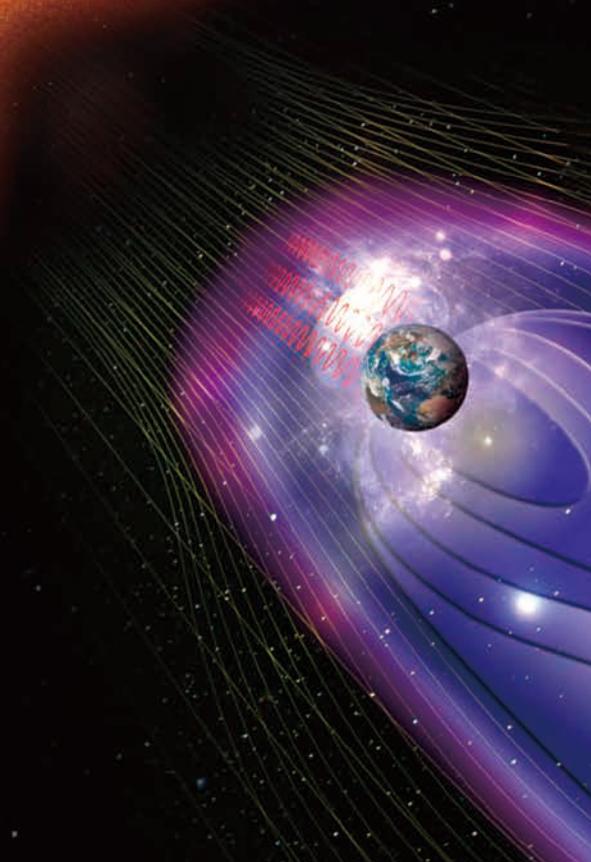


FEATURE

極大期を迎える太陽活動、 社会インフラを守る 宇宙天気予報

Interview

情報社会インフラを守るために
重要性を増す宇宙天気予報



FEATURE

極大期を迎える太陽活動、社会インフラを守る宇宙天気予報

- 1 情報社会インフラを守るために重要性を増す宇宙天気予報
津川 卓也
- 4 宇宙天気予報業務
久保 勇樹
- 6 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
齊藤 慎司 / 滑川 拓 / 大辻 賢一 / Park Inchun
- 8 熱圏・電離圏の宇宙天気
陣 英克
- 10 宇宙天気予報の社会実装促進に向けて
民間活用促進とビジネス化
西塚 直人
- 12 宇宙環境と宇宙機の帯電・放電
榎 海星

TOPICS

- 13 NICTのチャレンジャー File 32 伴場 由美
世界初の「フレア警報」実現に向けて
—物理モデルに基づくフレア発生予測—

INFORMATION

- 14 2026 採用情報
- 14 NICTオープンハウス2025

表紙画像：
宇宙天気現象の源である太陽フレア及びそれに影響される地球周辺の宇宙空間の様子。NICTでは宇宙天気予報室（左下）にて毎日予報を行っている。

左上画像：
2024年10月11日にNICTのサロベツ電波観測施設（北海道）にて観測された低緯度オーロラ（画像下部中央の赤い光）

宇宙天気予報をわかりやすく説明した動画をYouTubeで公開中!!是非ご覧ください。

<https://www.youtube.com/watch?v=sGaSPhyQelQ>



FEATURE 極大期を迎える太陽活動、社会インフラを守る宇宙天気予報
The Sun has reached Solar Maximum! Space Weather Forecast to Protect Social Infrastructure



Interview

情報社会インフラを守るために重要性を増す宇宙天気予報

太陽活動の極大期を迎えた今、太陽表面では連日のように、大きな太陽フレアが発生している。そこから放出される電磁波やエネルギーの高い荷電粒子などは、人工衛星や地上の通信・放送・電力システムなど社会の重要インフラに障害を与える可能性がある。こうしたインフラを介した情報通信に依存している現代社会においては、太陽フレアがこれらに与える影響は軽視できない。

このような太陽活動を起源とする宇宙環境の変動、すなわち「宇宙天気」を常時監視し、警報を発しているのがNICTの「宇宙天気予報」である。このところの太陽活動の活発化とともに、一般社会にも脅威が広く認識されつつある宇宙天気予報の最新動向について、宇宙環境研究室の津川卓也室長に話を聞いた。

—宇宙天気予報とはどういうもので、なぜ今必要とされているのでしょうか。

津川 約11年周期の太陽活動は、2025年に極大期を迎えると予想されており、実際に昨年あたりから活発になってきています。太陽活動が活発になると太陽面の爆発現象である太陽フレアの規模や頻度が大きくなり、通常よりも強いX線などの電磁波や高エネルギー粒子、コロナ質量放出（CME）と呼ばれる電気を帯びたガスの塊などが地球まで飛んできま

す。これにより地球の超高層大気を含む宇宙空間も乱れ、人工衛星運用のほか、地上でもHF帯などの通信・放送、GPSなどの衛星測位システム、電力網、航空機運用など、様々な社会インフラに障害を引き起こす可能性があります。そのような重要な社会インフラを安定して運用できるように、太陽や地球近傍の宇宙環境の状況を、365日、休まず監視し予報を行い、運用事業者を含め一般に情報を提供しているのがNICTの宇宙天気予報です。

—具体的にはどのような影響がでているのでしょうか。

津川 昨年2024年5月には、ふだんは高緯度地方でしか見ることができないオーロラが日本でも見られ、話題になりましたが、GPS測位や通信への障害、さらには低軌道衛星の高度低下といった事案が発生しました。2022年には、アメリカスペースX社のスターリンク衛星が40機ほど、高度が低下して大気圏に再突入し機能を失いました。地磁気が大き

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

大学院修了後、日本学術振興会特別研究員（名古屋大学、マサチューセッツ工科大学）等を経て、2007年NICT入所。宇宙天気予報に関する研究開発・業務に従事。博士（理学）。

情報社会インフラを守るために 重要性を増す宇宙天気予報

く乱れる磁気嵐によって大気摩擦が増大し軌道が低下してしまったのです。

幸いなことに大災害につながるような障害は今のところ起こっていませんが、この先、もっと大規模な太陽フレアが発生した場合、社会にも大きな影響が出てくる可能性があります。例えば、過去には1989年にカナダで地上の送電網に流れた誘導電流によって、広範囲で停電になりました。また観測史上最大級といわれる、1859年のキャリントン・イベントでは、当時の最先端インフラである電信線のオフィスで発火したと伝えられています。

現在は、当時とは比較にならないくらい高度に電子化された社会です。通信衛星などの人工衛星の数もここ数年で各段に増えたり、民間による宇宙旅行なども増えてきています。社会インフラに大きな障害が起これると大変な混乱を引き起こすことが予想されます。宇宙天気による障害は、文明進化型の災害といわれています。文明が進化し、人類が宇宙に進出していくことで、災害の規模が昔とは比べ物にならないくらい大きくなっているのです。

■国際的な連携

——活発化する宇宙天気への国際的対応はどのようになっていますか。

津川 すでに運用されているサービスとして、2019年11月から開始されている国際民間航空機関（ICAO：International Civil Aviation Organization）での宇宙天

気情報の利用があります。航空運用において宇宙天気現象による通信や衛星測位の障害や乗員の被ばく線量増加の懸念があります。特に北極域を飛行する旅客機ではそれらの影響が大きくなります。宇宙天気情報を利用して、太陽活動が活発なときは、飛行ルートを変えるなどの対策が取られています。

宇宙天気の現況の把握と予報については、宇宙天気を担当している各国の機関が連携して国際宇宙環境サービス（ISES：International Space Environment Service）という組織がつけられており、宇宙天気に関する情報を共有・提供しています。現在、21か国が加盟しており、2023年から日本が議長国となっています。

また最近ではASEAN諸国でも、宇宙天気への関心が高まっており、2010年からNICTが事務局となって、アジア・オセアニア宇宙天気連合（AOSWA：Asia-Oceania Space Weather Alliance）がつけられています。

国連でも、宇宙空間平和利用委員会（UN/COPUOS：United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space）の科学技術小委員会（STSC：Scientific and Technical Subcommittee）において、2022年2月に宇宙天気サービスに関する勧告が発表され、国際宇宙空間研究委員会（COSPAR：Committee on Space Research）・ISES・世界気象機関（WMO：World Meteorological Organization）が宇宙天気関係の活動をリードすることが求められました。これを受け、2022年9月には、この3つの機関の代表が、ポルトガルのコインブラ大学に集まり、宇宙天気サー

ビスの方向性の確認や枠組み合意をまとめたコインブラ宣言が策定されました。2023年11月には、スイスのジュネーブにあるWMO本部で第一回国際宇宙天気調整フォーラム（ISWCF：International Space Weather Coordination Forum）が開催されました。これらの国際的な取組に、NICTのメンバーも共同議長などで参加しており、国際的な宇宙天気の活動に貢献しています。

——世界の宇宙天気予報の取組においてNICTは重要な役割を果たしているのですね。

津川 太陽から電離圏など地球近傍の宇宙環境まで広い領域の監視は国際協力が不可欠で、日本も大きく貢献しています。宇宙天気サービスの運用に必要な地上の観測インフラは、日本はかなり昔から継続的に良質なデータを取得・提供しています。一方、実利用による宇宙からの定常的な観測手段は持っておらず、現在日本の宇宙天気予報で利用している太陽や宇宙空間の観測データはアメリカなど外国の衛星のデータに頼らざるを得ない状況です。

日本上空の宇宙天気の監視と予報精度を上げるため、現在、2029年運用開始予定の「ひまわり10号」に、気象観測装置と同時搭載可能な宇宙環境センサを搭載することを目指し、NICTでセンサの開発を進めているところです。

また、予報の高精度化のため、急速に発展しているAIや数値モデルに観測データを同化させる技術を利用した予報モデ

ルの研究開発も進めています。一方で、発生頻度が極めて少ない大規模な太陽フレアの予測などはAIではまだ正確な予測が難しく、物理モデルに基づいた太陽フレア警報を並行して開発を進めるなど、総合的に予報精度の向上と警報対象分野の拡大に努めているところです。

——宇宙天気への取組が世界的に活発になっているのはニーズがあるということでしょうか。

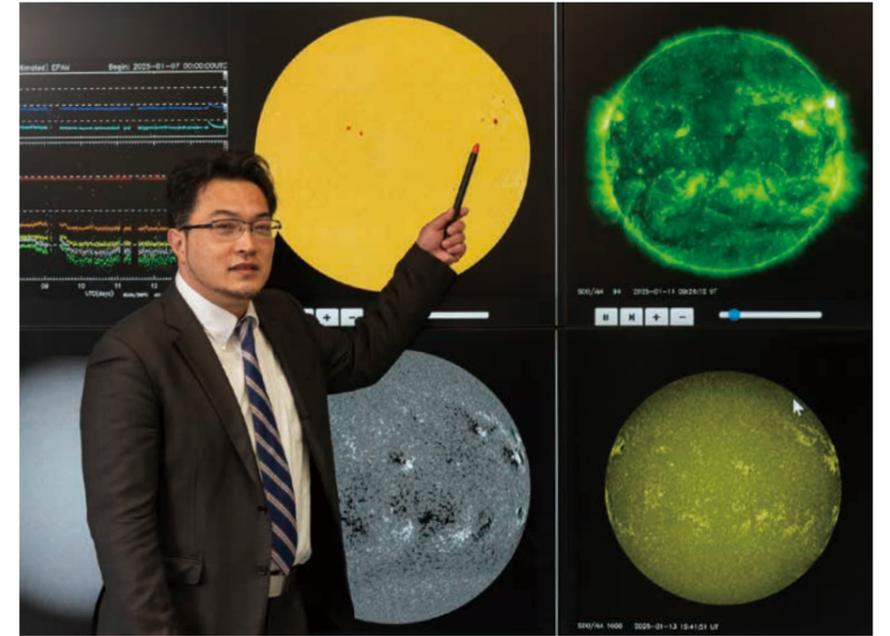
津川 世界的にも宇宙天気の影響が実際にどのようになるのかについて検討が進んでいます。特にアメリカやイギリスなどは、宇宙天気のリスクやその対策について早くから国家戦略と位置づけています。大地震・火山噴火・津波などと同じように、宇宙天気を社会に大きな影響を与える自然災害として認識しています。そのためにどういった対策が必要かを考え、様々な取組が進んでいる状況の中で、国際的にも協力が必要ということで、緊密な国際連携が進められているのです。

■日本における動向

——総務省では宇宙天気に関する検討会が開催されましたが。

津川 日本でも2022年に「宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会」が総務省で開催され、同年6月に報告書が公表されました。そこでは極端な宇宙天気現象がもたらす日本における最悪シナリオが策定され、危機管理の必要性について、様々な提言が行われています。

提言のひとつとして、社会的影響を考慮した新警報基準による予警報システムの必要性があげられています。現在の宇宙天気予報では、太陽フレアの予警報はX線の強度など物理量のみを基準として発信されていますが、情報を受け取るユーザーはどのような影響があるのか、どのように対応をすればいいかわかりづらいところがあります。そこで新警報基



準では、それぞれの社会的分野で影響がどの程度あるのか、警報を受け取った時の対策がしやすいように社会的影響を考慮した基準としています。天気予報の災害予想のように、サービス事業者が実際に使いやすいようにするためです。

■民間事業者などユーザーとの連携

——宇宙天気情報を利用する民間事業者との連携はどのように考えているのでしょうか。

津川 民間の超小型衛星の打上げや宇宙旅行事業など、これからは宇宙利用がどんどん進んでいきます。社会インフラも高度なものへと進化していきます。そのような状況の中で、宇宙天気情報はますます重要なものになっていきます。

NICTは現代社会にとって極めて重要な宇宙天気の監視や予測を行い、宇宙天気情報をきちんと提供できるように強固な体制づくりを進め、途切れることなく確実に宇宙天気予報を送出していきたいと考えています。一方、社会システムが多様化するにつれ、NICTだけでは個々の社会システムへの対応が十分にできない部分が出てくると思われます。民間事業者とも連携し、NICTの観測・予報情報を利用して個々のシステムへのきめ細かなサービスを実現するための取組も進

めていきたいと思います。

実際にユーザーに情報を活用していただくには、民間事業者などユーザーとの対話を密にし、変化していくニーズや新しいアイデアを取り入れることが重要です。NICTで実施している宇宙天気ユーザーズフォーラムや宇宙天気ユーザー協議会などの場でユーザーとの議論を継続的に行っていきます。また、宇宙天気情報に関する深い理解をもった人材育成も重要になってきます。総務省の検討会では、「宇宙天気予報士」など、知識の普及を目指した制度作りなどの話も出ており、ユーザー協議会等で議論を進めたいと思います。

NICTでは、宇宙天気予報の更なる普及に努め、障害に負けない強靱な社会インフラの安定運用に貢献していきたいと考えています。

宇宙天気予報業務



久保 勇樹
(くぼ ゆうき)

電磁波研究所
電磁波伝搬研究センター
宇宙環境研究室
副室長

大学院修士課程修了後、1998年、郵政省通信総合研究所(現NICT)入所。太陽電波観測や宇宙放射線等の宇宙天気予報の研究開発に従事するとともに、宇宙天気予報業務の取りまとめを行う。博士(学術)。

大 規模太陽フレアが発生！その後の地球、そして地球上の社会インフラへの影響は？これらの問いに答えるのが、宇宙天気予報*1です。太陽活動が極大期を迎えた今、太陽フレアをはじめとする、様々な太陽活動による社会インフラへの影響が注目されています。太陽活動の社会インフラへの影響を低減し、現在そして未来の人類の豊かな社会生活を実現する、そのために宇宙天気予報は進化を続けています。

はじめに

「Xクラスフレア*2が発生しました」と宇宙天気予報担当から一報が入り、研究室内に緊張が走る。緊急に、太陽活動の地球への影響やその規模を推定するためのデータ確認が始まる。しばらくして、「検討の結果、地球への大きな影響は想定されないため、お知らせの掲載は行わないことにします」との判断結果が知らされ、一同、ほっと胸をなでおろす。情報通信研究機構(NICT)宇宙天気予報では、Xクラスフレアが発生するたびに、このような緊急対応が行われています。2024年5月及び10月には、「検討の結果、地球への大きな影響が想定されるため、お知らせの掲載を行うことにします」との判断が下され、NICTのウェブページへのお知らせ掲載と記者会見を実施し、多数のメディアで太陽活動が原因で社会インフラに影響が出るかもしれないというニュースが流れたのは記憶に新しいことと思います。

宇宙天気予報と情報配信

NICTは、法律で定められた法定業務と

して宇宙天気予報を実施している国内唯一の公的機関であり、その前身である郵政省電波研究所が発足した1950年代初めごろには既に、短波通信障害を事前に察知して利用者に伝える電波警報業務を行っていました。この業務は、1988年に宇宙天気予報と名前を変え、現在まで続いています。宇宙天気予報を行う上で最も重要かつ不可欠なことは、24時間365日、途切れることなく太陽活動や地球周辺の宇宙環境の状態を監視し分析することです。NICTでは、自ら太陽や太陽風、磁気圏、電離圏の観測やシミュレーション(図1及び2)を行い、国内外他機関の観測データ等も収集・分析し、24時間365日体制で宇宙天気に関する様々な情報を配信しています。

宇宙天気情報の実利用という観点で最も進んでいる航空業界では、国際連合の専門機関である国際民間航空機関(ICAO)による国際民間航空条約第3附属書への宇宙天気情報の追加を受けて、2019年11月7日、民間航空機の運航に必要な情報としてICAOから指名された4つの宇宙天気センター(米国、欧州連合、日豪仏加連合、中露連合)による宇宙天気情報の配信が始まりました。NICTは、日豪仏加連合の一員として宇宙天気センターの一翼も担っています。

2025年現在、NICTが実施している宇宙天気情報サービスは大まかに3つに大別されています。1つ目は、決められた基準を超える宇宙天気現象が発生した際に、即座に自動的に配信される現況速報、2つ目は、大規模な現象などが発生した際に、予報担当者により確認された情報が付加され発信される臨時情報で昼夜を問わず配信されています。3つ目は、

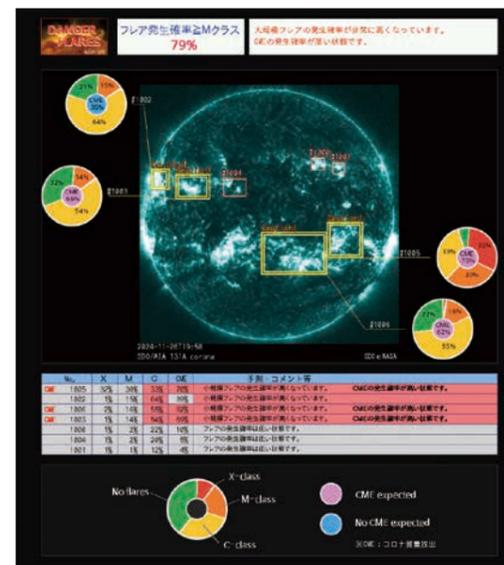


図1 開発中のAIを用いた太陽フレア4クラス確率予測システム DeFN-Q

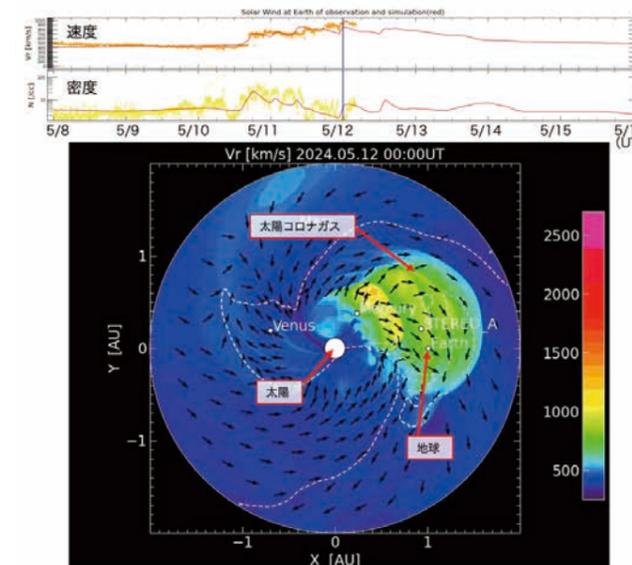


図2 コロナガスの到来を予測する数値シミュレーションSUSANOO

NICTの研究者及び予報担当者の判断により決定された予報などを含んだ予報情報で、毎日2回、定期的に配信されています。これらの情報は、航空、通信、放送、測位、衛星、電力、メディアなど、多岐にわたる業界の利用者に電子メールやウェブサイトを通じて配信されています。さらに、毎年、宇宙天気ユーザーフォーラムや宇宙天気ユーザー協議会を開催して、宇宙天気情報の利用の促進やユーザーとの意見交換を行い、より使いやすい情報配信を目指した宇宙天気予報の高度化を進めています。

宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会

2022年1月、NICTの宇宙天気予報業務を管轄している総務省が主導し、「宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会*3」が開催されました。この検討会には、NICTをはじめとする、宇宙天気を専門とする大学、研究機関の研究者だけでなく、宇宙天気予報を利用している通信、放送、測位、電力、航空、衛星、保険等の産業界や、総務省や文科省、経産省、国交省、防衛省、気象庁、内閣府など宇宙天気予報に関わりのある官公庁、さらにはアウトリーチに関わる方々なども含め、様々な分野が一堂に会し、宇宙天気予報の今後の方向性を検討するという、国内初の会合が半年間にわたって行

われ、2022年6月21日に報告書が公開されました(図3)。この会合及び報告書は、いよいよ国として宇宙天気予報の高度化に力を入れ始めたということを示すものであり、これまでの日本の宇宙天気予報の歴史の中で初めて行われた非常に画期的なものでした。

この検討会の中で、特に力を入れて議論されたのが、より分かりやすい警報発信の実現に関してで、産学官が連携して社会影響を考慮した警報の発信基準を策定するために複数のワーキンググループ(WG)が組織され、宇宙天気予報の研究者、利用者が一体となって新警報基準の議論を行いました。その結果として、通信・放送の一部、衛星運用、航空機被ばくの3分野についていくつかの新しい警報基準が策定されました。現在、これらの3分野についての警報を発信するための情報発信システムの開発が進められており、策定された警報基準に基づいた新宇宙天気警報が一般国民に向けて発信されるのもそう遠い話ではありません。また、上記3分野以外の、例えば、測位や電力など、WG内の議論だけでは決められなかった分野についても、引き続き、産業界等との議論を重ねて基準策定に取り組んでいます。

おわりに

太陽活動が極大期を迎えた今、航空業

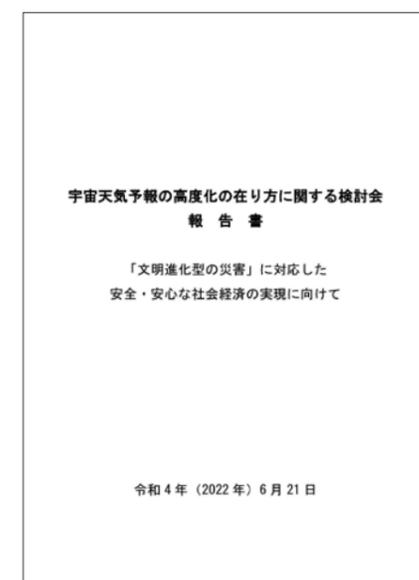


図3 宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会報告書

界をはじめ、通信・放送、衛星測位、衛星運用、電力、保険等、様々な業界で太陽活動の社会インフラへの影響に関心が高まり、宇宙天気予報への期待や要望を感じる機会が多くなっています。NICTの宇宙天気予報業務では、これらの期待に応えるべく、宇宙天気の情報発信を進めるとともに、新たな警報の発信などの取組も進めており、宇宙天気予報は日々進化し続けています。

*1 「宇宙天気予報」は、郵政省通信総合研究所により1988年6月9日に日本国特許庁に商標登録出願され、1991年11月29日に商標登録されています。
*2 太陽フレアの規模は、小さい方からA,B,C,M,Xと5つのクラスに分類されており、Xクラスフレアとは、最も大きな規模のクラスに分類される太陽フレアです。
*3 https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/space_weather/index.html

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



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
主任研究員

大学院修了後、米国ロスアラモス国立研究所及び名古屋大学宇宙地球環境研究所の研究員を経て、2019年にNICT入所。地球放射線帯モデリング及び宇宙環境センサ開発に従事。博士(工学)。



写真は左から、滑川、大辻、Park
所属はすべて、電磁波研究所 電磁波
伝搬研究センター 宇宙環境研究室

滑川 拓 (なめかわたく)
研究員

大辻 賢一 (おおつじけんいち)
研究員

Park Inchun
研究員

宇 宙は高いエネルギーの陽子や電子が飛び交う変化に富んだ環境です。これらは太陽から飛んできたり地球の磁場に閉じ込められていたりしており、宇宙機^{*1}の劣化や不具合を引き起こすことで、宇宙開発・利用のリスクとなっています。私たちはこのような宇宙環境を監視するため、次期気象衛星ひまわり10号搭載用宇宙環境センサの開発を行っています。

■地球周辺の宇宙環境

宇宙は何もない真空の世界ではなく、高いエネルギーを持つ陽子や電子が飛び交う変化に富んだ環境であり、これらの発生源になっているものが太陽です。太陽面上の爆発現象(太陽フレア)が発生すると、高いエネルギーを持った陽子の数が通常時の1,000倍以上に増加することがあったり、太陽フレアに伴い吹き飛ばされた太陽周辺のガスが地球の磁場の勢力圏である「地球磁気圏」に衝突することで、磁気嵐を引き起こしたりすることがあります。地球磁気圏には、ヴァンアレン帯と呼ばれる領域があり、この中には高いエネルギーを持った電子が閉じ込められており、磁気嵐が起こると急激にその量を増減させることがあります。静止軌道付近では、高いエネルギーを持った電子の量が1日で1,000倍以上増加することもあります。このように地球周辺の宇宙環境は、太陽の影響の下、非常にダイナミックに変化します。

■宇宙開発・利用に対する宇宙環境のリスク

宇宙環境は宇宙機の不具合や劣化の要因となります。太陽フレアに伴って増加

する高エネルギー陽子は、宇宙機で使用される半導体素子に作用することで論理ビットの反転を引き起こし、システムの誤動作の要因となります。高いエネルギーを持った電子は、宇宙機で使用される絶縁材料の表面や内部に蓄積することで帯電を引き起こし、帯電量があるしきい値を超えると、放電に伴う材料破壊や電磁放射が発生し、宇宙機の不具合につながります。高エネルギー陽子や電子の増加に伴う宇宙環境の悪化は、現在私たちが日常的に使用している通信や位置情報サービスを担う人工衛星のみならず、将来的な月面開発を担うような宇宙機や宇宙飛行士にとっても、安心安全な宇宙開発・利用を実現する上でのリスクとなっています。

■宇宙環境センサ(RMS)の特徴

私たちは宇宙環境を原因とした宇宙機に対するリスクを監視するため、次期気象衛星ひまわり10号搭載用の宇宙環境センサとしてRMS(Radiation Monitors for Space weather)のプロトタイプモデルの開発を行っています。この装置は電子線計測装置(RMS-e)、陽子線計測装置(RMS-p)、またこれらとひまわり10号をつなげる役割を持つ共通回路部(RMS-dpu)の3つのコンポーネントで構成されています。RMS-e(図1)は、数十キロ電子ボルト(keV)^{*2}から数メガ電子ボルト(MeV)まで幅広く分布するヴァンアレン帯の電子を計測します。複数枚のシリコン半導体を積層した検出器を、低エネルギー側電子(50 keV~1,300 keV)用と高エネルギー電子側(0.8 MeV~5 MeV)用の2種類持つことで、それぞれを高精度に測定可能としていま



図1 電子線計測装置(RMS-e)エンジニアリングモデルの外観

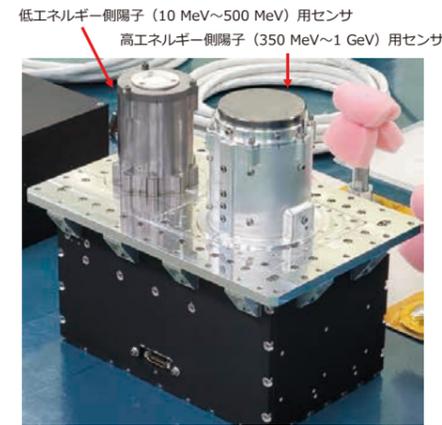
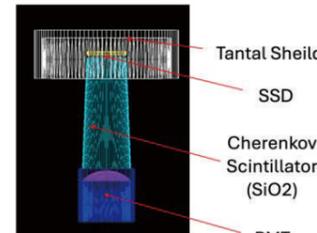


図2 陽子線計測装置(RMS-p)エンジニアリングモデルの外観



図3 共通回路部(RMS-dpu)エンジニアリングモデルの外観

シミュレーション内にセットされたRMS-p高エネルギー側センサの構造



左側から入射された高エネルギー陽子の軌道(緑線)

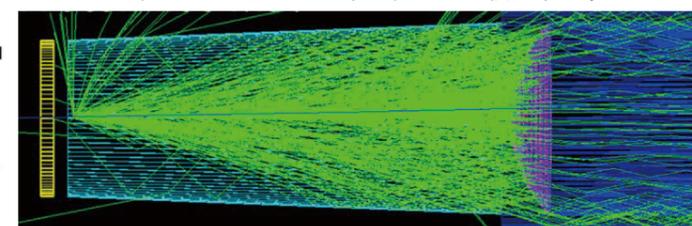


図4 RMS-pに設置された石英ガラス(SiO₂)内の高エネルギー陽子の軌道解析結果

す。RMS-p(図2)も低エネルギー陽子と高エネルギー陽子を計測する検出器に分けられており、低エネルギー側の計測器はRMS-eと同様に、積層されたシリコン半導体検出器を用いて、入射してきた陽子の数とエネルギー(10 MeV~500 MeV)を検出します。一方で、高エネルギー側の検出器は石英ガラスを内部に組み込み、高エネルギー陽子が通過した際に発生するチェレンコフ光^{*3}を検出することで、350 MeV~1 GeV程度の陽子を観測します。これらの計測装置をRMS-dpu(図3)を介してひまわり10号の衛星バスシステムにつなげることで、各計測器を効率良く接続できるようにしています。

■宇宙環境センサの校正

シリコン半導体検出器や石英ガラスが高エネルギー電子・陽子に対してどのように反応するのかは、「校正」により特定します。概知のエネルギーを持つ粒子ビームを照射する照射試験を行い、出力との関係を見ることで校正を行います。また、物質中の粒子の軌跡を計算するシ

ミュレーションを用いて、計測器の外から入射された高エネルギー電子・陽子が、どのようにシリコン半導体検出器や石英ガラスの中で反応を起こし軌道を変化させるのかを計算しています(図4)。シミュレーションで得られた結果を照射試験と比較したり、照射試験で実施できない条件でのシミュレーション結果を参照したりすることで、より高い精度の校正を行うことができます。さらに、実際に宇宙空間に打ち上げられた後も、他の人工衛星に搭載された宇宙環境センサで取得されたデータを用いて相互校正を行うことで、正しく宇宙環境の計測を行えるようにします。

■今後の展望

NICTでは国内外の様々な機関から宇宙天気に関わるデータを24時間体制で収集し分析を行うことで、宇宙天気情報を配信しています。しかしながら宇宙環境の計測データの多くは欧米の観測に頼っているのが現状であり、地方時によって異なる宇宙環境に対しては、日本

上空の状況を正確に把握することが難しいのが現状です。特に静止軌道上のヴァンアレン帯の環境は地方時で大きく異なることがあり、我が国上空の宇宙環境を把握するためには「その場」での計測が不可欠です。NICTでは次期気象衛星ひまわり10号に宇宙環境センサを搭載し、2029年から日本上空静止軌道上の宇宙環境監視を開始する予定です。また、国際連携による他衛星との相互校正の実施や世界各国で取得されたデータを比較・検証することでグローバルな宇宙環境把握を行い、宇宙天気予報の精度向上を目指します。このような国際的な取組を推進しながら、社会インフラを支える宇宙開発・利用の安心安全に資する宇宙天気予報を行うため、宇宙環境センサの開発を進めています。

*1 ロケットなどで打ち上げられ、大気圏外で使用される飛行体。
*2 電子ボルト(eV)は約1万度の温度を持つ電子の平均エネルギーに相当する。
*3 荷電粒子が物質中における光の速度を超えて進むときに発生する光。

熱圏・電離圏の宇宙天気



陣 英克
(じん ひでかつ)

電磁波研究所
電磁波伝搬研究センター
宇宙環境研究室
主任研究員

大学院修了後、2004年NICTに入所。超高層大気領域(熱圏・電離圏)の宇宙天気に関する研究に従事。博士(理学)。

近年では多数の小型衛星で構成する「衛星コンステレーション」によってインターネットの通信網が宇宙に進出したり、衛星測位で取得する位置情報がスマートフォンで日常的に使用されたりするなど、私たちの社会で宇宙利用が加速しています。地球大気上層の熱圏と電離圏は、衛星コンステレーションが構築され、また衛星測位の電波に媒体として影響する領域です。太陽活動が極大期にさしかかり、熱圏や電離圏の乱れによるこれら宇宙インフラへの影響が報告されています。情報通信研究機構ではこのような現象を監視し予測する技術の高度化を進めています。

■加速する宇宙利用の現場～熱圏・電離圏

熱圏は地球大気の最上部(高度約90～600 km)の層であり、そこでは原子・分子が太陽紫外線を受けてイオンと電子に分かれ、電離圏が形成されます。この領域は地球大気と宇宙空間の境界と捉えられます。上からは太陽光や磁気圏の影響があり、下からは気象現象の影響が到来することによって、ここでは様々な現象が誘発されます(図1)。一方、私たちの社会活動は熱圏・電離圏の領域に及んでおり、ここで起こる自然現象は宇宙利用の脅威となる場合があります。熱圏の大気はそこを通る人工衛星やスペースデブリに対して大気抵抗として作用し、それらの軌道や姿勢に影響します。特に近年衛星コンステレーション構築の動きが活発化し、地球に近い軌道(低軌道)を通る衛星の数が急増しているため、その影響の重要性が増しています。また、

電離圏の電子は電波に反応して振動するため、船舶・航空無線などに使われる短波(3～30 MHz)や、衛星測位システム(GNSS: Global Navigation Satellite System)に使われる1～2 GHz帯など幅広い周波数の電波に影響します。このため、電離圏の状態によって通信や衛星測位システムの性能が変わることがあります。特に近年ではスマートフォンやドローン、自動操縦などにおいてGNSSの普及が進んでおり、測位分野での電離圏の重要性が増しています。

■近年の大規模な宇宙天気現象の影響

近年太陽活動が極大期に近づく中で、そのような熱圏と電離圏の乱れによる宇宙利用への影響が報告されています。2024年5月には、太陽フレアに伴って太陽から放出されたプラズマの塊が地球に到達し、19年ぶりのレベルとなる大規模な地磁気乱れ(磁気嵐)が発生しました。この影響により、国内でも広い範囲でオーロラが見られ、ニュースやSNSを賑わしたところ。一方、オーロラの活性化は磁気圏から熱圏・電離圏へ強い電流が流れることを意味します。その電流は、熱圏の大気を加熱したり、電氣的な力を介して電離圏の電子密度分布の乱れを引き起こしたりします。2024年5月のイベントで特に顕著に見られたのは、このようなプロセスで発生する電子密度の異常な増減(電離圏嵐)です。細かい不規則な電子密度の乱れが日本上空を流れていく様子も観測されました(図2)。国土院によると、このような電離圏の異常が発生した時間帯にGNSS測位に影響があった可能性があり、カーナビやスマートフォン等で利用

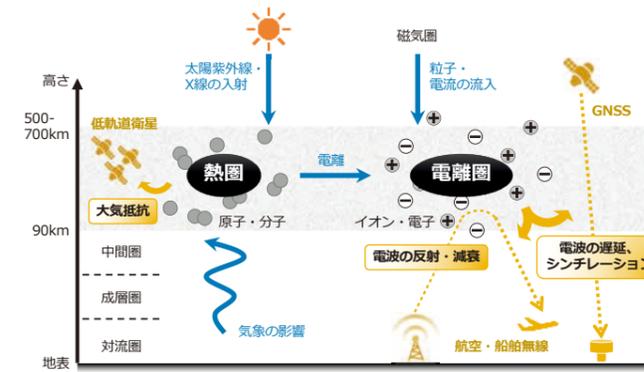


図1 熱圏と電離圏の概念図

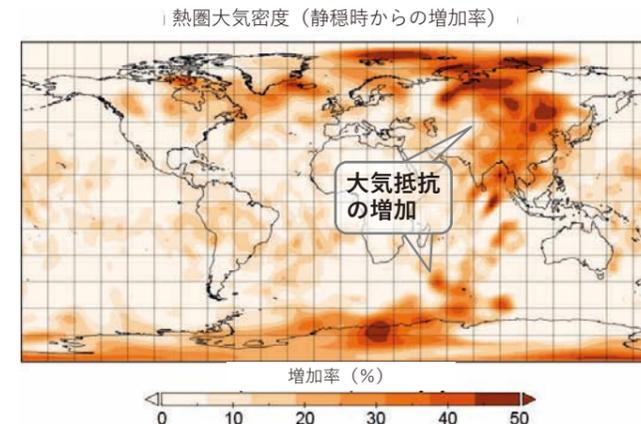


図3 2022年2月の磁気嵐発生時の熱圏のリアルタイムシミュレーション結果

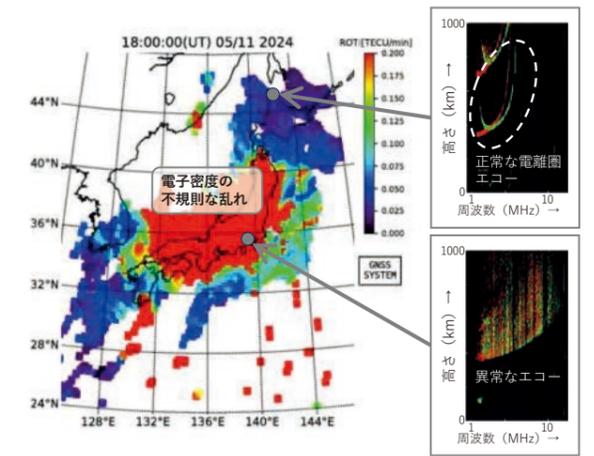


図2 2024年5月の磁気嵐発生時の電離圏の観測(左: TECの変動率、右: イオノゾンデ観測)

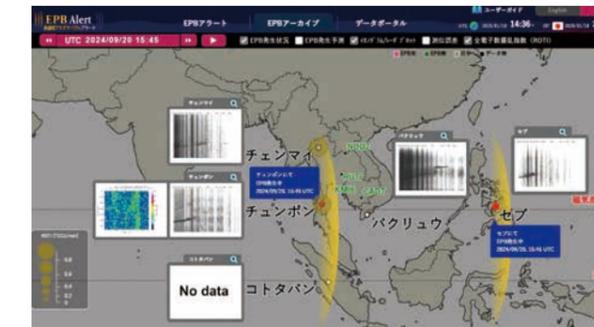


図4 プラズマバブルアラートシステム (https://epb-alert.nict.go.jp/en/index.html)

する一周波の測位方式だけでなく、測量などで利用する電離圏の影響を受けにくい二周波の測位方式でも誤差が増大した可能性が示されています(https://www.gsi.go.jp/denshi/denshi45043.html、https://www.gsi.go.jp/denshi/denshi45044.html)。

2022年2月に発生した磁気嵐の事例では熱圏大気の乱れによる低軌道衛星への影響が報告されています。この時の磁気嵐は平均的に月一回程度発生するような中規模レベルでしたが、衛星コンステレーションを構成するために打ち上げられた数十基の衛星が熱圏から下層の大気に突入して失われました。この原因として衛星に作用する大気抵抗の増加が報告されています。これにより衛星が減速し、遠心力を失って落下に至ったと考えられます。後述のリアルタイムシミュレーションからは、オーロラの電流系が熱圏の大気を加熱することにより、低高度にあった濃い大気が膨張して広がり大気抵抗の増加に至る状況が確認されています(図3)。

■熱圏・電離圏の監視と予測の取組

このような宇宙利用に対する熱圏・電離圏現象のリスクを軽減するために、NICTでは現象を監視し予測する技術の高度化を進めています。電離圏を監視する取組としては、イオノゾンデと呼ばれる電子密度の鉛直構造の測定装置を用いて国内4拠点と南極で観測しているほか、国土院のGNSS受信機網のデータから全電子数(電子密度の高度積分値)を導出しています(観測例: 図2)。さらに、プラズマバブルと呼ばれる赤道から日本南部を含む低緯度域まで発達する電離圏現象の監視のため、東南アジア地域において現地機関との協力により、イオノゾンデ等の観測網を展開しています。そして、これらの観測データから電離圏構造の特徴量の抽出や現象の検知を行うため、機械学習技術の導入を進めています。東南アジア域においては、プラズマバブルの発生をリアルタイムに検知するシステム(Plasma Bubble Alert)を

構築し、2024年12月から公開しています(図4)。

一方、電離圏や熱圏の予測に向けた取組としては、大気圏と電離圏のシミュレーションモデルGAIAを九州大学や成蹊大学と共同開発し、その高度化を進めています。これまでGAIAへの入力データについて、計算時点の最新データを使用することにより、リアルタイム及び予測の計算を行ってきました(計算例: 図3)。電波伝搬を可視化するウェブツールHF-START(https://hfstart.nict.go.jp/index.html)でもその計算結果が使われています。そして、現在GAIAの予測精度を向上するために、電離圏の観測データを使ってモデルの誤差を小さくさせる技術(データ同化)の導入を進めています。2025年度中にはデータ同化を取り入れたGAIAのリアルタイム及び予測計算を開始する予定です。

宇宙天気予報の社会実装促進に向けて 民間活用促進とビジネス化



西塚 直人
(にしづかなおと)
電磁波研究所
電磁波伝搬研究センター
宇宙環境研究室
主任研究員

大学院修了後、宇宙航空研究開発機構、国立天文台、ロンドン大学マラード宇宙科学研究所を経て、2014年にNICT入所。太陽フレアのAI予測モデル開発と社会実装に従事。博士(理学)。

衛 星通信やGPS衛星測位の利用、宇宙は私たちの日常生活にとって身近なものとなりました。その一方で太陽活動が活発化する中、磁気嵐による低軌道通信衛星40基の喪失など、宇宙環境による経済的影響も大きくなっています。宇宙天気予報はこうしたリスクを軽減し、社会インフラを守ります。NICTは宇宙天気の社会実装を行いながら社会インフラとの連携を強化し、民間活用促進とビジネス化を目指します。

■ 背景

近年の宇宙ビジネスでは、衛星コンステレーションの活用、民間宇宙旅行の幕開けなど多くのニュースがあります。一方で宇宙インフラのレジリエンスや宇宙デブリ問題など、宇宙安全保障も注目されています。さらに月面ビジネスの検討も進んでいます。2022年の磁気嵐に伴う40基のスターリンク衛星喪失は影響が大きく、米国では国家宇宙戦略文書に記載された長期戦略の下、NOAAやNASA、空軍/宇宙軍、大学や宇宙ベンチャー企業らの連携

で、より使いやすい宇宙天気情報の発信と民間ビジネス創出が進められています。

日本でも、従来の宇宙大手企業に限らず、宇宙ベンチャーが数多く発足し、かつ他分野からの宇宙事業参入も進んでいます。こうした中、人工衛星の打ち上げや宇宙利用サービスが活発化し、宇宙天気情報の活用も、重要性を増してきています(図1)。NICTでも、宇宙天気予報のビジネス化が今中期計画のテーマの1つであり、宇宙天気ユーザー協議会や総務省主催の「宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会」等を通じて議論を深めています。

■ 宇宙天気予報の民間利用促進と課題

NICTが行う宇宙天気予報も、民間活用の促進が次の課題となっています。宇宙天気予報の成り立ちは、太陽活動に伴う短波通信への影響監視から始まっていますが、最近では他分野の事業への影響も含めて予報を行っています。各国の緯度や産業によっても影響は異なりますが、通信・放送分野、衛星運用分野、航空分野、衛星測位分野、電力分野の5分野への経済影響が大きいと推定され、深宇宙探査や国防・防災の観点でも検討されています(図2)。

宇宙天気予報の社会実装の難しさは、研究者による基礎研究成果を運用化し、事業者が使いやすい情報として配信することです。宇宙環境データは国際協力によって共有されていますが、社会インフラのシステムにどの程度の影響が出ているのかは、各企業に聞かなければわかりません。また対応策もシステムによって異なり、専門用語を使わないわかりやすい表現も必要です。NICTでは、各企業と個別に影響調査を行いつつ、ニーズに基づく研究開発や新警報基準の策定、利用のためのガイドライ



図2 宇宙天気予報の利活用分野

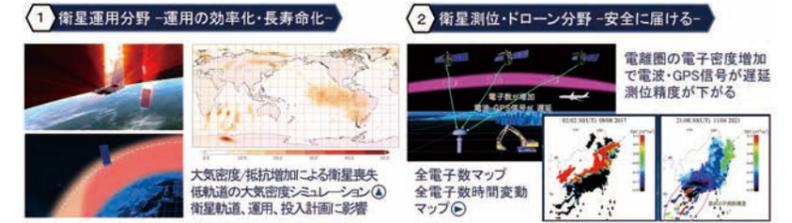


図3 市場ニーズ調査を行った3分野と宇宙天気予報シーズ

ンを準備しています。

■ 宇宙天気予報の市場ニーズ調査

NICTでは昨年度から、ビジネス化のための市場調査とコンセプト動画作成の実証的研究を行っています。本調査では、宇宙天気ユーザー協議会のほか、CEATECやNihonbashi Space Week、米国開催のSpace Weather Workshop、NICTオープンハウス等の参加企業から聞き取りを行いました。また米国大使館、オーストラリア大使館が宇宙ベンチャーのマッチングを行っており、その機を利用して海外企業の聞き込み調査も行い、最終的に80社以上の宇宙関連企業の聞き取り調査を行いました。

分野としては、衛星関連企業、保険会社、商社、有人宇宙、月面探査、サーバー運用会社、旅行会社、ロケット打上げ会社、航空会社、GPS利用会社、通信放送会社、新規事業サービス会社に分けられます。宇宙天気予報情報にお金を支払って使いたいという企業はまだ少ないですが、各企業の課題や宇宙天気の潜在的ニーズについて確認することができました。また宇宙天気データのAPI提供を望む声が多く、日本でも宇宙天気サービスの事業化に関心のある企業が複数出てきていることがわかりました。

■ 宇宙天気予報シーズによる問題解決とコンセプト動画の作成

NICTで行う研究開発は、太陽、惑星間

空間、磁気圏、電離圏を分野横断的に取り扱い、地上・衛星観測、数値計算モデリングやAI技術など多岐に渡ります。電波伝搬や衛星運用に直接影響する電離圏・磁気圏の研究によって、短波伝搬シミュレータや衛星帯電、太陽放射線被ばくの予測アプリを公開しています。また低軌道衛星運用に影響する地球大気モデルのリアルタイムシミュレーションを実施する他、AI技術を用いた太陽フレア等の予報運用にも取り組み、特許のライセンス先企業を募集しています(図3)。

また市場調査結果を基に、宇宙天気予報ニーズの高い分野についてコンセプト動画を作成しました(図4)。衛星運用分野、衛星測位・ドローン分野、観光・宇宙旅行分野について、各分野における課題や困りごとを冒頭に、宇宙天気予報シーズでどのように問題解決できるかを具体的に説明する内容構成としています。本動画では

NICTの提供するデータや情報が誰の役に立つのかを具体的に紹介しつつ、ビジネスのイメージをつかみやすい構成としていますので、是非関連事業者の方にはご覧いただくと幸いです。

■ 今後の展望

近年は海外を中心に宇宙天気スタートアップ企業が現れ、宇宙天気の民間利用促進が進みつつあります。日本でも、国内初の宇宙天気ベンチャーSpace Weather Companyが設立され、NICTと民間企業が協力してビジネス化を進める機運が高まっています。市場調査からわかったニーズの高い分野を中心に、宇宙天気情報提供プラットフォームの研究開発も行い、更に宇宙天気予報が適切に利用されるよう、宇宙天気予報士制度も検討されています。今後もNICTの宇宙天気予報にご注目ください。



図4 宇宙天気予報のコンセプト動画
(<https://www.youtube.com/watch?v=3t-vlX2HcqQ>)

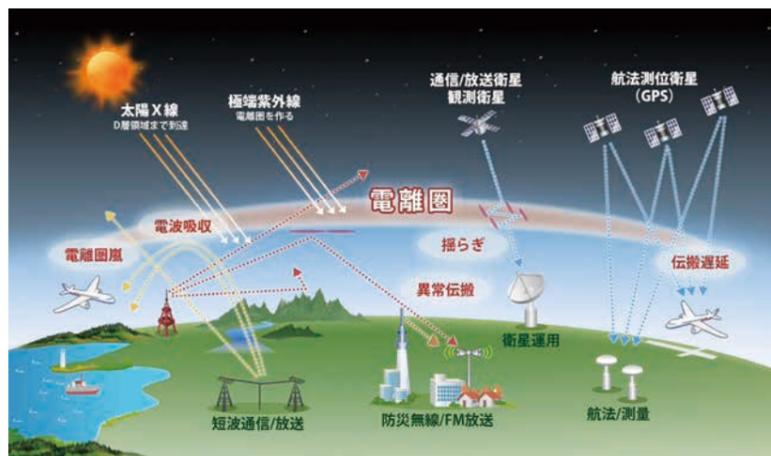


図1 宇宙天気(太陽フレア)による社会影響

宇宙環境と宇宙機の帯電・放電



榎海星

(えのきかいせい)

電磁波研究所
電磁波伝搬研究センター
宇宙環境研究室
テニュアトラック研究員

大学院博士課程修了後、2024年NICT入所。宇宙環境による宇宙機の帯電・放電に関する研究に従事。博士(工学)。

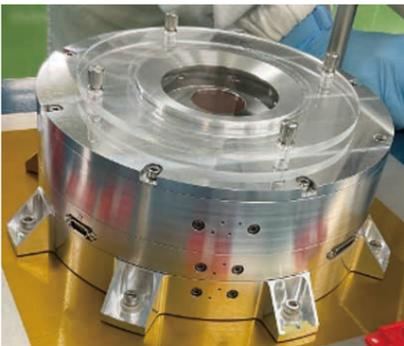


図1 宇宙機搭載用の帯電計測装置エンジニアリングモデル



図2 現在開発中の小型帯電計測装置

スマートフォンから得られる位置情報、気象情報のように、生活に欠かせない様々な情報やサービスが、人工衛星等の宇宙インフラにより支えられる時代になりました。今後は、自動車の自動運転やドローン等を用いた物資輸送などのサービスの増加により、宇宙インフラは私たちの生活に必要なものとなります。また、アルテミス計画をはじめとする有人での月面や惑星探査が国際協力により進められており、人工衛星・探査機・探査ローバーといった宇宙機の利用が世界的に拡大傾向にあります。このような宇宙機利用の拡大に伴い、宇宙システムの異常等は大きなインフラ障害や人命に関わる事故に発展する可能性があります。更なる信頼性・安全性の確保が求められています。

宇宙機は電子やイオンと呼ばれる電荷をもった粒子(荷電粒子)が存在する環境下で運用されています。荷電粒子が存在する環境下に宇宙機が曝されると帯電し、帯電量があるしきい値を超えることで放電が発生します。放電に伴い発生する電磁パルス等は、精密機器を多数搭載している宇宙機の誤作動や故障を引き起こす可能性があります。実際にカナダでは1994年に通信衛星Anik-E1、Anik-E2にて放電起因の誤作動が発生し、テレビやデータ通信の中断、一部電話サービスも数時間にわたって停止したことが報告されています。しかしながら、宇宙環境と宇宙機の帯電・放電の関係はまだまだ不明確な点が多いというのが現状です。宇宙開発・利用に伴う障害リスクを軽減し信頼性・安全性を確保するためには、運用により致命的な故障を避けるための対

策を実施することや、設計段階での対策が必要となり、このためには荷電粒子による宇宙機の帯電・放電発生を事前に知ることが重要となります。

現在、私たちは宇宙機の信頼性・安全性の確保を目的に、宇宙天気情報を用いた宇宙機の帯電及び放電発生の有無を評価するシステムの開発を行っています。この帯電・放電評価システムを用いることで、運用中の異常回避や各宇宙機の帯電状況を考慮した材料開発・選定が可能となり、宇宙機運用及び開発の一つの重要な指針となります。また、実際の運用環境での帯電状況の把握のため、宇宙機搭載用の帯電計測装置のエンジニアリングモデルの開発を行いました(図1)。実際の宇宙環境下で帯電計測を行い、その場での帯電状況を把握することで、帯電・放電発生評価の精度や信頼性の向上につながり、宇宙機の帯電・放電現象の把握及び解明に大きく貢献できると考えています。また、宇宙環境は運用軌道や太陽活動等によって刻々と変化します。そのため、精度向上には広範囲にわたるデータ収集が必要であり、多くの衛星を用いた観測が求められます。近年は多数衛星を用いた協調運用等で小型の衛星開発が活発化していることから、小型衛星への搭載を見据えた機器の小型汎用化を進めております(図2)。

これからますます利用拡大していく宇宙インフラの安定運用に貢献できるよう、研究開発を進めていきます。

世界初の「フレア警報」実現に向けて

—物理モデルに基づくフレア発生予測—



伴場由美

(ばんばゆみ)

電磁波研究所
電磁波伝搬研究センター
宇宙環境研究室
テニュアトラック研究員
博士(理学)

●経歴

1988年 群馬県にて誕生
2016年 名古屋大学大学院博士課程修了
宇宙航空研究開発機構
宇宙航空プロジェクト研究員
2019年 名古屋大学特任助教
(Young Leaders
Cultivation Program)
2023年 NICT入所、現職

一問一答

- Q 研究者になってよかったことは？
- A 研究を通じて海外に友人ができたことです。国は違っても似たような悩みを抱えていたり、逆に全く異なる考え方をしていたり、とても良い刺激をもらえます。
- Q 研究者志望の学生さんにひとこと
- A 研究に限らずですが、色々行き詰まって思い悩むこともあると思います。そういう時は遠慮せず周りの人を頼ってください。自分が思っている以上に、味方は多いものですよ。
- Q 休日の過ごし方は？
- A 子ども(4歳)と一緒に公園や買い物に行ったり、最近では一緒に料理を作ったりしています。



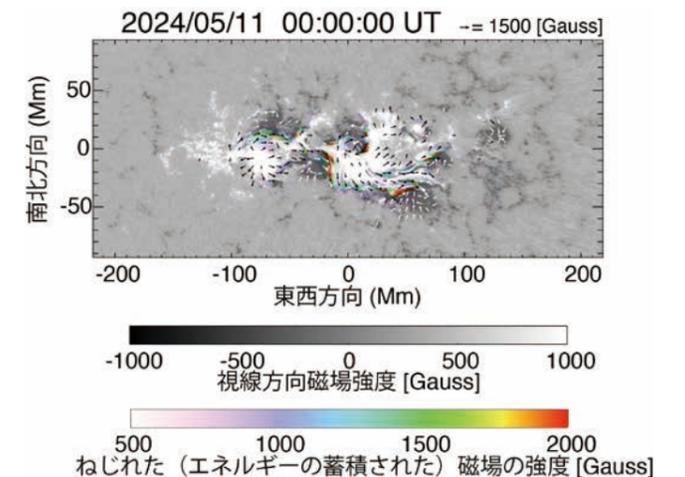
太陽フレアが発生すると、航空機などで使用されている短波通信に障害が発生したり、カーナビなどで利用されているGPS測位信号の受信ノイズなどが発生する可能性があります。地球からフレアを観測した段階で、既にこれらの影響は現れており、高度な情報・通信技術に支えられている現代社会における安心・安全な生活を守るためには、フレアの発生そのものを予測することが重要です。しかし、フレアの発生場所、タイミング、そして規模を正確に予測することは、世界的にみてもまだ実現できていません。

フレアは太陽の活動領域に蓄積された磁場のエネルギーが、何らかのきっかけで爆発的に解放される現象であることがわかっています。従来の経験的フレア予測は、活動領域の磁場構造の複雑さなどの定性的な特徴の監視により行われてきました。このような手法は発生頻度の高い比較的小規模のフレアには有効ですが、発生頻度は低いものより社会的影響度

の高い大規模フレアの予測には不向きです。そこで私は、経験則によらない、物理モデルに基づいた活動領域のフレア発生危険性を評価・監視するシステムの開発を行っています。このシステムでは、人工衛星による太陽表面の準リアルタイムの観測データから、活動領域の3次元的磁場構造の数値モデルを経て、当該領域の蓄積エネルギー量、不安定さ、解放可能エネルギー量などのパラメータを全自動で算出し、各領域のフレア発生危険性を可視化します。

現在は、これらのパラメータを算出し可視化するところまで開発が完了し、宇宙天気予

報業務での利用を開始したところです。今後は、同システムによる大規模フレア予測精度の検証を行う予定です。その上で、世界初の「フレア警報」の実現に向けて、ユーザーニーズに基づく警報基準の策定や、警報発信方法についての検討も行う計画です。



太陽活動領域の磁場と蓄積エネルギーを可視化した図。特に赤色の部分にエネルギーが蓄積されている。

採用

2026

研究職・ 研究技術職・ 総合職

NICTは、情報通信分野を専門とする我が国唯一の公的研究機関です。研究者と総合職が一体となって、高いパフォーマンスを発揮し、先端ICTの研究開発に取り組んでいます。これからの未来を創るNICTで、是非一緒に様々なことに挑戦していきませんか？

応募受付中！



詳細については、採用情報のURLをご覧ください

<https://www.nict.go.jp/employment/index-top.html>

研究職・テニュアトラック研究員・研究技術職

■**募集職種** パーマネント研究職、テニュアトラック研究員、パーマネント研究技術職

■**専門分野** 電磁波、ネットワーク、サイバーセキュリティ、ユニバーサルコミュニケーション、フロンティアサイエンス、脳情報通信、Beyond 5G、AI、量子ICT、オープンイノベーション推進、情報システムDX

■**エントリー方法** 募集要項を確認の上、「研究職・研究技術職採用サイト」からエントリーください。

<https://www2.nict.go.jp/employment/researcher/index.html>

《採用時期》2026年4月1日(水)(原則)

《応募締切》【早期選考（ルーキー型・女性対象）】

2025年3月5日(水)17:00 必着

【通常選考】

2025年3月26日(水)17:00 必着

■**お問い合わせ**

研究職採用担当

MAIL: recruit-r@ml.nict.go.jp

パーマネント総合職

■**仕事内容** 研究開発の推進及び研究開発成果の社会還元のため、経営企画、人事、財務、法務、広報等の組織マネジメント、研究推進・産学官・地域連携、国際連携、知的財産管理、技術移転など幅広い業務に従事します。

■**応募資格** 4年制大学(海外の大学を含む)以上を2026年3月に卒業・修了する見込みの方。あるいは2023年3月以降に4年制大学以上を卒業・修了した方。
 ※学部や専攻は問いません。

■**エントリー方法** 下記URLからマイナビ2026に登録後、エントリーをされた方へ順次ご案内いたします。

<https://www2.nict.go.jp/employment/clerk/clerk.html>

《採用時期》2026年4月1日(水)(原則)

《応募締切》2025年3月31日(月)17:00 必着

※マイナビにエントリーできない方は、下記までお問い合わせください。

■**お問い合わせ**

総務部人事室人事グループ 総合職採用担当

MAIL: jinji@ml.nict.go.jp

施設一般公開イベント

NICTオープンハウス

2025

参加費無料・事前申込制

6/20 Fri ▶ 6/21 Sat

開催内容につきましては3月下旬、イベント公式サイトにて公開いたします



「NICTオープンハウス2024」開催時の様子