

R010-01

B 会場 : 11/24 PM2 (16:05-18:05)

16:05~16:20:00

観測データ駆動 MHD シミュレーションによる太陽フレア予測可能性の検証

#金子 岳史¹⁾

(¹ 新潟大学

Feasibility Study of Solar Flare Prediction Using Observational Data-Driven MHD Simulations

#Takafumi Kaneko¹⁾

(¹Niigata University

We examined the applicability of observational data-driven MHD simulations to flare prediction. The data-driven MHD simulations adopt the time series of the observed magnetograms as the bottom boundary condition to reproduce the time evolution of the three-dimensional magnetic field. Since the data-driven method uses the magnetogram data beyond the simulation time, it has been employed to reproduce already-observed flare events in the past. However, its applicability to future flare prediction is unclear since we cannot obtain future magnetograms. In this study, we investigated whether a flare can be reproduced in the simulations even if the input of observed magnetogram was stopped before the actual flare onset time. The target event was the X1.7 class flare that occurred in the NOAA AR 13663 at 02:22 UT on 3 May 2024. We employed an electric-field-driven method, in which the electric fields (velocity fields) were derived from the time series magnetograms to use as the boundary inputs. We compared two different models: in one model (Model 0), the electric field was fixed to zero after the final observed time, and in the other model (Model 1), the electric field at the final observed time was continued to input with an exponentially decaying magnitude on the 12 min timescale. For each model, we varied the final observed time to 82 min, 70 min, 58 min, 46 min, and 34 min prior to the actual flare onset time. As a result, in Model 0, the flare was not reproduced when the final observed time was 70 min or earlier. In Model 1, the flare was reproduced in all cases; however, the released energy was smaller as the final observed time was earlier. These results suggest that Model 1 is more suitable for extending the leading time of flare prediction. Quantitative prediction of flare energy remains a topic for future studies.

本研究では、太陽フレア予測へ観測データ駆動シミュレーションを応用できるか検証した。観測データ駆動シミュレーションは、観測された光球ベクトル磁場時系列データを下部境界条件として磁気流体方程式を数値的に解き、3次元磁場構造の時間発展を再現する手法である。本手法は、シミュレーション内時刻に対して未来にあたる時刻の観測データが必要となるため、すでに観測データが存在する過去のイベントの再現に用いられてきた。一方で、観測データを取得できない将来のフレア予測に応用できるかは未知数である。本研究では、フレア発生時刻前に観測データの入力を止めても、シミュレーション内でフレアが再現されるか検証した。対象としたのは 2024 年 5 月 3 日 02:22UT に活動領域 NOAA AR 13663 で発生した X1.7 クラスのフレアである。用いたデータ駆動手法は、観測磁場時系列データから電場(速度場)を逆算して用いる電場駆動型である。本研究では、観測データ最終時刻の後に電場を 0 に固定するモデル(モデル 0)と、観測データ最終時刻の電場を一定の時定数(12 分)で減衰させながら継続して導入するモデル(モデル 1)の 2 つのモデルを検証した。それぞれのモデルについて、観測データ最終時刻をフレア発生時刻の 82, 70, 58, 46, 34 分前の 5 通りに変えて比較した。結果、モデル 0 の場合、観測データ入力を 70 分以上前に停止すると全くフレアは再現されなかった。モデル 1 の場合、すべてのケースでフレアが再現されたが、観測データ入力停止時刻が早いほど、解放エネルギー量が減少した。本研究結果は、モデル 1 の方が、予測のリーディングタイムを稼ぐのに適していることを示唆する。一方、解放エネルギーの定量的予測は今後の課題となる。

R010-02

B会場：11/24 PM2 (16:05-18:05)

16:20～16:35:00

減光領域でのプラズマ流によるコロナ質量放出への質量寄与

#平岡 勇人¹⁾, 今田 晋亮¹⁾, 庄田 宗人¹⁾

(¹ 東京大学

Mass Contribution to Coronal Mass Ejections(CMEs) from Plasma Flow in Dimming Regions

#Yuto Hiraoka¹⁾, Shinsuke IMADA¹⁾, Munehito SHODA¹⁾

(¹The University of Tokyo

Coronal mass ejections (CMEs) associated with solar flares profoundly perturb the Sun – Earth system, driving geomagnetic storms and diverse societal impacts. The total CME mass may be supplied not only by the erupting core but also by surrounding coronal regions that exhibit long-lasting intensity depletion (“coronal dimming”). Sustained EUV upflows observed over several hours in these regions—often termed “dimming flows”—suggest a continuous mass supply. For the 2006 December 14 X1.5 flare, Jin et al. (2009) used Hinode/EIS to estimate the dimming-flow contribution and found it to exceed the LASCO-inferred CME mass by about an order of magnitude, implying potential underestimation of CME mass budgets.

To quantitatively evaluate whether CME - ejected mass can exceed conventional estimates by an order of magnitude, this study estimates the mass contribution of dimming flows to the CME mass budget. Using extreme-ultraviolet (EUV) observations from SDO/AIA, we identified dimming regions following the methodology of Dissauer et al. (2018). We further estimated plasma densities from the observations and, by assuming flow speeds, calculated the ongoing mass supply rate associated with the dimming flows. As a result, for multiple events we find that incorporating the contribution of dimming flows can increase the inferred CME mass by up to approximately one order of magnitude relative to conventional estimates. We also re-examine the relationship between magnetic-field strength and Doppler velocity proposed by Jin et al. (2009), reassess dimming-flow velocities via spectroscopic analysis, and discuss the underlying physical mechanisms.

太陽フレアに伴うコロナ質量放出 (CME) は太陽地球環境に多大な影響を与え、磁気嵐等を引き起こし、人間社会にもさまざまな影響を与える。CME によって放出される質量は、フレア・CME の本体だけでなく周辺のコロナ領域からも供給される可能性が議論されている。それら周辺のコロナ領域は観測的には減光領域 (dimming region) と知られており、EUV 波長域で上昇流が数時間にわたって観測されたことから、減光領域放出流 (dimming flow) として継続的に質量を供給し続けていると考えられている。Jin et al. (2009) では、Hinode/EIS での 2006 年 12 月 14 日 X1.5 フレアの観測結果を用いて dimming flow による質量供給量を推定しており、LASCO による CME 本体の質量推定値の約 10 倍であることから CME による放出質量を過小評価している可能性が示された。

CME による放出質量が従来より 1 桁上回り得るのか定量的に評価すべく、本研究では CME における dimming flow の質量寄与について推定した。SDO/AIA による極端紫外線観測データを用いて、K.Dissauer et al. (2018) で用いられた手法をもとに dimming region を検知した。加えて観測データから密度を推定し、速度を仮定することで dimming flow による継続的な質量供給量を算出した。結果として、複数のイベントで dimming flow の寄与を考慮すると、CME 放出質量の推定値が従来より最大で約 1 桁大きくなる可能性が示された。Jin et al. (2009) で提唱された磁場強度とドップラー速度の関係性や、スペクトル解析による dimming flow の速度を再検証し、その物理機構を考察する。

R010-03

B会場：11/24 PM2 (16:05-18:05)

16:35～16:50:00

#庄田 宗人¹⁾, 戸頃 響吾¹⁾, 塩田 大幸²⁾, 今田 晋亮¹⁾

(¹ 東大地惑, ² 情報通信研究機構)

Empirical Optimization of the Source-Surface Height in the PFSS extrapolation

#Munehito Shoda¹⁾, Kyogo TOKORO¹⁾, Daikou SHIOTA²⁾, Shinsuke IMADA¹⁾

(¹Department of Earth and Planetary Science, School of Science, The University of Tokyo, ²National Institute of Information and Communications Technology)

The Potential Field Source Surface (PFSS) method is a widely used magnetic field extrapolation technique in the space weather community. The only free parameter in the PFSS method is the source-surface height (R_{ss}), beyond which all field lines are open. Although R_{ss} is known to vary with solar activity, there is no consensus on how to determine it for a given surface magnetic field distribution. In this study, we investigate the nature of R_{ss} using a long-period (2006 – 2023) data, covering two solar minima and one maximum. We adopt ADAPT-GONG magnetograms and determine R_{ss} by matching the open flux estimated from observations at 1 au with that calculated using the PFSS method. The analysis reveals that R_{ss} increases slightly after the solar minima and around the solar maximum and can be fitted by the following empirical formula:

$$R_{ss}/R_0 = \text{Max}[0.067 (B_0 / 1 \text{ G}) + 1.36, 2.93 \text{ fdip} + 0.73],$$

where R_0 is the solar radius, B_0 is the mean unsigned radial magnetic field at the photosphere, and fdip is the dominance of the dipolar-field component over quadrupolar and octupolar components in terms of energy. Our results suggest that R_{ss} does not exhibit a simple monotonic dependence on the solar activity and must be determined by properly considering both surface magnetic field strength and global field structure.

R010-04

B 会場 : 11/24 PM2 (16:05-18:05)

16:50~17:05:00

磁束管の動径方向形状が太陽風速度に与える影響

#戸頃 響吾¹⁾, 庄田 宗人¹⁾, 今田 晋亮¹⁾

(¹ 東京大学

The effect of the radial profile of flux-tube shape on solar wind speed

#Kyogo TOKORO¹⁾, Munehito SHODA¹⁾, Shinsuke IMADA¹⁾

(¹The University of Tokyo

The solar wind is a key factor in the space weather and its forecasting. In particular, the temporal and spatial structure of the wind speed is closely linked to the occurrence of co-rotating interaction regions (CIRs) and the propagation of interplanetary coronal mass ejections (ICMEs). Most space weather forecasting models adopt empirical methods to specify the solar wind parameters at the inner boundary, aiming to reduce computational costs. One of the conventional empirical laws for the solar wind speed is the Wang-Sheeley relation (Wang & Sheeley 1990; Arge & Pizzo 2000), which describes an inverse correlation between the solar wind speed and the flux-tube expansion factor. However, it has been suggested that this model overestimates solar wind speeds by up to several hundred km s^{-1} in regions between coronal holes with the same magnetic polarity, known as pseudostreamers (Riley et al. 2015; Tokumaru et al. 2024). Pseudostreamers exhibit non-monotonic expansion of magnetic flux tubes, with the expansion factor reaching a peak (Panasenco et al. 2019), which may contribute to the overestimation. Observational studies also indicate that expansion height, rather than the expansion factor, is a key parameter (Dakeyo et al. 2024). These findings suggest that the shape of magnetic flux tubes in the intermediate region between the coronal base and the source surface plays a crucial role in determining solar wind speed.

To develop a novel empirical law for solar wind speed that incorporates the radial profile of flux-tube shape, we investigate the effect of magnetic flux tube shape variations using physical simulations. To this end, we solved a one-dimensional wave-driven magnetohydrodynamic (MHD) simulation from the photosphere to interplanetary space, with calculations performed while varying the magnetic field and expansion factor. As a result, we find that variations in the magnetic flux tube shape in the intermediate region significantly alter solar wind speed by up to several hundred km s^{-1} . Moreover, we find that features which reflect the information about the radial profile of flux-tube shape are found to correlate more strongly with the solar wind speed than with the expansion factor at the source surface. This is attributed to the effects of expansion height on density and changes in wave energy dissipation processes, and implications for solar wind speed prediction and observational validation are discussed.

R010-05

B 会場 : 11/24 PM2 (16:05-18:05)

17:05~17:20:00

#千葉 翔太¹⁾, 塩田 大幸²⁾, 三好 由純¹⁾, 堀 智昭¹⁾, Jun ChaeWoo¹⁾, 新堀 淳樹¹⁾, 北村 成寿¹⁾, 山本 和弘¹⁾, 瀬川 朋紀³⁾, 飯島 陽久¹⁾, 増田 智¹⁾, 岩井 一正¹⁾

(¹⁾ 名古屋大学 宇宙地球環境研究所, (²⁾ 情報通信研究機構, (³⁾ 名古屋大学 全学技術センター

Development of a Data Archive for the SUSANOO-SW Model and Its Applications

#Shota Chiba¹⁾, Daikou SHIOTA²⁾, Yoshizumi MIYOSHI¹⁾, Tomoaki HORI¹⁾, Chaewoo JUN¹⁾, Atsuki SHINBORI¹⁾, Naritoshi KITAMURA¹⁾, Kazuhiro YAMAMOTO¹⁾, Tomonori Segawa³⁾, Haruhisa IJIMA¹⁾, Satoshi MASUDA¹⁾, Kazumasa Iwai¹⁾

(¹⁾Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, (²National Institute of Information and Communications Technology, (³Technical Center, Nagoya Univ.

The Space-weather-forecast-Usable System Anchored by Numerical Operations and Observations (SUSANOO; Shiota et al., 2014; Shiota & Kataoka, 2016) is a global magnetohydrodynamic (MHD) simulation of the solar wind in the inner heliosphere. SUSANOO provides comprehensive and valuable datasets for space weather research. In particular, the version incorporating real-time observations of coronal mass ejection (CME), SUSANOO-CME, has been operated by National Institute of Information and Communications Technology (NICT) for predicting the arrival of CMEs and their magnetic field since August 2022. Although the real-time forecast using the SUSANOO Solar Wind (SUSANOO-SW) model is published through websites, their digital datasets have not been available yet. Furthermore, archiving a large volume of 3-D simulation data as a whole is not necessarily user-friendly: handling 3D simulation data is often tough for users who are not familiar with them. To overcome this limitation and promote wider use of SUSANOO data, the Center for Heliospheric Science (CHS), operated by the Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE) of Nagoya University, Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), and the National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ), has been developing a new scientific data archive for the SUSANOO-SW model. For improving the usability, we provide time series data of simulated solar wind parameters at planets and spacecraft, as well as 2-dimensional distribution of solar wind velocity on the ecliptic plane. Those time series data are archived in the Common Data Format (CDF) because this is widely used in Solar-Terrestrial Physics (STP) missions. In addition to the data archive, CHS is also developing a set of plug-ins for the space physics environment data analysis system (SPEDAS) in both IDL and Python. In this presentation, we describe the latest status of the data archive development and show some examples of a scientific application to space weather studies.

Space-weather-forecast-Usable System Anchored by Numerical Operations and Observations (SUSANOO; Shita et al., 2014, Shiota & Kataoka 2016) は太陽圏を包括する太陽風の3次元電磁流体 (MHD) シミュレーションで、宇宙天気研究に有益なデータを提供している。実際に、コロナ質量放出 (CME) のリアルタイム観測データを組み込んだ SUSANOO-CME は太陽嵐予測システムとして情報通信機構 (NICT) によって 2022 年 8 月より運用されている。また、一般ユーザーがアクセスできるものとして、SUSANOO の太陽風モデル (SUSANOO-SW) を用いたリアルタイム宇宙天気予報も公開されているが、データは公開されていない。宇宙天気分野の研究への応用の観点からもデータ公開は重要であるが、3次元シミュレーションデータは不慣れた利用者にとっては扱いが難しいという問題点がある。そこで、この点を改善し宇宙天気データをさまざまな利用者に普及するために、名古屋大学宇宙地球環境研究所、宇宙航空研究開発機構、および国立天文台によって共同運用されている太陽圏サイエンスセンター (Center for Heliospheric Science; CHS) では、SUSANOO-SW の科学データアーカイブの開発を行っている。より使いやすくするために、3次元データではなく、各惑星や探査機の場所での時系列データと黄道面での2次元太陽風速度マップのアーカイブを準備している。また、時系列データについては STP(太陽地球系物理) 分野のミッションで広く使われている Common Data Format (CDF) を採用した。さらに、太陽圏サイエンスセンターでは SUSANOO の科学データアーカイブだけでなく、IDL・Python ベースの解析ツールである SPEDAS (Space Physics Environment Data Analysis Software) へのプラグインの開発も並行して行なっている。本発表では、データアーカイブや解析ツールの開発状況と科学研究への応用のユースケースの一例を紹介する。

R010-06

B会場：11/24 PM2 (16:05-18:05)

17:20～17:35:00

南極昭和基地における中性子計とミュオン計による同時宇宙線観測データを用いたフォーブッシュ減少時の rigidity スペクトル変動リアルタイムモニタの可能性について

#林 優希¹⁾, 宗像 一起¹⁾, 小財 正義²⁾, 片岡 龍峰³⁾, 門倉 昭²⁾, 加藤 千尋¹⁾, 三宅 晶子⁴⁾, 村瀬 清華⁵⁾

(¹⁾ 信州大学, (²⁾ 情報・システム研究機構, (³⁾ 沖縄科学技術大学院大学, (⁴⁾ 岐阜高専, (⁵⁾ 北見工業大学

Real time monitoring of the rigidity spectrum of Forbush decreases using neutron monitor and muon detector at Syowa Station

#Yuki HAYASHI¹⁾, Kazuoki MUNAKATA¹⁾, Masayoshi KOZAI²⁾, Ryuho KATAOKA³⁾, Akira KADOKURA²⁾, CHIHIRO KATO¹⁾, Shoko MIYAKE⁴⁾, Kiyoka MURASE⁵⁾

(¹⁾Shinshu University, (²ROIS-DS, (³OIST, (⁴KOSEN Gifu, (⁵Kitami Institute of Technology

Large Forbush decreases (FDs) in the Galactic cosmic ray flux were observed by the paired neutron monitor (SNM) and the vertical channel of the muon detector (SMDV) at Syowa Station, Antarctica in May and October, 2024. The maximum count rate depressions in SNM and SMDV are $\sim 10\%$ and $\sim 5\%$ in the May FD, respectively. In the October FD, the observed count rates decreased in two steps following two successive interplanetary shocks. The maximum count rate depression recorded by SNM (SMDV) is $\sim 7\%$ ($\sim 3\%$) in the first step, while it is $\sim 8\%$ ($\sim 5\%$) in the second step. It is demonstrated that the count rate fraction (Fn) using paired SNM and SMDV count rate is a good real-time indicator of the temporal variation of the cosmic ray rigidity spectrum ($\Delta \Gamma(P, t)$), which is an important parameter for identifying the physical processes responsible for FDs. It is verified that the variation of Fn is consistent with $\Delta \Gamma(P, t)$ calculated from Global Fitting Analysis (GFA). Fn also shows a significant increase of $\Delta \Gamma(P, t)$ during the Ground Level Enhancement (GLE) due to solar energetic particles on May 11 superposed on the FD recovery phase, implying that the total (Galactic + solar) cosmic ray spectrum is softened due to the contribution from GLE intensity steeply increasing with decreasing rigidity. This implies that Fn can be also a good indicator of small GLEs which are sometimes difficult to identify in the count rate variation when masked by an FD and the associated diurnal anisotropy. These capabilities of Syowa cosmic ray observations have been improved by doubling the detection area of SMDV in early 2025. We are now ready to observe forthcoming FDs and GLEs with this improved observations at Syowa Station. In this talk, we will report a possibility of real time monitoring of the rigidity spectrum of Forbush decrease with the paired neutron monitor and muon detector at Syowa Station based on the analysis of large Forbush decrease in May and October, 2024.

R010-07

B会場：11/24 PM2 (16:05-18:05)

17:35～17:50:00

宇宙線ミュオン観測システムの刷新とアイスランドへの導入計画

#小財 正義¹⁾, 門倉 昭¹⁾, 加藤 千尋²⁾, 宗像 一起²⁾, 宮下 直子²⁾, 林 優希²⁾, 片岡 龍峰³⁾, 三宅 晶子⁴⁾, 村瀬 清華⁵⁾, 田中 良昌^{1,6)}

⁽¹⁾ROIS-DS, ⁽²⁾信州大学, ⁽³⁾沖縄科技大, ⁽⁴⁾岐阜高専, ⁽⁵⁾北見工業大学, ⁽⁶⁾国立極地研究所

Upgrading the Cosmic-Ray Muon Observation System and the Iceland Deployment Plan

#Masayoshi Kozai¹⁾, Akira KADOKURA¹⁾, Chihiro Kato²⁾, Kazuoki MUNAKATA²⁾, Naoko Miyashita²⁾, Yuki Hayashi²⁾, Ryuho KATAOKA³⁾, Shoko Miyake⁴⁾, Kiyoka MURASE⁵⁾, Yoshimasa TANAKA^{1,6)}

⁽¹⁾ROIS-DS, ⁽²⁾Shinshu Univ., ⁽³⁾OIST, ⁽⁴⁾KOSEN Gifu, ⁽⁵⁾Kitami Institute of Technology, ⁽⁶⁾NIPR

The momentum-space distribution function of galactic cosmic-rays (GCRs) is observed as their anisotropy at Earth, enabling us to probe three-dimensional solar wind structures based on the GCR transport equation. Thanks to the high penetration power of cosmic-ray muons in the atmosphere, ground-based muon detectors feature an excellent angular resolution, angular acceptance, and statistics for GCRs, all essential to measure the anisotropy. The Global Muon Detector Network (GMDN) [1] has been a unique experiment deploying muon detectors worldwide to secure high sensitivity to the anisotropy. GMDN started with two-hemisphere observations in Nagoya (Japan) and Hobart (Australia) from the 90s, and the core 4-station network was established in the 2000s by initiating Sao Martinho da Serra (Brazil) and Kuwait stations. The initial goal of construction was achieved in 2016 by expanding the Kuwait detector.

GCR anisotropy varies with GCR rigidity, and combining the anisotropies with their rigidity dependence enables us to fully reconstruct the momentum-space distribution of GCRs. Recent advances in data analysis techniques are shedding new light on rigidity-dependent anisotropy [2,3,4], but there are still limitations in the observation network. The geomagnetic field deflects GCR trajectories, causing the muon detector's viewing direction to be biased eastward and toward the opposite hemisphere in the magnetosphere. This effect prevents low- and mid-latitude detectors from observing high-latitude directions, especially for low-rigidity (below ~50 GV) GCRs. Only muon detectors in the geographic polar region are sensitive to low-rigidity GCRs incoming from high-latitude directions. We are planning to install a muon detector in Iceland, and its polar conjugate observation with the Syowa Station detector, which was started in 2018, will address this insensitive region in the GCR momentum space.

This new observation opportunity in Iceland also provides a chance to upgrade the GMDN observation system and data pipeline, whose basic designs were established in the 2000s. In addition, constraints specific to the Icelandic observation site, unlike those at other GMDN stations, enable us to demonstrate a new design concept, such as a field-deployable or portable observation unit.

The scientific impact of the Icelandic observation was quantitatively evaluated by the GCR trajectory simulation in the geomagnetic field. Deploying plastic scintillator paddles as a multi-directional muon detector is studied by evaluating their characteristics, developing a custom front-end board, and performing a particle transport simulation. A compact size and low-cost signal processing unit is also under development. We also demonstrated the conversion of muon observation data into the Common Data Format, and its publication through IUGONET [5] with a data analysis tool [6], aiming to establish an end-to-end data pipeline. We will report on these activities related to the Iceland observation plan.

[1] <http://hdl.handle.net/10091/0002001448>

[2] R.R.S. de Mendonca et al., 2016, ApJ, <https://doi.org/10.3847/0004-637X/830/2/88>.

[3] K. Munakata et al., 2022, ApJ, <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac91c5>.

[4] M. Kozai et al., 2024, ApJ, <http://dx.doi.org/10.3847/0004-637X/825/2/100>.

[5] <https://search.iugonet.org/metadata/001/00003723>

[6] <https://doi.org/10.5281/zenodo.15844859>

R010-08
B会場：11/25 AM1 (9:15-10:45)
9:15~9:30:00

#中村 雅夫¹⁾, 松井 大智¹⁾
(¹ 大阪公大)

Modeling of plasma environment for spacecraft surface charging analysis in the inner magnetosphere

#Masao Nakamura¹⁾, Daichi Matsui¹⁾
(¹Osaka Metropolitan University)

Spacecraft surface charging is caused by the accumulation of electrostatic charge on a spacecraft's external surfaces due to interactions with the surrounding space environment, which includes ambient plasmas and solar radiation. This can lead to spacecraft anomalies resulting from electrostatic discharges (ESD) that potentially damage electronic components. We investigated surface charging levels and plasma energy flux data in the inner magnetosphere using the Van Allen Probes. The analysis indicates that the integral flux of high-energy electrons (>8 keV) serves as a useful index for the necessary conditions for surface charging in the inner magnetosphere, in line with previous studies conducted in geostationary orbit. However, sufficient conditions also depend on the influence of photoelectron and secondary electron emissions, which vary based on the parameters of the spacecraft's surface materials. Therefore, the rate of low-energy electron flux (hundreds eV) that generates secondary electron emission is important for evaluating surface charging levels. We present the results of a statistical analysis of the plasma environment in the inner magnetosphere and discuss how to model the plasma environment for surface charging analysis.

R010-09

B 会場 : 11/25 AM1 (9:15-10:45)

9:30~9:45:00

ISS-CALET で観測された相対論的電子降下に伴うオーロラ発光高度の同定

#柳澤 球大朗¹⁾, 片岡 龍峰²⁾, 関 華奈子^{1,3)}, 塩川 和夫⁴⁾, 三好 由純⁵⁾, 鳥居 祥二⁹⁾, 中平 聡志⁸⁾, Martin Connors⁷⁾, Daniel Whiter⁶⁾

⁽¹⁾ 東大院理地惑, ⁽²⁾ 沖縄科学技術大学院大学, ⁽³⁾ 東京大学 先端科学技術研究センター, ⁽⁴⁾ 名古屋大学宇宙地球環境研究所,

⁽⁵⁾ 名古屋大学, ⁽⁶⁾ サウサンプトン大学, ⁽⁷⁾ アサバスカ大学, ⁽⁸⁾ 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所,

⁽⁹⁾ 早稲田大学 理工学術院総合研究所

Identification of auroral emission altitudes associated with relativistic electron precipitation events observed by ISS-CALET

#KYUTARO YANAGISAWA¹⁾, Ryuho KATAOKA²⁾, Kanako SEKI^{1,3)}, Kazuo SHIOKAWA⁴⁾, Yoshizumi MIYOSHI⁵⁾, Shoji Torii⁹⁾, Satoshi Nakahira⁸⁾, Connors Martin⁷⁾, Whiter Daniel⁶⁾

⁽¹⁾The University of Tokyo, Graduate School of Science, Department of Earth and Planetary Science, ⁽²⁾OIST, ⁽³⁾Research Center for Advanced Science and Technology, The University of Tokyo, ⁽⁴⁾Institute for Space- and Earth Environmental Research, Nagoya University, ⁽⁵⁾Nagoya University, ⁽⁶⁾Southampton University, ⁽⁷⁾Athabasca University, ⁽⁸⁾JAXA ISAS, ⁽⁹⁾Waseda Research Institute for Science and Engineering

High-energy electrons trapped in the radiation belts can sometimes precipitate into the atmosphere, causing relativistic electron precipitation (REP) events. The emission altitude of the REP-related aurora depends on the energy of precipitating electrons or protons, which can contribute to identifying the possible wave mode which caused REP. REP events are occasionally observed by the ISS CALorimetric Electron Telescope (CALET). Magnetospheric plasma waves such as EMIC waves and chorus waves have been identified as the possible causes of the REP events (e.g., Kataoka et al., 2020 EPS). However, the corresponding REP-footprint auroras have not been investigated in detail. This study addresses this issue, identifying the REP-footprint aurora by examining whether REP events are accompanied by visible aurora and estimating their emission altitudes. On August 30, 2024, we installed identical all-sky cameras at observation sites ~25 km apart, AUGO (54.71N, 113.31W) and AUGSO (54.60N, 113.64W) in Athabasca, Canada. The selected wavelength is 427.8 nm, and the targeted auroras are isolated proton aurora caused by EMIC waves, and pulsating aurora by chorus waves, where the corresponding emission altitude peaks are >100 km and <100 km, respectively. From approximately one year observations, we identified a total of 52 REP events from the ISS-CALET 1 sec cadence Charge Detector (CHD) dataset for night-time clear-sky conjunctions between the ISS and Athabasca. Among these 52 REP events, 5 events showed auroral signatures near the ISS footprint, 11 events showed auroras somewhat away from the ISS footprint, and 36 events showed no related auroras in the all-sky field-of-view. The REP event on May 3, 2025 is the best-representative REP-footprint pulsating aurora event. We estimated the pulsating auroral emission altitude using two independent stereoscopic methods of Kataoka et al. (2013 AnnGeo) and Whiter et al. (2013 GeoSci), to obtain consistent results of approximately 90 km peak altitude. The results suggest that this particular REP event on May 3, 2025 was caused by chorus waves, which result in the high flux of tens-of-keV electron precipitation, therefore leading to the observed pulsating auroras at ~90km altitude. In this presentation, we report the details of the May 3 event as well as other conjunction event examples.

高エネルギー電子は放射線帯に捕捉されているが、大気中に降下し、相対論的電子降下 (REP) イベントを引き起こすことがある。REP に関連するオーロラの発光高度は、降下する電子や陽子のエネルギーに依存し、REP を引き起こした可能性のある波モードを特定する手掛かりとなることがある。REP イベントは、国際宇宙ステーション (ISS) の CALorimetric Electron Telescope (CALET) によって観測されている。磁気圏プラズマ波 (EMIC 波やコーラス波など) は、REP イベントの可能な原因として特定されている (Kataoka ら、2020 EPS)。しかし、対応する REP フットプリントオーロラは詳細に調査されていない。本研究ではこの問題を解決するため、REP イベントが可視オーロラを伴うかどうかを調べ、その発光高度を推定することで、REP フットプリントオーロラを特定することを目的とする。2024 年 8 月 30 日、カナダのアサバスカにある観測地点 AUGO (54.71N, 113.31W) と AUGSO (54.60N, 113.64W) に、約 25km 離れて同一の全天カメラを設置した。選択した波長は 427.8 nm で、対象とするオーロラは EMIC 波による孤立したプロトンオーロラと、コーラス波による脈動オーロラである。それぞれに対応する発光高度のピークは、それぞれ >100 km と <100 km である。約 1 年間の観測から、ISS とアサバスカの夜間晴天時の接近において、ISS-CALET 1 秒間隔電荷検出器 (CHD) データセットから合計 52 件の REP イベントを同定した。これらの 52 件の REP イベントのうち、5 件は ISS のフットプリント付近でオーロラが観測され、11 件は ISS のフットプリントから離れた位置でオーロラが観測され、36 件は全天視野内でオーロラは観測されなかった。2025 年 5 月 3 日の REP イベントは、REP フットプリント脈動オーロライベントの一例である。Kataoka ら (2013 年 AnnGeo) と Whiter ら (2013 年 GeoSci) の 2 つの立体視による発光高度推定法を用いて、脈動オーロラの発光高度を推定し、約 90km のピーク高度という一致した結果を得た。この結果は、2025 年 5 月 3 日の REP イベントが、数十 keV の電子の降り込みがコーラス波によって引き起こされ、これにより、約 90km の高度で観測された脈動オーロラが発生した可能性を示唆している。本発表では、5 月 3 日のイベントの詳細および他のイベントの例について報告する。

R010-10

B 会場 : 11/25 AM1 (9:15-10:45)

9:45~10:00:00

Region-1 FAC による全球 3 次元電離圏電流系の構造と形成要因

#伊集院 拓也¹⁾, 吉川 顕正²⁾

(¹九州大学地球惑星科学専攻, (²九州大学地球惑星科学部門

Three-dimensional structure and causality of global ionospheric currents triggered by Region-1 FAC

#Takuya Ijuin¹⁾, Akimasa YOSHIKAWA²⁾

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

There exists a global current system in the ionosphere due to magnetosphere-ionosphere coupling. However, the three-dimensional structure and causality of it is not well known.

Previous studies on magnetosphere-ionosphere (M-I) coupling have approached the problem from different perspectives, but each still has certain limitations. Nakamizo and Yoshikawa [2019] showed how to globally form the electrostatic potential under the M-I coupled situation with the potential solver, but it was only horizontally two-dimensional. On the other hand, Fujii et al. [2011] theoretically predicted the three-dimensional current structure with M-I coupling and then Yano and Ebihara [2021] recalculated it, but they were only high-latitude region.

The purpose of this study is to reveal the three-dimensional global continuity structure of the ionospheric current system triggered by Region-1 FAC. Also, we would show why it has such a structure.

We calculate the current system with electrodynamics component of GAIA [Jin et al., 2011]. For analysis, we separate electric field and current into two parts as explained in Yoshikawa et al. [2013]. One is a component in the case of the absence of Hall conductivity (called primary component), the other is an additional component of existence of Hall conductivity (called secondary component). Then we could consider the formation mechanism of the current system theoretically from calculational results.

In this time, we would show the importance of the Cowling effect through the results of how to form the equatorial electrojet, and current structure and causality of off-dip equator and mid-latitude.

磁気圏-電離圏結合により、電離圏に全球的な電流系が存在する。しかし、その 3 次元構造と形成要因の理解は不十分である。

磁気圏-電離圏 (M-I) 結合に関する過去の研究は、異なる視点から問題に取り組んできたが、それぞれに一定の限界がある。Nakamizo and Yoshikawa [2019] は、ポテンシャルソルバーを用いて M-I 結合系での静電ポテンシャルが全球的に形成される方法を示したが、これは水平方向の 2 次元のみの理解であった。また、Fujii et al. [2011] は M-I 結合系での 3 次元電流構造を理論的に予測し、Yano and Ebihara [2021] が数値計算を行った。しかし、そのどちらも高緯度のみに限定されていた。

本研究の目的は、Region-1 FAC によって引き起こされる電離圏電流系の 3 次元全球構造を明らかにすることである。また、なぜそのような構造が形成されるのかを説明する。

電流システムは、GAIA の電気力学モデル (Jin et al., 2011) を用いて計算した。解析のため、Yoshikawa et al. [2013] で説明されている方法で、電場と電流を 2 成分に分離した。1 つはホール伝導度が存在しない場合の成分 (一次成分)、もう 1 つはホール伝導度が存在する場合に追加で生じる成分 (二次成分) である。これにより、計算結果から電流系の形成メカニズムを理論的に検討することが可能となる。

本講演では、赤道ジェット電流の形成、off-dip や中緯度における電流構造とその形成メカニズムといったトピックを通じて、全球的なカウリング効果の重要性を示す。

R010-11

B会場：11/25 AM1 (9:15-10:45)

10:00~10:15:00

低緯度オーロラに関連して観測された電離圏対流の特性：地磁気活動度依存性を中心にして

#西谷 望¹⁾, 堀 智昭²⁾, 細川 敬祐³⁾, 新堀 淳樹^{1,4)}, 尾花 由紀⁵⁾, 寺本 万里子⁶⁾, 塩川 和夫⁴⁾, 片岡 龍峰⁷⁾

(¹ 名大 ISEE, (² 名古屋大学・宇宙地球環境研究所, (³ 電気通信大学, (⁴ 名古屋大学, (⁵ 九州大学, (⁶ 九州工業大学, (⁷ 沖縄科学技術大学院大学

Ionospheric convection associated with low-latitude auroras – dependence on geomagnetic activity

#Nozomu Nishitani¹⁾, Tomoaki HORI²⁾, Keisuke HOSOKAWA³⁾, Atsuki SHINBORI^{1,4)}, Yuki OBANA⁵⁾, Mariko TERAMOTO⁶⁾, Kazuo SHIOKAWA⁴⁾, Ryuho KATAOKA⁷⁾

(¹Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, (²Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, (³UEC, (⁴Nagoya University, (⁵Kyushu University, (⁶Kyutech, (⁷OIST

In recent years, with high solar activity, a series of reports has emerged of low-latitude aurora emissions in Hokkaido, which is located further south of the statistical auroral oval. Low-latitude auroras observed during relatively large geomagnetic storms in May and October 2024, and January 2025, have been studied, with ongoing research into the variations in ionospheric convection associated with these auroral emissions. In contrast, the low-latitude aurora that appeared over Hokkaido on March 26, 2025, at 10-11 JST, was associated with a low Dst activity of at most -50 to -60 nT, which is relatively small in terms of geomagnetic activity. At this time, the SuperDARN HOP radar observed an increase in convection at approximately 52 degrees geomagnetic latitude, sometimes accompanied by shear structures, similar to those observed during major geomagnetic storms. This paper presents detailed discussions on how small geomagnetic activity can generate low-latitude auroras and associated convective activity, as well as how geomagnetic activity influences auroral emissions.

近年の太陽活動の活発化に伴い、元来統計的なオーロラ分布領域(オーロラオーバル)より大きく低緯度側に位置する北海道において低緯度オーロラ発光の報告が相次いでいる。2024年5月・10月、2025年1月等の比較的大きな磁気嵐における低緯度オーロラは、比較的良好に報告されていて様々な研究がなされていて、これらのオーロラ発光に関連する電離圏対流の変動に関する研究も進行中である。これに対して、2025年3月26日の10-11 JSTに北海道の上空に出現した低緯度オーロラは、Dst活動指数ではせいぜい-50~-60 nTと、地磁気活動の規模でいうと比較的小さなものであった。この時に SuperDARN HOP レーダーは大磁気嵐の時と同様に、時にシア構造を持つ対流の増大を約52度地磁気緯度にて観測している。どうしてこのような小さな地磁気活動時に低緯度オーロラ並びに関連する対流活動を生成することができたのか、またオーロラ発光に対する地磁気活動はどのように影響を与えるのか、講演ではより詳細な議論を展開する予定である。

R010-12

B 会場 : 11/25 AM1 (9:15-10:45)

10:15~10:30:00

#片岡 龍峰¹⁾, Bhosale Nilam¹⁾, Nakano Shinya²⁾, Fujita Shigeru²⁾, Nakamizo Aoi³⁾, Sachin Reddy⁴⁾, Bag Tikemani⁵⁾, Yukimatu Akira⁶⁾, Tanaka Takashi⁷⁾

⁽¹⁾OIST, ⁽²⁾統計数理研究所, ⁽³⁾情報通信研究機構, ⁽⁴⁾NASA/JPL, ⁽⁵⁾千葉大学, ⁽⁶⁾国立極地研究所, ⁽⁷⁾九州大学

Subauroral Joule-heat estimate using SuperDARN data assimilation via AI emulator of REPPU global MHD simulation

#Ryuho Kataoka¹⁾, Nilam Bhosale¹⁾, Shinya Nakano²⁾, Shigeru Fujita²⁾, Aoi Nakamizo³⁾, Reddy Sachin⁴⁾, Tikemani Bag⁵⁾, Akira Yukimatu⁶⁾, Takashi Tanaka⁷⁾

⁽¹⁾OIST, ⁽²⁾ISM, ⁽³⁾NICT, ⁽⁴⁾NASA/JPL, ⁽⁵⁾Chiba Univ., ⁽⁶⁾NIPR, ⁽⁷⁾Kyushu Univ.

In this study, we estimate the time evolution of the Joule heating map using the SMRAI emulator model of REPPU global MHD simulation (Kataoka et al., 2024, Space Weather) with the data-assimilation (DA) of the SuperDARN dataset (Nakano et al., 2025, submitted to Space Weather). The new SMRAI-DA model results indicate an enhanced Joule heat in the sub-auroral region, ranging from 50 to 100 GW, during several non-extreme storms (-100 nT minimum Dst level) in 2023 and 2024. We discuss the relationship between the enhanced sub-auroral Joule heat and the red-aurora appearance from the middle-latitude Hokkaido region, Japan.

R010-13
B 会場 : 11/25 AM1 (9:15-10:45)
10:30~10:45:00

太陽活動の極大期における電離圏擾乱による高精度 GNSS 測位への影響

#藤原 智¹⁾, 細谷 素之¹⁾, 来田 倍周¹⁾

(¹⁾ ジェノバ

Impacts of Large-Scale Ionospheric Disturbances on High-Precision GNSS Positioning During Solar Maximum

#Satoshi Fujiwara¹⁾, Motoyuki Hosoya¹⁾, Masunori Kitada¹⁾

(¹⁾JENOB CO., LTD.

1. Introduction

GNSS radio waves, such as those from GPS, pass through the ionosphere and are therefore affected by ionospheric disturbances. We are currently near the peak of the solar cycle, during which such disturbances are becoming increasingly significant. This presentation describes large-scale ionospheric disturbances that occurred over the past year and a half during periods of high solar activity, focusing on their impact on precise GNSS positioning.

2. Overview of the Impact on GNSS Positioning

Using Japan's continuously operating reference station network (GEONET) operated by GSI, we provide a network-based RTK service that enables position measurements with centimeter-level accuracy every second anywhere in the country. High-precision positioning is classified into two categories: fixed solutions (integer ambiguity resolved, centimeter-level accuracy) and float solutions (ambiguity unresolved, decimeter- to meter-level accuracy).

From October 2024 to April 2025, increased solar activity led to frequent positioning failures caused by medium-scale traveling ionospheric disturbances (MSTIDs) and other factors. However, the impact of these small- to medium-scale disturbances is more pronounced when the baseline positioning accuracy is already degraded due to multipath effects, radio interference, or other environmental factors affecting the receiver. Typically, the periods without fixed solutions are short, and the spatial extent of such disturbances is limited.

3. Large-Scale GNSS Positioning Disturbances over the Past 1.5 Years

Significant large-scale ionospheric disturbances affecting GNSS positioning occurred three times between February 2024 and July 2025.

Two of these events occurred from approximately 22:00 JST on May 11, 2024, to 08:00 on May 12, and from approximately 21:00 on June 2, 2025, to 06:00 on June 3, 2025. Both events shared the following features:

- (1) occurrence from night to morning,
- (2) movement of the affected area from northeast to southwest, and
- (3) several hours of impact at each station.

Although similar in appearance to MSTID events, these disturbances lasted longer, covered a wider area, and had a greater impact.

The third event occurred from approximately 13:00 on January 1, 2025, to 14:00 on January 2. A disturbance first appeared near Kyushu, expanded to the Tohoku region, then returned southward within a few hours before dissipating. This cycle repeated several times with varying intensities, resulting in an overall duration of about 24 hours. The fluctuation pattern resembled that of plasma bubble phenomena, though the largest disturbance occurred around 06:00.

All three events shared the following characteristics:

- (1) long duration of impact,
- (2) wide geographic extent,
- (3) large variability in positioning values even with fixed solutions,
- (4) occurrence during geomagnetic storms, and
- (5) simultaneous observation of low-latitude auroras in Japan (e.g., in the second case, an aurora was observed on the day before, June 3, 2025, whereas in the other events the aurora was observed on the same day).

4. Implications for Space Weather Forecasting

Since ionospheric disturbances are neither visible nor directly perceptible, space weather forecasting—capable of predicting such disturbances in advance—is highly valuable. Among the three cases reported here, NICT issued a prior warning for the May 2024 event due to a large solar flare, but the other two events occurred without any special warnings. Additionally, a large solar flare warning issued in October 2024 turned out to be a false alarm in terms of GNSS impact.

Nevertheless, all large-scale GNSS disturbances coincided with geomagnetic storms and observations of low-latitude auroras, indicating that there were at least indirect precursors. We therefore anticipate advances in forecasting capabilities that can more reliably predict ionospheric disturbances affecting GNSS positioning.

1. はじめに

GPS に代表される GNSS の電波は電離圏を通過するため、電離圏擾乱の影響を受ける。現在、太陽活動の極大期であり、その影響も大きくなっている。昨年の SGPSS で報告したように、2024 年 5 月に発生した大規模太陽フレアに起因する電離圏擾乱によって日本全国にわたって GNSS 測位が大きな影響を受けた。本報告では、太陽活動の活発なここ 1 年半ほどに発生した電離圏擾乱による大規模な GNSS 測位への影響について紹介する。

2. GNSS 測位への影響 概況

当社は国土地理院の電子基準点網（GEONET）を用いて、毎秒ごとに数 cm 精度の位置測定が全国どこでもできるサービス（ネットワーク型 RTK）を提供しており、このサービスの精度等を全国各地で常にモニタリングしている。高精度測位においては、測位精度の目安として FIX 解（精度数 cm）と FLOAT 解（精度数 10cm～数 m）に区別する。電離圏擾乱のみならず、利用衛星数減少、マルチパス、電波障害等の影響で十分な測位性能が得られているかどうかを判断する基準が、FIX 解が得られているかどうかである。

太陽活動の活発化に伴い、MSTID（中規模伝搬性電離圏擾乱）等によって、FIX 解が得られない測位は 2024 年 10 月から 2025 年 4 月にかけて頻発した。しかし、これらの中小規模の電離圏擾乱の影響は、受信機の設置環境によってマルチパス、電波障害等の影響でももとの測位精度が劣化している場合に発生しやすい。また FIX 解が得られない時間は短時間であり、さらに擾乱の空間分布も限られるのが通常である。

3. 1 年半に 3 回発生した GNSS 測位への大規模な擾乱現象

GNSS 測位へ大きな影響を及ぼす大規模な電離圏擾乱は、2024 年 2 月から 2025 年 7 月の 1 年半の期間に 3 回発生した。

これらのうち、2024 年 5 月 11 日 22 時頃～12 日 8 時頃（日本時間 JST。以下同じ）及び 2025 年 6 月 2 日 21 時頃～3 日 6 時頃の 2 回は、(1) 夜間から朝に発生、(2) 北東から南西方向に影響域が移動、(3) 一観測局ごとの影響が数時間継続、という共通した特徴があった。現象が MSTID によるものに似ているが、それよりも長時間継続し、空間的に大規模で影響の度合いも甚大になったものである。

もう一つは、2025 年 1 月 1 日 13 時頃～2 日 14 時頃に発生した。九州付近で擾乱が発生し、その影響域が東北地方程度まで広がり、数時間程度でまた南側に戻って消えていくというパターンが強さを変えつつ複数回繰り返され、全体として 24 時間ほどの影響があった。この変動パターンはプラズマバブル現象によるものに類似しているが、最大規模のものは朝 6 時ごろに発生している。

これら 3 例に共通するのは、(1) 影響時間が長い、(2) 範囲が広い、(3) FIX しても値が大きくばらつく、(4) 磁気嵐の最中に発生、(4) 日本で低緯度オーロラが観測されている（2025 年 6 月の現象だけは前日にオーロラ観測）があげられる。

4. 宇宙天気予報への期待

GNSS 信号は、電離圏だけではなく対流圏の影響を受け、線状降水帯発生のような気象状況では測位精度が低下する。しかし、高精度 GNSS 測位を利用するような測量、ICT 施工や精密農業であれば、あらかじめ天気予報を元に、そのような気象状況では作業自体を行わないため、影響は小さい。

電離圏擾乱は目に見えず、体感することもできないため、あらかじめ擾乱を予測する宇宙天気予報の効果は大きい。本報告の 3 例では、2024 年 5 月の擾乱は、あらかじめ NICT から、大規模太陽フレア発生に伴う注意喚起が発表されていたが、他の 2 回は特別な注意喚起はなく「見逃し」といえ、2024 年 10 月の大規模太陽フレアに伴う注意喚起は GNSS 測位にとって「空振り」といえる。

しかしながら、GNSS への大規模影響現象は磁気嵐や低緯度オーロラの発生と同時期であり、全く手掛かりがなかったわけではなく、GNSS 測位に影響を与える電離圏擾乱の発生予測へ期待したい。

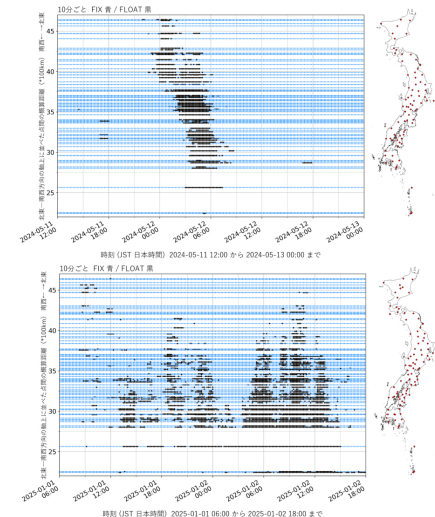


Figure GNSS kinematic positioning fix status due to large-scale ionospheric disturbances
-- Top: May 11-12, 2024 Bottom: January 1-2, 2025
-- Fixed solutions (blue) and float solutions (black) every 10 minutes
-- GEONET stations are arranged from northeast to southwest on the Japanese archipelago tilted at a 45-degree angle.

R010-14

B会場：11/25 AM2 (11:05-12:35)

11:05~11:20:00

#高橋 透¹⁾, 西山 尚典²⁾, 北村 光教¹⁾, 斎藤 享¹⁾, 橋本 大志²⁾, 坂井 丈泰¹⁾

(¹ENRI, MPAT, (² 国立極地研究所

Impact of ionospheric disturbances on next generation SBAS broadcast from QZSS in the Arctic

#Toru TAKAHASHI¹⁾, Takanori NISHIYAMA²⁾, Mitsunori KITAMURA¹⁾, Susumu SAITO¹⁾, Taishi HASHIMOTO²⁾, Takeyasu SAKAI¹⁾

(¹Electronic Navigation Research Institute, MPAT, (²National Institute of Polar Research

Aviation and maritime activities in the Arctic are growing with the decline in Arctic Sea ice. This decline in the Arctic Sea ice leads to increase maritime activities regarding ocean resources and vessel traffic. Aviation activity is also expected to increase with the increase in maritime activities. A model study suggested that the Global Navigation Satellite System (GNSS), which operates with the augmentation system such as the Satellite-based augmentation systems (SBAS) and Advanced Receiver Autonomous Integrity Monitoring (RAIM), is effective for the navigation of aviation and maritime in the Arctic because of poor infrastructures. However, the current L1 SBAS broadcasts augmentation messages from geostationary (GEO) satellites, which are not available practically in the polar region at a latitude of 72 degrees or higher. The Dual Frequency Multi Constellation Satellite Based Augmentation System (DFMC SBAS) has been standardized by the International Civil Aviation Organization (ICAO). Broadcasting augmentation messages from the Inclined Geosynchronous Orbit (IGSO) satellite is considered to be included in the future updates. The Electronic Navigation Research Institute (ENRI) developed a DFMC SBAS prototype based on the draft standards, and test messages are broadcast from the Japanese Quasi-Zenith Satellite System (QZSS).

An evaluation of the performance of DFMC SBAS broadcast from QZSS was conducted in Oslo, Norway (10.72 deg. E, 59.94 deg. N) from 24 February 2021 to 17 March 2021. They successfully received the DFMC SBAS messages from QZSS, and GPS, Galileo, GLONASS, and BeiDou signals. They analyzed the errors in the position solutions as well as vertical and horizontal protection levels by using GPS L1/L5 and Galileo E1/E5a signals augmented by the DFMC SBAS. The positioning errors did not exceed the protection level, and the availability was 84.8% for the LPV 200 during this time interval. In this study, they concluded that the augmentation message could be used in the Arctic region, and suggested that the availability will be improved if three or more monitor stations are newly installed in the European region.

As the next step of our investigation, we installed a GNSS receiver, a DFMC SBAS receiver, and a software-defined radio receiver in Ny-Ålesund, Norway (78.9° N, 11.9° E) on August 7, 2024. In this high-latitude location, augmentation messages from GEO satellites are not practically receivable. In contrast, QZSS satellites reach an elevation angle of approximately 20 degrees and remain visible for nearly 24 hours per day. The ionosphere above Ny-Ålesund is frequently disturbed by geomagnetic activity, often leading to fluctuations in the GNSS carrier phase, known as phase scintillation.

The aim of this study is to evaluate the performance of the DFMC SBAS broadcast by QZSS satellites and to assess the impact of geomagnetic disturbances on DFMC SBAS performance in the Arctic region. The GNSS ranging signals were collected using a JAVAD DELTA GNSS receiver, which was synchronized to a 10 MHz reference clock generated by a Stanford Research FS-725 rubidium atomic clock. This high-stability reference enabled the detection of phase scintillations associated with plasma density irregularities in the ionosphere. For the reception of DFMC SBAS messages, we employed a CORE Chronosphere receiver. A Tallysman Veraphase 6000 antenna, capable of tracking signals in the L1, L2, and L5 frequency bands, was used for both receivers.

Stable observations have been continuously carried out over one year. Several geomagnetic disturbances occurred within the observation period. During this time interval, an enhancement of phase scintillation index was observed in Ny-Ålesund. Although signals from QZSS also fluctuated due to ionospheric disturbances, there is no errors in reception of the DFMC SBAS messages. This suggests that the reception of DFMC SBAS messages broadcast from QZSS in the Arctic region is possibly unaffected by ionospheric disturbances such as auroras. However, it is necessary to conduct a statistical study that examines DFMC SBAS message reception. Furthermore, a comparison of positioning solutions using augmentation messages with the horizontal and vertical protection levels is also essential to verify the integrity and availability of DFMC SBAS.

In this study, we will report whether GPS and Galileo satellites, augmented by the DFMC SBAS as well as QZSS, were affected by ionospheric disturbances during the observation period by our measurements and ionospheric observation at Ny-Ålesund and Longyearbyen. Based on this analysis, we will discuss the impact of ionospheric disturbance on the performance of DFMC SBAS.

R010-15

B会場：11/25 AM2 (11:05-12:35)

11:20～11:35:00

#Liu Huixin¹⁾, Qiu Lihui¹⁾

(¹ 九大)

Enhancement of ionospheric sporadic E layer during May 2025 super magnetic storm: global distribution and mechanisms

#Huixin Liu¹⁾, Lihui Qiu¹⁾

(¹Kyushu University)

Sporadic E (Es) layer plays a prominent role in revealing both upward and downward atmosphere-ionosphere coupling process. This study investigates the responses of Es layers to the May 2024 super geomagnetic storm by using 37 ground-based ionosondes distributed globally and space-based COSMIC-2 radio occultation observations. The results show that Es layers were significantly enhanced during the recovery phase of geomagnetic storm. In addition, the enhanced Es layers mainly occurred over Southeast Asia, Australia, the South Pacific and the East Pacific. The temporal evolution of foEs disturbances over the Asian-Australian sector clearly shows the “wave propagation” characteristics from high to low latitudes, indicating that the enhancements of the Es layers are most likely caused by the disturbed neutral winds in the E region. This study presents observational evidence for the downward impacts of the geomagnetic storm on the E-region. Results published in Qiu & Liu (2025), GRL, <https://doi.org/10.1029/2025GL115154>.

R010-16

B会場：11/25 AM2 (11:05-12:35)

11:35~11:50:00

X線観測で明らかにした2024年10月10–13日の大規模磁気嵐に対する下部熱圏の応答

#勝田 哲¹⁾, 峠 千尋²⁾, 森 浩二³⁾, 三好 由純⁴⁾, 品川 裕之^{2,5)}, 金丸 善朗⁶⁾, Behar Ehud¹²⁾, 藤原 均¹⁰⁾, 陣 英克²⁾, Miller Eric⁹⁾, 三好 泰信⁵⁾, 望月 優子^{1,7)}, 中澤 知洋⁴⁾, 信川 久実子⁸⁾, 大城 勇憲⁷⁾, Petre Robert¹¹⁾, 鈴木 寛大³⁾, 玉川 徹⁷⁾, 田代 信¹⁾, 土屋 草馬^{7,13)}

(¹⁾ 埼玉大学, (²) 国立研究開発法人情報通信研究機構, (³) 宮崎大学, (⁴) 名古屋大学, (⁵) 九州大学, (⁶) JAXA 宇宙科学研究所, (⁷) 理化学研究所, (⁸) 近畿大学, (⁹) マサチューセッツ工科大学, (¹⁰) 成蹊大学, (¹¹) NASA/GSFC, (¹²) Technion, (¹³) 東京理科大学

Lower Thermospheric Response to the Severe Geomagnetic Storm during October 2024 Revealed by X-ray Observations

#Satoru Katsuda¹⁾, Chihiro Tao²⁾, Koji Mori³⁾, Yoshizumi Miyoshi⁴⁾, Hiroyuki Shinagawa^{2,5)}, Yoshiaki Kanemaru⁶⁾, Ehud Behar¹²⁾, Hitoshi Fujiwara¹⁰⁾, Hidekatsu Jin²⁾, Eric Miller⁹⁾, Yasunobu Miyoshi⁵⁾, Yuko Mochizuki^{1,7)}, Kazuhiro Nakazawa⁴⁾, Kumiko Nobukawa⁸⁾, Yuken Ohshiro⁷⁾, Robert Petre¹¹⁾, Hiromasa Suzuki³⁾, Toru Tamagawa⁷⁾, Makoto Tashiro¹⁾, Soma Tsuchiya^{7,13)}

(¹) Saitama University, (²) NICT, (³) University of Miyazaki, (⁴) Nagoya University, (⁵) Kyushu University, (⁶) JAXA/ISAS, (⁷) RIKEN, (⁸) Kindai University, (⁹) MIT, (¹⁰) Seikei University, (¹¹) NASA/GSFC, (¹²) Technion, (¹³) Tokyo University of Science

The recent surge in the number of artificial satellites in low Earth orbit has heightened the importance of precise space weather characterization for ensuring safe satellite launch and operation. Among space weather phenomena, extreme geomagnetic storms can induce significant thermospheric density perturbations, leading to substantial orbital deviations. Accurate quantification of atmospheric density variations during such events is therefore critical for reliable orbit prediction and satellite safety. However, due to the rarity of intense geomagnetic storms, observational data capturing atmospheric responses remain limited. We have recently pioneered a novel observational technique utilizing X-ray astronomy satellites to probe the upper atmosphere. Since cosmic X-rays are predominantly absorbed in the lower thermosphere (100 – 200 km altitude), this method offers a unique opportunity to investigate this otherwise elusive region.

The geomagnetic storm that occurred between October 10 and 13, 2024 (minimum Dst index: – 335 nT), ranked as the second most intense event of Solar Cycle 25, provided a rare opportunity to examine the thermospheric response to a large-scale storm. During this period, the X-ray astronomy satellite XRISM conducted calibration observations of the Cygnus Loop (October 10) and E0102 (October 10 – 12). By analyzing atmospheric occultation data obtained immediately after these sources rose from the Earth's nightside, and X-ray emissions from the sunlit Earth limb just prior to setting, we successfully derived vertical profiles of atmospheric density and the O/N composition ratio. The occultation data yielded density profiles from 120 to 250 km in 20 km intervals, while the limb observations provided composition profiles from 100 to 300 km in 10 km intervals.

Our analysis revealed that total atmospheric density remained nominal prior to the storm, increased by approximately a factor of two during the main phase, and decreased by several tens of percent during the early recovery phase. Furthermore, the ratio of fluorescent O-K to N-K emission line intensities (O/N) decreased by 50 – 60% during the three-hour peak of storm activity. Considering the occultation-derived total densities of oxygen and nitrogen, and the associated changes in photoelectric absorption, the observed O/N reduction is consistent with nitrogen and oxygen densities increasing to 2.2 and 1.5 times their quiet-time values, respectively, during the storm's main phase.

Based on these findings, we infer the following sequence of thermospheric response: The geomagnetic storm, triggered by a coronal mass ejection arriving between 16:00 and 23:00 UT on October 10, induced strong Joule heating in the polar regions during the main and early recovery phases. This heating caused polar atmospheric expansion and uplift of nitrogen-rich neutral air from the lower thermosphere to higher altitudes, followed by equatorward transport. Consequently, by early October 11 (around 03:30 local time, 01:00 UT), the equatorial thermosphere exhibited expansion and a marked decrease in the O/N ratio.

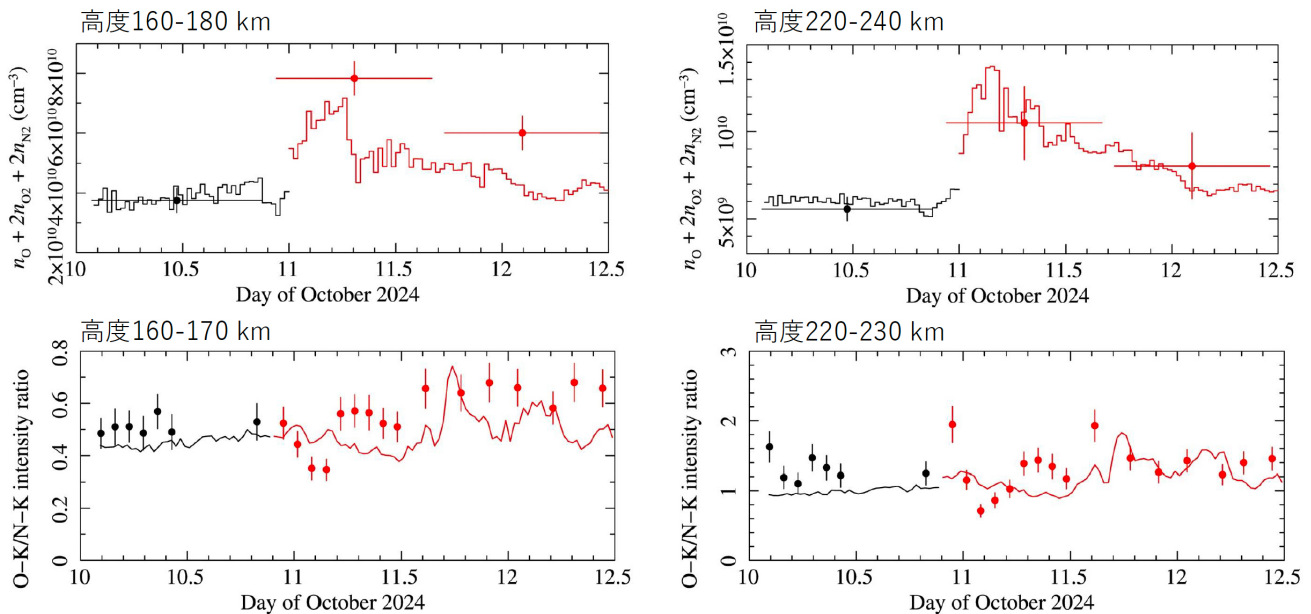
Simulations using the GAIA model, incorporating geomagnetic storm effects, successfully reproduced the observed density enhancement during the main phase. However, the model failed to replicate the pronounced decrease in the O/N composition ratio, indicating the need for further refinement of atmospheric models to fully capture the complex dynamics of storm-time thermospheric responses.

地球低軌道を周回する人工衛星の数が爆発的に増加する近年、その安全な打ち上げと飛行には、宇宙天気の詳細な理解がますます重要になってきている。特に、極端な磁気嵐は熱圏の密度擾乱を引き起こし、衛星軌道を大きく変化させる。このため、磁気嵐に伴う大気密度の変動を正確に把握することは人工衛星の軌道予測、ひいては安全な飛行に不可欠であ

る。しかし、大規模な磁気嵐は稀であるため、大気密度の応答が測定された例は少ない。我々は近年、X線天文衛星による超高層大気の観測というユニークな手法を開拓してきた。宇宙X線は主に下部熱圏(高度100-200 kmの大気層)で吸収されることから、これまで観測が難しかった下部熱圏を調査する新しい手段になる。

2024年10月10–13日に発生した磁気嵐(最小Dst指数 -335 nT)は、第25太陽周期中に発生した磁気嵐の中で2番目に強いもので、大規模磁気嵐に対する大気応答を調べる貴重な機会を提供した。X線天文衛星XRISMは、この磁気嵐が発生した際、観測機器の較正目的でCygnus Loop(観測日: 2024年10月10日)とE0102(観測日: 2024年10月10–12日)を観測していた。これらの天体が夜側の地球から昇った直後の大気掩蔽データ、および昼側の地球に没した直前の昼地球リム大気X線を解析することで、それぞれ大気密度とO/N組成比($[O]+2*[O2]/[N]+2*[N2]$)の計測に成功した。前者は高度120–250 kmの範囲を高度層20 km間隔で、後者は100–300 kmを10 km間隔で高度分布を得た。

その結果、大気のトータル密度は、磁気嵐前には平常通りの密度であったが、磁気嵐主相で嵐前に比べ2倍程度増加し、回復相初期にはピークから数割低下したことが判明した。また、蛍光輝線強度比O-K/N-Kは、嵐が最も強い3時間、前後の50-60%に低下していた。この低下は、掩蔽解析の結果(酸素・窒素トータル密度が2倍程度)とそれに伴う光電吸収の変化を考慮すると、磁気嵐主相にて大気の窒素密度($[N]+2*[N2]$)、酸素密度($[O]+2*[O2]$)がそれぞれ平常時の2.2倍、1.5倍になったと考えると辻褄が合う。以上の結果から磁気嵐に伴う下部熱圏の応答を次のように推察した。2025年10月10日16:00–23:00に地球に到達したコロナ質量放出によって磁気嵐が発生し、磁気嵐主相から回復相にかけて極域に強いジュール加熱が発生した。ジュール加熱で極域の大気が膨張し、下部熱圏の大きな $[N2]/[O]$ の比を持つ中性大気が高高度に上昇、極域から赤道に輸送された。その結果、10月11日未明(地方時3:30頃、UT1:00頃)には、赤道付近の大気が膨張し、O/N比の低下が生じたと考えられる。磁気嵐の影響を加味したGAIAシミュレーションは、主相での密度増加を定量的に再現したが、O/N組成比の顕著な低下は再現しなかった。磁気嵐に対する大気応答の完全解明にはさらなるモデルの精緻化が必要である。



上の2パネルは天体の掩蔽から得た大気密度。下の2パネルは昼地球のO-K, N-K蛍光X線の強度比。GAIAシミュレーション結果を実線で示す。GAIAの $([O]+[O2])/[N2]$ に、光電離、蛍光収率、光学的厚みの影響を取り込んでO-K/N-Kフラックス比に変換した。

R010-17

B会場：11/25 AM2 (11:05-12:35)

11:50~12:05:00

人工衛星の軌道変動から探る大規模宇宙天気現象が地球超高層大気に与える影響

#田中 颯^{1,6)}, 中川 貴雄^{2,6)}, 野澤 恵⁴⁾, 玉川 徹^{3,5)}, 大田 尚享³⁾, 武田 朋志⁸⁾, 榎戸 輝揚⁷⁾, 岩切 渉^{8,9)}, 北口 貴雄⁵⁾, 三原 建弘⁵⁾, 青山 有未来³⁾, 岩田 智子³⁾, 喜多 豊行⁹⁾, 高橋 拓也³⁾, 山崎 楓³⁾, 土屋 草馬³⁾, 中野 遥介³⁾, 一番ヶ瀬 麻由¹⁰⁾
(¹⁾ 東京科学大, (²⁾ 東京都市大, (³⁾ 東京理科大, (⁴⁾ 茨城大, (⁵⁾ 理化学研究所, (⁶⁾ JAXA 宇宙科学研究所, (⁷⁾ 京都大, (⁸⁾ 広島大, (⁹⁾ 千葉大, (¹⁰⁾ 立教大

Effects of Large-Scale Space Weather on the Earth's Upper Atmosphere from Satellite Orbital Changes

#Hayato Tanaka^{1,6)}, Takao Nakagawa^{2,6)}, Satoshi Nozawa⁴⁾, Toru Tamagawa^{3,5)}, Naoyuki Ota³⁾, Tomoshi Takeda⁸⁾, Teruaki Enoto⁷⁾, Wataru Iwakiri^{8,9)}, Takao Kitaguchi⁵⁾, Tatehiro Mihara⁵⁾, Amira Aoyama³⁾, Tomoko Iwata³⁾, Toyoyuki Kita⁹⁾, Takuya Takahashi³⁾, Kaede Yamazaki³⁾, Souma Tsuchiya³⁾, Yousuke Nakano³⁾, Mayu Ichibangase¹⁰⁾

(¹Institute of Science Tokyo, (²Tokyo City University, (³Tokyo University of Science, (⁴Ibaraki University, (⁵Institute of Physical and Chemical Research, (⁶Institute of Space and Astronautical Science, (⁷Kyoto University, (⁸Hiroshima University, (⁹Chiba University, (¹⁰Rikkyo University

In this study, we investigate the relationship between solar activity and thermospheric variations using GPS data from the low-Earth orbit CubeSat NinjaSat in 2024, a year of exceptionally high solar activity with some of the largest flares and CMEs in history. Orbital altitude changes derived from GPS data were compared with those propagated from NORAD Two-Line Elements (TLEs), allowing extraction of atmospheric drag effects with high time resolution.

Our statistical analysis reveals a delayed response of orbital altitude decay to solar EUV irradiance. Variations in shorter EUV wavelengths (25.6 – 30.4 nm) show a delay of 30 – 36 hours, while longer wavelengths (117.5 – 140.5 nm) exhibit a delay of 48 – 54 hours at ~500 km altitude. These results demonstrate that the thermosphere responds on distinct timescales depending on EUV spectral range.

Furthermore, by removing EUV-driven effects, we examined atmospheric responses to extreme geomagnetic storms triggered by major CMEs in May and October 2024. Correlation analysis with geomagnetic disturbance indices indicates contributions from auroral electrojet as well as Joule heating.

Overall, our results show that during quiet periods, solar EUV heating is the dominant driver of thermospheric density variations, whereas during extreme geomagnetic storms, Joule heating becomes significant, rapidly enhancing atmospheric density at higher altitudes.

本研究では、2024年の極めて高い太陽活動期に低軌道を周回したX線天文観測用キューブサット「NinjaSat」のGPSデータを用い、太陽活動と熱圏大気密度変動の関係を解析した。GPSから得られた軌道高度変化とNORAD提供のTLE(Two-Line Elements)伝搬結果を比較することで、大気抵抗の効果を高時間分解能で抽出した。

統計解析の結果、軌道高度の減衰は太陽EUV放射に対して遅れて応答することが明らかとなった。短波長域(25.6 – 30.4 nm)では30~36時間、長波長域(117.5 – 140.5 nm)では48~54時間の遅延が見られ、熱圏が波長帯ごとに異なる時間スケールで応答することを示した。

さらに、EUVの影響を除去した解析により、2024年5月および10月のCMEに起因する極端な磁気嵐への大気応答を評価した。その結果、オーロラ電流系によるジュール加熱の寄与が確認され、磁気嵐時には超高層大気における大気密度が急激に増加することが示された。

結論として、静穏時にはEUV加熱が支配的である一方、極端な磁気嵐下ではジュール加熱の効果が顕著となることが分かった。

R010-18

B 会場 : 11/25 AM2 (11:05-12:35)

12:05~12:30:00

宇宙天気予報業務～現状と今後～

#久保 勇樹¹⁾

(¹ 情報通信研究機構)

Space weather forecast operation: current status and future developments

#Yuki Kubo¹⁾

(¹ National Institute of Information and Communications Technology)

Space weather is a field which discusses not only an effect of solar activity on space environment around the Earth but also an influence on social infrastructure, and has a direct connection to our social life.

Recently, solar activity reaches its maximum and effect of its activity on social infrastructure is getting a hot topic.

Space weather forecast, as same as the terrestrial weather, is issued in 24/7 by National Institute of information and communications technology (NICT). NICT is the only national organization which operates space weather forecast as a public service. In an aviation industry, space weather information has been issued by International Civil Aviation Organization (ICAO) space weather center as a mandatory information for commercial aviation flight, and it is currently in operational use.

Space weather forecast operation in Japan originates in late 1940's as a radio propagation alert which was renamed to space weather forecast in 1988, and it has been continued since then. Various methods, models, and technologies for space weather forecasting have been developed in this long history. However, unfortunately, the awareness of these activities, such as forecasting information, methods and models, is not enough.

A brief introduction on space weather forecast operation in Japan is presented and the methods, models, and technologies for future forecasting will be presented in this talk.

宇宙天気は、太陽活動による地球周辺の宇宙環境の乱れを議論するだけでなく、宇宙環境の乱れの結果として起こる社会インフラへの影響まで含めた議論するという点において、太陽地球系物理学の枠を超えて我々の社会生活と直接の接点を持つ分野である。

太陽活動が極大期を迎え、太陽活動の地球への影響が話題になることが多くなってきた。それとともに、太陽活動の我々の社会インフラへの影響についても注目されるようになってきている。

地球の天気と同じように、宇宙天気に関しても国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）により、宇宙天気予報を業務として行っている国内唯一の公的機関として、24 時間 365 日体制で宇宙天気情報が発信されている。また、航空業界では、国際民間航空機関（ICAO）の規程に基づいて ICAO 宇宙天気センターから発出される宇宙天気情報が民間航空機の運航に利用されており、宇宙天気情報は既に実用化段階に入っている。

日本国内の宇宙天気予報業務は、1940 年代後半頃の電波伝搬警報に端を発し、1988 年に宇宙天気予報と名称を変え、現在まで続いている歴史の長い業務であり、その間、様々な予報手法や予測モデルの開発なども行われてきた。しかしながら、実際に予報を決定する際に、どのような手法やモデルなどが用いられ、どのような判断のもとに情報発信されているのか等については、残念ながらまだ認知度が高いとは言えない。

本発表では、現在、NICT で発信している宇宙天気情報の内容を中心に、宇宙天気予報業務の概要を紹介するとともに、今後の宇宙天気予報を発展させていくために必要とされる予報技術等について簡単に紹介する。

R010-19

B 会場：11/25 PM1 (13:45-15:45)

13:45～14:00:00

社会的影響を考慮した新基準に基づく宇宙天気イベント通報と宇宙天気情報利用ガイドライン

#津川 卓也¹⁾

(¹ 情報通信研究機構)

New space weather alert considering social impact and space weather information usage guideline

#Takuya TSUGAWA¹⁾

(¹ National Institute of Information and Communications Technology)

NICT launched the space weather alert for social impacts and risks (SAFIR) and released the "Space Weather Information Utilization Guideline" in June 2025 based on the new criteria considering social impact recommended by the Ministry of Internal Affairs and Communications "Study Group on Advanced Space Weather Forecasting" (hereinafter referred to as the "Study Group") in 2022 (https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01tsushin05_02000047.html).

Conventional space weather alert criteria focus on the scale of the phenomenon and do not include information on social impacts. However, in order for users of space weather alert to determine specific responses, it is necessary to provide alerts based on social impacts. Therefore, the study group discussed new types and criteria of alerts that take into account the social impact of space weather phenomena, and established a total of 17 types of alerts in the five fields of communications and broadcasting, positioning, satellite operations, electric power, and aviation exposure. The alert was distributed in the fields of communications and broadcasting (HF band), space system operation (satellites), and aviation exposure, for which the alert criteria have been established.

In addition, NICT has created the "Space Weather Information Usage Guideline," which summarize basic policies on how users of space weather information should action when they receive the information, and the "Space Weather Information Introductory Guide," which is intended for those who are new to space weather information. These were released in conjunction with the launch of SAFIR.

By utilizing these information, it is expected that social infrastructure operators in various fields will be able to better understand large-scale space weather phenomena and take safer and more secure countermeasures. The information released this time will be continuously updated through communication with space weather information users. Regarding SAFIR, NICT will continue to study the criteria for fields where they have not yet been established, such as the GNSS positioning/navigation field, and add them to SAFIR as soon as they are established.

情報通信研究機構（NICT）では、2022 年の総務省「宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会」（以下、「検討会」という。）(https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01tsushin05_02000047.html) を受けて、社会的影響を踏まえた新警報基準に基づく「宇宙天気イベント通報（SAFIR）」を 2025 年 6 月から開始するとともに、「宇宙天気情報利用ガイドライン」を作成し公表を開始した（<https://swc.nict.go.jp/safir/>）

従来の宇宙天気予報・警報は現象の規模に着目した基準とし、社会的影響についての情報は含まれないものとなっているが、宇宙天気予報の利用者が具体的な対応を判断するためには社会的影響を基準とする予警報が必要である。そのため、検討会では、宇宙天気現象がもたらす社会的影響の大きさも考慮した新たな警報の種類・閾値について検討され、通信・放送、測位、衛星運用、電力、航空機人体被ばくの 5 分野で計 17 種類の予報・警報の種類が設定、そのうち 12 種類については基準の閾値が策定された。今回、基準の閾値が策定された通信・放送（HF 帯）、宇宙システム運用（衛星）、航空機人体被ばく分野について配信を開始した。

また、宇宙天気情報の利用者が情報を受信した際にどのように対処したらよいのか、基本的な方針をまとめた「宇宙天気情報利用ガイドライン」と、宇宙天気情報を初めて見る方向けの「宇宙天気情報利用の手引き」を作成し、SAFIR の公開に合わせて公開した。

これらの情報を利用することで、各分野の社会インフラ運用者が今まで以上に大規模な宇宙天気現象を正しく理解し、より安心安全な対応策を取ることができるようになると期待される。今回公開した情報については、宇宙天気情報ユーザーとのコミュニケーションを図り、継続的に更新していく。SAFIR については、今後、測位分野など基準値が未策定の分野についても引き続き基準値の検討を行い、策定次第対象に加える予定である。

R010-20

B会場：11/25 PM1 (13:45-15:45)

14:00～14:15:00

Physics-Informed Neural Network を用いた磁気嵐予測システムの開発

#西野 幹志¹⁾, 三好 由純¹⁾, 加藤 裕太^{1,2)}, 光田 千紘^{1,2)}

(¹ 名大 ISEE, (² 富士通株式会社 宇宙データフロンティア研究センター

Prediction of the Dst index using Physics-Informed Neural Networks

#Tsuyoshi Nishino¹⁾, Yoshizumi Miyoshi¹⁾, Yuta Kato^{1,2)}, Chihiro Mitsuda^{1,2)}

(¹Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, (²Space Data Frontiers Research Center, Fujitsu Limited

Geomagnetic storms, characterized by significant enhancements of ring current, are often associated with severe space weather events. The Dst index quantifies the intensity of geomagnetic storms, and accurate forecasting of Dst is essential for space weather forecast. Burton et al. (1975) developed an empirical equation for the temporal evolution of the Dst index, in which the rate of change of Dst is described in terms of the dawn-dusk solar wind electric field (the product of solar wind velocity and the north-south IMF component) and the loss. In their model, the injection rate of the ring current is linearly proportional to the dawn-dusk electric field, while the decay of the ring current is represented by an exponential term with a characteristic e-folding time. In this study, we develop a Physics-Informed Neural Network (PINN) approach for Dst forecast. PINNs are a class of neural network models that incorporate physical laws, typically expressed as differential equations, directly into the training process. By embedding the empirical equation into the neural network, our PINN follows the basic physical rules of Dst variation while simultaneously learning from data. In this presentation, we report on the current progress in developing the PINN for the Dst index.

R010-21

B 会場 : 11/25 PM1 (13:45-15:45)

14:15~14:30:00

1872 年 2 月の激甚太陽嵐・磁気嵐とその影響

#早川 尚志¹⁾

(¹ 名大

The extreme solar and geomagnetic storms in February 1872 and their terrestrial impacts

#Hisashi Hayakawa¹⁾

(¹Nagoya University

Intense solar eruptions occasionally impact near-Earth space environments, developing geomagnetic storms and extending auroral ovals to the lower geomagnetic latitudes. So far the greatest geomagnetic storm in the last 2 centuries have been considered to be the Carrington storm in 1859. However, recent archival investigations have revealed a number of geomagnetic storms that were as intense as or even possibly more intense than the Carrington storm even in the last 2 centuries. The February 1872 superstorm was one of the most significant cases in such extreme storms. This presentation aims at reconstructing temporal and spatial evolutions of the source active region, geomagnetic disturbances in the mid to low geomagnetic latitudes, and extension of the auroral oval on the basis of archival investigations from multiple countries, following Hayakawa et al. (2023, ApJ, 959, 23) and subsequent studies. The intensity of this superstorm doubled or even tripled the May 2024 storm in terms of the Dst estimate and offers us an extreme case for discussions on the space weather hazard mitigations.

R010-22

B 会場 : 11/25 PM1 (13:45-15:45)

14:30~14:45:00

イオノゾンデによるブラックアウト予測パラメータの導出

#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⁾

(¹⁾ 防衛大学校, (²⁾ 国立研究開発法人 情報通信研究機構, (³⁾ 名古屋大学 宇宙地球環境研究所

Statistical analysis of blackout prediction parameters using ionosondes

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

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

High-frequency (HF) radio communication is a critical method often used in disaster response and air traffic control because of its capability for long-distance communication using reflections in the ionosphere. However, a rapid increase in solar X-ray emissions during solar flares can cause a sudden increase in electron density in the lower ionosphere, leading to Shortwave Fadeouts (SWFs) that make HF radio unusable. The most severe situation of these events, where a total fadeout of the ionospheric echo occurs, are called blackouts.

The magnitude of SWF can be known from a minimum frequency observed in ionograms (f_{min}) and blackouts. f_{min} subtracted by its 27-day running median at the same LT (df_{min}) correlates well with solar zenith angle and flare class. However, the blackout duration cannot be explained solely by the flare class or the solar zenith angle, suggesting additional influencing factors. In this study, we performed a statistical analysis of SWF from 1981 to 2024 at four Japanese ionosonde stations (Wakkanai, Kokubunji, Yamagawa, and Okinawa). We examined the relationship between observed maximum df_{min} values, blackouts, and solar zenith angle-corrected flare classes. We defined parameter that can contribute to improving the accuracy of SWF forecasting. We use a Receiver Operating Characteristic (ROC) curve and an Area Under the ROC Curve (AUC) to evaluate the parameter.

Our analysis revealed a seasonal variation in SWF frequency, with more events in summer and fewer in winter. This seasonal variation was even more pronounced for blackouts, with the highest number of blackouts occurring in July, more than 10 times the number in December. We also found that C-class flares can also cause blackouts from May to August. For the blackout that occurred in May 2024, the X5.8-class flare on May 11, 2024, lasted longer than the X8.7-class flare that occurred on May 14, 2024, with the blackout durations in Wakkanai lasting 10 and 105 min, respectively. We found the probability of occurrence of blackouts was related to a negative storm on May 11, which caused a decrease in the ionospheric F2 layer critical frequency (f_oF2). Statistical analysis also showed that blackouts are more easily to occur when f_oF2 is low. Predicting blackout occurrences requires consideration of ionospheric information before solar flare, such as f_oF2 .

To address this, we proposed a new prediction parameter, $f_B = f_oF2 / (f_oF2 - f_{min})$, using f_oF2 and f_{min} observed by ionosondes before a solar flare. We defined and evaluated the relationship between f_B , flare class (F), and solar zenith angle (χ) for $df_{min} = 50F^{1/4} \cos^{1/2} \chi f_B$. The ROC analysis yielded an AUC of 0.80 for $df_{min} \geq 3$ MHz, demonstrating improved accuracy in blackout predictions when factoring in pre-flare ionospheric conditions.

HF 通信は、電離圏での反射を利用した、航空機や災害時の長距離無線に使用される非常に重要な通信手段の一つである。一方で、太陽フレアに伴った X 線 (0.1-10 nm) の放射強度の急増によって電離圏下部の電離が進むことにより、デリンジャー現象または短波通信障害 (SWF) が発生し、HF 通信できなくなることがある。デリンジャー現象の中でも、HF の全ての通信が途絶されることをブラックアウトという。

デリンジャー現象の規模は、イオノゾンデで観測される最小反射周波数 (以下、 f_{min}) やブラックアウトから判断できる。そして、 f_{min} の 27 日中央値からの変動量 (df_{min}) は太陽天頂角やフレアクラスと良い相関があることを調べた研究が多くある。しかし、ブラックアウトの継続時間は太陽天頂角とフレアクラスだけでは説明できない。本研究では、1981-2024 年の稚内、国分寺、山川、沖縄にあるイオノゾンデで観測された SWF について、 df_{min} の最大値及びブラックアウトと太陽天頂角補正したフレアクラスの関係について調べた。これより、デリンジャー現象の予測精度向上に寄与できるパラメータを定義し、評価した。評価方法として、ROC 曲線と AUC を用いた。

デリンジャー現象の月別発生頻度を調べた結果、SWF の発生頻度には明確な季節変化があり、夏に多く、冬に少ない傾向であった。ブラックアウトの場合、この季節変化がより顕著であり、7 月のブラックアウト発生数が最も多く、発生数が一番少ない 12 月と比較すると 10 倍以上の発生数であった。また、5 月から 8 月には C クラスフレアでもブラックアウトが発生する可能性があることがわかった。2024 年 5 月に発生したブラックアウトでは、2024 年 5 月 14 日に発生した X8.7 クラスのフレアよりも 2024 年 5 月 11 日の X5.8 クラスのフレアの方が、長時間継続しており、稚内のブラックアウト継続時間はそれぞれ 10 分と 105 分であった。2024 年 5 月 11 日に発生した負相嵐による電離圏 F2 層臨界周波数 (f_oF2) の減少と関連していることが示唆され、統計解析からも f_oF2 が低い時にブラックアウトが発生しやすいという結果が得られた。そのため、ブラックアウトの発生予測には、 f_oF2 などのフレア発生前の電離圏情報を考慮する必要がある。

そこで、フレア発生直前のイオノゾンデで観測された f_oF2 と f_{min} を用いてブラックアウト発生の指標となる予測パラメータ: $f_B = f_oF2 / (f_oF2 - f_{min})$ を定義した。また、 f_B 、フレアクラス (F) と太陽天頂角 (χ) を用いた df_{min} の関係

式： $df_{min} = 50F^{1/4} \cos^{1/2} \chi f_B$ を定義し、評価した。その結果、 $df_{min} \geq 3 \text{ MHz}$ における AUC は 0.80 となった。フレア発生前のブラックアウトになりやすい電離圏の状態を f_B として新たに定義することによりブラックアウトをより正確に予測すること可能となった。

R010-23

B 会場 : 11/25 PM1 (13:45-15:45)

14:45~15:00:00

全球地上観測コミュニティ構築への挑戦

#石井 守¹⁾

(¹ 情報通信研究機構/名古屋大学 ISEE)

Challenge to establish global ground-based observation community

#Mamoru Ishii¹⁾

(¹NICT/ISEE, Nagoya University)

The ground-based observation for space weather monitoring has advantage that has a long history and wide network, but on the other hand, there are several independent communities in the same instrument and their global standardization is poor in many field. This situation become an obstacle for data format standardization and data sharing.

WMO-ISES-COSPAR Coordination Team (WICCT) has been established in 2022 by the recommendation of UN/COPUOS Science and Technology Committee. WICCT has organized the kick-off meeting of International Space Weather Coordination Forum (ISWCF) on Nov. 17, 2023 at WMO headquarter, Geneve.

WICCT has started to establish a global comprehensive group for coordinating ground-based observation. As the first trial, ionosonde was chosen and "Global Ionosonde Observation/Operation network (GION)" was established in March 2025.

GION is now discussing main parameters to input in WMO information system, and preparing the list of observatories, and format standardization.

I will introduce the statistics and detail of discussion in GION and next step in my presentation.

宇宙天気に関する地上観測は、衛星・飛翔体観測に比べて長い歴史と世界的なネットワークを持つという優位性があるが、その反面複数のグループが並立している状況であり、世界的な統一がなされていない分野がほとんどである。この状況がデータフォーマットの統一やデータ共有の障壁となっているケースがある。

2022 年の国連宇宙空間平和利用委員会 (UN/COPUOS) の勧告により結成された WMO, ISES, COSPAR による宇宙天気調整チームは、そのパイロットプロジェクトとして地上観測の包括的な組織構築を検討した。その最初の試みとしてイオノゾンデが選択され、2025 年 3 月に Global Ionosonde Observation/Operation Network (GION) が活動を開始した。

現在 GION では、WMO の情報サービスにイオノゾンデ情報を掲載するため、パラメータの選考を行うほか、観測点リストの整備、フォーマットの検討等を開始している。

講演では、その設立の経緯や GION での議論の詳細、また今後の展望について紹介する。

R010-24

B 会場 : 11/25 PM1 (13:45-15:45)

15:00~15:25:00

デジタル画像記録方式ソーダボトル磁力計を用いた観測及びデータ処理教育

#今城 峻¹⁾

⁽¹⁾ 京大地磁気センター

Education of Observation and Data Processing with a Digital Image-Recording Soda Bottle Magnetometer

#Shun IMAJO¹⁾

⁽¹⁾ Graduate School of Science, Kyoto University

The soda bottle magnetometer, which is a handmade torsion-type magnetic variometer, has been used for space weather education in middle-to-high latitude regions. However, this teaching material is rarely used in magnetically low latitude regions such as Japan because manual reading of the light spot reflected from the mirror attached to the sensor magnet cannot resolve small magnetic field fluctuations. In order to use the soda bottle magnetometer for a class at Kyoto University, I combined it with a data recording system that uses a webcam to take regular images of the position of the light spot, called the "Digital Image-Recording Soda Bottle Magnetometer". The center positions of the light spot were accurately determined from the digital images using Python programs. The resolution of the magnetic declination is less than ~ 0.08 arcmin (or ~ 0.7 nT of east-west magnetic fields at Kyoto), which is about ten times better than the manual reading. The new type of soda bottle magnetometer successfully detected Sq variations, solar flare enhancements, substorm magnetic bays at Kyoto (GMLat ~ 25 degrees) with amplitude < 5 nT, as well as strong magnetic fluctuations of geomagnetic storms. Since images of light spots are acquired as digital data, students can analyze the data themselves on their computers. The cost of the observing system is low (less than 10,000 yen, excluding the PC). The digital image recording soda bottle magnetometer has potential for use in space weather education not only in universities, but also in high schools and citizen science.

複数探査機による多点その場観測から迫る、太陽高エネルギー粒子の太陽系動径一方位角方向の強度変化に関する研究

#木下 岳¹⁾⁽¹⁾ 東大理

Variations of intensity profiles of SEP in the inner heliosphere using multi-point in-situ observations

#Gaku Kinoshita¹⁾⁽¹⁾Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo

Solar Energetic Particles (SEPs) are high-energy charged particles in the keV – MeV range accelerated in association with solar flares and coronal mass ejections. When SEPs reach near-Earth space, they can cause severe disturbances to satellites and ground-based infrastructure, making their physical processes an important subject in space weather research.

To estimate the impact of SEPs, it is essential to evaluate the radial and longitudinal attenuation of their intensities during propagation in the heliosphere. Previous studies (e.g., McKibben et al. 2003; Roelof et al. 1992) reported that SEP intensities measured at widely separated spacecraft can differ significantly during the rising phase of an event, whereas the spatial gradients diminish substantially during the decay phase, with intensities often converging within a factor of 2 – 3. Interestingly, the temporal evolution of the intensities has been found to be similar across observation points separated radially, longitudinally, or latitudinally. This phenomenon is known as the reservoir effect (Roelof et al. 1992). Based on multi-spacecraft peak intensity measurements, Lario et al. (2006) proposed an empirical expression for this effect. However, their study used different SEP events to examine radial and longitudinal dependences separately, and thus could not fully eliminate event-to-event variability.

In this study, we quantitatively evaluate the reservoir effect using multi-point observations of the late March 2022 SEP event obtained by BepiColombo/SPM-BERM (Kinoshita et al. 2025; Pinto et al. 2022), STEREO-A/HET (Von Rosenvinge et al. 2008), and near-Earth instruments. During this event, BepiColombo and STEREO-A were magnetically well connected and separated radially by 0.4 au, while STEREO-A and Earth were located at nearly the same heliocentric distance but separated by 21.4° in longitude (see attached figure). Since the same SEP event was observed simultaneously at these distinct locations, direct comparisons enable a more accurate assessment of the reservoir effect. An initial analysis of this event has already been presented in Section 5.4 of Sánchez-Cano et al. (2025), which summarizes BepiColombo's exploration of the inner heliosphere. In this presentation, we report follow-up results focusing specifically on the reservoir effect.

太陽高エネルギー粒子（Solar Energetic Particle : SEP）とは、太陽フレアやコロナ質量放出などに伴って加速される keV-MeV 帯の高エネルギーの荷電粒子である。特に地球近傍に到達した際には人工衛星や地上インフラに深刻な障害をもたらす場合もあり、その物理過程の理解は、宇宙天気観測から重要である。

SEP の影響の見積もりに当たっては、太陽系を伝搬中する際の、動径・方位角方向の減衰度を評価する必要がある。先行研究 (e.g. McKibben et al. 2003; Roelof et al. 1992) においては、遠く離れた探査機によって測定された強度は、SEP 強度の上昇期には大きく異なる可能性があるが、強度の空間勾配は減衰期には大きく減少し、しばしば同等の強度に近づくこととされ、また興味深いことにすべての経度・緯度方向・動径方向の観測点において時間的に同様に進化するとされ、これらはリザーバー現象 (Reservoir Effect: Roelof et al. 1992) と呼ばれている。関連文献 1 : Lario et al. (2006) は複数探査機の SEP ピーク強度のその場観測に基づき、この現象を説明する経験式を提案している。しかし、この研究では動径・方位角方向の検証にそれぞれ別 SEP イベントを用いており、イベントごとの特性の違いを排除した検証ができていないと考えられる。

本研究では 2022 年 3 月末に発生した SEP イベントの BepiColombo/SPM-BERM (Kinoshita et al. 2025; Pinto et al. 2022)、STEREO-A/HET (Von Rosenvinge et al. 2008)、地球における多点観測データを用いて、リザーバー現象を定量的に評価する。BepiColombo、STEREO-A は磁気的接続がよい状態で動径方向に 0.4 au 離れており、STEREO-A と地球は日心距離はほぼ同じで、方位角方向に 21.4 度離れて SEP を観測していた (添付図)。よって同じ SEP を異なる位置で観測しているため、それぞれを比較すればリザーバー現象の影響をより正確に検証できる。著者が取り組んだ本イベントの初期解析結果は、BepiColombo の内部太陽圏探査をまとめた関連文献 2 : Sánchez-Cano et al. (2025) の 5.4 章、および BepiColombo の観測機器を扱った関連文献 3 : Kinoshita et al. (2025) の 4 章にて既に発表しているが、本発表ではリザーバー現象に焦点を当てた続報を紹介する。

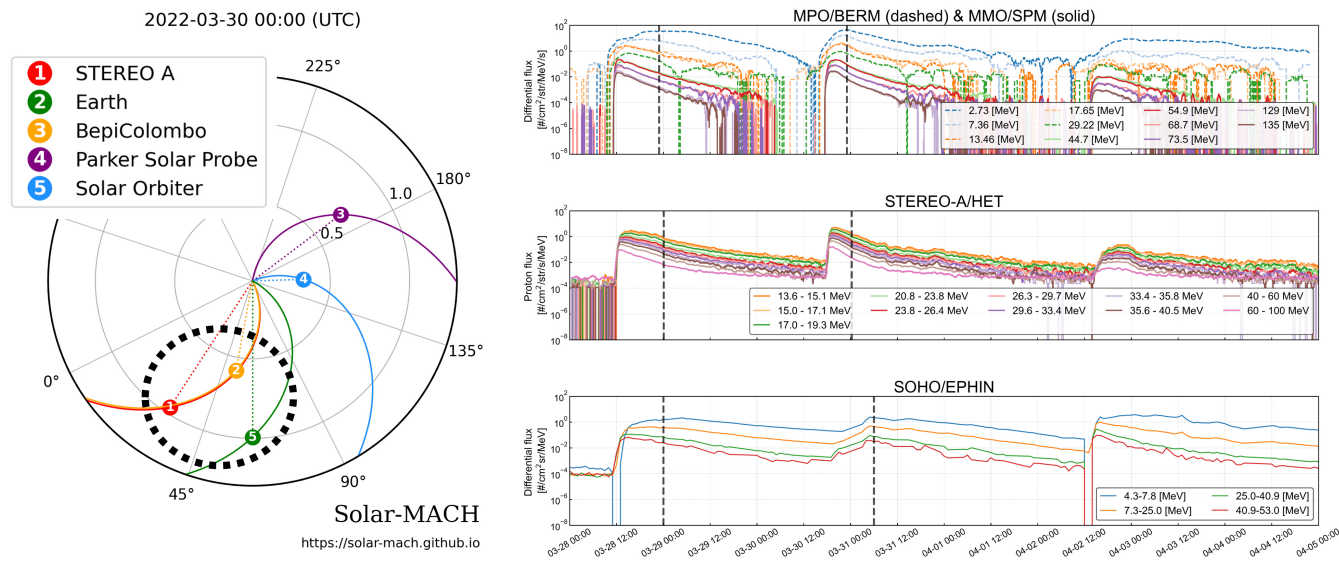
【関連文献】

1. D. Lario, M.-B. Kallenrode, R. B. Decker et al. Radial and Longitudinal Dependence of Solar 4-13 MeV and 27-37 MeV

Proton Peak Intensities and Fluences: Helios and IMP 8 Observations (2006) *ApJ* 653 1531, <https://doi.org/10.1086/508982>

2. Sánchez-Cano, B., Hadid, L.Z., Aizawa, S. et al. BepiColombo cruise science: overview of the mission contribution to heliophysics. *Earth Planets Space* 77, 114 (2025). <https://doi.org/10.1186/s40623-025-02256-z>

3. Kinoshita, G., Ueno, H., Murakami, G., Simulation for the Calibration of Radiation Housekeeping Monitor Onboard BepiColombo/MMO and Application to the Inner Heliosphere Exploration (2025) *JGR*, 130, 10, <https://doi.org/10.1029/2024JA033147>



2010 から 2014 年の大規模フレアにおける太陽 X 線と EUV に対する地磁気応答

#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/名古屋大学, (³⁾ 国立研究開発法人 情報通信研究機構

Geomagnetic Response to Solar X-ray and EUV Emissions during Major Flares from 2010 to 2014

#Ryosuke OKUBO¹⁾, Kyoko WATANABE¹⁾, Sinnosuke KITAJIMA¹⁾, Satoshi MASUDA²⁾, Akimasa IEDA²⁾, Hidekatsu JIN³⁾, Chihiro TAO³⁾, Michi NISHIOKA³⁾

(¹⁾National Defense Academy of Japan, (²)ISEE/Nagoya university, (³)NICT

Ionization of the ionosphere by solar flare emission rapidly modulates the solar quiet (Sq) current in the ionospheric E-region (90-150 km). This is known as the geomagnetic Solar Flare Effect (SFE) and is observed as a sudden disturbance induced in the Earth's geomagnetic field. This phenomenon is thought to be primarily caused by X-ray and extreme ultraviolet (EUV) emissions from solar flares (Owolabi et al., 2020). The SFE is a key geomagnetic signature of these rapid ionospheric disturbances, which in turn can degrade satellite navigation signals and disrupt radio communications. Therefore, understanding the physical processes of SFEs is a critical issue in space weather research. Previous studies have reported both SFEs that enhance the Sq variation and counter-Sq SFEs (SFE*) that act in the opposite direction (Yamasaki et al., 2009). However, many aspects—such as their occurrence conditions, regional dependence, and effects on geomagnetic components other than the horizontal (H) component—remain unresolved.

In this study, we statistically analyze 13 SFE events associated with major solar flares from 2010 to 2014 to investigate their properties. We use solar soft X-ray and EUV data from GOES/EUVS and SDO/EVE, and geomagnetic data from the INTERMAGNET network. An investigation of the peak times of solar flare emissions and SFEs from these data revealed that EUV lines from chromosphere and transition region, such as Lyman-alpha (Ly α ; 121.6 nm), showed a much faster response than the SFE, while coronal-origin EUV lines showed a response slower than the time variation of soft X-rays and also lagged the SFE. Both soft X-rays and EUV likely contribute to SFE, but a detailed analysis of the occurrence time of SFE revealed that in some events, SFE began after the onset time of EUV enhancement but before the onset time of soft X-ray enhancement. This suggests that the initial SFE response may be driven mainly by EUV lines originating from the chromosphere and transition region, such as Ly α and He II (30.4 nm).

Furthermore, a detailed investigation of the SFE response in each geomagnetic component revealed that events similar to SFE and its counter-effect, SFE*, were observed not only in the H-component but also in the Y (eastward) and Z (vertical) components. This fact suggests that the ionospheric current during a flare is more complex than a simple enhancement of the Sq current, involving rotations of the current system or changes in its three-dimensional structure. In addition, SFEs were observed at some stations during evening hours. This is critical evidence showing that SFEs can occur despite the lack of daytime photoionization, and necessitates a reconsideration of the role of the background ionosphere in flare response. We analyzed the causes and occurrence conditions of these variations, taking into account local time and ionospheric conditions. In this presentation, we will report these results in detail. The characteristics and distribution of these local SFEs will be discussed using Sq current models.

太陽フレア放射による電離圏の電離は、電離圏 E 領域（高度 90-150 km）の地磁気静穏日変化（Sq）電流を急激に変調させる。これは地磁気太陽フレア効果（SFE）として知られ、地球磁場に誘起される突発的な擾乱として観測される。この現象は、主に太陽フレアから放射される X 線および極端紫外線（EUV）によって引き起こされると考えられている（Owolabi et al., 2020）。SFE はこれらの急激な電離圏擾乱の主要な地磁氣的兆候であり、この電離圏擾乱は衛星測位信号を劣化させ、無線通信を妨害するものである。したがって、SFE の物理過程を理解することは宇宙天気研究における重要な課題である。先行研究では、Sq 変化を増強させる SFE と、逆方向に作用する反 Sq 方向の SFE（SFE*）の両方が報告されている（Yamasaki et al., 2009）。しかし、その発生条件、地域依存性、水平（H）成分以外の地磁気成分への影響など、多くの側面が未解決のままである。

本研究では、2010 年から 2014 年にかけて発生した大規模太陽フレアに伴う 13 個の SFE イベントを統計的に解析し、その特性を調査する。解析には、GOES/EUVS および SDO/EVE による太陽軟 X 線・EUV データ、ならびに INTERMAGNET ネットワークの地磁気データを使用する。これらのデータから太陽フレア放射と SFE のピーク時刻を調査した結果、ライマン α 線（Ly α ; 121.6 nm）のような彩層起源の EUV 輝線は SFE よりも非常に速い応答を示し、一方、コロナ起源の EUV 輝線は軟 X 線の時間変化よりも遅く、SFE にも遅れて応答することが明らかになった。軟 X 線と EUV の両方が SFE に寄与していると考えられるが、SFE の発生時刻を詳細に解析した結果、いくつかのイベントでは、SFE は EUV 増光の開始時刻の後、かつ軟 X 線増光の開始時刻の前に始まっていたことが明らかになった。このことは、SFE の初期応答が、主に Ly α や He II (30.4 nm) のような彩層および遷移層起源の EUV 輝線によって駆動されている可能性があることを示唆している。

さらに、各地磁気成分における SFE 応答を詳細に調査した結果、SFE およびその反対作用である SFE* に類似した現

象が、H 成分だけでなく Y（東向き）成分や Z（鉛直下向き）成分でも観測された。この結果は、フレア時の電離圏電流が、Sq 電流の単純な増強だけではなく、電流系の回転や三次元構造の変化を伴う、より複雑なものであることを示唆する。加えて、いくつかの観測点では夕方時間帯に SFE が観測された。これは、日中の光電離がないにもかかわらず SFE が発生し得ることを示す重要な証拠であり、フレア応答における背景となる電離圏の状態を再考察する必要がある。我々は、現地時間や電離圏の状態を考慮し、これらの変化の原因と発生条件を解析した。本発表では、これらの結果について詳細に報告する。これらの局所的な SFE の特性と分布については、Sq 電流モデルの結果を用いて議論する。

R010-P03

ポスター 3 : 11/26 PM2/PM3 (14:50-18:25)

機械学習による太陽コロナ磁場モデルの性能評価

#横家 滉大¹⁾, 三好 由純¹⁾, 飯島 陽久¹⁾

(¹ 名古屋大学)

Performance evaluation of deep-learning-based modeling of solar coronal magnetic field

#Kodai YOKOYA¹⁾, Yoshizumi MIYOSHI¹⁾, Haruhisa IJIMA¹⁾

(¹Tokai National Higher Education and Research System Nagoya University)

Coronal mass ejections and solar flares that occur on the Sun cause magnetic storms and auroras. These solar explosive phenomena are closely linked to the coronal magnetic energy stored in the solar corona. Accurate modeling of the solar coronal magnetic field is therefore essential for improving space weather prediction. Since there is a time lag before changes on the Sun affect the Earth. X-rays, for example, reach the earth in about 8 minutes. Thus, computational speed is important in addition to the accuracy of the solar coronal magnetic field modeling. Traditionally, the solar coronal magnetic field has been derived by numerical simulations. However, recently, deep learning-based methods have been attracting attention as they significantly reduce the calculation time compared with conventional simulation-based methods. The goal of this study is to quantitatively compare the accuracy and speed of the simulation-based method and the deep-learning-based method for modeling. As a first step, we will focus on deep-learning-based algorithms for computing the solar coronal magnetic field and discuss which algorithm is optimal by quantitatively evaluating the speed and accuracy based on different models and parameters.

太陽で発生するコロナ質量放出や、フレアは、地球磁気圏に影響を与え磁気嵐やオーロラなどを引き起こす。こういった太陽で起こる爆発現象はコロナ中の磁気エネルギーと密接に関わっており、観測の難しいコロナ磁場を太陽表面磁場から計算することは宇宙天気予測の改善に繋がる。太陽面における変化が地球に影響を与えるまでは現象に応じて時間差があるが、X線などは8分程度で地球に到達するため、宇宙天気の観点からは太陽コロナ表面磁場の計算精度に加えて計算速度も重要になってくる。従来は差分法などの数値計算手法計算により太陽表面コロナ磁場を計算していたが、近年は機械学習ベースの手法が計算時間を大幅に短縮するアプローチとして注目されている。そこで我々は、数値計算による手法と、機械学習を用いた手法とで、精度や速度の定量的な評価・比較を目指している。その第一ステップとして、本発表では機械学習ベースでの太陽コロナ磁場の計算アルゴリズムに着目し、学習モデルや、パラメーターの違いが計算速度や精度に与える影響を定量的に評価することで、どのようなアルゴリズムが最適かを議論する予定である。

横須賀太陽電波強度偏波計による太陽マイクロ波スペクトル観測：野辺山強度偏波計の後継に向けた初期検討

#北山 攻学¹⁾, 渡邊 恭子¹⁾, 北島 慎之典¹⁾, 大窪 遼介¹⁾, 城ヶ内 涼佳¹⁾, 安井 顕彰¹⁾, 野原 岳志¹⁾, 辻 将仁¹⁾, 岩井 一正²⁾, 増田 智²⁾, 下条 圭美³⁾

⁽¹⁾ 防衛大学校, ⁽²⁾ 名古屋大学 宇宙地球環境研究所, ⁽³⁾ 国立天文台

Solar microwave spectral observations using the Yokosuka Radio Polarimeter : Initial Findings

#Kogaku Kitayama¹⁾, Kyoko Watanabe¹⁾, Shinnosuke Kitajima¹⁾, Ryosuke Okubo¹⁾, Ryoka Shirogauchi¹⁾, Kensho Yasui¹⁾, Takeshi Nobara¹⁾, Masahito Tsuji¹⁾, Kazumasa Iwai²⁾, Satoshi Masuda²⁾, Masumi Shimojo³⁾

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

F10.7, is solar radio emission with a wavelength of 10.7 cm (frequency 2.8 GHz), is usually used as a very important index that reflects solar activity and the condition of the Earth's upper atmosphere. This is because it is well known that solar radio emissions in the GHz band, including F10.7, correlate well with solar EUV emissions that cause ionization in the Earth's upper atmosphere. Generally, the F10.7 index published by the Dominion Radio Astrophysical Observatory in Canada is used worldwide. In Japan, on the other hand, the (Toyokawa-)Nobeyama Radio Polarimeters (NoRP) have provided highly accurate solar radio fluxes for over 70 years since 1951. NoRP data have been used for the calibration of solar radio instruments around the world, but it is scheduled to cease its observations at the end of the 2027 fiscal year of Japan. Therefore, in order to continue observing solar radio that reflect space weather conditions, a new solar radio observation device was constructed at the National Defense Academy of Japan.

The Yokosuka Radio Polarimeter (YoRP) began the sun tracking in mid-October 2024 and has been observing once a day. YoRP takes in two frequency bands: narrow-band (around 2 GHz) and wide-band (2.7-10.0 GHz), performing spectral observations in each frequency bands. To ensure compatibility with NoRP data, calibration is being performed using NoRP and YoRP data. Since YoRP and NoRP simultaneously observe frequencies at 2, 3.75, and 9.4 GHz, we used the chopper wheel method to derive the solar brightness temperature from YoRP data at these frequencies and investigated the correlation with NoRP's solar flux (SFU). As a result, a very high correlation coefficient of >0.9 is obtained at 3.75 GHz. On the other hand, no correlation is confirmed at 2 GHz. However, detailed analysis of the narrow-band spectrum revealed strong external radio waves believed to be from quasi-zenith satellites near 2 GHz. Therefore, using only data from before mid-March, which was not affected by external radio waves, we were able to confirm a weak positive correlation even at 2 GHz. Furthermore, a positive correlation equivalent to that at 2 GHz is obtained at 9.4 GHz. The conversion coefficients between the YoRP temperature and NoRP solar flux at 2, 3.75, and 9.4 GHz are used to derive the conversion coefficients for all observation frequencies of YoRP. This made it possible to derive the solar radio spectrum from the YoRP data.

In this presentation, we will report on the calibration results of YoRP data and the results of our investigation into the relationship between the solar radio spectrum from YoRP and sunspots.

太陽の F10.7 指数（周波数 2.8 GHz の電波フラックス）は、地球の高層大気に大きな影響を与える太陽 EUV 放射と良い相関を示すことから、太陽活動や地球高層大気の状態を反映する非常に重要な指標としてよく用いられている。一般的には、カナダのドミニオン天文台が公開している F10.7 指数が世界的に使用されている。一方、日本では、豊川-野辺山太陽電波強度偏波計 (NoRP) が 1951 年から約 70 年以上にわたり世界中の太陽電波観測装置のキャリブレーションに用いられているほど精度の高い太陽電波フラックスを提供しているが、NoRP は 2027 年度末に観測の終了を予定している。そこで日本においても、宇宙天気状況を反映する太陽電波のモニター観測を続けるための新たな太陽電波観測装置を防衛大学校内に構築した。

この横須賀太陽電波強度偏波計 (YoRP) は、2024 年 10 月中旬から太陽追尾が可能となり、1 日 1 回の観測を始めた。YoRP には narrow band (2 GHz あたり) と wide band (2.7-10.0 GHz) があり、どちらも観測周波数帯でスペクトル観測を行っている。YoRP の観測データを NoRP の後継データとするために、2024 年 10 月中旬から 2025 年 7 月までの観測データを用いて較正を行った。YoRP と NoRP が同時に観測している周波数は 2, 3.75, 9.4 GHz と限られているため、これらの周波数において、YoRP 観測データからチョッパーホイール法により太陽輝度温度を導出し、NoRP の太陽フラックス (SFU) との相関を調べた。その結果、3.75 GHz においては相関係数が 0.9 以上と非常に高い相関を示した。一方、2 GHz においては相関が確認できなかったが、narrow band のスペクトルを確認したところ、2 GHz を中心とした強い外部電波を受信していることが確認された。これより、外部電波の影響がなかった 3 月中旬以前のデータのみを用いて相関を導出したところ、少々弱いながらも正の相関を確認できた。また 9.4 GHz は高周波数であるため黒点の変動によるスペクトル変動が乏しいが、2 GHz と同等程度の正相関を確認できた。以上の 2, 3.75, 9.4 GHz における YoRP 温度-NoRP 太陽フラックス間の比例係数より、YoRP の全観測周波数における比例係数を導出した。これより、YoRP 観測データから太陽電波スペクトルの導出が可能となった。

本発表では、YoRP 観測データの較正状況と、上記より導出した太陽電波スペクトルを用いて、黒点数や黒点の磁場強度との関係を調べた結果を報告する。

R010-P05

ポスター 3 : 11/26 PM2/PM3 (14:50-18:25)

#KAKOTI GEETASHREE¹⁾, 塩川 和夫¹⁾, リン ドン²⁾, シュリデヴィ ラダクリシュナ¹⁾, 西谷 望¹⁾

(¹ 名古屋大学, (² クレムソン大学

Magnetosphere – Ionosphere Responses to a Negative Solar Wind Dynamic Pressure Pulse Event: Global Modeling and Observations

#GEETASHREE KAKOTI¹⁾, Kazuo SHIOKAWA¹⁾, Dong Lin²⁾, Shreedevi Porunakatu¹⁾, Nozomu NISHITANI¹⁾

(¹Institute for Space?Earth Environmental Research, Nagoya University, (²Department of Physics and Astronomy, Clemson University, USA

Negative solar wind pressure pulses are among the most important drivers that can impact the Earth's magnetosphere-ionosphere (M-I) system. Such negative pressure pulses cause rapid expansion of the magnetosphere, leading to magnetic field reconfiguration and altered magnetospheric currents and plasma convection patterns that extend throughout the ionosphere. Abrupt perturbations in ground magnetometer measurements, known as negative sudden impulses (SIs), serve as a direct signature of this magnetospheric reconfiguration. We examine a negative pressure pulse event that occurred on 23 March 2024, characterized by a pressure drop of ~10 nPa shortly before the onset of G2-G4 class geomagnetic storms. The event onset is identified at 14:06 UT, when THEMIS satellite observations recorded a decrease in plasma density. Ground magnetometer data reveal a pronounced SI- signature in the H-component of Earth's magnetic field. Concurrent AMPERE observations indicate a significant weakening of field-aligned current (FAC) densities across high latitudes. At the same time, SuperDARN measurements capture substantial changes in convection patterns following the pressure drop. These coordinated observations demonstrate a rapid and widespread electrodynamic response of the coupled system to the pressure pulse. To interpret these responses, we employed the Multiscale Atmosphere-Geospace Environment (MAGE) model. The MAGE simulation reproduces key features of the observations, including dusk – dawn asymmetries in the SI- signature and the weakening of total FACs. This case study underscores the value of integrating multi-instrument observations with global geospace simulations to advance understanding of pressure pulse-driven M-I coupling.

R010-P06

ポスター 3 : 11/26 PM2/PM3 (14:50-18:25)

#ラダクリシュナ ポルナカツ シュリデヴィ¹⁾, Yoshizumi Miyoshi¹⁾, Yu Yiqun²⁾, Jordanova Vania³⁾

(¹⁾ 名古屋大学, (²⁾ 北京航空航天大学, (³⁾ ロスアラモス国立研究所

Understanding the role of EMIC wave-particle interactions in driving westward ion drifts in the dusk-side sub auroral ionosphere

#Shreedevi Radhakrishna Porunakatu¹⁾, Miyoshi Yoshizumi¹⁾, Yiqun Yu²⁾, Vania Jordanova³⁾

(¹⁾ ISEE Nagoya University, (²⁾ Beihang University, (³⁾ Los Alamos National Laboratory

The dusk-side mid-latitude ionosphere is characterized by fast, sunward flow channels of a few degrees in width, known as Subauroral Polarization Streams (SAPS). Occasionally, these regions exhibit distinct, latitudinally narrow enhancements in velocity, referred to as double-peak Sub-auroral Ion Drifts (DSAIDs). SAPS are associated with Region 2 Field-Aligned Currents (R2 FACs) that flow into the low-conductance sub-auroral ionosphere, while DSAIDs have been linked to the presence of a double-conductance trough in this region. Nishimura et al. (2022) demonstrated that sub-auroral ion drifts intensify in the presence of electromagnetic waves, with local plasma structures exerting greater control over the velocity characteristics of these westward flows than solar wind or global magnetospheric conditions. This study investigates the occurrence of westward ion flows in the dusk-side sector during a geomagnetic storm event, utilizing simulations from the RAM-SCB model. To explore the relationships between R2 FACs, electric fields, EMIC wave-particle interactions, proton precipitation, ionospheric conductance, and westward flows in the dusk-side sub-auroral ionosphere, we conducted two simulation studies, one with and one without EMIC waves. The simulations confirmed that EMIC wave-induced proton precipitation leads to localized enhancements in conductivity, which, in turn, generates high-speed westward flows in the dusk-side sub-auroral ionosphere. Our findings reveal the significant role of wave-particle interactions in shaping ionospheric behavior during disturbed conditions.

2024 年 5 月の磁気嵐における GNSS 測位誤差と電離圏擾乱との関係

#中村 京誠³⁾, 大塚 雄一¹⁾, 新堀 淳樹¹⁾, 西岡 未知²⁾, PERWITASARI Septi²⁾, 傅 維正³⁾

(¹ISEE, (² (独) 情報通信研究機構, (³ 名古屋大学

Effects of Ionospheric Disturbances on GNSS Positioning Errors during the Geomagnetic Storm on May 2024

#Kyosei Nakamura³⁾, Yuichi OTSUKA¹⁾, Atsuki SHINBORI¹⁾, Michi NISHIOKA²⁾, Septi PERWITASARI²⁾, Weizheng FU³⁾

(¹Institute for Space-Earth Environmental Research of Nagoya University, (²NICT, (³Nagoya University

Signals from the Global Navigation Satellite System (GNSS) travel through the ionosphere before being received by ground-based receivers. Consequently, ionospheric disturbances in electron density can degrade signal quality and reduce positioning accuracy. Previous studies have established that ionospheric disturbances during geomagnetic storms can impact GNSS positioning. Specifically, during the geomagnetic storm of May 2024, a region of increased Total Electron Content (TEC) was observed extending northwestward over Japan. Within this region, plasma bubbles—localized TEC depletions—were also detected. Previous studies have also shown that the appearance of these structures correlates with an increase in GNSS positioning errors.

This study investigates the relationship between ionospheric disturbances and GNSS kinematic positioning errors during the May 10 – 11, 2024 geomagnetic storm, using data from the Geospatial Information Authority of Japan's GNSS Earth Observation Network System (GEONET) and SoftBank Corporation's GNSS network. As a result, the vertical TEC in Morioka, Japan, was observed to increase to 27.2 TECU. To detect the electron density irregularities in the ionosphere, we examined the Rate of TEC change Index (ROTI), which is calculated as the 5-minute standard deviation of 30-second TEC differences. ROTI values were found to increase between 16:00 and 17:00 UT, with an average of 2.1 TECU/min. Using data from receivers installed in the Tohoku region, we performed kinematic positioning with RTKLIB. A significant increase in the three-dimensional positioning errors was observed between 13:00 and 21:00 UT on May 11, 2024.

We further investigated the dependence of kinematic positioning errors on the orientation of the baseline between the base and rover stations. Errors tended to be larger for north – south oriented baselines compared to east – west baselines. The error ratio between north – south and east – west baselines was approximately 1.2 before the disturbances but rose to about 2.2 between 13:00 and 13:30 UT, when ROTI value increased. These results suggest that the structure of ionospheric disturbances influences positioning errors.

In this presentation, we will discuss the relationship between baseline-direction-dependent positioning errors and the structures of these ionospheric disturbances.

Acknowledgments:

The SoftBank's GNSS observation data used in this study are provided by SoftBank Corp. and ALES Corp. through the framework of the “Consortium to utilize the SoftBank original reference sites for Earth and Space Science”

全球測位衛星システム (Global Navigation Satellite System; GNSS) から送信される信号は、電離圏を通過し、地上に設置された受信機で受信される。このため、電離圏に電子密度の擾乱が発生すると、その影響を受け、測位精度が低下する場合がある。これまでの研究により、磁気嵐時に発生する電離圏擾乱が GNSS 測位に影響を及ぼすことが示されている。特に、2024 年 5 月に発生した磁気嵐時には、日本上空において、北西方向へ伸びる全電子数 (Total Electron Content; TEC) の増大領域が現れ、その内部に TEC の局所的な減少であるプラズマバブルが観測され、これらの出現時に、GNSS 測位誤差が増大していることが示された。

本研究では、磁気嵐が発生した 2024 年 5 月 10 日-11 日における電離圏擾乱と GNSS を用いたキネマティック測位誤差との関係を調べるため、国土地理院 GNSS 連続観測システム (GEONET) および ソフトバンク株式会社の GNSS 観測網のデータを用いた。結果として、日本の盛岡市において鉛直 TEC は 27.2 TECU に増大していた。TEC の擾乱を検出するため、TEC の 30 秒間における差分を計算し、その 5 分間の標準偏差である ROTI(Rate of TEC change Index) を調べた。ROTI は、16:00-17:00 UT に増大しており、その平均は 2.1 TECU/min であった。東北地方に設置された受信局で得られたデータを用い、RTKLIB によりキネマティック測位を実施した。3 次元測位誤差を算出すると、2024 年 5 月 11 日 13:00-21:00 UT には測位誤差の顕著な増加が観測された。

キネマティック測位において、基準局と移動局を結ぶ基線の方向による測位誤差の違いを調べた。基線が南北方向に

ある場合は、東西方向にある場合に比べて誤差が大きい傾向がある。基線が南北方向の場合と東西方向の場合の誤差の比は、電離圏擾乱が発生する前の時間帯では約 1.2 倍であったが、**ROTI** が増大していた 13:00 – 13:30 UT においては、約 2.2 倍であった。この結果は、電離圏擾乱の構造が影響している可能性が考えられる。

本講演では、基線方向による測位誤差の違いと電離圏擾乱の構造との関係を議論する。

謝辞：

本研究で使用したソフトバンクの GNSS 観測データは、「ソフトバンク独自基準点データの宇宙地球科学用途利活用コンソーシアム」の枠組みを通じて、ソフトバンク株式会社および ALES 株式会社により提供されました。

RTK-GNSS 基準局の設置と RTK 測位の初期結果

小山 幸伸¹⁾, #山本 倫太郎¹⁾

⁽¹⁾ 近大高専

Installation of an RTK-GNSS base station and initial results of RTK positioning

YUKINOBU KOYAMA¹⁾, #Rintaro YAMAMOTO¹⁾

⁽¹⁾KINDAI University Technical College

Our research group has established a real-time kinematic (RTK) base station for RTK-GNSS positioning on the campus of KINDAI University Technical College in Nabari City, Mie Pref. This base station provides correction data for RTK positioning that is free and open to everyone, independent of commercial high-precision positioning services. The correction data is publicly available via the internet through the RTK correction data distribution site, "rtk2go.com," and we have begun conducting high-precision positioning experiments using this information with an RTK rover.

To set up the base station, we consulted the space weather forecasts from the National Institute of Information and Communications Technology (NICT). We selected a relatively calm day to conduct a 24-hour observation, and then used post-processing with "RTKLIB" and data from three known electronic reference stations provided by the Geospatial Information Authority of Japan (GSI) that surround Nabari City (Muro, Hakusan, and Tsukigase) to determine the coordinates of our RTK base station through static positioning.

Next, we describe the high-precision positioning tests conducted with the RTK rover and the correction data.

First, we compared the results of RTK-GNSS positioning with single-point GNSS positioning on the KINDAI University Technical College campus. While RTK-GNSS positioning achieved a fixed solution (fix) in open areas like the school grounds, it only achieved a floating solution (float) near buildings. We believe this is due to multipath effects from signals reflecting off the buildings. We plan to identify this issue by placing radio wave absorbers on the building side of the rover during future measurements.

Second, we performed a stationary observation with the RTK rover. After a few minutes of observation, we confirmed a fixed solution was achieved, and the horizontal error remained within approximately 2 cm thereafter. While our current observations are not yet extensive, we plan to acquire long-term stationary observation data and correlate it with space weather forecasts to individually investigate the relationship between the ionosphere and the positioning accuracy of the RTK rover.

Third, there are reports that the fix rate decreases and accuracy deteriorates when the distance between the base station and the rover exceeds approximately 10 km in RTK-GNSS positioning. To verify this, we conducted RTK-GNSS positioning at locations approximately 10 km away from our base station. The positioning range spanned from Kintetsu Sambommatsu Station, which is about 9 km away, to Kintetsu Muroguchioono Station, which is about 11 km away. At the time of writing this abstract, we have only performed two measurements, and the analysis is not yet complete. We will repeat these measurements, conduct a thorough analysis, and report the summarized results at the conference presentation.

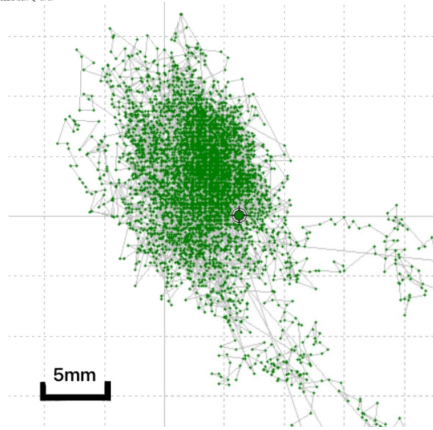
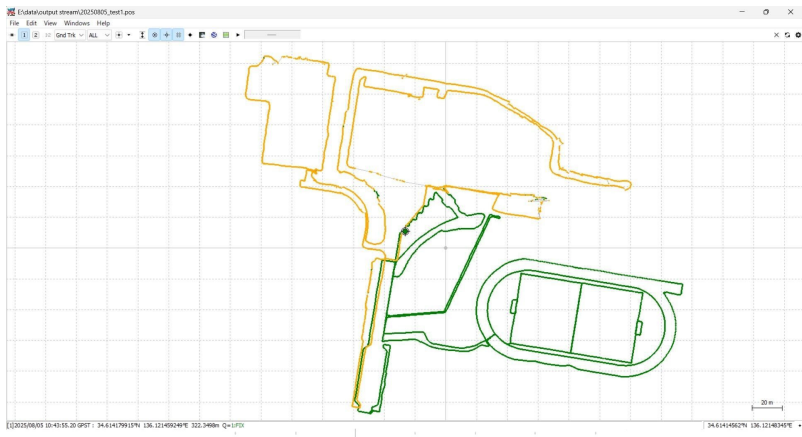
我々の研究グループは、近畿大学工業高等専門学校(近大高専)のキャンパスがある三重県名張市に、リアルタイムキネマティック RTK-GNSS 測位のための RTK 基準局を設置した。この基準局は、商用の高精度測位サービスに依存せず、誰もが自由に無料で利用できる RTK 測位のための補正情報を提供している。この補正データは、RTK 測位補正情報配信サイト「rtk2go.com」を通じてインターネット経由で一般に公開されており、我々もまたこの情報を用いて RTK 移動局の高精度測位の実験を行い始めた。

基準局の設置にあたり、我々は NICT の宇宙天気予報を参照し、比較的静穏な日を選んで 24 時間観測を行った。そして、三重県名張市を取り囲む、国土地理院が提供する室生、白山、月ヶ瀬の 3 つの既知の電子基準点のデータと「RTKLIB」を用いて後処理を行い、スタティック測位による RTK 基準局の座標を決定した。

次に RTK 移動局と補正データを用いた高精度測位のテストについて述べる。第一に、近大高専キャンパス内の RTK-GNSS 測位と GNSS 単独測位の結果比較を行った。RTK-GNSS 測位では、グラウンドなどの開けた場所では fix 解が出るものの、建物周辺では float 解であった。建物に反射したマルチパスが影響していると考えているので、今後、移動局の建物側に電波吸収体を挟んで測定することによって問題を特定することを予定している。

第二に、RTK 移動局を用いて定点観測を行った。観測後数分で fix 解が求まり、それ以降は水平誤差約 2cm の範囲に収まることを確認した。今後長期間の定点観測データを取得し、宇宙天気予報などと照らし合わせることによって、電離圏と RTK 移動局の測位精度の関係を個別的に調べることを検討している。

RTK-GNSS 測位では、基準局から移動局までの距離が約 10km 以上になると fix 率が低下し、精度が悪化するという報告がある。そこでこれを実際に確認するために、第三の実験として、基準局から約 10km 離れた地点の RTK-GNSS 測位を実施した。測位範囲は、基準局から約 9km 離れた近鉄三本松駅から、約 11km 離れた近鉄室生口大野駅の間である。本予稿執筆段階では 2 回しか測位を行っておらず、解析が進んでいない。今後この測位を繰り返して解析を行い、学会発表時にこの結果をまとめて報告する。



R010-P09

ポスター 3 : 11/26 PM2/PM3 (14:50-18:25)

#行松 彰^{1,2,3)}, 佐藤 丞³⁾, 屋良 朝之^{3,4)}, 清水 岬^{3,5)}, 浜路 雅美^{1,6)}

(¹ 極地研, (² 総研大, (³ 第 65 次南極地域観測隊, (⁴ 気象庁地磁気観測所, (⁵ NEC ネットエスアイ, (⁶ 第 66 次南極地域観測隊

SENSU Syowa SuperDARN JARE65/66 2024-2025 reports and its future plan towards phase XI Japanese Antarctic Project

#Akira Sessai Yukimatu^{1,2,3)}, Jo Sato³⁾, Tomoyuki Yara^{3,4)}, Misaki Shimizu^{3,5)}, Masami Hamaji^{1,6)}

(¹National Institute of Polar Research, (²The Graduate University for Advanced Studies, SOKENDAI, (³65th Japanese Antarctic Research Expedition, (⁴Kakioka Magnetic Observatory, Japan Meteorological Agency, (⁵NEC Networks & System Integration Corporation (NESIC), (⁶66th Japanese Antarctic Research Expedition

Super Dual Auroral Radar Network (SuperDARN) is a unique international scientific project to study global ionospheric dynamics and space weather running mostly 40 high frequency radars whose fields-of-view cover considerably wide longitudinal and latitudinal ranges of ionosphere in both hemispheres operated by more than 10 countries and institutions. NIPR Space and Upper Atmosphere Sciences research group has joined SuperDARN since its establishment in 1995 and has run Syowa SENSU SuperDARN radars at Antarctic Syowa station. SuperDARN provides a quasi real-time global ionospheric convection and electric potential map, which are essential to understand the status of magnetosphere, ionosphere and space weather condition, and have therefore been widely used and contributed to space weather and space climate research with a variety of collaborative efforts. The 65th and 66th Japanese Antarctic Research Expedition (JARE65/66) has maintained and operated the SENSU Syowa radars for a year during their wintering period since Feb. 1st, 2024. We here report the status, arisen issues and topics on the SENSU Syowa radars during JARE65/66 period, and will discuss long-term future scientific and logistic perspectives towards coming phase XI of Japanese Antarctic Research Project (2028-2034), IPY 2032-2033 and beyond.

#斎藤 享¹⁾, 高橋 透¹⁾, 坂井 丈泰¹⁾, 山本 衛²⁾

(¹ 電子航法研, (² 京都大学

Verification of SBAS ionospheric correction by using a 3-D ionospheric tomography

#Susumu SAITO¹⁾, Toru TAKAHASHI¹⁾, Takeyasu SAKAI¹⁾, Mamoru YAMAMOTO²⁾

(¹Electronic Navigation Research Institute, MPAT, (²RISH, Kyoto University

SBAS (Satellite-Based Augmentation System) is one of the GNSS (global navigation satellite system) augmentation systems, and is designed to support aircraft navigation in a wide area. The SBAS systems that are currently deployed are all based on the single-frequency (SF) GNSS. In the SF-SBAS, ionospheric delay on GNSS signals are corrected by sending ionospheric delay estimates at ionospheric grid points (IGPs). The IGP ionospheric delays are estimated by using GNSS observations at SBAS monitoring stations. They are estimated at every 5x5 degrees in the latitude and longitude except in high latitude regions and broadcast from geostationary satellites. Since the number of SBAS monitoring stations are limited, there is uncertainty in the IGP ionospheric delay estimates, and the potential errors in the IGP ionospheric delay estimates are the major part of total error bounds. Therefore, it is important to estimate the ionospheric delays and their errors as accurately as possible. Since it is very difficult to know the truth of the ionospheric delay, however, the error bounds had to be estimated indirectly. If the truth can be obtained by other methods, the error bounds could be estimated more accurately and be tightened.

In Japan, a 3-D ionospheric tomography over Japan based on GEONET (GNSS Earth Observation Network) data has been operated by the Electronic Navigation Research Institute since 2016. Since the 3-D tomography methods are different from the method of ionospheric delay estimation in SBAS and the GNSS stations are different, it could provide independent estimation of the ionospheric delay as a reference. We used broadcast SBAS IGP ionospheric delay estimates and compared with the vertically integrated ionospheric density at the same IGPs. As a first step, we selected several periods of an year in ionospheric quiet and disturbed conditions and compared to see the general characteristics. We will also apply the comparison for the past several years including low and high solar activity periods.

大気大循環モデル GCM に対するディレクティブベース手法を用いた GPU 実装の評価

#迫田 祥司¹⁾, 深沢 圭一郎²⁾, 三好 勉信³⁾, 岩下 武史⁴⁾

⁽¹⁾ 京大院情報学, ⁽²⁾ 総合地球環境学研究所, ⁽³⁾ 九州大学, ⁽⁴⁾ 京都大学学術情報メディアセンター

Evaluation of Directive-Based GPU Implementation for an Atmospheric General Circulation Model

#Shoji Sakoda¹⁾, Keiichiro FUKAZAWA²⁾, Yasunobu MIYOSHI³⁾, Takeshi Iwashita⁴⁾

⁽¹⁾Kyoto University Graduate School of Informatics, ⁽²⁾Research Institute for Humanitics and Nature, ⁽³⁾Kyushu University,

⁽⁴⁾Academic Center for Computing and Media Studies, Kyoto University

The computational cost of numerical simulations is substantial due to the huge number of grid points required for higher resolutions and the complexity of models required for better accuracy. One way to speed up these simulations is to use Graphics Processing Units (GPUs), which offer high computational performance.

CUDA is a programming model for GPUs, which extends the syntax of existing languages like Fortran and C/C++. While CUDA can maximize the performance of GPUs, its application to legacy codes requires a fundamental rewrite of the source code, leading to large development costs. This is a major bottleneck, particularly as many scientific simulation codes are developed and maintained by individual researchers.

To address this challenge, directive-based approaches such as OpenMP and OpenACC have been developed. These methods allow compilers to automatically generate GPU-accelerated code by simply inserting directives into loop structures. This minimizes the need for code modifications, thereby drastically reducing the development costs associated with GPU porting. However, there are a limited number of comprehensive studies that apply OpenMP and OpenACC to large-scale, complex, production-level applications and evaluate their performance, efficiency, and portability.

This study focuses on GAIA (Ground-to-topside model of Atmosphere and Ionosphere for Aeronomy), a simulation model in practical use. In this study, we report on our work to implement GPU acceleration for the General Circulation Model (GCM) component of GAIA, which simulates the neutral atmosphere. We developed two separate GPU-enabled versions using OpenACC and OpenMP. By comparing their performance with the CPU implementation, we evaluated the effectiveness and identify the challenges of both directive-based approaches. The results demonstrate that both GPU implementations achieved a significant speedup over the baseline code. In addition, the OpenACC implementation exhibited higher performance compared to the OpenMP implementation.

数値シミュレーションは高解像度化に伴うグリッド数の増大やモデルの改善に伴う計算量の増加により、計算時間が増大する。計算時間を早くする方法の一つとして、高い計算能力を持つ GPU (Graphics Processing Unit) の活用が進んでいる。CUDA は GPU 利用のための主要な手法であり、Fortran や C/C++ の既存の文法を拡張する。この手法は GPU の高い性能を引き出すことができる一方で、既存のアプリへの適用には、コードの抜本的な書き換えが必要となり、大きな開発コストを要する。特に、シミュレーションコードの多くは研究者がそれぞれに開発しているため、この開発コストが大きな課題となる。

この課題の解決のため、OpenMP や OpenACC を始めとするディレクティブベースの手法が開発された。本手法は、既存コードのループ構造等に指示行（ディレクティブ）を追加するだけでコンパイラが GPU 向けのコードを生成する。そのため、既存コードに対する大幅な改変が不要であり、GPU を利用するための開発コストを大幅に抑制できる。しかし、実運用されている大規模かつ複雑なアプリケーション（アプリ）を OpenMP と OpenACC により GPU 実装し、性能や実行効率、移植性などの評価を行った研究事例は多くない。そこで本研究では、実運用されているアプリである全大気統合シミュレーションモデル GAIA を対象として実験を行う。

本研究では、GAIA のうち中性大気領域を取り扱う大気大循環モデル GCM の部分に GPU 実装を OpenACC と OpenMP を用いてそれぞれ行なった。その後、これらの実装と CPU で実行する元コードと比較することによって、ディレクティブベースである両手法の有効性と課題を評価した。その結果、両方の GPU 実装において CPU 実装時より高い計算性能の実現が確認できた。また、GPU 実装手法としては、OpenACC が OpenMP に対して性能が高いことも確認できた。

#深沢 圭一郎¹⁾, 趙 海超⁴⁾, 南里 豪志⁵⁾, 三宅 洋平²⁾, 加藤 雄人³⁾

(¹⁾ 地球研, (²⁾ 神戸大学, (³⁾ 東北大学, (⁴⁾ 京都大学, (⁵⁾ 九州大学

Development of a Python Interface for Code-To-Code Adapter Library

#Keiichiro FUKAZAWA¹⁾, Haichao ZHAO⁴⁾, Takeshi NANRI⁵⁾, Yohei MIYAKE²⁾, Yuto KATOH³⁾

(¹⁾Research Institute for Humanity and Nature, (²Kobe University, (³Tohoku University, (⁴Kyoto University, (⁵Kyushu University

This paper presents the development of a Python interface for the Code-To-Code Adapter (CoToCoA) library. The CoToCoA library is a framework designed for coupled computations that enables direct program-to-program communication without intermediate files. Given that CoToCoA provides support for the programming languages C and Fortran and is dependent upon MPI, a library used for interprocess communication, this study has been developed to enhance the usability of CoToCoA by integrating it with Python. In order to effectively integrate CoToCoA with Python, two development approaches were evaluated: direct development in Python and the use of ctypes to call CoToCoA's C functions from Python. In addition, we conducted performance evaluations that focused on CoToCoA's two types of data transfer methods. These evaluations were designed to assess the efficiency of the developed Python interface. The recently developed Python interface facilitates the efficient transfer of data from C or Fortran-based simulation programs to Python, where it can be effectively analyzed or processed. This enhancement to the CoToCoA framework is of particular significance in the field of computational science, as it enables efficient data management across different programming languages.

GOES-CCOR データを利用したリアルタイム太陽嵐到来予測システムの改良#塩田 大幸¹⁾, 久保 勇樹¹⁾, 森田 諭¹⁾⁽¹⁾NICT**Update of a real-time prediction system of CME arrival with ensemble SUSANOO-CME simulation using GOES-CCOR data**#Daikou SHIOTA¹⁾, Yuki KUBO¹⁾, Satoshi MORITA¹⁾⁽¹⁾National Institute of Information and Communications Technology

NICT has developed a prediction system of CME arrival using the MHD simulation SUSANOO-CME (Shiota & Kataoka 2016) as one of the tools for predicting the risk of large-scale flares exceeding X class and the accompanying CMEs. The system has been in operation since 2022 (as reported in 2023 Fall Annual Meeting R010-01). This system can be used by forecasters who do not have HPC system accounts through a web browser. The system can obtain prediction results in about one hour by a series of operations, including analysis of coronagraph data such as SOHO/LASCO, etc., estimation of input parameters of CMEs together with observation of solar flares, and execution of multiple simulations.

When a particularly large-scale solar storm that can affect social activities occurs, such as the ones that occurred in May and October 2024, it is necessary to quickly obtain the prediction results in order to issue the alert information as soon as possible. Coronagraph data are essential for obtaining a highly reliable prediction, but the release of SOHO/LASCO real-time data often takes more than a few hours after the occurrence of a flare, which has been a bottleneck for quick forecasting.

GOES-19, which was launched in June 2024, is equipped with the Compact Coronagraph (CCOR), and the public operation of real-time data started in March 2025. The real-time data of CCOR is released in about 30 minutes after observation, and it has the potential to greatly improve the above-mentioned bottleneck. We will introduce the overview and progress of efforts to develop a system that automatically acquires CCOR data in real time, incorporate it into the CME arrival prediction system currently in operation, and use it for forecasting. We also show examples of actual use case and discuss future prospects.

X クラスを超える大規模なフレアとそれに伴う CME (太陽嵐) は地球に到来すると宇宙天気 zu 大きな擾乱を及ぼす危険性がある。その危険性予測のためのツールの一つとして、情報通信研究機構 (NICT) では、MHD シミュレーション SUSANOO-CME (Shiota & Kataoka 2016) を用いた太陽嵐到来予測システムを開発し 2022 年より運用を継続している (2023 年秋季年会 R010-01)。このシステムでは、高速計算システムのアカウントを持たない予報担当者がウェブブラウザから利用することができ、SOHO/LASCO 等のコロナグラフの観測データを解析、SDO 等の太陽フレアの観測と合わせて CME の入力パラメータを推定、複数の予測シミュレーションを実行、という一連の作業による予測結果を 1 時間前後で得ることができる。

2024 年の 5 月及び 10 月に発生したような社会活動に影響を及ぼしうると大規模な太陽嵐が発生した場合、注意喚起の情報を早急に発出するため、予測結果をいち早く得る必要がある。確実性の高い予測を得るためにはコロナグラフの情報が必須となるが、SOHO/LASCO のリアルタイムデータの公開がフレア発生から数時間程度になることが多く、その点が迅速な予測のボトルネックとなっていた。

2024 年 6 月に打ち上げられた GOES-19 は Compact Coronagraph (CCOR) を搭載しており、リアルタイムデータの公開運用が 2025 年 3 月から開始された。CCOR のリアルタイムデータは、観測から ~30 分程度で公開されており、前述のボトルネックを大きく改善する可能性がある。本講演では、CCOR のデータをリアルタイムで取得するシステムを整備し、現在運用中の太陽嵐到来予測システムに取り入れて予報に利用する取組について概要と進捗を紹介する。さらに実際に予測に使用した事例を示し、今後の展望について議論する。

#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.

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 B_Z , IMF magnitude (IMF B_T), clock angle ($\phi = \tan^{-1}(B_Y/B_Z)$) is constructed from the observation data in 2017-2021 for learning, with a temporal resolution of 1 day. The parameters for coronal holes are derived from by SDO spacecraft data. The solar wind parameters are obtained from DSCOVR spacecraft with a temporal resolution of 1 hour. For each day, the maximum absolute value of the solar wind parameter is selected. 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 and geomagnetic indices in 2022. The model can forecast V_{SW} , N_{SW} , and IMF B_T , 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 B_Z 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. In addition, we forecast two geomagnetic indices: the Dst index and the Kp index. The Kp index is relatively well predicted due to its strong relationship with V_{SW} . In contrast, the prediction of the Dst index is less accurate, as the forecast of IMF B_Z is not reliable. Improving the forecast accuracy of IMF B_Z and ultimately enabling the prediction of Kakioka K index will be important tasks for future work.

ひまわり 10 号搭載用宇宙環境センサ (RMS) の開発進捗状況とリアルタイム宇宙環境データを利用した障害リスク推定方法の考察

#齊藤 慎司¹⁾, 高橋 直子¹⁾, 大辻 賢一¹⁾, 滑川 拓¹⁾, パク インチュン¹⁾, 長妻 努¹⁾, 坂口 歌織¹⁾, 津川 卓也¹⁾, 鈴木 龍太郎¹⁾, 門脇 直人¹⁾, 三谷 烈史²⁾, 浅村 和史²⁾, 高島 健²⁾

(¹⁾ 情報通信研究機構, (²⁾ 宇宙航空研究開発機構

Development status of RMS and discussion of anomaly risk estimation method using real-time RMS data

#Shinji SAITO¹⁾, Naoko TAKAHASHI¹⁾, Kenichi OTSUJI¹⁾, Taku NAMEKAWA¹⁾, Inchun PARK¹⁾, Tsutomu NAGATSUMA¹⁾, Kaori SAKAGUCHI¹⁾, Takuya TSUGAWA¹⁾, Ryutaro SUZUKI¹⁾, Naoto KADOWAKI¹⁾, Takefumi MITANI²⁾, Kazushi ASAMURA²⁾, Takeshi TAKASHIMA²⁾

(¹⁾National Institute of Information and Communications Technology, (²JAXA

The National Institute of Information and Communications Technology (NICT) has been developing Radiation Monitors for Space weather (RMS) to be installed on the next geostationary meteorological satellite Himawari 10 in order to assess the space environment over Japan and improve the accuracy of space weather forecasts. The RMS consists of one data processing unit, two instruments for energetic electrons, and one instrument for energetic protons. The development of the engineering model (EM) was finished in September 2024, and then it moved to the critical design phase of the proto-flight model (PFM). The critical design review (CDR) is going to carry out in October 2025, and after that, performance tests such as irradiation tests will be carried out in 2026, and then environmental tests will be carried out. It will be delivered to the satellite system in fiscal year of 2027, and will move to the integrated test. We are coordinating with ground facilities with the goal of obtaining RMS data within one minute of observation. The real-time space environment data is an important factor for models such as anomaly risk model. For example, real-time estimation and prediction of anomaly risk caused by energetic electrons and protons are considered to play an important role for stable use of artificial satellites. In this poster, the progress of development of RMS is outlined, and the estimation of anomaly risk using real-time space environment data and its prediction method are discussed.

情報通信研究機構 (NICT) では、日本上空の宇宙環境を把握し、我が国での宇宙天気予報精度を向上させるため、次期静止気象衛星ひまわり 10 号に搭載する宇宙環境センサ (Radiation Monitors for Space weather: RMS) の開発を進めている。RMS は共通回路部 1 台、電子線計測装置 2 台、陽子線計測装置 1 台で構成されている。令和 6 年 9 月にエンジニアリングモデル (EM) の開発を終了し、その後プロトフライトモデル (PFM) の設計フェーズに移行している。令和 7 年 10 月に詳細設計審査 (CDR) を実施し、その後製造、令和 8 年度に照射試験等による性能試験を実施し、熱真空試験や振動試験などの環境試験へ移行していく。令和 9 年度に衛星システムへの引渡しを行い、統合試験へ移行する。RMS により取得されるデータは、観測から 1 分以内に NICT で取得することを目標に、地上施設との調整を進めている。このような宇宙環境データのリアルタイム性は障害リスクなど即時性が求められるモデルにとっては重要な要素である。例えば高エネルギー電子や陽子を原因とした障害リスクのリアルタイムでの推定やその予測は、人工衛星の安定利用にとって重要な役割を担うと考えられる。本ポスターでは RMS の開発進捗状況を概説するとともに、リアルタイム宇宙環境データによる障害リスクの推定とその予測方法について考察を行う。

月面利用拡大に向けた超小型・省電力宇宙放射線環境計測技術開発

#三好 由純¹⁾, 永松 愛子²⁾, 笠原 慧³⁾, 岸本 裕二⁴⁾, 寺沢 和洋^{2,5)}, 佐藤 達彦⁶⁾, 玉川 徹⁷⁾, 中村 史一郎⁷⁾, 幸村 考由⁸⁾, 三谷 烈史²⁾, 原田 裕己¹⁾, 白井 英之¹⁰⁾, 三宅 洋平¹⁰⁾, 栗田 怜⁹⁾, 西野 真木²⁾

(¹⁾ 名大 ISEE, (²⁾ 宇宙航空研究開発機構, (³⁾ 東京大学, (⁴⁾ 高エネルギー加速器研究機構, (⁵⁾ 慶応義塾大学, (⁶⁾ 日本原子力研究開発機構, (⁷⁾ 理化学研究所, (⁸⁾ 東京理科大学, (⁹⁾ 京都大学, (¹⁰⁾ 神戸大学

Development of Ultra-Compact and Low-Power Space Radiation Environment Measurement Technologies for Lunar Environment

#Yoshizumi Miyoshi¹⁾, Aiko Nagamatsu²⁾, Satoshi KASAHARA³⁾, Yuji Kishimoto⁴⁾, Kazuhiro Terasawa^{2,5)}, Tatsuhiko Sato⁶⁾, Toru Tamagawa⁷⁾, Riichiro Nakamura⁷⁾, Takayoshi Kohmura⁸⁾, Takefumi MITANI²⁾, Yuki HARADA¹⁾, Hideyuki USUI¹⁰⁾, Yohei MIYAKE¹⁰⁾, Satoshi KURITA⁹⁾, Masaki NISHINO²⁾

(¹Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, (²JAXA, (³The University of Tokyo, (⁴KEK, (⁵Keio University, (⁶JAERI, (⁷RIKEN, (⁸Tokyo University of Science, (⁹Kyoto University, (¹⁰Kobe University

In future human exploration of the lunar environment, measurements of the space radiation environment in lunar orbit and on the lunar surface will be a key technology directly linked to radiation exposure assessment, radiation shielding, and the design of structures. In particular, establishing reliable systems for radiation measurement, evaluation, and prediction is essential for sustainable human activities on the Moon. Furthermore, to realize multi-point observations on the lunar surface, such as by installing instruments on rovers or lunar environmental platforms (“lunar weather stations”), it is crucial to develop compact and low-power measurement instruments.

To address these needs, our research group is developing radiation detectors with the characteristics of low power consumption and compact size: the PS-TEPC (Position-Sensitive Tissue Equivalent Proportional Chamber), Lunar-RICHeS (Ring Imaging Cherenkov Spectrometer), and LEON (Lunar Environment ElectON sensor). Among them, PS-TEPC and Lunar-RICHeS are designed to measure SEP and GCR contributions to radiation exposure, while LEON focuses on measuring electrons related to charging phenomena. In this presentation, we will report on our progress to date as well as future development plans and the roadmap of these lunar radiation environment measurement technologies.

今後の人類の月圏での探査において、月周回・月面での宇宙放射線環境計測は、被ばくや放射線環境の低減、構造物などの放射線防護技術・遮蔽設計にも直結する重要なキー技術である。特に、月面での有人活動における宇宙放射線計測・評価・予測の確立は、今後の持続的な月圏での活動にとって必須となる。また、将来のローバーへの搭載や、月面環境プラットフォーム（月百葉箱）などによる月面多点での観測を実現するために、省電力かつ小型の計測装置開発を進める必要となる。これらの点をふまえて、本研究グループは、省電力・小型という特徴を生かした月放射線計測装置として、PS-TEPC(位置有感生体等価比例係数箱)、Lunar-RICHeS(月探査搭載用チェレンコフ検出器)、LEON(月環境用電子計測器)の開発を進めている。このうち、PS-TEPCとLunar-RICHeSは被ばくに関するSEPやGCRの計測を行い、LEONは帯電に関する電子の計測を行うものである。本講演では、これまでの進捗と、今後の開発計画、ロードマップについて報告する。

参考文献

三好 由純, 三宅 洋平, 原田 裕己, 西野 真木, 栗田 怜, 笠原 慧, 白井 英之, 永松 愛子, 奥村 哲平, 豊田 和弘, 中村 紗都子 将来の月周回・月面観測および開発における帯電環境計測と評価に向けて、遊星人、34, 2025 (ISSN: 0918-273X)

R010-P17

ポスター 3 : 11/26 PM2/PM3 (14:50-18:25)

宇宙天気現象の指標・閾値の検討（通信・放送分野）

#陣 英克¹⁾, 津川 卓也¹⁾, 埜 千尋¹⁾, 安藤 慧¹⁾, 西岡 未知¹⁾, PERWITASARI Septi¹⁾

⁽¹⁾ 情報通信研究機構

Study on Indicators and Thresholds for Space Weather Phenomena (Telecommunications and Broadcasting Sector)

#Hidekatsu Jin¹⁾, Takuya TSUGAWA¹⁾, Chihiro TAO¹⁾, Satoshi ANDOH¹⁾, Michi NISHIOKA¹⁾, Septi PERWITASARI¹⁾

⁽¹⁾National Institute of Information and Communications Technology

Awareness of the risks that space weather poses to society is gradually spreading. There have already been cases where space weather has impacted social infrastructure. In 2022, the Ministry of Internal Affairs and Communications held a study group on advancing space weather forecasting, where several socio-economic sectors were identified as being at risk: telecommunications and broadcasting, satellite positioning, satellite operations, aviation operations, and the power sector. Discussions were held on standards for forecasts and warnings. For phenomena where indicators and warning thresholds have been established, information provision began in June 2025 under the name “Space weather Alert For social Impacts and Risks (SAFIR).”

In the telecommunications and broadcasting sector, discussions focused on space weather phenomena that affect radio communications. These phenomena primarily impact radio waves in the HF to UHF bands through disturbances in the Earth's ionosphere. Specifically, the study addressed the Dellinger phenomenon, polar cap absorption, ionospheric storms, sporadic E layers, and plasma bubbles. Among these, SAFIR has already defined indicators and thresholds for the Dellinger phenomenon, polar cap absorption, and ionospheric storms, and has begun providing related information.

This presentation will review how the indicators and thresholds for the Dellinger phenomenon, polar cap absorption, and ionospheric storms were established, and will propose and discuss approaches for defining indicators and thresholds for the remaining phenomena: sporadic E layers and plasma bubbles.

宇宙天気が社会にもたらすリスクへの認識が国内外で広まりつつある。宇宙天気が社会インフラに影響する事例も起きている。2022 年に開催された総務省の「宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会」では、リスクのある社会経済分野として、通信・放送、衛星測位、衛星運用、航空運用、電力分野が特定され、予報・警報の基準などが議論された。そのうち、指標や警報の閾値が確定したものについては、2025 年 6 月から「宇宙天気イベント通報 (SAFIR)」として提供が開始された。通信・放送分野に関しては、無線通信に影響する宇宙天気現象について議論された。それらの現象は主に地球電離圏のじょう乱を通じて HF 帯から UHF 帯の通信電波に影響を与えるものであり、具体的にはデリンジャー現象、極冠吸収、電離圏嵐、スプラディック E 層、プラズマバブルが扱われた。SAFIR では、そのうちデリンジャー現象、極冠吸収、電離圏嵐について既に指標と閾値を定めて情報提供を開始している。本発表では、デリンジャー現象、極冠吸収、電離圏嵐についてどのように指標と閾値を定めたかを確認するとともに、残りのスプラディック E 層とプラズマバブルに対して指標と閾値の考え方を提案し、議論を行いたい。

Zekkei 星空プロジェクト：北海道での低緯度オーロラ観測を通じた地域貢献・市民科学の発展を目指して

#村瀬 清華¹⁾, 升井 洋志¹⁾, 館山 一孝¹⁾, 竹腰 達哉¹⁾, 津田 卓雄²⁾, 遠藤 哲歩³⁾, 田中 友啓⁴⁾

(¹ 北見工大, (² 電気通信大学, (³ 明治大学, (⁴ 総合研究大学院大学

Zekkei HOSHIZORA Project: Contributing to the community and citizen science through low-latitude aurora observation in Hokkaido

#Kiyoka Murase¹⁾, Hiroshi Masui¹⁾, Kazutaka Tateyama¹⁾, Tatsuya Takekoshi¹⁾, Takuo TSUDA²⁾, Akiho ENDO³⁾, Tomotaka TANAKA⁴⁾

(¹Kitami Institute of Technology, (²University of Electro - Communication, (³Meiji University, (⁴SOKENDAI

Photographs of auroral phenomena taken by citizen scientists not only convey the beauty and fascination of auroras to the public but have also made remarkable contributions to scientific discovery, including the identification of new types of auroras and advances in understanding their characteristics and mechanisms. In this study, we focus on low-latitude auroras, which in recent years have been actively photographed by citizen scientists in Japan. First, we aim to develop a real-time streaming system for low-latitude auroras observed at multiple locations in Hokkaido, thereby promoting tourism through citizen science observations and information dissemination for visitors. Second, we plan to build an open database that centrally collects data obtained by citizen scientists. By reducing the burden on researchers, who previously had to individually contact photographers to obtain data, and by creating an environment in which they can concentrate solely on data analysis, this initiative is expected to accelerate and advance research on low-latitude auroras.

In this presentation, we will introduce the “Zekkei Hoshizora Project”, which promotes continuous monitoring of the night sky and real-time dissemination of information on auroras and astronomical phenomena as one of the main initiatives of the “Zekkei Project”, which provides forecasts of natural phenomena such as mirages and sea clouds in Hokkaido and shares related tourism information. Specifically, we will report on the current status of camera development planned for installation at the Rikubetsu Observatory of Nagoya University, as well as future prospects for expanding to multiple observation sites.

市民科学者によるオーロラ現象の撮影は、その美しさや魅力を広く伝えるだけでなく、新種のオーロラの発見やオーロラ特性・メカニズムの解明など、科学的発見にも顕著な貢献を果たしてきた。本研究では、近年日本でも精力的に市民科学者による撮影が行われている低緯度オーロラを対象に、2つの目的・内容で研究を推進する。一つ目に、北海道地域の複数地点における低緯度オーロラのリアルタイム配信システムを開発し、市民科学者による観測と観光客への情報発信を通じた観光を促進することを目指す。二つ目は、市民科学者のデータを一括して収集する公開データベースの開発である。これまで撮影者と個別に連絡しデータを得る必要があった研究者の負担を減らし、データ解析にのみ集中できるような環境を整えることで、低緯度オーロラの研究を加速・発展させることが期待される。

本発表では、北海道における蟹気楼や雲海などの自然現象の発生予測と観光情報の発信に取り組んでいる「Zekkei プロジェクト」の柱の一つとしてオーロラや天体現象を対象とした星空の常時観測とリアルタイムの情報発信を推進する「Zekkei 星空プロジェクト」について、名古屋大学陸別観測所に設置を計画しているカメラ開発の状況や、多地点展開に向けた今後の展望について紹介する。

太陽風データを用いた学生実験の開発と実施

#池田 昭大¹⁾, 篠原 学²⁾, 千頭 一郎¹⁾, 野澤 宏大³⁾

(¹⁾ 鹿児島高専, (²⁾ 鹿児島工業高等専門学校, (³⁾ 福島工業高等専門学校

Development and Implementation of Student Experiments Using Solar Wind Data

#Akihiro IKEDA¹⁾, Manabu SHINOHARA²⁾, Ichiro CHIKAMI¹⁾, Hiromasa NOZAWA³⁾

(¹National Institute of Technology, Kagoshima College, (²National Institute of Technology, Kagoshima College, (³National Institute of Technology, Fukushima College

Data Science becomes increasingly important. Accordingly, background knowledge of computer programming is required. We therefore introduced a new experiment named “Analysis of Solar Wind Data” in “Experiments in Physics” for fourth-year students at Kagoshima KOSEN. They can experience data science and computer programming through the experiment. In addition, students are able to acquire knowledge related to space weather from this experiment.

According to the preliminary questionnaire, most of the students had experience of programming, while a smaller percentage of students had experience of data analysis by using computer programming. The follow-up questionnaire showed that 68% of the students were satisfied with the experiment. Moreover, 63% of the students became more interested in space than before. It is concluded that “Analysis of Solar Wind Data” is suitable for data-science and programming education. Furthermore, this student experiment can be considered effective in stimulating interest in space weather.

鹿児島工業高等専門学校（鹿児島高専）の4年生（大学1年生に相当）向け授業である「物理学実験」では、Society 5.0に向けた技能獲得とともに、地球物理学の知識を獲得できる実験テーマの開発・導入を進めている。宇宙天気に関連したデータを扱う実験テーマの導入も進めており、今回はデータサイエンスの技能と共に、太陽風についての知識も獲得できる学生実験「太陽風データの解析」の実施とその効果について報告する。

データサイエンスは、データを解析し、可視化し、事象・現象を探る科学である。「太陽風データの解析」では、特に「データの可視化」、「現象を探る」の2点に取り組む内容とした。解析するデータは、人工衛星 DSCOVR の太陽風データとし、プログラミング言語は MATLAB を用いた。実験では太陽風の速度・密度データを用い、太陽風の 27 日周期と CME 発生時の変動に焦点を当て、プロットの作成から特徴を調べる。

実験を受講した学生へのアンケート調査（2019 年 10 月～2020 年 2 月実施）では、「太陽風データの解析」の教育効果が明らかとなり、実験に満足感を得られている学生が多かった（全体の 68%）。「以前より宇宙に興味を持つようになった」という学生は全体の半数以上の 63% であった。しかし、「実験で学んだことが今後役に立つと思う」と回答した学生の割合は半数以下であった。

学生の実験レポートの課題からは、データサイエンスにおける「データの可視化」と「現象を探る」という観点で、学生の理解度を評価した。その結果、「データの可視化」はほぼ全ての学生が理解できていた。「現象を探る」についても、全体の 75.8% の学生が理解できていると判断でき、太陽風データについてよく検討し、現象を探ることができていた。本実験のデータサイエンス導入教育としての効果も確認することができた。今後も「太陽風データの解析」実験を継続するとともに、実験の意義を学生が感じられる事前課題の追加も考えている。さらに、実験を通じた学生の知識や技術の定着についてもより評価できるよう検討していきたい。