

2-5 安定した通信を支える宇宙天気予報技術の展示

2-5 Exhibition of Space Weather Forecast for Supporting Stable Communications

津川 卓也 Park Inchun 関口 武美 大辻 賢一 齊藤 慎司

高橋 直子 中山 健司 齊藤 昭則

TSUGAWA Takuya, PARK Inchun, SEKIGUCHI Takemi, OTSUJI Kenichi, SAITO Shinji,

TAKAHASHI Naoko, NAKAYAMA Kenji, and SAITO Akinori

太陽表面での爆発現象「太陽フレア」などにより、地球周辺の宇宙環境が乱れると、その規模により、通信・放送、宇宙システム運用等の重要インフラに影響を与えることがある。こうした宇宙環境の変動は「宇宙天気」と呼ばれている。NICT では 24 時間 365 日宇宙天気の監視・予測を行い、その情報を「宇宙天気予報」として配信するとともに、宇宙天気予報の高度化のための研究開発を行っている。2025 大阪・関西万博（以下、大阪・関西万博）における「Beyond 5G ready ショーケース」での展示では、宇宙天気予報の一例として、監視をしている太陽の様子や予報しているオーロラの出現を来場者にわかりやすく理解してもらうため、操作可能なデジタル地球儀を製作した。また、研究開発プロジェクトの一例として、次期静止気象衛星「ひまわり 10 号」へ搭載するために開発中の宇宙環境センサの実物大模型を製作した。本稿では、これらの展示品の概要と展示の様子について紹介する。

Explosive phenomena on the sun's surface, that is solar flares, and other disturbances in the space environment around Earth can impact critical infrastructure such as communications, broadcasting, and space system operations, depending on their scale. These disturbances in the space environment are referred to as "space weather." NICT monitors and forecasts space weather 24/7, distributing this information as "space weather forecasts" while also conducting R&D to enhance these forecasts. For the exhibition at the "Ready 5G Ready Showcase" in Expo 2025 Osaka, Kansai, Japan, NICT created a large, interactive digital globe. This display helped visitors easily understand the monitored state of the Sun and the forecasted appearance of auroras. As an example of its R&D projects, NICT also produced a full-scale model of the space environment sensors currently under development for installation on the next-generation geostationary meteorological satellite (Himawari-10). This paper introduces the overview and exhibition details of these exhibits.

1 はじめに：宇宙天気予報

太陽フレアやコロナ質量放出 (CME) など主に太陽活動に起因する地球近傍の宇宙環境の変動は、通信・放送、衛星測位、宇宙システム運用、航空機運航、電力網などの社会インフラに影響を及ぼし、大規模な変動は時としてその安定利用に障害を引き起こすことがある (図 1)。例えば、2022 年 2 月スペース X 社が打ち上げた通信衛星「スターリンク」のうち、直後に地球に到来した CME に起因する磁気嵐の影響で超高層大気が増熱・膨張して空気抵抗が急増し、約 40 機が大気圏に突入して運用不能となった [1]。また、2024 年 5 月には、最大規模の太陽フレアと CME が連続的に発生し

て電離圏が大きく乱れて衛星測位システム (GNSS) の精度が著しく低下し、米国では自動運転農機の運用が困難となり、作業の中断や収穫の遅延が発生するなど経済的損失にもつながった [2]。Beyond 5G でも不可欠となる社会インフラのリスクに備えるためには、このような宇宙環境の変動、すなわち「宇宙天気」をリアルタイムで監視し、予測する必要がある。

NICT では、宇宙天気の変動が社会インフラに与える影響を最小限に抑えるため、24 時間 365 日体制で宇宙天気の監視・予測業務を行っている。具体的には、太陽フレアや CME、地球磁気圏の変動、電離圏の状態などを、人工衛星や地上観測装置のデータを用いてリアルタイムで解析し、宇宙天気の状況と今後 24 時間の

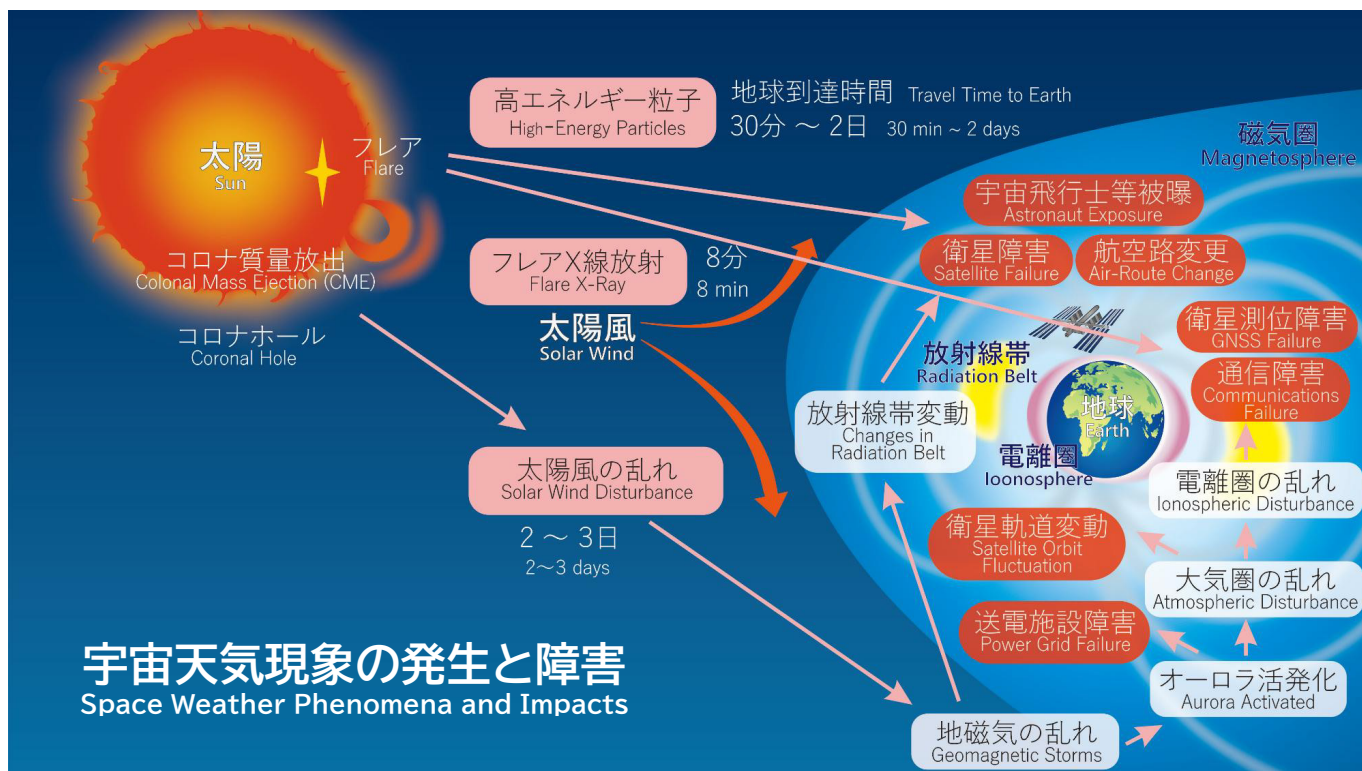


図1 宇宙天気現象の発生と障害

予測結果を「宇宙天気予報」として配信している(図2)。宇宙天気予報情報は、通信・測位・宇宙・航空・電力などの関係機関に提供され、事前の対策や運用判断に活用されている。さらに、NICTでは、宇宙天気予報の精度向上と予測技術の高度化に向けた研究開発も推進している。例えば、図3に示す次期静止気象衛星「ひまわり10号」への搭載を目指す宇宙環境センサの開発や、AIやデータ同化技術などを利用した太陽・太陽風・磁気圏・放射線帯・電離圏などの変動を高精度に予測する数値モデルの開発などが挙げられる。



図2 宇宙天気予報会議の様子

2 デジタル地球儀及び宇宙環境センサ模型の製作

NICT オープンハウスなどの展示イベントなどを通じて、宇宙天気的重要性を伝える活動を行っているが、宇宙天気現象の多くは地上の天気と異なり、肉眼で直接見ることができないため、一般の方には理解しづらい点となっている。そのため、今回の展示においては、宇宙天気現象の中でも比較的一般の認知度が高い「太陽フレア」と「オーロラ」をできるだけリアルに可視化して宇宙天気を理解してもらうことを目標に、直径1 m 半球スクリーンを利用した操作可能なデジタル地球儀ダジャック・アース・万博モデルを製作した。また、研究開発プロジェクトの一例として、現在開発中のひまわり10号搭載予定の宇宙環境センサ(陽子線計測装

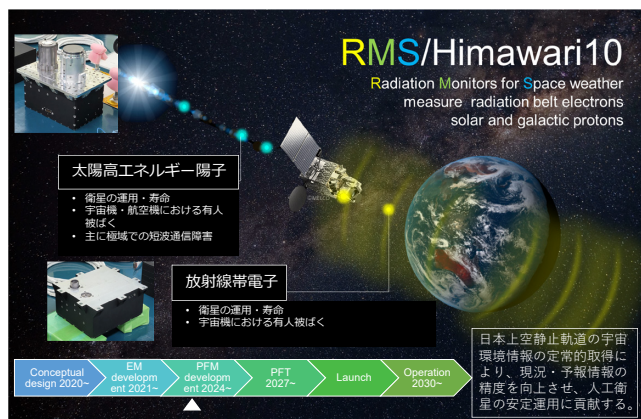


図3 ひまわり10号搭載宇宙環境センサの開発

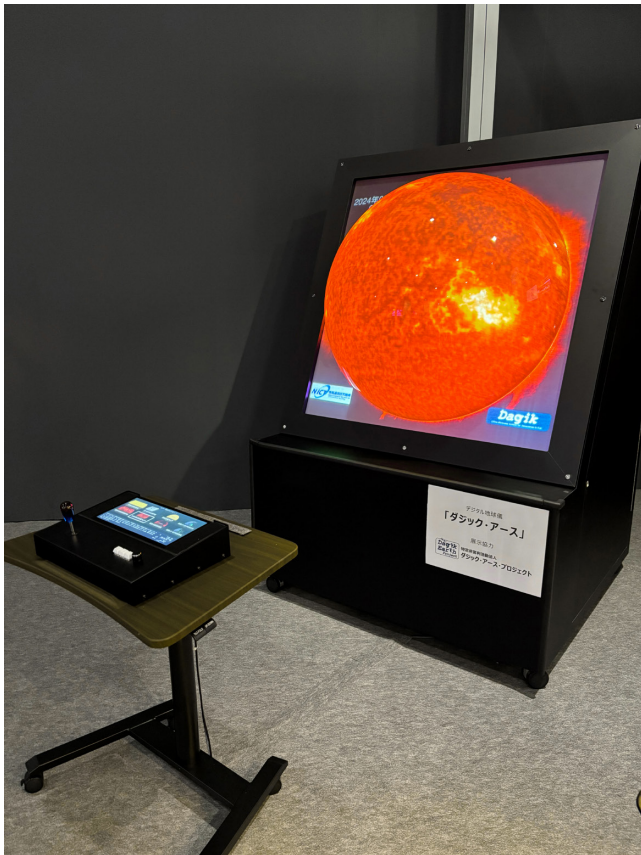


図4 ダジック・アース・万博のモデル外観

置及び電子線計測装置)の実物大模型を製作した。

2.1 デジタル地球儀ダジック・アース

デジタル地球儀ダジック・アースは、地球や惑星などについて科学を楽しんでもらうために、学校や科学館などで地球や惑星などを立体的に表示するプロジェクトである。2007年から京都大学でプロジェクトが開始され、2009年からNICTも参画して文部科学省の受託研究により、ソフトウェア、コンテンツ、立体表示手法の開発が進められた[3]。2022年にはNPO法人ダジック・アース・プロジェクトが設立され、ダジック・アースを利用した教育活動、利用支援などが行われている[4]。

今回製作したダジック・アース・万博モデルの外観を図4に示す。ダジック・アースでは、これまでバルーン等の球体に外側から地球等の映像を投影する「表投影」と、半球スクリーンに裏側から映像を投影する「裏投影」の立体表示手法が利用されていたが、ダジック・アース・万博モデルの製作では、展示場所の広さや明るさ、来場者の動線等を考慮し、直径1m半球スクリーンを利用した裏投影版とした。利用するプロジェクターは一般的な普通焦点のものであるが、本体の奥行を小さくするため内部の前後2枚の鏡により映像を2回反射させる設計とした。システム構成は、図5に

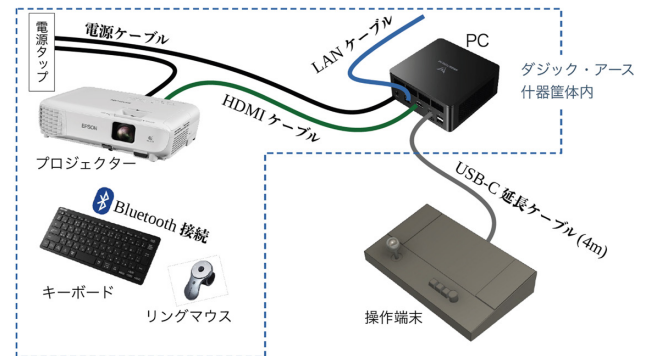


図5 ダジック・アース・万博モデルのシステム構成

示すように什器筐体内に設置されるネットワーク接続された小型PC (Windows11)、プロジェクター、設定操作のキーボード・マウスと、什器筐体外に設置して来場者が地球儀操作を行う操作端末から成る。システムの制御は Javascript の実行環境 Node.js を使用したフレームワーク Electron を使用する専用プログラムを新規開発し、ダジック・アースのウェブサイト上でウェブアプリとして公開されているコンテンツのほか、ウェブサイト上で公開されているリアルタイム太陽映像やオーロラ・アラート [5] など正距円筒図法の全球マップ、ローカルに保存している動画等、様々な素材を半球に投影できる仕様とした。

ダジック・アース・万博モデルの操作は、本体と分離したコントローラ(レバー1個、ボタン3個、ダイヤル式ボタン1個から成る)で行う。コントローラ上部にはタッチディスプレイが設置され、図6に示すようにディスプレイ上部に選択可能なコンテンツ、下部には選択されたコンテンツの説明とコントローラの使い方を表示するようにした。スクリーンに投影されるコンテンツを表1に示す。理系の分野とは縁遠い来場者を想定し、宇宙天気現象のうち比較的一般の認知度が高い「太陽フレア」と「オーロラ」を関連付けて宇宙天気現象が説明できるよう選定し、リアルタイムの太陽動画2種(白色光、極端紫外線)とオーロラの出現予報、2025年5月の大規模太陽フレア発生時の太陽動画に加え、太陽とオーロラの基礎知識を説明する解説動画をそれぞれ2つずつ、計8つの展示コンテンツ提示し、来場者が自由に選択できるようにした。

2.2 次期静止気象衛星ひまわり10号搭載用宇宙環境センサ模型

NICTでは、図3に示したように、宇宙天気予報の高度化のための研究開発の一つとして、2030年度打ち上げ予定ひまわり10号に搭載するための高エネルギー粒子センサ(Radiation Monitors for Space weather: RMS)の開発を進めるとともに、気象庁と連携してひ



図6 ダジック・アース・万博モデルのコントローラ部ディスプレイ表示

表1 ダジック・アース・万博モデル展示コンテンツ

タイトル	内容
最近の太陽：白色光	宇宙天気予報ウェブサイトに表示されているSDO衛星観測白色光の最新動画（約3日分）。黒点の状態を示す。
最近の太陽：極端紫外線	宇宙天気予報ウェブサイトに表示されているSDO衛星観測極端紫外線（30.4 nm）の最新動画（約3日分）。黒点の場所で太陽フレアが発生していることを示す。
オーロラの出現予報	オーロラ・アラートの最新画像を動画として表示（2時間前～40分後）。衛星によるリアルタイム太陽風観測データと磁気圏シミュレーションによるオーロラ出現予報を示す。
2024年5月太陽フレア	2024年5月に発生した大規模太陽フレア時のSDO衛星観測による極端紫外線（30.4 nm）と白色光の動画。現在より黒点が大きく、太陽フレア多く発生していることを示す。
解説：太陽フレア	太陽フレアの解説動画（1分程度）太陽黒点で太陽フレアが発生し高エネルギー粒子やCMEが放出される様子を解説。
解説：太陽活動周期	太陽活動周期（27日、11年）の解説動画（1分程度）太陽の27日の自転周期と11年の活動周期を解説。
解説：オーロラの見え方	オーロラの見え方の解説動画（1分程度）視点を地上（南極）→ISS→IMAGE衛星と変えてオーロラの見え方の違いを解説。
解説：オーロラの発生機構	オーロラの発生機構の解説動画（1分程度）磁力線沿いに粒子振り込みがあり両半球でオーロラが光る様子を解説。

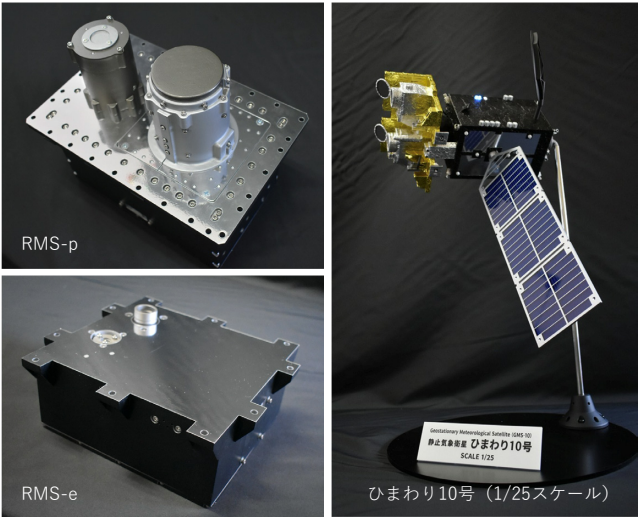


図7 RMS-p、RMS-e 及びひまわり10号の模型

まわり10号本体の製造を進めている。RMSは陽子線計測装置(RMS-p)、電子線計測装置(RMS-e)及びこれらを衛星バスシステムに接続する共通回路部から構成され、日本上空の静止軌道上における宇宙環境、特に放射線帯に存在する高エネルギーの陽子及び電子を「その場」で計測することを目的としている。ひまわり10号は、地上の気象情報のみならず、宇宙環境を定期的に高精度で観測する我が国で初めての現業衛星となる。これにより、日本上空の宇宙環境を24時間体制で正確に監視できるようになり、我が国における宇宙システム運用や航空機運航、地上の社会インフラへの影響を予測・軽減する宇宙天気予報の精度向上が期待される[6]。

今回製作した、現在開発中のRMS-p及びRMS-eの

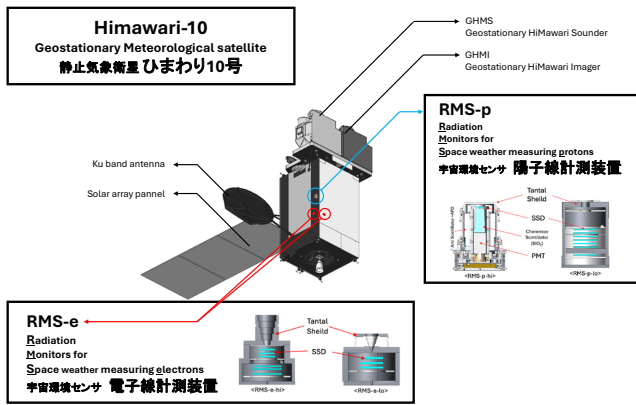


図8 RMS-p, RMS-e の内部構造

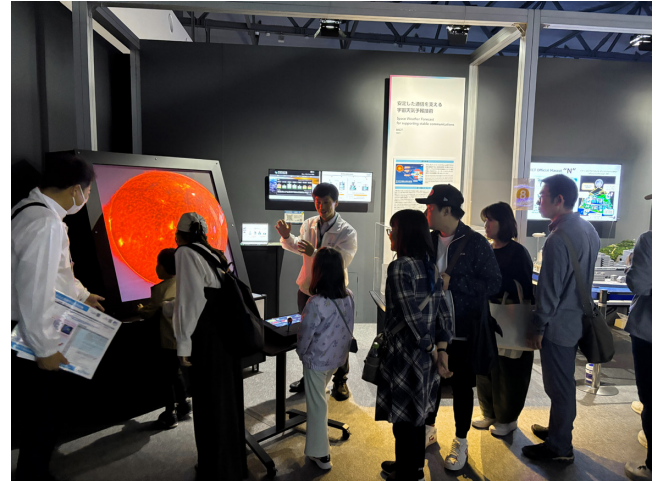


図10 来場者へ説明している様子

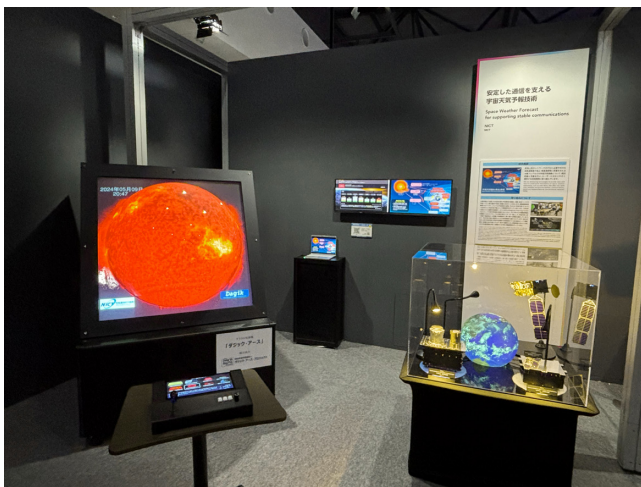


図9 大阪・関西万博会場での展示の様子

実物大模型と、1/25 スケールのひまわり10号模型を図7に示す。模型の長辺・短辺・高さは、RMS-p: 26 cm・17 cm・23 cm、RMS-e: 17 cm・18 cm・10 cm、ひまわり10号: 42 cm・28 cm・25 cmであり、最新版の図面を元に外観を忠実に再現した。ひまわり10号模型には、実際のRMS-p及びRMS-eの取り付け位置がわかるように、それぞれ青色及び白色のLEDを点滅させる仕様とした。模型では表現できない両センサの内部構造については、図8に示す説明資料を用意して模型とともに展示した。

3 大阪・関西万博での展示の様子

大阪・関西万博内のEXPO メッセ「WASSE」Northにて2025年5月24日から6月3日に開催された「Beyond 5G ready ショーケース」において、2で示したデジタル地球儀とひまわり10号・RMS模型を展示した。会場内に設置した様子を図9に示す。ひまわり10号は静止気象衛星であることが直観的にわかるように展示するため、全球の雲の動きをアニメーション

で表示した直径35 cm 全球ディスプレイ版ダジック・アースを展示台の中心に、その周りにひまわり10号、RMS-p、RMS-eの模型を配置し、全体を大型アクリルケースでカバーして展示した。

NICTの研究者が来場者へ説明している様子を図10に示す。展示説明の一例として、以下のような内容を5分程度で説明し、多くの来場者に宇宙天気予報の重要性を伝えるよう努めた。

【展示説明フローの一例】

1. ダジック・アース・万博モデルで現在の太陽の黒点や太陽フレアの様子を説明。
2. 2024年5月に日本各地でオーロラが観測されるほどの大規模な太陽フレアが発生、HF帯の通信や衛星測位に障害が発生、低軌道衛星の高度低下があった。
3. このような社会的影響を軽減するため、NICTでは宇宙天気予報を行っている。
4. 宇宙天気予報高度化のため、例えばひまわり10号搭載予定の宇宙環境センサの開発など、研究開発も進めている。

来場者の反応など展示対応を行った所感を以下に列挙する。

- ダジック・アース・万博モデルとひまわり10号・RMS模型は総じて人気が高く、離れたところからも目立つため、近寄ってきて写真を撮る人が多かった。
- ダジック・アースは子どもたちにも人気であり、操作をするために列を作って順番待ちする子どもや太陽が表示された球面ディスプレイに触る子どもが多くいた。
- リアルタイムコンテンツである太陽は特に人気で、現在の太陽であることに驚く人が多数いた。どの場所でどのように取得したデータなのかなど、掘

り下げた質問も多くあった。

- 2024 年 5 月の大規模太陽フレアの説明では、当時日本各地でオーロラが見られた話をすると、8 割くらいの人は覚えており、実際にあった社会的影響にも理解してもらえた。毎日宇宙天気予報をしていること、安定した社会インフラのために重要なことをやっていることなど、感心していただくことが多かった。
- RMS 模型については、特に技術者や理系学生、海外の政府機関やビジネス関連の方が興味深く説明を聞いていた。観測手法や計測する高エネルギー粒子データの活用、小型衛星への搭載可能性などの質問もあった。
- Beyond 5G と宇宙天気の関連についても、衛星運用への影響やドローンなどでも利用される GPS への障害があることなどを説明することで理解してもらえた。

総じて、来場者の多くはダジック・アースとひまわり 10 号・RMS 模型を利用してわかりやすく可視化した展示により、普段なじみのない宇宙天気現象と、宇宙天気予報に関連する NICT の取組をよく理解していただいたと考えている。

4 おわりに

本稿では、安定した通信を支える宇宙天気予報技術をわかりやすく伝えるための展示物として制作したデジタル地球儀ダジック・アース・万博モデルとひまわり 10 号・RMS 模型の概要について紹介した。また、実際に大阪・関西万博にて展示した様子と、来場者の反応についての概要を紹介した。今回展示した製作物は、その後も NICT オープンハウス(2025 年 6 月 NICT 本部(東京都小金井市))や、けいはんな R&D フェア 2025(2025 年 10 月けいはんなプラザ(京都府精華町))でも展示し、多くの来場者から好評を得た。地上の天気予報のように宇宙天気予報の一般認知度を向上させるべく、今後も様々な展示イベント等での展示・説明を行っていききたい。

謝辞

本稿で紹介したひまわり 10 号・RMS 模型製作については、広報部及び業務企画部電波利用管理・ものづくり室にご協力いただいた。大阪・関西万博展示対応に協力していただいた宇宙環境研究室のメンバー及び展示サポートスタッフの皆様に感謝申し上げる。

【参考文献】

- 1 Ryuho Kataoka, et al., "Unexpected space weather causing the reentry of 38 Starlink satellites in February 2022," J. Space Weather Space Clim., vol.12, issue 21, article number 41, 2022. DOI: 10.1051/swsc/2022034.
- 2 "May 2024 solar storm cost \$500 million in damages to farmers, new study reveals," Space.com, published June 22, 2025. <https://www.space.com/astronomy/sun/may-2024-solar-storm-cost-usd500-million-in-damages-to-farmers-new-study-reveals>
- 3 齊藤 昭則 ほか, "多様な環境においてデジタル立体地球儀を実現するためのダジック・アースの開発," 宇宙科学情報解析論文誌 第六号, 2017. DOI: 10.20637/JAXA-RR-16-007/0012
- 4 NPO 法人ダジック・アース・プロジェクト, <https://www.npo.dagik.org/>
- 5 Aurora Alert, <https://aurora-alert.nict.go.jp/>
- 6 齊藤 慎司 ほか, "次期気象衛星ひまわり 10 号への搭載に向けた宇宙環境センサの開発 日本上空宇宙環境の定常観測実現に向けて," NICT NEWS, 2025 no.2, pp.6-7. https://www.nict.go.jp/data/nict-news/NICT_NEWS_2025-510_J.pdf



津川 卓也 (つがわ たくや)

電磁波研究所
電磁波伝搬研究センター
宇宙環境研究室 室長/
NPO 法人ダジック・アース・プロジェクト
副理事長
博士(理学)
宇宙天気、超高層大気物理学
【受賞歴】
2022 年 JDR Award for the Most Cited Paper 2022
2015 年 文部科学大臣表彰科学技術賞(理解増進部門)
2014 年 Earth, Planets and Space 誌 EPS 賞



Park Inchun (ぱく いんちゅん)

電磁波研究所
電磁波伝搬研究センター
宇宙環境研究室
研究員
磁気圏物理学



関口 武美 (せきぐち たけみ)

電磁波研究所
総合企画室
参事



大辻 賢一 (おおつじ けんいち)

電磁波研究所
電磁波伝搬研究センター
宇宙環境研究室
研究員
博士(理学)
太陽物理学



齊藤 慎司 (さいとう しんじ)

電磁波研究所
電磁波伝搬研究センター
宇宙環境研究室
プランニングマネージャー
博士(工学)
磁気圏物理学



高橋 直子 (たかはし なおこ)

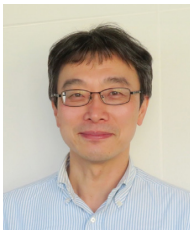
電磁波研究所
電磁波伝搬研究センター
宇宙環境研究室
プランニングマネージャー
博士(理学)
磁気圏物理学
【受賞歴】

2017年 JGR Space Physics Editor's Highlight



中山 健司 (なかやま けんじ)

広報部
広報企画室
マネージャー



齊藤 昭則 (さいとう あきのり)

京都大学大学院理学研究科准教授／
NPO 法人ダジック・アース・プロジェクト
理事長
博士(理学)
超高層大気物理学
【受賞歴】

2015年 文部科学大臣表彰科学技術賞(理解
増進部門)

2005年 Earth, Planets and Space 誌 EPS
賞

2002年 地球電磁気・地球惑星圏学会 大林奨
励賞