

R011-01

C 会場 : 11/24 PM1 (13:45-15:45)

13:45~14:15:00

日本発の研究データ発信リポジトリ — GRANTS Data の挑戦—

#住本 研一¹⁾

⁽¹⁾JST

A Japanese research data repository: GRANTS Data's Challenge

#kenichi sumimoto¹⁾

⁽¹⁾Japan Science and Technology Agency

Currently, open data and open access are being promoted both domestically and internationally. In Japan, two important policies were decided, respectively: “Basic Approach to the Management and Utilization of Publicly Funded Research Data (April 27,2021)” and “National Policy on Promoting Open Access to Publicly Funded Scholarly Publications and Scientific Data (February 16,2024)” by the Integrated Innovation Strategy Promotion Council. Various organizations are working to build and improve systems to implement the policies now.

In this presentation, I will introduce the features and usage of GRANTS Data, a research data repository currently being developed by JST for those who wish to disclosure research data funded by public funds but do not have an appropriate Institutional Repository to store and publish their data.

I understand that there has been a long history of data sharing and disclosure in the field of geoscience, and I aim to towards more concrete discussions.

国内外でオープンデータ、オープンアクセスが推進されています。日本においては統合イノベーション戦略推進会議より、2021 年に「公的資金による研究データの管理・利活用に関する基本的な考え方」、2024 年に「学术论文等の即時オープンアクセスの実現に向けた基本方針」という重要な政策がだされました。現在、政策の実現に向けて各機関がシステムの構築や改良を実施中です。

本講演では、現在、JST が構築中の、公的資金による研究データで公開を希望する方が、そのデータの適切な保存・公開場所が無いときに利用可能な、研究データリポジトリ「GRANTS Data」について、その特徴、利用法などを紹介します。

当学会の分野におかれては、データの共有や公開のニーズは高く歴史も長いと聞いているのでより具体的な議論に繋がっていきたいと考えています。

R011-02

C 会場 : 11/24 PM1 (13:45-15:45)

14:15~14:30:00

異分野研究データの可視化・検索向上を目指したメタデータ変換と機関リポジトリへの登録

#新堀 淳樹¹⁾, 能勢 正仁²⁾, 三好 由純³⁾, 堀 智昭⁴⁾, 大平 司⁵⁾, 田中 幸恵⁵⁾, 直江 千寿子⁵⁾, 金田 志保⁵⁾, 我喜屋 累⁵⁾, 岡本 麻衣子⁵⁾, 相良 毅⁶⁾, 田中 良昌⁷⁾, 阿部 修司⁸⁾, 上野 悟⁹⁾, 今城 峻¹⁰⁾, 芦北 卓也¹¹⁾, 堀 優子¹¹⁾, 清水 敏之¹¹⁾, 兵藤 健志¹¹⁾, 大澤 紗都¹¹⁾, 平野 かおる¹¹⁾

⁽¹⁾ 名大宇地研, ⁽²⁾ 名古屋市立大学, ⁽³⁾ 名古屋大学, ⁽⁴⁾ 名古屋大学・宇宙地球環境研究所, ⁽⁵⁾ 名古屋大学附属図書館, ⁽⁶⁾ 情報試作室, ⁽⁷⁾ 国立極地研究所, ⁽⁸⁾ 九州大学, ⁽⁹⁾ 京都大学大学院理学研究科附属天文台, ⁽¹⁰⁾ 京都大学, ⁽¹¹⁾ 九州大学附属図書館

Metadata conversion and registration in institutional repositories to improve the visibility and findability of research data

#Atsuki Shinbori¹⁾, Masahito NOSE²⁾, Yoshizumi MIYOSHI³⁾, Tomoaki HORI⁴⁾, Tsukasa Ohira⁵⁾, Sachie Tanaka⁵⁾, Chizuko Naoe⁵⁾, Shiho Kanada⁵⁾, Rui Gakiya⁵⁾, Maiko Okamoto⁵⁾, Takeshi Sagara⁶⁾, Yoshimasa TANAKA⁷⁾, Shuji ABE⁸⁾, Satoru UeNo⁹⁾, Shun IMAJO¹⁰⁾, Takuya Ashikita¹¹⁾, Yuko Hori¹¹⁾, Toshiyuki Shimizu¹¹⁾, Kenshi Hyodo¹¹⁾, Sato Osawa¹¹⁾, Kaoru Hirano¹¹⁾

⁽¹⁾Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, ⁽²⁾Nagoya City University, ⁽³⁾Nagoya University, ⁽⁴⁾Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, ⁽⁵⁾Nagoya University Library, ⁽⁶⁾Info Proto Co., Ltd., ⁽⁷⁾National Institute of Polar Research, ⁽⁸⁾Kyushu University, ⁽⁹⁾Astronomical Observatory, Graduate School of Science, Kyoto University, ⁽¹⁰⁾Kyoto University, ⁽¹¹⁾Kyushu University Library

Recently, government policy makers and research funding agencies requested that research institutions and researchers should carry out proper data management for research data produced with support from public funding and also develop a metadata database for data retrieval and future reuse. In fact, principal investigators are required to prepare a research data management plan for Grants-in-Aid for Scientific Research proposals newly funded after FY2024, and to submit information on the data release and metadata (data describing the data itself and their contents) when they report the results in the final year. In this study, we develop a mapping table for converting specific metadata managed in each research field into general metadata and then register the converted metadata in institutional repositories and the research data infrastructure system (NII Research Data Cloud). We also aim to extend these procedures to other research institutions and other research fields. This action enables not only researchers but also data users in the education field and industry to find research data that have originally been used only by researchers in some limited research fields, thereby promoting use of different field data as well as data-driven research. In this study, we have converted the SPASE (Space Physics Archive Search and Extract) metadata of ground-based observation data of solar-terrestrial physics managed by the Inter-university Upper atmosphere Global Observation NETwork (IUGONET), to the JPCOAR (Japan Consortium for Open Access Repository) metadata, which can be registered in institutional repositories. For the metadata conversion, we first developed a mapping table from the SPASE to the JPCOAR schema. Next, we developed a conversion tool based on the mapping table. Using the table and tool, we have successfully registered 284 and 180 metadata in the field of space earth science to institutional repositories of Nagoya University and Kyushu University, respectively. These metadata were then harvested by the institutional repository database, data catalog cross search system, and Google Dataset Search. Consequently, these data became easier to find research data through various data search systems. Because both the SPASE and JPCOAR data models were recently updated to 2.7.0 and 2.0, respectively, we can deal with a wider range of data types from ground and satellite observation data to model and simulation data. Further, aiming to extend to multidisciplinary fields, we investigated the metadata of chemistry data in Nagoya University (for example, electron microscope data in the structural biochemistry field) and created a metadata conversion table. In the future, we plan to develop a conversion tool of JPCOAR metadata based on the created conversion table and attempt to register it in the repository. In this presentation, we will describe our efforts in detail and mention the future direction of the project.

近年、政策決定者や研究資金配分機関から、各研究機関・研究者に対して、公的資金を用いて作成された研究データについて適切なデータマネジメントを実施し、データを検索・再利用できるようなメタデータデータベースを整備することが要請されている。実際に 2024 年度以降に採択された科研費の新規課題については、研究データマネジメントプランを作成し、最終年度の成果報告時に研究データ公開情報とメタデータ（データそのものやデータの内容を記述するデータ）を提出することが研究代表者に義務付けられた。このような背景にあって本研究では、各研究分野で作成・管理されているメタデータを一般的で汎用的なメタデータに変換するためのマッピングテーブルの作成とその実装を行うことで、変換したメタデータを機関リポジトリおよび研究データ基盤システム (NII Research Data Cloud) に登録することを目指す。また、このような一連の手順を、他研究機関や他研究分野へ展開してゆくことを試みる。これにより、一部の研究者のみに利用されていた研究データを、研究者だけでなく教育・産業界にわたる利用者からも検索可能とし、様々な異分野データの利活用およびデータ駆動型研究の推進を図るものである。本研究では、「超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究 (IUGONET)」プロジェクトで管理している太陽地球系物理学の地上観測データの SPASE (Space Physics

Archive Search and Extract) メタデータの、機関リポジトリに登録可能な JPCOAR (Japan Consortium for Open Access Repository) メタデータへの変換を実施した。このメタデータ変換を行うにあたり、SPASE から JPCOAR データモデルへのマッピングテーブルを作成し、それを基に変換ツールを整備した。その結果、宇宙地球科学分野について名古屋大学：284 件、九州大学：180 件のデータに対して機関リポジトリへの登録が完了し、その後、ハーベストにより、これらのメタデータは、学術機関リポジトリデータベース、データカタログ横断検索システム、Google Dataset Search などに登録され、多くのデータ検索システム上から研究データを検索できるようになった。近年になって、SPASE と JPCOAR スキーマが、それぞれ 2.7.0 と 2.0 にバージョンアップされた。これに伴い、地上・衛星観測データに加え、モデル・シミュレーションデータ等の幅広いデータ種を取り扱えるようになった。これに対応するために、マッピングテーブルの更新と機関リポジトリへの登録スキームの改良を行っている。さらに、学際的な分野への展開を目指して名古屋大学の化学分野データ (例えば、構造生物化学関連分野の電子顕微鏡データ) のメタデータについての調査を行い、メタデータ変換テーブルの作成を行った。今後、作成した変換テーブルを基に JPCOAR メタデータ変換ツールの開発を行い、リポジトリへの登録を試みる予定である。本講演では、この取り組みと今後の方向性について述べる予定である。

R011-03

C 会場 : 11/24 PM1 (13:45-15:45)

14:30~14:45:00

#阿部 修司¹⁾, 芦北 卓也²⁾, 堀 優子²⁾, 吉川 顕正^{1,3)}

(¹ 九州大学国際宇宙惑星環境研究センター, (² 九州大学附属図書館, (³ 九州大学 大学院理学研究院 地球惑星科学部門

Efforts to promote the sharing and circulation of research data in Kyushu University

#Shuji Abe¹⁾, Takuya Ashikita²⁾, Yuko Hori²⁾, Akimasa YOSHIKAWA^{1,3)}

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

The International Research Center for Space and Planetary Environmental Science (i-SPES) at Kyushu University operates MAGDAS, the worldwide network of ground-based magnetometers. We have approximately 40 years of geomagnetic observation data, including data from former projects. MAGDAS geomagnetic field observation is based on the cooperation of many people both in Japan and overseas. We would like to give back to them by evaluating the research results. It is essential to accurately track data usage. Research data is often only available on highly specialized websites. For research communities outside the field and the public, the data is not easy to find. To improve the traceability of data usage and promote interdisciplinary research and citizen science, it is necessary to improve the findability of data. Therefore, we attempted to convert metadata described in a specialized metadata schema into another metadata schema which conforms to a widely used general-purpose, register the converted metadata in an academic institution repository, and assign a DOI. We have created metadata using SPASE schema for our geomagnetic observation and registered them with IUGONET metadata database. We converted these metadata into the other one using JPCOAR schema, common standards for institutional repositories in Japan, and registered them with Kyushu University's institutional repository (QIR). This conversion work was carried out as part of a joint research project with Nagoya University. QIR uses a system that differs from JAIRO Cloud, which is used by many institutional repositories in Japan, including Nagoya University Library. We demonstrated that metadata conversion and registration can also be performed in institutional repositories that use different systems. In this conversion process, we utilized tools such as GakuNin RDM and ChatGPT to achieve fast and smooth implementation. The adoption of data DOIs is expected to promote understanding of data usage and serve as an external indicator for evaluating data providers. In addition, research data DOIs are often linked to multiple related DOIs. Understanding these relationships is important for systematically managing data and efficiently searching for and accessing related information. The JPCOAR schema has attributes which express these relationships. We consider ways to effectively utilize these attributes and plan to verify them using actual data. In this paper, we will introduce the progress of our activities and plans.

R011-04

C 会場 : 11/24 PM1 (13:45-15:45)

14:45~15:00:00

SuperDARN 北海道-陸別第一レーダーのイメージング処理におけるノイズの影響評価

#早水 翔大¹⁾, 西谷 望¹⁾, 濱口 佳之¹⁾, 堀 智昭¹⁾, 新堀 淳樹¹⁾

⁽¹⁾ 名大

A study on the effects of noise in the imaging process for the SuperDARN Hokkaido East radar

#Shota Hayamizu¹⁾, Nozomu Nishitani¹⁾, Yoshiyuki Hamaguchi¹⁾, Tomoaki Hori¹⁾, Atsuki Shinbori¹⁾

⁽¹⁾ Nagoya University

SuperDARN is an HF radar network operated mainly for ionospheric F-region observations. It observes Doppler velocities of ionospheric plasma in high and mid-latitude regions of both hemispheres. Convection maps for a vast area of the ionosphere can be obtained by combining data from multiple radars.

We have been attempting to modernize the Hokkaido-East radar system, operated by Nagoya University, to enhance observation capabilities and update outdated software and hardware with new ones. We conducted a test operation from 30 June to 3 July in 2020. Two USRP-N210s were used to receive the returned signal at four channels as digital radio equipment, and the received signal was imaged. We implemented filtering because significant noise was observed at a specific time. In this phase, the echo power in the imaging data plot after filtering is stronger than that before filtering.

In this study, we investigate why the noise weakens the signal strength. We simulate the addition of sine wave noise of various frequencies and reveal the dependence of the signal strength on the frequency of the noise. We found that noise with frequencies close to integer multiples of 3.333 kHz did not affect the signal strength, because of the signal sampling frequency of the imaging receiver (3.333 kHz). On the contrary, as the frequency deviated from the integer multiples of 3.333 kHz, it began to affect the signal strength and sometimes resulted in a weaker signal.

We also compared the data in each phase of data processing, both with and without the addition of noise, to confirm which processes affect the signal strength changes.

In this presentation, we report on the effect of noise on signal strength and discuss the potential application of the study to enhance the observation performance.

SuperDARN は主に電離圏 F 領域観測を目的に運用されている HF レーダーネットワークである。両半球の高緯度・中緯度領域で、電離圏プラズマのドップラー速度を観測する。複数のレーダーで得られたデータを組み合わせることで、電離圏プラズマの対流マップを得ることができる。

名古屋大学が運用する SuperDARN 北海道陸別第一レーダーにおいて、観測性能の向上、使用機器やソフトウェアのサポート終了等を理由にシステムの最新化を試みている。ソフトウェア無線機器の導入にむけ 2020 年 6 月 30 日から 7 月 3 日の期間に試験運用を行った。USRP-N210 を 2 台用いて、後方散乱された電波を 4 チャンネルで受信し、受信信号をイメージング化した。受信した信号は特定の時間でノイズが大きかったため、フィルタリングを行った。ここで、フィルタリング後のイメージングプロットの受信強度の値が、フィルタリング前の値より大きくなっていることが見出された。

本研究では SuperDARN レーダーのイメージング処理において、ノイズが加わることで得られる信号強度が小さく現れる現象について、その原因を探索した。試験運用で得られたノイズが少ないデータに正弦波のノイズを加えるシミュレーションを行い、ノイズの周波数によって得られる信号強度への影響の違いを明らかにした。ノイズの周波数が 3.333 kHz の整数倍に近い場合では信号強度への影響はなかったが、3.333 kHz の整数倍との差が開くにつれ信号強度へ影響を与えるようになり、信号強度が弱く現れてしまうことがあると分かった。また、各データ処理段階でノイズを加える前後のデータを比較しノイズにより信号強度が弱く現れる兆候も確認しており、原因を調査中である。

本講演ではノイズがイメージング処理に与える影響および SuperDARN レーダーへの観測性能向上への応用の可能性について報告する。

R011-05

C 会場 : 11/24 PM1 (13:45-15:45)

15:00~15:15:00

太陽サイクルを考慮した ISS 放出 1U CubeSat の軌道寿命に関する Weibull-Gauss 過程回帰モデリング

#藤本 晶子¹⁾, 福田 創士¹⁾, 江本 菜由莉¹⁾, スーリアンシャ ムハンマド^{1,2)}, 春藤 賢冴¹⁾

(¹九州工業大学, (²ディポネゴロ大学

Weibull-Gaussian Process Regression Modeling of Orbital Lifetime for 1U CubeSats Released from the ISS with Solar Cycle Effects

#Akiko Fujimoto¹⁾, Soushi FUKUDA¹⁾, Mayuri Emoto¹⁾, Muhammad Suriansyah^{1,2)}, kengo Shundo¹⁾

(¹Kyushu Institute of Technology, (²Diponegoro University

The orbital lifetime of 1U CubeSats deployed from the International Space Station (ISS) is strongly influenced by short-term disturbances such as geomagnetic storms and long-term variations associated with the solar cycle. In this study, we explicitly define orbital lifetime as the elapsed time from ISS deployment until atmospheric re-entry (≈ 150 km altitude), and formulate it as an orbital lifetime function. We then design a predictive model to estimate this orbital lifetime function—that is, the relationship between orbital altitude and elapsed time—based on solar activity conditions. The model is developed using 23 cases of 1U CubeSats launched between 2012 and 2024.

We adopted the Weibull cumulative distribution function to represent orbital decay, since altitude decreases gradually at first but accelerates exponentially with elapsed time, a behavior well captured by the flexible shape of the Weibull form. The trajectory from initial release to atmospheric re-entry was modeled with high fidelity (coefficient of determination $R^2 \approx 0.99$). Furthermore, the parameters of the Weibull function were estimated using a Gaussian Process Regression model with explanatory variables including solar activity (F10.7 index), release altitude, and a normalized solar cycle phase, thereby constructing a trained predictive model of the orbital lifetime function based on solar activity. The regression enabled accurate reconstruction of the orbital lifetime function, with a coefficient of determination $R^2 > 0.8$.

The derived predictive function enables orbital lifetime estimation across solar cycle phases, with an error of 0.5 – 2 months relative to observed lifetimes. A distinctive contribution of this study is the application of a Weibull-based model, adapted from reliability engineering, which naturally captures the accelerated, non-linear decay of orbital altitude with only two interpretable parameters. Furthermore, the introduction of a normalized solar cycle phase as an explanatory variable extends predictive capability beyond conventional activity indices by enabling the model to implicitly capture phase-dependent solar wind structures.

国際宇宙ステーション (ISS) から放出される 1U CubeSat の軌道寿命は、磁気嵐のような短期的な擾乱や太陽サイクルに伴う長期的変動の影響を強く受ける。本研究では、軌道寿命を「ISS からの放出から大気圏再突入 (高度約 150 km) までの経過時間」として明示的に定義し、これを軌道寿命関数として定式化する。そして、太陽活動に基づいて軌道高度と経過時間の関係 (軌道寿命関数) を推定する予測モデルを設計した。本モデルは、2012 年から 2024 年に ISS から放出された 23 基の 1U CubeSat のデータを用いて構築する。

軌道高度の減衰は、初期には緩やかであるが、時間の経過とともに指数関数的に加速する特性を持つため、本研究では Weibull 累積分布関数を適用する。この関数は柔軟な形状を有し、軌道減衰を高精度に表現できる (決定係数 $R^2 \approx 0.99$)。さらに、Weibull 関数のパラメータを、太陽活動度 (F10.7)、放出高度、正規化した太陽サイクル位相を説明変数とするガウス過程回帰モデルにより推定し、その結果、太陽活動に基づく軌道寿命関数の学習済み予測モデルを構築する。その結果、決定係数 $R^2 > 0.8$ で軌道寿命関数を高精度に再現できることを確認した。

導出された予測関数は、太陽サイクルを通じて軌道寿命を推定可能であり、実観測値に対して 0.5~2 か月程度の誤差に収まることを示した。本研究の新規性は、信頼性工学における寿命解析に用いられてきた Weibull モデルを軌道寿命解析に応用し、少数のパラメータで高度減衰の加速的・非線形的挙動を表現した点にある。さらに、正規化太陽サイクル位相を説明変数に加えることで、従来の太陽活動度指標を超えて、位相依存的な太陽風構造をモデルに間接的に学習させ、予測能力を拡張できた。

R011-06

C 会場 : 11/24 PM1 (13:45-15:45)

15:15~15:30:00

太陽地球科学データへのシンボリック回帰の適用

#能勢 正仁¹⁾, 小山 聡¹⁾, 古賀 亮一¹⁾

(¹ 名古屋市立大学データサイエンス研究科)

Application of Symbolic Regression to Solar-Terrestrial Physics Data

#Masahito Nose¹⁾, Satoshi Oyama¹⁾, Ryoichi KOGA¹⁾

(¹ Graduate School of Data Science, Nagoya City University)

In solar-terrestrial physics, advances in observational instrument performance, multi-point observations, high temporal resolution, and increased storage capacity have led to the continuous production of vast datasets that are difficult to process by human effort alone. Traditionally, researchers have plotted observational data and applied statistical analyses to elucidate the properties of various electromagnetic phenomena in space, identify controlling parameters, and formulate relationships among physical quantities. However, with the exponential growth of data volume, it has become increasingly difficult to handle this information purely through manual analysis.

In information science and deep learning, a method known as "symbolic regression" has been developed to automatically derive mathematical models from data without incorporating human biases, relying on domain-specific knowledge, or pre-specifying functional forms. Proposed approaches include genetic algorithms, discovery of modular structure via neural networks, and hybrid frameworks that combine symbolic-regression and inference modules. Nevertheless, there are very few reports of applying these state-of-the-art techniques to real, large-scale observational datasets.

In this study, we focus on solar wind-magnetosphere coupling functions formulated in solar-terrestrial physics and investigate how these expressions—and related relationships among physical variables—are re-evaluated using symbolic regression. Among the many methods proposed (e.g., Eureqa, PySR, AI Feynman, AI-Descartes, and PhySO [Φ -SO]), we adopt PhySO, which offers publicly available code and demonstrated robustness to noise. On synthetic test data generated from theoretical equations, symbolic regression recovers the underlying formulae with high accuracy. Even when Gaussian artificial noise is added, and when working with OMNI data that include rounding errors, the estimates remain comparatively robust.

Because solar-terrestrial physics datasets almost invariably contain noise, symbolic regression may provide an effective tool for uncovering hidden governing equations. In this talk, drawing on concrete application examples, we discuss the potential of symbolic-regression methods to advance research in solar-terrestrial physics.

太陽地球科学においては、観測器の性能向上・多点観測・高時間分解能・記憶媒体の大容量化が進み、人の能力だけでは処理することが難しいような大量のデータが連続して生み出されている。従来は、研究者が観測データをグラフ化したり、統計的処理を行ったりして、宇宙空間で生起している様々な電磁気現象の性質を解明し、それらをコントロールするパラメータを見出して物理量間の定式化を行ってきた。しかしながら、現在では、データ量が爆発的に増加し、人の能力だけでは処理することが難しくなっている。情報科学・深層学習の分野では、巨大なデータに対して、人間の先入観や分野の専門知識を含めたり、関数の形式を事前に指定したりせずに、データから数式モデルを自動的に生成する「シンボリック回帰」と呼ばれる手法が開発されてきている。具体的には、遺伝的アルゴリズム、ニューラルネットワークによるモジュラリティ性の発見、記号回帰モジュールと推論モジュールを組みわせる方法などが提案されている。ただ、こうした最先端のシンボリック回帰手法が実際の大規模観測データに適用されたという報告はほとんどない。

そこで、これまで太陽地球系科学分野で定式化が試みられてきた太陽風-磁気圏結合関数に焦点を当て、この式やそれに関係する物理量を導く式がシンボリック回帰によってどのように再評価されるかを調査した。シンボリック回帰の方法としては、Eureqa, PySR, AI Feynman, AI Descartes, Φ -SO など様々なものが提案されているが、コードが公開されており、ノイズに対する頑健性が高い Φ -SOを利用した。理論式から作成したテストデータに対しては、シンボリック回帰による物理式の推定は非常に優秀な成績を示した。正規分布の人工ノイズを加えたテストデータや、丸め誤差が含まれるOMNIデータについても、比較的良い推定結果が得られた。太陽地球系物理学のデータにはノイズが含まれることがほとんどであるが、そこから隠れた支配方程式を見出すのにシンボリック回帰は進展させる有効なツールになるかもしれない。講演では、実際の適用例を元に、シンボリック回帰手法の太陽地球系科学分野への応用可能性について議論する。

R011-07

C 会場 : 11/24 PM1 (13:45-15:45)

15:30~15:45:00

地球周回紫外線望遠鏡のダークカウントにおける説明可能な機械学習

#古賀 亮一¹⁾, 小山 聡¹⁾, 能勢 正仁¹⁾, 吉岡 和夫²⁾

(¹ 名古屋市立大学, (² 東京大学

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

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

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

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

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

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

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

R011-08

C 会場 : 11/24 PM2 (16:05-18:05)

16:05~16:35:00

JAXA 地球観測衛星のデータシステムとその展開

#可知 美佐子¹⁾, 久保田 拓志¹⁾, 村松 英之²⁾, 池畑 陽介²⁾, 祖父江 真一²⁾

(¹⁾ 宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター, (²⁾ 宇宙航空研究開発機構衛星利用運用センター

Data Systems of JAXA's Earth Observation Satellites and their Evolution

#Misako Kachi¹⁾, Takuji Kubota¹⁾, Hideyuki Muramatsu²⁾, Yosuke Ikehata²⁾, Shinichi Sobue²⁾

(¹⁾ Japan Aerospace Exploration Agency, Earth Observation Research Center, (²⁾ Japan Aerospace Exploration Agency, Satellite Applications and Operations Center

The most of Earth observation satellite data in 1970s and 1980s is printed images. There are big changes in contents of data systems, users, and utilization methods of satellite observation data, from “using images” to “using analyzed variables and information”. We will introduce some specific points in transition of data systems of Earth observation satellites during recent forty years and future evolution.

The first point is long-term operation of satellite missions and increasing data amount. Since satellite data has relatively large data amounts due to its wide coverage and constantly increasing data. Recent evolution of sensor capabilities (spatial resolution and coverage) and satellite communication capabilities has resulted in largely increased number of data files and volumes. Because of those increasing amounts of data, next JAXA's Earth observation satellite data distribution system, called G-Portal, is planning to transfer to the internet Cloud system.

Second point is change of requirements in data latency. After 2000s, operational utilization in the areas of numerical weather prediction and fishery has expanded and requirements in data distribution if near-real-time basis have been increased. Along with evolution of the internet, almost all the satellite data can be downloaded via online. For the GCOM-W satellite launched in 2012, near-real-time data distribution system has been developed to provide data within 3-hour after observation, and operational utilization of GCOM-W data widely expanded worldwide.

Third point is evolution in data visibility and usability. Development of data search system among space agencies has been developed procedures and rules under the Committee of Earth Observation Satellite (CEOS), and JAXA satellite data is searchable via the International Directory Network (IDN) under the CEOS. DOI for JAXA Earth observation satellite products are created. Data format of satellite data is supposed to be one of reason to prevent satellite data utilization by entry users. Recent activities in providing the Web API tool of satellite data that enables visualization by users without considering data format, will expand range of data users to private sectors and researchers who have not use satellite.

Lastly, activities of the Open Source Science (OSS) to promote open sharing not only paper and data but also processing software including source code is activated in Europe and the United States. In JAXA, we have investigated response to OSS in the area of Earth Observations in Japanese Fiscal Year of 2023-2024. Way toward OSS cannot be avoided in near future considering international situation but understanding of OSS and distinguish of its advantage and disadvantages are not enough in Japanese government and remote sensing community. Therefore, we plan to start OSS step by step, starting from the area where there is large advantage in Japanese academic, business, and governmental communities. For future expansion of OSS and receive its full advantage, we should consider development of environment in hardware and software, and creating community.

衛星地球観測の初期に提供されるデータの多くは写真判読用のフィルム/印画紙であったが、現在では地球観測データも単なる「画像利用」だけでなく、「解析した物理量・情報の利用」に活動の場が大きく広がり、データシステムの中身も利用者が利用の方法も大きく変遷した。40 年以上にわたる地球観測衛星のデータシステムの変遷と今後の展開において、特徴的な点について紹介する。

一点目は、衛星の運用期間の長期化とデータ容量の増加である。もともと衛星データは、観測範囲が広く、継続的にデータが蓄積されることから、現場観測や宇宙科学衛星に比べてもデータ量が多い。センサ性能や衛星から地上にダウンロードする通信技術等の発展とともに、センサの能力（空間解像度、観測範囲）が増強され、さらに運用期間も長期化してきたことから、扱うデータ量も大幅に増加した。2003 年時点の地球観測データに関するストレージ容量は 200TB 程度だったが、20 年後には 10PB 以上に増加している。1 ファイルの容量も増加傾向にあり、次期の地球観測衛星データ提供システム（G-Portal）はクラウドに移行することを計画している。

二点目は、データの提供速度に関する要求の変化である。2000 年代以降、数値予報や水産業の分野での現業利用が進んだことで、準リアルタイムでの衛星データ提供に関する要求が増加した。当初は相手先との間に専用回線を引いてデータを送り込んでいたが、インターネットの普及によって、現在では、データ提供システムから誰でもオンラインでダウンロードが可能になった。例えば、2012 年打上げの「しずく (GCOM-W)」は、観測から 3 時間程度で全球観測のデータを提供できる仕組みを構築し、これによって国内外の気象水文機関での現業利用が格段に広がり、利用定着に結びついた。

三点目は、データの見つけやすさ・利用しやすさの発展である。宇宙機関同士で横断的に衛星データを検索できる仕組みは、地球観測衛星委員会（CEOS）の下でルール作りが行われ、すでに JAXA の衛星データも、CEOS 全体の検索ディレクトリである International Directory Network (IDN) から検索可能になっている。また、2023 年以降、G-Portal から提供する地球観測衛星プロダクトを中心に DOI の付与・整備をしている。衛星データのフォーマットは利用拡大を妨げる要因の一つと言われていたが、最近では、フォーマットを意識せずに利用者が自分でデータを可視化できるウェブ API 等を用いることで、民間企業やこれまで衛星データを利用していなかった研究者など、利用者の裾野が広がっている。

最後に、昨今、欧米を中心に、論文やデータだけでなく、ソースコードを含む処理ソフトウェア等のオープン化を推奨するオープンソースサイエンス（OSS）の活動が活発化している。JAXA では、地球観測衛星の分野での対応の検討を 2023-2024 年度に実施した。OSS 化は国際的に不可避な潮流であり、リモートセンシング分野でもゆくゆくは当たり前になる可能性が高いが、日本国内の政府機関やリモートセンシング・コミュニティでは、未だ OSS に関する理解が浸透しておらず、OSS 化に伴う課題や対応策の検討も十分ではない。地球観測分野においては OSS の導入により、①研究開発の活性化、②衛星データの利用拡大と社会実装の加速、③次世代の研究者の人材育成、④世代や組織を超えた研究の継続等のメリットがある一方で、⑤技術流出による日本の競争力低下、⑥研究コミュニティの OSS 化へのインセンティブ不足、⑦ OSS 化による開発者側の負担増等のデメリットがあると考えられる。このため、国際的な OSS 推進動向も注視しつつ、日本の産学官にとってメリットが大きく、デメリットに対応が可能と判断される部分からの段階的な対応を計画している。衛星プロジェクト/研究分野毎に OSS 化のメリット・デメリットを検討し、メリットが大きくデメリットに対処可能な対象衛星や分野について OSS 化を進める計画である。将来的な OSS 化に向けては、そのメリットを十分に享受するためにも、OSS 支援のためのハード・ソフト面での環境整備やコミュニティ醸成を進めることが望ましい。

R011-09

C 会場 : 11/24 PM2 (16:05-18:05)

16:35~16:50:00

豊川強度偏波計プロット画像のデータベース作成と過去の大フレアの規模推定

#増田 智¹⁾, 松本 圭太郎²⁾, 下条 圭美³⁾, 早川 尚志¹⁾

(¹ 名古屋大学, (² ニュージャージー工科大学, (³ 国立天文台

Database for scanned daily plots of Toyokawa Radio Polarimeters and estimation of the size of past large solar flares

#Satoshi Masuda¹⁾, Keitarou Matsumoto²⁾, Masumi Shimojo³⁾, Hisashi Hayakawa¹⁾

(¹Nagoya University, (²New Jersey Institute of Technology, (³National Astronomical Observatory of Japan

We conducted a project to scan microfilm images of time-series plots of solar radio wave (1, 2, 3.75, and 9.4 GHz) intensity and polarization observed at the Nagoya University Atmospherics Research Institute (now the Institute for Space-Earth Environmental Research) in Toyokawa in 1958-1978 and to preserve and publicly display them as a digital image database. The digitization process was completed, resulting in about 57,000 image files and about 35 GB of data. Since the data and associated metadata were organized, we created a database with DOI and made it available to the community (DOI:10.34515/DATA.TORP-00000).

Estimating the magnitude of past large solar flares that occurred before the 1980s, when solar X-ray monitoring by the GOES satellite was not yet available, will provide important information for understanding past space weather events such as geomagnetic storms and GLEs. It is known that there is a correlation between the 17 GHz peak flux and the GOES soft X-ray peak flux. Here, we examine whether this correlation also holds for low-frequency microwave data. Considering the spectrum of gyrosynchrotron radiation from accelerated electrons in solar flares, 9.4 GHz is expected to observe the most optically thin microwave radiation among the four frequencies observed by Toyokawa Radio Polarimeters (ToRP). Therefore, we first examined the correlation between the 9.4 GHz peak flux and the GOES X-ray peak flux. The flare events used were approximately 600 events observed at 9.4 GHz by the Toyokawa-Nobeyama Intensity Polarimeter from 1990 to 2014, during which GOES soft X-ray observations were active. A correlation coefficient of approximately 0.7 was obtained, demonstrating that it is possible to estimate the GOES X-ray class from the 9.4 GHz peak flux.

Thus, for the first time, we quantitatively estimated the light curves of two large solar flares observed in 1956 February by the ToRP using this relationship (Matsumoto et al., PASJ, 2023). The second flare resulted in the GLE with the greatest flux and the hardest spectrum in the observational history.

R011-10

C 会場 : 11/24 PM2 (16:05-18:05)

16:50~17:05:00

気象庁地磁気観測所におけるデータ利活用の現状と課題

#浅利 晴紀¹⁾, 長町 信吾¹⁾, 森永 健司¹⁾

(¹⁾ 気象庁地磁気観測所

Current status and challenges for data utilization at Kakioka Magnetic Observatory

#Seiki Asari¹⁾, Shingo Nagamachi¹⁾, Kenji Morinaga¹⁾

(¹⁾Kakioka Magnetic Observatory, Japan Meteorological Agency

Kakioka Magnetic Observatory has acquired continuous magnetic data on the Earth's electromagnetic field in Japan for over a century. Since 2013, it has been publishing definitive data and catalogued information on its own repository (<https://www.kakioka-jma.go.jp/obsdata/metadata/en/products>). These data are widely recognized for their high quality and have met the needs of various research fields in SGEPS. In recent years, we have been working to promote the digital utilization of historical observation data and their meta-information, as well as to improve their real-time distribution system. Progress and results have already been reported on several occasions (Asari et al. 2021, Asari and Nagamachi 2022).

This presentation will introduce the status of the following two points.

(1) Data utilization status

We will report on the results of a survey of the number of citations using DOI for the 73 datasets registered at our observatory in January 2022. In particular, we will present the current situation where the number of citations has been stagnant over the past three years (e.g., the number of citations for Kakioka geomagnetic 1-second value 10.48682/186bd.58000 searched on Google Scholar is only three) as an issue and discuss ways to promote future utilization.

(2) Attempts at automating the data processing (under the support by ROIS-DS-JOINT programs 052RP2023 and 043RP2025)

With the increasing need for immediate information on geomagnetic disturbances, we will report on our efforts to extract short-period geomagnetic phenomena in near real time. In particular, we will discuss preliminary survey results on the development of machine learning models for reading K-index values and detecting geomagnetic storms (and extracting their parameters), as well as the issues that have emerged from these efforts. The determination of geomagnetic storms requires the skilled experience and reading techniques of observatory staff, and at present, there are no reports of effective model development in other countries. This is due to the low frequency of occurrence of the phenomenon and the lack of data necessary for learning. In the future, overcoming this data shortage will be an important research issue.

気象庁地磁気観測所は、百年以上にわたり日本における地球電磁気の基準データを取得してきた。2013 年以降は、独自のリポジトリ「デジタルデータサービス (<https://www.kakioka-jma.go.jp/obsdata/metadata/ja>)」にて、確定データおよびカタログ化された情報を公開している。

これらのデータは、品質の高さが広く知られており、SGEPS における多様な研究分野のニーズに応えてきた。近年、当観測所では、歴史的観測データおよびメタ記録のデジタル利活用の促進、ならびにリアルタイム情報の即時提供システムの改善に取り組んでおり、その進捗と成果については既に複数回報告している（浅利ほか 2021、浅利・長町 2022）。

本講演では、以下の二点について現状を紹介する。

① データ利用状況

2022 年 1 月に登録作業が完了した当観測所のデータセット（全 73 種）について、DOI による被引用数の調査結果を報告する。特に、過去 3 年間で引用数が伸び悩んでいる現状（例：Google Scholar で検索される柿岡地磁気毎秒値 10.48682/186bd.58000 の引用件数は 3 件）を課題として提示し、今後の利活用促進に向けた議論を行う。

② データ処理の自動化の試み（ROIS-DS-JOINT 課題 052RP2023 と 043RP2025 に基づく）

地磁気擾乱に関する即時情報提供へのニーズが高まる中、準リアルタイムで地磁気の短周期現象を抽出する取り組みについて報告する。特に、K 指数の読み取りや地磁気嵐の検出（およびその諸元の抽出）における機械学習モデルの開発に関する予備的な調査結果と、そこから見えてきた課題について議論する。

地磁気嵐の判定には、観測所職員による熟練した経験と読み取り技術が不可欠であり、現時点では他国でも有効なモデル開発の報告は見られない。その背景には、現象の発生頻度が低く、学習に必要なデータが不足しているという課題がある。今後は、このデータ不足をいかに克服するかが、重要な研究課題となる。

BepiColombo/MMO 衛星のための統合データアーカイブの開発

#堀 智昭¹⁾, 三好 由純²⁾, Jun ChaeWoo³⁾, 新堀 淳樹²⁾, 北村 成寿²⁾, 山本 和弘⁴⁾, 千葉 翔太²⁾, 瀬川 朋紀⁵⁾, 松田 昇也⁶⁾, 村上 真也⁷⁾, 相澤 紗絵⁸⁾, 原田 裕己⁹⁾, 篠原 育⁷⁾, 浅村 和史⁷⁾, 村上 豪⁷⁾, 原 拓也¹⁰⁾

(¹⁾ 名古屋地研, (² 名古屋大学, (³ Nagoya University, (⁴ 名古屋大学宇宙地球環境研究所, (⁵ 名古屋大学全学技術センター, (⁶ 金沢大学, (⁷ 宇宙航空研究開発機構, (⁸ LPP, (⁹ CNRS, (¹⁰ University of California, Berkeley

Development of an integrated data archive for the BepiColombo/MMO satellite

#Tomoaki Hori¹⁾, Yoshizumi MIYOSHI²⁾, Chaewoo JUN³⁾, Atsuki SHINBORI²⁾, Naritoshi KITAMURA²⁾, Kazuhiro YAMAMOTO⁴⁾, Shota CHIBA²⁾, Tomonori Segawa⁵⁾, Shoya MATSUDA⁶⁾, Shin-ya MURAKAMI⁷⁾, Sae AIZAWA⁸⁾, Yuki HARADA⁹⁾, Iku SHINOHARA⁷⁾, Kazushi ASAMURA⁷⁾, Go MURAKAMI⁷⁾, Takuya HARA¹⁰⁾

(¹Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, (²Nagoya University, (³Nagoya University, (⁴Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, (⁵Technical Center of Nagoya University, (⁶Kanazawa University, (⁷Japan Aerospace Exploration Agency, (⁸LPP, CNRS, (⁹Kyoto University, (¹⁰University of California, Berkeley

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 science data archive for the Mercury Magnetospheric Orbiter (MMO, also known as Mio) spacecraft of the BepiColombo mission. The BepiColombo mission largely consists of two phases: the cruise phase and the Mercury phase. During the former phase since its launch in 2018, the spacecraft has been traveling on its way to Mercury. Some scientific instruments onboard made observations mainly during the flybys around Earth, Venus, and Mercury, although they have significant limitations in their fields of view and sensitivities. After the final orbit insertion around Mercury at the end of 2026, the Mercury phase is going to start with fully deployed and functional instruments. In terms of scientific data archive, during the cruise phase, several data products from instruments operated for limited periods are released primarily to the project members as Level-2pre data. In the meantime, we also work on development and preparation for the full set of Level-2 data products that will be routinely generated and made available to the public with some latency once the Mercury phase gets under way. One of the biggest challenges for us is to build a data archive that is compliant with the standards of National Aeronautics and Space Administration (NASA) Planetary Data System version 4 (PDS4). In addition to the PDS archive, we plan to develop and maintain another, rather conventional data archive in parallel that can be accessed by data users through the space physics environment data analysis system (SPEDAS). We therefore need special consideration in developing both data files and archives to allow us to ingest data files and metadata into both archives as efficiently and automatically as possible so that the data archives can be maintained with the least manual effort. This year, we have made the first release of a level-2pre product containing Solar Particle Monitor (SPM) data. More Level-2pre data products are currently in preparation, to be out later in this fiscal year 2025. We have also developed an experimental version of PDS labels (metadata required in a PDS archive) and their generation pipeline for Level-2 data products. In the presentation, we describe the latest status of our development and data release, and discuss their future perspective as well as some lessons learned obtained from our trial and error.

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) は、日欧共同の水星探査ミッションである BepiColombo ミッションで運用されている Mercury Magnetospheric Orbiter (MMO, 別名 Mio) の科学データアーカイブの開発を行っている。BepiColombo ミッションは大きく分けて、水星へ向かうクルージング・フェーズ (the cruise phase) と、2026 年末の水星軌道投入後の水星観測フェーズ (the Mercury phase) の 2 つから構成される。2018 年の打ち上げから続くクルージング・フェーズ中でも、MMO 衛星は幾つかの観測を用いて地球、金星、水星フライバイの時を中心に観測が行ってきたが、観測器の視野や感度について大きな制約がかかっている。一方水星軌道投入後は全観測器を用いたフルスペックの観測が行われる予定である。データ・アーカイブの観点で言うと、クルージング・フェーズ中は幾つかの観測が取得したデータを Level-2pre データとしてプロジェクトメンバー向けに公開する。またその間に Level-2 データの開発と準備を行い、水星観測フェーズが始まったら、ある程度の待ち時間後に全データが順次生成され、全科学コミュニティに向けて公開される。我々にとってもっとも挑戦的なことの 1 つは、アメリカ航空宇宙局 (NASA) が提唱する Planetary Data System version 4 (PDS4) というデータアーカイブ標準に準拠したデータアーカイブを構築することである。太陽圏サイエンスセンターでは、さらにこれと並行して、太陽地球系科学コミュニティで広く利用されている統合データ解析ツール the space physics environment data analysis system (SPEDAS) からアクセスできるような、従来型のデータアーカイブをもう 1 つ準備して、PDS4 アーカイブと同時に維持・公開していくことを計画している。これらのアーカイブを開発するには設計を熟慮し、実際の運用時に手動的な作業を最小限にして、この 2 つのデータアーカイブに可能な限り自動的かつ効率的にデータファイルを流し込めるようにする必要がある。今年度は、機上の放射線モニターである Solar Particle

Monitor (SPM) の Level-2pre データを初めて公開した。今年度中に、続いて幾つかの Level-2pre データセットが公開される予定である。また PDS ラベル (PDS アーカイブで要求されるメタデータ) ファイルと、それを自動生成するパイプラインの試作を行った。発表では、MMO 衛星データアーカイブ開発の現状と将来の展望について紹介し、またこれまで開発から得られた lessons learned についても議論したい。

R011-12

C 会場 : 11/24 PM2 (16:05-18:05)

17:20~17:35:00

SuperDARN ネットワークのデータ管理体制の近年の動向について (2025)

#西谷 望¹⁾, 行松 彰²⁾, 堀 智昭³⁾

(¹ 名大 ISEE, (² 情報・システム研究機構, (³ 名古屋大学・宇宙地球環境研究所

Latest status of the data management of the SuperDARN network (2025)

#Nozomu Nishitani¹⁾, Akira Sessai YUKIMATU²⁾, Tomoaki HORI³⁾

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

The Super Dual Auroral Radar Network (SuperDARN) is a network of high-frequency (HF) radars located in the high- and mid-latitude regions of both hemispheres, operated under an international collaboration involving more than 10 countries. The radar network has been utilized to investigate the dynamics of the ionosphere and upper atmosphere on a global scale, with a temporal resolution of at least 1 to 2 minutes. Currently, there are a total of more than 35 SuperDARN radars, with additional radars planned. One of the key topics related to the SuperDARN data distribution is the management of multichannel data from the Borealis and equivalent imaging systems, which will produce data 10 to 20 times larger than that from traditional SuperDARN radars. This topic, along with other related topics, will be introduced to discuss the current status and future perspectives of data management within the SuperDARN network.

世界 10 か国以上の国際協力による大型短波レーダーの国際ネットワークである Super Dual Auroral Radar Network (SuperDARN) におけるデータ管理体制についての最近の情勢について報告する。現在、SuperDARN レーダーネットワークでは 35 基を超えるレーダーが高緯度・中緯度領域に設置され(新レーダーも複数建設・建設準備中)、電離圏プラズマ対流速度分布や電離圏プラズマ密度変動を始めとする、磁気圏・電離圏から熱圏・上部中間圏にわたる領域に関連した観測データを 1-2 分程度の長時間分解能で継続して提供している。各レーダーは事前に決定した全体の運用スケジュールに従って稼働し、同じフォーマットのデータを生み出す。これにより、複数のレーダーデータを組み合わせたグローバルな対流分布を始めとする情報を容易に取り出すことができる。各レーダーで記録したデータは複数の mirror サーバに転送され、そこから SuperDARN 参加機関ならびにデータに興味がある研究グループに配布・公開される。

SuperDARN は従来 16-24 方向のビームを 1-2 分間でスキャンするモードを基本的に走らせており、このモードにのったデータ容量でデータ転送・配布・公開の体制を構築してきた。これに対して近年、カナダを始めとする複数のグループが同時に複数のビーム方向のデータを取得する新レーダーシステムの開発に成功している。すべてのレーダーが新システムを採用するようになると、データ転送量は 10-20 倍に膨れ上がることになる。現在のデータ転送能力の限界のため、流通しているデータは同時に 1 ビーム方向のデータに限られているが、複数チャンネルのデータに対する需要が増大するに従い、新システムの大容量データを転送・配布・公開する体制の整備が急務となる。

その他、SuperDARN ネットワークのデータ管理体制の現状と問題点、今後の課題について紹介する。

R011-13

C 会場 : 11/24 PM2 (16:05-18:05)

17:35~17:50:00

EISCAT_3D 大規模データ解析に向けたオンライン統合研究基盤の整備状況

#橋本 大志¹⁾, 小川 泰信¹⁾, 吹澤 瑞貴¹⁾, 西山 尚典¹⁾

(¹ 国立極地研究所)

Development Status of an Online Integrated Research Platform for Large-Scale Data Analysis of EISCAT_3D

#Taishi Hashimoto¹⁾, Yasunobu OGAWA¹⁾, Mizuki FUKIZAWA¹⁾, Takanori NISHIYAMA¹⁾

(¹National Institute of Polar Research)

EISCAT_3D, a distributed incoherent scatter radar system under construction in Sweden, Norway, and Finland, is expected to generate about 2 petabytes of observational data annually. As part of an international effort, Japan aims to serve as an official backup repository and provide value-added data products to promote research with EISCAT_3D. Achieving these goals requires an integrated online research platform that can efficiently host large-scale data, provide seamless access, convert data into user-specified formats, and visualize volumetric data effectively.

To address these needs, the Advanced Radar Research Promotion Center is developing an integrated research infrastructure named the Advanced Radar Research Platform (ARRP), which integrates the following services; Keycloak for single sign-on authentication, JupyterHub as an online analysis environment directly connected to EISCAT_3D data, dCache as a large-scale distributed storage system, GitLab for sharing software, documents, and knowledge, and Nextcloud as a cloud storage service for daily research activities, along with various supporting services.

In this presentation, we will report on the current development status of ARRP and discuss future perspectives.

EISCAT_3D はスウェーデン・ノルウェー・フィンランドに建設中の多点式非干渉性散乱レーダーシステムであり、年間 2 ペタバイトに及ぶ膨大な観測データを生成すると見込まれている。日本は、国際協力の一環として、その公式なバックアップリポジトリの提供元となること、および付加価値をもつデータプロダクトの整備による研究促進を目指している。これらの目的を達成するためには、大規模データのホストや、円滑なアクセスの提供、必要な形式への変換、可視化などを効率的に行える統合的なオンライン研究基盤の整備が不可欠である。

そこで、先端的レーダー研究推進センターにおいては、Advanced Radar Research Platform (ARRP) と呼ばれる統合研究基盤の構築を進めている。本システムは、シングルサインオン認証基盤である Keycloak、ストレージと直結したオンライン解析環境を提供する JupyterHub、大規模分散ストレージシステムを構築可能な dCache、ソフトウェア・ドキュメント・知識共有のための GitLab、日常的な研究活動での利用を想定したクラウドストレージ Nextcloud、およびこれらに付随する各種サービス群から構成される。

本発表では、ARRP の整備状況と、今後の展望について述べる。

R011-14

C 会場 : 11/24 PM2 (16:05-18:05)

17:50~18:05:00

COMPASS: 130 万点の歴史的地磁気記録のための IIF 準拠ポータル

#今城 峻¹⁾, 松岡 彩子¹⁾, 藤 浩明¹⁾, 小谷 翼¹⁾, 家森 俊彦²⁾, 能勢 正仁³⁾, 早川 尚志⁴⁾, 小田木 洋子¹⁾

(¹⁾ 京大地磁気センター, (²⁾ 京都大学, (³⁾ 名古屋市立大学, (⁴⁾ 名古屋大学宇宙地球環境研究所

COMPASS: An IIF-based Portal for Over 1.3 Million Historical Magnetogram Records

#Shun IMAJO¹⁾, Ayako MATSUOKA¹⁾, Hiroaki TOH¹⁾, Tsubasa KOTANI¹⁾, Toshihiko IYEMORI²⁾, Masahito NOSE³⁾, Hisashi HAYAKAWA⁴⁾, Yoko ODAGI¹⁾

(¹⁾Kyoto University, (²Kyoto University, (³Nagoya City University, (⁴Institute for Space – Earth Environmental Research, Nagoya University

Historical magnetograms are vitally important for research for space weather, space climate, and geomagnetism. However, these invaluable records have rarely been published in searchable or viewable formats, posing a significant barrier for the scientific community in terms of their accessibility. To overcome this difficulty, we developed COMPASS (Comprehensive Magnetogram Portal and Archive Service System), a web portal leveraging the International Image Interoperability Framework (IIF) for unified discovery and interactive visualization of digital magnetogram images. The IIF image server and manifests in our system allow researchers to search, download, and compare over 1.3 million high-resolution images from our archive—representing over 100 years of data from more than 100 observatories—on a single and interactive screen. The adoption of the IIF standard transforms this vast dataset into a powerful, interoperable resource, significantly enhancing its utility for the research community. This framework is expected to accelerate cross-disciplinary collaborative studies on historical geomagnetic variability.

R011-15
C 会場 : 11/25 AM1 (9:15-10:45)
9:15~9:45:00

FAIR 原則と生成 AI

#北本 朝展¹⁾

(¹ 情報研

FAIR Principles and Generative AI

#Asanobu Kitamoto¹⁾

(¹National Institute of Informatics

The FAIR principles represent a concept aimed at accelerating the circulation of knowledge through data publication platforms (repositories) that are Findable, Accessible, Interoperable, and Reusable. While constructing data in accordance with FAIR principles has become common practice in many fields, this requires tasks such as properly assigning identifiers and metadata to make data Findable. Such work has often been given low priority and postponed, but in recent years it has increasingly been undertaken as a matter of course. What powerfully reinforces this trend is generative AI. This presentation examines how generative AI can be utilized in data publication platforms and how it can thereby promote FAIR principles. For example, the Mahalo Button (<https://mahalo.ex.nii.ac.jp/>) that we are developing is an attempt to reuse usage examples from papers with generative AI in order to enhance data reusability. While introducing such initiatives, we will also discuss the new possibilities that emerge through the utilization of generative AI.

FAIR 原則とは、Findable、Accessible、Interoperable、Reusable なデータ公開基盤（リポジトリ）を通して、知の循環を加速することを目指す考え方である。FAIR 原則に合わせてデータを構築することは多くの分野で一般的となってきたが、そのためにはデータにきちんと識別子とメタデータを付与して Findable にするなどの作業が必要となる。こうした作業は優先度が低く後回しにされがちであったが、近年は当たり前のこととして取り組まれることが増えてきた。この流れをさらに強力に後押しするのが生成 AI である。本発表では、生成 AI がデータ公開基盤でどう活用でき、それによりどう FAIR 原則を促進できるかを検討する。例えば、我々が構築する Mahalo Button (<https://mahalo.ex.nii.ac.jp/>) は、データの reusability を高めるために、論文中の利用事例を生成 AI で再利用する試みである。こうした試みを紹介しながら、生成 AI の活用によって開けてくる新しい可能性についても議論する。

R011-16
C 会場 : 11/25 AM1 (9:15-10:45)
9:45~10:00:00

研究データにつながる学術情報オブジェクト ID の将来像について

#村山 泰啓^{1,3)}, 宮入 暢子^{2,3,4)}

(¹ 京都大学附属図書館研究開発室, (² 学術情報コンサルタント, (³ 国立研究開発法人情報通信研究機構, (⁴ 東京科学大学

Future perspective of scholarly information objects connected to research data

#Yasuhiro Murayama^{1,3)}, Miyairi Nobuko^{2,3,4)}

(¹Research and Development Laboratory, Kyoto University Library, Kyoto University, (²Scholarly information consultant,

(³NICT Knowledge Hub, National Institute of Information and Communications Technology, (⁴Institute of Science Tokyo

In the scientific research system, there are various scholarly information objects, including research data, papers, analysis software, and physical samples; furthermore, within the research process itself, various information such as researchers, affiliated institutions, projects, and research budgets are interconnected, forming the overall academic system and processes. Persistent Identifiers (PIDs) are designed to sustainably refer to such digital resources and can, together with machine-readable metadata as important as the IDs themselves, indicate the interrelationships of all the aforementioned research-related information. PIDs are discussed as enablers of automatic referencing between systems, reduce the input burden for researchers and institutions, enhance the visibility of research achievements and others, facilitate machine-readable integration (including with AI). So that it is expected to enable more enhanced accessibility to, and trustworthy evaluation and analysis of, various research outcomes and research-related information. Thereby significantly transforming is expected of the modes of scholarly information utilization and circulation. Similar to the early stages of Open Science's progress in past, these discussions on the benefits are not yet widely known necessarily in the research community. However, it would be desirable for science communities in Japan to discuss about possibility and understanding of such future concepts in parallel to the international activity, which are advancing in the international expert community.

研究システムにおいては多様な学術情報オブジェクトがあり、研究データ、論文、解析ソフトウェア、物理サンプル、さらに研究プロセスにおいては研究者、所属機関、プロジェクト、研究予算などの多様な情報オブジェクトが相互に研究活動そのものから、その為の所属・予算獲得等が相互に関連して全体の学術システムをなす。永続的識別子 (PID) は、デジタル資源を持続的に参照し、ID と同様にそれ以上に重要な「機械可読なメタデータ」とセットになり、前述の研究関連情報すべての相互関係性を示すことができる。システム間の自動参照、研究者や機関の入力負担の軽減、学術情報の可視性を向上させ、PID は AI をふくむ機械可読な統合を促進し、研究成果の正確な評価・分析を可能にし、学術情報の利用と流通様態を大きく変革するとも言われる。オープンサイエンスの創成期と同様、現状では研究者コミュニティの中ではこうした状況はあまり知られているとは言えない状態であるが、国際的に活発な議論や実験が進展しているこうした将来構想の潮流は、我が国でも科学に関わるコミュニティにおいて議論を進めておくことが望ましいのではないだろうか。

R011-17

C 会場 : 11/25 AM1 (9:15-10:45)

10:00~10:15:00

WDS Asa-Oceania Conference 2025 の概要と今後の展望

#渡邊 堯¹⁾

(¹ 情報通信研究機構)

Report of WDS Asa-Oceania Conference 2025

#Takashi Watanabe¹⁾

(¹ National Institute of Information and Communications Technology)

The World Data System (WDS) in the Asia-Oceania (A&O) region plays an important role in multi-disciplinary data collection, storage, management, mining, stewardship, and even knowledge discovery in the world. WDS-led international conferences on the data-related activities in the A&O region were held in 2017, 2019, 2020 (online), and 2023. The WDS China Group, the WDS community of Japan, and other stakeholders in A&O region are dedicated to establishing an open-data network in the A&O region through collaboration. This event will be held in the autumn of 2025, organized by the WDS China Group, hosted by the Institute of Geographical Science and Natural Resources Research (IGSNRR), Chinese Academy of Sciences (CAS), and the Institute of Tibetan Plateau Research (ITP),

日本学術会議情報学委員会・国際サイエンス出た分科会に所属する WDS 小委員会では、2017 年に京都市で初回を開催して以来、ほぼ隔年に北京市 (2017)、東京都 (2021)、東京都 (2023) に、アジア・オセアニア地域を主体としたオープンデータを主題とする国際研究集会を開催して来たが、2025 年 9 月 8-10 日には再び北京市に於いて開催の運びとなった (ハイブリッド方式、<https://www.wds-china.org/events.asia-oceania.html>)。セッションは、オープンデータ活動における他のデータ関連国際組織 (CODATA、WDS、ISC Regional Focal Pont for Asia and the Pacific など) との連携、A & O におけるデータレポジトリの活動強化、国際的な科学データ共有の促進と新研究分野の開発、科学データの保全・公開に向けた AI 技術の活用、科学データの長期的活用に向けた態勢の構築、高山・海洋を含む環境データの SDGs への活用、若手研究者の育成に向けた環境整備等が設定されている。またこの研究集会は、地域におけるオープンデータ関連活動のサポートの側面も有しており、研究会付属イベントとして、中国の経済・学術における対外活動のアピールの場である China International Fair for Trade in Services において、第 3 日に中国からの参加機関による、一般向けの展示会が開催される。この講演では、研究会の報告と、今後の活動に向けた提言を行う。

R011-18
C 会場 : 11/25 AM1 (9:15-10:45)
10:15~10:30:00

京大 RISH における生存圏データベース

#橋口 浩之¹⁾, 今井 友也¹⁾, 山本 衛²⁾

(¹ 京都大学生存圏研究所, (² 京都大学生存圏研究所

Humanosphere Database in RISH, Kyoto University

#Hiroyuki Hashiguchi¹⁾, Tomoya Imai¹⁾, Mamoru YAMAMOTO²⁾

(¹Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH), Kyoto University, (²Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH), Kyoto University

The database for the humanosphere consists of two types of data accumulated from research at RISH, Kyoto University. One is the collection of wood samples and wood microscopic sections placed in the xylarium; the other is the collection of digital data related to the humanosphere, including the terrestrial human habitat, the forest-sphere, the atmosphere, and outer space. These electronic data are open to the public via the Internet. To integrate information on wood samples and digital data for the public we have established the “Virtual Field for the Humanosphere” in the xylarium. RISH has been a regular member of ISC-WDS (World Data System) since 2016. This article focuses on the database based on atmospheric radar observations.

The MU radar, located at Shigaraki, Japan, is a largescale VHF radar for observing tropospheric and lower stratospheric (2-25 km), mesospheric (60-90 km), and ionospheric atmosphere. The features of the MU radar are the ability to change the radar beam direction 2,500 times per second by individually controlling 475 solid-state transceiver modules attached to each antenna element. It can also be divided to 25 independent subarrays. Even now, about 40 years after its development, it continues to be used as one of the world's most sophisticated large-scale atmospheric radars. Observation data obtained by the MU radar is open to the public immediately after observation for standard observation data conducted by RISH, and after one year has passed for other observation data. The primary processed standard observation data is open to the public on the web (<http://database.rish.kyoto-u.ac.jp/index-e.html>) as the “Humanosphere Database.”

The Equatorial Atmosphere Radar (EAR) is a largescale Doppler radar for atmospheric observation at the equator in West Sumatra in the Republic of Indonesia. The EAR has a circular antenna array of approximately 110 m in diameter, consisting of 560 three-element Yagis. It is an active phased array system with each Yagi driven by a solid-state transceiver module. Its total output power is 100 kW, and this system configuration makes it possible to direct the antenna beam electronically up to 5,000 times per second. The EAR transmits an intense radio wave of 47 MHz into the sky, and receives extremely weak echoes scattered back by atmospheric turbulence. It can observe winds and turbulence in the altitude range from 1.5 km to 20 km (troposphere and lower-stratosphere). It can also observe echoes from ionospheric irregularities at heights more than 90 km. The EAR is operated in close collaboration with the Indonesian National Research and Innovation Agency (BRIN) (formerly the National Institute for Aeronautics and Space (LAPAN)). The EAR has been continuously operated in the tropospheric and lower-stratospheric standard observation mode (TR mode) and ionospheric FAI standard observation mode (FAI mode) except for special observation or maintenance periods. As with the MU radar, the 10-minute average data of the EAR standard observations are published on the website.

The publicly available web data from the MU radar and the EAR can also be accessed through the IUGONET (Inter-university Upper atmosphere Global Observation NETwork) project (<http://www.iugonet.org/en/>). IUGONET has developed a metadata database and also the data analysis software SPEDAS/UDAS and M-UDAS, which are widely used by researchers overseas.

生存圏データベースは、京都大学生存圏研究所 (RISH) における研究成果に基づいて蓄積されたデータの集大成である。研究所が提供する生存圏データベースには 2 種類あり、一つは材鑑調査室が収集する木質標本データで、もう一つは生存圏に関する電子データである。前者では 1944 年以来収集されてきた木材標本や光学プレパラートを収蔵・公開しており、後者では大気圏から宇宙圏、さらには森林圏や人間生活圏にかかわるデータを電子化し、インターネット上で公開している。このような「もの」と「電子化」データベースを活用して共同利用・共同研究を活性化するとともに、成果を社会還元するために、材鑑調査室内に「生存圏バーチャルフィールド」を設置している。なお、本研究所は 2016 年に ISC(国際学術会議) の WDS(世界科学データシステム) の正会員として認定されている。本稿では、主に大気レーダー観測によるデータベースについて紹介する。

MU レーダーは滋賀県甲賀市信楽町に位置する中層・超高層及び下層大気観測用 VHF 帯大型レーダーであり、高度 2~25 km の対流圏・下部成層圏、高度 60~90 km の中間圏及び高度 100~500 km の電離圏領域の観測が可能である。MU レーダーの最大の特徴は、アンテナ素子毎に取り付けた小型半導体送受信機(合計 475 個)を個別制御することにより、1 秒間に 2500 回という高速でレーダービーム方向を変えることが可能であり、また、25 個のサブアレイアンテナに分割して使用することも可能である点である。こうした柔軟なシステム設計のため、開発後約 40 年を経た今も世界で最も高機能な大型大気レーダーの一つとして活躍を続けている。MU レーダーで取得された観測データは、研究所が実施する標準観測については観測後直ちに、その他の観測についても 1 年を経過したものについて公開を原則としている。1 次

処理済みの標準観測データについては、「生存圏データベース」として Web 上 (<http://database.rish.kyoto-u.ac.jp/>) で公開している。

赤道大気レーダー (Equatorial Atmosphere Radar; EAR) は、周波数 47MHz、3 素子八木アンテナ 560 本から構成される直径約 110 m の略円形アンテナアレイを備えた、インドネシア共和国の西スマトラ州コトタバンに 2001 年に完成した大型の大気観測用レーダーである。本装置は、小型の送受信モジュールが全ての八木アンテナの直下に備えられたアクティブ・フェーズド・アレイ構成をとっており、総送信出力が 100 kW、アンテナビーム方向を送信パルス毎に変えることができ、赤道域に設置されている大気レーダーの中で世界最高性能を誇っている。EAR は 47MHz の強力な電波を上空に送信し、大気乱流によって散乱された極めて微弱な散乱波を受信する。高度 1.5~20km (対流圏および下部成層圏) における風速プロファイルを観測でき、また、高度 90km 以上の電離圏不規則構造からのエコーも観測できる。EAR はインドネシア国立研究革新庁 (BRIN) (旧 航空宇宙庁 (LAPAN)) との密接な連携のもとで運営されており、2001 年 7 月から長期連続観測を続けている (落雷故障のため、2020 年 4 月~2024 年 9 月の間、観測休止)。EAR は特別観測期間や保守点検期間を除いて基本的に対流圏・成層圏標準観測モードと電離圏 FAI 標準観測モードの切替で連続観測を行なっている。MU レーダー同様、EAR 標準観測データの 10 分平均値をホームページ上で逐次公開している。

MU レーダーや赤道大気レーダーの Web 公開データには、IUGONET プロジェクト「超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究」(<http://www.iugonet.org/>) を通じてアクセス可能である。IUGONET ではメタデータ・データベースを整備するとともに、解析ソフトウェア SPEDAS/UDAS・M-UDAS も整備・公開されており、海外からの利用も多い。

R011-19

C 会場 : 11/25 AM1 (9:15-10:45)

10:30~10:45:00

World Data Center for Ionosphere and Space Weather の現状と今後について

#陣 英克¹⁾, 埜 千尋¹⁾, 津川 卓也¹⁾, 石井 守^{1,2)}

(¹⁾ 情報通信研究機構, (²⁾ 東海国立大学機構 名古屋大学宇宙地球環境研究所

Overview and Future Directions of World Data Center for Ionosphere and Space Weather

#Hidekatsu Jin¹⁾, Chihiro TAO¹⁾, Takuya TSUGAWA¹⁾, Mamoru ISHII^{1,2)}

(¹National Institute of Information and Communications Technology, (²Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University

During International Geophysical Year (IGY, 1957 – 1958), International Council for Science (ICSU) proposed the establishment of the World Data Center (WDC) to promote the distribution and utilization of observational data. Radio Research Laboratory (now NICT) participated as WDC for Ionosphere, primarily providing ionospheric data obtained through ionosonde observations.

Later, with the launch of the World Data System (WDS) in 2008, it became necessary to become a WDS member and sign a Memorandum of Understanding (MOU) in order to preserve and provide data under the ICSU-WDS framework. Since 2013, NICT has signed an MOU with WDS and has been operating as World Data Center for Ionosphere and Space Weather (WDC-ISW), preserving and publishing not only ionospheric observation data but also data related to space weather.

In recent years, the environment surrounding data has been rapidly evolving, and in order to ensure that reliable data can be widely utilized not only within its specific field but also across disciplines, it has become essential to develop well-structured data and repositories. As part of the requirements for WDS membership, CoreTrustSeal certification has been introduced. This certification not only guarantees the integrity, authenticity, and reusability of the data provided, but also includes criteria related to the long-term maintenance of data quality, organizational resources, and operational plans. WDC-ISW has been responding to these changes. For example, ionosonde observations conducted in Japan have been assigned SPASE metadata, which is a standard in space science, and have also been registered with DOIs. Furthermore, a DOI registration system has been developed to enable similar treatment for other datasets, and DOIs have been assigned to ionosonde data from Antarctica and to computational data from atmospheric and ionospheric model.

This presentation will report on the current status and future plans of WDC-ISW in light of these developments.

背景：国際地球観測年（IGY、1957-1958）に国際学術連合会議（ICSU）が観測データの流通・利用を促進する World Data Center（WDC）が提案され、電波研究所（現 NICT）は主にイオノゾンデ観測による電離圏データを提供する WDC for Ionosphere として参加した。その後、2008 年に World Data System（WDS）が発足してからは、ICSU-WDS の傘下でデータの保全・提供を行うためには、WDS の会員となり、MOU の締結が必要となった。NICT は 2013 年から WDS と MOU を締結し、WDC for Ionosphere and Space Weather (WDC-ISW) として、電離圏観測だけでなく宇宙天気に関するデータを含め、データの保全と公開を行っている。

最近の状況：近年ではデータを取り巻く環境が急速に変化し、信頼のおけるデータを当該分野だけでなく広く利活用されるためにデータリポジトリの整備が必要となった。WDS でも会員となるための要件として CoreTrustSeal の審査が加わった。この基準では、提供するデータ自体の完全性や真正性、再利用性を保証するだけでなく、それらの品質を長期的に維持するための情報基盤や取組、文書の整備、それらを支える組織のリソースや運営計画までが項目に含まれている。WDC-ISW ではこのような状況に対応した取組を行っているところである。例えば、国内イオノゾンデ観測には宇宙科学で標準のメタデータである SPASE メタデータを付与し、DOI 登録を行った。そして、他のデータにも同様な措置を行えるように DOI 登録システムを整備し、同システムを利用して南極のイオノゾンデデータや大気圏電離圏モデルの計算結果データにも DOI を付与したところである。一方、NICT 内の動きとして内閣府「公的資金による研究データの管理・利活用に関する基本的な考え方」に対応し、2024 年度から各研究プロジェクトが生成するデータに対して Data Manage Plan (DMP) とメタデータの作成・オープン化が開始されたところである。本発表では、このような WDC-ISW の現状と今後についての検討状況を報告する。

R011-20

C 会場 : 11/25 AM2 (11:05-12:35)

11:05~11:35:00

太陽大気観測データにおける特徴圧縮を用いた深層学習モデリング

#飯田 佑輔¹⁾, BATMUNKH Jargalmaa¹⁾, 朝妻 航介¹⁾, 久保 友樹¹⁾, 宇田 竜健¹⁾

(¹⁾新潟大

Deep learning modeling based on the feature compression in solar atmospheric observation

#Yusuke Iida¹⁾, Jargalmaa BATMUNKH¹⁾, Kousuke Asatsuma¹⁾, Tomoki Kubo¹⁾, Ryuken Uda¹⁾

(¹⁾Niigata University

In recent years, modeling and data analysis based on the deep learning are remarkable developing and they have a great impact on many scientific fields. In this presentation, we will introduce our modeling of solar flare prediction using deep learning in solar atmospheric observation, as well as data analysis methods of solar polarization spectra. In the solar flare prediction, the high noise level of the observational data and the limited amount of flare occurrence due to the extreme nature of the solar flare pose significant challenges for deep learning modeling. To address these issues, we employed deep learning-based feature compression methods and step-by-step learning of the model construction. We trained the CNN part of the CNN-LSTM model as an Auto-Encoder structure, and the step-by-step learning involved training in three steps: Auto-Encoder part, LSTM part, and the whole of the model. Additionally, we added a weight map based on the distance from the magnetic neutral line to the input data of the model. These improvements enabled us to achieve a very high prediction accuracy of 0.928 in True Skill Statistics (TSS). On the other hand, polarized spectral data is acquired mainly by the solar observation satellite Hinode, but analyzing the spectrum data by rule-based analysis is difficult due to its high dimensionality and high noise level, so data based on physical assumptions and magnetic field inversion is used. In contrast, by analyzing the spectral data using anomaly detection with deep learning, the abnormal spectral shapes are found, which had not been imagined before. These results demonstrate that deep learning itself is relatively robust against data noise, which is contrary to what is generally believed. We will also introduce numerical experimental results explaining why deep learning exhibits robustness against data noise at the last part of the presentation.

近年発達が著しい深層学習によるモデリングとデータの分析は、その汎用性から多くの科学分野にまで影響を与えている。本講演では、深層学習を用いた太陽大気観測データからの太陽フレア予測におけるモデリングと、それに関連した偏光スペクトルデータ分析手法について紹介する。実際の太陽大気観測データを用いた太陽フレア予測モデリングでは、データのノイズレベルが比較的大きく、また極端自然現象としてデータ数が限られていることが深層学習でモデリングする上で大きな問題である。それに対して、私たちは深層学習による特徴圧縮法やモデルの学習を段階的に行うことによって、それらの問題解消に取り組んだ。前者は、CNN-LSTM モデルにおいて CNN 部分を Auto-Encoder 構造として学習を行い、後者は Auto-Encoder, LSTM, 全体の 3 ステップで学習を行なった。また、磁気中性線からの距離の重みマップを入力データに追加した。これらの改良により、True Skill Statics (TSS) で 0.928 と非常に高い予測精度を達成した。一方で、太陽観測衛星ひのでを中心に偏光スペクトルデータが取得されているが、そのデータ解析はその高次元性・高ノイズレベルから人の手によった解析は困難であり、物理仮定に基づいた磁場インバージョンしたデータが用いられる。それに対して、深層学習を用いた異常検知によるスペクトルデータ解析を行ったところ、これまでに想像されていなかった異常なスペクトル形状が確認された。これらの結果は、深層学習が一般に言われていることとは異なり、データノイズに対して比較的頑健であることを示す。講演では、深層学習がなぜデータノイズに対して頑健性を持つのかについての、数値実験結果なども紹介する。

R011-21
C会場：11/25 AM2 (11:05-12:35)
11:35～11:50:00

#田中 良昌^{1,2,3)}, Misyats Nazar^{4,5)}, 池畑 諭⁴⁾

(¹ 国立極地研究所, (² 情報・システム研究機構 データサイエンス共同利用基盤施設 極域環境データサイエンスセンター, (³ 総合研究大学院大学, (⁴ 国立情報学研究所, (⁵ レンヌ高等師範学校

A novel reconstruction method of auroral electron flux using neural network

#Yoshimasa Tanaka^{1,2,3)}, Nazar Misyats^{4,5)}, Satoshi Ikehata⁴⁾

(¹National Institute of Polar Research, (²Polar Environment Data Science Center, ROIS-DS, (³The Graduate University for Advanced Studies, SOKENDAI, (⁴National Institute of Informatics, (⁵Department of Computer Science, ENS Rennes, France

The energy distribution of precipitating electrons responsible for auroral emissions provides crucial information for identifying where in the magnetosphere the electrons originated and what mechanisms caused their precipitation. The energy distribution of the precipitating electrons can be obtained by in-situ satellite observations, however, it is difficult for a single satellite to capture its spatial distribution and temporal evolution. In contrast, three-dimensional (3D) auroral reconstruction from multiple images taken by ground-based multi-point observations enables us to continuously capture the spatiotemporal variation of the precipitating electrons' energy. So far, auroral computed tomography (ACT) method has been developed and used for 3D auroral reconstruction. Subsequently, we developed more generalized method, called generalized-auroral computed tomography (G-ACT), which can reconstruct the energy distribution of precipitating electron flux from multi-instrument data. However, these approaches discretize 3D space into a large number of voxels, so when increasing the spatial resolution, the number of unknown parameters increases in proportion to the cube of the number of divisions, resulting in significant computational costs.

Recent advances in machine learning and artificial intelligence (AI) technologies have led to the development of new 3D reconstruction techniques using multi-view images. For example, Neural Radiance Fields (NeRF) represent radiance and occupancy of a 3D scene as implicit continuous functions modeled by deep neural networks. This allows high-resolution 3D reconstruction and visualization by simply optimizing the neural network's weights without consuming large amounts of memory. Inspired by NeRF, we have developed a novel auroral reconstruction method using neural networks in collaboration with the National Institute of Informatics. Our neural flux field models the precipitating electron flux via a neural network that outputs the precipitating energy spectrum from an input position. Then, by incorporating an auroral emission model into the loss function, we train the network to directly reconstruct the energy distribution of precipitating electron flux that best match the instrument data. The 3D distribution of auroral emissions can be easily obtained from our model. The reconstruction can be done efficiently using the GPU to accelerate the training and inference of the neural network. We compared the reconstruction results returned by our method and G-ACT on numerical simulations, and found that the neural flux reconstruction is not only faster than G-ACT but also achieves higher accuracy. In this presentation, we will present the details of the neural flux reconstruction method and discuss its potential future applications, including the EISCAT_3D project.

R011-22

C 会場 : 11/25 AM2 (11:05-12:35)

11:50~12:05:00

拡張カルマンフィルタ法で訓練された再帰的ニューラルネットによる地磁気永年変化の予測と解析

#佐藤 匠¹⁾, 藤 浩明¹⁾, 中野 慎也²⁾, Lesur Vincent³⁾, 松島 政貴⁴⁾, 南 拓人⁵⁾

⁽¹⁾ 京都大学, ⁽²⁾ 情報・システム研究機構, ⁽³⁾ パリ地球物理学研究所, ⁽⁴⁾ 東京科学大学, ⁽⁵⁾ 神戸大学

Using recurrent neural networks trained by Kalman filter to produce geomagnetic secular variation/acceleration forecasts

#Sho Sato¹⁾, Hiroaki TOH¹⁾, Shinya NAKANO²⁾, Vincent Lesur³⁾, Masaki MATSUSHIMA⁴⁾, Takuto MINAMI⁵⁾

⁽¹⁾Kyoto University Graduate School of Science, ⁽²⁾The Institute of Statistical Mathematics, ⁽³⁾Institut de Physique du Globe de Paris, ⁽⁴⁾Institute of Science Tokyo, ⁽⁵⁾Kobe University

This study proposes a novel neural network approach for improving short-term predictions of the geomagnetic secular variation (SV), introducing the EKF-RNN, a recurrent neural network (RNN) trained with an extended Kalman filter (EKF).

Traditional methods based on physical simulations suffer from high computational costs and large prediction errors during sudden events.

We developed the EKF-RNN model by leveraging past geomagnetic observatory and satellite data. The EKF dynamically updates the RNN's weights by incorporating the error covariance of the training data, which mitigates overfitting and enhances the learning process compared to conventional backpropagation. This approach also allows for the estimation of forecast error covariances while maintaining high predictive accuracy.

In a five-year hindcast experiment from 2004 to 2014, our EKF-RNN model demonstrated superior performance over existing data assimilation methods, with forecast errors kept below 85 nT. The training and validation datasets were derived from the MCM model (Ropp & Lesur, 2023), which is based on geomagnetic snapshots from global magnetic observatory hourly means and data from the CHAMP and Swarm-A satellites (Ropp et al., 2020). The results also suggest improved interpretability and robustness compared to earlier machine learning models.

This research highlights the potential of data-driven approaches in geomagnetic modeling and is expected to contribute to the improved accuracy of future geomagnetic field models.

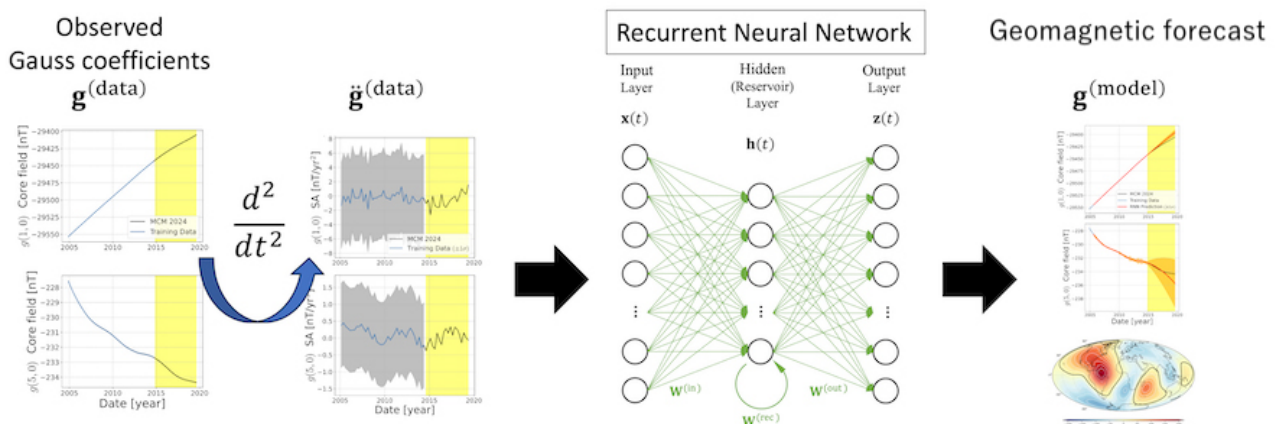
本研究は、地球磁場永年変化 (SV) の短期予測を改善するため、拡張カルマンフィルタ (EKF) で訓練された再帰型ニューラルネットワーク (RNN) である、EKF-RNN を提案する。

従来の物理シミュレーションに基づく手法は、計算コストが高く、突発的な変化が起こった際に予測誤差が大きくなるという課題があった。

我々は、過去の磁気観測データと衛星データを活用し、この EKF-RNN モデルを開発した。EKF は、教師データの誤差共分散を取り入れることで RNN の重みを動的に更新し、標準的な誤差逆伝搬法で生じやすい過学習を軽減する。これにより、高い予測精度を保ちつつ、予報誤差の共分散推定も可能にした。

2004 年から 2014 年までのデータを用いた 5 年間の再予報実験では、EKF-RNN は予測誤差を 85 nT 以下に抑え、既存のデータ同化手法を上回る性能を示した。訓練と検証のためのデータセットには、MCM モデル (Ropp & Lesur, 2023) を用いた。MCM モデルは世界中の地磁気観測所で収集された毎時の平均値から得られた地磁気スナップショット、及び CHAMP と Swarm-A の低軌道衛星データを元に作成されている (Ropp et al., 2020)。この結果は、従来の機械学習モデルに比べて解釈性とロバスト性が向上していることも示唆している。

本研究は、データ駆動型アプローチが地磁気モデリングに貢献できる可能性を強調するものであり、将来の磁場モデルの予報精度向上に寄与することが期待される。



R011-23

C 会場 : 11/25 AM2 (11:05-12:35)

12:05~12:20:00

畳み込みニューラルネットワークを用いた人工衛星表面帯電自動検出システムの開発とプラズマ環境の調査

#升野 颯人¹⁾, 寺本 万里子¹⁾, 荒木 大智¹⁾, 飯田 佑輔²⁾, 花沢 明俊¹⁾, 奥村 哲平³⁾, 岡本 博之³⁾, 北村 健太郎¹⁾

(¹九州工業大学, ²新潟大学, ³宇宙航空研究開発機構)

Development of an Automatic Detection System for Spacecraft Surface Charging Using CNNs and Investigation of Plasma Environment

#HAYATO MASUNO¹⁾, Mariko TERAMOTO¹⁾, Daichi ARAKI¹⁾, Yusuke Iida²⁾, Akitoshi Hanazawa¹⁾, Teppei Okumura³⁾, Hiroyuki Okamoto³⁾, Kentaro KITAMURA¹⁾

(¹Kyushu Institute of Technology, ²Nigata University, ³JAXA)

Spacecraft surface charging is a critical issue in space development. In particular, during missions such as debris removal and on-orbit servicing, discharges caused by potential differences between a spacecraft and its target can cause severe damage to systems and instruments. Therefore, clarifying the mechanisms of charging and establishing technologies for its prediction and detection are strongly required.

Previous studies have indicated that surface charging in low Earth orbit mainly depends on high-energy auroral electrons and the surrounding ionospheric plasma density. Gussenhoven, (JGR, 1985) defined the following conditions as indicators of charging: (1) precipitating electron flux (>14 keV) exceeding 10^8 eV cm⁻² s⁻¹ sr⁻¹ eV⁻¹, (2) ionospheric plasma density below 10^4 cm⁻³, and (3) occurrence on the nightside. However, in practice, the conditions for surface charging differ among studies and have not been consistently defined. For example, some focus solely on auroral electron flux (Meng et al., IEEE, 2017; Enengl et al., IEEE, 2023), whereas others emphasize the role of ionospheric plasma density (Anderson, JGR, 2012; Yeh and Gussenhoven, JGR, 1985). Thus, the plasma conditions leading to spacecraft charging at ionospheric altitudes remain unclear. To deepen our understanding of the charging environment, it is necessary to develop detection techniques that are independent of fixed threshold conditions, thereby improving both accuracy and coverage.

As an indirect observational method of surface charging, auroral ion sensor data onboard satellites can be used (e.g., Anderson, JGR, 2012). During charging, a characteristic ion-line structure appears in the energy – time (ET) spectrogram, formed when ionospheric ions are accelerated by the spacecraft potential and enter the sensor with energies corresponding to the charging voltage. Although this feature is an effective indicator, previous studies relied heavily on visual inspection, making statistical detection difficult.

In this study, we developed an automatic detection system for surface charging using a convolutional neural network (CNN) applied to precipitating ion flux data from the SSJ/5 instrument onboard the DMSP-F16 satellite (altitude ~830 km) during 2009 – 2019. First, 1,147 charging events were visually identified based on ion-line structures, and data augmentation was performed by adding noise. A total of 11,256 charging cases and 12,312 non-charging cases were prepared, with 70% used for training and 30% for validation. The CNN achieved 99.6% accuracy and ≈ 0.015 loss for both datasets, demonstrating highly accurate automatic detection of charging events.

Applying the trained model to the full 11-year DMSP-F16 dataset yielded 1,663 charging events. Comparison with detections based on the criteria of Gussenhoven (JGR 1985) showed that 24% of the total events had been overlooked by the conventional method but were newly detected by our CNN model. Analysis of the detected events revealed that charging was concentrated between 17:00 and 03:00 magnetic local time, with strong charging (>100 V) frequently occurring in the pre-midnight sector. Approximately 90% of the events coincided with monoenergetic electron fluxes associated with inverted-V aurora, indicating consistency between spacecraft charging processes and inverted-V formation. Moreover, the occurrence frequency increased during solar minimum, in agreement with previous results (Anderson, JGR, 2012).

We further investigated the relationship among charging events, auroral electrons, and ionospheric plasma density using SSIES data. More than 90% of detected events occurred under densities below 10^4 cm⁻³, consistent with earlier findings (e.g., Gussenhoven, 1985). According to Enengl et al. (IEEE, 2023), auroral electrons associated with charging typically exhibit mean energies $>4 - 5$ keV and integrated energy fluxes $>2 \times 10^{11}$ eV cm⁻² s⁻¹ sr⁻¹. However, our results indicate that the electron conditions vary depending on plasma density. For charging above 100 V at densities around 10^3 cm⁻³, electrons exhibited integrated fluxes $>10^{13}$ eV cm⁻² s⁻¹ sr⁻¹ with mean energies near 10 keV. In contrast, at densities near 10^2 cm⁻³, charging was triggered by lower fluxes ($>3 \times 10^{12}$ eV cm⁻² s⁻¹ sr⁻¹) and lower energies (6 – 8 keV). These findings suggest that ionospheric ion currents play a suppressive role in spacecraft charging.

In conclusion, this study demonstrates that CNN-based automatic detection enables more accurate and comprehensive identification of surface charging events compared to conventional criteria. Furthermore, by considering both auroral electron flux characteristics and ionospheric plasma density, our results suggest the potential to redefine spacecraft charging conditions, including the threshold charging potential itself.

人工衛星の表面帯電は宇宙開発における重要な課題である。特に、デブリ除去や軌道上サービスといったミッションで

は、衛星とターゲット間の電位差による放電がシステムや機器に深刻な損傷を与える可能性がある。そのため、帯電の発生メカニズムを解明し、予測・検出する技術の確立が強く求められている。

従来の研究によれば、低軌道における衛星の表面帯電は主に高エネルギーのオーロラ電子と周囲の電離圏プラズマ密度に依存しており、(1) 降下電子 ($>14\text{ keV}$) のフラックスが $>10^8\text{ eV cm}^{-2}\text{ s}^{-1}\text{ sr}^{-1}\text{ eV}^{-1}$ であること、(2) 電離圏プラズマ密度が 10^4 cm^{-3} 以下であること、(3) 衛星が夜側にあること、が帯電の指標条件として定義されてきた (Gussenhoven, JGR, 1985)。しかし、実際には表面帯電の条件は研究ごとに異なり、必ずしも統一的に示されていない。例えば、Meng et al. (IEEE, 2017) や Enengl et al., (IEEE, 2023) はオーロラ電子フラックスのみに着目している一方で Anderson (JGR, 2012) や Yeh and Gussenhoven (JGR, 1985) は電離圏プラズマ密度の影響を指摘している。このように、電離圏高度のプラズマ環境下での衛星表面帯電の発生条件は未だ明確に定義できていない。帯電を引き起こすプラズマ環境の理解を深めるためには、特定の閾値条件に依存した帯電検出ではなく、固定的な条件設定に頼らない帯電検出手法を構築し、帯電イベントの検出精度と網羅性を高める必要がある。

表面帯電の間接的な観測方法として、衛星に搭載されたオーロライオンセンサの観測データを用いる方法がある (e.g. Anderson, JGR, 2012)。表面帯電発生時にはオーロライオンセンサのエネルギー・時間 (ET) ダイアグラムには、イオンライン構造と呼ばれる特徴的なパターンが出現することが知られている。これは、衛星が負電位に帯電した際に、周囲の低エネルギーイオンが衛星電位によって加速され、帯電電位に対応したエネルギーをもってセンサに入射することで形成される。この特徴は帯電イベントの検出においての有効な指標となるが、従来研究では統計的検出が難しく、最終的には目視による確認に依存していた。

そこで本研究では、高度 830km を飛行する DMSP 衛星 F-16 号機のオーロラ電子・イオン計測器である SSJ 5 が 2009 ~ 2019 年に取得した降下イオンフラックスデータを用い、畳み込みニューラルネットワーク (CNN) による表面帯電の自動検出システムを構築した。まず、イオンライン構造が確認された 1147 例の帯電イベントを目視によって抽出し、ノイズ付加によるデータ拡張を実施した。最終的に、帯電 11,256 例と非帯電 12,312 例を学習に用い、うち 7 割を学習データ、3 割を検証データに使用した。その結果、学習データ・検証データの両方において accuracy 99.6%、loss ≈ 0.015 を達成し、CNN によって極めて高精度に帯電を自動検出できることが確認された。

さらに、本モデルを DMSP-F16 衛星の 11 年間の観測データに適用した結果、1663 件の帯電イベントを自動検出することに成功した。Gussenhoven (JGR, 1985) の定義による帯電の検出と CNN による検出を比較したところ、全帯電イベントの 24% が従来手法では見逃されており、本モデルによって新たに検出された。CNN によって抽出された帯電イベントの解析から、空間分布は特に 17 時~3 時のローカルタイムに集中し、とりわけ premidnight 側に 100V 以上の帯電が多く出現する傾向が見られた。帯電の約 9 割は inverted-V 型オーロラに伴うモノエネジェティックな電子フラックスと同時に出現しており、衛星の高電位帯電形成過程と inverted-V 構造形成過程の一致が示された。さらに DMSP 衛星に搭載された SSIES を用い電離圏プラズマ密度と、帯電イベント、オーロラ電子との関係を調べた。検出されたイベントの 9 割以上が従来の研究で確認されているように (e.g. Gussenhoven, JGR, 1985) 電子密度 10^4 cm^{-3} 以下の条件下で発生しており、太陽活動極小期に帯電イベントが増加する傾向も確認された (Anderson, JGR, 2012)。また Enengl et al. (IEEE, 2023) によれば、帯電時のオーロラ電子は平均エネルギー 4 - 5 keV 以上、積分エネルギーフラックス $2 \times 10^{11}\text{ eV cm}^{-2}\text{ s}^{-1}\text{ sr}^{-1}$ 以上を持つとされているが、本研究では、電離圏プラズマ密度によって帯電を引き起こすオーロラ電子の条件に差異がみられた。具体的には、100 V 以上の高電位帯電の発生において、プラズマ密度が 10^3 cm^{-3} 付近では、オーロラ電子の積分エネルギーフラックスは $10^{13}\text{ eV cm}^{-2}\text{ s}^{-1}\text{ sr}^{-1}$ 以上、かつ平均エネルギー約 10 keV であった。一方で、プラズマ密度が 10^2 cm^{-3} の場合には、積分エネルギーフラックスは $3 \times 10^{12}\text{ eV cm}^{-2}\text{ s}^{-1}\text{ sr}^{-1}$ 以上、平均エネルギー 6 - 8 keV 程度でも帯電が発生していた。この結果は、電離圏プラズマのイオン電流が衛星の帯電を抑制する役割を果たしていることを確認できた。以上の結果から、本研究は、CNN を用いた自動検出により衛星表面帯電イベントを従来より高精度かつ網羅的に捉えることに成功した。また、オーロラ電子のフラックス量・スペクトル形状と電離圏プラズマ密度を同時に考慮することで、帯電電位を含む新たな表面帯電条件を定義できる可能性を示した。

R011-24

C 会場 : 11/25 AM2 (11:05-12:35)

12:20~12:35:00

グレンジャー因果に基づく多変量時系列データの根本原因分析手法の開発

#大森 敬太¹⁾, 藤本 晶子¹⁾, 斎藤 寿樹¹⁾, 宮野 英次¹⁾

(¹九州工業大学)

Root Cause Analysis in Multivariate Time-Series Data Using Granger Causality

#Keita OHMORI¹⁾, Akiko FUJIMOTO¹⁾, Toshiaki SAITOH¹⁾, Eiji MIYANO¹⁾

(¹Kyushu Institute of Technology)

In recent years, the advancement of IoT and observational technologies has led to the accumulation of multivariate time series data across a wide range of fields, from natural sciences to industry. Estimating causal relationships among variables from these data and identifying the fundamental factors that drive fluctuations in the target variable are essential for understanding phenomena and making informed decisions. In this study, we propose a root cause analysis method based on the Granger causality test. The Granger causality test is a statistical method that evaluates whether the past values of one time series can statistically improve the prediction of another time series, thereby determining the presence of a pseudo-causal relationship between two variables. Our method sequentially searches for variables with significant Granger causality by tracing backward from the target variable, performs only the necessary tests to construct a Granger causality graph, and extracts the starting nodes on the causal paths as the root causes. The advantage of this method is that it reduces computational cost by conducting only the necessary tests sequentially, compared to conventional methods that test causal relationships for all variable pairs, while still identifying both direct and indirect sources of influence on the target variable. For root cause analysis, we apply the proposed method to observational data, including solar activity, solar wind parameters, and geomagnetic variations and evaluate the results in comparison with the existing time-series causal discovery method, PCMC (Peter and Clark Momentary Conditional Independence). Using the Dst index, representing geomagnetic storm activity, as the target variable, and solar activity indicators such as sunspot numbers as explanatory variables, we conduct a root cause analysis. The results show that the selected parameters and causal structure are consistent with established scientific knowledge, and that our approach yields a structure more consistent with domain expertise and easier to interpret.

近年、IoT や観測技術の発展により、自然科学から産業分野まで、多様な領域で多変量時系列データが蓄積されている。これらのデータから変数間の因果関係を推定し、目的変数の変動を引き起こす根本の要因を特定することは、現象理解や意思決定に不可欠である。本研究では、グレンジャー因果検定に基づく根本原因分析手法を提案する。グレンジャー因果検定は、ある時系列の過去値が別の時系列の将来予測を統計的に改善するかを評価し、2 変数間の擬似的な因果関係の有無を判定する統計手法である。提案手法は、目的変数から遡って有意なグレンジャー因果を持つ変数を順次探索し、必要な検定のみを実施してグレンジャー因果グラフを構築し、その経路上の起点ノードを根本原因として抽出する。本手法の特長は、全ての変数ペアに対して因果関係を検定する従来の手法に比べて、必要な検定のみを順次実施することで計算コストを削減でき、その上で目的変数に対する直接・間接の影響源を特定できる点にある。提案手法を太陽活動と地磁気変化の観測データに適用し、既存の時系列因果探索手法である PCMC (Peter and Clark Momentary Conditional Independence) と結果を比較する。地磁気の変動 (Dst 指数) を目的変数、太陽黒点数などの太陽活動パラメータを説明変数として根本原因分析を行った結果、選択されるパラメータおよび因果構造は既知の専門的知見と整合しており、より解釈しやすい構造が得られることを示す。

Unity を活用した科学衛星観測データの 3 次元可視化ツールの開発

#慈道 楓真¹⁾, 笠原 禎也²⁾, 松田 昇也³⁾

(¹⁾ 金沢大学, (²⁾ 金沢大学, (³⁾ 金沢大学

Development of a Unity-based 3D Visualization Tool for Scientific Satellite Observation Data

#Fuma Jido¹⁾, Yoshiya KASAHARA²⁾, Shoya MATSUDA³⁾

(¹⁾Kanazawa University, (²⁾Kanazawa University, (³⁾Kanazawa University

Plasma wave and plasma particle data observed by scientific satellites are typically multi-dimensional. For instance, in plasma wave observations, the power spectral density is represented in two dimensions: time and frequency. To analyze spatial distribution, the satellite location must be considered as an additional dimension. For more detailed analysis, the dataset becomes more complex, as it is essential to examine dependencies on parameters such as season, solar activity, and geomagnetic indices. In order to analyze such multi-dimensional datasets effectively, adding several limiting constraints and/or dimensionality reduction are typically applied. However, it is difficult to visualize the overall picture of plasma wave activity because it requires many figures.

In this study, we developed a Unity-based visualization software to visualize plasma wave activity in a virtual reality (VR) environment using data measured by scientific satellites. By using VR goggles, the software enables visualization of spatial wave activity from any angle and allows interactive modification of analysis conditions, thereby enabling the immediate visualization of a huge observed dataset.

In this presentation, we introduce the technique for visualizing the spatial distribution of plasma wave electric power spectral density (OFA-SPEC) data measured by the Arase/PWE from 2017 to 2023.

科学衛星によって観測されたプラズマ波動やプラズマ粒子の特性解析では、しばしば多次元のデータセットを取り扱う。例えばプラズマ波動観測の場合は、時刻と周波数の 2 次元でパワースペクトル密度を表現することが多く、これに空間の次元が加わる。より詳細な解析には、季節や太陽活動度、磁気擾乱度などの依存性の調査が重要であり、それらを加えるとデータセットはさらに複雑化する。これらを効果的に解析するために、解析条件を限定する操作や、多次元からなるデータから特定の次元を切り出す操作を行うことが一般的である。しかしながら、全体の様子を俯瞰するには膨大な数の図を比較することとなり、直感的に理解しやすい全体像を可視化することは困難であった。

そこで我々は、ゲームエンジン Unity を活用して、科学衛星によるプラズマ波動観測データを VR 空間に描画し、その全体像を可視化するソフトウェアを開発した。本ソフトウェアでは、VR ゴーグルを活用することで、現象の空間分布をあらゆる角度から観察することを可能とするとともに、解析条件をインタラクティブに変更可能とすることで、大規模な観測データを即座に可視化することを可能とした。

本発表では、あらせ衛星に搭載されたプラズマ波動・電場観測器 (PWE) で観測された 2017 年から 2023 年までの電界パワースペクトル密度データ (OFA-SPEC) を用い、プラズマ波動現象の空間的な強度分布を可視化する手段を述べる。

R011-P02

ポスター 3 : 11/26 PM2/PM3 (14:50-18:25)

分野横断型研究データベース AMIDER とオープンデータ推進の取り組み

#小財 正義¹⁾, 田中 良昌¹⁾, 阿部 修司²⁾, 南山 泰之³⁾, 新堀 淳樹⁴⁾, 張 麒¹⁾, 門倉 昭¹⁾

⁽¹⁾ROIS-DS, ⁽²⁾九州大学, ⁽³⁾東京大学, ⁽⁴⁾名古屋大学

Interdisciplinary Research Database AMIDER and Related Initiatives for Open Data

#Masayoshi Kozai¹⁾, Yoshimasa TANAKA¹⁾, Shuji ABE²⁾, Yasuyuki Minamiyama³⁾, Atsuki SHINBORI⁴⁾, Qi Zhang¹⁾, Akira KADOKURA¹⁾

⁽¹⁾ROIS-DS, ⁽²⁾Kyushu Univ., ⁽³⁾UTokyo, ⁽⁴⁾Nagoya Univ.

The AMIDER (Advanced Multidisciplinary Integrated-database for Exploring new Research; <https://amider.rois.ac.jp/>) website was released in April 2024 to demonstrate an advanced data-sharing platform targeting non-expertized users interested in connecting to diverse scientific fields. Diverse scientific data mainly in polar science, including solar-terrestrial physics data, meteorology data, meteorite samples, and animal specimens, are registered thanks to a collaboration with Japanese polar science communities. Further expansion of the database beyond polar science is also ongoing. AMIDER is characterized as an integrated system applicable to different data types, such as physical observation data and specimens, and a user-friendly web application. Users can grasp diverse research data at a glance through AMIDER's catalog view, which was inspired by web marketing and consists of thumbnail images and snippets. Multidisciplinary data curation and management are also the AMIDER's uniqueness, where multiple metadata schemas are integrated, and standardized and self-describing data formats are adopted. Data curation software, such as a metadata handling tool, is developed and released (<https://github.com/AMIDER-dev>). More advanced attempts, such as applying natural language processing to metadata, are also ongoing. In this presentation, we introduce AMIDER's design, operation status, efforts to expand the dataset, and advanced developments.

SLIM マルチバンド分光カメラデータの PDS4 準拠アーカイブの準備

#村上 真也¹⁾, 山田 善彦¹⁾, 横田 康弘²⁾, 仲内 悠佑³⁾, 西野 真木¹⁾, 佐藤 広幸¹⁾, 大竹 真紀子⁴⁾, 長岡 央³⁾, 本田 親寿⁵⁾, 石原 吉明¹⁾, 宮崎 理紗¹⁾, 梶谷 伊織¹⁾, 西谷 隆介¹⁾, 佐伯 和人³⁾

⁽¹⁾ 宇宙航空研究開発機構, ⁽²⁾ 東京科学大学, ⁽³⁾ 立命館大学, ⁽⁴⁾ 岡山大学, ⁽⁵⁾ 会津大学

Preparation of PDS4-compliant SLIM Multiband Camera Data Archive

#Shin-ya Murakami¹⁾, Yoshihiko Yamada¹⁾, Yasuhiro Yokota²⁾, Yusuke Nakauchi³⁾, Masaki NISHINO¹⁾, Hiroyuki Sato¹⁾, Makiko Ohtake⁴⁾, Hiroshi Nagaoka³⁾, Chikatoshi Honda⁵⁾, Yoshiaki Ishihara¹⁾, Risa Miyazaki¹⁾, Iori Kajitani¹⁾, Ryusuke Nishitani¹⁾, Kazuto Saiki³⁾

⁽¹⁾ Japan Aerospace Exploration Agency, ⁽²⁾ Institute of Science Tokyo, ⁽³⁾ Ritsumeikan University, ⁽⁴⁾ Okayama University,

⁽⁵⁾ The University of Aizu

The small lunar lander SLIM was launched in 2023 by JAXA arrived near the SHIOLI crater on January 20, 2024, and performed observations by Multiband Camera (MBC). JAXA Lunar and Planetary Exploration Data Analysis group (JLPEDA) was working for archiving of data acquired by these observations in cooperation with the SLIM MBC team. This archive is compliant with the international archiving standard PDS4, and will be opened to the public at the JAXA/ISAS's data distribution system, DARTS. In this presentation, we will explain our preparation of the SLIM MBC archive.

PDS4 is the archiving standard for long-term preservation and utilization of planetary exploration data, which is developed by NASA Planetary Data System (PDS).

PDS4 is recommended by International Planetary Data Alliance (IPDA) which is made up of people in charge of archiving planetary exploration data at space agencies in the world, and it has been used not only by NASA, but also by ESA, JAXA, ISRO, CNSA, and UAE SA.

In the PDS4, data is hierarchically structured and grouped in (basic) product, collection, and bundle.

Collection is a set of (basic) products, and bundle is a set of collections.

A bundle relevant to SLIM MBC data is that SLIM Mission Bundle which stores SLIM's mission-wide information, SLIM MBC Bundle which stores SLIM MBC data, and SLIM SPICE Kernel Archive Bundle which stores ancillary data for computing observation geometry.

In the SLIM MBC Bundle, there are six collections divided according to the type of data.

Raw Data Collection, Calibrated Data Collection, Mosaic Collection, Calibration Collection, Document Collection, and Browse Collection which contains quick look images.

PDS4 requires "label" for each product, which describes metadata and file structure such as offset of data array and length of header in Extensible Markup Language (XML). Following the procedure developed for the Hayabusa2 and Akatsuki's PDS4 bundles, labels are created using the Python's template engine Jinja to generate label for each product.

In the presentation, we will also introduce the latest status of the archive preparations, and the findings obtained through the preparation.

JAXA が 2023 年に打ち上げた小型月着陸実証機 SLIM は 2024 年 1 月 20 日に SHIOLI クレーター付近に着陸し、マルチバンド分光カメラ (MBC) による観測を実施した。JAXA 月惑星探査データ解析グループ (JLPEDA) は SLIM MBC チームと協力し、この観測で得られたデータのアーカイブ化を実施している。このアーカイブは国際アーカイブ標準 PDS4 に準拠し、JAXA 宇宙科学研究所のデータ公開システム DARTS より公開される予定である。本発表では、この SLIM MBC アーカイブの準備について紹介する。

PDS4 は NASA Planetary Data System (PDS) によって開発された、惑星探査データの長期保存・長期利用を目的としたアーカイブ標準である。世界各国の宇宙機関の実務者で構成される International Planetary Data Alliance (IPDA) によって採用が推奨されており、NASA のみならず ESA, JAXA, ISRO, CNSA, UAE SA などでも実際に利用されている。

PDS4 ではデータを (基本) プロダクト、コレクション、バンドルの順に階層的にグループ化して扱う。基本プロダクトの集合がコレクションで、コレクションの集合がバンドルである。

SLIM MBC に関係するバンドルは、SLIM ミッション全体の情報を格納する SLIM バンドル、SLIM MBC のデータを格納する SLIM MBC バンドル、そして観測幾何情報を計算するために必要な附帯情報を格納する SLIM SPICE カーネルアーカイブバンドルである。

SLIM MBC バンドルには、データの種別に応じて分けられた 6 つのコレクションがある。生データを格納する Raw Data Collection, 校正済みデータを格納する Calibrated Data Collection, モザイクデータを格納する Mosaic Collection, 校正用のデータを格納する Calibration Collection, 説明文書を格納する Document Collection, そしてクイックルック画像を格納する Browse Collection である。

PDS4 では一つのプロダクトに対して一つのラベルを用意する必要がある。このラベルにはメタデータやファイルを読むために必要なデータ構造 (例えばデータ配列のオフセットやヘッダの長さ) を Extensible Markup Language (XML) で記載する。このラベルの作成処理については、はやぶさ 2・あかつきの PDS4 バンドルのために開発した手順を踏襲し、Python のテンプレートエンジン Jinja を用いてラベルを作成している。

発表では、アーカイブの準備の最新状況および今回のアーカイブ準備で得られた知見についても紹介する予定である。

磁気嵐による人工衛星・宇宙デブリ軌道低下の確率過程的モデリングと機械学習による予測

#福田 創士¹⁾, 江本 茉由莉¹⁾, 藤本 晶子¹⁾

⁽¹⁾九州工業大学

Stochastic Process-Based Modeling of Storm-Induced Orbital Decay with Machine Learning Prediction

#Soushi Fukuda¹⁾, Mayuri Emoto¹⁾, Akiko Fujimoto¹⁾

⁽¹⁾Kyushu Institute of Technology

With the growing utilization of outer space, the safe operation of satellites and the mitigation of space debris have become critical challenges. Geomagnetic storms, triggered by the interaction between the solar wind and Earth's magnetosphere, cause a rapid increase in upper atmospheric density, enhancing atmospheric drag and accelerating orbital decay of satellites and debris. The mass deorbiting of Starlink satellites in 2022 highlighted that storm-induced altitude loss can directly shorten satellite lifetimes and lead to loss of control.

This study aims to quantitatively evaluate storm-induced orbital decay of satellites and debris within a stochastic process framework. We define the “cumulative altitude loss” as the total decrease in orbital altitude from the onset of a storm up to n days, and statistically characterize its probability distribution across altitude-inclination bins. Based on multiple storm events, the cumulative altitude loss is assumed to follow a normal distribution, from which the mean (μ) and standard deviation (σ) are derived. Furthermore, we construct a machine learning model trained on storm-event datasets to predict μ and σ as functions of altitude, inclination, elapsed days, and storm parameters. The resulting distributions $N(\mu, \sigma)$ are then used to calculate the probability of exceeding a given threshold of altitude loss, thereby providing a probabilistic risk assessment.

Through this framework, we demonstrate that storm-induced orbital decay can be captured and predicted using a stochastic process-based modeling approach combined with machine learning. The results are expected to serve as a new tool for optimizing satellite operations and developing risk mitigation strategies for debris collision avoidance under space weather disturbances.

近年、宇宙空間の利用拡大に伴い、人工衛星の安全な運用と宇宙デブリの低減は重要課題となっている。特に、太陽風と地球磁気圏の相互作用によって発生する磁気嵐は上層大気密度を急増させ、その結果として大気抵抗を強め、衛星やデブリの軌道低下を加速する。2022年のスターリンク衛星大量落下事例は、磁気嵐による高度低下が衛星寿命の短縮や制御不能化を直接引き起こし得ることを示した。

本研究では、磁気嵐に起因する人工衛星および宇宙デブリの軌道高度低下を確率過程的枠組みで定量評価することを目的とする。具体的には、磁気嵐開始から n 日目までの軌道高度減少量を「累積高度低下量」と定義し、初期高度と軌道傾斜角によるビンごとにその確率分布を統計的に特徴づける。複数の磁気嵐イベントに基づき、累積高度低下量が正規分布に従うと仮定して平均値 (μ) と標準偏差 (σ) を導出する。さらに、磁気嵐データセットを用いて機械学習モデルを構築し、高度・傾斜角・経過日数・磁気嵐パラメータを入力として各ビンにおける (μ, σ) を予測可能とする。この結果得られる確率分布 $N(\mu, \sigma)$ を用いて、累積高度低下量が特定閾値を超える確率を算出し、リスクを定量的に評価する。

本研究により、磁気嵐に伴う軌道低下を確率過程的に捉え、機械学習により予測可能であることを示す。この枠組みは、宇宙天気擾乱下における衛星運用計画の最適化や、宇宙デブリ衝突回避のためのリスク低減戦略の策定に寄与することが期待される。

Tweedie 回帰を組み込んだアンサンブル学習による赤道プラズマバブル最大高度推定

#牛王 悠輝¹⁾, 成合 秀飛¹⁾, 吉野 郁海¹⁾, 藤本 晶子¹⁾

⁽¹⁾ 九州工業大学

Estimation of Equatorial Plasma Bubble Altitudes with Ensemble Learning Models Incorporating Tweedie Regression

#Yuki Gou¹⁾, Hideto Nariai¹⁾, Ikumi Yoshino¹⁾, Akiko Fujimoto¹⁾

⁽¹⁾ Kyushu Institute of Technology

This study focuses on equatorial plasma bubbles (EPBs), ionospheric disturbances that may cause communication failures in satellite communication and navigation systems. These bubbles are depleted regions rising from the bottom side ionosphere to higher altitudes and extending along geomagnetic field lines, with their extent proportional to the equatorial development altitude. While typical EPBs reach ~500 km, strong solar activity can drive them above 1000 km [Huang et al., 2018]. Estimating their altitude distribution is therefore vital for assessing impacts across low-to-mid latitudes.

This study aims to estimate the maximum development altitude of equatorial plasma bubbles (EPBs) based on space weather parameters. The proposed approach is formulated as a supervised regression task, where space weather parameters such as solar activity, geomagnetic activity, and interplanetary magnetic field serve as explanatory variables, and the maximum EPB development altitude is the target variable. To achieve robust prediction and capture nonlinear relationships, we employ tree-based ensemble learning models, including Random Forest, Gradient Boosting, and XGBoost. In addition, we exploit the fact that high-altitude EPBs extend along geomagnetic field lines from the equator to middle and high latitudes, introducing altitude retrieval as an inverse problem.

In the first experiment, we develop a method to estimate EPB altitudes from ROTI (Rate of TEC Index) derived from GNSS data. ROTI signatures at middle and high latitudes are projected along geomagnetic field lines to reconstruct equatorial altitude distributions. A candidate altitude $h(t)$ is identified as the maximum altitude $H_{upper}(t)$ when it is at most 3000 km, with at least two detections within ± 10 minutes and variance exceeding 50 km.

In the second experiment, these derived altitudes were used as training labels for machine learning models. Ten geomagnetic storm events between 2016 and 2022 were analyzed. XGBoost with a Tweedie regression loss achieved the best performance, yielding a mean absolute error of 149.7 km and an adjusted R^2 of 0.58, reflecting the suitability of the Tweedie distribution for modeling the target variable.

This study demonstrates a new approach for estimating EPB altitudes by integrating GNSS-based inversion with machine learning. XGBoost with Tweedie regression shows strong potential. Future work will focus on improving prediction accuracy through model design that incorporates EPB dynamics, by refining the loss function and introducing explanatory variables that account for seasonal, diurnal, and temporal variability.

本研究は、衛星通信や測位システムに障害を引き起こす可能性のある電離圏擾乱、プラズマバブルに着目する。プラズマバブルは電離圏下部に形成された低電子密度領域が高高度に上昇し、磁力線に沿って赤道から中・高緯度へ広がる現象であり、その緯度方向の広がりには赤道域での発達高度に比例する。典型的には高度約 500 km に達するが、太陽活動が活発な時期には 1000 km を超える場合もある [Huang et al., 2018]。したがって、その高度分布を推定することは、中・低緯度での影響評価に重要である。

本研究は、宇宙天気パラメータに基づいて赤道プラズマバブル (EPB) の最大発達高度を推定することを目的とする。提案手法として、太陽活動・地磁気活動・惑星間磁場などの宇宙天気パラメータを説明変数、最大発達高度を目的変数とする教師あり回帰タスクとして設計する。さらに、非線形関係を捉え、ロバストな予測が可能な決定木ベースのアンサンブル学習手法 (Random Forest, Gradient Boosting, XGBoost) を採用する。また、本研究では「高高度まで発達した EPB が磁力線に沿って赤道域から中・高緯度へ拡大する」という事実を利用し、高度を逆問題として推定する手法を導入する。

第 1 の実験では、GNSS 全電子量 (TEC) データから算出される ROTI (Rate of TEC Index) を用いて EPB 高度を推定する手法を開発する。本手法では、中・高緯度で観測された ROTI を磁力線に沿って射影し、赤道域の高度分布を再構成する。候補高度 $h(t)$ は、 $h(t)$ が最大で 3000 km 以下であり、 ± 10 分以内に 2 点以上の検出があり、かつ同時刻幅における分散が 50 km を超える場合に最大到達高度 $H_{upper}(t)$ として特定する。

第 2 の実験では、実験 1 で推定する最大到達高度を教師データとして機械学習モデルを構築する。2016 年から 2022 年に発生した 10 件の磁気嵐イベントを解析した結果、Tweedie 回帰の損失関数を組み込んだ XGBoost モデルが最も高い性能を示し、平均絶対誤差 149.7 km、自由度調整済み決定係数 R^2 が 0.58 を得た。この結果は、目的変数の統計的特性を表現する上で Tweedie 分布が適していたためと考えられる。

本研究は、GNSS 由来の ROTI 逆解析と機械学習を統合し、EPB の最大発達高度を推定する新しいアプローチを提示する。特に、Tweedie 回帰を導入した XGBoost モデルの有効性を示し、磁気嵐時の高度推定において有望な結果を得た。今後は、損失関数の改良や季節・日変化、時間依存性を考慮した説明変数の導入により、EPB ダイナミクス考慮したモデル設計によって推定精度のさらなる向上を目指す。

コロナホール動画の形状保持型埋め込みによる外帯放射線帯電子フラックス異常増加の機械学習予測

#田村 伊織¹⁾, 近藤 蒼一郎¹⁾, 野口 怜莉¹⁾, 藤本 晶子¹⁾

⁽¹⁾九州工業大学

Shape-Preserving Embedding of Coronal Hole Sequences for Predicting Radiation Belt Electron Flux Enhancements

#Iori Tamura¹⁾, Soichiro Kondo¹⁾, Reiri Noguchi¹⁾, Akiko Fujimoto¹⁾

⁽¹⁾Kyushu Institute of Technology

Variability of relativistic electron flux in the Earth's outer radiation belt is closely linked to solar activity. In particular, high-speed solar wind streams from solar coronal holes frequently drive flux enhancements, which can cause severe impacts on geostationary satellites. Predicting such enhancements is therefore a key challenge in both satellite operations and space weather science.

In this work, we introduce a shape-preserving embedding framework that represents coronal hole dynamics in extreme ultraviolet (EUV) solar images for machine learning – based prediction of >2 MeV electron flux enhancements. The approach preserves the spatial morphology of coronal holes while reducing data dimensionality, embedding three-dimensional image sequences into two-dimensional time – vector arrays suitable for lightweight CNN models. We compare two representation strategies—presence/absence and occurrence ratio—and show that embedding quality plays a crucial role in classification performance.

Experiments using NASA's SDO/AIA 211 Å images (2016 – 2018 for training, 2019 for testing) and GOES-15 relativistic electron flux measurements reveal that the occurrence ratio embedding combined with a shallow CNN achieves the best results, with the optimal configuration— 4×4 grid partitioning, 3×3 convolutional kernel, and a 72-hour sequence length—yielding an F1 score of 0.6098. This demonstrates that, when effectively embedded, coronal hole morphology provides predictive information about outer radiation belt responses.

Our results indicate that shape-preserving embeddings of solar coronal hole structures can provide a computationally efficient approach for forecasting radiation belt electron flux enhancements. Future work will extend this method to advanced temporal architectures such as LSTM (Long Short-Term Memory) and Transformer and explore multimodal integration with additional solar and geospace parameters, aiming to develop a more general and scalable framework.

地球外帯放射線帯における相対論的電子フラックスの変動は太陽活動と密接に関係しており、特にコロナホールからの高速太陽風は電子フラックス異常増加の主要因である。これらの現象は静止軌道衛星に深刻な影響を与える可能性があるため、予測は宇宙天気研究および衛星運用における重要課題となっている。

本研究では、 >2 MeV 電子フラックス異常増加の予測を目的として、太陽極端紫外線 (EUV) 画像におけるコロナホール動態を表現する形状保持型埋め込み手法を導入する。本手法は、コロナホールの空間的形態を保持しつつデータ次元を削減し、3次元の動画データを2次元の時系列ベクトル配列に変換して軽量CNNモデルに適用するものである。また、コロナホール領域の表現方法として、閾値による存在判定と出現率利用を比較し、埋め込み品質が分類性能に及ぼす影響を明らかにする。

SDO/AIA 211Å 画像 (2016 – 2018 年を学習、2019 年をテスト) と GOES-15 電子フラックス観測を用いた実験の結果、出現率を用いた埋め込みと小規模CNNの組み合わせが最良の性能を示し、最良の設定 (4×4 グリッド、 3×3 カーネル、72 時間系列) において F1 スコア 0.6098 を達成した。この結果は、コロナホール形態が効果的に埋め込み表現された場合、外帯放射線帯応答の予測に有用な情報を提供することを示している。

以上の結果は、太陽コロナホール構造の形状保持型埋め込みが、放射線帯電子フラックス異常増加の計算効率的かつ高精度な予測を可能にすることを示しており、太陽観測と機械学習表現技術を組み合わせた宇宙天気予報能力の向上に資するものである。今後は、LSTM (Long Short-Term Memory) や Transformer などの高度な時系列モデルへの拡張や、他の太陽・地球空間パラメータとの統合を通じて、汎用的かつスケーラブルな枠組みへ発展させることを目指す。

深層学習とモルフォロジー処理による地磁気スペクトログラムからの磁力線共鳴 FLR の自動検出と周波数抽出

#野口 怜莉¹⁾, 尾花 由紀²⁾, 田村 伊織¹⁾, 近藤 蒼一郎¹⁾, 藤本 晶子¹⁾

(¹九州工業大学, (²九州大学

Automated FLR Detection and Frequency Extraction from Geomagnetic Spectrograms Using Deep Learning and Morphological Processing

#Reiri NOGUCHI¹⁾, Yuki OBANA²⁾, Iori TAMURA¹⁾, Soichiro KONDOU¹⁾, Akiko FUJIMOTO¹⁾

(¹Kyushu Institute of Technology, (²Kyushu University

Field line resonance (FLR) provides key diagnostics of plasmaspheric density but remains difficult to identify reliably in noisy spectrograms. We propose a novel framework that applies deep learning and morphological image processing to automate FLR detection and frequency extraction, highlighting the value of data-driven approaches in geospace science.

Our method uses paired spectrograms from amplitude-ratio and phase-difference analyses. An FLR discrimination model, based on ResNet18 transfer learning, classifies FLR presence in phase-difference spectrograms. Noise is suppressed with a variance-based filter that retains only low-variance regions, improving resonance visibility. For frequency estimation, Grad-CAM visualizations of the trained model highlight FLR regions, which are intersected with amplitude-ratio spectrograms. Morphological dilation/erosion and differencing along the frequency axis then yield FLR frequencies.

Using 4,987 paired images (80/20 split), the model achieved 0.839 accuracy, 0.875 precision, 0.890 recall, and 0.882 F1-score. False negatives were minimized, and errors mainly arose from visually ambiguous cases. Frequency detection showed successful cases, but overall stability remains limited and further refinement is required.

This work introduces an image-based paradigm for FLR analysis, combining computer vision techniques with geophysical diagnostics. The proposed approach not only supports automated plasmaspheric density estimation but also offers broader applicability to ionospheric and magnetospheric data, contributing to space environment modeling and forecasting.

磁力線共鳴 (FLR) はプラズマ圏密度診断に有効な指標であるが、雑音を含むスペクトログラムから信頼性高く同定することは容易ではない。本研究は、深層学習とモルフォロジー画像処理を組み合わせ、FLR 検出と周波数抽出を自動化する新しい手法を提案し、地球宇宙科学におけるデータ駆動型アプローチの有効性を示す。

手法としては、振幅比法および位相差法から得られるペアのスペクトログラム画像を入力とする。位相差法スペクトログラムについては、ResNet18 を用いた転移学習による FLR 判別モデルを構築し、局所的な分散値に基づくフィルタリングによって雑音を低減した。周波数抽出では、学習済みモデルの Grad-CAM を用いて FLR 領域を可視化し、これを振幅比法スペクトログラムと論理積処理した後、モルフォロジー処理 (膨張・収縮) と周波数軸方向の差分計算により FLR 周波数を算出する。

4,987 組のスペクトログラム (学習 80%, 検証 20%) を用いた評価の結果、FLR 判別モデルは平均正解率 0.839, Precision 0.875, Recall 0.890, F1-score 0.882 を達成した。誤判別の多くは目視でも FLR の有無が曖昧なケースであり、今後は特徴量抽出や多値分類の導入により改善が期待される。周波数検出では成功例が確認されたが、全体としての安定性は十分ではなく、さらなる改良が必要である。

本研究は、コンピュータビジョン技術と地球物理学的診断を融合した画像ベースの新しい FLR 解析手法を提示する。本手法はプラズマ圏密度の自動推定を支援するのみならず、電離圏・磁気圏データ解析への応用にも広がり、宇宙環境モデル化や予測精度向上に寄与する可能性を有する。

R011-P08

ポスター 3 : 11/26 PM2/PM3 (14:50-18:25)

#中野 慎也¹⁾, 片岡 龍峰²⁾, 能勢 正仁³⁾

⁽¹⁾ 統計数理研究所, ⁽²⁾ 沖縄科学技術大学院大学, ⁽³⁾ 名古屋市立大学

Climatology of Pi2 activity deduced from a machine-learning-based analysis of the Wp index

#Shinya Nakano¹⁾, Ryuho KATAOKA²⁾, Masahito NOSE³⁾

⁽¹⁾The Institute of Statistical Mathematics, Research Organization of Information and Systems, ⁽²⁾Okinawa Institute of Science and Technology, ⁽³⁾Nagoya City University

We examine the seasonal and universal time (UT) dependence of Pi2 pulsation occurrence rates. Pi2 pulsations are identified using the Wp index, which represents the wave power of Pi2 pulsations. The results show that the Pi2 occurrence frequency is strongly dependent on the dipole tilt angle, which is equal to the geomagnetic latitude of the subsolar point. This means that the diurnal and annual variations of the Pi2 activity are mostly controlled by the so-called equinoctial effect. We also analyze the relative contribution of the Russell-McPherron effect and axial effect, both of which are attributed to the seasonal and UT variations of the solar wind observed around the Earth. We employ a machine-learning-based model trained to predict the Pi2 occurrence rate, and various synthetic data are fed into this model to discriminate the contribution of the Russell-McPherron and axial effects from the equinoctial effect. The result shows that the contributions of Russell-McPherron and axial effects to the Pi2 occurrence rate are minor. Moreover, it is suggested that the solar wind speed mostly explains the residuals which cannot be explained by the equinoctial effects. The Pi2 occurrence rate also has a UT dependence independent of the equinoctial effect, where the Pi2 activity tends to be depressed around 0-7 UT for all seasons. This UT variation perhaps corresponds to that observed in the AE index, although it is possibly due to the non-uniform distribution of geomagnetic observatories used for obtaining the Wp index.