

宇宙天気情報 利用の手引き

2025 年 6 月
(2025.6.19 ver.)

目次

1. はじめに	2
2. 宇宙天気予報の現状と予報範囲	2
3. 宇宙天気予報による分野ごとの社会インフラへの影響	5
3. 1 通信・放送に対する影響	5
3. 2 宇宙システム運用に対する影響	7
3. 3 航空機運航に対する影響	9
3. 4 衛星測位に対する影響	9
3. 5 有人宇宙活動に対する影響	10
3. 6 電力に対する影響	11
参考文献	12

1. はじめに

本文書は、宇宙天気現象に対する各事業分野における対応方針を策定するために理解しておくべき情報を示すものである。宇宙天気現象は、その規模により、**通信・放送、宇宙システム運用、航空機運航、衛星測位、電力**等の重要インフラに影響を与えることが知られている。それらの影響を最小限に抑えることを目的として、国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）は1988年より宇宙天気予報を実施して宇宙天気予報ウェブサイトやメール等で情報配信しており、2019年以降は24時間365日の運用体制となっている[1]。

しかしながら、宇宙天気現象の影響が社会インフラごとに異なること、予報情報が具体的な影響に直結しておらず影響の定量的評価が難しいこと、宇宙天気予報の成熟度が気象予報と比較すると観測点の圧倒的不足等から発展途上であることなどから、宇宙天気情報の利用に関するガイドラインはこれまで整備されていなかった。この状況を改善するために、宇宙天気ユーザー協議会の活動や総務省主催「宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会」（以下、「検討会」という。）等を通じて、少しずつ宇宙天気現象の社会インフラに対する影響への理解が進みつつある[2-5]。これを踏まえて、宇宙天気情報利用ガイドライン（以下、「ガイドライン」という。）を策定することとなった。

本文書は、宇宙天気情報の利用をこれから始める方がガイドラインの内容をよく理解できるようにする目的で作成された手引きである。はじめに宇宙天気予報の現状と予報範囲について、次に太陽フレア発生からの経過時間別に各分野の宇宙天気の影響が現れる可能性と対策の概要について述べる。ガイドラインでは、社会インフラ運用者向けに策定した新警報基準に基づく宇宙天気イベント通報と、宇宙天気現象への対策を記載する。従来の宇宙天気イベント通報を含む宇宙天気予警報は太陽フレアのX線量など物理量でレベル分けしているが、新警報基準ではインフラへの影響度に応じてレベル分けを行う。新警報基準や対策については、インフラ運用者の方々と共に引き続き検討し更新していく必要があるが、本手引きやガイドラインがこうした取り組みの活性化の一助になることを目的の一つとする。

2. 宇宙天気予報の現状と予報範囲

宇宙天気現象の主な源は太陽フレアなどの太陽活動である（図1）。太陽フレアとは太陽の表面で発生する大規模な爆発現象である。太陽の黒点の周辺で起こり、太陽の活動が活発なときに発生しやすい。大規模な太陽フレアは、X線や電波バーストなどの電磁波だけでなく、高エネルギー粒子の増大（プロトン現象）や、太陽コロナ（上層大気）から大量のプラズマが惑星間空間に放出される現象であるコロナ質量放出（CME）を伴うことが多い。これらは地球に到達すると、地磁気や電気を帯びた超高層大気（電離圏）において大規模な宇宙環境変動を引き起こす可能性がある。

太陽フレアに伴う電磁波、高エネルギー粒子、CME は、地球への到来時間が異なり、社会的影響も異なる。地震のような自然災害でも時間差をもって複数の影響があるように、宇宙天気の場合も時間差をもって複数の影響があり、各段階に応じた対策が必要である。また、宇宙天気現象には必ずしも太陽フレアに起因しない現象もあることに注意が必要である。例えば太陽コロナホールからの高速太陽風による地磁気の乱れや放射線帯電子の増大、中低緯度に発生する電離圏の乱れであるプラズマバブル、地上の気象現象（台風・火山・地震を含む）が引き起こす波動現象などが上空に伝わって発生する波状構造を持つ電離圏の乱れなどである。

現在、ウェブサイトやメール等で配信する宇宙天気予警報は、太陽フレア（X線や電波バースト）、プロトン現象、地磁気の乱れ、放射線帯電子、電離圏の乱れ、デリンジャー現象、スポラディック E 層がある（図 2）。さらに大規模な太陽フレアやプロトン現象の発生時にはイベント通報^{*1}を配信している。各予警報は、太陽フレアの X 線量など物理量を基準としたレベルが設定されている。しかしながら、社会インフラへの影響や対策は各分野によって異なるため、ユーザーとなる社会インフラ運用者の方々が利用しやすいように新警報基準を策定した。（詳細はガイドラインを参照のこと。）

なお、宇宙天気予警報の利用に関する注意点がいくつかある。まず、大規模なプロトン現象や地磁気の乱れの発生は大規模な太陽フレアの発生に伴うとは限らない点である。太陽フレアの発生をトリガーとして警報を出しても、プロトン現象や地磁気の乱れが小規模でその影響が小さいことがある。逆に太陽フレアの規模が小さくても、大規模なプロトン現象や地磁気の乱れが発生し、大きな社会影響を与えた例もある。次に、地磁気の乱れや電離圏の乱れ（電離圏嵐）を発生させる CME の到来時刻の予測誤差は現状で 12 時間程度ある^{*2}。また CME が到来しても、地磁気によって防御され大きな影響が生じないこともあり、現状ではその精度の高い予測は地球到達の約 1 時間前になる^{*3}。さらに電離圏の詳細な予報に関しては、下層大気の影響もあることなどから、まだ予測精度が十分ではない。宇宙天気予警報の利用にあたっては、このような点に留意する必要がある。

なお、ここまで述べてきた短期的（数日～数週間）な宇宙天気変動に加えて、約 11 年の太陽活動周期に伴う長期的な宇宙環境変動も存在する。これらは、人工衛星等に用いる太陽電池や半導体素子等の劣化、人工衛星の軌道高度の低下の度合に変動をもたらすため、運用期間中の太陽活動の状況を考慮した人工衛星の設計等が必要となる。しかしながら、長期的な宇宙環境変動の予測は難しいのが現状である。

*1 宇宙天気情報メール配信サービス（ <https://swc.nict.go.jp/report/> ）

*2 CME 観測は、地球からの視線方向の速度推定に限られるため。

*3 現在の太陽・地球間の定常観測が ACE, DSCOVR 等の衛星による地球近傍での観測点に限定されているため。

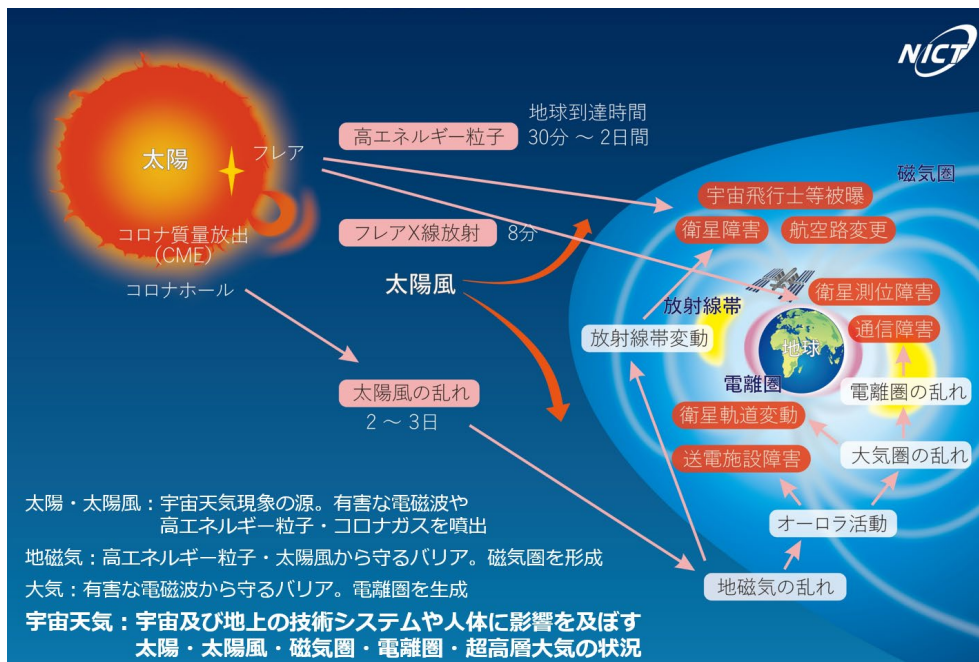


図 1: 宇宙天気の乱れの発生から身近な社会への影響

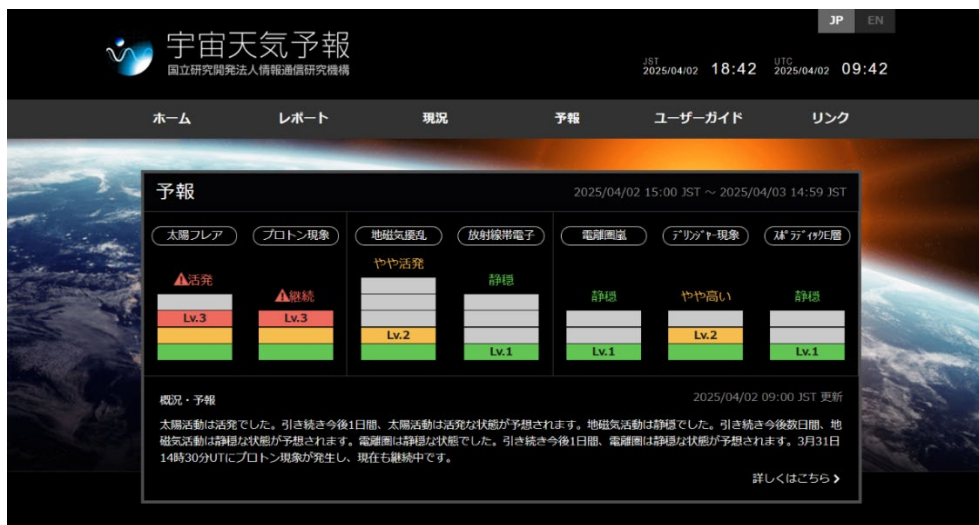


図 2: NICT 宇宙天気予報ウェブサイト (<https://swc.nict.go.jp/>)

3. 宇宙天気による分野ごとの社会インフラへの影響

宇宙天気現象による分野ごとの社会インフラへの影響は、基本的には表 1 に示すように、太陽フレア発生からの経過時間によって、X 線など電磁波の到達、高エネルギー粒子の到達、CME の到達の 3 段階に分けられる。以下、各段階における分野ごとの影響について説明する。なお、表 2～7 における各宇宙天気現象の影響の継続時間は、1 つの太陽フレアによる影響であり、複数の太陽フレアが短時間で連続して発生した場合には異なる可能性がある。

表 1：太陽フレア発生後経過時間ごとの社会インフラへの影響

	フレア X 線到達 (フレア発生直後)	高エネルギー粒子(*4)到達 (フレア発生約 30 分後)	CME 到達 (フレア発生約 2 日後)
通信・放送	✓(主に昼間側)	✓(主に極域)	✓
宇宙システム運用		✓	✓
航空機被ばく		✓	
衛星測位	✓(主に昼間側)	✓	✓
有人宇宙活動		✓	
電力			✓(高緯度ほど大きい)

✓: 大きな影響があり得る

*4 太陽フレアが起きると、高エネルギーの粒子（数 10 keV～数 1 GeV の電子やプロトン・重イオン（He や Fe、O）など）も放出され、数時間～1 日継続する。もう一つの典型例として、CME の地球到達と同時に高エネルギーのプロトンが増加した後、数日間かけて次第に減少することがある。

3.1 通信・放送に対する影響

- 短波放送や船舶通信、航空通信、軍用無線等で使用される HF 帯の電波は、電離圏で反射する性質を利用して見通し距離を超えた遠距離通信が可能である。強い太陽フレアが発生した場合、異常電離した電離圏 D 領域で HF 帯の電波が吸収され、数分～数時間電波が減衰し、遠距離の通信・放送が通じにくくなる（デリンジャー現象）[6]。
- 高エネルギー粒子（プロトン）が極域地方に降り注ぐと、電離圏 D 領域の異常電離によって HF 帯の電波が吸収されるため、遠距離の通信・放送が通じにくくなる（極冠吸収）。
- 地磁気の乱れに伴って電離圏電子密度の減少が発生した場合（電離圏嵐）、HF 帯の高い周波数帯の電波は電離圏で反射されなくなるため、遠距離の通信・放送が通じなくなる。
- 航空無線や放送に使用される VHF 帯の電波は、スプラディック E 層により電離圏で反射され、見通し距離を超えて伝搬することがあり、VHF 帯を利用した通信や放送の混信につながる。
- 衛星通信やテレビ放送で使われる UHF 帯の電波は、中低緯度で日没後にしばしば発生するプラズマバブルが内包する電離圏電子密度の不規則構造により、電波シンチレーションが発生し、UHF 帯を利用した通信や放送の質が劣化する。
- 太陽電波バースト発生時には、広帯域にわたって太陽方向から来る電波のノイズが大きくなる。そのため、レーダーや携帯電話などの無線システムのアンテナ指向性や無線機器間の位置関係

によっては、太陽電波由来のノイズが増大する可能性がある。

- 対策として、HF・VHF通信については、利用する周波数帯のシフト（デリンジャー現象、極冠吸収においては高周波数側、電離圏嵐においては低周波数側）、代替手段（衛星通信・有線通信等）の確保による影響の軽減策をとり、影響が収束するまで待機する、あるいは通信がつながりやすい場所に移動したりする。

表2：宇宙天気現象による通信・放送に対する影響

【HF 通信・放送への影響】

太陽フレア発生後 経過時間	社会インフラへの影響	継続時間
直後 (X線の影響:デリン ジャー現象)	低い周波数を中心に、利用が困難になる。 太陽フレア発生直後の昼間側の領域	数分 ～1時間程度
約30分後 (高エネルギー粒子の 影響:極冠吸収)	低い周波数を中心に、利用が困難になる。 北極・南極地域で発生。	1時間 ～6時間程度
約2日後 (CMEの影響:電離 圏嵐)	高い周波数を中心に、利用が困難になる。 特に場所を特定せずどこでも発生する 可能性がある	数時間 ～2日程度

【VHF 通信・放送への影響】

太陽フレア発生後 経過時間	社会インフラへの影響	継続時間
太陽フレアと 関係しない (スプラディックE層)	通常届かない領域まで電波が伝搬し、混線する可能性 がある。日本では春～秋の日中に地球全域で継続的に発 生。	数分 ～数時間程度

【UHF 通信・放送への影響】

太陽フレア発生後 経過時間	社会インフラへの影響	継続時間
太陽フレアと 関係しない (プラズマバブル)	放送や通信の質が劣化する。 赤道から低緯度にかけて、日没から真夜中にかけて発生 する。日本では春・秋の発生が多い。	～最大数時間程度

【携帯電話等への影響】

太陽フレア発生後 経過時間	社会インフラへの影響	継続時間
直後 (太陽電波バースト)	断続的に電波状況が悪化する。太陽フレア発生直後に日 出または日没の時間帯で太陽と基地局、利用者が直線上に 並ぶ領域	～最大数時間程度

3.2 宇宙システム運用に対する影響

- 宇宙天気現象によって、太陽風から飛来してきた電子による衛星帯電（表面帯電、深部帯電）による故障、高エネルギー粒子によるメモリー反転（シングレイベント）による誤動作・故障、強い太陽放射線被ばく（トータルドーズ）による太陽電池や半導体素子の劣化、磁気嵐に伴う大気抵抗や磁気トルクの変化によって軌道・姿勢の異常が発生し、最悪の場合には衛星本体の損失が発生するおそれがある。宇宙環境に起因する衛星障害の 25~50%が帯電・放電による障害である[7,8]。衛星帯電には表面帯電（衛星表面部材や構造体の帯電）と深部帯電（集積回路等の衛星深部の帯電）の二種類があり、帯電の電位差が大きいほど放電発生確率が上昇する。なお、過去の経験を踏まえた耐宇宙環境設計を施した衛星についてはその影響は小さくなる。
- 地球低軌道における衛星コンステレーションの利用において、高度約 500km 以下は大気密度が大きく、大気抵抗による衛星高度低下率が大きい。特に太陽活動極大期や地磁気の乱れによって軌道高度の大気密度が増大し、大気抵抗も増大することで衛星寿命に影響を及ぼしている[9]。また低軌道衛星は、極域で降り注ぐ高エネルギー粒子の影響を受けやすいが、大気密度の影響で、放射線帯電子の影響は中軌道や静止軌道に比べると少ない。また中軌道、静止軌道の衛星は極軌道に限らず放射線帯電子や高エネルギー粒子の影響を受ける。
- 衛星打ち上げ前の対策として、想定している宇宙システム運用期間中の宇宙天気現象の影響に対するリスクを考慮した衛星設計を行う。ロケットによる衛星打上げ時には宇宙天気情報も打上げ判断に利用し、特に衛星の初期運用を低高度で行う場合は、太陽活動に応じて衛星に生じる大気抵抗の影響が変化することを十分考慮した打ち上げ・運用計画を立てる。
- 運用時の対策として、衛星運用に大きな影響を与える宇宙天気現象発生時には、宇宙天気現象による衛星の誤動作や故障防止のため、衛星姿勢変更や軌道変更、ソフトウェア更新などのクリティカル運用の回避、衛星各機器の電源の一時的な遮断等の措置をとる。また異常事態発生に備えた体制を取る。なお、同じ宇宙天気現象でも、対策については衛星の軌道や設計に応じて変わりうるものである。
- 非周回衛星については、衛星軌道が主に磁気圏や電離圏の範囲外となるため、高エネルギー粒子による影響はあるが、磁気圏や電離圏の乱れに伴う影響はない。

表 3：宇宙天気現象による宇宙システムに対する影響

【低軌道衛星への影響】

太陽フレア発生後 経過時間	社会インフラへの影響	継続時間
約 30 分後 (高エネルギー粒子)	衛星誤動作:シングレイベントの発生率 の増加による誤動作	数時間 ～数日程度
	材質劣化:トータルドーズ増加による 太陽電池パネル・半導体素子等の材質劣化	数時間 ～数日程度
約 2 日後 (CME)	衛星誤動作:極域の帯電放電の発生率の増加 による誤動作・故障	数時間 ～1 日程度
	大気抵抗増加による衛星の 姿勢・軌道の変化	数時間 ～1 日程度
太陽フレアと 関係しない発生	極域の帯電放電の発生率の増加。 誤動作・故障の発生	数日 ～数週間

(コロナホール・太陽風起源)		
長期的な太陽活動変化 (高エネルギー粒子)	トータルドーズ増加による太陽電池パネル等の軽微な材質劣化	数日 ～数週間
	大気抵抗増加による衛星の姿勢・軌道の変化	太陽活動ピーク 前後 4-5 年間
太陽フレアと関係しない発生 (プラズマバブル)	VHF・UHF 帯：シンチレーションにより、衛星通信での電波減衰。撮像画像の乱れ、通信品質劣化。L 帯、S 帯まで影響。日没から真夜中にかけて発生する。日本では春・秋の発生が多い。	～最大数時間程度
太陽フレアと関係しない発生 (伝搬性電離圏じょう乱)	SAR 衛星(*5)：L 帯では、ファラデー回転により偏波面が回転、位相がずれる。干渉計・高さ推定値に影響。日本では夏・冬の夜間と冬の昼間の発生が多い	～最大数時間程度

【静止軌道・中軌道衛星への影響】

太陽フレア発生後経過時間	社会インフラへの影響	継続時間
約 30 分後 (高エネルギー粒子)	衛星誤作動:シングルイベントの発生率の増加による誤作動	数時間 ～数日程度
	材質劣化:トータルドーズ増加による太陽電池パネル・半導体素子等の材質劣化促進	数時間 ～数日程度
約 2 日後 (CME)	帯電放電の発生率の増加。 誤作動・故障の発生。	数時間 ～1 日程度
太陽フレアと関係しない発生 (コロナホール・太陽風起源)	帯電放電の発生率の増加。 誤作動・故障の発生。	数日 ～数週間
長期的な太陽活動変化 (高エネルギー粒子)	トータルドーズ増加による太陽電池パネル・半導体素子等の軽微な材質劣化	

【非地球周回衛星への影響】

太陽フレア発生後経過時間	社会インフラへの影響	継続時間
約 30 分後 (高エネルギー粒子)	衛星誤作動:シングルイベントの発生率の増加による誤作動	数時間 ～数日程度
	材質劣化:トータルドーズ増加による太陽電池パネル・半導体素子等の材質劣化	数時間 ～数日程度
長期的な太陽活動変化 (高エネルギー粒子)	材質劣化:トータルドーズ増加による太陽電池パネル・半導体素子等の材質劣化	

*5 SAR 衛星（合成開口レーダー衛星）は、人工衛星や航空機に搭載されたレーダーで、地表の形状や性質を画像として観測する衛星。

3.3 航空機運航に対する影響

- 高エネルギー粒子（太陽高エネルギー粒子及び銀河宇宙線）が地球大気圏に降下すると、大気を構成する様々な原子や分子と衝突し、空気シャワー反応を起こして二次宇宙線が発生する。これが航空機高度で降り注ぐことによって、航空機に搭乗している乗務員等の被ばく線量が増大することになる[10]。なお、高エネルギー粒子の地上にて日常生活を送る人々の健康に対する影響は無視できるほど小さい。また、太陽フレアに伴う X 線は人体にほぼ影響しない。
- 日本では、航空機の乗務員に対する年間の被ばく量の上限として 5mSv とするガイドラインが示されている[11,12]。乗務員等の被ばく量を低減するため、大規模な宇宙天気現象の発生時には航路変更が必要となる可能性がある。
- 事前の対策として、極付近の航路（極航路）については、現況及び予報を参考に路線や路線構成について航路変更（高度・緯度）などの運航計画変更など、一定の配慮に基づく対応を実施する[6]。

表 4：宇宙天気現象による航空機被ばくに対する影響

太陽フレア発生後 経過時間	社会インフラへの影響	継続時間
約 30 分後 (高エネルギー粒子)	航空機高度の被ばく線量率が増大。 主に中緯度～高緯度地域で発生。	数分～数時間程度

- デリンジヤー現象や電離圏嵐、プラズマバブル、太陽高エネルギー粒子等の宇宙天気現象によって、航空機の運航に必要な通信や衛星測位に障害が引き起こされるおそれがある（3.1、3.4 参照）。
- 航空機では衛星通信と HF・VHF 通信が使用され、国内線では VHF 通信、洋上管制では HF 通信を使用する。極域では VHF 通信局がなく、衛星通信も利用できないため、HF 通信が利用できなくなるものの影響は非常に大きくなる。対策としては 3.1 で述べた他、極航路の変更等の判断を実施する。
- 宇宙天気現象による衛星測位システムの測位精度の劣化が航空機運用に影響を与えるおそれがある。対策として 3.4 で述べる他、衛星測位システムを補強するシステムが用いられている。
- なお、国際民間航空機関(ICAO)では、2019年11月から宇宙天気情報の利用が開始されている。日本ではNICTが開始当初から宇宙天気情報の提供を行っている。

3.4 衛星測位に対する影響

- 衛星からの電波を利用して位置情報を計算する GPS やみちびき等の衛星測位システム（GNSS）は、ドローンや自動運転、測量など現代社会の様々な分野で利用されている。しかし、電離圏等の変動により測位精度が劣化し、その結果、様々な利用分野に影響をもたらすおそれがある[6]。例えば、電離圏変動により伝搬遅延が基準局あるいはモデルとの差が生じ、測位誤差の増大につながる。また、プラズマバブルが内包する電離圏不規則構造により発生する電波シンチレーションにより衛星信号のロック損失が生じ、測位不能となる場合が発生する。
- 衛星測位には一つの周波数帯を用いる方式や複数の周波数帯を用いる方式があり、測位方式も

複数あり、それらの方式によって精度劣化の程度は異なる。また、測位誤差は軌道予測誤差（測位衛星の位置精度）、マルチパス誤差（建物等での反射による遅延）等も要因となるため、宇宙天気が精度劣化の要因だと一概に断定できない側面もあることに注意を要する。

- 事前の対策として、衛星測位誤差増大の可能性を認識し、精密な測位を要する作業日時の変更などの措置をとる。または、精度劣化を回避するために、電離圏の影響を受けにくい測位方式を用意する、細かい電離圏補正が可能なシステムを使う、GNSSを利用しない測位手法の利用による衛星測位信号の補完を実施する。
- GNSS を利用した時刻同期については、電離圏によりナノ秒レベルの誤差が発生し得ると考えられるが、現状一般的に使われている時刻同期はミリ秒程度と考えられるため影響はない。ナノ秒レベルの誤差精度が必要なシステムについては影響する可能性がある。
- GNSS アンテナの指向性は無指向性（全方向）で、太陽電波バーストやプラズマバブルの影響を受けやすい。太陽電波バースト発生時、IP ネットワークの時刻同期を行う GNSS 受信機で信号が受信できず、時刻同期の精度低下、時刻同期喪失のリスクがある。

表 5：宇宙天気現象による衛星測位に対する影響

太陽フレア発生後 経過時間	社会インフラへの影響	継続時間
直後 (X 線・電波バースト)	主に低緯度の昼間の時間帯を中心に誤差の増大(1 周波測位では最大数 m 程度)や電波バーストによる受信不良が発生。	数分 ～数時間程度
約 2 日後 (CME の影響：電離圏嵐)	特に場所を特定せずどこでも誤差の増大(1 周波測位では最大数 10m)が発生する可能性がある	数時間-1 日程度
太陽フレアと 関係しない (プラズマバブル)	赤道から低緯度にかけて、日没から真夜中にかけて受信不良が発生する。測位誤差の増大の他、電波シンチレーションで測位不能な場合も発生する。日本では春・秋の発生が多い。	～最大数時間程度

3.5 有人宇宙活動に対する影響

- 軌道上で活動する宇宙飛行士は高エネルギー粒子（太陽高エネルギー粒子と銀河宇宙線）に常にさらされている。その結果、被ばく量は太陽静穏時でも約 0.5～1mSv/日となり、国際宇宙ステーション（ISS）滞在中の 1 日当たりの放射線量は地上での数か月分に相当する[13]。
- そのため、対策として、日本人宇宙飛行士の生涯実効線量制限値が宇宙航空研究開発機構（JAXA）により定められており[14,15]、ISS 船内では放射線量計測がリアルタイムで行われ、宇宙飛行士が携帯する小型線量計と併せて被ばく管理が行われている。有人の宇宙活動シーンや活動場所によって、運用者はきめ細かい被ばくに関する基準値を定める必要がある。また ISS 参加各国宇宙機関の調整により宇宙天気現象の異常時の対処方針が定義されており、太陽フレアによる被ばく量増大が予想される場合には船外活動中の宇宙飛行士は船内に戻る、遮蔽率の高い区画へ避難するといった対策が行われている[16]。

表 6：宇宙天気現象による有人宇宙活動に対する影響

太陽フレア発生後 経過時間	社会インフラへの影響	継続時間
約 30 分後 (高エネルギー粒子)	太陽放射線による被ばく線量率の増加。 宇宙飛行士が滞在する宇宙船で発生。	数時間～数日程度 主に太陽活動期
太陽フレアと関係 しない発生 (銀河宇宙線)	長期宇宙滞在中の銀河宇宙線による放射線被ばく (太陽高エネルギー粒子ほどの強度はないが、期間が長 い)	主に太陽静穏期 (静穏期に太陽風磁場 が弱まることで太陽圏 外の銀河宇宙線が太 陽圏内に影響するよう になる)

3.6 電力に対する影響

- 地磁気の乱れによって送電線に過電流としての地磁気誘導電流（GIC）が発生するため、変圧器の過熱による絶縁性能の劣化、高調波発生による保護用リレーの誤動作、無効電力の増加による電圧低下等が発生する可能性がある[17]。
- 電力系統に生じる GIC の実測調査やシミュレーション研究等の結果、我が国においても極端に大規模な地磁気の乱れが起きた場合、相当量の地磁気誘導電流が発生し、電力系統の脆弱な箇所が被害を受けるおそれは否定できない[18-20]。
- 対策として、電力系統に生じる GIC 発生メカニズムに対して設備の監視体制を確立し、想定される GIC に耐性がある変圧器の利用や高調波成分を除去できるデジタルリレーの利用などの対策を講じる。異常電流発生時に備えて、該当する変圧器の運転を一時停止するといった措置を準備する。
- 実際の電力系統に生じる GIC の大きさ、対するインフラ運用者ごとの設備の耐性について不明な部分が多いことから、将来課題として、大規模宇宙天気現象に対する現象規模の推定やリスク評価等を実施し、電力系統に流れる GIC を実測なしで推定できる手法を確立するとともに、警戒すべき GIC の閾値を定める必要がある。
- GIC は地上の送電網だけでなく、石油・ガスパイプラインのような長距離にわたって敷設された導体にも発生し、腐食による損傷の可能性などが指摘されている[21,22]。海底ケーブルも導体がある部分については電流が流れ、誤作動につながる等の研究がされている[23,24]。

表 7：宇宙天気現象による電力に対する影響

太陽フレア発生後 経過時間	社会インフラへの影響	継続時間
約 2 日後 (CME)	電力網に想定外の直流電流が流入し、保護用リレーの誤動作の可能性がある他、変圧器等の重要箇所の不具合の発生の可能性がある。 極域に近い領域で大きな影響が起こりうるが、中緯度での発生の可能性もある。	～最大 2 日程度

参考文献

- [1] NICT 宇宙天気予報ウェブサイト (<https://swc.nict.go.jp/>)
- [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 年 6 月 21 日)・配布資料
(https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/space_weather/)
- [3] 科学研究費補助金：新学術領域研究「太陽地球圏環境予測」(PSTEP)「科学提言のための宇宙天気現象の社会への影響評価」(2020 年 10 月 7 日)
(<https://www2.nict.go.jp/spe/benchmark/>)
- [4] 太陽地球圏環境予測オープン・テキストブック (2021 年 8 月 6 日)
(https://nagoya.repo.nii.ac.jp/search?search_type=2&q=1621213872938)
- [5] 総説 宇宙天気 柴田一成 (編集)、上出洋介 (編集) 2011 年 5 月 30 日
- [6] 宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会 (第 5 回) 配布資料 (航空運用、通信・放送分野、測位分野)
https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/space_weather/02tsushin05_04000123.html
- [7] JAXA 広報誌「空と宙」No.30 2009 May/June
https://www.aero.jaxa.jp/topics/magazine/pdf/sorasora_no30.pdf
- [8] 宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会 (第 4 回) 配布資料 (衛星)
https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/space_weather/02tsushin05_04000120.html
- [9] Kataoka, R. et al. 2022 “Unexpected space weather causing the reentry of 38 Starlink satellites in February 2022”, J. Space Weather Space Clim., **12**, 41
- [10] 宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会 (第 6 回) 配布資料 (被ばく)
https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/space_weather/02tsushin05_04000124.html
- [11] 放射線安全規制検討会航空機乗務員等の宇宙線被ばくに関する検討ワーキンググループ
https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/gijyutu/004/006/index.html
- [12] 航空機乗務員等の宇宙線被ばくに関する検討について報告書 (平成 17 年 11 月 1 日)
https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/9380544/www.mext.go.jp/a_menu/anzenkakuho/news/siryou/rihoukoku/20051214_02a.pdf
- [13] 宇宙ステーション・きぼう 放射線被ばく管理 (2013 年 7 月 2 日)
<https://iss.jaxa.jp/med/research/radiation/regulation/>
- [14] 国際宇宙ステーション搭乗宇宙飛行士放射線被ばく管理規定 (平成 25 年 6 月 26 日改訂)
https://iss.jaxa.jp/med/research/radiation/pdf/kitei_130626_a.pdf
- [15] 国際放射線防護委員会 2007 年勧告 (ICRP Publication103) の「国際宇宙ステーション搭乗宇宙飛行士 放射線被ばく管理規定」への取り入れに係る検討結果報告書 JAXA、有人サポート委員会宇宙放射線被ばく管理分科会 (平成 25 年 2 月)
https://iss.jaxa.jp/med/research/radiation/pdf/report_a.pdf
- [16] NASA-STD-3001 Technical Brief
<https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2023/03/radiation-protection-technical-brief-ochmo.pdf>
- [17] 宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会 (第 3 回) 配布資料 (電力)
https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/space_weather/02tsushin05_04000119.html
- [18] Ebihara, Y., Watari, S. & Kumar, S., 2021, “Prediction of geomagnetically induced currents (GICs) flowing in Japanese power grid for Carrington-class magnetic storms”. Earth Planets Space 73, 163
- [19] Zhang, T., & Ebihara, Y., 2022, “Superposed epoch analyses of geoelectric field disturbances in Japan in response to different geomagnetic activities”, Space Weather, 20,

e2021SW002893

- [20] 経済産業省委託調査報告書, 2015, <https://dl.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11280903>
- [21] Pirjola, R., Pulkkinen, A., Viljanen, A., 2003, "Studies of Space Weather Effects on the Finnish Natural Gas Pipeline and on the Finnish High-Voltage Power System", Adv. Space Res., 31, 7950805
- [22] Ingham, M., Divett, T., Rodger, C. J., & Sigley, M., 2022, "Impacts of GIC on the New Zealand Gas Pipeline Network", Space Weather, 20, e2022SW003298
- [23] Chakraborty, S., et al. 2022 "Modeling Geomagnetic Induction in Submarine Cables", Front. Phys., 10, 1022475
- [24] Boteler, D. H., et al. 2024, "An Examination of Geomagnetic Induction in Submarine Cables", Space Weather, 22, e2023SW003687

免責事項について

- ・ 国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）は、宇宙天気情報利用の手引き（以下、「手引き」という。）を含め公開した情報に起因して利用者又は第三者が被った損害、その他これらの利用に関連して生じた損害について、一切責任を負いません。
- ・ 実際の宇宙天気状況と公開データとの間に差異が発生する場合があります。
- ・ NICT は、手引きの改修を行うことがあります。

二次利用等について

- ・ 手引きの利用者が報道発表（プレスリリース）および論文発表等を行う場合には、その本文または謝辞等に、NICT「宇宙天気情報利用の手引き」を利用した旨を記載してください。