

5-3 宇宙天気の世界動向

5-3 Global Activity of Space Weather Research and Operation

石井 守 田 光江 長妻 努

ISHII Mamoru, DEN Mitsue, and NAGATSUMA Tsutomu

宇宙天気予報は太陽・太陽風・磁気圏及び電離圏に至る広大な領域を対象とするため全域を一組織あるいは一國で観測することは不可能である。必然的に各國の関連機関との情報共有・観測協力が不可欠であり、古くから国際連携が進んできた分野の一つと言える。

近年、国連を中心に多くの機関が宇宙天気に関するワークショップを立ち上げ、既にその一部は定常組織に発展している。その多くが気象や宇宙利用に関する現業機関であり、宇宙天気情報が実利用に寄与していることの一つの表れと言える。

Since space weather handles a huge area including the sun, solar winds, magnetosphere, and ionosphere, it is difficult to observe and forecast whole of it by only one organization or country. International collaboration is essential for operational space weather monitoring and forecast and has been implemented for long period.

Since the beginning of 21th century, a lot of organizations mainly in the United Nations established workshops and started the discussion of space weather, and some of them moved to operational services. These frameworks are based on the meteorology and utility of space which means that space weather information contributes to social activities.

1 黎明期の国際協力

宇宙天気情報は実用分野ではまず短波通信の分野で必要とされたため、国際電気通信連合無線通信部門 (International Telecommunication Union-Radiocommunication Sector: ITU-R) での議論が盛んに行われた。ITU は 1865 年に設立された、世界でもっとも古くからある国際機関であり、その歴史は国際連盟よりも古い。ITU-R では、各周波数の電波伝搬やその背景情報について、実計測を基に各國がモデルを提案、基本的に全員一致により勧告として承認されるプロセスによる標準化を行っている。

また、宇宙天気予報のためのリアルタイム情報共有としては、国際地球観測年に設立された国際組織国際ウルシグラム世界日業務 (International Ursigram and World Days Service: IUWDS) が源流と言える。この時に日本を含む 7 か国の間でテレックスを用いた連絡網を整備し、電波状態の乱れに関する警報業務を開始し、その後の宇宙天気予報につながる。現在は国際宇宙環境サービス (International Space Environment Services: ISES) にその活動が引き継がれている。

2 海外の動向

歴史に記録されている最大の宇宙天気現象であるキャリントン・イベント (1859 年発生) と同じクラスのイベントが発生した場合の経済損失についてスイスの保険会社 “SWISS-Re” が試算を行っている。その結果によると、欧米など高緯度地域を中心に、3,000 億ドルほどの被害が想定され、東日本大震災の経済損失 (1,000-2,500 億ドル) を上回る [1]。

これらの状況より、米国は宇宙天気を地震や津波などの災害と並べ、米国戦略的国家危機評価 (US Strategic National Risk Assessment) の一つとして位置付けている。2015 年には米国内の 20 を超える機関、50 人を超える専門家によって作成された National Space Weather Strategy 及び Space Weather Action Plan が発表された [2] (2019 に改訂 [3])。2016 年以降、この Action Plan を受けて米国国務省が極端現象に関する国際協力の枠組みの構築のための研究会を他国と連携して行うなど、活発な活動が展開されている。2018 年には、“Space Weather Phase 1 Benchmarks” が刊行され、誘導地電流、電磁放射線、電離圏じょう乱、太陽電波バースト、大気膨張についてのベンチマークテストを示している [4]。

欧州では特に英国が宇宙天気の影響について文書を盛んに発表している。2013年には英国 Royal Academy of Engineering が Extreme space weather: impacts on engineered systems and infrastructure を発表し、極端現象の社会影響について報告した [5]。その後英国 Cabinet office による National Risk Register (2015 年 [6])、Space Weather Preparedness Strategy (2015 年 [7]) が相次いで発表された。

アジアでは韓国未来創造科学部が 2013 年に「宇宙電磁障害」危機管理マニュアルを発表した。

3 活発化する国連の活動

2009 年頃を境に、国連の複数の機関で宇宙天気に関する議論がほぼ同時に盛んになり、ワーキンググループの設立が相次いだ。

世界気象機関 (World Meteorological Organization: WMO) は 2009 年に宇宙天気プログラム間調整チーム (Inter-programme Coordination Team on Space Weather: ICTSW) を設立、年 1 回の会合のほか月 1 回のテレコンを開催するなど非常に活発な活動を展開し [8] WMO 情報システム (WMO Information System: WIS) での宇宙天気情報の流通等を中心に検討を進めてきた。ICTSW は後述する国際民間航空機関 (International Civil Aviation Organization: ICAO) への情報入力の特任組織として重要な役割を果たしている。また、ICTSW は 2015 年からの 4 か年計画を検討しており、その中では組織の定常化が提案されて 2015 年に定常組織として IPT-SWeISS (Inter-Programme Team on Space Weather Information, Systems and Services) が設立され [9]、現在に至る。

ICAO [10] では、民間航空機の運航における宇宙天気情報の利用を検討してきた。これは主に、極域航路が増大する中で宇宙天気現象による短波通信、衛星測

位及び宇宙放射線被ばくのリスクを回避することを目的としている。2011 年 11 月に航空機運航に必要なとされる宇宙天気情報に関して国際航空運送協会 (International Air Transportation Association: IATA [11]) から ICAO に検討要望の書簡が発出され、議論が開始された。議論の結果、運用コンセプト (Concept of Operations: ConOps) 及び航空運用に使用される気象情報を規定している国際民間航空条約第 3 付属書 (Annex 3) が改定された。これと並行して、情報を提供する組織の選定が進められてきた。2017 年 6 月に ICAO から加盟国に対して情報提供についての関心の有無を問うステートレターが発信され、22 か国がこれに関心を表明した。書面審査、対面審査を経て、2018 年 11 月に 3 つの組織が ICAO Space Weather Global Center として承認を受けた (米国、PECASUS (フィンランド、オーストリア、ベルギー、キプロス、ドイツ、イタリア、オランダ、ポーランド、英国)、ACFJ (オーストラリア、カナダ、フランス、日本))。その後調整会議を 1 年間重ね、2019 年 11 月 7 日にサービスが開始された [12]。

2020 年 4 月 29 日に ICAO council は中国・ロシア連合 (China-Russia Consortium: CRC) のグローバルセンター移行を承認した。現状の 3 センターの活動に CRC が支障なく合流するためのワーキンググループが宇宙天気センター協働グループ (SWXCCG) 内に立ち上げられ、必要な手続きの検討を進めている。また、リージョナルセンターとして選出されていた南アフリカは PECASUS に合流する姿勢を見せている。

さらに、ICAO グローバルセンター間での情報共有と予測モデルの比較の検討が開始された。現在、3 センターは予報モデル及び観測データは各センターが独自のものを使用しており、共有されていないことから、予報の均一性に問題があると SWXCCG 内で議論が進められてきた。現在、モデルについて、現在使われている電離圏及び航空機被ばくモデルの結果を比較する議論が NICT のリードの下に SWXCCG 内で継続している。併せて、リアルタイム電離圏データを共有するためのデータサーバを NICT に構築し、情報共有の試験を開始しつつある。

もう一つの国連における活動としては、宇宙平和利用委員会 (Committee on the Peaceful Uses of Outer Space: COPUOS) [13] が挙げられる。

国連宇宙空間平和利用委員会 (UN/COPUOS) は 1959 年の国連総会決議 (1472) 「宇宙空間の平和利用に関する国際協力により設立された国連総会直属の常設委員会である。会議はオーストリア・ウィーンにおいて開催され、本委員会 (毎年 6 月頃に開催) の下に、科学技術小委員会 (毎年 2 月頃に開催) 及び法律小委員会

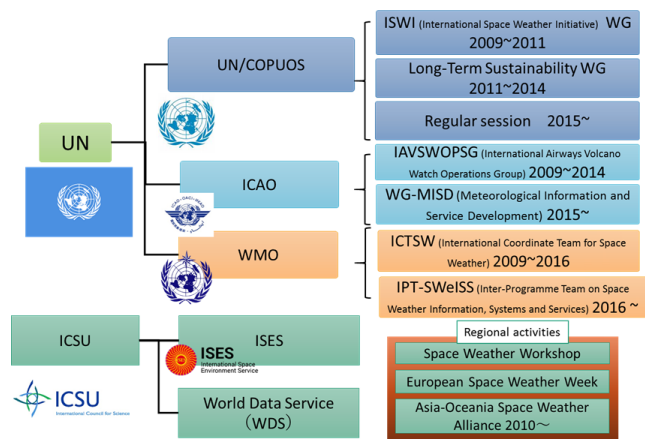


図 1 宇宙天気に関連する国際組織



図2 宇宙平和利用委員会 (UN/COPUOS) 科学技術小委員会の模様 (オーストリア・ウィーン)

(毎年4月頃に開催)がおかれ、宇宙活動に関する諸問題に対し、それぞれ技術的側面及び法的側面からの検討等を行っている。2020年3月時点、日本を含む95か国が加盟している。

2010年から「宇宙活動の長期持続可能性」(LTS)という議題の下、宇宙活動を長期的に持続可能な利用のために自主的に遵守すべき「ガイドライン」の制定を目指し、ワーキンググループが設置された。ワーキンググループは、21のガイドラインについて一致したが、7のガイドラインについては一致せず、2018年6月に、ワーキンググループが終了した。ワーキンググループ終了後、我が国が主導する形で有志国と連携して21のLTSガイドライン実施をCOPUOS加盟国に働きかけてきた。

2019年のCOPUOS本委員会初日(6月12日)に、日米カナダ・フランスの4か国が21のLTSガイドライン実施に関するワーキンググループを科学技術小委員会の下に設置するとの共同提案を行った。本委員会会期中に加盟国間の議論を経て、6月21日、COPUOS本委員会として21のLTSガイドラインを正式に採択するとともに、科学技術小委員会の下にこれらガイドラインの実施及び新たなガイドラインの可能性等を議論するワーキンググループが設置されることが決定された。21のLTSガイドラインのうち、B.7として「宇宙天気モデル及びツールの開発並びに宇宙天気による影響の低減のための確立した実行の収集」が制定され、専門家会合によりこの活動が行われている。2020年には加盟各国及び国際機関に対して現状の調査を進めた。

また、前述のITU-R[14]においては現在、SG3(電波伝搬)及びSG7(科学利用)で宇宙天気に関連した標準化の議論が行われている。SG3では日本は現在、長基線における長波の電界強度モデルの提案やGNSS(Global Navigation Satellite System)に関するフォー

マットの提案を行っている。しかしながら近年は携帯電話などの電波伝搬の標準化が主流であり、宇宙天気関連の提案は少なくなっているのが現状である。一方SG7では宇宙天気監視のための観測に必要な周波数の保護に関する議論が活発になっている。

4 その他の国際組織の活動

また、国連とは別の組織として、先述したように1962年から開始したIUWDSの活動を引き継ぐ形で1996年より国連国際科学会議(International Council for Science Union: ICSU)の下で国際宇宙環境サービスISES[15]が活動している。これは定期的に宇宙天気情報を発信している機関の連合体であり、2020年1月現在20か国及びESAが加盟している。

また、気象衛星のコンソーシアムである気象衛星調整会議(Coordination Group for Meteorological Satellite: CGMS)でも、人工衛星による宇宙天気観測やデータ利活用等に関する議論が行われている。CGMSは気象予報等に欠かせない気象衛星観測システムの世界的な調整を行うグループである。WMO等が策定した要件に応じて、気象観測・予測及び気候監視業務を支援する目的で1972年に設立され、毎年会議を開催しており、そこでは以下の4つのWorking Group(WG)が設置されている。

- WGI : Satellite Systems and Operation (衛星システムと運用)
- WGII : Satellite Data and Products (衛星データとプロダクト)
- WGIII : Operational Continuity and Contingency Planning (運用の継続性と緊急時対応計画)
- WGIV : Data Access and End User Support (データアクセスとエンドユーザーサポート)

当初は宇宙からの気象・気候監視のみを取り扱っていたが、WMOが2009年から宇宙天気観測への関与を深めていくのに呼応して、2012年のCGMS-40でad-hocな組織として宇宙天気タスクチーム(Space Weather Task Team: SWTT)の設置が勧告され、2013年のCGMS-41からSWTTの下で、CGMSにおける宇宙天気観測が議論されるようになった。さらに、2018年のCGMS-47において、これまでの活動成果を踏まえて、宇宙天気調整グループ(Space Weather Coordination Group: SWCG)として常設の組織が設置された。

SWCGでは各機関の宇宙天気計測の現状や将来計画、宇宙天気予報を含むデータ利活用に関する報告や、長期的な宇宙天気観測のギャップ分析とその対応、高エネルギー粒子計測器の相互校正手法の検討や標準化、宇宙天気に起因する衛星障害情報のデータベース化な

どに関して、他の WG とも連携しながら議論を行っている。NICT は SWCG において宇宙天気予報業務の活動報告のみならず、ひまわり 8 号・9 号搭載の宇宙環境データ取得装置 (SEDA) の宇宙天気予報への利用等を通じて高エネルギー粒子計測の相互校正や衛星障害情報のデータベース化等の議論において、宇宙天気予報の専門家として積極的に貢献している。

さらに NICT が主導する、地域に根付いた活動としては、AOSWA (Asia-Oceania Space Weather Alliance) が挙げられる。従来、米国においては NOAA が主導する Space Weather Workshop、欧州では European Space Weather Week が年次会合を行っており、学術のみならず利用の分野からも講演がなされ活発な議論が進められてきた。AOSWA はアジア・オセアニア域における同様の活動の枠組みとして 2010 年 10 月に設立された。設立当初は 5 か国の参加であったが、現在は 13 か国より 27 機関が参加している。その後ほぼ 2 年に 1 回の割合で会合を開催し、宇宙天気に関する共同研究や情報交換を進めている。NICT はこの枠組みの下に、アジア・オセアニア域での共同研究を活発に進めている。

図 4 に、アジア・オセアニア域における NICT 宇宙



図 3 第 5 回 AOSWA ミーティング (2018 年 9 月 19-21 日、インドネシア・バンドン市) の集合写真

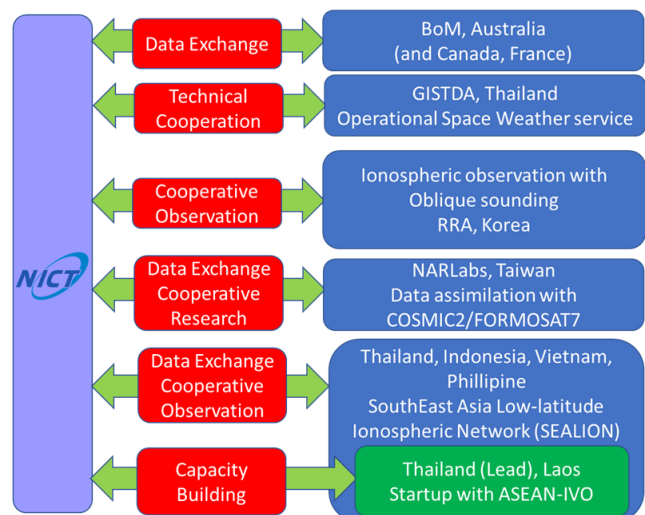


図 4 アジア・オセアニア域における NICT 宇宙天気関連の各国との協力関係

天気関連の国際協力を示す。宇宙環境研究室では、宇宙天気予報業務に関するノウハウの提供や、宇宙環境の観測・解析手法の指導等のキャパシティビルディングから、共同観測・データ共有等の業務提携に至るレベルまで様々な形で国際協力を行っている。

5 まとめ

宇宙天気の実利用が各方面で明確になってきたことを受け、宇宙天気について学術機関での検討から現業機関でのルール化に移行しているのが現在の状況と思われる。

気象情報同様、実社会で利用されることが宇宙天気の本質であることからこの流れはあるべき姿に近づいているといえるが、そのルール作りには実利用に伴い利用者との調整が不可欠であることから、情勢を正しく把握し、技術的な背景からの提案を的確に行う必要がある。

【参考文献】

- 1 Swiss Re, "Space Weather Impacts a Risk to Society?," <https://www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u33/NOAA-MASTER.pdf>.
- 2 National Science and Technology Council, "National Space Weather Strategy," White house, October 2015. https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/final_nationalspace-weatherstrategy_20151028.pdf
- 3 National Science & Technology Council, US Government, "National Space Weather Strategy and Action Plan 2019," <https://www.hsdl.org/?view&did=823433>
- 4 National Science and Technology Council, "Space Weather Phase 1 Benchmarks," White house, June 2018. <https://www.sworm.gov/publications/2018/Space-Weather-Phase-1-Benchmarks-Report.pdf>
- 5 Royal Academy of Engineering, Extreme space weather: impacts on engineered systems and infrastructure, Royal Academy of Engineering, 2013.
- 6 Cabinet Office, UK, "National Risk Register of Civil Emergencies," 2015. <https://www.gov.uk/government/publications/national-risk-register-for-civil-emergencies-2015-edition>.
- 7 Cabinet Office, UK, "Space Weather Preparedness Strategy," 2015. <https://www.gov.uk/government/publications/space-weather-preparedness-strategy>
- 8 WMO, "Interprogramme Coordination Team on Space Weather," http://www.wmo.int/pages/prog/sat/spaceweather-ictsw_en.php.
- 9 WMO, "IPT-SWeiSS," [Online]. <https://community.wmo.int/activity-areas/wmo-space-programme-wsp/ipt-sweiss>.
- 10 ICAO, "International Civil Aviation Organization: ICAO," <https://www.icao.int>.
- 11 IATA, "International Air Transport Association: IATA," [Online]. <https://www.iata.org/>.
- 12 NICT, "国際民間航空機関 (ICAO) に対して宇宙天気情報の提供を開始," <https://www.nict.go.jp/press/2019/11/07-2.html>.
- 13 UN, "COPUOS," <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/copuos/index.html>
- 14 ITU-R, "International Telecommunication Union, Radio propagation," <http://www.itu.int/>.
- 15 ISES, "International Space Environment Service: ISES," <http://www.spaceweather.org/>.



石井 守 (いしい まもる)

電磁波研究所
電磁波伝搬研究センター
研究センター長
博士(理学)
超高層物理学、大気光学・電波観測



田 光江 (でん みつえ)

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)
宇宙物理学



長妻 努 (ながつま つとむ)

ネットワーク研究所
レジリエント ICT 研究センター
企画連携推進室
室長／
電磁波研究所
電磁波伝搬研究センター
宇宙環境研究室
研究マネージャー(兼務)
博士(理学)
太陽地球系物理学