

2024年5月の大規模宇宙天気現象について

国立研究開発法人情報通信研究機構
電磁波研究所 電磁波伝搬研究センター
宇宙環境研究室

国立研究開発法人 情報通信研究機構（NICT、理事長：徳田 英幸）は、日本時間5月8日（水）10時41分以降、10日（金）2時44分までに、太陽面中央付近に位置する黒点群13663および13664で大規模な太陽フレア5回を含む複数回の太陽フレアの発生を確認しました。この現象に伴い、コロナガスが地球方向へ放出したことが複数回確認されました。コロナガスは、日本時間の5月10日（金）の夜以降、順次到来することが予測されています。

この影響で、地球周辺の宇宙環境が数日間大きく乱れる可能性があり、地球周辺の人工衛星の障害やGPSを用いた高精度測位の誤差の増大、短波通信障害などが生じる恐れがあり、宇宙システムの利用に注意が必要です。今後数日間、この非常に活発な黒点群による同規模の太陽フレア及び関連現象の発生に注意が必要です。

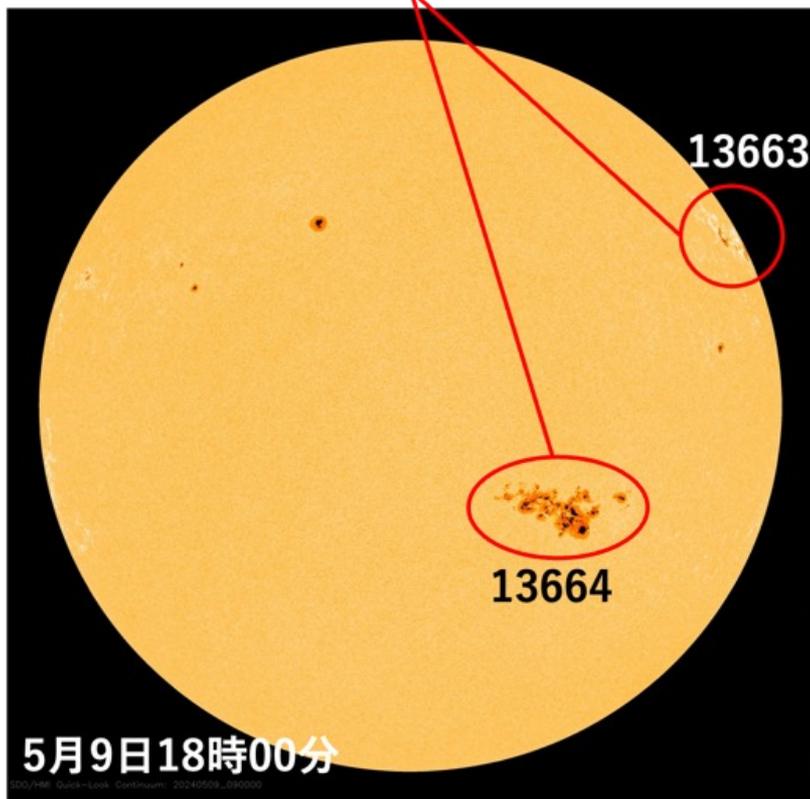
NICT宇宙天気予報による情報発信

日時	臨時情報	宇宙天気予報(日報)	メディア対応	社会的影響
2024年 5月8日	11 JST: Xクラスフレア 15 JST: Xクラスフレア 18 JST: 地球方向コロナガス	<ul style="list-style-type: none"> 今後24時間のXクラスフレア確率$\geq 50\%$ 地磁気嵐は5月10日以降に発生 		
2024年 5月9日	07 JST: Xクラスフレア 09 JST: 地球方向コロナガス 18 JST: Xクラスフレア 20 JST: Xクラスフレア 21 JST: 地球方向コロナガス	<ul style="list-style-type: none"> 今後24時間のXクラスフレア確率$\geq 50\%$ 大規模地磁気嵐($K \geq 7$)は5月10日以降に発生 		<p>5月10日から数日間、宇宙天気変動に注意 ～大型の大規模フレア及び地球方向のコロナガス放出を懸念～</p> <p>2024年5月10日 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構</p> <p>国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 (NICT、理事長 梶山 泰寿) は、日本時間の5月10日(日)10時41分頃、10日(日)2時44分まで、太陽圏外飛行に位置する衛星群1363機より3064で大規模な太陽フレア(2級)発生を伴った大規模フレアを観測しました。この観測に伴い、コロナガスが地球方向へ放出されたことが確認されました。コロナガスは、日本時間の5月10日(日)の夜以降、数週間まで地球を覆う可能性があります。</p> <p>この影響で、地球周辺の宇宙環境が数週間大きく乱れる可能性があります。地球周辺の人工衛星は観測や通信に支障をきたす恐れがあります。また、電離圏擾乱により電波伝播に支障が生じる恐れがあります。宇宙システムの利用に注意が必要です。今後数日間は、この支障に留意する必要があります。</p>
2024年 5月10日	03 JST: Xクラスフレア 16 JST: Xクラスフレア 18 JST: 地球方向コロナガス 23 JST: 高エネルギー粒子	<ul style="list-style-type: none"> 今後24時間のXクラスフレア確率$\geq 50\%$ 大規模地磁気嵐($K \geq 7$)は今後24時間内に発生 	<p>16 JST: 宇宙天気現象について「お知らせ」ウェブページ掲載</p> <p>19 JST: 記者発表会(オンライン)</p>	
2024年 5月11日	08 JST: 大規模磁気嵐($K=8$)(02:00 JST開始). 11 JST: Xクラスフレア 16 JST: 地球方向コロナガス 21 JST: Xクラスフレア	<ul style="list-style-type: none"> 大規模地磁気嵐($K \geq 7$)は今後24時間内に発生 	<p>メディア対応 (2024年5月25日現在)</p> <p>取材対応: 61 記事掲載: 新聞 114, TV 48, Web 588</p>	<ul style="list-style-type: none"> オーロラ GPS 測位エラー HF通信エラー

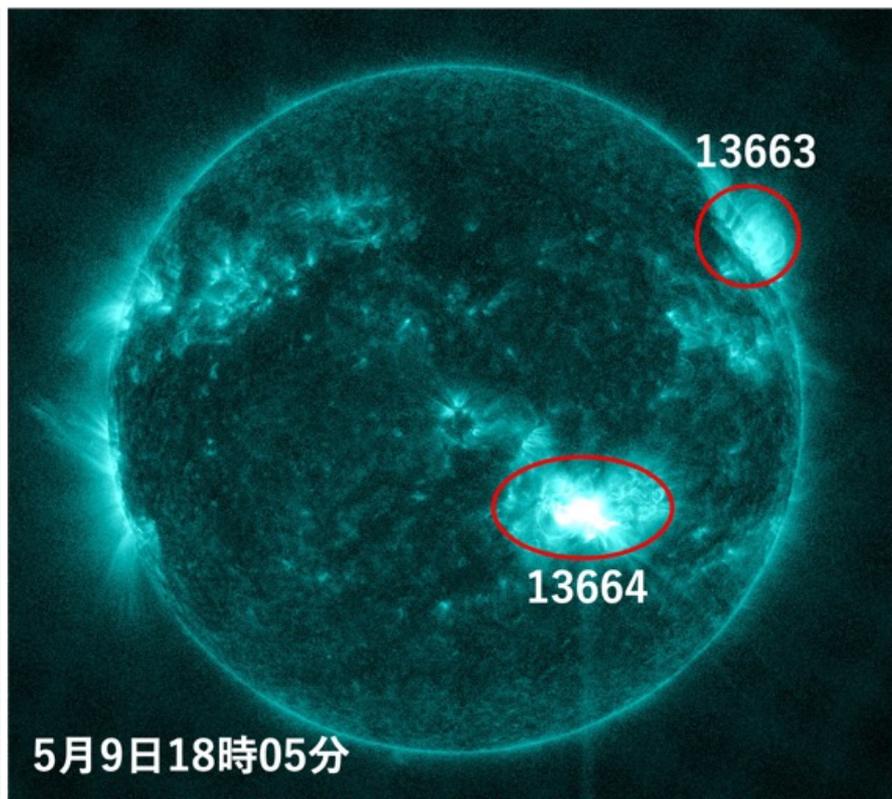
“複数のコロナガスが地球に到来し、宇宙システムへ影響する可能性がある。”

2024年5月8日から15日に発生したXクラスフレア

今回の現象をもたらした黒点群



可視光画像



紫外線画像

人工衛星SDO（米国NASA）で観測された太陽画像（左：可視光、右：紫外線）

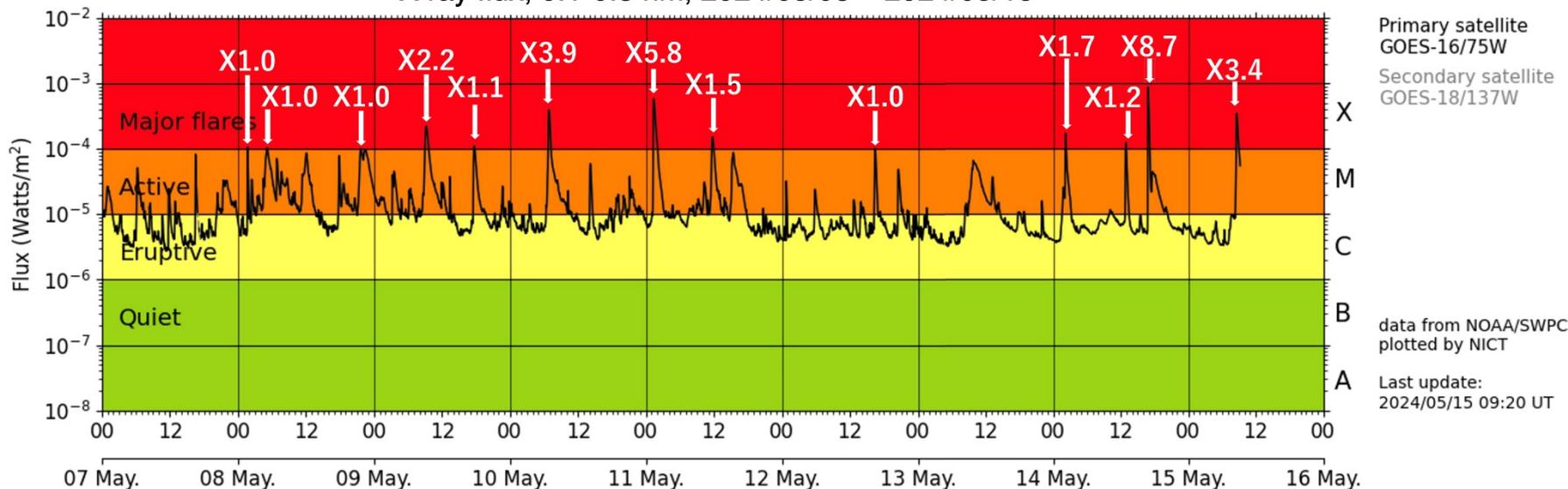
2024年5月8日から 15日に発生した Xクラスフレア

- Xクラス以上のフレアが72時間で7回発生したことはGOES衛星による観測史上（1975年～）初めて。
- 一連の太陽フレアで最大の規模は5月15日に発生したX8.7であり、これは現在の太陽活動周期25で最大。

（下図）GOES衛星によるX線フラックスの観測値。図中の矢印がXクラスの太陽フレアの発生を示す。グラフの時刻はUT表記。

No.	発生日	発生時刻 (JST)	規模
1	2024年5月8日	10時41分	X1.0
2	2024年5月8日	14時09分	X1.0
3	2024年5月9日	06時40分	X1.0
4	2024年5月9日	18時13分	X2.2
5	2024年5月10日	02時44分	X1.1
6	2024年5月10日	15時54分	X3.9
7	2024年5月11日	10時23分	X5.8
8	2024年5月11日	20時44分	X1.5
9	2024年5月13日	01時26分	X1.0
10	2024年5月14日	11時09分	X1.7
11	2024年5月14日	21時55分	X1.2
12	2024年5月15日	01時51分	X8.7
13	2024年5月15日	17時37分	X3.4

X ray flux, 0.1-0.8 nm, 2024/05/08 – 2024/05/15

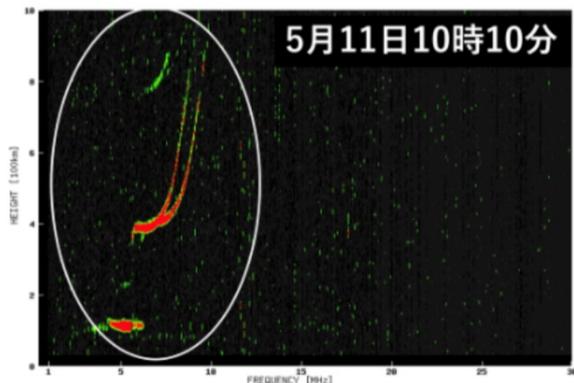


デリンジャー現象

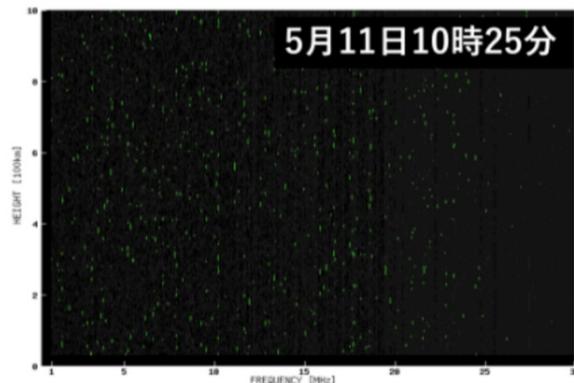
発生日	発生時刻 (JST)	場所 (規模)
2024年5月8日	10時45分	日本各地
2024年5月8日	11時30分	日本各地
2024年5月8日	13時30分から14時30分	日本各地
2024年5月9日	6時30分から8時15分	日本各地
2024年5月9日	12時15分から12時45分	日本各地 (弱い)
2024年5月9日	15時15分	国分寺・山川・沖縄 (弱い)
2024年5月10日	12時30分	国分寺 (弱い)
2024年5月10日	15時45分から16時15分	日本各地
2024年5月11日	10時15分から11時45分	日本各地
2024年5月12日	9時45分	日本各地
2024年5月14日	11時15分	日本各地
2024年5月15日	17時45分	日本各地 (弱い)

- 大規模太陽フレアの発生に伴って、**短波帯での電波が電離圏で吸収される「デリンジャー現象」が発生しました。**
- NICTのイオノゾンデにより観測された5月8日から15日までのデリンジャー現象の一覧 (左表) と、観測画像の例 (左図)
- デリンジャー現象が発生していた時間帯では、**短波帯の通信途絶が発生した可能性が高い**と考えらる。

イオノゾンデによる電離圏観測 (沖縄)



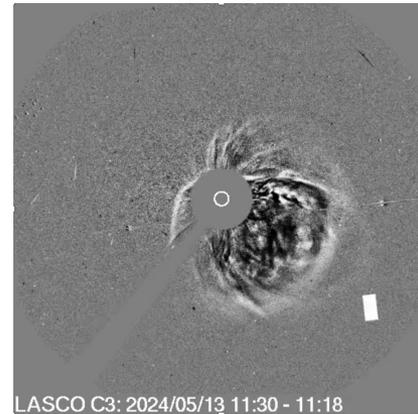
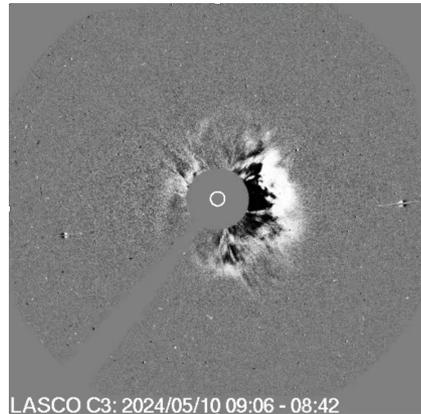
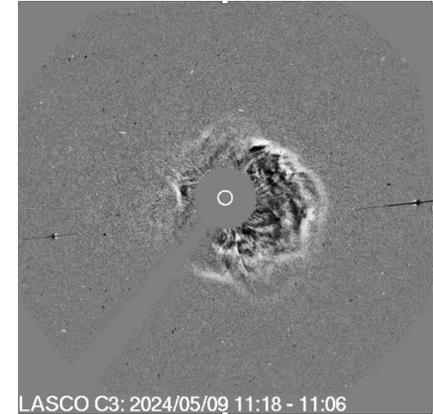
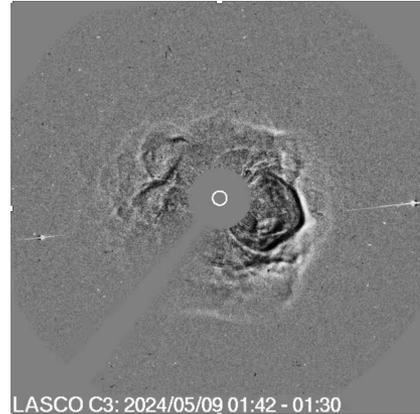
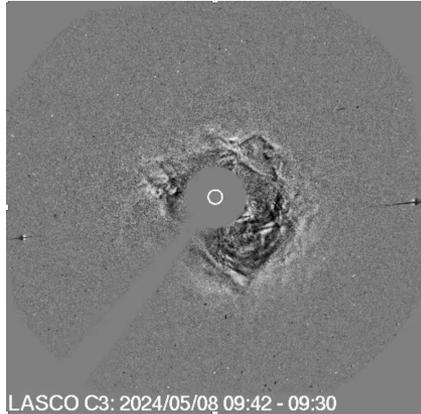
デリンジャー現象発生前



デリンジャー現象発生中

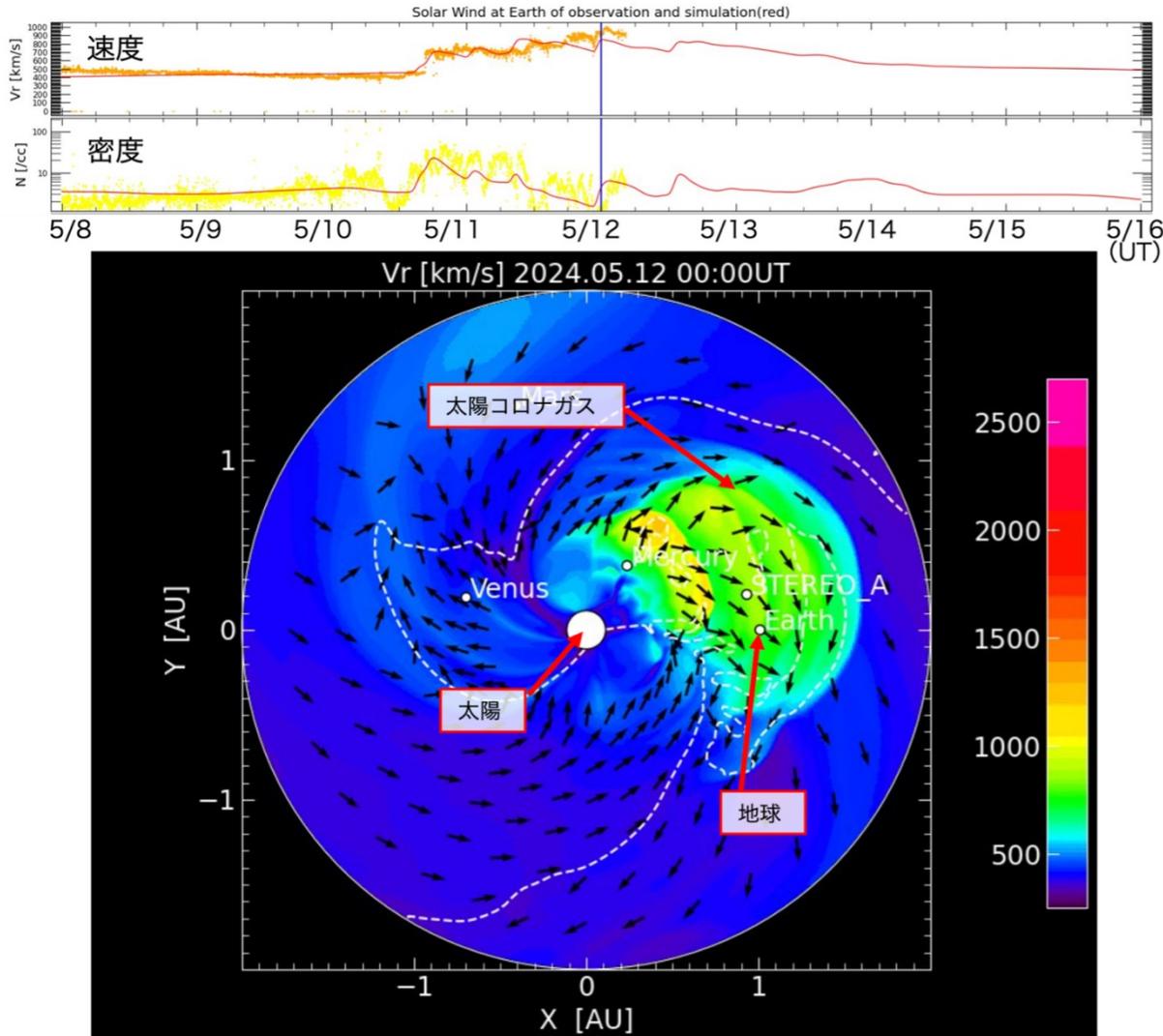
(左図) イオノゾンデ (沖縄/大宜味) による電離圏観測。通常観測される白丸で示した部分の電離圏エコーが電離圏下部で吸収され消失している様子が確認できる。

フレアに伴うコロナガスの放出



- 探査機SOHO（欧州ESA・米国NASA）によって観測されたコロナガス放出の様子。中心部の白丸が太陽の位置を示す。
- 太陽フレアに伴って、地球方向へのコロナガスの放出が複数回観測された。

太陽風シミュレーション



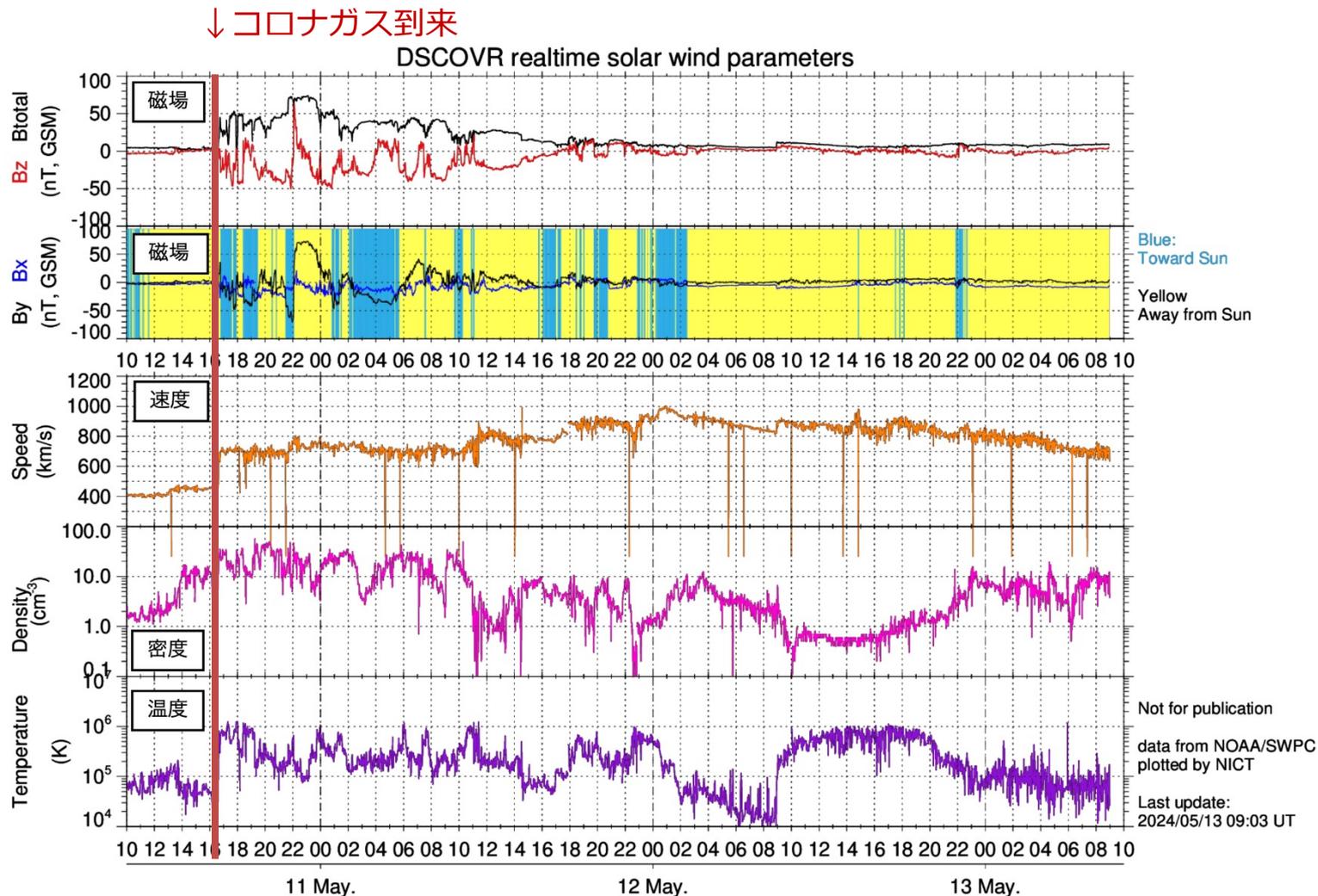
- NICTの太陽風シミュレーションSUSANOOにより、太陽風の到来を予測。
- 太陽フレアに伴って複数回放出されたコロナガスが塊になって地球周辺を通過している様子が可視化されている。
- SUSANOOにより、5/10夜間から5/11にかけて最初のコロナガス到来が予測された。

(上図) 地球に到来する太陽風速度と密度の推移予測

(下図) 日本時間5月12日9時の惑星間空間の太陽風の速度の分布

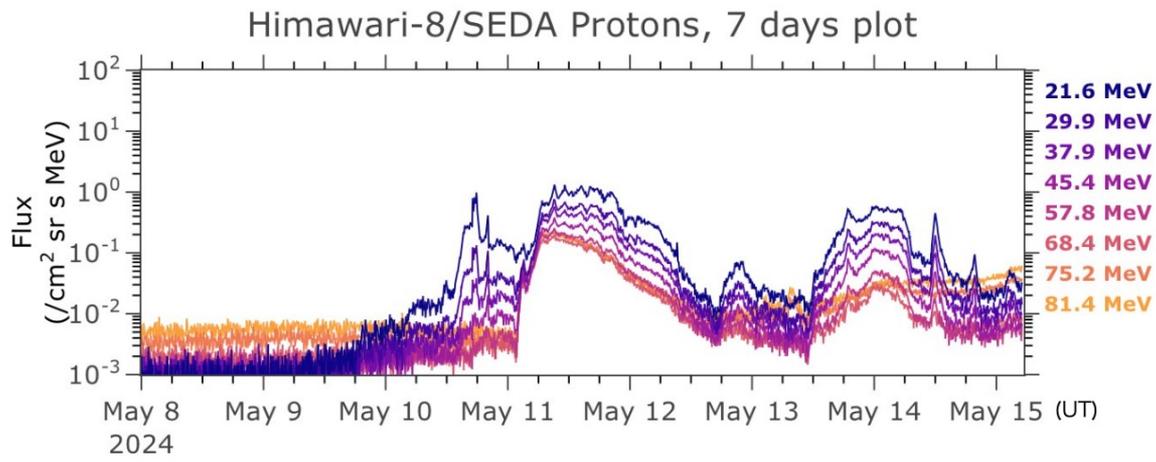
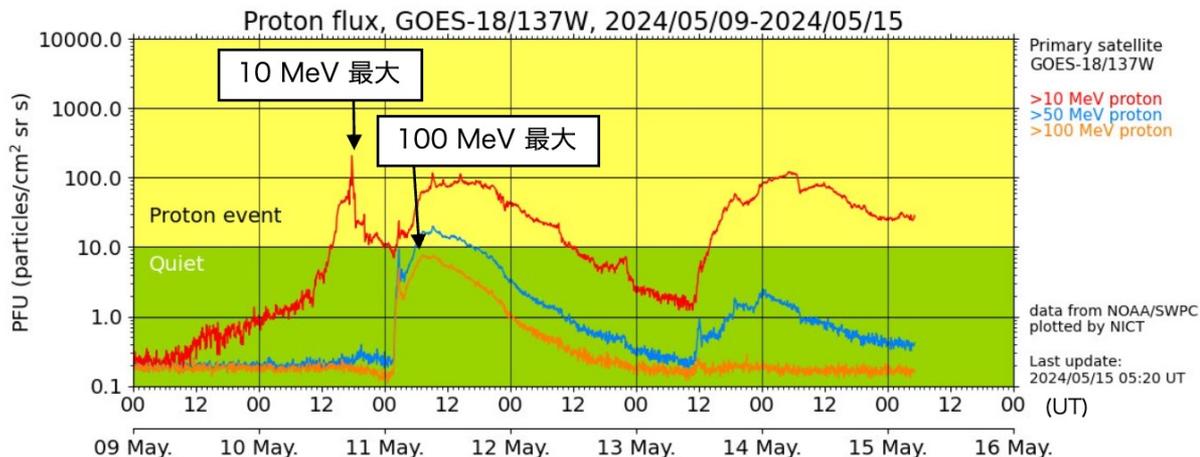
太陽風

探査機DSCOVR・ACE (米国NOAA・NASA) による太陽風の観測値。グラフの時刻はUT表記。



- 太陽コロナガスが、日本時間5月11日1時半頃に地球周辺に到来したことが観測された。
- 太陽コロナガスの到来に伴い、太陽風の速度は770 km毎秒、磁場強度は72 nTへ急上昇し、磁場の南北成分は一時 -50 nT前後の非常に強い南向きの状態となった。
- 8日以降、複数回発生したコロナガスが順次、地球周辺を通過した。

太陽高エネルギー粒子

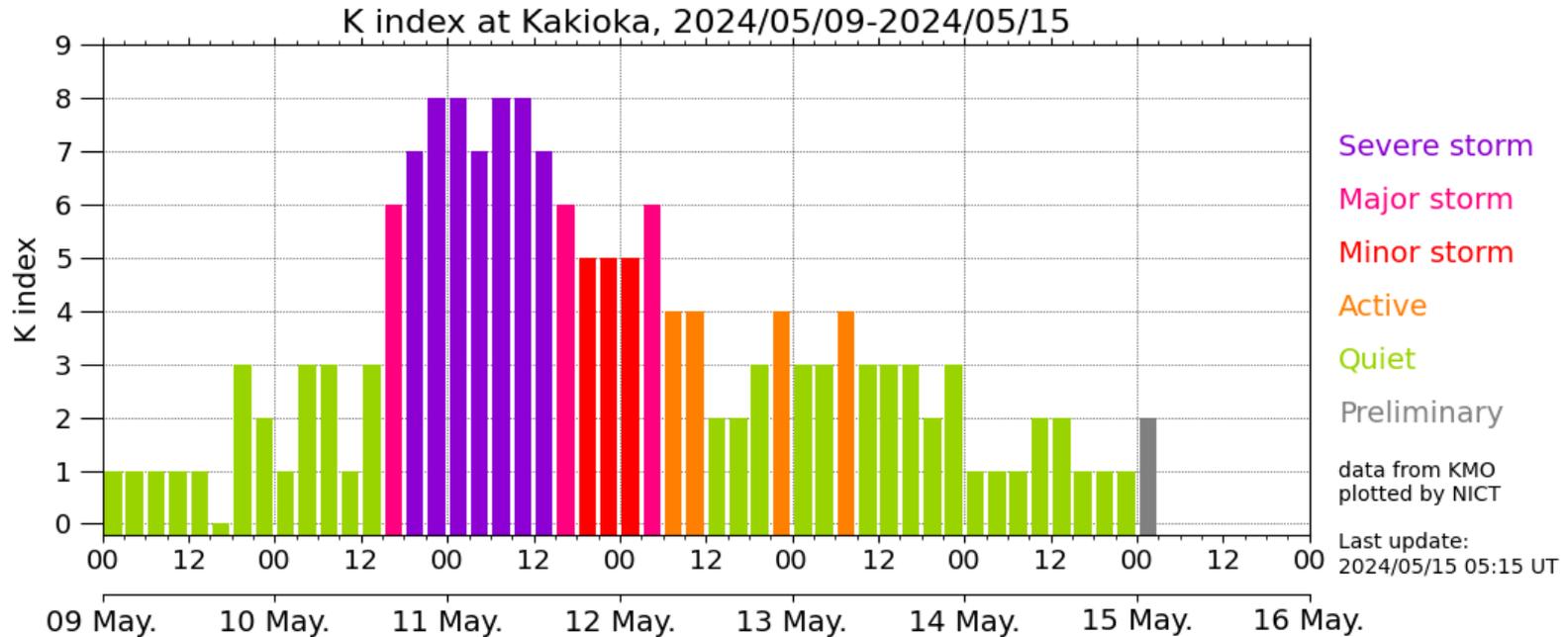


- 静止軌道（高度約36,000km）で高エネルギープロトンの増大が観測された。
- GOES衛星の観測によると、エネルギー10 MeV以上のプロトンは日本時間5月9日18時頃から増大、12日12時35分に低いレベルまで減少。
- 5月13日18時に発生した中規模太陽フレアの影響により、13日23時0分に再び10 PFUを超えた。
- 一連の太陽フレアに伴って観測された太陽高エネルギープロトンの最大値は、10 MeV以上のプロトンで207 PFU。

（上図）人工衛星GOES（米国NOAA）によるプロトン粒子の観測値

（下図）人工衛星ひまわり9号（日本 気象庁・NICT）によるプロトン粒子の観測値

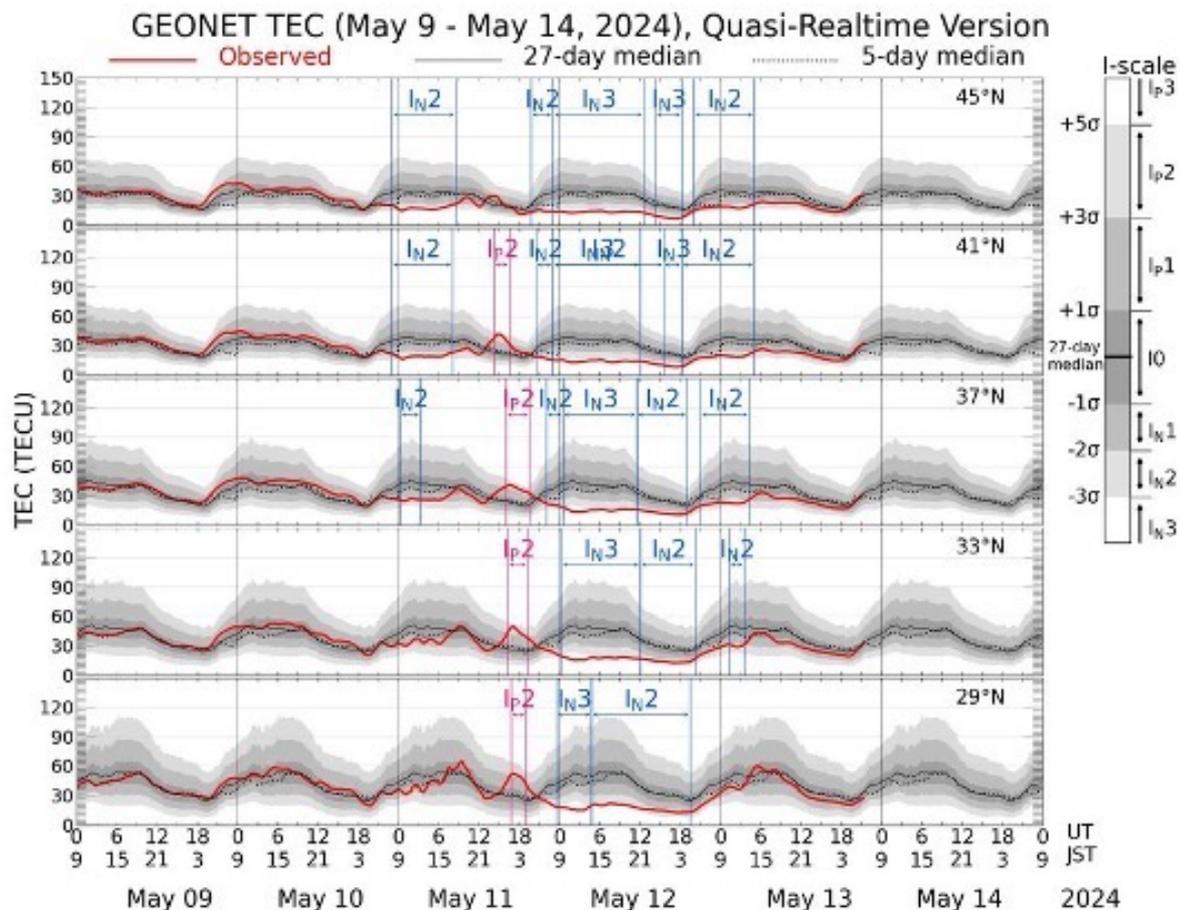
地磁気変動



気象庁地磁気観測所（柿岡）による地磁気指数の暫定値。グラフの時刻はUT表記。

- 気象庁地磁気観測所（柿岡）によると、日本時間5月11日2時5分に急始型**地磁気嵐が発生**した。
- この地磁気嵐に伴う地磁気水平成分の最大変化量は、約532 nTでした。この期間、**地磁気の乱れを示すK指数は、10段階中で上から2番目の「8」**が4回観測された。
- 地磁気観測所（柿岡）で、K指数「8」が最後に観測されたのは2005年8月であり、**約19年ぶりの大規模な磁気嵐**となった。
- この地磁気嵐は、14日13時頃に終了した。

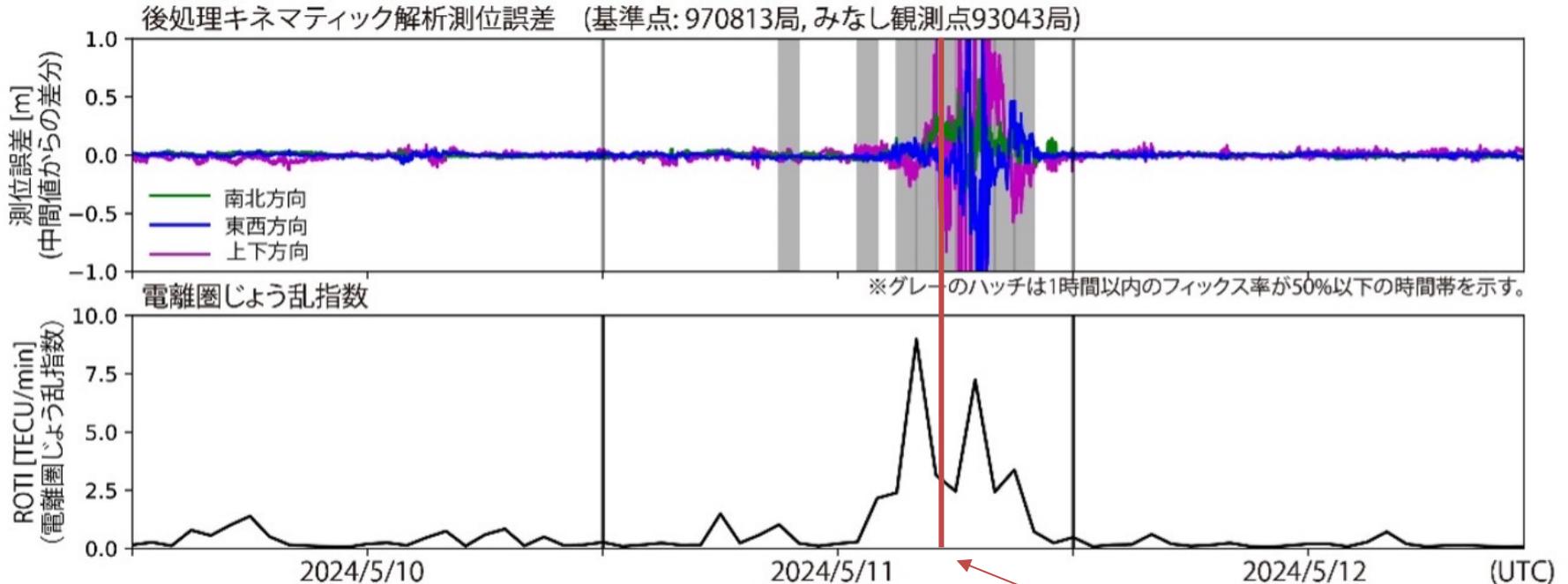
電離圏変動



国土地理院GEONETデータから算出された日本上空の電離圏全電子数の推移

- 地磁気嵐の発生に伴い、日本上空では5月11日の日中に東北以北、12日には全緯度帯、13日は本州以北で**大規模な電離圏負相嵐の発生**が確認された。
- また、5月11日の夜間に東北以南で**電離圏正相嵐の発生**が確認された。

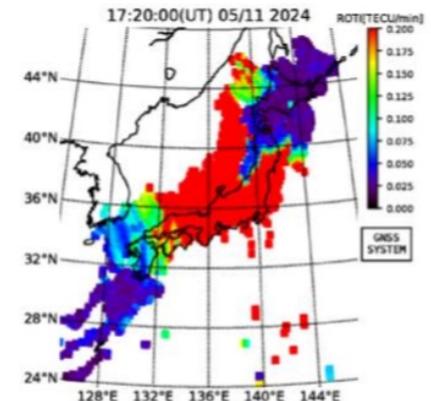
電離圏じょう乱とGPS測位誤差



(上図) 後処理キネマティック解析により算出した測位誤差
(下図) 電離圏じょう乱指数ROTI

5/12 02:20 JSTのROTIマップ

- **正相電離圏嵐が観測された時間帯**に、電離圏じょう乱指数 (ROTI) マップによると、日本時間5月11日の21時過ぎから12日の明け方にかけて**日本上空を電離圏じょう乱が通過**した。
- ROTIの増大が観測された時間帯で、後処理キネマティック解析により算出した測位誤差の増大が確認された。
- 基準局の位置情報を利用するRTK-GNSS等の相対測位に影響がでていた可能性がある。



国内外の社会的影響

分野	場所	影響	主な影響
衛星運用	日本	有	• ソニーの人工衛星EYEの高度400m低下。姿勢制御系の機能のリセットが起きた。一度もダウンリンクできない通信パスの運用があった。 https://www.itmedia.co.jp/news/articles/2405/22/news103.html
	米国		• Starlink衛星は影響なかったとの報告あり。 https://x.com/SpaceX/status/1789838269418471902
GNSS(GPS、QZSS等)	米国	有	• 一部のGPSシステムは一時的にオフライン状態となり、RTKシステムの精度にも狂いが生じた。GPS農機による作物の植え付けに影響した。 https://www.theverge.com/2024/5/12/24154779/solar-storms-farmer-gps-john-deer
	日本	有	• 国土地理院によれば、カーナビ等に利用される一周波単独測位では、5月11日9時頃から12日6時頃に誤差が大きくなる時間帯があった。また、測量で用いられるGNSS測位方式では、(日本で電離圏じょう乱が確認された)5月11日深夜から12日早朝の間、特定の時間帯において電離層の乱れの影響を受けた可能性がある。 https://www.gsi.go.jp/denshi/denshi45043.html (第1報) https://www.gsi.go.jp/denshi/denshi45044.html (第2報) • 日本で電離圏じょう乱が観測された期間、複数のGPS波浪計に水位観測値の乱れがあった。 全国港湾海洋波浪情報網 (ナウファス) https://nowphas.mlit.go.jp/sp/pg_choui/804/20240511 https://nowphas.mlit.go.jp/sp/pg_choui/804/20240512 • 複数のGNSS測位事業者・利用者から、1周波相対測位、RTK測位等に影響があったとの報告あり。(NICT調査)
通信・放送・レーザー	米国	有	• NOAAによれば、電力、HF通信、GPSに影響が見られたとの報告があった。 https://www.swpc.noaa.gov/news/g5-conditions-reached-yet-again
	南アフリカ	有	• 南アフリカ HF通信に障害発生 https://www.sansa.org.za/2024/05/the-mothers-day-solar-storm/
	日本	有	• アマチュア無線で利用されるHF通信に影響があったとの報告あり https://www.hamlife.jp/2024/05/11/magnetic-storm/
航空	国内外		• 国内外の複数の航空関連事業者で、宇宙天気の実況や予報情報を踏まえた注意喚起・警戒態勢を実施。航空路変更等の対応がされたものもあった。短波通信の一時的な障害の報告があったが、運航休止等の影響の報告はなかった。(NICT調査)
電力	日本、加		• 影響は特に報告されていない。
	ニュージーランド		• 事前に一部の送電サービスを停止。影響はなかった。 https://www.1news.co.nz/2024/05/12/solar-storm-transpower-extends-grid-emergency-declaration/
観光	国内外		• 日本など中緯度を含む世界各地でオーロラが観測されたとの報告が多数あった。