

第14回宇宙天気ユーザーズフォーラム 2019年11月11日(月)

宇宙天気三二講座・電離圏編

情報通信研究機構
電磁波研究所 宇宙環境研究室
西岡未知

本講座の内容

- 基礎編

電離圏の基礎知識

NICTにおける電離圏定常観測（2種類）

- 応用編

電波伝搬の経路

電波伝搬に影響を与える電離圏現象（3種類）

電離圏の基礎知識

➤ 「電離圏」は宇宙の入り口。高さ80km-800kmの範囲。

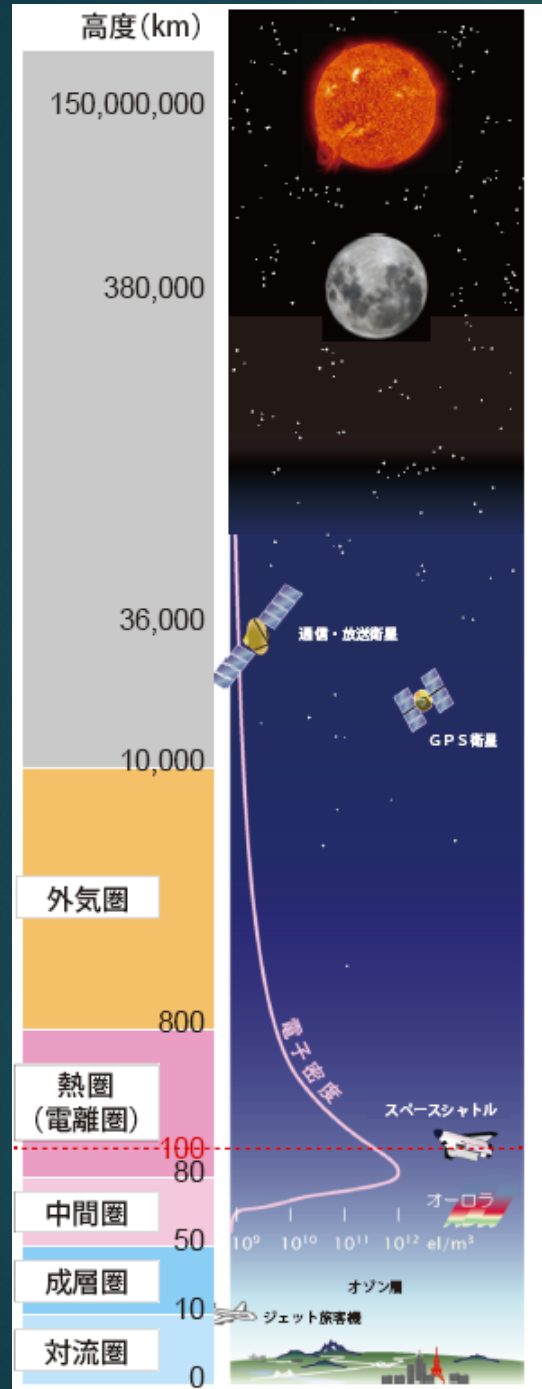
➤ 地球が直径1mの球とすると・・・

太陽：約12km先にある直径110m球
(東京ドームのグランド部分の広さ)

月：約30m先にある直径27cm球

静止衛星：約3m先

電離圏：約8mm-8cmに浮かぶ球殻



宇宙からみた電離圏



もう少し詳しく、電離圏について

電離圏には何がある？

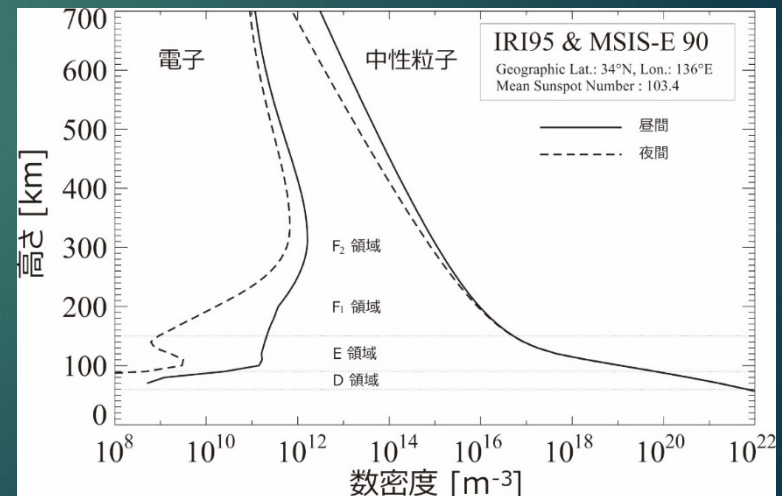
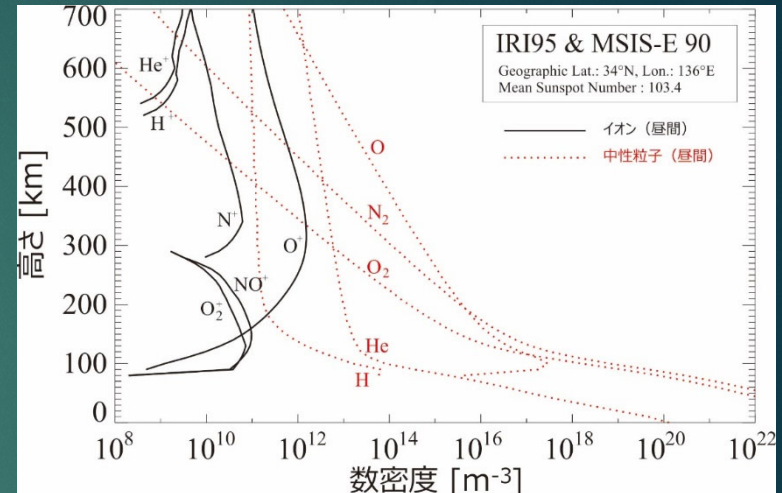
電離大気。酸素原子・酸素分子・窒素分子が太陽紫外線のエネルギーを受けて電離、電離大気となる。

電離圏の構造は？

電子密度の違いによって下から「D領域」「E領域」「F領域」と名前がつけられている。F領域（F2領域）で電子密度が最大となる（高さ300km）。

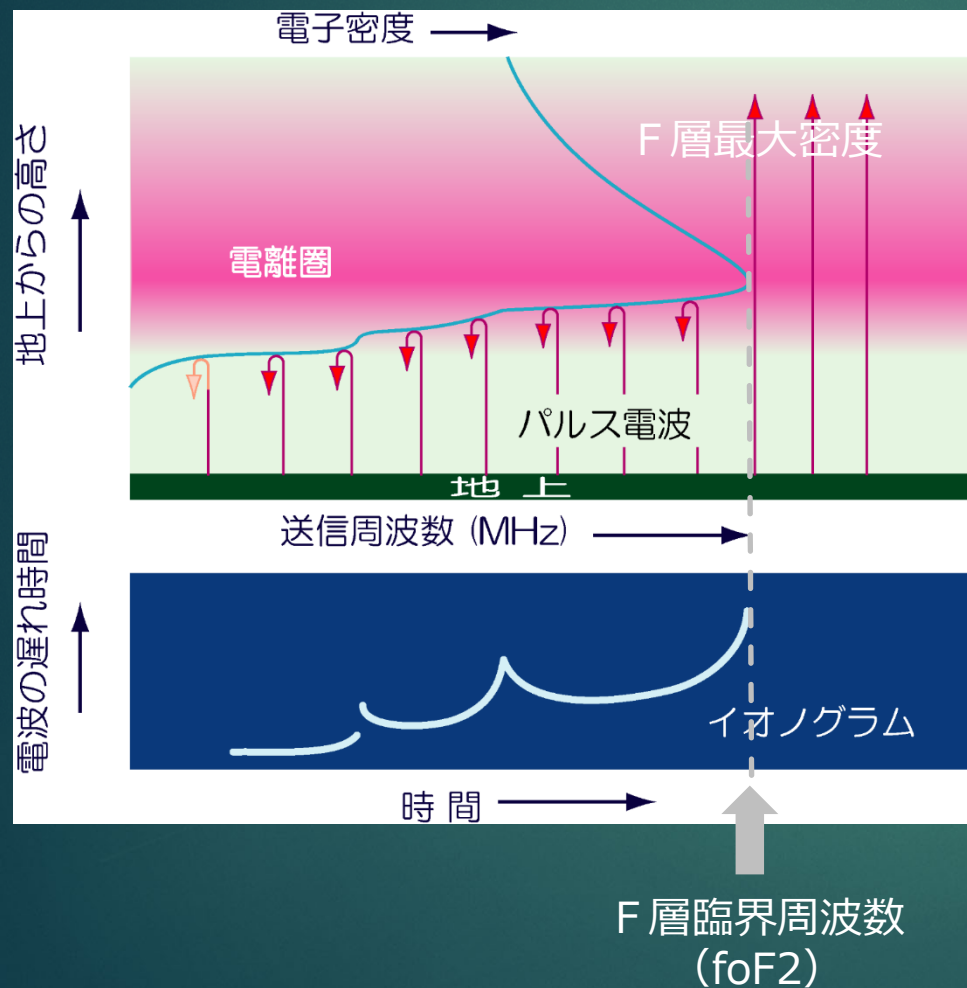
電離圏の変動について

原則、日中・低緯度は電離大気密度が大きく、夜間・高緯度は小さいが、大きな日々変動や、不規則な激しい乱れもある。



NICTにおける電離圏観測

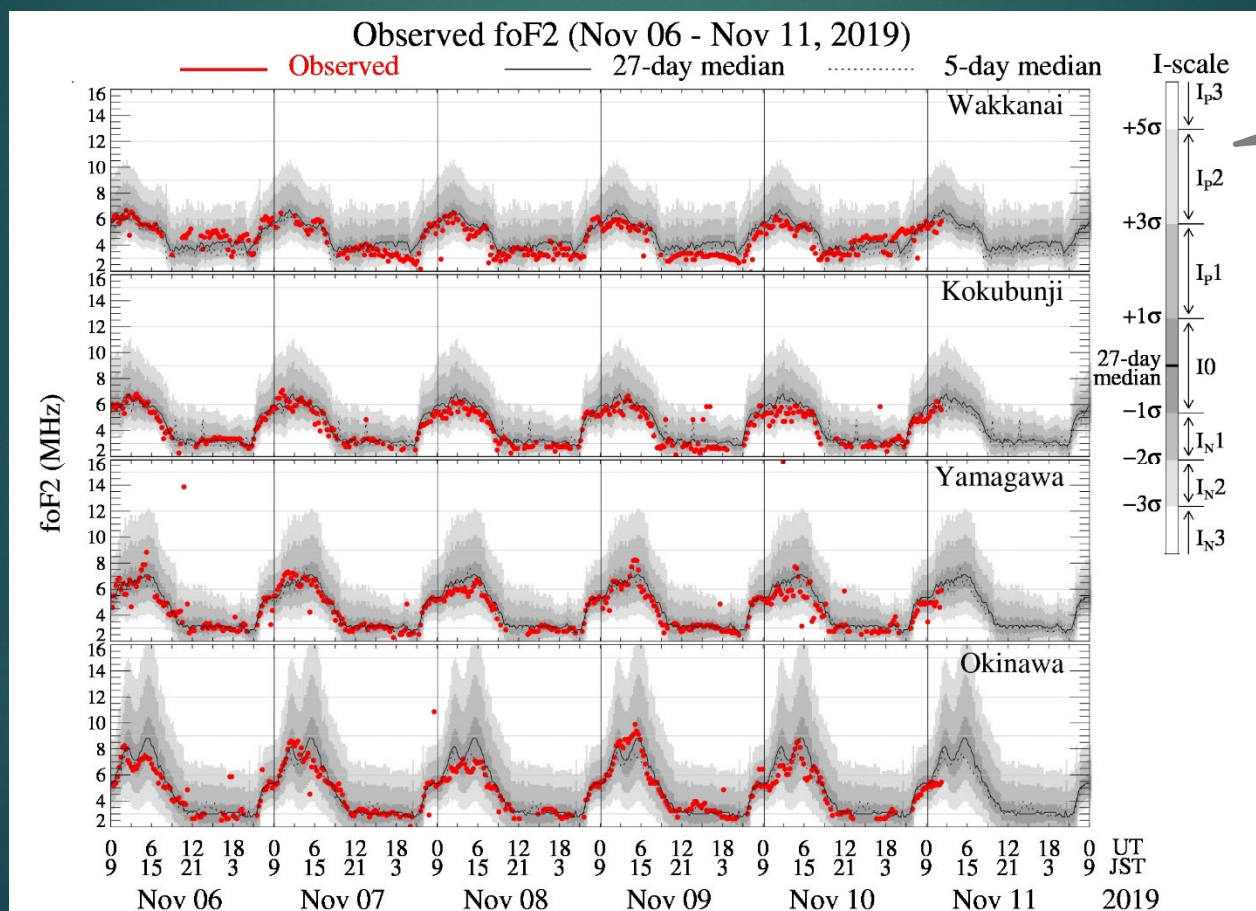
①イオノゾンデ



- 1-30MHzを掃引し送信。
- 送信された電波はその周波数と電離大気密度に応じて反射され、地上で受信される。
- 受信された電波はイオノグラムに記録され、臨界周波数等の電離圏のパラメータが求められる。
- 現在は、北海道・東京・鹿児島・沖縄の4観測点でそれぞれ15分毎に観測している。

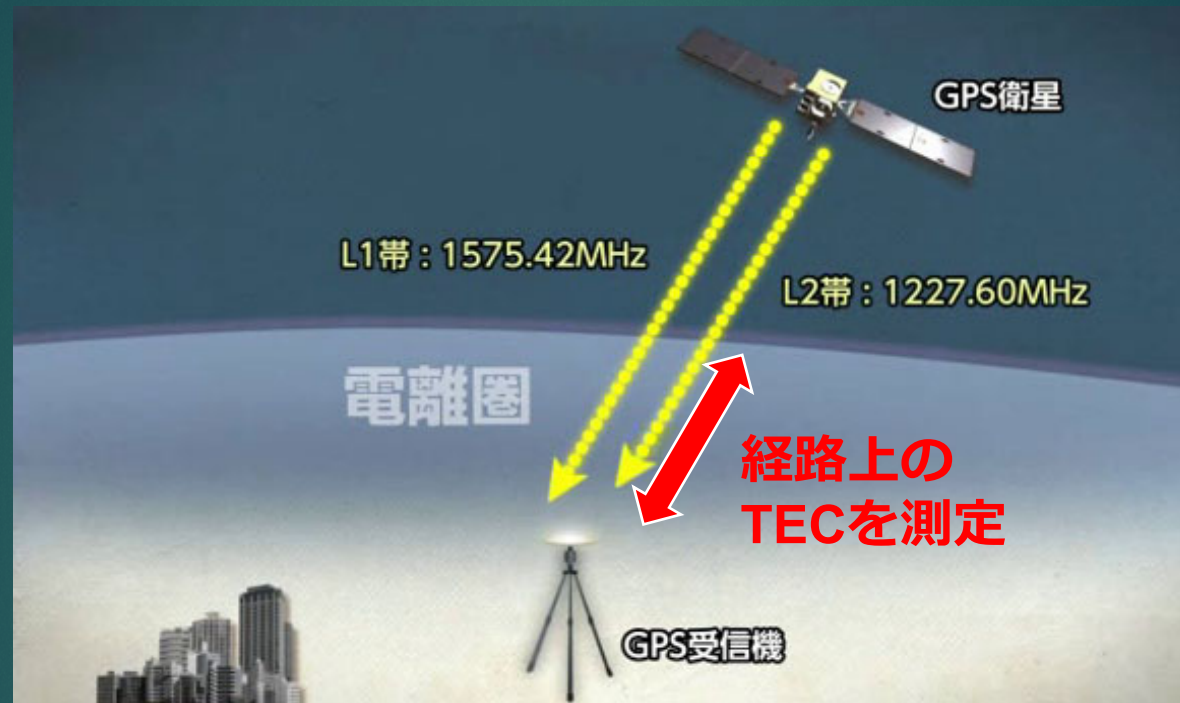
NICTにおける電離圏観測 ①イオノゾンデ

各観測所のイオノグラムはリアルタイムでNICT（小金井）に転送され、自動で主要パラメータを読み取り、宇宙天気予報に活用している（<http://swc.nict.go.jp/trend/ionosphere.html>）。



I-scale (電離圈嵐指標)

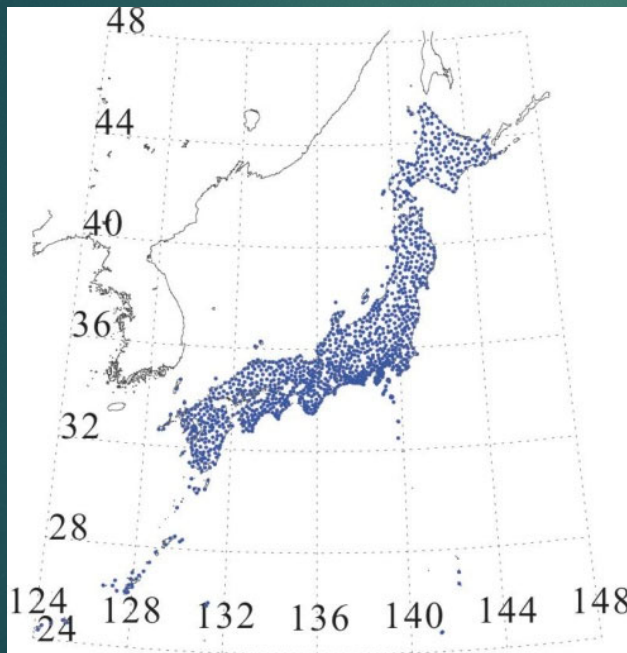
NICTにおける電離圏観測 ②GPS



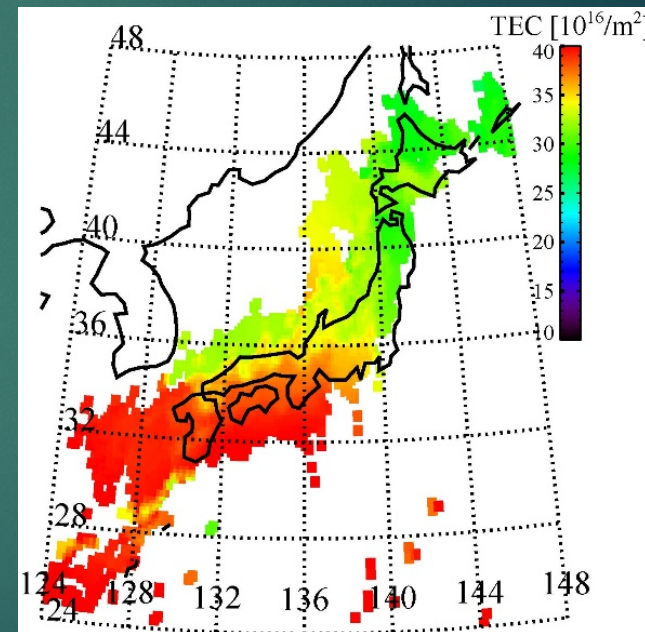
- GPS衛星から送信される電波は、その周波数と電離大気密度に応じて伝搬速度が遅くなる。この性質を利用し、GPS受信機と衛星を結ぶ経路に沿って積分した単位面積当たりの全電子数（TEC）を測定する。
- TECは単位面積を持つ鉛直の仮想的な柱状領域内の電子の総数で、一般的にTEC Unit（TECU） = $10^{16}/\text{m}^2$ で表される。

NICTにおける電離圏観測 ②GPS

- 国土地理院のGEONET（約1,240点のGPS受信機網）を用い、高時間/空間分解能のTECマップを定常的に作成している。
- TEC擾乱指数マップやGPSロック損失マップ等を準リアルタイムでWeb公開している。 [<http://seg-web.nict.go.jp/GPS/GEONET>]



国土地理院GEONETのGPS
受信機分布図 (約1,240点)

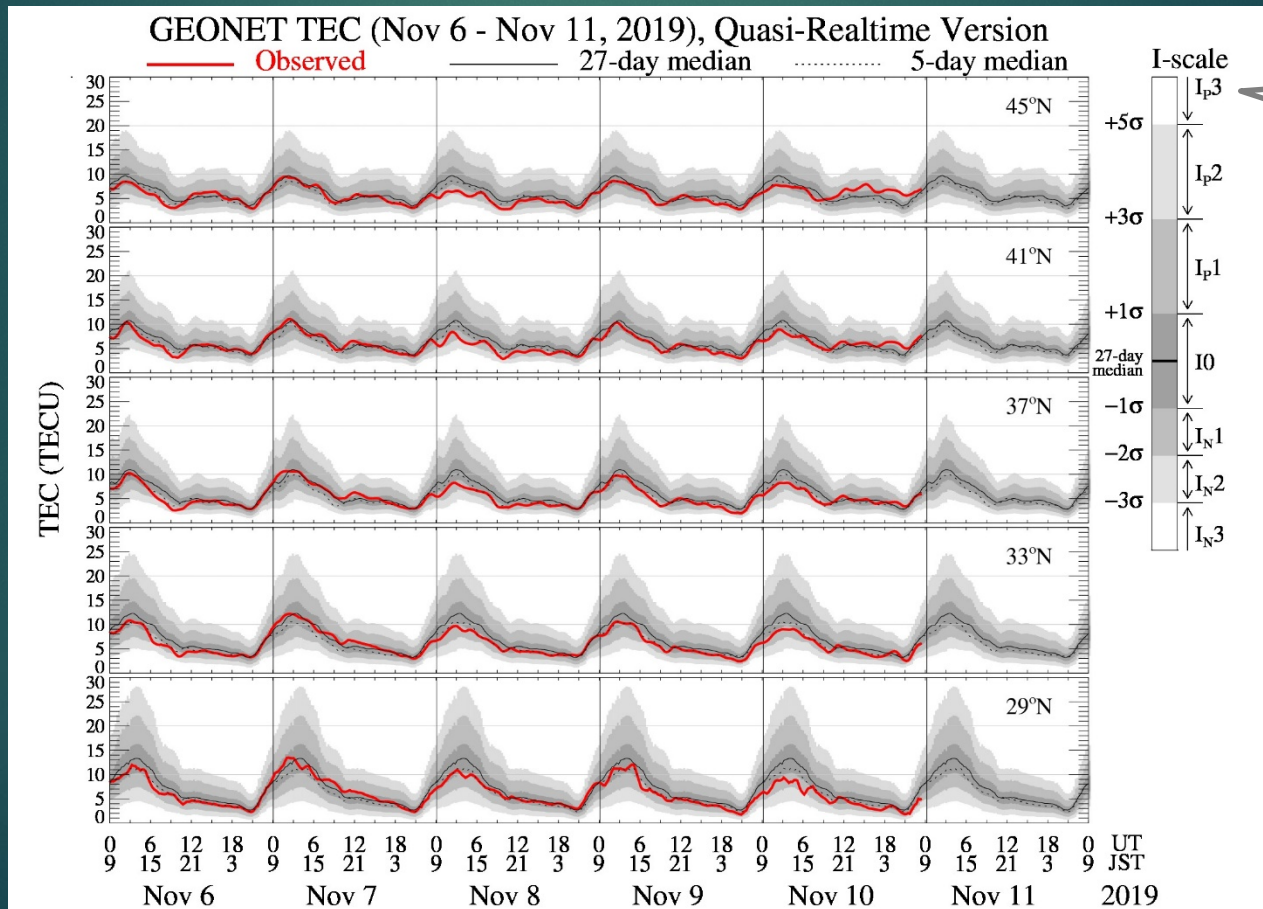


2014年5月24日 16JST
における全電子数マップ

NICTにおける電離圏観測 ②GPS

準リアルタイムのTEC値は、イオノゾンデ観測結果と同様、6日分のプロットがWebで閲覧可能。

(<http://swc.nict.go.jp/trend/ionosphere.html>) 。



I-scale
(電離圈嵐指標)

本講座の内容

- 基礎編

電離圏の基礎知識

NICTにおける電離圏定常観測（2種類）

- 応用編

電波伝搬の経路

電波伝搬に影響を与える電離圏現象（3種類）

電波の伝搬経路と電離圏

用途	← 船舶・航空通信 →			← 防災・消防・鉄道無線 →	
	標準電波	AM放送	短波放送	FM放送・航空管制	GNSS・衛星通信
	長波(LF) 30-300kHz	中波(MF) 300kHz-3MHz	短波(HF) 3-30MHz	超短波(VHF) 30-300MHz	極超短波(UHF) 300MHz-3GHz

伝搬経路 **導波管伝搬**

電離圏伝搬

見通し内伝搬

導波管伝搬

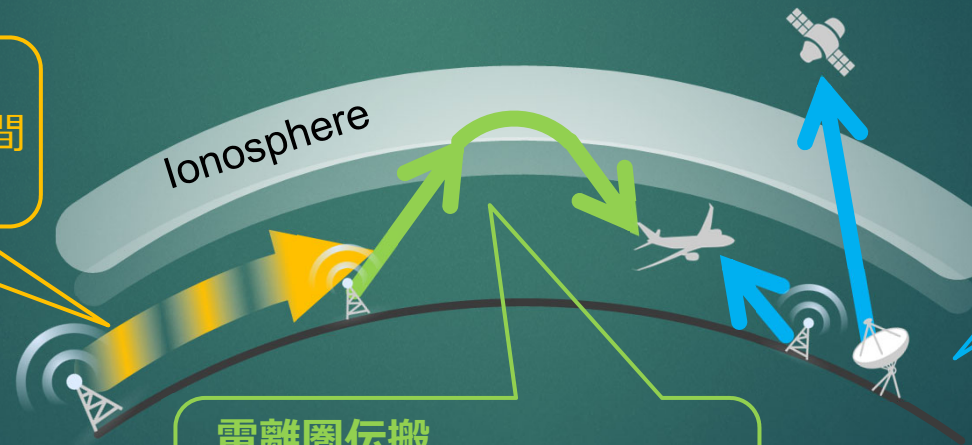
電離圏下部と地表の間を何度も反射し進む。

電離圏伝搬

電離圏D・E・F層で電波が反射し、遠距離まで進む。

見通し内伝搬

電離圏を透過して伝搬する。



電波伝搬障害の要因となる電離圏現象

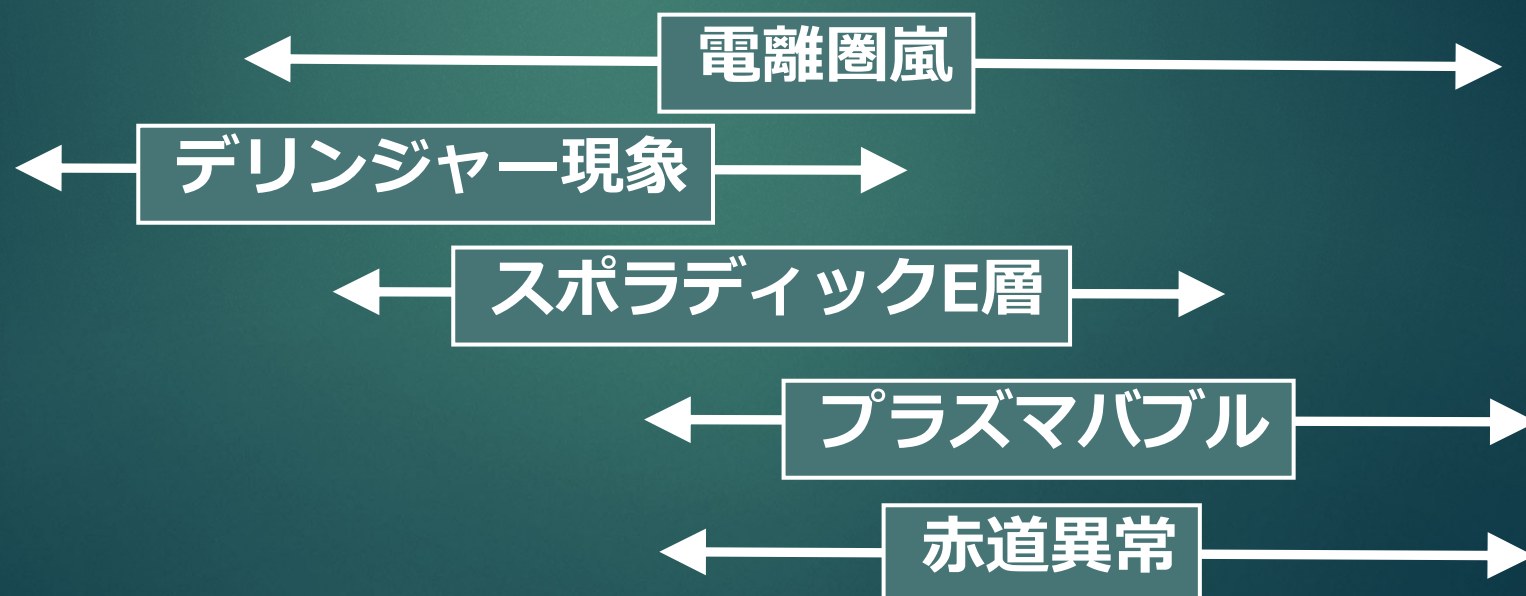
用途	← 船舶・航空通信 →			← 防災・消防・鉄道無線 →	
	標準電波	AM放送	短波放送	FM放送・航空管制	GNSS・衛星通信
	長波(LF) 30-300kHz	中波(MF) 300kHz-3MHz	短波(HF) 3-30MHz	超短波(VHF) 30-300MHz	極超短波(UHF) 300MHz-3GHz

伝搬経路

導波管伝搬

電離圏伝搬

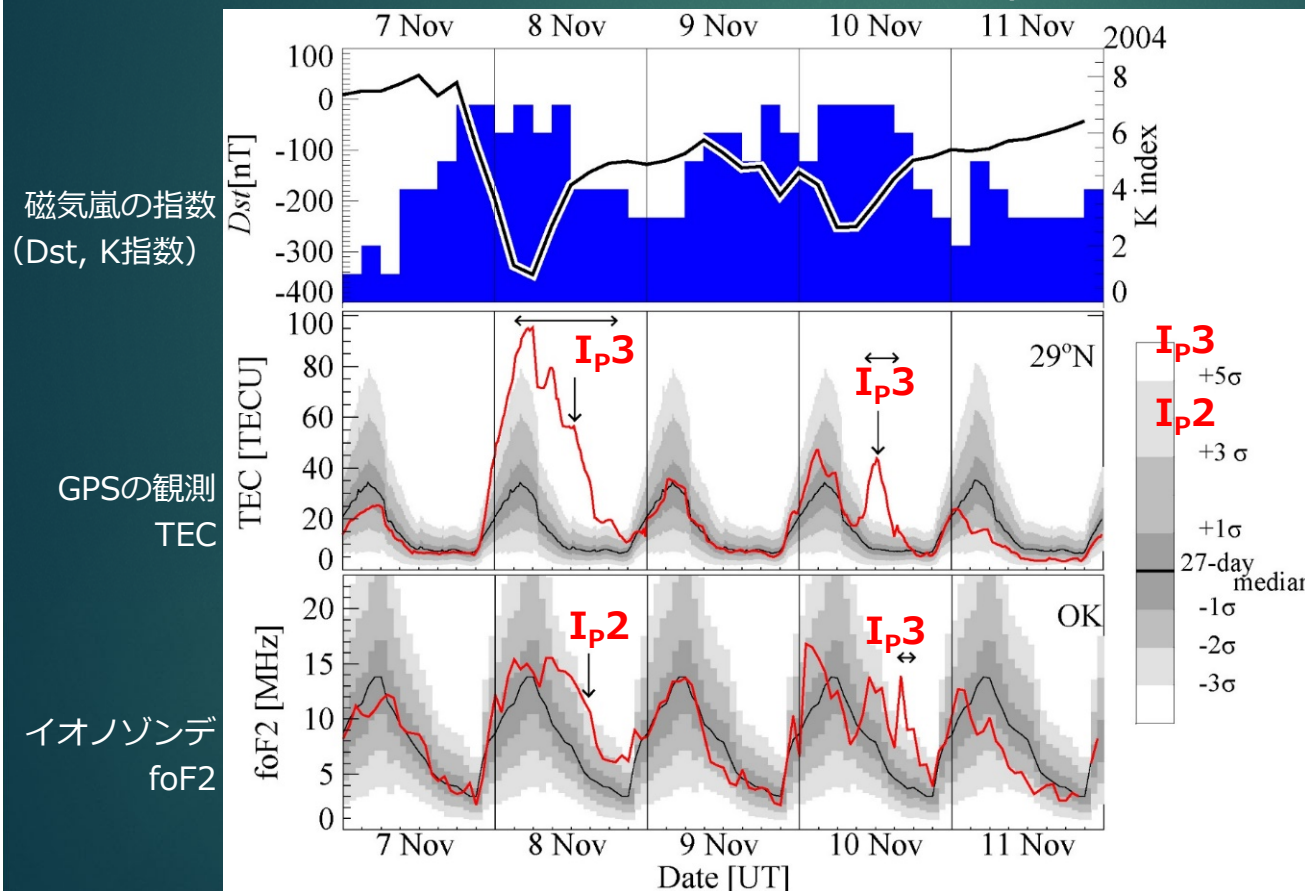
見通し内伝搬



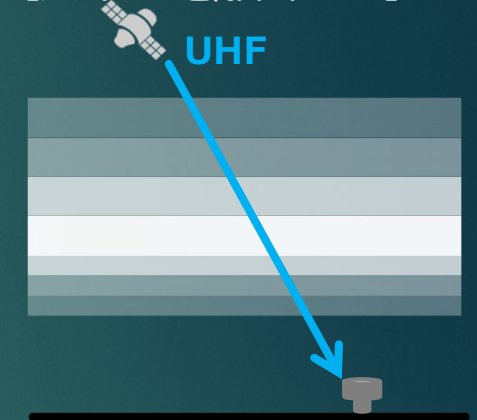
電離圏嵐（正相嵐）

主に磁気嵐が原因で電離圏に電場がかかり、電離大気の量が定常状態よりも増加する現象。 I_p3 (I_p2) レベルの正相嵐は1年（1ヶ月）に1回ほど起きる。

正相嵐の例（2004年11月）



【通常の電離圏伝搬】



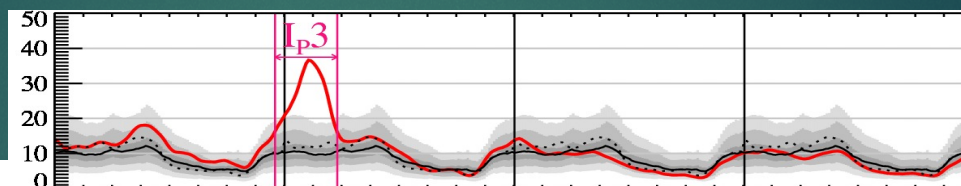
【正相嵐発生時】



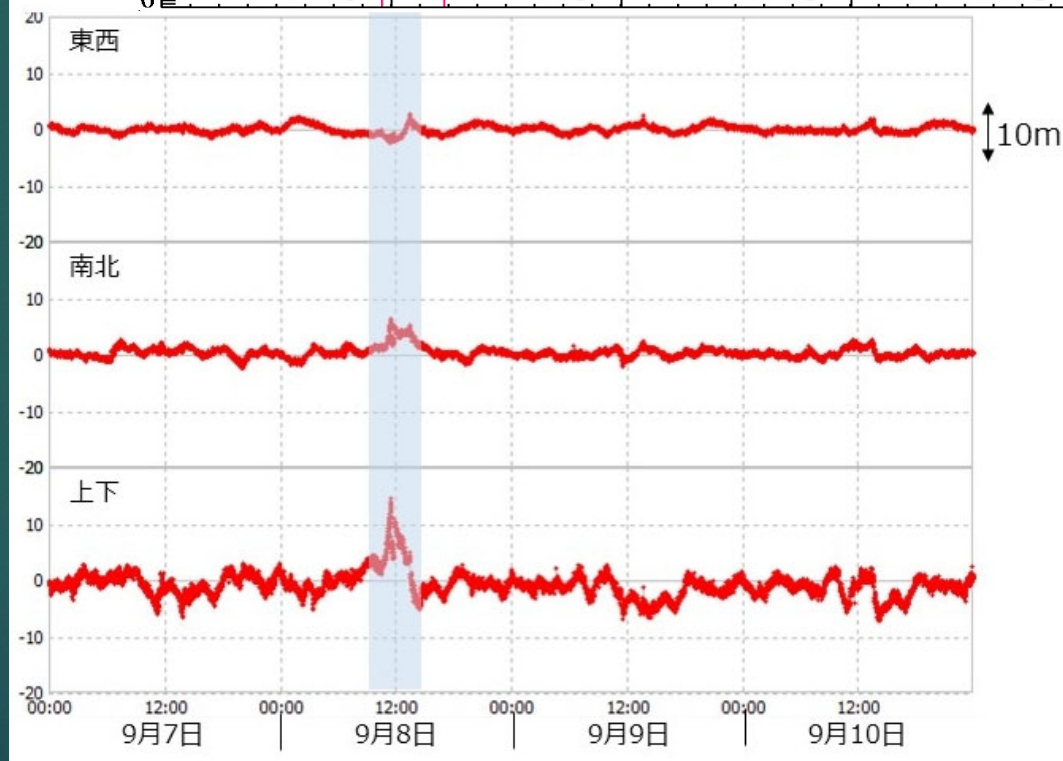
電離圏嵐（正相嵐）

2017年9月の磁気嵐時、GPS測位に最大15m（上下方向）の誤差が発生した。

日本上空の
全電子数



GPS一周波に
よる測位結果

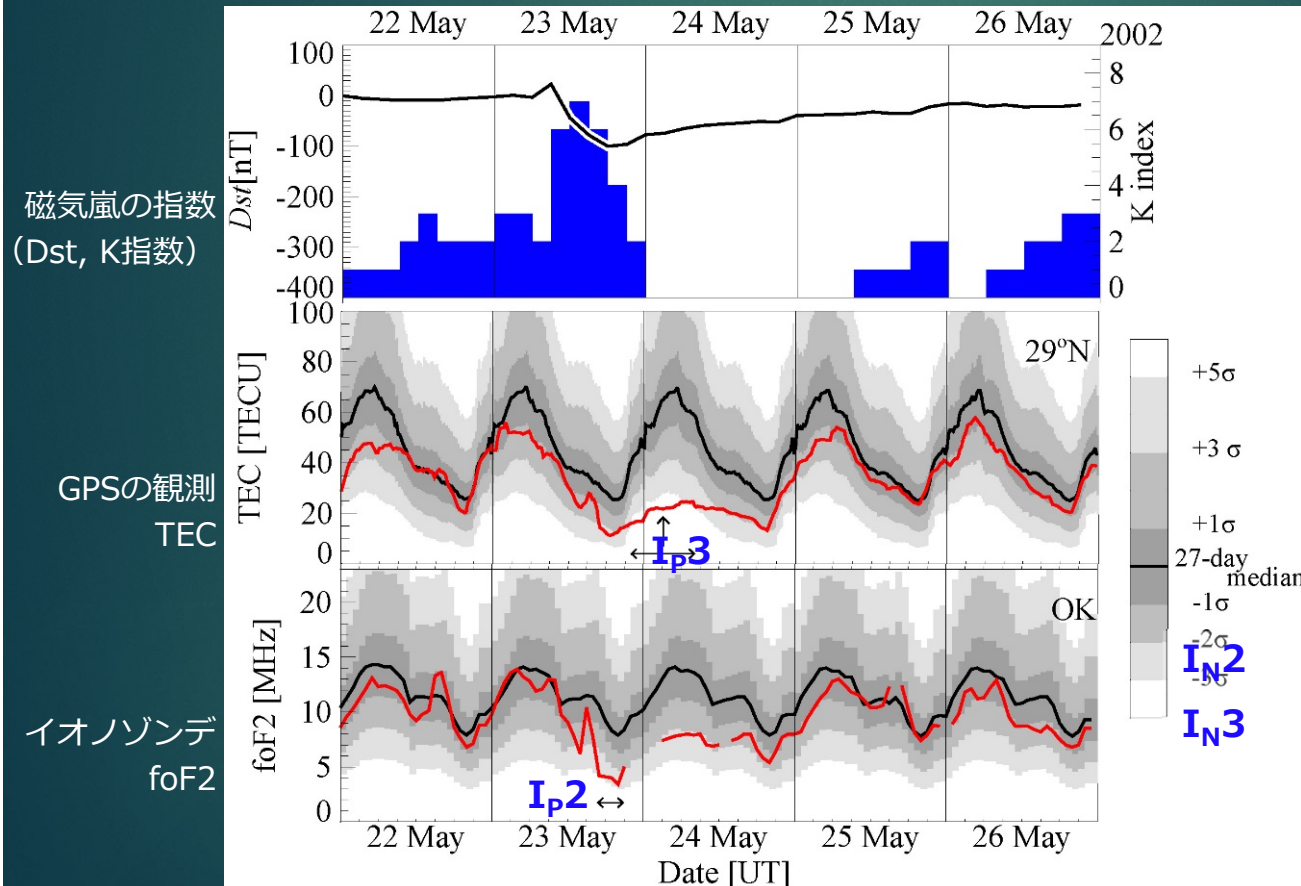


国土地理院
発表資料より

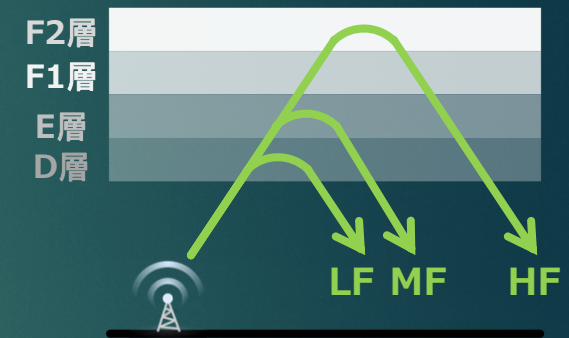
電離圏嵐（負相嵐）

主に磁気嵐が原因で、大気の組成が変化し、電離大気の量が定常状態よりも減少する現象。 $I_N3(I_N2)$ レベルの負相嵐は1年（1ヶ月）に1回程度起きる。

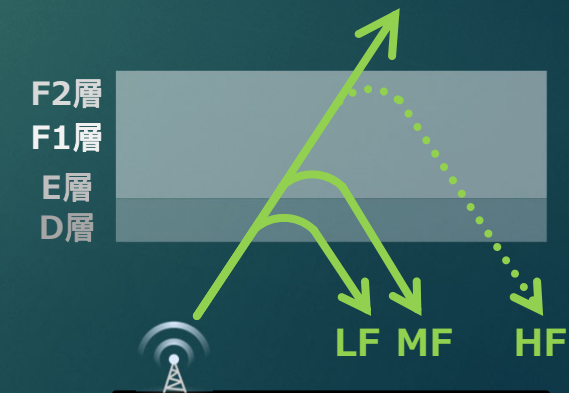
負相嵐の例（2002年5月）



【通常の電離圏伝搬】



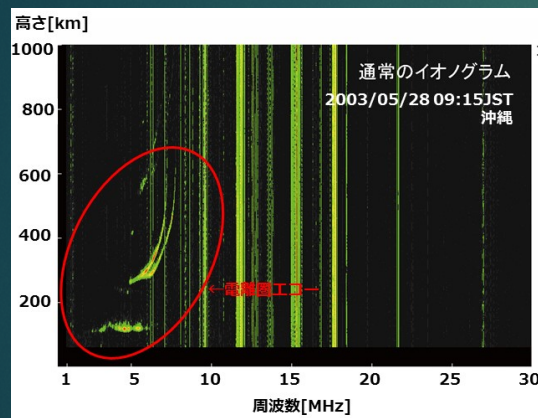
【負相嵐発生時】



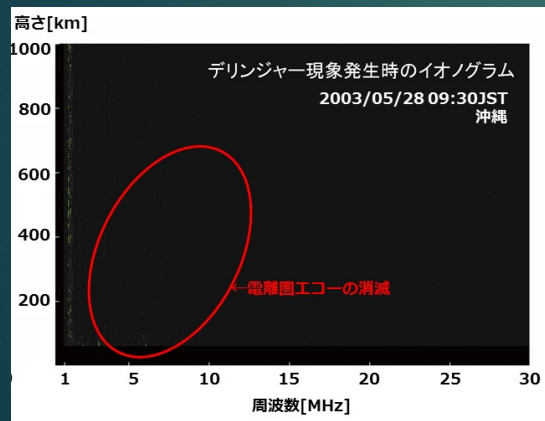
デリンジャー現象

太陽フレア起源のX線により電離圏D層の電子密度が急増し、D層に短波電波が吸収されてしまう現象。M5以上のフレアで発生傾向。

【デリンジャー現象非発生時】



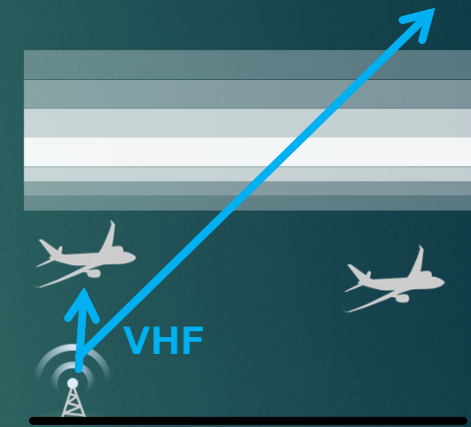
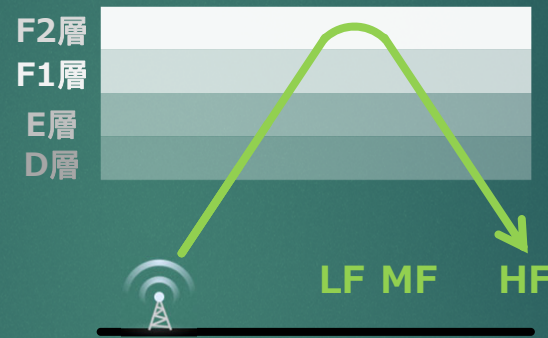
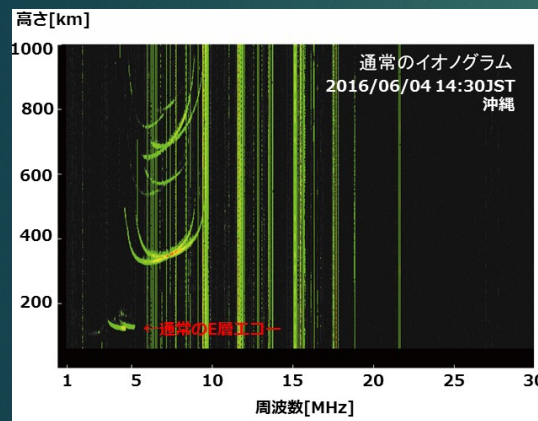
【デリンジャー現象発生時】



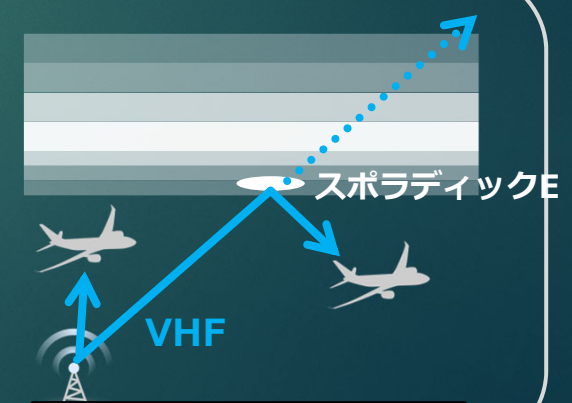
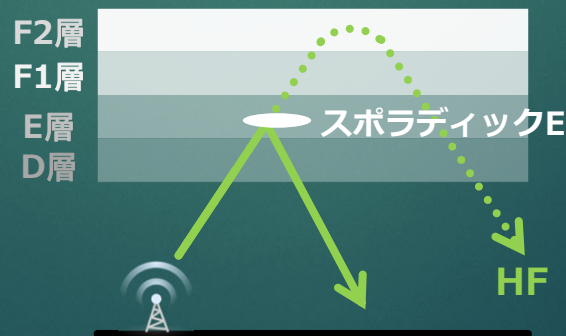
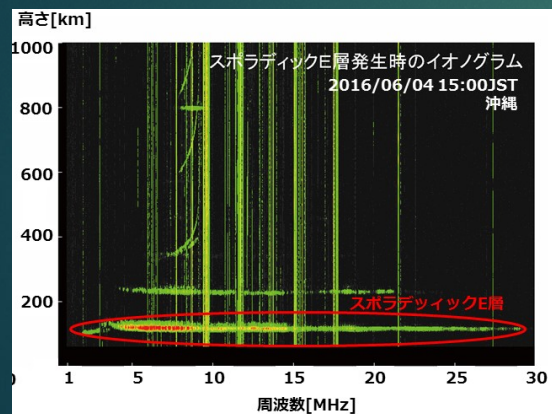
スプラディックE層

高度100 km付近で電離大気密度が増加する現象。発生頻度は太陽活動度とは無関係で、毎年主に夏季に頻発する。

【Eスポ非発生時】



【Eスポ現象発生時】



電離圏嵐・デリンジャー・Esの発生状況

宇宙天気予報センターのWebページ[<http://swc.nict.go.jp>]で、
電離圏嵐/デリンジャー/Eスポの発生状況および予測情報を公開中

The screenshot shows the homepage of the Space Weather Forecast Center (SWC) with a dark blue header and a navigation bar. The main content area displays a forecast for the period 2019/11/09 15:00 JST ~ 2019/11/10 14:59 JST. A yellow box highlights the forecast for Ionospheric Storm, DeLinger, and Es, which are all at Level 1 (静穏).

宇宙天気予報センター
International Space Environment Service (ISES), Regional Warning Center Japan

はじめてに ▶ JP EN

JST 2019/11/10 08:11 . UTC 2019/11/09 23:11 .

ホーム レポート 現況 予報 ユーザーガイド リンク

予報 2019/11/09 15:00 JST ~ 2019/11/10 14:59 JST

太陽フレア	プロトン現象	地磁気擾乱	放射線帯電子	電離圏嵐	デリンジャー現象	Es (Eスポ)
静穏	静穏	静穏	やや高い	静穏	静穏	静穏
Lv.1	Lv.1	Lv.1	Lv.2	Lv.1	Lv.1	Lv.1

概況・予報 2019/11/09 15:00 JST 更新

太陽活動は静穏でした。引き続き今後1日間、太陽活動は静穏な状態が予想されます。地磁気活動は静穏でした。引き続き今後2日間、地磁気活動は静穏な状態が予想されます。

詳しくはこちら ▶

最後に

- 宇宙の入口である電離圏では、電波伝搬に影響を与える現象が頻発している。

	導波管伝搬 (主にLF)	電離圏伝搬 (主にMF-HF)	見通し伝搬 (主にVHF-UHF)
電離圏嵐		✓	✓
デリンジャー現象	✓	✓	
スプラディックE層		✓	✓

- NICTでは、イオノゾンデとGPSの定常観測によりこれらの現象の監視を行い、Webページで情報提供している。
- Web配信での情報にリクエストなどあれば、本日の配布のアンケート用紙やメール（iono@ml.nict.go.jp）でご連絡下さい。