 龍峰¹⁾, auroraXcosmic project¹⁾

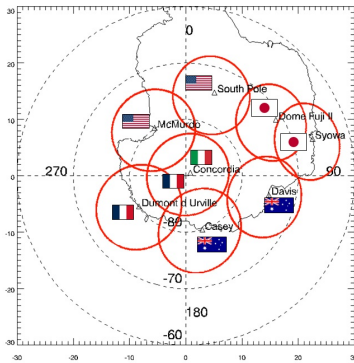
(¹ 極地研

Development of all-sky camera network over Antarctica

#Ryuho Kataoka¹⁾, auroraXcosmic project¹⁾

(¹National Institute of Polar Research

We report the latest development status of international all-sky camera network over Antarctica under the auroraXcosmic project (NIPR/JARE/AJ1007, 3rd year of 6 year project). We successfully started two-wavelength observations (391.4 nm and 630.0 nm) at Syowa station since March 2023, and we will install identical observation suites at Davis and Casey stations in the polar cap area since March 2025. Further, we will install modified versions at Dumont d'Urville and Concordia (magnetic pole) stations since March 2025. We discuss the future development (wind generator system etc.) to realize the unmanned observation at Dome Fuji II.



R010-15

B会場：11/27 PM1 (13:15-15:15)

14:30~14:45

全球磁場観測およびレーダー観測を用いた、サブストーム時の昼夜における電磁場応答の統計解析

#林 萌英¹⁾, 吉川 顕正²⁾, Ohtani Shinichi³⁾, 藤本 晶子⁴⁾

⁽¹⁾ 九大/理学府, ⁽²⁾ 九大/理学研究院, ⁽³⁾ JHU/APL, ⁽⁴⁾ 九工大

Statistical analysis of electromagnetic field response during substorms on day/night sides using global magnetic and radar data

#Moe Hayashi¹⁾, Akimasa Yoshikawa²⁾, Shinichi Ohtani³⁾, Akiko Fujimoto⁴⁾

⁽¹⁾Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kyushu University, ⁽²⁾Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University, ⁽³⁾The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, ⁽⁴⁾Kyushu Institute of Technology

本研究では、孤立型サブストームにおける昼夜の電場および磁場応答について、AMPERE で観測された R1/R2 電流の影響とサブストームカレントウェッジ (SCW) の遠隔効果に焦点を当てた結果を報告する。

極域電離圏には、磁気圏対流系の消長と連動する R1 電流と、内磁気圏の圧力勾配領域の消長と連動する R2 電流の二つの電流系が存在する。これらの電流に加えて、強いプラズマインジェクションによってサブストームが発生すると、プラズマフローの端にあるプラズマの渦によって SCW が発生する。これは R1 電流と同じ電流極性を持つ。これまでこの研究では、観測やシミュレーションによって、これらの電流が発展する際、R1 電流によって浸入電場が強まり、R2 電流によって遮蔽されることが報告されているが、浸透電場の統計的性質は依然として明らかになっていない。

本研究では、2010 年から 2013 年に発生した孤立型サブストームを対象に、R1/R2 電流と SCW が、中緯度から赤道域の電磁場応答に与える影響を統計的に調査した。AMPERE を用いて R1/R2 電流の大きさと分布を評価し、MAGDAS/SuperMAG の地上磁場データと、九州大学の FM-CW レーダー/SuperDARN の電離圏電場データを用いて、それに対応する電磁場応答を解析した。

その結果、昼側と夜側で以下の特徴が見られた。superposed epoch analysis により、昼側では、中緯度から赤道域にかけて広範囲にわたって H 成分が減少する傾向が見られた。また、D 成分は夕側で増加し、朝側で増加する傾向が見られた。これらは、昼側の磁場変動に SCW による遠隔効果が現れていることを示唆している。また、赤道域と低緯度の H 成分の差に注目すると、ほとんどのイベントでその差はわずかであった。個々のイベントに着目すると、赤道域での振幅増加が観測されたイベントもいくつかあったが、その時間変動はサブストームの expansion phase と必ずしも一致せず、AMPERE で観測した昼側の R1/R2 型電流の発展と良い相関を示した。これは、昼側の R1/R2 型電流が赤道域にまで侵入する電場を生成していることを示唆している。夜側では、AMPERE が観測した R1/R2 FAC の発展と電場との強い相関が見られた。電場の方向は SCW との相対位置および R1/R2 電流の強度比によって決まり、R1/R2 電流の比率と SCW の位置が夜側の侵入電場における主要な要因であることが示唆される。

本発表では、これらの結果に加えて、FM-CW と SuperDARN を組み合わせ、電場発展を 3 次元的に議論した結果を報告する。

R010-16

B会場：11/27 PM1 (13:15-15:15)

14:45～15:00

#出井 駿¹⁾, 中村 紗都子²⁾, 三好 由純³⁾, 海老原 祐輔⁴⁾, 亘 慎一⁵⁾

(¹ 名大宇宙地球環境研究所, (² ISEE, (³ 名大 ISEE, (⁴ 京大生存圏, (⁵ 情報通信研究機構

Diurnal and Seasonal Variations of Quiet-Time Geomagnetically Induced Currents in Power Transmission Systems in Japan

#Shun Idei¹⁾, Satoko Nakamura²⁾, Yoshizumi Miyoshi³⁾, Yusuke Ebihara⁴⁾, Shinichi Watari⁵⁾

(¹Institute for Space&Earth Environmental Research, Nagoya University, (²Nagoya University, (³Institute for Space-Earth Environment Research, Nagoya University, (⁴Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, (⁵National Institute of Information and Communications Technology

This study investigates the characteristics of long-term variations in geomagnetically induced currents (GICs) in Japan, with a focus on the Kanto region. In response to the recent growing awareness of GIC risks in geomagnetically low- to mid-latitude regions, observations at several points in Japan islands have been conducted (Watari et al. (2021), Nakamura et al. (2017)). However, these studies have primarily concentrated on periods of high geomagnetic activity, and GICs in Japan during magnetically quiet intervals have not been well understood. Although GIC amplitudes during quiet periods are relatively small, continuous currents may still have the potential to impacts on underground gas pipelines. Therefore, we focus on the characteristics and causes of GICs during magnetically quiet intervals in Japan. Additionally, we evaluated techniques to calculate GICs using the geomagnetic field observations. In this study, we selected five geomagnetically quiet days each month based on the Kp index . We analyzed the average diurnal variations of both GIC and geomagnetic variations for each season (spring/summer/fall/winter) using Superposed Epoch Analysis. Our findings indicate a strong correlation between the diurnal variation of GIC and the diurnal variation of the Sq current. Furthermore, we used the method developed by Ebihara et al. (2021) to estimate GIC from the geomagnetic data in the ground. The calculated GIC accurately reproduced the observed diurnal patterns, except for specific time periods in UT (LT), demonstrating that the magnetic fields generated by the Sq current can account for the observed GIC variations. We conclude that the diurnal and seasonal variations in GIC in Japan are predominantly caused by geomagnetic variations associated with the Sq current.

R010-17

B会場：11/27 PM1 (13:15-15:15)

15:00～15:15

磁気圏 MHD シミュレーションによる地磁気誘導電流 (GIC) 予測の検討 7

#巨 慎一¹⁾, 中溝 葵²⁾, 海老原 祐輔³⁾

⁽¹⁾ 情報通信研究機構, ⁽²⁾ NICT, ⁽³⁾ 京大生存圏

Estimation of geomagnetically induced current (GIC) using the global MHD simulation of the magnetosphere 7

#Shinichi Watari¹⁾, Aoi Nakamizo²⁾, Yusuke Ebihara³⁾

⁽¹⁾National Institute of Information and Communications Technology, ⁽²⁾National Institute of Information and Communications Technology, ⁽³⁾Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

We have been studying the calculation of geomagnetically induced current (GIC) using the result of the NICT global MHD simulation with real-time solar wind data as input. It is necessary for the GIC calculation to consider (1) calculation of geomagnetic field variation using the simulation, (2) calculation of electric field variation from the geomagnetic field variation, and (3) calculation of GIC from the electric field variation. We have developed a method to calculate electric field variation at high latitude with 2 degrees by 2 degrees resolution using the magnetic field variation obtained from the simulation and the underground conductivity model and a method to calculate GIC using a simplified power line model. We have also developed a method to calculate electric field variation at low latitude using the Burton model with cross polar cap potential calculated by the simulation. Occurrence of geomagnetic storms has increased according to progression of solar cycle 25 and large GICs associated with them also have increased. We will report the GIC observation and the calculation using the result of the simulation on several magnetic storms.

リアルタイム太陽風観測データを入力として NICT で計算を行っているグローバル磁気圏 MHD シミュレーションの結果を用いた地磁気誘導電流 (GIC, Geomagnetically Induced Current) の予測について検討を進めている。GIC の予測を行うためには、(1) 磁気圏シミュレーションの結果から地磁気変動の計算、(2) 地磁気変動から電場変動の計算、(3) 電場変動から GIC の計算という 3 つの手順が必要となる。これまで、磁気圏シミュレーションの結果から求めた高緯度の磁場変動から地下伝導度モデルを用いて 2 度×2 度の分解能で電場変動を計算する手法や送電網の簡易モデルを使って電場変動から GIC を計算する手法について検討を行ってきた。また、磁気圏シミュレーションにより求められた cross polar cap potential から Burton モデルを用いて低緯度の磁場変動を計算する手法について検討を行ってきた。現在、太陽活動サイクル 25 の極大付近にあたり磁気嵐の発生数も増えており、磁気嵐に伴う大きな GIC の観測も多くなっている。GIC の観測状況と磁気圏シミュレーションを用いた GIC 計算のこれまでの検討結果にもとづいたいくつかの磁気嵐についての計算結果について報告する予定である。

R010-P01

ポスター 2 : 11/25 AM1/AM2 (9:00-12:00)

ひのでで観測された太陽極域磁場の変動とサイクル 25 の極性反転の進行に関する考察

#塩田 大幸¹⁾, 久保 雅仁²⁾, 勝川 行雄²⁾, 下条 圭美²⁾, 飯島 陽久³⁾, 松本 琢磨³⁾, 増田 智³⁾

(¹ 情報通信研究機構, (² 国立天文台, (³ 名大)

Hinode observation of long-term variation of magnetic fields in the Sun's polar regions in Cycle 24 and 25

#Daikou Shiota¹⁾, Masahito Kubo²⁾, Yukio Katsukawa²⁾, Masumi Shimojo²⁾, Haruhisa Iijima³⁾, Takuma Matsumoto³⁾, Satoshi Masuda³⁾

(¹National Institute of Information and Communications Technology (NICT), (²National Astronomical Observatory of Japan,

(³Nagoya University

太陽の極域の磁場は、詳細に観測が困難である一方、太陽周期活動によって変動するため太陽の長期的な磁場変動を理解する上で非常に重要であることが知られている。また極小期には高速太陽風が流出する極域コロナホールが形成されるため、太陽極域磁場の変動の理解は、宇宙天気予報を高精度化するための要素としても重要な意味をもつ。2006年に打ち上げられたひので衛星は、高解像度・高性能の偏光観測が可能な可視光磁場望遠鏡によって、太陽極域磁場の詳細な分布を観測することができ (Tsuneta et al. 2008)、2008年秋以降極域磁場のモニター観測を継続している。一方、2019年12月に始まったサイクル 25 は、当初の予測を上回るペースで推移している。これを受けて 2023年10月には NOAA Solar Cycle 25 Prediction Panel は、サイクル 25 の予測を更新し、それによるとサイクル 25 の極大が、当初予測されていた 2025年から前倒しになり 2024年になるとの予測を公表した。

本研究では、モニター観測によって得られた太陽極域磁場データを解析し、極域全体を俯瞰する磁場マップを作成することで南北両極における磁場の推移について解析を行った。その結果、南北両極域の緯度 70 - 75 度の領域で、2023年に入り磁束密度の低下が急激になり極性反転が進行しているが、2024年3月の時点では緯度 70 度以上の南極は依然として従来の極性の磁場が支配的であり、極性反転が完了していない様子が確認された。講演では、SDO/HMI による太陽全面の光球磁場 synoptic map とひのでによって得られた極域の磁場データを合わせて解析し、サイクル 25 の期間中の太陽黒点数の推移と極域磁場の変動の対応関係の考察を行う。

R010-P02

ポスター 2 : 11/25 AM1/AM2 (9:00-12:00)

#伴場 由美¹⁾, 原 拓也²⁾, 片岡 龍峰³⁾, 丸橋 克英¹⁾, 岩井 一正⁴⁾, 堀 智昭⁴⁾, 塩田 大幸¹⁾, 村上 豪⁵⁾, Sanchez-Cano Beatriz⁶⁾, Heyner Daniel⁷⁾, Richter Ingo⁷⁾, Auster Hans-Ulrich⁷⁾

(¹⁾ 情報通信研究機構, (²⁾ カリフォルニア大学バークレー校, (³⁾ 極地研, (⁴⁾ 名大 ISEE, (⁵⁾ ISAS/JAXA, (⁶⁾ University of Leicester, UK, (⁷⁾ Institute for Geophysics and extraterrestrial Physics, Technical University of Braunschweig, Germany

Multipoint spacecraft measurements of the ICME structure in October 2021

#Yumi Bamba¹⁾, Takuya Hara²⁾, Ryuho Kataoka³⁾, Katsuhide Marubashi¹⁾, Kazumasa Iwai⁴⁾, Tomoaki Hori⁴⁾, Daikou Shiota¹⁾, Go Murakami⁵⁾, Beatriz Sanchez-Cano⁶⁾, Daniel Heyner⁷⁾, Ingo Richter⁷⁾, Hans-Ulrich Auster⁷⁾

(¹⁾ National Institute of Information and Communications Technology, (²⁾ SSL/UCB, (³⁾ National Institute of Polar Research, (⁴⁾ Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, (⁵⁾ Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, (⁶⁾ University of Leicester, UK, (⁷⁾ Institute for Geophysics and extraterrestrial Physics, Technical University of Braunschweig, Germany

We study a coronal mass ejection (CME) structure that propagated through the inner heliosphere in October 2021, which was simultaneously observed by the five spacecraft including BepiColombo, Solar Orbiter, Parker Solar Probe, STEREO-A, and ACE located at different radial distances and heliospheric longitudes. Interestingly, at least four of the five observed a dip-like signature in the magnetic field embedded in the CME. We investigate the cause of the dip-like signature on the basis of both in-situ solar wind data and solar surface data. We identified and examined the flare-triggering structure of the M1.6 flare, which is likely to cause the CME; however, there is no clear evidence that the flare also caused a dip-like signature in the CME being ejected. We then inferred that the dip-like signature represents a planer magnetic structure (PMS) embedded in the CME-driven sheath. A result of the minimum variance analysis (MVA) applied to the observations confirms that the magnetic field vectors associated with the dip-like signature lied along the plane perpendicular to the minimum variance direction, which planer structure is consistent with characteristics of PMS proposed by previous studies. We discuss how the dip-like signature was distributed in the CME sheath and how it formed. Our MVA results suggest that the magnetic field of the dip-like signature was distributed along the shock surface at least at the Solar Orbiter and ACE locations. We further suggest on the basis of the estimated shock parameters that the CME-driven shock had been developed more furiously than usual during the initial phase of its propagation in the inner heliosphere.

横須賀太陽電波強度偏波計による太陽マイクロ波観測

#渡邊 恭子¹⁾, 下条 圭美²⁾, 岩井 一正³⁾, 増田 智³⁾

⁽¹⁾ 防衛大, ⁽²⁾ 国立天文台, ⁽³⁾ 名大 ISEE

Solar Microwave Observations with the Yokosuka Radio Polarimeter (YoRP)

#Kyoko Watanabe¹⁾, Masumi Shimojo²⁾, Kazumasa Iwai³⁾, Satoshi Masuda³⁾

⁽¹⁾National Defense Academy of Japan, ⁽²⁾National Astronomical Observatory of Japan, ⁽³⁾Institute for Space-Earth Environmental Research, 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.

Therefore, we have also studied the reproduction of variations in the EUV emission spectrum due to solar cycles and solar flares by machine learning methods using multi-frequency microwave observation data from the Nobeyama Radio Polarimeters (NoRP). The variation of the EUV emission spectrum due to solar cycles is successfully reproduced by a machine-learning model. The frequencies of microwaves contributing to the reproduction of EUV spectrum is also investigated, and it is found that low-frequency radio waves such as 1 GHz and 2 GHz contributed significantly to the reproduction of EUV spectra. On the other hand, for the EUV emission spectrum during solar flares, the SDO/EVE observation data are used to reproduce the total amount of EUV emissions at each wavelength for each flare event. During flares, good correlations are found between the EUV spectra and microwave emissions at higher frequencies, such as 17 GHz and 35 GHz.

Thus, radio emission data over a wide range of frequencies are needed to understand space weather conditions. In Japan, radio emissions have been observed in Toyokawa and Nobeyama for more than 70 years, but the observed frequencies are limited to seven: 1, 2, 3.75, 9.4, 17, 35 and 80 GHz. A new solar radio observation system to obtain the dynamic spectrum of microwave including these frequencies has now been installed at the National Defense Academy of Japan. In this presentation, we introduce the Yokosuka Radio Polarimeter (YoRP) and reports on the latest data acquisition status.

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 放射の再現を行う研究がされている。

そこで我々もこれまでに、野辺山強度偏波計による複数周波数のマイクロ波観測データを用いて、太陽活動周期と太陽フレアによる EUV 放射スペクトルの変動を機械学習の手法により再現する研究を行った。太陽活動周期変動による EUV 放射スペクトルの変動については、TIMED/SEE で観測された EUV 放射スペクトルを機械学習で作成したモデルで概ね再現することに成功した。またこの時、どの周波数のマイクロ波が EUV 放射の再現に寄与しているかについて調べたところ、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。一方、太陽フレア時の EUV 放射スペクトルについては、SDO/EVE の観測データを使用して、フレアイベントごとの各波長の EUV 放射量の総量の再現を行った。(太陽フレアの観測イベント数は機械学習の手法を適応するのに十分ではなかったため、機械学習モデルの作成は短い波長の EUV 放射に限られた。) フレア時においては、17 GHz や 35 GHz といった高い周波数のマイクロ波放射と EUV 放射スペクトルとの良い相関が確認された。

このように、宇宙天気状況把握のために必要とされる電波のデータは幅広い周波数にわたっている。日本では、豊川・

野辺山において、70年以上にわたる電波放射の観測が現在まで継続されているが、観測周波数は1, 2, 3.75, 9.4, 17, 35, 80 GHzと7周波数に限られている。これらの電波放射についてこれからも継続的な観測を行うだけでなく、これらの周波数を含む電波放射のダイナミックスペクトルを取得する電波観測装置を本校内（横須賀）に設置した。今回は横須賀太陽電波強度偏波計の紹介とともに、最新データの取得状況について報告する。

R010-P04

ポスター 2 : 11/25 AM1/AM2 (9:00-12:00)

#北村 健太郎¹⁾, 増井 博一¹⁾, 阿部 修司²⁾, 魚住 禎司²⁾, 寺本 万里子¹⁾, 藤本 晶子¹⁾, 吉川 顕正²⁾, 趙 孟佑¹⁾, YOSTUABA-KULOVER Team^{1,2)}

⁽¹⁾九州工大, ⁽²⁾九州大学, ⁽⁴⁾九工大, ⁽⁵⁾九大/理学研究院

Current Status of the YOTSUBA-KULOVER Satellite for Precise Geomagnetic Observations

#Kentarou Kitamura¹⁾, Hirokazu Masui¹⁾, Shuji Abe²⁾, Teiji Uozumi²⁾, Mariko Teramoto¹⁾, Akiko Fujimoto¹⁾, Akimasa Yoshikawa²⁾, Meng Cho¹⁾, YOSTUABA-KULOVER Team^{1,2)}

⁽¹⁾Kyushu Institute of Technology, ⁽²⁾Kyushu University, ⁽⁴⁾Kyushu Institute of Technology, ⁽⁵⁾Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University

Since the first launch of the CubeSat in 2003, many universities and institutes have been developing the CubeSat for the purpose of the aerospace educations. As the commercial use and science observations came to increase from 2013, the number of CubeSat launches exponentially increased. Although many universities in Japan also started many CubeSat programs, their missions are mostly focused on the technology demonstrations.

YOTSUBA-KULOVER satellite is a 2U size CubeSat developed under the collaboration between Kyushu Institute of Technology (Kyutech) and Kyushu University to observe the geomagnetic field variations associated with Field Aligned Currents (FAC) and Current Wedge (CW) due to the substorms and with Interhemispheric Field Aligned Current (IHFAC) during the quiet period. The development of the satellite was conducted mainly by the undergraduate students as a human resource development program. The aim of this program is to implement an actual scientific mission other than a technology demonstration in the student satellite program. The bus and mission systems were developed by Kyutech and Kyushu Univ., respectively.

The mission system consists of two components that are fluxgate magnetometer and compact general-purpose camera for embedded microcontrollers. In order to reduce the cost and risk for the development, COTS (Commercial Off-The-Shelf) components were employed. The Basic specifications of the magnetometer are as followings: (1) full scale measurement range is +/- 60 uT, (2) noise floor is less than 50pT at 1Hz, (3) weight is 94g, (4) dimension of the electronics is 90.2mm x 95.9mm, (5) current consumption is 35mA in full range field (5V) and 8.5mA (3.3V). The satellite will be deployed from the International Space Station with the inclination of 51deg and the altitude of approximately 400km. These specifications and orbit conditions enable us to observe the storm/substorm related current systems like a substorm current wedge and the low-mid latitude ULF pulsations with the lower frequency like PC5.

The development of Flight model of YOTSUBA-KULOVER satellite has completed and necessary environment tests, which are integration test, thermal vacuum test, vibration test etc, were also finished. Currently, several governmental procedures, like frequency coordination, safety review, and procedure of space activity law, are ongoing. It is scheduled to handover to JAXA by autumn in 2024, and to be released from ISS in early 2025.

R010-P05

ポスター 2 : 11/25 AM1/AM2 (9:00-12:00)

#高橋 直子¹⁾, 西塚 直人¹⁾

¹⁾NICT

Forecast of CIR-driven geomagnetic storms using the deep neural networks

#Naoko Takahashi¹⁾, Naoto Nishizuka¹⁾

¹⁾National Institute of Information and Communications Technology

The magnetospheric disturbances is one of the essential indicators for the space weather forecast. The condition in the Earth's magnetosphere strongly depends on the solar wind variation associated with, for example, coronal mass ejection (CME) and/or co-rotating interaction region (CIR). Here, we focus on CIR-driven geomagnetic storms, which are originated from high-speed plasma flow from coronal holes. It is known that the solar wind variation mainly depends on the location and scale of coronal holes. In particular, the solar wind emitted from coronal holes near the solar equatorial region are likely to cause a drastic change of ring current, resulting a geomagnetic storm that can be detected as a global change of magnetic field both in space and on the ground. One of the difficulties for the geomagnetic storm forecast is that the interaction between solar wind and magnetosphere includes nonlinear processes. In addition, different characteristics for each storm event make it difficult to predict geomagnetic storms only using physically based simulations. In this study, we aim to develop the machine learning model for the prediction of CIR-driven geomagnetic storms.

We have developed a regression prediction model of solar wind that have been applied from the solar flare prediction model using deep neural networks (DeFN). First, the database of coronal holes (location coordinates, area) and solar wind (speed (V_{sw}), plasma density (N_{sw}), IMF Bz, IMF magnitude (IMF Bt)) is made from the observation data in 2017-2021 for learning. The parameters for coronal holes are derived from SDO spacecraft data, while solar wind parameters are derived from DSCOVR spacecraft. In addition, we make the database without CME-driven storm events to forecast pure CIR-driven storm events. The magnetic storm list is provided from Kakioka Magnetic Observatory. Based on the magnetic storm list, CME-driven storm events are defined as that CME is observed by SOHO/LASCO at a few days before the onset of magnetic storm. We exclude the data from 1-day before to 3-days after the onset from the database.

We perform the 1-day, 2-days, and 3-days forecasts for the solar wind variations in 2022. The model can tentatively forecast V_{sw} , N_{sw} , and IMF Bt, with the root-mean-square errors (RMSEs) for 1-day forecast of ~ 60 km/s, ~ 8 /cc, and ~ 3.5 nT, respectively. The accuracy for 2-days and 3-days forecasts is ~ 25 -60 % worse than 1-day forecast. On the other hand, IMF Bz cannot be forecasted because the related parameters of coronal holes (i.e., magnetic field of solar surface) are not included in the current database. We also find that the forecast accuracy using the database without CME events is almost the same as that using the database with CME events, which is due to a small number of relatively large-scale CME events in 2022.

We are now improving the model to forecast solar wind parameters (in particular IMF Bz) with a fine accuracy.

オーロラ帯高緯度境界領域近傍における磁場変動データと PC index の比較研究

#立石 晃希¹⁾, 吉川 顕正²⁾

⁽¹⁾ 九大, ⁽²⁾ 九大/理学研究院

Comparative study of magnetic field data and PC index in the boundary region of the auroral belt

#Koki Tateishi¹⁾, Akimasa Yoshikawa²⁾

⁽¹⁾Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kyushu University, ⁽²⁾Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University

The polar regions are the source of space weather phenomena such as auroras due to the inflow of energy from the sun. In particular, the polar cap is directly connected to the solar wind, and the understanding of various magnetospheric-ionospheric coupling phenomena that occur there is very important for understanding space weather as a system.

The Polar Cap index (PC index) is an important index to monitor the magnetospheric-ionospheric coupling in the polar cap, which is derived from the magnetic field variation in the polar cap and solar wind data. It is derived from polar magnetic field variations and solar wind data and is used as an indicator of the behavior of geomagnetic activity and ionospheric currents in the polar cap [Toroshichev et.al, 1988]. However, geomagnetic fluctuations in the polar cap are expected to be superimposed by complex factors that cannot be captured by the PC index alone, such as convective interactions with the auroral zone and magnetic field effects due to field line currents along the magnetic field. In this study, in order to examine such complex effects closely, in addition to the PC index, we also analyzed ground-based magnetic field data from the Davis station (DVS) of the MAGDAS (Magnetic Data Acquisition System), which is located near the polar cap boundary, ground-based magnetic field data from SuperMAG. The objective of this study is to contribute to the understanding of space weather phenomena through the elucidation of phenomenology in the polar regions by performing a comprehensive analysis of magnetic field data and solar wind data from the Davis station (DVS) of MAGDAS (Magnetic Data Acquisition System), which is located in the polar region.

As part of this study, we first compared the seasonal dependence of the solar wind electric field and PC index to investigate the effect of ionospheric currents on PC index, which is considered to strongly reflect solar irradiation conditions. As a result, a higher correlation was confirmed for the vernal and autumnal equinoxes than for the summer solstice, when the ionospheric current is considered to be more strongly and longer excited due to solar irradiation and higher electrical conductivity. This result may reflect the influence of the Russell-McPherson effect, in which magnetic reconnection occurs more frequently due to the relationship between the rotation axis and the Earth's orbital plane.

In order to remove the influence of the Russell-McPherson effect, the time when reconnection is predominant and the solar wind turns to the south was selected, and the correlation between the DVS magnetic field change data and the solar wind electric field in the frequency band where the ionospheric current contribution appears was investigated under conditions where the ionospheric current is expected to be generated. This is expected to properly capture the seasonality of space weather phenomena due to sunlight conditions. In this presentation, we will discuss the analytical results obtained at the present stage and future prospects.

極域は太陽からのエネルギー流入により、オーロラなどの宇宙天気現象の発生源となる領域であり、特に Polar cap は直接太陽風に繋がった領域であり、そこで生じる様々な磁気圏電離圏結合現象の解明は、宇宙天気をシステムとして理解する為、非常に重要である。

Polar cap における磁気圏電離圏結合をモニターする重要なインデックスとして、Polar Cap index(PC index) が挙げられる。PC index は極域における太陽風エネルギーの流入強度を示す指標であり、極域の磁場変動と太陽風データから導かれ、極冠の地磁気活動や電離層電流の振る舞いを表す指標として用いられている [Toroshichev et.al, 1988]。しかし、Polar cap での地磁気変動にはオーロラ帯との対流相互作用や、沿磁力線電流による磁場効果など、PC index だけでは捉えきれない複合的な要因も重畳していることが予想される。本研究では、このような複合効果を精査するために、PC index に加えて、Polar cap boundary 付近に位置する MAGDAS(Magnetic Data Acquisition System) の Davis 観測点 (DVS) の地上磁場データ、SuperMAG の地上磁場データや太陽風データの総合解析を行い、極域における現象論の解明を通じて、宇宙天気現象の理解に貢献することを目的としている。

その一環として、本研究ではまず最初に日照条件を強く反映すると考えられる電離層電流の PC index への影響を調べるために、太陽風電場と PC index の季節依存性の比較を行った。その結果、日照のため、電気伝導度が高く、電離層電流がより強く長く励起されると考えられる夏至よりも、春分や秋分の時期においてより高い相関関係が確認された。この結果は、自転軸と地球の公転面の関係により、磁気リコネクションが生じる頻度が高くなる Russell-McPherson 効果の影響を反映していると考えられる。

そこで、Russell-McPherson 効果の影響を取り除くために、リコネクションが卓越し、太陽風が南向きになる時間を選定し、電離層電流の発生が予想される条件下で電離層電流の寄与が現れる周波数帯の DVS の磁場変化データと太陽風電場の相関関係を調べた。これにより、宇宙天気現象の日照条件による季節性を適切に捉えることが期待される。本発表では、現段階で得られた解析結果と今後の展望について議論する予定である。

R010-P07

ポスター 2 : 11/25 AM1/AM2 (9:00-12:00)

Pi2 の独立成分分析によるサブストーム初動時の M-I 全球結合系の解明 - 昼夜境界領域における Pi2 のグローバル解析 -

#高着 泰輔¹⁾, 吉川 顕正²⁾, 魚住 禎司³⁾

(¹九州大学, ²九大/理学研究院, ³九大 国際宇宙

Independent Component Analysis of Pi2 Pulsations to Explore the Substorm M-I Coupling System -Global Analysis near the terminator-

#Taisuke Kochaku¹⁾, Akimasa Yoshikawa²⁾, Teiji Uozumi³⁾

(¹Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kyushu University, (²Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University, (³International Research Center for Space and Planetary Environmental Science, Kyushu University

Pi2 magnetic pulsations are known to be observed globally at the onset of the magnetospheric substorm expansion phase, and they serve as a useful natural signal for understanding the propagation of magnetic field variations in the magnetosphere and ionosphere, leading to research on their generation mechanisms and propagation paths.

Tokunaga et al. (2007) used independent component analysis to separate the predominant component in the nighttime mid-low latitude region from those in the daytime magnetic equator and nighttime high latitude regions. The results indicate the complexity of the propagation path of Pi2 observed on the ground: the direct propagation of fast waves is the dominant component in the nightside mid-low latitudes, while in the nightside high latitudes, the dominant component is associated with FAC oscillations, and the signal also reaches the dayside magnetic equator. Furthermore, Imajo et al. (2017) showed that the equivalent current components of Pi2 distributed from the nightside to the dayside are consistent with the simulated ionospheric current pattern of Pi2. These results suggest that the polar nightside region and the dayside mid-low latitude region may be connected through the formation of an ionospheric current system.

Thus, while the global distribution of Pi2 at midnight and the coupling between the nightside polar and dayside regions have been clarified to some extent, it remains unclear how these signals transition near the terminator. We have been studying the initial phase of the substorm magnetosphere-ionosphere global coupling system by understanding the global onset characteristics of Pi2. In this study, we report the results of a survey of Pi2 near the terminator. The dataset used was obtained from the 210° magnetic meridian chain of the MAGDAS/CPMN magnetic field observation network. The generation characteristics of Pi2 observed as the 210° magnetic meridian chain approached the terminator were analyzed using independent component analysis. During the post-sunrise and pre-sunset events, the magnetic field variation of Pi2 was consistent with the dayside equivalent current system, and a delayed arrival of the H component of Pi2 was observed over high latitude regions. In the shaded region, a feature that can be interpreted as the Biot-Savart component of the nightside substorm FAC current system was observed, with its arrival delayed compared to that of Pi2 in the sunlit region. In the presentation, we plan to present more detailed Pi2 patterns for each local time and discuss the global model deduced from these results.

Pi2 地磁気脈動は、サブストーム初動時に全球的に観測される磁場変動であり、磁気圏・電離圏における磁場変動の伝搬を知る上で有用な自然信号であることから、その発生機構や伝搬経路について研究が進められている。

Tokunaga et al., (2007) は、独立成分分析を用いて夜側中低緯度領域において卓越する成分と、昼間側磁気赤道及び、夜側高緯度で卓越する成分との分離に成功した。夜側中低緯度領域では磁気音波の直達を主とした成分であり、夜側高緯度領域では FAC 振動に伴う成分が主であるとともに、その信号は昼間側磁気赤道にも到達するという結果は、地上で観測される Pi2 の伝搬経路の複雑性を示すものであった。更に Imajo et al., (2017) は、夜側から昼間側にかけて分布する Pi2 の等価電流成分が、シミュレーションで再現された Pi2 の電離層電流パターンと一致していることを示し、極域夜側領域と、昼間側中低緯度領域が電離層電流系の形成を通じて接続している可能性を示した。

このように、Pi2 の真夜中でのグローバル分布、及び夜側極域と昼間側領域の結合の様子はある程度明らかにされてきたが、昼夜の境界領域近傍でこれらの信号がどのように切り替わっているのかは不明のままである。

我々は、Pi2 の全球的な発生特性を把握することで、サブストーム初動時の磁気圏-電離圏全球結合系の解明に向けた研究を行っており、本研究では、昼夜境界領域近傍における Pi2 の調査結果について報告する。用いたデータセットは、MAGDAS/CPMN 磁場観測ネットワークの 210 磁気経度帯で取得されたものであり、210 磁気経度帯が昼夜境界近傍に差し掛かった時に観測された Pi2 の発生特性を、独立成分分析を用いて解析した。その結果、日の出後および日没前のイベントでは Pi2 の磁場変動が昼側等価電流系と一致する結果を得るとともに、高緯度領域にかけて Pi2 の H 成分到達の遅れが確認された。また日陰領域では、夜側サブストーム FAC 電流系のピオ・サバル成分と解釈出来る特徴が観測され、それは日照領域の Pi2 より到達が遅れる結果を得た。発表では、より詳細な地方時毎の発生パターンの紹介と、演繹される全球モデルについて議論する予定である。

R010-P08

ポスター 2 : 11/25 AM1/AM2 (9:00-12:00)

3D プリンターを用いた手作り地球儀のための支持具の開発

#小山 幸伸¹⁾

¹⁾ 近大高専

Development of supports for handmade globe using 3D printer

#YUKINOBU KOYAMA¹⁾

¹⁾KINDAI University Technical College

The Ministry of Education, Culture, Sports (MEXT) defines A (Art) in the broad sense of STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) as well as arts, culture, and life. The MEXT is promoting cross curricular STEAM education. The digital globe Dagik Earth can be considered as a tool for STEAM education and to stimulate interest in space weather.

This allows you to switch content such as clouds and aurora, contributes to a multifaceted understanding of the Earth. A sub-project of the Dagik Earth project is handmade globe. This is an outreach tool that uses scissors to cut out stickers with clouds, aurora, etc. drawn on a map, and pastes them onto the capsules of capsule toys to create handmade globes. It has the potential to expand its reach to younger age. Current handmade globes can be placed on a stand and used for ornamental purposes (Art), but care must be taken when aligning them to the tilt of the earth's axis. In order to resolve this issue, we used a 3D printer to develop a support for handmade globes that can be installed to match the tilt of the earth's axis.

By inserting magnets, it is possible to rotate the globe along the earth's axis and to attach and detach the globe with various contents such as clouds and aurora. The magnets embedded in the base plate allows it to represent the tilt of the earth's axis even when attached to a blackboard, so it can also be used in classes. Assuming that it would be provided in the form of a capsule toy familiar to children, the support was made into an assembly type so that all parts could be enclosed in the capsule. Since modeling using 3D printers is not suitable for mass production, we are currently prototyping mass-produced products using silicone molds and two-part mixed resin.

文科省は、STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) に加え、芸術、文化等の広義の A (Art) 定義し、教科横断的な STEAM 教育を推進している。宇宙天気における STEAM 教育のためのツールとして、また興味関心を喚起するためのツールとしてデジタル地球儀ダジック・アースが考えられる。これにより、雲やオーロラなどのコンテンツを切り替え、地球の多面的な理解に役立つ。このダジック・アースプロジェクトのサブプロジェクトとして、手作り地球儀がある。これは雲やオーロラなどを地図上に描いたシール台紙をハサミで切り出し、カプセルトイのカプセルに貼り付け、手作り地球儀を作るアウトリーチ用のツールであり、宇宙天気への興味関心を喚起し、より低年齢層へ裾野を広げる可能性を秘めている。現行の手作り地球儀は置き台に置いて観賞用 (Art) に使えるが、地軸の傾きに合わせる場合は注意を払う必要がある。これを解消すべく本取り組みでは、地軸の傾きに合わせて設置できる手作り地球儀のための支持具を 3D プリンタを用いて開発した。磁石を仕込むことによって、地軸に沿って回転させたり、雲やオーロラなどの様々なコンテンツの地球儀を着脱させることが可能になった。ベースプレートに埋め込まれた磁石によって黒板にはりつけた場合であっても地軸の傾きを表現できるため、授業にも利用可能である。子供に馴染みのあるカプセルトイの形で提供することを想定し、全部品をカプセルトイに封入できるように支持具を組み立て式にした。3D プリンタによる造形は量産化に向かないため、現在は量産化のためにシリコン型および 2 液混合レジンにより量産品を試作している状況である。

