

第15回宇宙天気ユーザーズフォーラム

宇宙天気ミニ講座

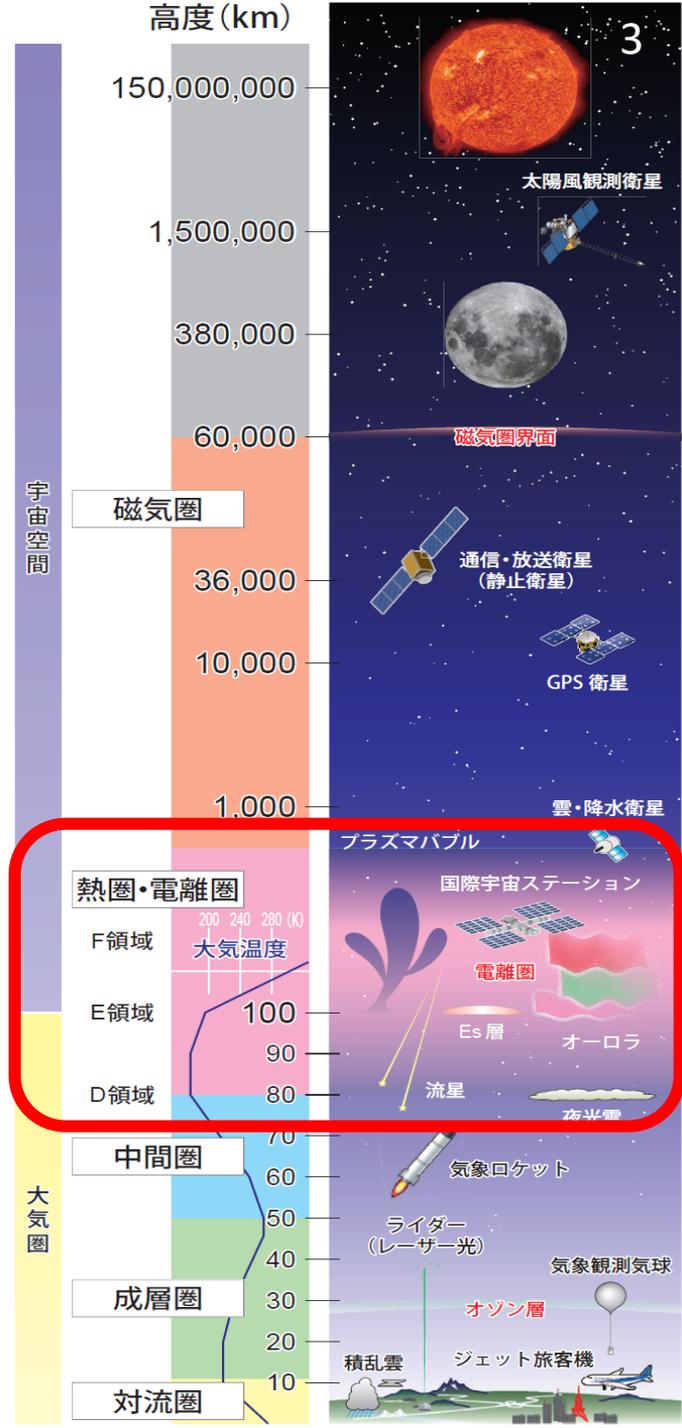
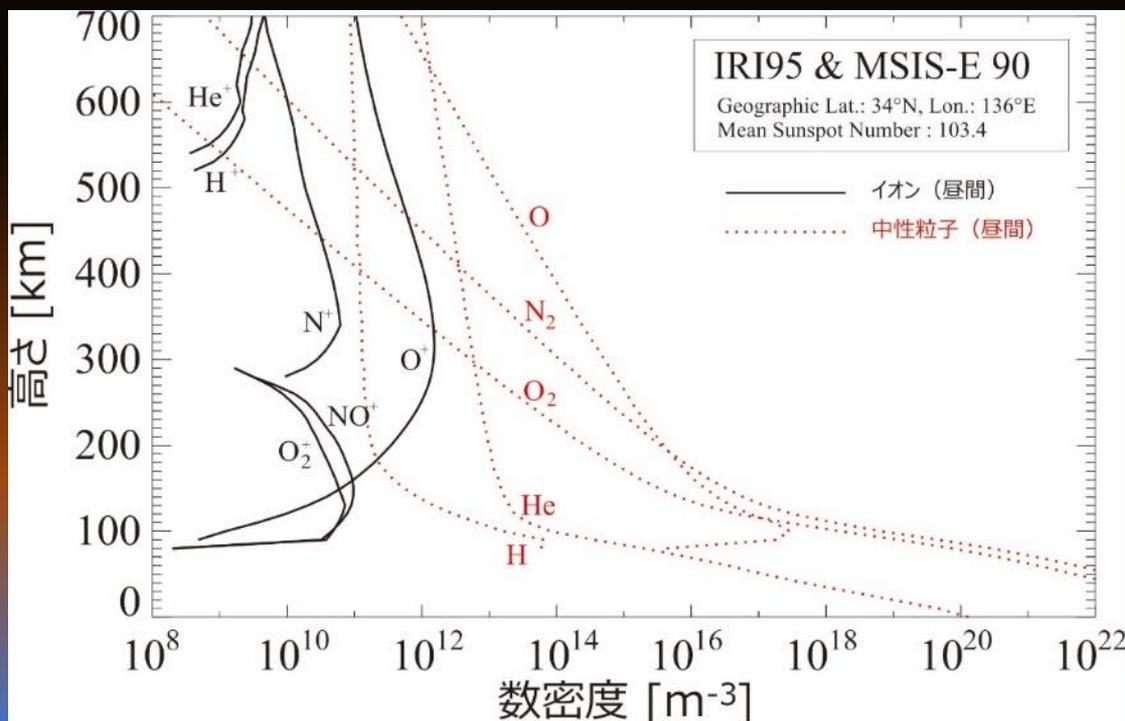
電離圏編

情報通信研究機構 (NICT)
電磁波研究所 宇宙環境研究室
埜 千尋

- 電離圏の基礎知識
- 電離圏の情報を得るためのツール
- 電離圏擾乱現象

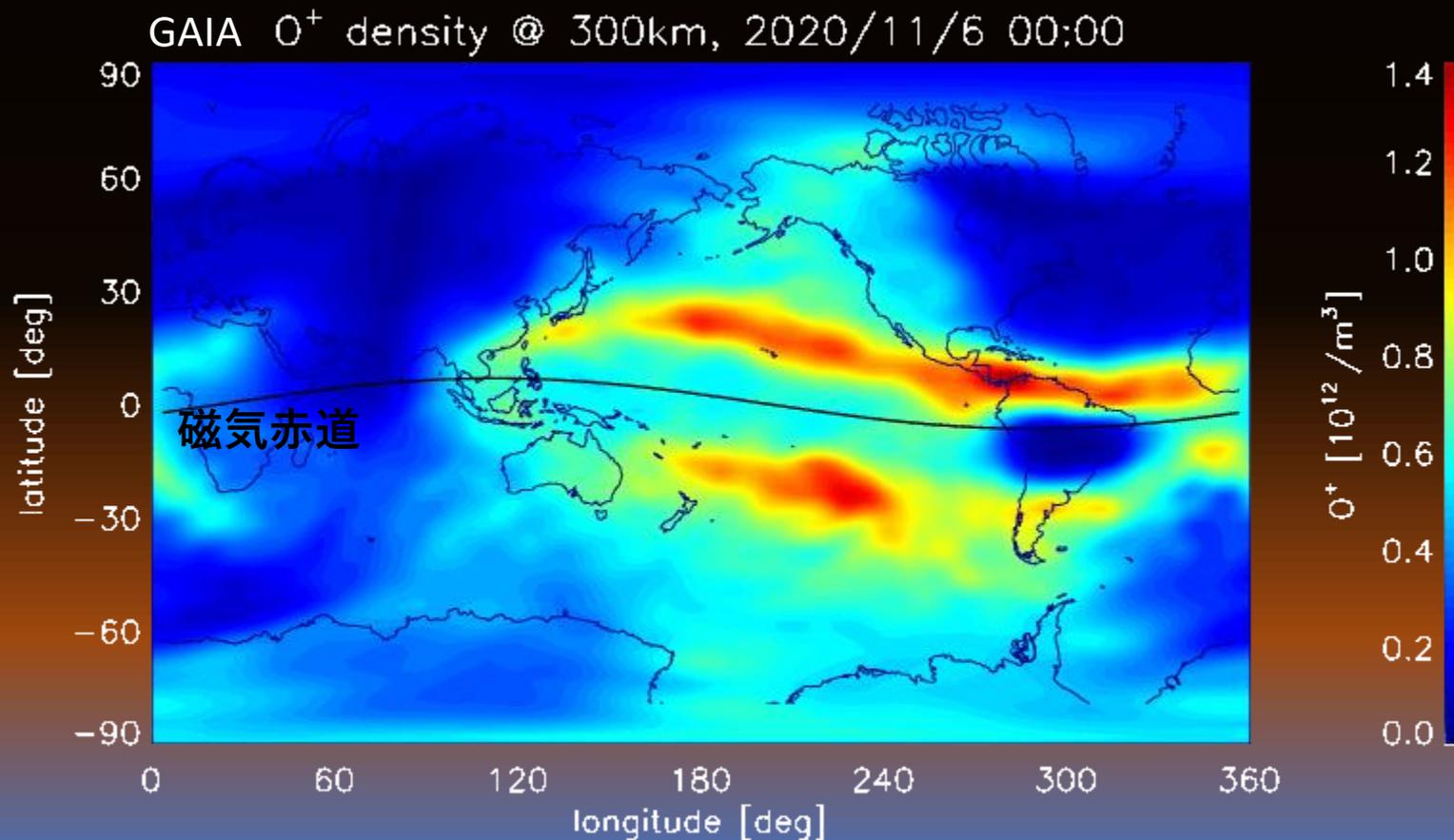
電離圏とは

- * 高度80km～数100 kmに位置する、大気圏と宇宙空間の境目の領域
- * 太陽紫外線等で大気が電離し電離大気となる

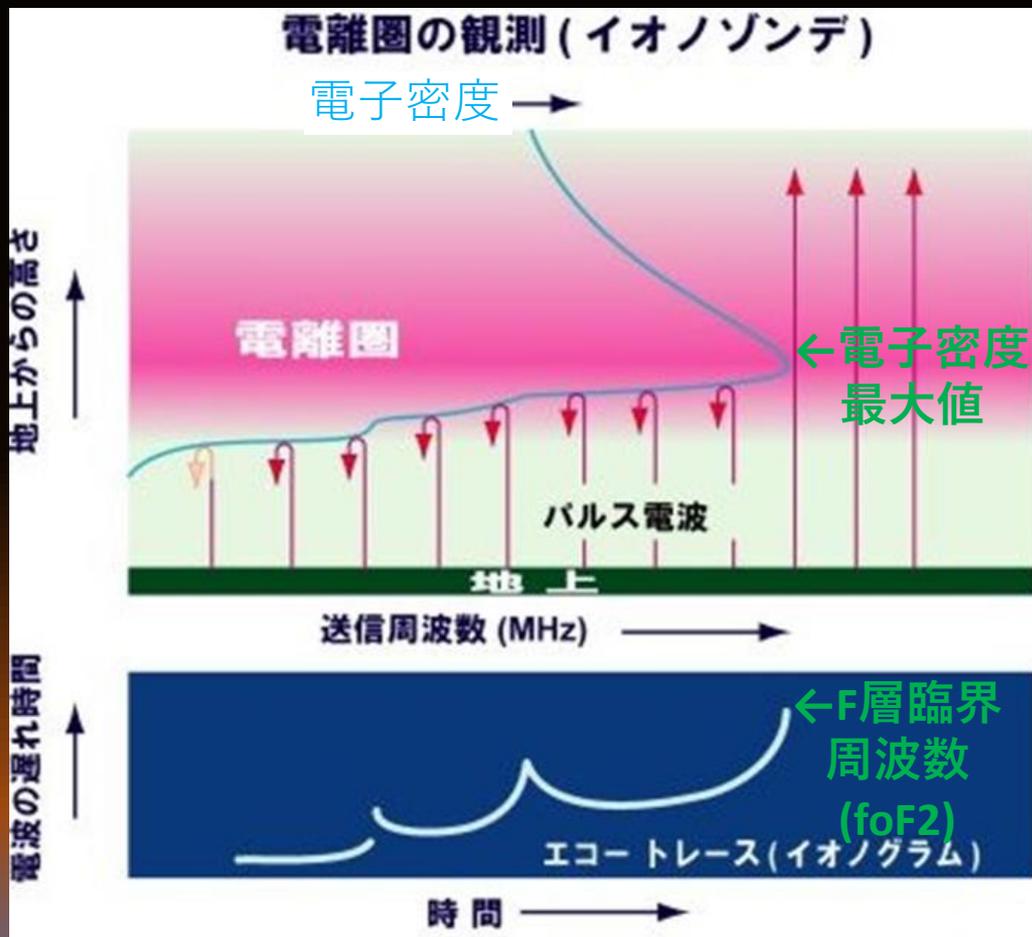


電離圏の特徴

- * おおよそ、日中・低緯度で電離大気が多く、夜間・高緯度で少ない
- * 大きな日変動や、不規則な激しい擾乱がある



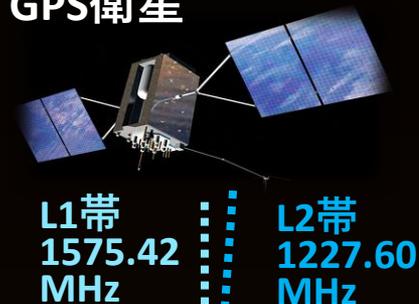
NICTの電離圏情報①イオノゾンデ観測



- * 1-30 MHzの電波を送信
- * 電波周波数に対応する電子密度において電波が反射され、地上で受信される
- * 受信信号の解析から、電離圏パラメータが求められる
- * 国内では北海道/東京/鹿児島/沖縄の4地点で、観測している
- * 2020年5月までは15分毎、6月から5分毎に観測 **【NEW】**

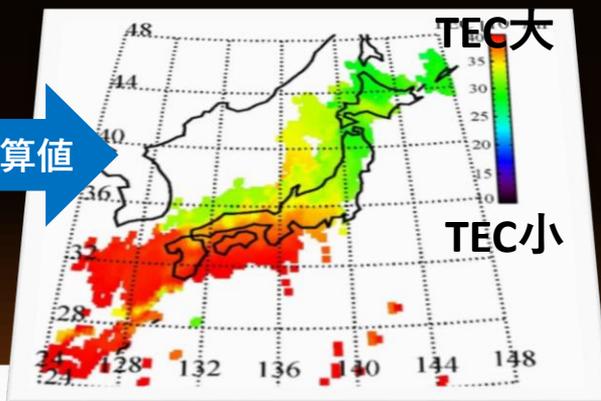
NICTの電離圏情報②GPS観測

GPS衛星

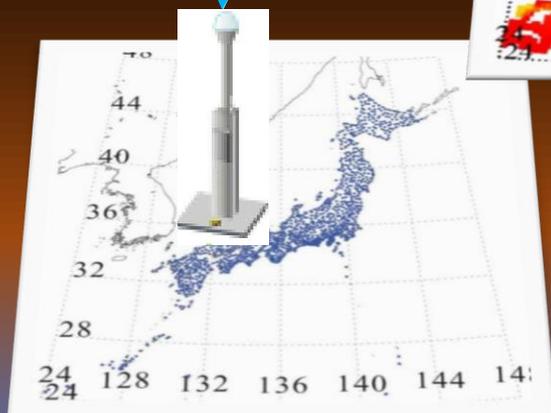


電離圏

高度積算値



TEC分布図



国土地理院のGPS受信機分布図

* 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より伝播速度が遅くなる

→GPS受信機と衛星間の経路で積分した単位面積当たりの全電子数(TEC)を測定

* 国土地理院のGPS受信機網 GEONETを用いて、日本上空のTEC分布を得る

* TECの単位：1 TECU= 10^{16} /m²

電波伝播と電離圏

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	GPS・衛星通信
	長波(LF)	中波(MF)	短波(HF)	超短波(VHF)	極超短波(UHF)
	30-300kHz	300kHz-3MHz	3-30MHz	30-300MHz	300MHz-3GHz
	1-10 km	0.1-1 km	10-100 m	1-10 m	0.1-1 m

伝播経路
導波管伝播

電離圏伝播

見通し内伝播

導波管伝播

電離圏下部と地表の間を何度も反射し進む。

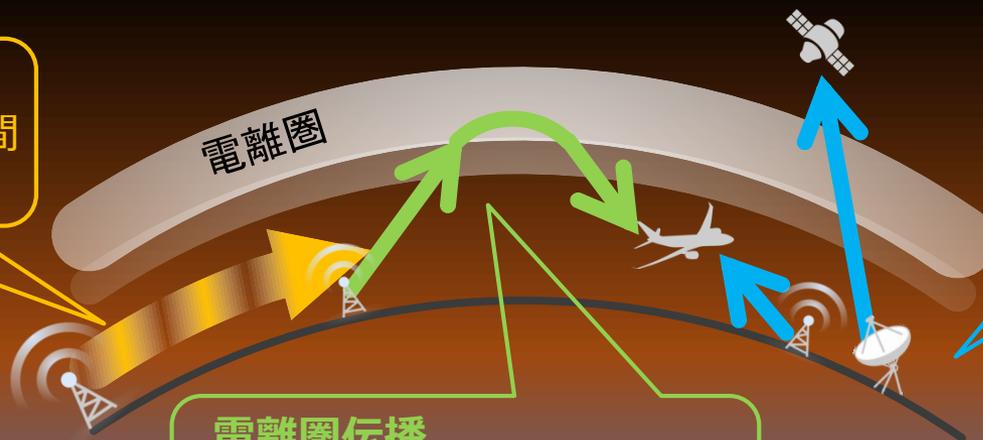
電離圏

電離圏伝播

電離圏D・E・F領域で電波が反射し、遠距離まで進む。

見通し内伝播

電離圏を透過して伝播する。



NICTの電離圏現況 & 予報情報



国立研究開発法人情報通信研究機構

宇宙天気予報センター

International Space Environment Service (ISES), Regional Warning Center Japan

[はじめに](#)

[JP](#) [EN](#)

JST 2020/11/11

UTC 2020/11/10

06:55.

21:55.

[ホーム](#)

[レポート](#)

[現況](#)

[予報](#)

[ユーザーガイド](#)

[リンク](#)

予報

2020/11/10 15:00 JST ~ 2020/11/11 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

スッパージェット層

静穏

静穏

静穏

静穏

電離圏情報

静穏

静穏

静穏

Lv.1

Lv.1

Lv.1

Lv.1

Lv.1

Lv.1

Lv.1

概況・予報

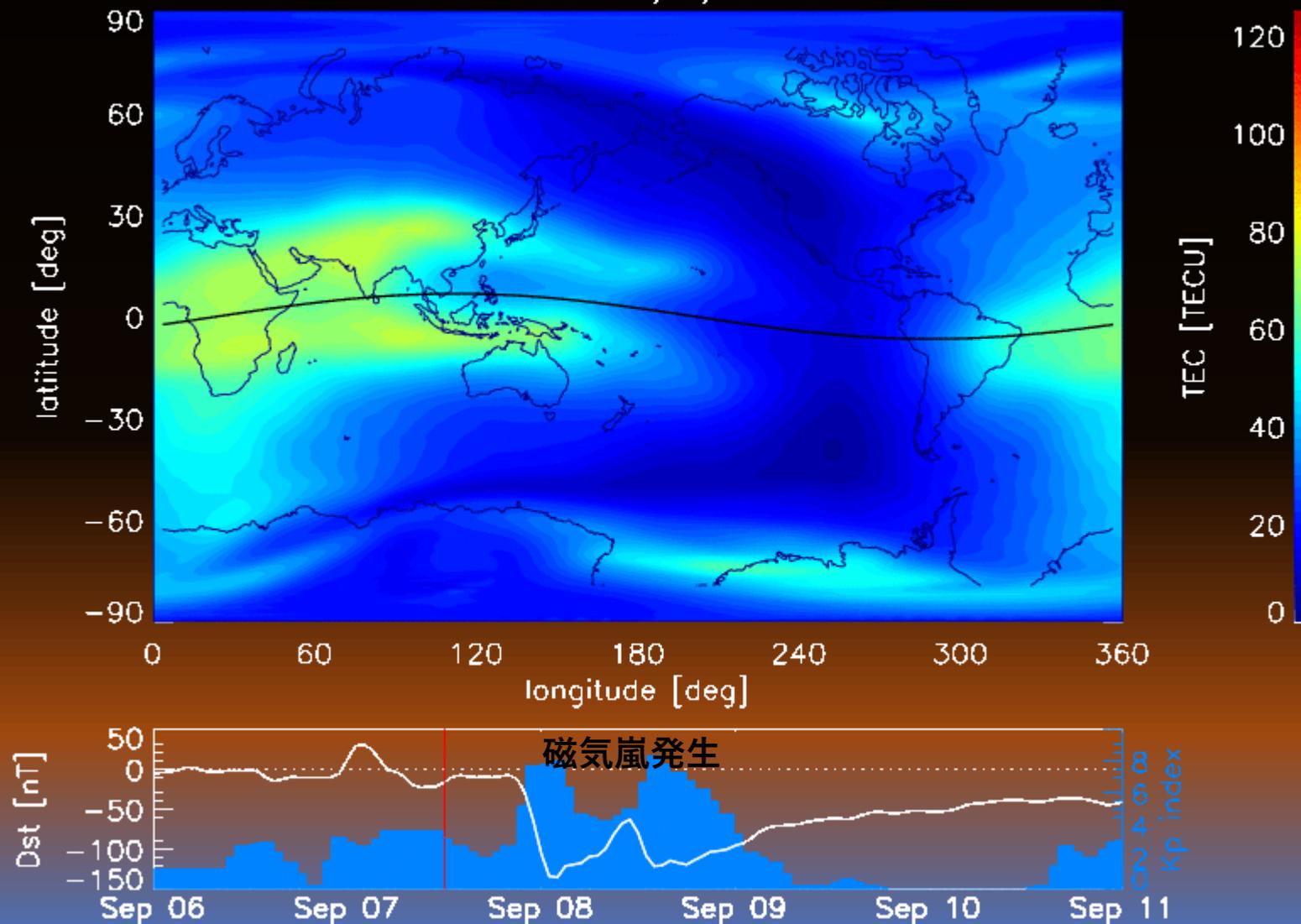
2020/11/10 21:00 JST 更新

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。引き続き今後数日間、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](#)

電離圈擾乱①電離圈嵐

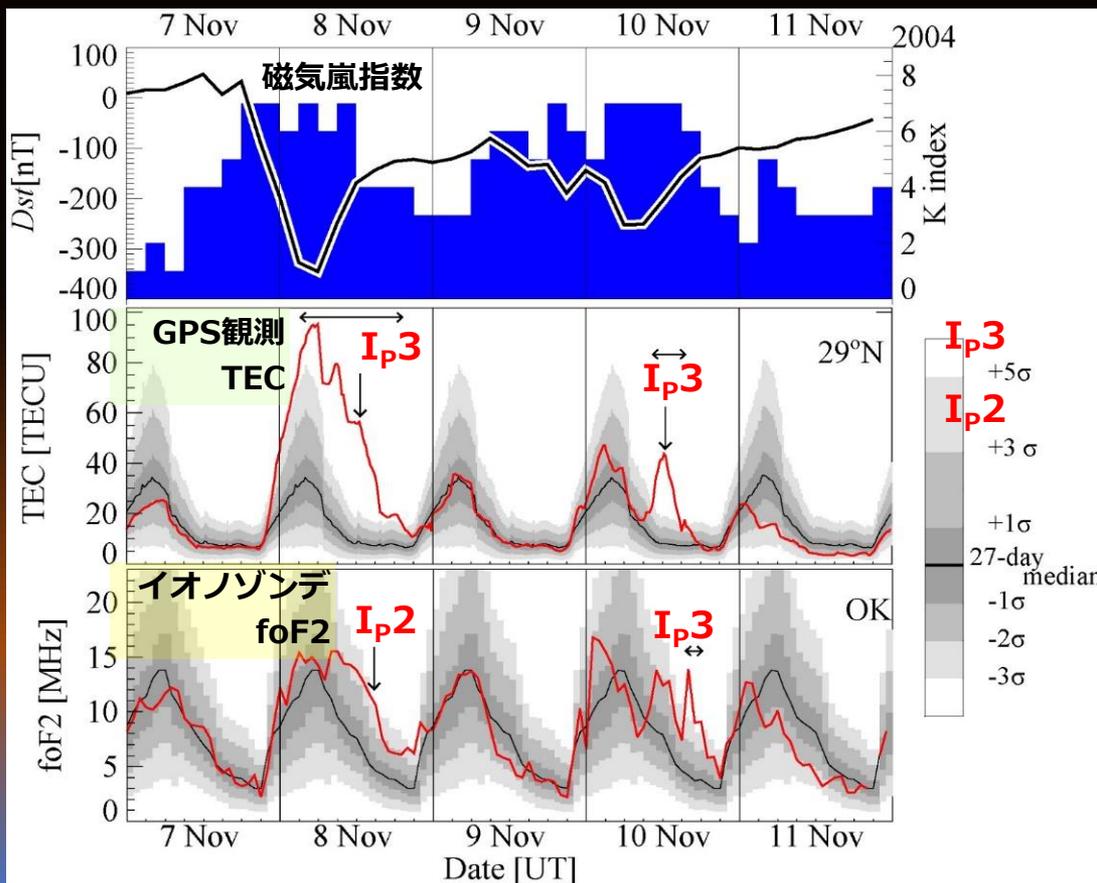
GAIA TEC 2017/9/ 7 12:00



電離圏擾乱①電離圏嵐(正相嵐)

* 主に磁気嵐による電離圏への電場印加等で、
電離大気が定常状態よりも増加する現象。

正相嵐の例 (2004年11月)



(a) 東向き電場の増大



(b) 赤道向き中性風の増大

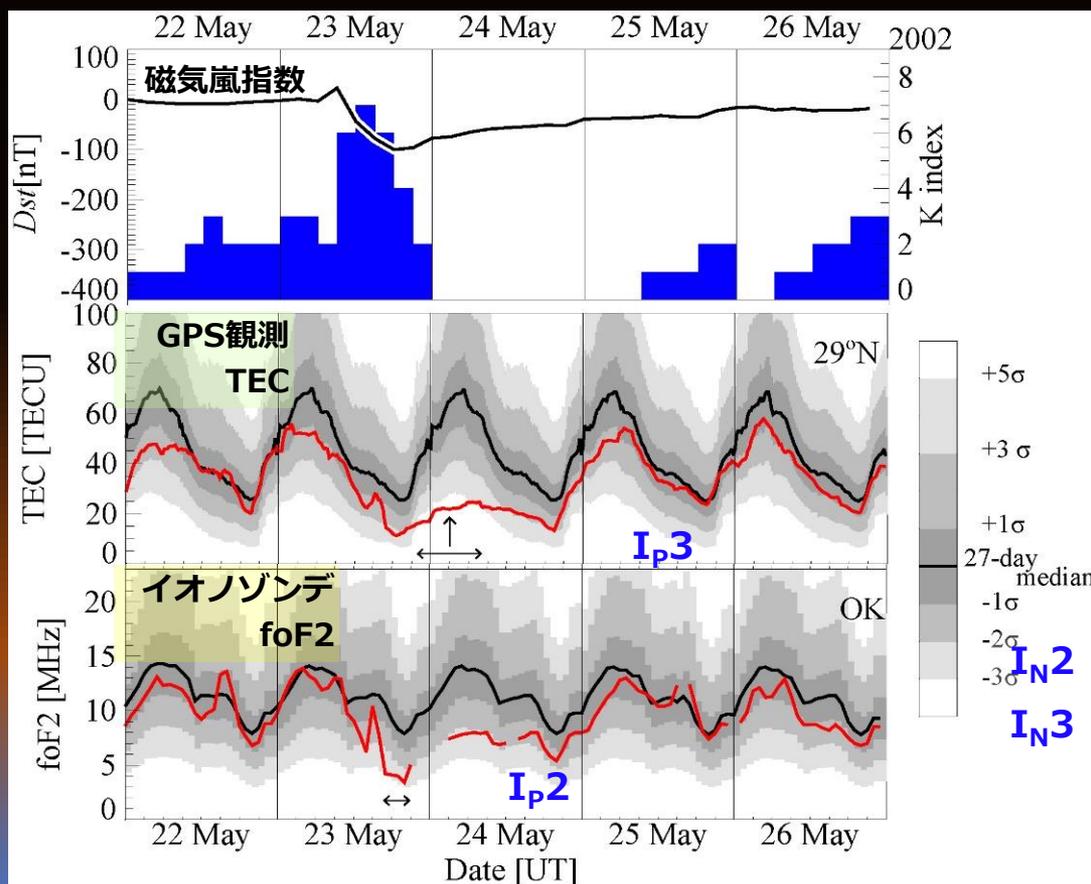


電離大気が高高度に
→ 電離大気消失が減る
→ 電離大気増加

電離圏擾乱①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、電離大気が定常状態よりも現象する現象。正相嵐の後に起こることが多い

負相嵐の例 (2002年5月)



(c)組成の変化

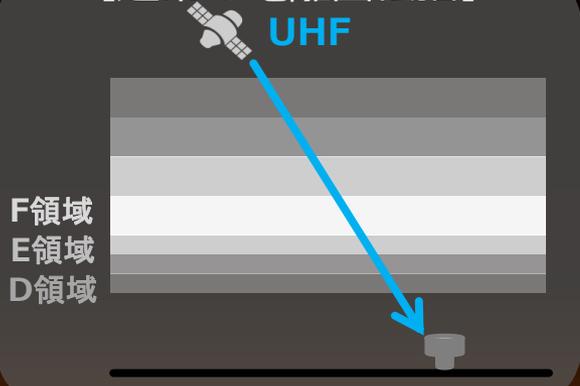


O/N₂比が小さい大気では電離大気消失が増える
→電離大気減少

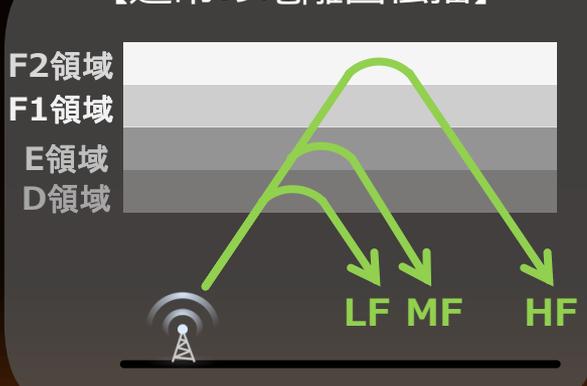
電離圏擾乱①電離圏嵐 影響

- * 電離圏嵐時にUHF波の位相変化が大きくなる
- * 負相嵐時には通常電離圏で反射する電波が透過してしまう

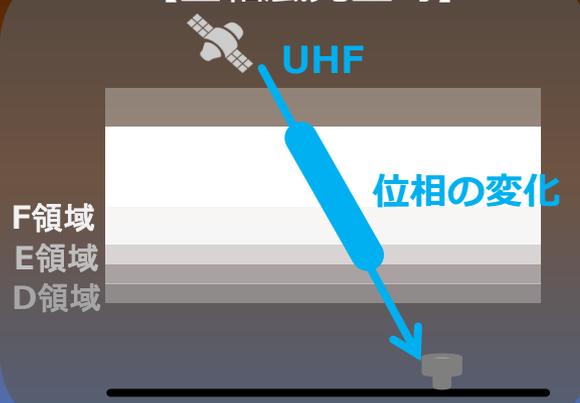
【通常の電離圏伝播】



【通常の電離圏伝播】



【正相嵐発生時】



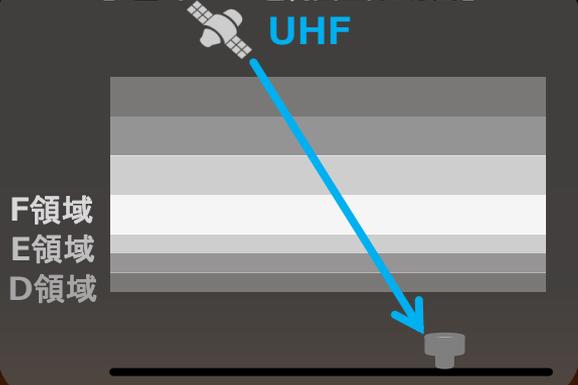
【負相嵐発生時】



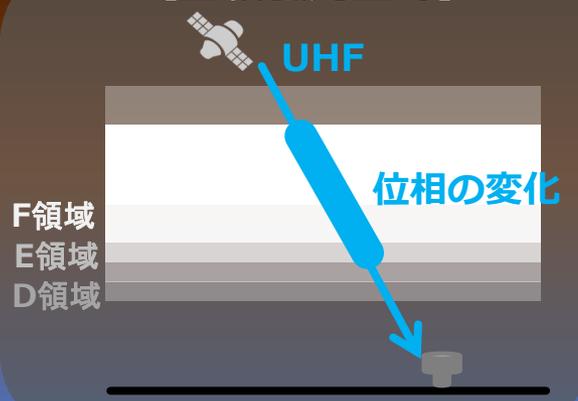
電離圏擾乱①電離圏嵐 影響例

* 2017年9月の太陽フレア等発生後の電離圏嵐による測位への影響

【通常の電離圏伝播】



【正相嵐発生時】



国土交通省 国土地理院 Geospatial Information Authority of Japan

本文へ 総合トップへ 文字サイズ変更 標準 拡大 ENGLISH

ENHANCED BY Google

サイトマップ

国土地理院について 基準点・測地観測データ 地図・空中写真・地理調査 防災・災害対応 GIS・国土の情報 申請

地理院ホーム > 基準点・測地観測データ > GNSS連続観測システム GEONET > 過去の報道発表資料等 > 9月6日に発生した太陽フレアのGPS測位への影響 (速報)

9月6日に発生した太陽フレアのGPS測位への影響(速報)

お知らせ

平成29年9月6日に発生した大型太陽フレアに伴う、地球の電離層の乱れにより、GPSを用いた測位への影響が心配されています。ここでは、国土地理院が電子基準点で9月10日までに取得したGPS観測データ等に基づき、測位への影響について報告します。

まとめ

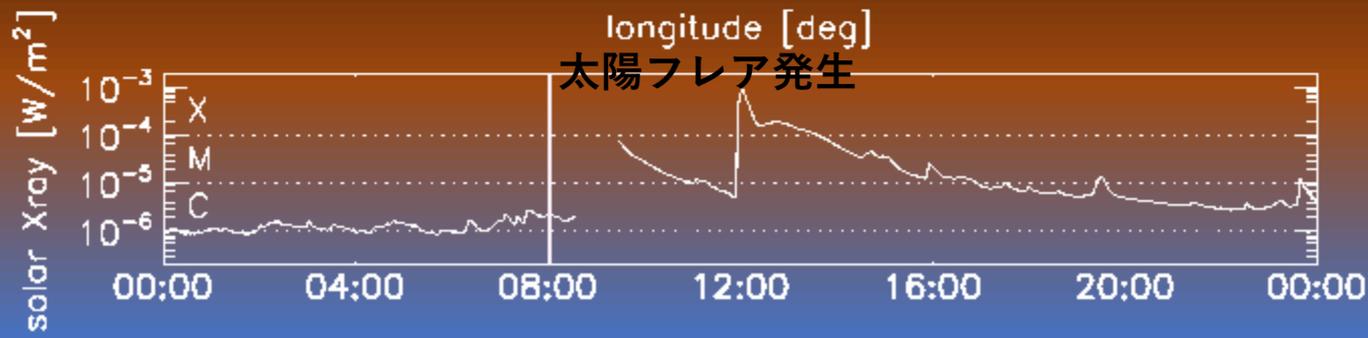
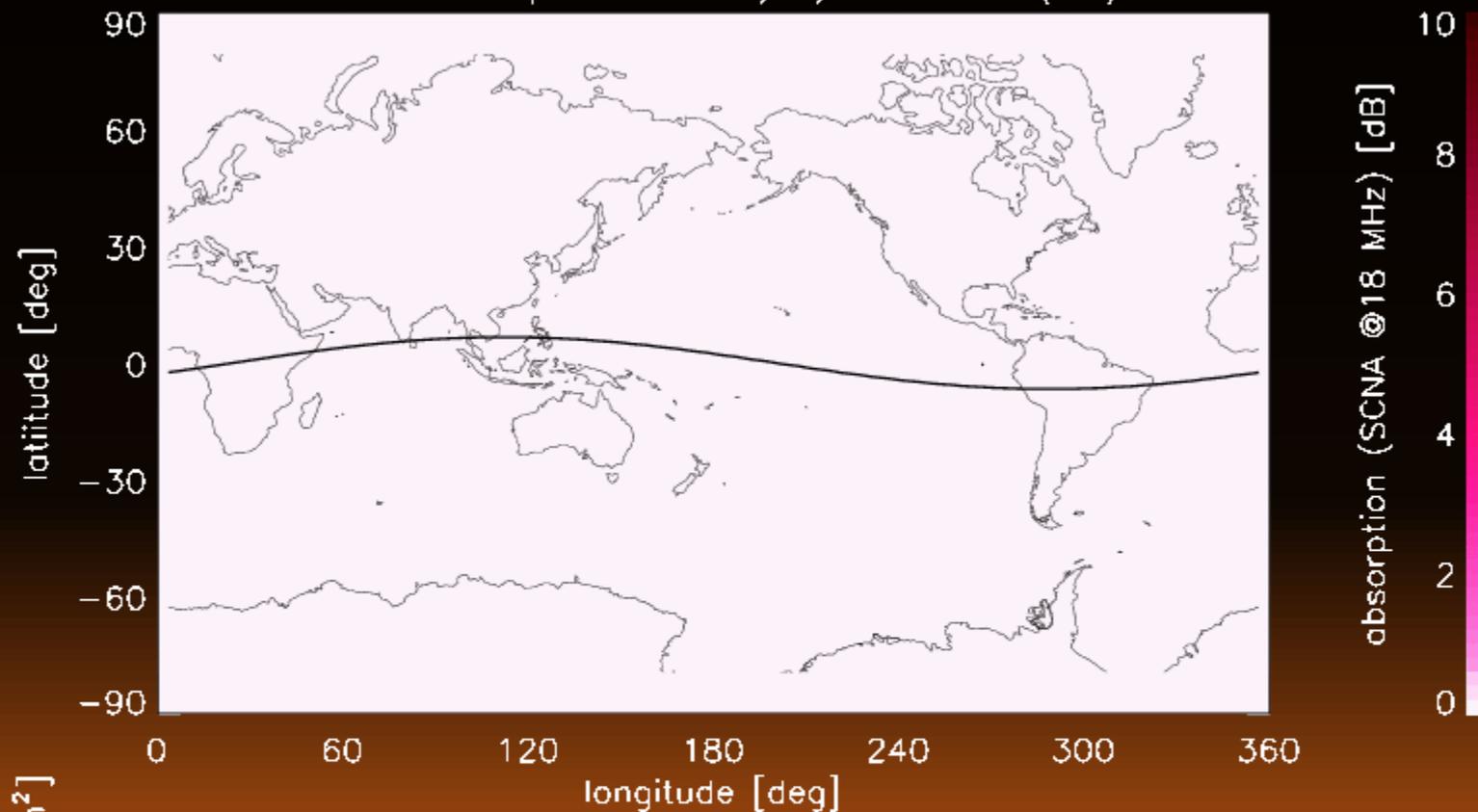
- カーナビやスマホなど一般の皆様が利用する測位方式では、9月8日の日中に、測位精度がかなり悪くなる時間帯がありました。
- 測量、地殻変動、ICT施工(i-Construction)など専門家が利用する測位方式では、電離層の乱れの影響を受けにくい手法を使用しており、今のところ、大きな影響は確認されていません。

1. 電離層の乱れの影響を受けやすい、カーナビやスマホなど一般のGPS測位方式

これらについては既に報道されているところですが、つくば市にある電子基準点のデータを一般のGPS測位方式で解析して確認したところ、今回の太陽フレアによる電離層の乱れが起きる前の9月6、7日は、GPS測位の誤差は±2m(南北、東西)、±5m(上下)程度でしたが、9月8日の日中(日本時間で10~15時頃)には、誤差が最大で7m(南北)、3m(東西)、15m(上下)程度に増えました。なお、現在は元の程度の誤差に戻っています(図1)。誤差の大きさや時間帯は地域によって変わりますので、上記の数値はあくまで一例ですが、当該時間帯においてカーナビやスマホなどを用いてGPS測位を行った場合には、大きな誤差を生じた可能性があります。

電離圏擾乱②デリンジャー現象

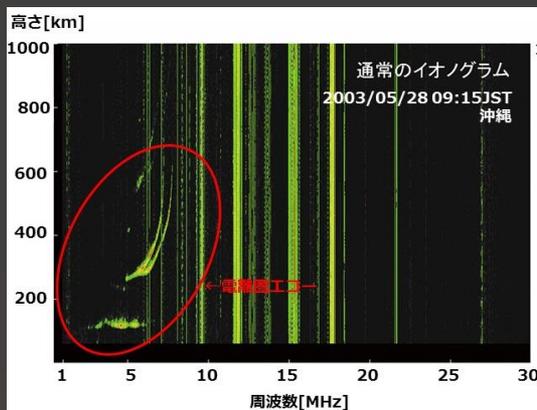
GAIA absorption 2017/9/6 08:01 (UT)



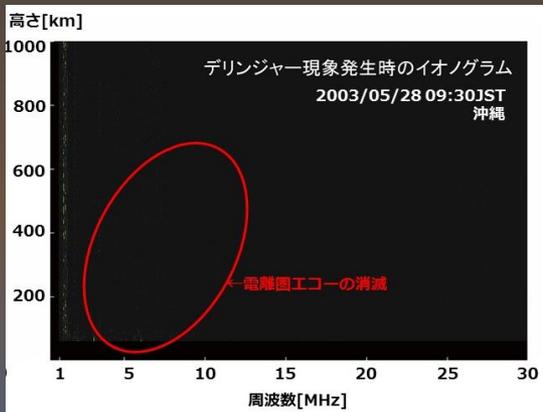
電離圏擾乱②デリンジャー現象

* 太陽フレア起源のX線により電離圏D領域の電子密度が急増し、D領域に短波電波が吸収される現象。M5以上のフレア時に起こりやすい

【デリンジャー現象非発生時】



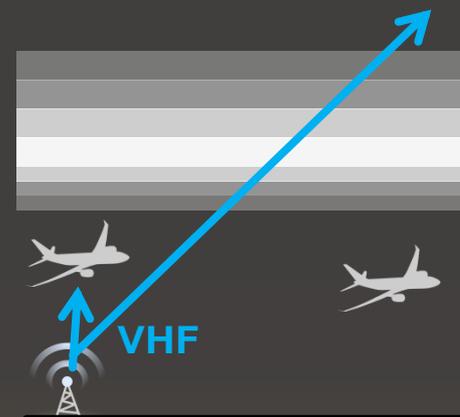
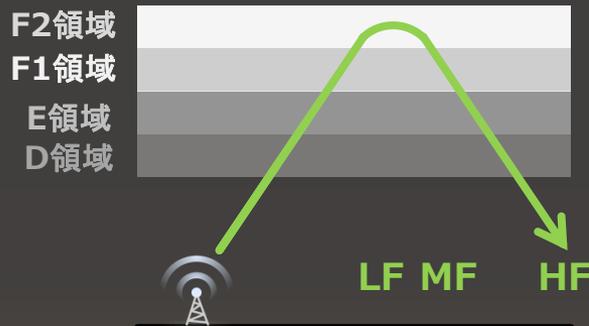
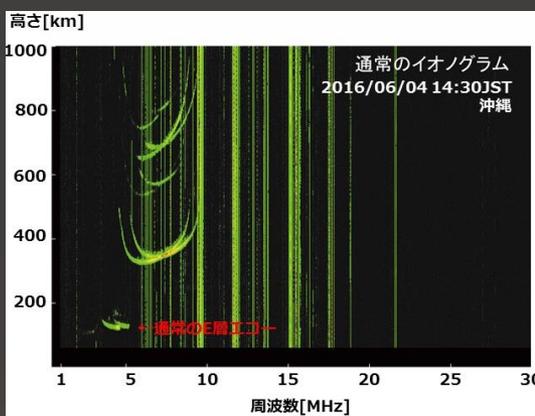
【デリンジャー現象発生時】



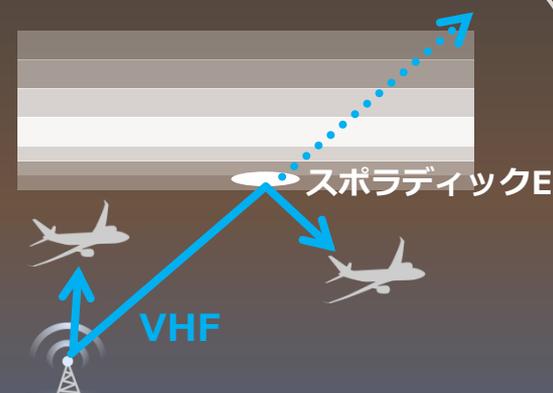
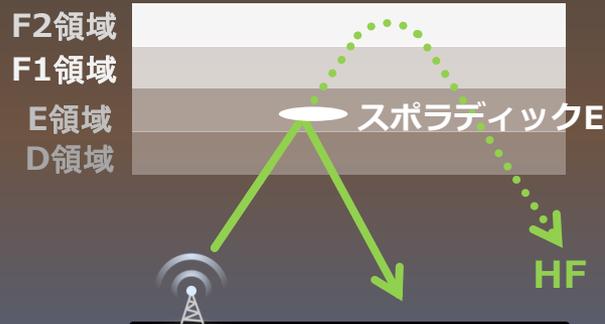
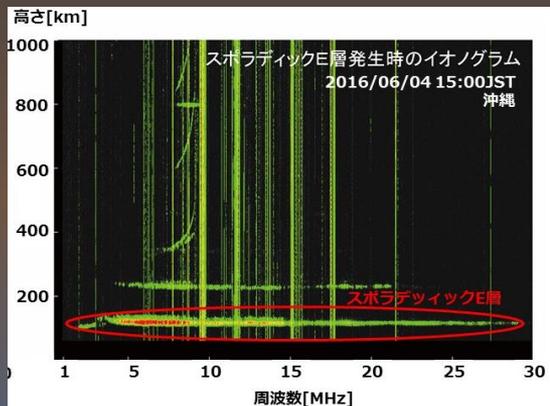
電離圏擾乱③ スポラディックE層

* 高度100km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。

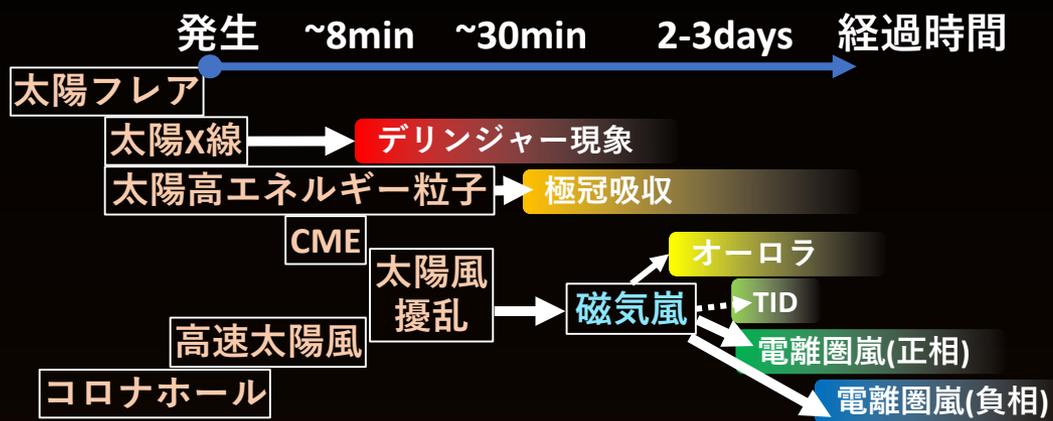
【Eスポ非発生時】



【Eスポ発生時】



電離圏擾乱現象



太陽 ~ 惑星間空間 ~ 磁気圏 ~ 電離圏

※太陽活動に直接応答しないものもあり

現象	デリンジャー現象	極冠吸収	オーロラ	伝播性擾乱(TID)	電離圏嵐(正相)	電離圏嵐(負相)	プラズマバブル	スポラディックE
発生	太陽フレア(x線増大)時	高エネルギー粒子増大時	オーロラ粒子降込	季節・太陽活動度依存	磁気嵐等	磁気嵐等	季節・太陽活動度依存	季節依存
場所	昼間	高緯度	高緯度	高中緯度	中緯度	高中緯度	中低緯度	中低緯度
電波伝播への影響	LF等位相/振幅変化 HF等の吸収 UHF等減衰	LF等位相/振幅変化 HF等の吸収 UHF等減衰	UHFシンチレーション	UHF伝播遅延勾配	foF2増大 UHF伝播遅延増	MUF低下 UHF伝播遅延減	HFスプレッド UHFシンチレーション、LOS	HF異常伝播 VHF異常伝播
注意	通信	通信	測位	測位	測位	通信	通信・測位	通信

まとめ

- * 大気圏と宇宙空間の境目に位置する電離圏では、太陽・磁気圏・大気圏の変動により、様々な擾乱が起きている
- * 電離圏の擾乱は、電波伝播に影響を与える
- * 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。現況把握・予測のための数値モデルGAIA等の開発を進めている