

No. 1215 (2023. 2. 7)

宇宙天気現象とその災害対策の現状

はじめに

I 宇宙天気と社会

- 1 宇宙天気と宇宙天気予報
- 2 宇宙天気現象が社会に与える影響
- 3 宇宙天気現象による災害の事例

II 宇宙天気現象に関する国内外の取組

- 1 主要国
- 2 国際連合

III 宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会での議論

- 1 国家全体としての危機管理、産業界の対策
- 2 社会的影響を考慮した新たな予報・警報基準の導入

おわりに

キーワード：宇宙天気、宇宙天気現象、宇宙天気予報、太陽フレア、通信障害、宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会、災害対策基本法

- 地球を取り巻く宇宙空間の状態を宇宙天気といい、その予報等を行うことを宇宙天気予報という。太陽フレアといった宇宙天気現象は、通信、放送、人工衛星、電力インフラ等へ影響を引き起こし、災害をもたらすことがある。
- 日本では国立研究開発法人情報通信研究機構が宇宙天気予報を担い、予報体制の強化が進められている。米国や英国では国全体として宇宙天気現象への対策が進められており、国連等によって国を超えた施策の議論も進められている。
- 2022年6月、総務省の有識者会議は、宇宙天気現象による災害に災害対策基本法を適用することや、宇宙天気予報の予報・警報基準等を提言した。太陽活動の次のピークと予測される2025年に向け、日本全体での対策が求められている。

国立国会図書館 調査及び立法考査局

国土交通課 おちあい しょう 落合 翔

第 1 2 1 5 号

はじめに

太陽活動の予報等を行う「宇宙天気予報」について、国家としての観測・分析能力や対処の在り方等を検討するため、総務省は2022年1月に有識者会議「宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会」（以下「宇宙天気検討会」）¹を設置した。検討内容は、報告書（以下「検討会報告書」）²として同年6月に取りまとめられた。

検討会報告書では、100年に1回又はそれ以下の頻度での発生が予想される現象を想定した「最悪シナリオ」が示されている。このシナリオでは、2週間にわたって大規模な太陽フレア（太陽の表面で生じる爆発現象）が連続して発生することで、①携帯電話の一部地域でのサービス停止を含む通信・放送の断続的な途絶、②衛星測位³の精度の断続的な大幅劣化、③多くの人工衛星の障害やサービスの停止、④航空機の世界的な運航見合わせや大幅な運航の乱れ、⑤対策を措置していない電力インフラでの広域停電、といった事象が生じるとした⁴。この「最悪シナリオ」の案⁵が公表された同年4月には、報道メディアが一斉にこれを報じ注目が集まった⁶。

宇宙天気検討会の開催の契機の一つとして挙げられているのが、今後の太陽活動の活発化である⁷。太陽活動は約11年の周期で強弱の変化を繰り返しており、次は2025年頃にピークを迎えると予測されているため、主要国の警戒が高まっている現状がある⁸。また、国際連合（以下「国連」）の防災担当部局である国連防災機関（United Nations Office for Disaster Risk Reduction: UNDRR）等が2020年にまとめた報告書において、太陽活動起因の諸現象が対策を行うべき災害の1つに位置付けられる等⁹、国際社会の注目も高まっている。

以上を踏まえ、本稿では「宇宙天気」やその予報に関する基本事項及び国内外の状況を概観した上で、主要な論点を整理する。

* 本稿におけるインターネット情報の最終アクセス日は2023年1月23日である。

¹ 「宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会～社会経済活動の安心・安全の実現に向けて～開催要項」（宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会（第1回）資料宇天-1-1）2022.1.12, p.1. 総務省ウェブサイト <https://www.soumu.go.jp/main_content/000787794.pdf>

² 『宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会報告書—「文明進化型の災害」に対応した安全・安心な社会経済の実現に向けて—』2022.6. 総務省ウェブサイト <https://www.soumu.go.jp/main_content/000821116.pdf>

³ 衛星測位とは、人工衛星を用いて位置情報をリアルタイムに提供するサービスである。GPS衛星等、測位衛星と呼ばれる人工衛星が用いられる（大久保涼編著代表、大島日向共同編著『宇宙ビジネスの法務』弘文堂、2021, p.68.）。

⁴ 『宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会報告書』前掲注(2), pp.37-39, 78-85.

⁵ 津川卓也・WGメンバー「宇宙天気の警報基準に関するWG報告—最悪シナリオ—」（宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会（第8回）資料宇天-8-3）2022.4.26. 総務省ウェブサイト <https://www.soumu.go.jp/main_content/000811921.pdf>

⁶ 「スマホ・TV 2週間障害も」『日本経済新聞』2022.4.26; 「携帯・無線 断続的不通に」『朝日新聞』2022.4.27; 「太陽フレア 障害警戒」『読売新聞』2022.4.27; 土屋敏之「宇宙天気警報 太陽フレアの被害を防げ」2022.4.27. 日本放送協会ウェブサイト <<https://www.nhk.or.jp/kaisetsu-blog/100/467703.html>> 等

⁷ 中西祐介総務副大臣（当時）の発言による（「宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会（第1回）議事要旨」2022.1.12, p.2. 総務省ウェブサイト <https://www.soumu.go.jp/main_content/000791809.pdf>）。

⁸ 総務省国際戦略局宇宙通信政策課「宇宙天気を巡る最新動向と総務省における取り組み」（宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会（第1回）資料宇天-1-2）2022.1.12, p.9. <https://www.soumu.go.jp/main_content/000788109.pdf>

⁹ UNDRR, *Hazard Definition and Classification Review: Technical Report*, 2020, pp.12, 74. <<https://www.preventionweb.net/media/47681/download>>; *idem*, *Hazard Information Profiles: Supplement to: UNDRR-ISC Hazard Definition and Classification Review-Technical Report*, 2021, pp.162-163, 169-176. <<https://www.undrr.org/media/73913/download>>

I 宇宙天気と社会

1 宇宙天気と宇宙天気予報

地球を取り巻く宇宙空間の状態を宇宙天気という¹⁰。これは気象現象を指す「天気」になぞらえた語である¹¹。宇宙天気現象と表現されることもあるが¹²、本稿では宇宙空間の状態を示す場合は宇宙天気、個々の現象を示す場合は宇宙天気現象、と書き分けることとする。

そして、宇宙天気や宇宙天気現象の観測、予報、警報等を行うことを宇宙天気予報という¹³。宇宙天気現象は主に太陽を起源とする。その予報は、地上や人工衛星からの太陽の観測や、太陽から地球へ流れる宇宙空間上の物質を人工衛星で直接観測すること等により行われている¹⁴。

2 宇宙天気現象が社会に与える影響

以下では、宇宙天気現象の1つである太陽フレアの発生を例として取り上げ、3つの段階に分かれて地球に到達する現象と、それらが社会へ及ぼす影響を説明する（全体イメージを図1に示す。）¹⁵。

第1段階として、太陽フレアの発生に伴って光速で放出された紫外線やX線といった電磁波が、約8分後に地球に到達し観測される。この電磁波の影響により電波の伝搬が妨げられ、一部のラジオ放送や船舶・航空機通信等に支障が生じることがある¹⁶。この現象は「デリンジャー現象」と呼ばれる¹⁷。

第2段階として、太陽フレアにより放出された高エネルギー粒子¹⁸が、30分から2日程度で地球に到達することがある。この粒子は人工衛星等の誤作動や宇宙飛行士の被ばくといった問題を引き起こす可能性がある。大気圏内においても、航空機における被ばくの危険性が高まる。

さらに第3段階として、コロナ質量放出（Coronal Mass Ejection: CME）という、太陽から高

¹⁰ 平和昌・石井守「宇宙嵐から Society 5.0 の社会インフラを守る！」『NICT NEWS』479号, 2020.1, pp.2-3. <http://www.nict.go.jp/data/nict-news/NICT_NEWS_2020-479_J.pdf> 厳密な表現としては、米国の NSWP (II-1(2)で後述)での定義「宇宙と地上の諸施設の性能、信頼度に影響を与え、また、人命に危険を及ぼす太陽から超高層大気に至る領域の状況」が参照される（恩藤忠典・丸橋克英編著『宇宙環境科学』オーム社, 2000, pp.iv-v; “The National Space Weather Program: The Strategic Plan,” August 1995, p.1. (Internet Archive によって保存されたページ) <<http://web.archive.org/web/20130316191456/http://www.ofcm.gov/nswp-sp/pdf/NSWP-SP-1995-scan.pdf>>）。

¹¹ 日本地球惑星科学連合編『地球・惑星・生命』東京大学出版会, 2020.5, p.44.

¹² 検討会報告書ではこれらと同じ意味を持つものとして併記している（『宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会報告書』前掲注(2), p.6.）。

¹³ 同上

¹⁴ 石井守「宇宙天気の最新動向」『電波技術協会報—FORN—』302号, 2015.1, pp.13-14.

¹⁵ 本節全体について以下の文献を参照した。同上, pp.12-14; 石井守「1.1 宇宙天気の社会影響」草野完也ほか編『太陽地球圏環境予測 オープン・テキストブック』2021, pp.1-4. 名古屋大学学術機関リポジトリ <https://nagoya.repo.nii.ac.jp/record/2001522/files/PSTEP_textbook_fulltext.pdf>

¹⁶ 上空へ向かった中波（主に AM ラジオ放送等に用いられる電波）・短波（船舶通信や国際線航空機用通信等に用いられる電波）は、電離圏と呼ばれる大気上層で地上へ反射する。これを利用することで遠方へ電波を伝搬することができるが（「周波数帯ごとの主な用途と電波の特徴」総務省ウェブサイト <<https://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/freq/search/myuse/summary/>>）、太陽フレアによる電磁波の増大がこの反射を弱めることがある。

¹⁷ 太陽活動との関連の発見者の名前を由来とする（斎藤亨・津川卓也「1.2.1 通信・放送・測位」草野ほか編 前掲注(15), p.4.）。

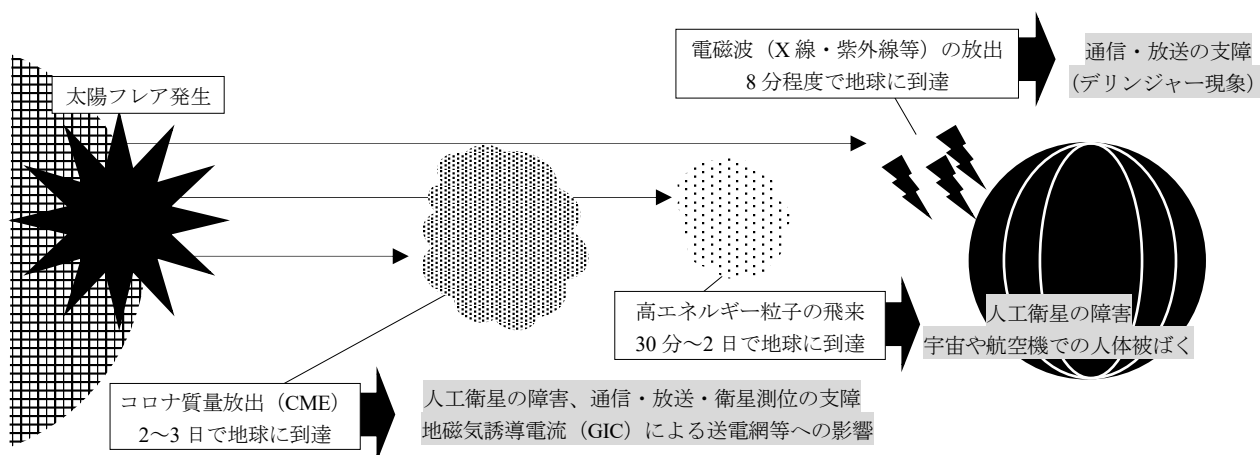
¹⁸ 具体的には、速度が非常に大きい電子、陽子及びイオンが地球へ飛来する。狭義には陽子の飛来を指し、その場合は特に「プロトン現象」と呼ばれる（八代誠司「3.2.4 太陽高エネルギー粒子」草野ほか編 前掲注(15), p.1.）。

密度の電気を帯びた気体が宇宙空間に飛び出す現象が発生することがある¹⁹。地球とその周辺へ CME が到達するのは 2～3 日後となることが多く、地球上空に電流が生じて大規模なオーロラが発生したり、電気を帯びることによる悪影響が人工衛星に生じたりする可能性がある。一部の通信や放送も影響を受け、衛星測位の精度の劣化要因にもなる。さらに、上空からのエネルギーが地表に伝わることで地磁気誘導電流（Geomagnetically Induced Current: GIC）という現象が発生し、送電網等に大規模な電流が流れることで様々な影響を引き起こすことがある²⁰。

以上の説明から分かるとおり、太陽フレアの発生を電磁波の観測により検知してから、地球に高エネルギー粒子が飛来したり、CME が到達したりするまでには時間差がある。現在の太陽フレアの影響に関する宇宙天気予報は、この時間差を利用し、太陽フレア発生の検知後に高エネルギー粒子や CME による地球への影響を推定することが基本である。ただし、近年は太陽フレア自体の予測についても実用段階になってきていると言われる²¹。

なお、宇宙天気は太陽活動の影響だけでなく、気象や地震等の影響でも変動し、社会に影響を与える宇宙天気現象を引き起こすことがある²²。

図1 太陽フレアがもたらす諸現象と社会への影響



(注) 宇宙天気現象と、それが太陽（左）でのフレア発生から地球（右）に到達するまでの時間を囲み枠内に示す。社会への代表的な影響を網掛けで示す。イラストはイメージであり、各天体や現象の実態を表したものではない。
 (出典) 石井守「1.1 宇宙天気の社会影響」草野完也ほか編『太陽地球圏環境予測 オープン・テキストブック』2021, pp.1-4. 名古屋大学学術機関リポジトリ <https://nagoya.repo.nii.ac.jp/record/2001522/files/PSTEP_textbook_fulltext.pdf>等を基に筆者作成。

3 宇宙天気現象による災害の事例

観測史上最大級の宇宙天気現象として、1859年9月に発生したキャリントンイベントと呼ば

¹⁹ 厳密には「大量のプラズマが放出される現象」である（岡村定矩代表編者、家正則ほか編『天文学辞典』日本評論社、2012, p.141.）。

²⁰ 中村紗都子・後藤忠徳「2.3.1 GIC 発生のメカニズム」草野ほか編 前掲注(15), p.1.

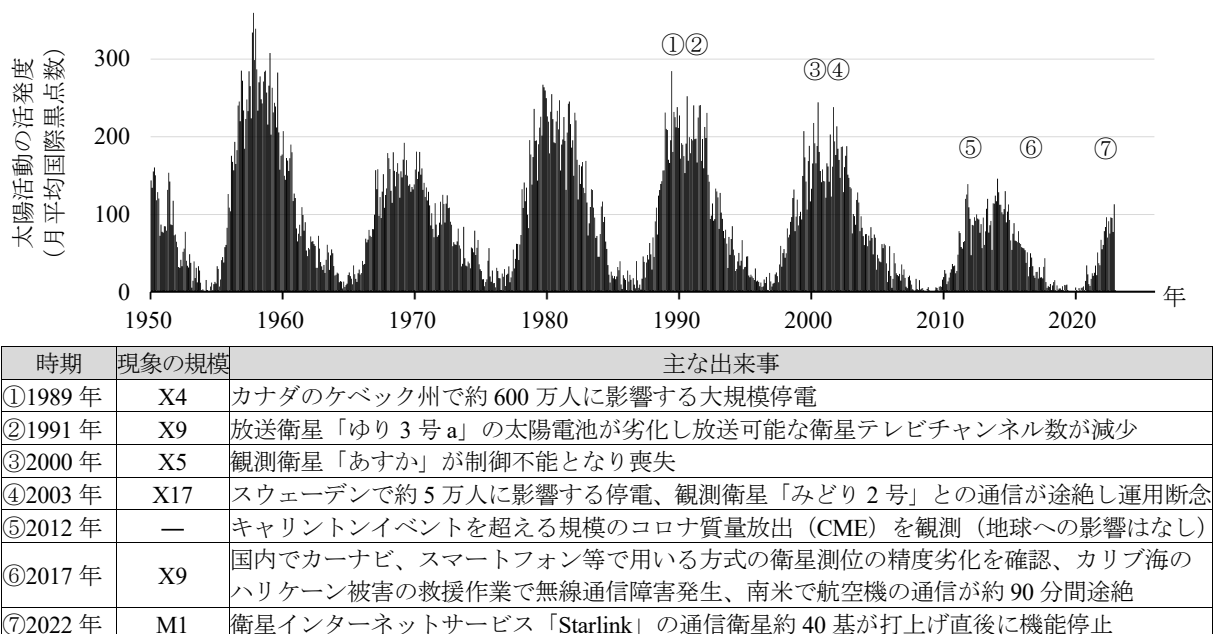
²¹ 石井守「地上 ICT に役立つ「宇宙天気予報」<1>」『電波技術協会報—FORN—』335号, 2020.7, pp.14-15.

²² そういった宇宙天気現象としては「プラズマバブル」及び「スポラディック E 層」と呼ばれるものがあり（石井前掲注(15), p.2.）、それぞれ、衛星測位の精度低下、予期せぬ電波の長距離伝搬の発生、といった影響をもたらす（穂積 Kornyanat・埜千尋「地上 ICT に役立つ「宇宙天気予報」<7>」『電波技術協会報—FORN—』341号, 2021.7, pp.38-39.）。

れるものがある²³。大規模な太陽フレア²⁴が発生した影響により、通常は高緯度地方に現れるオーロラが赤道に近いキューバ等でも現れた。日本の博多でもオーロラが見られたという²⁵。また、当時 20 万キロメートルにわたって敷設されていた世界中の電信網の大部分が影響を受け、8 時間以上使用不能となった²⁶。

宇宙天気現象による災害は、近年も太陽活動が活発な時期を中心に繰り返し生じている(図 2)。また、2012 年 7 月には、キャリントンイベントを超えるような現象をもたらすであろう規模の CME が観測された(図 2 中の⑤)。この CME は太陽から地球とは異なる方向へ放出されたため、地球には特段影響が生じなかった。しかし、発生が 1 週間ずれていれば、位置関係の変化によって地球に直撃していたと分析されている²⁷。

図 2 太陽活動の活発度の変化と太陽フレアによる災害等の例



(注 1) グラフ縦軸「国際黒点数」は太陽観測で得られる太陽の活発度の指標であり、約 11 年の周期で変動している。
 (注 2) グラフ中の丸囲み番号は表中の出来事の時期との対応関係を示す。
 (注 3) 表中の「現象の規模」は太陽フレアを地球上空の人工衛星で観測し得られる指標(クラス)であり、X10 は X1 の 10 倍、X1 は M1 の 10 倍の強度の X 線を観測したという関係がある。太陽フレア発生が連続した場合は、社会への被害が報告された最大のものの規模を示す。小数点以下は切り捨てた。⑤は地球上空の人工衛星で太陽フレアを観測したものではないため記載なしとした。
 (出典)“World Data Center for the production, preservation and dissemination of the international sunspot number.”
 Royal Observatory of Belgium Website <<https://www.sidc.be/silso/>> 掲載のデータセット等を基に筆者作成。

²³ 早川尚志・海老原祐輔「3.4.2 歴史に刻まれた巨大宇宙天気現象」草野ほか編 前掲注(15), p.2. 英国の天文学者キャリントンの観測 (R. C. Carrington, “Description of a Singular Appearance seen in the Sun on September 1, 1859,” *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 20 Issue 1, November 1859, pp.13-15. <<https://doi.org/10.1093/mnras/20.1.13>>) によって太陽フレアが初めて目撃されたことにちなむ。
²⁴ X45 クラス程度の規模と推定されている。クラスとは、太陽フレアの規模を人工衛星による X 線の観測値を基に示す指標であり、X45 は X1 として定義されたものの 45 倍の X 線強度を観測したという関係となる (Edward W. Cliver and William F. Dietrich, “The 1859 space weather event revisited: limits of extreme activity,” *Journal of Space Weather and Space Climate*, Volume 3, October 2013, Article Number A31, pp.1, 12. <<https://doi.org/10.1051/swsc/2013053>>) 。
²⁵ 日本地球惑星科学連合編 前掲注(11), pp.44-45。
²⁶ National Research Council, *Severe Space Weather Events: Understanding Societal and Economic Impacts: A Workshop Report*, Washington, D.C.: National Academies Press, 2008, p.100。
²⁷ D. N. Baker et al., “A major solar eruptive event in July 2012: Defining extreme space weather scenarios,” *Space Weather*, Volume 11 Issue 10, October 2013, pp.586, 590. <<https://doi.org/10.1002/swe.20097>>

現代は科学技術への依存がキャリントンイベント当時より進んでいるため、同イベントのような同規模の宇宙天気現象の影響を地球が受けた場合、より広範に社会の混乱が生じると推測される²⁸。そういった事態が起きた場合、現代の日本での経済的損失は420億～540億ドル（約5.7兆～7.3兆円）に上るといふ推計もある²⁹。

II 宇宙天気現象に関する国内外の取組

1 主要国

以下では、日本のほか、宇宙天気現象に関連して近年大きな政策の動きが見られる米国及び英国を取り上げ、宇宙天気予報の現状と政策動向をまとめる。

なお、宇宙天気予報は世界中の観測データをまとめて利用することにより可能となる。また、様々な機関から矛盾し合う予報が発せられれば利用者に混乱を与えることとなる。そのため、宇宙天気予報の国際調整を行う機関として、国際宇宙環境業務機関（International Space Environment Service: ISES）が1962年から運営され、宇宙天気に関する情報の提供、データ交換等を行っている³⁰。以下に紹介する各国の機関もISESに参画している³¹。

(1) 日本

(i) 情報通信研究機構（NICT）における宇宙天気予報（1949年～）

日本においては、宇宙天気予報の源流となる「電波警報」³²が1949年に電波庁³³によって始められ、1952年に設立された郵政省電波研究所（当時）がそれを継続してきた³⁴。現在は、同研究所を前身とする国立研究開発法人情報通信研究機構（National Institute of Information and Communications Technology: NICT）が宇宙天気予報を担っており、電子メール及びウェブページ³⁵による1日2回の定期的な情報発信等を行っている³⁶。

宇宙天気予報は、NICTの目的や業務等を規定する国立研究開発法人情報通信研究機構法（平成11年法律第162号）が定めるNICTの業務の1つ「電波の伝わり方について、観測を行い、

²⁸ National Research Council, *op.cit.*(26), pp.29-30.

²⁹ Swiss Re, “Space Weather Impacts: a Risk to Society?: Economic Aspects from an Insurance/Reinsurance Point of View,” pp.81-82. (presented in Space Weather Workshop, April 8-11, 2014.) NOAA Website <<https://www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u33/NOAA-MASTER.pdf>> 再保険会社スイス・リーによる推計であり、GICにより10%の変圧器が故障して3週間停電が継続することで、GDPの10%分が影響を受ける仮定をしている。1ドルは約135円（令和5年2月分報告省令レート）。

³⁰ 丸橋克英「CRLの宇宙天気予報研究と国際宇宙環境業務機関（ISES）における役割」『CRL NEWS』292号, 2000. 7, p.3; Jesse Andries, “The International Space Environment Service,” p.2. (presented in WMO ET-SW 1st meeting, October 19, 2022.) <<https://wmoomm.sharepoint.com/:b/s/wmocodb/EVW0mcgNdEFFn7a0sxOsH2UBX7-yBksqsRHGgQG1b4qltg>> なお、ISESは1996年まで国際ウルシグラム世界日業務機関（International URSIgram and World Days Service: IUWDS）という名称で運営されていた。

³¹ *ibid.*, p.3.

³² 太陽活動等の影響による無線通信の障害を予知し発する警報のこと（滝澤修「我が国における宇宙天気予報の前身—電離層観測の黎明期を中心に—」『情報通信研究機構研究報告』67巻1号, 2021.10, p.212. <https://www.nict.go.jp/publication/shuppan/kihou-journal/houkoku67-1_HTML/2021S-05-05.pdf>）。

³³ 電波庁は1949年6月から1950年5月まで設置された電波利用に関する行政官庁であり、電気通信省（当時）の外局である（武智健二『通信法制七〇年史』信山社, 2021, pp.3, 9, 44.）。

³⁴ 滝澤 前掲注(32), p.224.

³⁵ 「宇宙天気予報」NICTウェブサイト <<https://swc.nict.go.jp/>>

³⁶ 石井守「情報通信研究機構における宇宙天気予報の取り組み概要」（宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会（第1回）資料宇天-1-3）2022.1.12, p.9. 総務省ウェブサイト <https://www.soumu.go.jp/main_content/000788110.pdf>

予報及び異常に関する警報を送信し、並びにその他の通報をすること。」（第14条第1項第4号）として実施されている。また、これに関する研究開発（同項第6号）も行われている。

（ii）宇宙天気予報の体制強化（2017年～）

日本の宇宙天気予報の体制は、2017年9月に発生した大規模な太陽フレア（図2中の⑥）を機に大きく変わったと言われる。この太陽フレア発生の直後、NICTはCMEの到来による衛星測位の誤差増大や通信障害等の発生のおそれがあるとして注意喚起を行い³⁷、国土交通省はカーナビやスマートフォン等で用いられる方式の衛星測位の精度の一時的な劣化が実際に確認されたことを発表した³⁸。この太陽フレアは多くのメディアに取り上げられ、政府もこれを重く見るに至り、宇宙天気の観測体制の強化が始められた³⁹。

具体的な議論は、総務省が電波利用料制度⁴⁰の見直し等を行うために2017年11月に設置した有識者会議「電波有効利用成長戦略懇談会」⁴¹の中で進められた。太陽フレア等が電波利用に影響を与えることを踏まえて、新たな電波利用料の使途として「電波伝搬の観測・分析等の推進」を加えることが議論され⁴²、同懇談会の報告書にも盛り込まれた⁴³。そして、同報告書の提言等を基に立案された「電波法の一部を改正する法律」（令和元年法律第6号）は、電波利用料の使途としてこれを加えた⁴⁴。

この法改正の具体的な目的は、平日8時間だけであったNICTの宇宙天気予報の運用を休日も含めた24時間体制に拡充すること、観測体制を強化すること及び予報の精度向上のための一層の研究開発等を行うこととされた。これらの財源を電波利用料とすることの理由については、宇宙天気予報の受益者は電波の利用者であるためと当時は説明された⁴⁵。そして2019年12月、NICTは宇宙天気予報業務の24時間運用を開始した⁴⁶。

³⁷ 国立研究開発法人情報通信研究機構「通常の1000倍の大型太陽フレアを観測—11年ぶり、地球への影響は9月8日午後の見込み—」2017.9.7. <<https://www.nict.go.jp/press/2017/09/07-1.html>>

³⁸ 「9月6日に発生した太陽フレアのGPS測位への影響（速報）」2017.9.11. 国土交通省国土地理院ウェブサイト <<https://www.gsi.go.jp/denshi/denshi40001.html>> 国外では、カリブ海でのハリケーン被害の救援作業で無線通信障害が発生したことや、南米を飛行中の航空機で無線通信が約90分間途絶したことが報告されている（R. J. Redmon et al., “September 2017’s Geoeffective Space Weather and Impacts to Caribbean Radio Communications During Hurricane Response,” *Space Weather*, Volume 16 Issue 9, September 2018, pp.1196-1198. <<https://doi.org/10.1029/2018SW001897>>）。

³⁹ 「科学提言のための宇宙天気現象の社会への影響評価」2020.10.7, p.28. NICTウェブサイト <<https://www2.nict.go.jp/spe/benchmark/pdf/科学提言のための宇宙天気現象の社会への影響調査.pdf>>

⁴⁰ 電波利用料制度とは、無線局（無線送信を行う設備及びその操作を行う者）全体の受益を直接の目的とする施策について、受益者となる無線局の免許人等が財源となる金銭（電波利用料）を納める制度である（今泉至明『電波法要説 第12版改訂版』情報通信振興会、2022, pp.20-21, 424.）。

⁴¹ 公共周波数の有効利用促進、周波数の割当て・移行制度や電波利用料制度の見直し等の電波の有効利用方策、電波利用の将来像とその実現方策等について包括的な検討を行った会議である（『電波有効利用成長戦略懇談会 報告書』2018, p.1. 総務省ウェブサイト <https://www.soumu.go.jp/main_content/000572077.pdf>）。

⁴² 「電波有効利用成長戦略懇談会（第11回）議事要旨」2018.5.17, pp.4-5. 総務省ウェブサイト <https://www.soumu.go.jp/main_content/000558696.pdf>; 「(2) 電波利用料制度関連」（電波有効利用成長戦略懇談会（第12回）資料12-5）2018.5.31, p.7, 9. 同 <https://www.soumu.go.jp/main_content/000555342.pdf>

⁴³ 『電波有効利用成長戦略懇談会 報告書』前掲注(41), pp.148-149.

⁴⁴ 堀口裕記ほか「電波法の一部を改正する法律」『情報通信政策研究』3巻1号, 2019, p.137. <https://doi.org/10.24798/jicp.3.1_129> 具体的には、電波法（昭和25年法律第131号）に電波利用料の使途として「電波の伝わり方について、観測を行い、予報及び異常に関する警報を送信し、並びにその他の通報をすること並びに当該事務に関連して必要な技術の調査、研究及び開発を行う事務」（電波法第103条の2第4項第6号）が加えられた。

⁴⁵ 第198回国会参議院総務委員会会議録第10号 令和元年5月9日 p.24. <<https://kokkai.ndl.go.jp/txt/119814601X01020190509/216>>

⁴⁶ 久保勇樹「宇宙天気予報業務—パブリックサービスとしての情報発信—」『NICT NEWS』479号, 2020.1, pp.10-11. NICTウェブサイト <https://www.nict.go.jp/data/nict-news/NICT_NEWS_2020-479_J.pdf>

その後策定された宇宙基本計画⁴⁷の最新版（2020（令和2）年6月30日閣議決定）⁴⁸では、この24時間体制の運用を継続していく方針が示された。また、国内外の関係機関等と連携しての研究実施等により、宇宙天気予報の高精度化等を進めることも同計画に盛り込まれている⁴⁹。

（iii）全国的な研究プロジェクト「PSTEP」（2015～2020年）

学術界における近年の大きな動向としては、2015年から2020年まで全国的な共同研究プロジェクト「太陽地球圏環境予測（Project for Solar-Terrestrial Environment Prediction: PSTEP）」⁵⁰が実施されたことが注目される。科学研究費補助金（8億5913万円）により実施されたPSTEPは、太陽と地球の環境に関する基本的な疑問の解明と、次世代の宇宙天気予報システムの構築を目的とするものであり、500以上の査読付き論文を発表する等の成果を上げた⁵¹。

また、PSTEPの活動を基に刊行された報告書⁵²は、日本における宇宙天気現象の社会への影響を初めて網羅的に検討して評価したものとされており⁵³、「将来必ず発生する激甚宇宙天気災害にも対応可能な社会基盤の形成を推進していく」ための「手引き」に位置付けられている⁵⁴。宇宙天気検討会における検討においても、同報告書の内容が多く活用されている⁵⁵。

（2）米国

米国では、海洋大気庁（National Oceanic and Atmospheric Administration: NOAA）に属する宇宙天気予報センター（Space Weather Prediction Center: SWPC）が民間向けの宇宙天気予報を担っている。これは、NOAAの前身組織により1965年から実施されているものである⁵⁶。

米国では、比較的早期から宇宙天気現象対策に関する国家横断的な取組が進められている。まず、1994年から2015年まで「国家宇宙天気プログラム（National Space Weather Program: NSWP）」という連邦政府機関間の連携の枠組みが設けられた。これは政府機関間の調整に貢献するとともに、国民の意識を高める等の成果を上げた⁵⁷。2015年には、大統領行政府により「国家宇宙天気戦略（National Space Weather Strategy: NSWS）」⁵⁸と「国家宇宙天気行動計画

⁴⁷ 宇宙基本計画とは、宇宙基本法（平成20年法律第43号）第24条が定める宇宙開発利用に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るための基本的な計画であり、政府による作成が義務付けられている。

⁴⁸ 「宇宙基本計画」2020.6.30, p.31. 内閣府ウェブサイト <https://www8.cao.go.jp/space/plan/kaitei_fy02/fy02.pdf>

⁴⁹ 同上, p.31.

⁵⁰ 草野完也「太陽地球圏環境予測：我々が生きる宇宙の理解とその変動に対応する社会基盤の形成—平成27年度～令和元年度科学研究費助成事業（科学研究費補助金）（新学術領域研究（研究領域提案型）研究成果報告書）—」2021.6. KAKENウェブサイト <https://kaken.nii.ac.jp/ja/file/KAKENHI-AREA-2708/2708_kenkyu_seika_hokoku_ja.pdf>

⁵¹ Kanya Kusano et al., “PSTEP: project for solar-terrestrial environment prediction,” *Earth, Planets and Space*, Volume 73, Article number 159, 2021. <<https://doi.org/10.1186/s40623-021-01486-1>>

⁵² 「科学提言のための宇宙天気現象の社会への影響評価」前掲注(39)

⁵³ 国立研究開発法人情報通信研究機構「太陽フレアなど宇宙天気による社会への影響を評価」2020.10.7. <<https://www.nict.go.jp/press/2020/10/07-1.html>>

⁵⁴ 「科学提言のための宇宙天気現象の社会への影響評価」前掲注(39), p.189.

⁵⁵ 『宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会報告書』前掲注(2), pp.48-58等

⁵⁶ A.A. Pevtsov, “Space Weather Forecasting and Supporting Research in the USA,” *Geomagnetism and Aeronomy*, Volume 57 Issue 7, December 2017, pp.769-771. SWPCのほかにも、軍用の宇宙天気予報を行う予報センターを米空軍の第557気象飛行隊（557th Weather Wing）が運用している。

⁵⁷ Michael Bonadonna et al., “The National Space Weather Program: Two decades of interagency partnership and accomplishments,” *Space Weather*, Volume 15 Issue 1, January 2017, pp.14-15, 24. <<https://doi.org/10.1002/2016SW001523>>

⁵⁸ National Science and Technology Council, “National Space Weather Strategy,” 2015.10. Archive of the White House President Barack Obama Website <https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/final_nationalspaceweatherstrategy_20151028.pdf>

(National Space Weather Action Plan: NSWAP)』⁵⁹が策定され、国家として達成すべき目標と、各連邦政府機関がその目標達成のために取り組むべき施策やスケジュールが明確にされた⁶⁰。

さらに、2016年に署名された大統領令 13744号「宇宙天気現象へ備えるための連携」⁶¹は、宇宙天気現象に関する各連邦政府機関の役割と責任を明らかにするとともに、同大統領令及び NSWAP の実施に当たる調整等のため、宇宙天気業務・研究・被害軽減小委員会 (Space Weather Operations, Research, and Mitigation subcommittee: SWORM 小委員会) を国家科学技術会議 (National Science and Technology Council: NSTC) ⁶²に置くことを定めた。これは、宇宙天気に関する業務を大統領行政府が管轄するものに引き上げたことを象徴する出来事と言われる⁶³。

そして、2019年には NSWS と NSWAP を改定した「国家宇宙天気戦略・行動計画 (National Space Weather Strategy and Action Plan: NSW-SAP)」⁶⁴が発表され、以後 10 年間の目標と活動を改めて設定した⁶⁵。また、2020 年には NSW-SAP の実施の支援のため「明日の予測の改善のための宇宙天気研究及び観測促進法 (Promoting Research and Observations of Space Weather to Improve the Forecasting of Tomorrow Act: PROSWIFT Act)」⁶⁶が成立し⁶⁷、連邦政府機関の役割と責任が法律として明文化されている⁶⁸。

(3) 英国

英国政府は、国家と国民が直面するおそれのある緊急事態の把握のため「国家リスク評価 (National Risk Assessment: NRA)」を毎年行っている⁶⁹。2011年、この NRA で「深刻な宇宙天気 (severe space weather)」が取り上げられ、翌年には NRA の結果の一般公開版である「国家リスク登録簿 (National Risk Register: NRR)」⁷⁰にも反映された⁷¹。この新たに特定された

⁵⁹ National Science and Technology Council, “National Space Weather Action Plan,” 2015.10. Archive of the White House President Barack Obama Website <https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/final_national_space_weather_action_plan_20151028.pdf>

⁶⁰ Seth Jonas and Eoin D. McCarron, “White House Releases National Space Weather Strategy and Action Plan,” *Space Weather*, Volume 14 Issue 2, February 2016, p.54. <<https://doi.org/10.1002/2015SW001357>>

⁶¹ Executive Order 13744 of October 13, 2016: “Coordinating Efforts To Prepare the Nation for Space Weather Events,” 81 FR 71573.

⁶² NSTC は科学技術関連の行政において政府横断的に取り組むべき課題について扱う組織であり、大統領行政府科学技術政策局 (Office of Science and Technology Policy: OSTP) に置かれている (未来工学研究所「主要国における科学技術・イノベーション政策の動向等の調査・分析」2020.3, pp.88-89. <<http://www.ifeng.or.jp/wordpress/wp-content/uploads/2021/08/9c1070d83a5eaa9a738d7560e96d2092.pdf>>)。

⁶³ 国立研究開発法人情報通信研究機構 (北米連携センター) 「米国における宇宙天気予報に関する動向等」2018.3, pp.1, 3. <<https://www.nict.go.jp/global/4otfsk000000osbq-att/a1524795349692.pdf>>

⁶⁴ Space Weather Operations, Research, and Mitigation Working Group et al., “National Space Weather Strategy and Action Plan,” 2019.3. Archive of the White House President Donald J. Trump Website <<https://trumpwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2019/03/National-Space-Weather-Strategy-and-Action-Plan-2019.pdf>>

⁶⁵ NSW-SAP の策定に合わせ、SWORM 小委員会は SWORM 省庁間作業部会 (SWORM Interagency Working Group: SWORM-IWG) となった (“ABOUT SWORM.” SWORM Website <<https://www.sworm.gov/about.htm>>)。

⁶⁶ 51 U.S.C. §§ 60601 et seq.

⁶⁷ 中川かおり 「【アメリカ】宇宙天気の調査研究と予報の向上に関する法律の成立」『外国の立法』286-2号, 2021. 2, p.30. <<https://doi.org/10.11501/11633273>>

⁶⁸ National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, *Planning the Future Space Weather Operations and Research Infrastructure: Proceedings of a Workshop*, Washington, D.C.: National Academies Press, 2021, p.15.

⁶⁹ 自治体国際化協会 ロンドン事務所 「英国の危機管理体制—戦中からの変遷と「2004年緊急事態法」を中心とする現体制—」2015.8, p.16. <http://www.clair.or.jp/j/forum/pub/docs/report_kikikanri.pdf>

⁷⁰ 現在、最新版として 2020 年版 (HM Government, “National Risk Register,” 2020 edition, 2020.12. GOV.UK Website <https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/952959/6.6920_CO_CCS_s_National_Risk_Register_2020_11-1-21-FINAL.pdf>) が公表されている。

⁷¹ Department for Business, Innovation & Skills, “Space Weather Preparedness Strategy,” 2015.7, p.4. GOV.UK Website

リスクに対応するため、英国気象庁の宇宙天気オペレーションセンター（Met Office Space Weather Operations Centre: MOSWOC）は、2014年から宇宙天気予報を24時間365日提供するようになった⁷²。

その後、「深刻な宇宙天気」に係る政府全体の戦略も定められるようになった。2021年にビジネス・エネルギー・産業戦略省（Department for Business, Energy and Industrial Strategy: BEIS）が策定した最新文書「深刻な宇宙天気への対処戦略」では、深刻な宇宙天気の影響への備えを継続するため、国として取るべき措置について5か年のロードマップを定めている⁷³。

2 国際連合

「はじめに」で述べたように、UNDRRは2020年に宇宙天気現象を災害の1つに位置付けた。また、国連の他の部門や国連専門機関でも、宇宙天気現象に関して活発に取組がなされている。以下では、特に近年の取組が注目される4機関の動向について概観する。

第1は、国際電気通信連合（International Telecommunication Union: ITU）の無線通信部門（ITU Radiocommunication Sector: ITU-R）⁷⁴による、宇宙天気予報に係る電波についての議論である。例えば、宇宙天気観測では微弱な電波を観測することが多く、放送用の電波等が「雑音」となってしまう。こういった問題に対応するため、観測環境の保護に向けた検討等が行われている⁷⁵。

第2は、世界気象機関（World Meteorological Organization: WMO）⁷⁶による、観測データ形式の統一といった宇宙天気予報に関する国際調整の取組である⁷⁷。これは、WMOとして宇宙天気に関する活動の国際的な調整に取り組むことが2008年のWMO執行理事会で合意⁷⁸されて以来の取組であり、科学者の組織である宇宙天気専門家チーム（Expert Team on Space Weather: ET-SWx）の主導により進められている⁷⁹。

<https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/449593/BIS-15-457-space-weather-preparedness-strategy.pdf>

⁷² Suzy Bingham and David Jackson, “Space weather at the UK Met Office,” published in *Ist URSI Atlantic Radio Science Conference, 16-24 May 2015*.

⁷³ Department for Business, Energy & Industrial Strategy, “UK Severe Space Weather Preparedness Strategy,” 2021.9, p.5. GOV.UK Website <https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1020551/uk-severe-space-weather-preparedness-strategy.pdf>

⁷⁴ ITUは電気通信に関する国際協力の維持拡大等を目的とした活動を行う国連専門機関である（日本国際連合協会編『新 わかりやすい国連の活動と世界一 国連英検指定テキスト』三修社, 2019, p.97.）。宇宙天気に関する情報がまず必要とされたのは無線通信の分野であるため、ITU-Rでは宇宙天気に関する議論が古くから盛んに行われてきたとされる（石井守「宇宙天気の国際動向」『第11回「宇宙環境シンポジウム」講演論文集』2015.3.20, p.25. <https://jaxa.repo.nii.ac.jp/?action=repository_uri&item_id=3788&file_id=31>）。

⁷⁵ 石井守ほか「宇宙天気予報に必要な地上受動観測の周波数保護について」『ITUジャーナル』52巻1号, 2022.1, pp.21, 25. 総務省はITU-Rによる観測環境保護の方針を日本として支持する考え方を取りまとめている（「2023年世界無線通信会議（WRC-23）に向けた我が国の考え方」2022.8.5, p.9. 総務省ウェブサイト <https://www.soumu.go.jp/main_content/000828575.pdf> 等）。

⁷⁶ WMOは気象情報の交換体制の維持や気象観測の標準化等を目的とした活動を行う国連専門機関である（日本国際連合協会編 前掲注(74)）。

⁷⁷ Larisa Trichtchenko and Kenneth Holmlund, “Space Weather, Extending the Borders Beyond the Earth,” *World Meteorological Organization Bulletin*, Volume 70 Issue 2, p.69. <https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10874>

⁷⁸ World Meteorological Organization, “Executive Council: Sixtieth session: Geneva 18-27 June 2008: Abridged final report with resolutions,” 2008, pp.88-91. <https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5031>

⁷⁹ “Expert Team on Space Weather (ET-SWx).” WMO Website <<https://community.wmo.int/governance/commission-membership/commission-observation-infrastructure-and-information-systems-infcom/standing-committee-data-processing-applied-earth-system-modelling-and-prediction-sc-esmp/expert-team-space-weather-et-swx>> 2022年のET-SWx発足以前には、2010年から2016年までICTSW（Inter-Programme Coordination Team on Space Weather）が、2017年から2020年

第3は、宇宙空間平和利用委員会 (Committee on the Peaceful Uses of Outer Space: COPUOS) の科学技術小委員会 (Scientific and Technical Subcommittee: STSC)⁸⁰における、宇宙空間での安全対策に関する議論である。STSCに設置された宇宙天気専門家会合 (Space Weather Expert Group: SWEG) は、2010年の設立以来、人工衛星等の安全性確保の観点から宇宙天気に関する議論を進めており⁸¹、その成果を含むガイドライン⁸²が2019年のCOPUOS本委員会で採択された⁸³。同ガイドラインは、宇宙天気に関するデータ及び予報の国際的な共有の推進等を促す内容となっている⁸⁴。

第4は、国際民間航空機関 (International Civil Aviation Organization: ICAO)⁸⁵による、航空機乗務員等へ宇宙天気に関する情報提供を行うことの国際標準化である。ICAOは国際航空運送に関する国際標準の作成等を行っており、それらは国際民間航空条約 (Convention on International Civil Aviation. 通称: シカゴ条約) の附属書としてまとめられている⁸⁶。2018年、シカゴ条約第3附属書「国際航空のための気象業務」の第78次改訂が行われ⁸⁷、飛行前の航空機乗務員や飛行中の航空機等へ提供すべきとされる情報の1つとして、宇宙天気に関する情報が加えられた⁸⁸。2019年11月には、「グローバル宇宙天気センター」としてICAOから認定されたNICT等の各国機関が、民間航空会社向けに情報を発信する取組も開始されている⁸⁹。

III 宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会での議論

検討会報告書では、極端な現象がもたらす最悪シナリオ（「はじめに」にて前述）を明らかにするとともに、①今後の観測・分析・予報の在り方、②警報に関する体制強化、③社会インフラへの影響と効果的な対処、④学術研究の強化、人材とコミュニティの強化、国際連携の強化、⑤NICTに期待される役割、を提言している⁹⁰。以下では、これらに含まれる主な2つの論点⁹¹の概要をまとめた上で、それぞれに関する議論や動向を整理する。

まで IPT-SWeISS (Inter-Programme Team on Space Weather Information, Systems and Services) が活動した (Expert Team on Space Weather, “Meeting no.1: Meeting Notes,” 2022.10.19-21, p.2. WMO Website <https://wmo.com/sharepoint.com/b:/s/wmcpdb/EQihOOvxi_BAilqU82AgAAcBP2fWxp_JLaepLP3wUp95dA>)。

⁸⁰ COPUOSは国連総会の下に設置された常設委員会であり、宇宙空間の平和利用のための検討等を行っている。STSCは科学技術面における国際協力に関する検討を行っている（「国連宇宙空間平和利用委員会 (COPUOS)」2022.9.7. 外務省ウェブサイト <<https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/technology/universe/copuos.html>>）。

⁸¹ 小原隆博「宇宙環境が人工衛星に与える影響について」『第11回宇宙環境シンポジウム講演論文集 (宇宙航空研究開発機構特別資料 JAXA-SP-14-012)』2015.3.20, pp.81-82. <https://jaxa.repo.nii.ac.jp/?action=repository_uri&item_id=3795&file_id=31&file_no=1>

⁸² “Guidelines for the long-term sustainability of outer space activities of the committee of the peaceful uses of outer space,” United Nations, *Report of the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, Sixty-second session (12-21 June 2019)*, New York: United Nations, 2019.8.20, pp.50-69. <<https://undocs.org/en/A/74/20>>

⁸³ 「国連宇宙空間平和利用委員会 (COPUOS) 本委員会 宇宙活動の長期持続可能性ガイドラインの採択」2019.6.22. 外務省ウェブサイト <https://www.mofa.go.jp/mofaj/press/release/press6_000600.html>

⁸⁴ United Nations, *op.cit.*(82), pp.62-64.

⁸⁵ ICAOは国際航空輸送の手続の整備等を行う国連専門機関である (日本国際連合協会編 前掲注(74), p.96.)。

⁸⁶ 池内宏『航空法—国際法と航空法令の解説— 2訂版』成山堂書店, 2021, pp.34, 43.

⁸⁷ International Civil Aviation Organization, *Annex 3 to the Convention on International Civil Aviation: Meteorological Service for International Air Navigation*, Twentieth edition, ICAO, 2018, p.xxii.

⁸⁸ *ibid.*, pp.9-1-9-3.

⁸⁹ 総務省・情報通信研究機構「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」2019.11.7. <https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01tsushin05_02000034.html>

⁹⁰ 「宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会 報告書 (概要)」2022.6.21, p.1. 総務省ウェブサイト <https://www.soumu.go.jp/main_content/000820488.pdf>

⁹¹ 同上, p.2.

1 国家全体としての危機管理、産業界の対策

検討会報告書は、高度な社会インフラにより文明が発展している中で発生する大規模な宇宙天気現象は、社会経済に多大な被害をもたらすおそれがある「文明進化型の災害」（文明が進化すれば進化するほど新たな災害として現れてくるもの⁹²）である、と表現した。そして、これに対応するためには国家全体として危機管理に当たるべきであり、災害対策基本法（昭和36年法律第223号）に基づく災害対策法制の中に宇宙天気現象による災害を組み込み、確実にそのリスクに対応していく必要があるとしている⁹³。

災害対策基本法は、国土並びに国民の生命、身体及び財産を災害から保護することを目的としたものである。同法では、災害に対する体制整備を行い、責任の明確化を図るとともに、防災計画の作成、災害予防、災害応急対策、災害復旧等に関する基本事項を定めている⁹⁴。検討会報告書は、宇宙天気現象についても、同法が作成することを定める防災基本計画⁹⁵等に従って、国、産業界及び学术界が連携して対策を講じていくことを提言している⁹⁶。実施すべき具体的な対策としては、通信・放送、航空、電力等の社会インフラに関係する企業等による、被害の事前想定や被害への事前対策、被害発生時の対応マニュアルの整備等が挙げられている⁹⁷。

なお、宇宙天気現象は人間が視覚的・体感的に捉えることが極めて困難であることを、対策を行う当事者は理解しておく必要があると検討会報告書は指摘している⁹⁸。そのため、宇宙天気に関して分かりやすく正しい情報を発信できる人材等が求められる。こういった専門人材の確保についても宇宙天気検討会は議論しており、例えば「宇宙天気予報士」という民間資格制度の創設の提言が検討会報告書に盛り込まれるに至っている⁹⁹。この資格制度は2025年までの立ち上げを目指してNICT等による検討が進められており、政府は将来的な国家資格への引上げも視野に入れているとも報じられている¹⁰⁰。

2 社会的影響を考慮した新たな予報・警報基準の導入

現在NICTが発表している宇宙天気予報で発せられる情報は、宇宙天気現象の規模に着目したものであり、これは地震・津波におけるマグニチュードに当たる。しかし、これは危険度を直感的に想起しにくい欠点がある（具体例として表1を参照）。そのため、地震・津波における震度や津波警報に相当する、社会的影響を考慮した新たな予報・警報が必要であると検討会報告書は指摘している¹⁰¹。

⁹² 検討会座長の草野完也名古屋大学宇宙地球環境研究所所長の発言による（「宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会（第10回）議事要旨」2022.6.21, p.5. 総務省ウェブサイト <https://www.soumu.go.jp/main_content/000825100.pdf>）。

⁹³ 『宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会報告書』前掲注(2), pp.41-42.

⁹⁴ 上妻博明『災害対策基本法の解説』一橋出版, 2007, p.2.

⁹⁵ 内閣府の中央防災会議（会長は内閣総理大臣）に作成が義務付けられている計画であり（災害対策基本法第34条）、日本において防災上必要と考えられる諸施策の基本を、国、公共機関、地方公共団体、事業者及び住民それぞれの役割を明らかにしながら定めるものである（中央防災会議「防災基本計画」2022.6, p.1. 内閣府ウェブサイト <https://www.bousai.go.jp/taisaku/keikaku/pdf/kihon_basicplan.pdf>）。

⁹⁶ 『宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会報告書』前掲注(2), p.42.

⁹⁷ 同上, pp.44-45.

⁹⁸ 同上, p.42.

⁹⁹ 同上, pp.67-68.

¹⁰⁰ 「「宇宙天気予報士」誕生へ」『北海道新聞』（全道版）2022.12.31.

¹⁰¹ 『宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会報告書』前掲注(2), p.33.

表 1 地震・津波と太陽フレアに関する宇宙天気現象の報道・配信内容の比較

	地震・津波	宇宙天気現象（太陽フレア）
現象の規模を示す情報	マグニチュード	太陽フレアのクラス
社会的影響を示す情報	震度	(なし)
報道・配信される内容の例	3日午後7時3分ごろ、東京都と千葉県で震度3の揺れを観測する地震がありました。この地震による津波の心配はありません。…(中略)… 気象庁によりますと、震源地は千葉県北西部、震源の深さは70キロ、地震の規模を示すマグニチュードは3.6と推定されています。 (日本放送協会による報道)	活動領域3136などでCクラスフレアが数回発生し、最大のは、活動領域3136で3日7時23分UTに発生したC1.4フレアでした。…(中略)…Cクラスフレアが発生した活動領域3135と3136では、今後もCクラスフレアが発生する可能性があります。引き続き今後1日間、太陽活動はやや活発な状態が予想されます。 (情報通信研究機構による配信)

(注) 現象の規模を示す情報に網掛け、社会的影響を示す情報に下線を付す。

(出典) 「関東などで震度3が2回」2022.11.3. NHK NEWS ウェブサイト <<https://www3.nhk.or.jp/lnews/yokohama/20221103/1050018049.html>>; 「【今日の宇宙天気情報(2022年11月03日 21時00分JST)】」(国立研究開発法人情報通信研究機構による電子メール配信)を基に筆者作成。

そして、通信・放送、測位、衛星運用、電力及び航空機人体被ばくの5分野について、宇宙天気検討会が検討した予報・警報の種類や予報・警報を発する基準を示し、これら基準を今後の宇宙天気予報に用いることをNICTは検討すべきだとしている¹⁰²。例として、通信・放送分野の項目の1つ「デリンジャー現象」の予報・警報基準(Lv1~Lv3)を表2に示す。

なお、今回基準が検討された項目が十分なものであるかについては議論がある。宇宙天気検討会では、PSTEPの成果等に基づき予報・警報の基準が検討された。しかし、従来の学術研究で宇宙天気現象の影響が指摘されているにもかかわらず、PSTEPで研究対象とされていなかった社会インフラ(光ファイバー網¹⁰³等)があり、それらインフラについては宇宙天気検討会でも十分に検討できていないと、検討会報告書案に対する意見募集でも指摘されている¹⁰⁴。

こういったPSTEPで研究対象とならなかった社会インフラへの影響については「研究の深化が必要」であるとの記載が検討会報告書に加えられている¹⁰⁵。また、例えば発電所は宇宙天気の影響が未検討であったインフラの1つであるが、原子力規制委員会の技術情報検討会¹⁰⁶において、検討会報告書で原子力発電所本体へのGICの影響が取り上げられていないことを踏まえつつ、今後原子力発電所に関して検討すべきことが議論される、といった動きも生じている¹⁰⁷。

¹⁰² 同上, pp.33-35, 86-103.

¹⁰³ 光ファイバーはGICの影響を直接は受けないものの、光ファイバーを用いた海底ケーブル等の長距離通信ケーブルの中継器等はGICの影響を受けやすく、長距離ケーブルを利用するインターネット通信網が大きな被害を受けるおそれがあるとの指摘がなされている(Sangeetha Abdu Jyothi, “Solar superstorms: planning for an internet apocalypse,” SIGCOMM '21: Proceedings of the 2021 ACM SIGCOMM 2021 Conference, New York: Association for Computing Machinery, 2021, p.695. <<https://doi.org/10.1145/3452296.3472916>>)。

¹⁰⁴ 「宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会報告書(案)」に対する意見募集の結果と検討会の考え方」2022.6.21, pp.3-4, 8. 総務省ウェブサイト <https://www.soumu.go.jp/main_content/000820486.pdf>

¹⁰⁵ 『宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会報告書』前掲注(2), p.35. なお、宇宙天気検討会による検討がなされたものの基準の具体化に至らなかった項目も一部残っており、早期に明確化を図るべきとしている。

¹⁰⁶ 国内外の原子力施設の事故・トラブルに係る情報及び最新の科学的・技術的知見を規制に反映させる必要性の有無について整理すること等を目的とする会議である(「技術情報検討会の進め方等について」(技術情報検討会(第45回)資料45-1別添)2021.4.14, p.7. 原子力規制委員会ウェブサイト <<https://www.nra.go.jp/data/000349112.pdf>>)。

¹⁰⁷ 技術基盤課「太陽フレアが原子力発電所に及ぼす影響に関して(案)」(技術情報検討会(第55回)資料55-1-3-3)2022.9.29. 原子力規制委員会ウェブサイト <<https://www.nra.go.jp/data/000405171.pdf>>; 原子力規制委員会「第55回技術情報検討会 議事録」2022.9.29, pp.31-36. <<https://www.nra.go.jp/data/000408108.pdf>> これら資料では、太陽フレアによる原子力発電所の機器に対する直接的な影響は定性的には少ないと考えられるものの、定量的な評価については引き続き確認していくとされている。

また「最悪シナリオ」の想定より低頻度であるものの、これを上回る規模の宇宙天気現象「スーパーフレア」¹⁰⁸が太陽で発生する可能性も議論されているが¹⁰⁹、この現象への対応は手つかずになっていると指摘されている¹¹⁰。低頻度とはいえ、この現象は千年に一度と言われた東日本大震災に匹敵する確率を有するリスクであるとして、警鐘も鳴らされている¹¹¹。

表2 通信・放送分野に影響を及ぼす「デリンジャー現象」の予報・警報基準

	Lv1	Lv2	Lv3
社会的影響の程度	影響が無視できる。	影響の可能性があり適切な対応を要する。	深刻な影響の可能性があり運用の継続が困難になる。
具体的な影響 ^(注1)	—	昼間側の広い範囲で短波の一部が使用不可	昼間側の広い範囲で短波の全てが使用不可
物理的な予報・警報基準 ^(注2)	—	X1クラスの太陽フレア発生 (静止軌道上の人工衛星にて 10^4Wm^2 以上の1-8Å帯X線強度を観測)	X10クラスの太陽フレア発生 (静止軌道上の人工衛星にて 10^3Wm^2 以上の1-8Å帯X線強度を観測)
発生頻度	—	月1回程度	年1回程度
予報・警報の実現性	—	1日前に太陽フレア規模及び発生確率の予報が可能	

(注1)「昼間側」とは地球上の太陽に面している地域のことを指す。「短波」は電波の一種であり、一部のラジオ放送、船舶通信、航空通信、軍用無線、アマチュア無線等に用いられる。

(注2)「クラス」とは太陽フレアを人工衛星で観測し得られる指標であり、X10はX1の10倍の強度のX線を観測する関係がある。「 Wm^2 」はX線の強度の単位、「1-8Å帯」は観測するX線の波長を示すものである。

(出典)『宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会報告書—「文明進化型の災害」に対応した安全・安心な社会経済の実現に向けて—』2022.6, p.89. 総務省ウェブサイト <https://www.soumu.go.jp/main_content/000821116.pdf>等を基に筆者作成。

おわりに

検討会報告書はその冒頭で、過酷な宇宙天気現象がもたらす災害対策について次のように述べている。「受け身で行動するのではなく、国、関係企業・関係団体、学术界等が団結することで積極的な取組を進める必要があり、それが本検討会に参加した各界を代表する構成員の一致した考え方である。」¹¹²

本稿で整理したように、米国や英国では国全体として宇宙天気現象への対策が進められている。国連等による国を超えた協調態勢等も整えられてきている。宇宙天気予報等に古くから取り組んできた日本においても、宇宙天気検討会を経て、改めて宇宙天気に関する防災対策の必要性が確認された状況にある。太陽活動の次のピークと予測されている2025年を控えた今、国全体で能動的に対策を具体化し実施していくことが、強く求められていると言えよう。

¹⁰⁸ キャリントンイベントで太陽から放出されたと推定されるエネルギーの10倍以上のエネルギーを放出するような規模の太陽フレアのことをいう (Kazunari Shibata et al., “Can Superflares Occur on Our Sun?” *Publications of the Astronomical Society of Japan*, Volume 65 Issue 3, 25 June 2013, p.49-1.)。

¹⁰⁹ 例えば、キャリントンイベントの100倍の規模の太陽フレアが約800年に一度の頻度で太陽において発生する可能性があるという研究や (Hiroyuki Maehara et al., “Superflares on solar-type stars,” *Nature*, Volume 485 Issue 7399, 24 May 2012, pp.479-480; Shibata et al., *ibid.*, pp.1-2, 7.)、西暦774年等にスーパーフレアが発生した可能性のある痕跡が古木に残されているという議論がある (Fusa Miyake et al., “A signature of cosmic-ray increase in AD 774-775 from tree rings in Japan,” *Nature*, Volume 486 Issue 7402, 14 June 2012, pp.240-241; 三宅英紗「地球の宇宙線起源同位体に記録された過去の極端太陽イベント」『天文月報』113巻4号, 2020.4, pp.210-214. <<https://www.asj.or.jp/jp/activities/geppou/item/735a5ebda80ada05e2b5e16813c5aff0afc063d6.pdf>>)。

¹¹⁰ 吉川和輝「デジタル社会を脅かす太陽フレア 甚大な被害に備えを」『日本経済新聞』（電子版）2022.5.11.

¹¹¹ 柴田一成『太陽 大異常—スーパーフレアが地球を襲う日—』朝日新聞出版, 2013, pp.13-16.

¹¹² 『宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会報告書』前掲注(2), p.2.