



宇宙天気ユーザーズフォーラム 2026/2/20(金) 日本橋
(Web掲載用に微修正)

宇宙天気ミニ講座 【航空機運航編】

情報通信研究機構 宇宙環境研究室
埜 千尋、久保 勇樹

航空機運航に関する宇宙天気現象

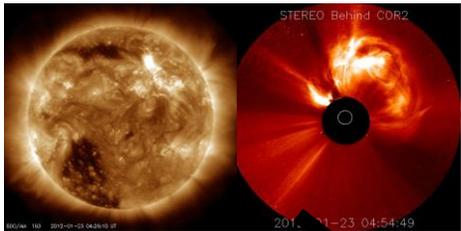
航空機運航	宇宙天気現象	影響	ICAO宇宙天気情報	SAFIR
短波通信	デリンジャー現象	短波吸収による通信不能	○	○
	極冠/オーロラ吸収	短波吸収による通信不能	○	○ 極冠吸収のみ
	電離圏密度減少	利用可能周波数帯の減少	○	
VHF通信	スポラディックE層	混信		
衛星通信	シンチレーション	信号途絶		
	太陽電電波バースト	混信		
進入方法	電離圏密度勾配、プラズマバブルやオーロラによる信号シンチレーション	誤差増大、高精度方式の利用不可	○ シンチレーションのみ	
測位	電離圏密度増大	誤差増大	○	
航空機被ばく	高エネルギー粒子増大	被ばく	○	○

通信
放送編

衛星
測位編

航空運航における短波通信

- * 洋上や極域における重要な通信手法の一つ
(衛星通信やデータリンク等、短波通信以外の手法も併用)
- * フレア光・高エネルギー粒子・オーロラ降込み粒子による電離圏低高度の電離増大がにより、短波吸収が起こる
- * 電離圏電子密度減少により通信可能な周波数帯域が狭くなる



①太陽フレア
(X線・紫外線)

- ②太陽高エネルギー粒子
③オーロラ降込み

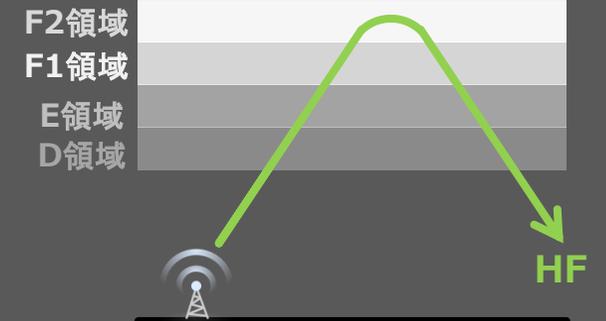
極冠吸収・オーロラ吸収

デリンジャー現象

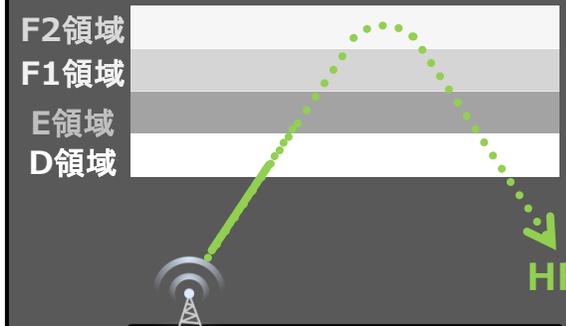
- ④電離圏電子密度減少

利用可能周波数の減少

【通常の電離圏伝搬】

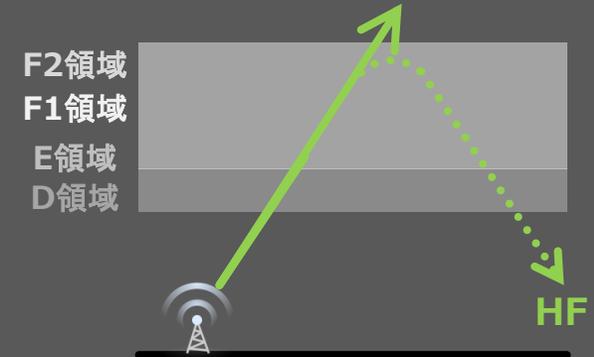


【デリンジャー現象、
極冠/オーロラ吸収】



電離圏低高度の電離増大で、短波が吸収される

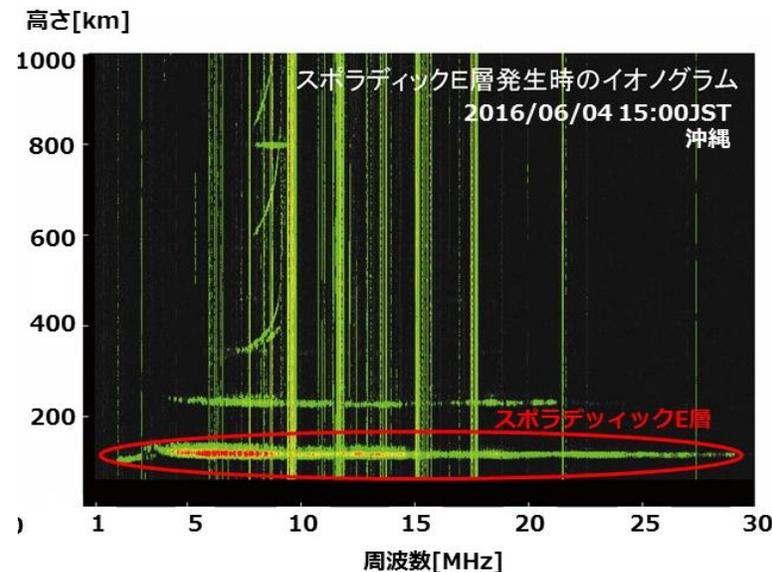
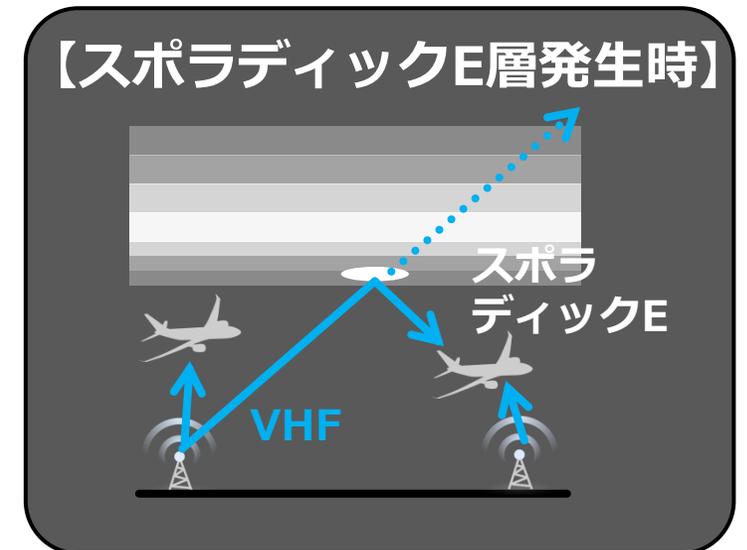
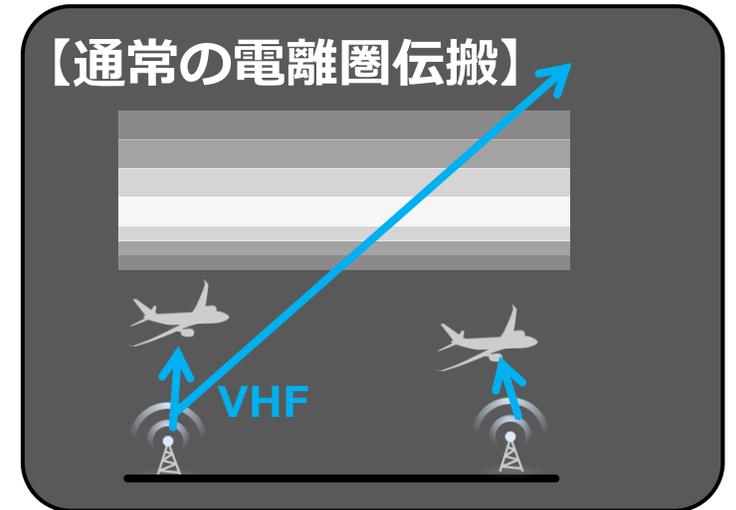
【電離圏電子密度減少時】



短波が電離圏で反射なくなり突き抜ける

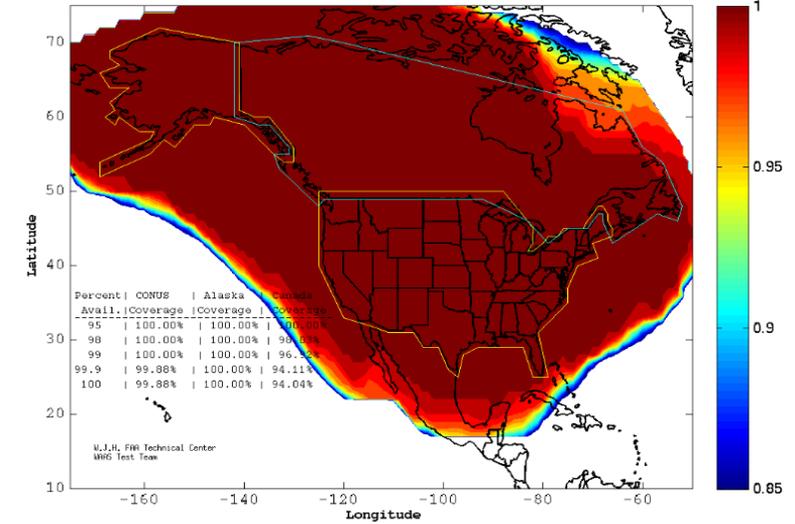
航空運航における超短波通信

- * 超短波(VHF)通信は、国内における主要な通信方法
- * スポラディックE層は、高度100 km付近で電離大気密度が突発的に増加する現象。金属イオンが風により集積。発生頻度は太陽活動度とは無関係で、夏季に頻発する
- * 短波通信に加えて、通常は電離圏を突き抜ける超短波通信も反射し、混信を起こすことがある

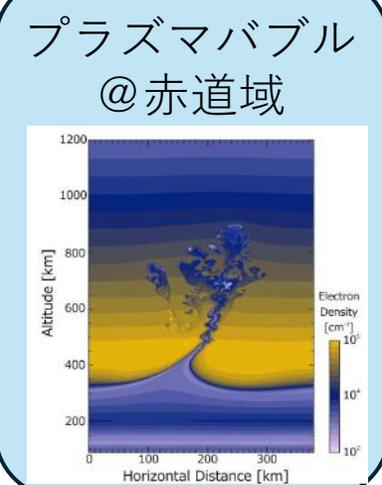
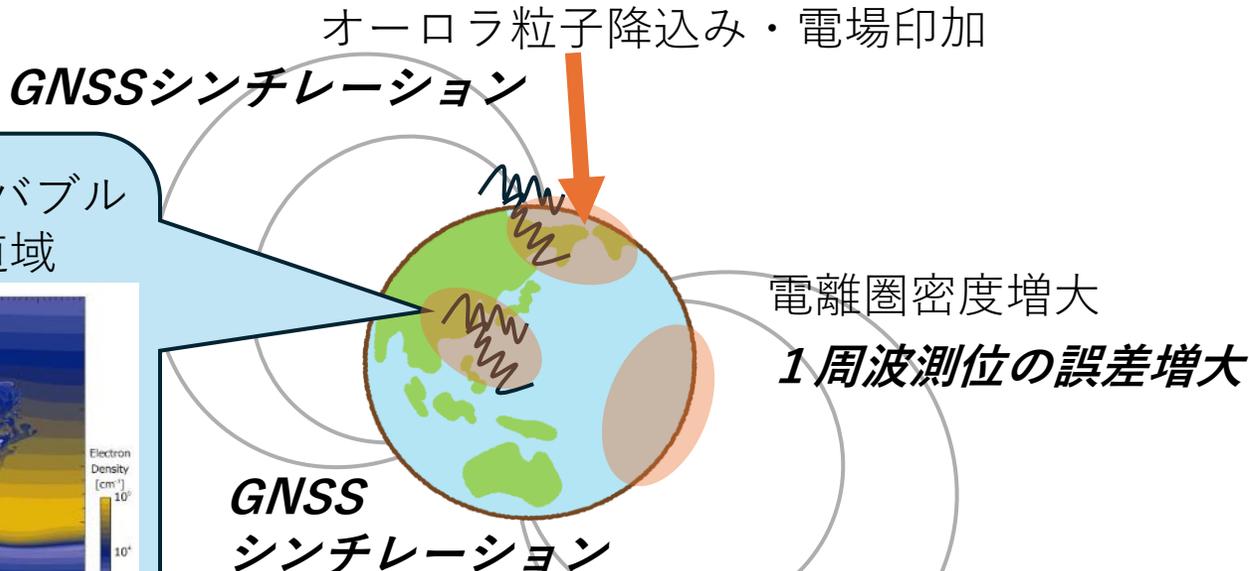
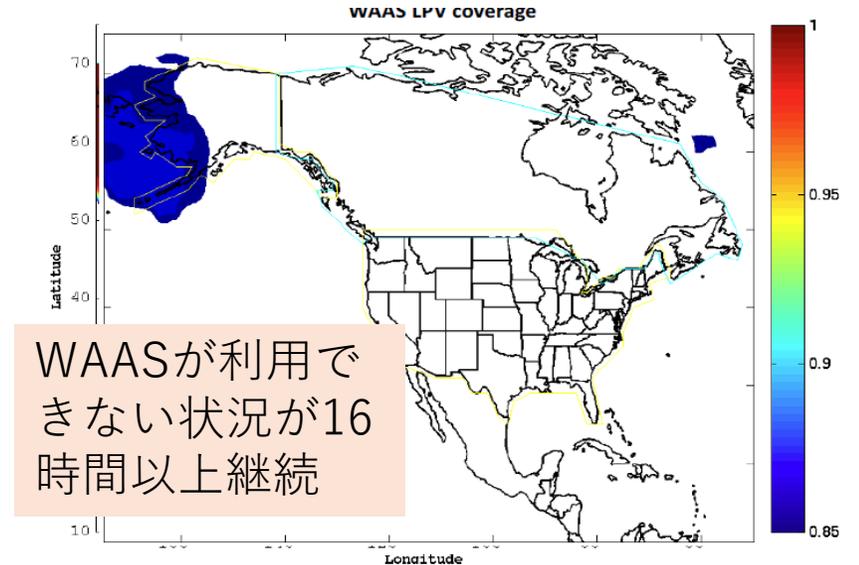


航空運航における測位

- * 単周波GNSS測位は**電子密度増大**の影響を受ける
- * この影響は衛星信号を利用して補正され、着陸進入を支援するシステムにて利用。**オーロラやプラズマバブル**によるシンチレーション増大時は、その補正システムが利用できなく(右図)、**代替手段が必要**になる。



2024年5月宇宙天気イベント時

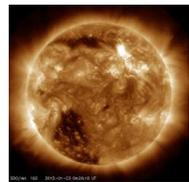


<https://www.icao.int/sites/default/files/METP/Event%20and%20Workshop/SWX%20User%20Workshop%202025/METP-SWX-User-Workshop-SP08-Part-2-May-2024-Case-Study-ver5.pdf>

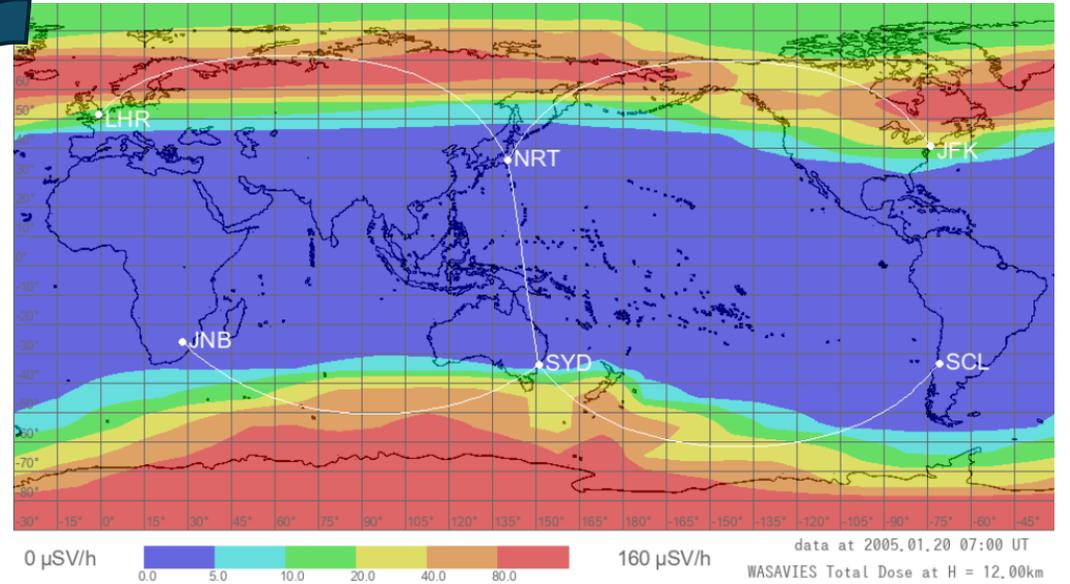
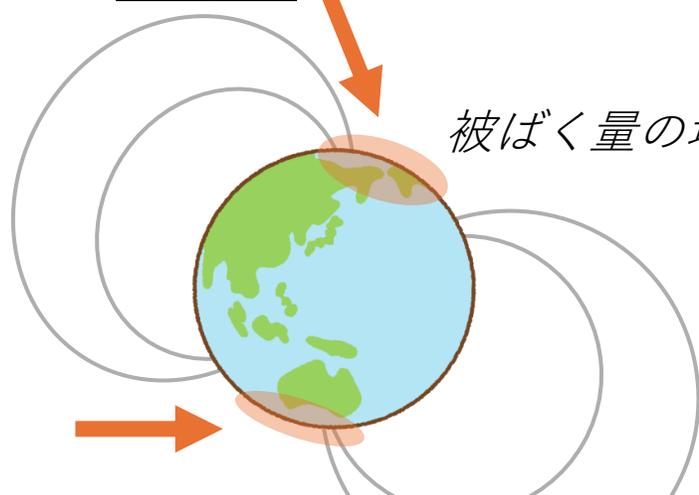
2005年1月20日イベント時の高度12kmでの被ばく線量率のWASAVIESモデルによる評価

航空運航における被ばく

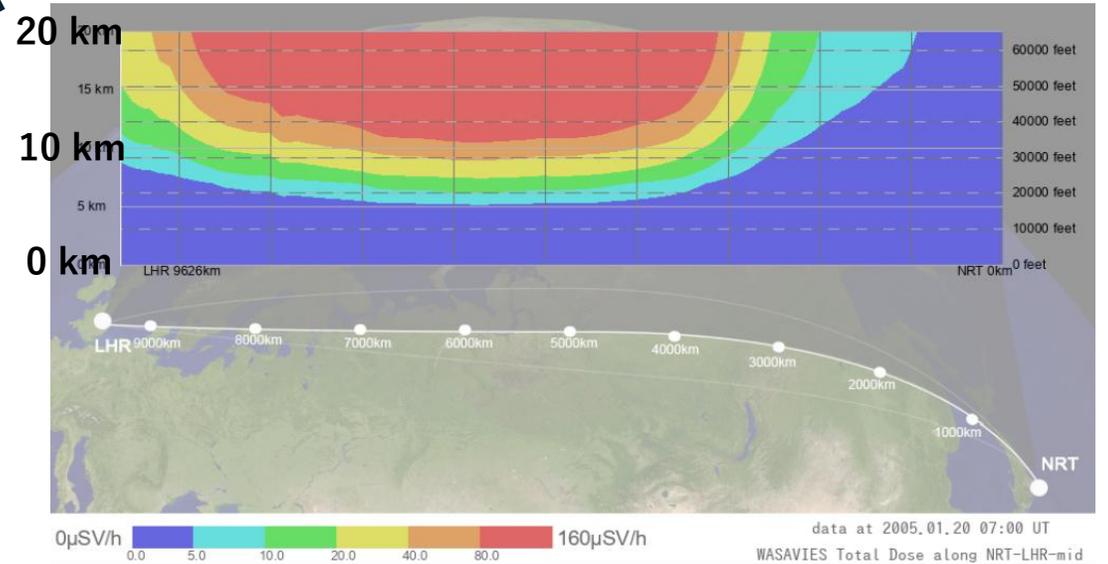
- * 太陽フレア発生時に飛来する太陽放射線の増加により、被ばく線量増大
- * 高緯度および高高度ほど影響が大きく、そこを飛行する航空機乗務員に影響しうる
- 低緯度/低高度への航路変更で影響回避可能



太陽高エネルギー粒子



上記イベント時の東京～ロンドン航路の被ばく線量率



航空分野におけるSAFIRの基準

表 2.3.2: 航空機の運航分野で用いる新警報基準

	平常(Lv1)	注意(Lv2)	警報(Lv3)	備考
太陽フレア	< X1	X1	X10	日本が夜間の場合は配信されない
プロトン [pfu] (*1)	< 1000	1000	100000	
被ばく線量 [μSv/h]	< 30	地球上高度 150- 600 FL の任意の地 点で被ばく線量率が 30 μSv/h を超えた 場合	-	

*1 静止軌道にて 10 MeV 以上のプロトン粒子フラックス

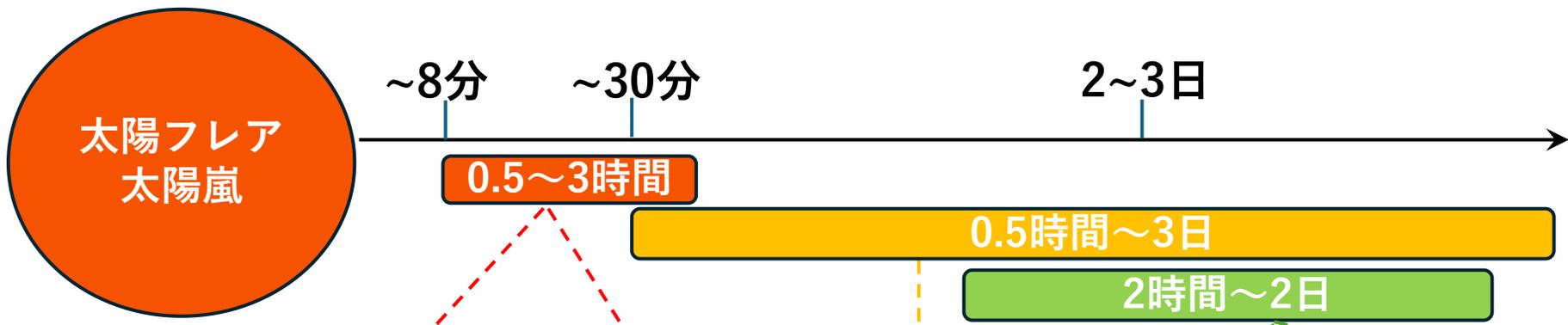
航空分野におけるSAFIRと対策案

新警報基準	フレア発生経過時間 (*1)	影響	【予】 予防対策/【現】 現場対策
太陽フレア 注意 (Lv2) (X1~X10)	太陽フレア発生直後の昼 間側の領域、継続時間は 数分から1時間程度	HF 通信：昼間側の広い範囲 で電波の吸収があり、低周 波帯は使用不可となる	【予】 代替手段の確保 【現】 高周波数側への利用のシフ ト、代替手段の利用
太陽フレア 警報 (Lv3) (>X10)		HF 通信：昼間側の広い範囲 でHF 帯全域が使用不可とな る	【予】 代替手段の確保 【現】 代替手段の利用
プロトン 注意 (Lv2) ($10^3 \sim 10^5$ pfu)	太陽フレア発生 30 分後の 極域、継続時間は 1~6 時 間程度	HF 通信：高緯度地域(55 度 以上)で顕著な電波の吸収が 起き、2 日程度継続(*2)	【予】 代替手段の確保 【現】 高周波数側への利用のシフ ト、代替手段の利用
プロトン 警報 (Lv3) ($>10^5$ pfu)		HF 通信：高緯度地域 (52 度以上) で顕著な電波の吸 収が起き、3 日間程度継続す る(*2)	【予】 代替手段の確保 【現】 代替手段の利用

新警報基準	フレア発生経過時間	影響	【予】 予防対策/【現】 現場対策
被ばく線量 注意 (Lv2) ($>30 \mu\text{Sv/h}$)	フレア発生 30 分後(数 分~数時間程度継続)	航空機高度の被ばく線量率が増 大する。主に中緯度~高緯度地 域の航空機高度で発生	【予】 運航計画変更: 航路変更(高度・緯 度)の検討

※電離圏嵐、オーロラ吸収、スポラディックE層、電波バースト、プラズマバブルについては検討中

<https://swc.nict.go.jp/safir/> の"宇宙天気情報利用ガイドライン"



太陽フレア
とは独立

現象	高エネルギー粒子	短波電波消失	極冠吸収	オーロラ	電離圏嵐	プラズマバブル	スポラディックE層
領域	高緯度領域	日照領域	極冠領域	オーロラ域	中高緯度領域	低緯度領域	全球的
発生頻度と傾向	数年に一回、太陽活動に依存	年に数回、太陽活動に依存	年に数回、太陽活動に依存	年に数回、太陽活動に依存	年に数回	太陽活動および季節に依存	季節依存
影響	GNSS			シンチレーション	測位精度低下	シンチレーション	
	短波通信	短波電波信号の減衰・消失、特に低い周波数で顕著に起こる			MUF低下		VHF通信の混信
	放射線	被ばく増大					
典型的な継続時間	数時間~数日	30分~1時間	数時間~数日	数時間	数時間~数日	1時間~1日	30分~数時間

まとめ

- ・ 航空機においては、通信・測位・被ばくを通して影響が出る
- ・ 影響の出方は、場所・時間・太陽活動・現象により大きく異なる
- ・ 宇宙天気情報により安全な安定した航空運航に貢献

→事業者様・関係者様と相談し提供情報を向上していきたいと、ご相談させていただきます方はどうぞお声がけください。