

警報基準（通信・放送）

WG参加者：

陣英克（NICT）、斎藤亨（電子航法研究所）、前田隼（北海道大学）、
津川卓也、西岡未知、石井守、久保勇樹、中溝葵、田光江、平和昌、中山健司（NICT）、
岩本貴司（三菱電機）、木本雄吾（JAXA）、今給黎哲郎（内閣府）、
山口慎吾、小林伸司、菅野剛（総務省）

主担当メンバー

通信・放送に影響を与える宇宙天気現象

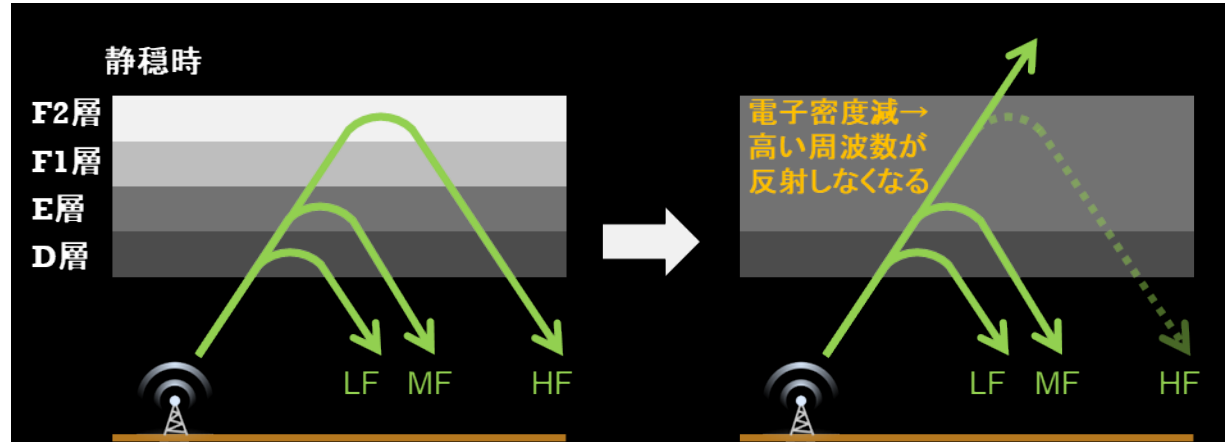
科研費「太陽地球圏環境予測（PSTEP）2015-2019」にて現象を特定

電波 (周波数)	短波 HF (3-30MHz)	超短波 VHF (30-300MHz)	極超短波 UHF (0.3-3GHz)
主な利用 (1)	<ul style="list-style-type: none"> 船舶・航空機通信 短波放送 アマチュア無線 	<ul style="list-style-type: none"> FM放送 防災行政無線 消防無線 列車無線 航空管制通信 	<ul style="list-style-type: none"> TV放送 防災行政無線 衛星通信 GNSS 列車無線
影響する宇宙天気現象	電離圏嵐 デリンジャー、極冠吸収 スポラディックE	プラズマバブル	

1 総務省ウェブサイト「周波数帯ごとの主な用途と電波の特徴」参考
<http://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/freq/search/myuse/summary/index.htm>

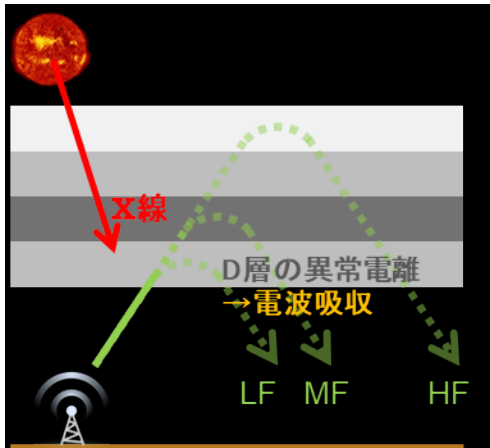
電離圏嵐

発生原因：磁気嵐

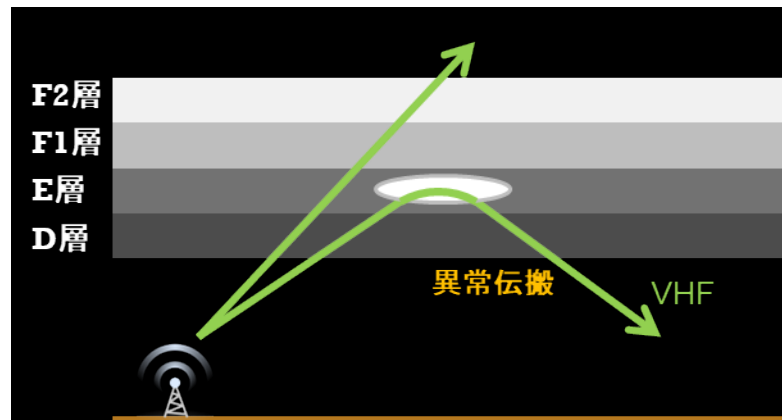


デリンジャー現象 極冠吸収

太陽フレア（X線）
太陽フレア（プロトン粒子）

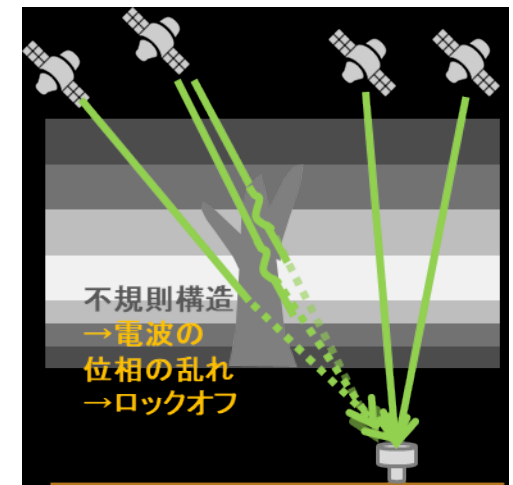


スポラディックE 背景大気状態など



プラズマバブル

電離圏の不安定性



警報閾値（通信・放送分野）

	影響範囲 (周波数)	Lv1 (通常)	Lv2 (影響の可能性有)	Lv3 (深刻な影響の可能性有)
電離圏嵐	HF帯		MUF ¹ 30%減	MUF 50%減
デリンジャー現象	HF帯		X1フレア ² 発生	X10フレア発生
極冠吸収	HF帯		静止軌道プロトン ³ 10 ³ PFU 以上	静止軌道プロトン 10 ⁵ PFU 以上
スポラディックE	VHF帯	イオノゾンデによる計測量 foEs について閾値を検討		
プラズマバブル	UHF帯	GNSS信号から得られる擾乱指数 (ROTI, S4等) について閾値を検討		

1 イオノゾンデ観測に基づく最大使用可能周波数 (Maximum Usable Frequency)

2 静止軌道でモニターしているX線強度 (周波数 0.1-0.8nm にて、X1 は 10⁻⁴ Wm⁻²、X10 は 10⁻³ Wm⁻²)

3 静止軌道でモニターしているプロトン粒子フラックス (10MeV以上)。単位PFUは particles/cm²/s/sr

警報閾値の考え方（国際基準との対応）

電離圏嵐

発生頻度		数回/年 以下	数回/10年以下
今回の閾値	Lv.1	Lv.2 (MUF 30%減)	Lv. 3 (MUF 50%減)
ICAO	normal	moderate (MUF 30%減)	severe (MUF 50%減)
米国NOAA・英国UKMO	G1-3 (Kp 7)	G4 (Kp=8, 9-)	G5 (Kp=9)

デリンジャー現象

発生頻度		数回/年 以下	数回/10年 以下
今回の閾値	Lv.1	Lv.2 (X1フレア以上)	Lv. 3 (X10フレア以上)
ICAO	normal	moderate (X1フレア以上)	severe (X10フレア以上)
米国NOAA・英国UKMO	R1-2 (M5フレア以下)	R3 (X1フレア以上)	R4-5 (X10フレア以上)

極冠吸収（ICAOでは被爆量の観点から、極域Riometer観測に基づき閾値を設定）

発生頻度		1回/年 以下	1回/10年 以下
今回の閾値	Lv.1	Lv.2 (プロトン 10^3 PFU 以上)	Lv. 3 (プロトン 10^5 PFU 以上)
米国NOAA・英国UKMO	S1-2 (プロトン 10^3 PFU 以下)	S3-4 (プロトン 10^3 PFU 以上)	S5 (プロトン 10^5 PFU 以上)

スプラディックEについて、NOAA、UKMO、ICAO等での扱いは無い。
 プラズマバブルについて、ICAOではGNSSの観点で電離圏擾乱指数（S4, sigma-phi）の閾値がある。

警報閾値の考え方（影響の観点）

電離圏嵐

Lv.2：MUF30%減

Lv.3：MUF50%減

「国内外との通信可能な周波数域が3割程度縮小」

「国内外との通信可能な周波数域が5-6割程度縮小となり、一部の時間帯で通信不可」



利用可能な周波数帯幅 (平均) [MHz]							
受信局	札幌	鹿児島	KualaLumpur	Sydney	London	Chicago	
静穏時	5.3	6	13.9	12.4	1.7	1.6	3割減 5-6割減
MUF 30%減	4	4	9.4	9	1	1.1	
MUF 50%減	2.5	2.4	6	5.8	0.7	0.7	
MUF 70%減	0.9	0.9	2.3	2.2	0.1	0.2	
MUF 90%減	0	0	0	0	0	0	

通信可能な時間 (平均) [hour]							
受信局	札幌	鹿児島	KualaLumpur	Sydney	London	Chicago	
静穏時	22	21	21	17	6	7	
MUF30%減	24	19	20	18	5	7	
MUF50%減	20	15	17	15	4	6	
MUF70%減	13	10	11	10	1	3	
MUF90%減	0	0	0	0	0	0	

電波伝搬シミュレータVOACAPを使用し、東京から各局への回線について評価。foF2に係数0.7, 0.5等をかけて調査。太陽黒点60, 120, 180、季節3, 6, 9, 12月の結果の平均。

デリンジャー現象

Lv.2：X1フレア発生

Lv.3：X10フレア発生

「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」

「昼間側の広い範囲でHF帯全域で使用不可 (black out)」

レベル		Level 1			Level 2	Level 3	
フレアの規模		~ M1	M1 ~	M5 ~	X1 ~	X10 ~	X20 ~
30dB減衰する周波数範囲	Sza=90°		<1MHz	<3MHz	<4MHz	<14MHz	<20MHz
	Sza=60°		<3MHz	<6MHz	<10MHz	<34MHz	<50MHz
	Sza=30°		<5MHz	<13MHz	<18MHz	<66MHz	<96MHz

フレアの規模 (X線強度) と電波の減衰の関係式 (Tao et al., 2020) を利用。
 $L[\text{dB}] = 23.914 \log_{10}(F[\text{mW}/\text{m}^2]) - 43.319 \log_{10}(f[\text{MHz}]) + 33.856 \cos(\theta) + 79.394$

全短波帯の回線で使用不可

まとめ（通信・放送分野）

通信・放送電波に影響する各宇宙天気現象について以下のように閾値を設定した。

		影響範囲	Lv1（通常）	Lv2（影響の可能性有）	Lv3（深刻な影響の可能性有）
電離圏嵐	閾値	HF帯		MUF 30%減	MUF 50%減
	影響			国内外との通信可能な周波数域が3割程度縮小	国内外との通信可能な周波数域が5-6割程度縮小となり、一部の時間帯で通信不可
デリンジャー現象	閾値	HF帯		X1フレア発生	X10フレア発生
	影響			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	影響：昼間側の広い範囲でHF帯全域で使用不可（black out）
極冠吸収	閾値	HF帯		静止軌道プロトン 10^3 PFU 以上	静止軌道プロトン 10^5 PFU 以上
	影響			高緯度地域（ 55° 以上）で顕著な電波の吸収が、2日間程度継続	高緯度地域（ 52° 以上）で顕著な電波の吸収が、3日間程度継続
スポラディックE		VHF帯	イオノゾンデによる計測量 foEs について閾値を検討		
プラズマバブル		UHF帯	GNSS信号から得られる擾乱指数（ROTI, S4等）について閾値を検討		