

第18回宇宙天気ユーザーズフォーラム

宇宙天気ミニ講座

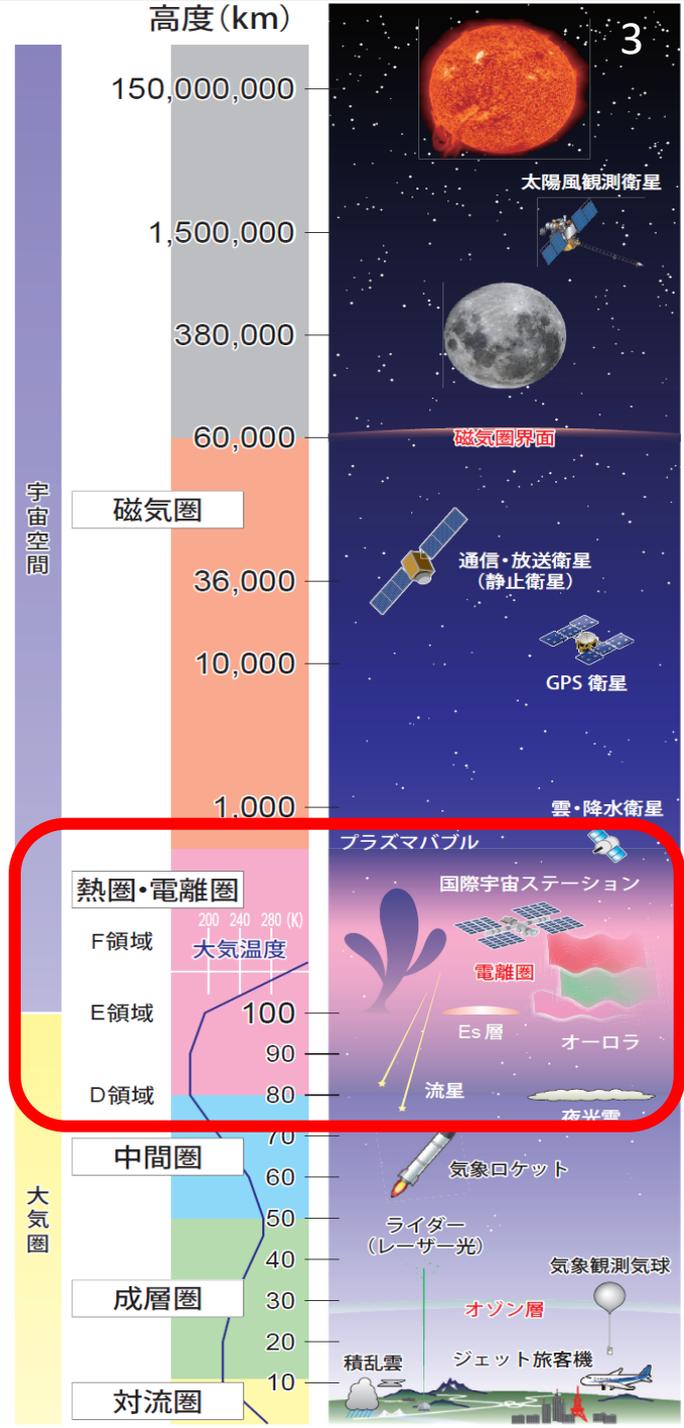
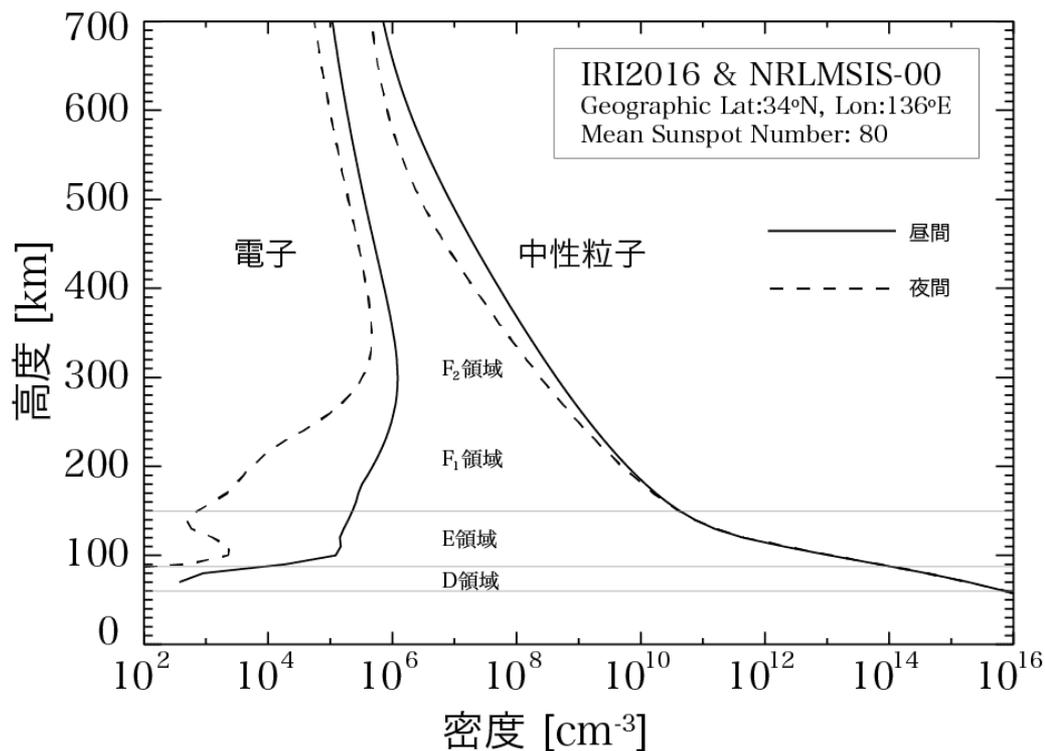
電離圏編

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

- 電離圏とは
- 午後の講演関連の電離圏情報
 - 電離圏擾乱現象
 - 短波電波伝搬ウェブツール HF-START

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

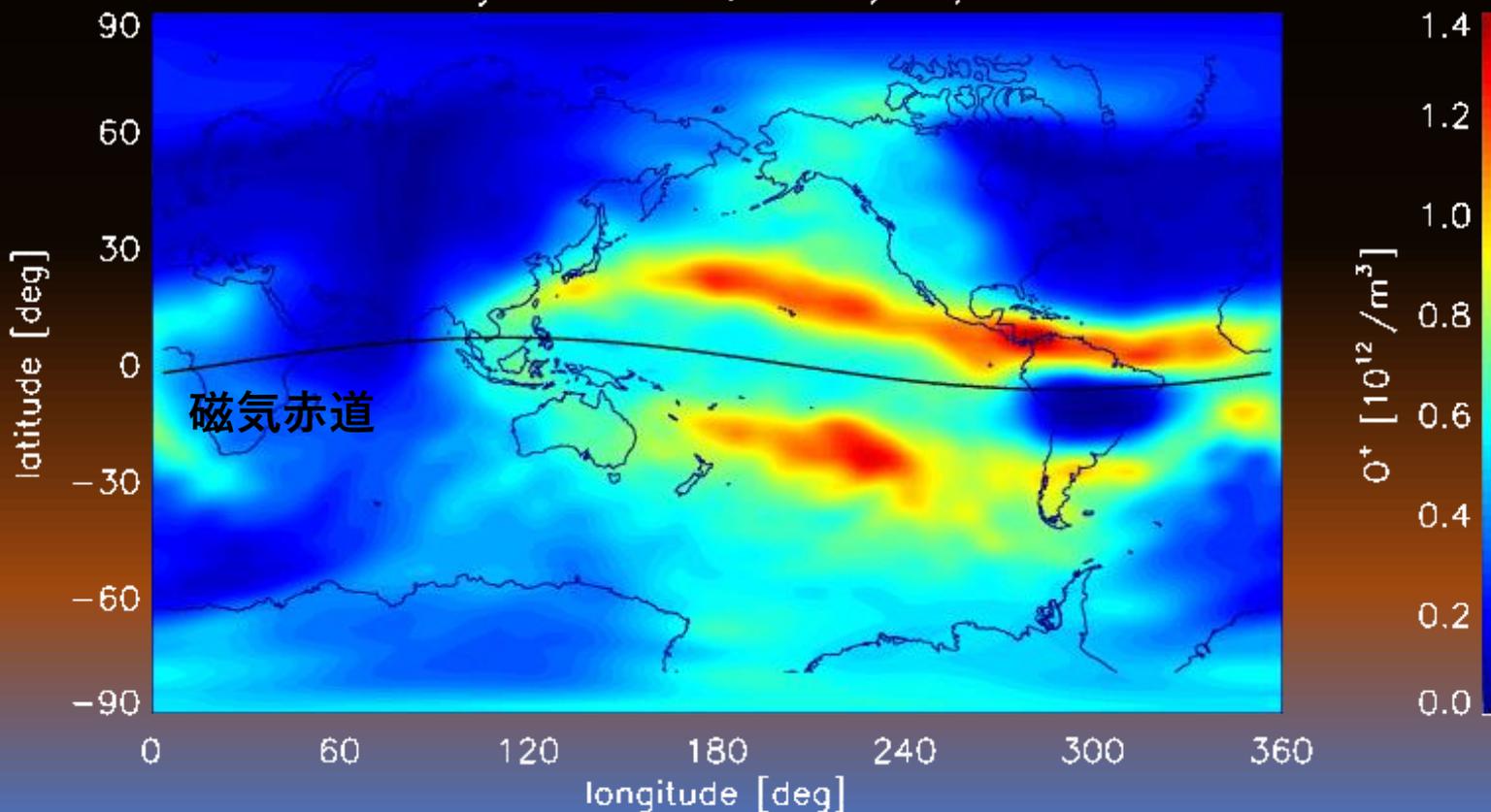


電離圏の特徴

- * 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、不規則な擾乱がある

GAIAシミュレーション

O^+ density @ 300km, 2020/11/6 00:00



電離圏と電波伝搬

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。

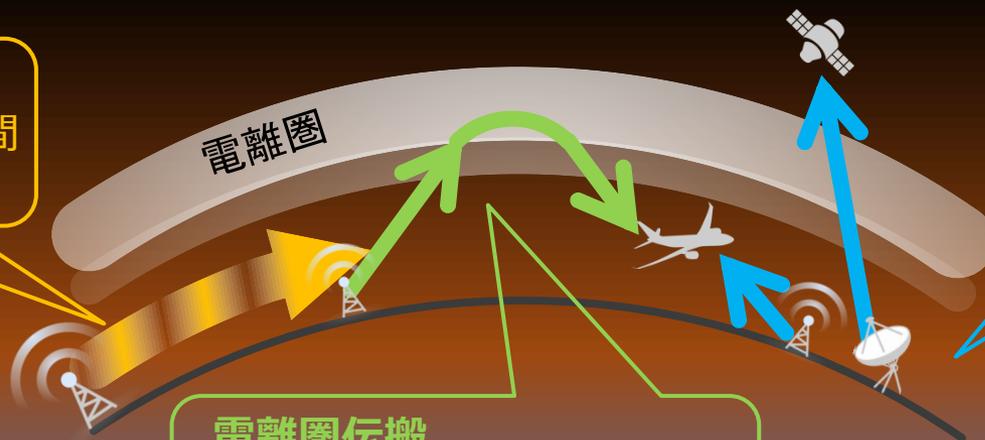
電離圏

電離圏伝搬

電離圏で電波が反射し、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。



宇宙由来の電離圏擾乱 1

©NICT

フレア発生

フレアX線放射 地球到達時間 8分

高エネルギー粒子線 30分~2日

コロナ質量放出 (CME)

太陽風

太陽風擾乱 2~3日

デリンジャー現象

宇宙飛行士などの被曝

衛星障害

衛星軌道変動

航空機の航路変更

放射線帯変動

電離圏擾乱

送電施設障害

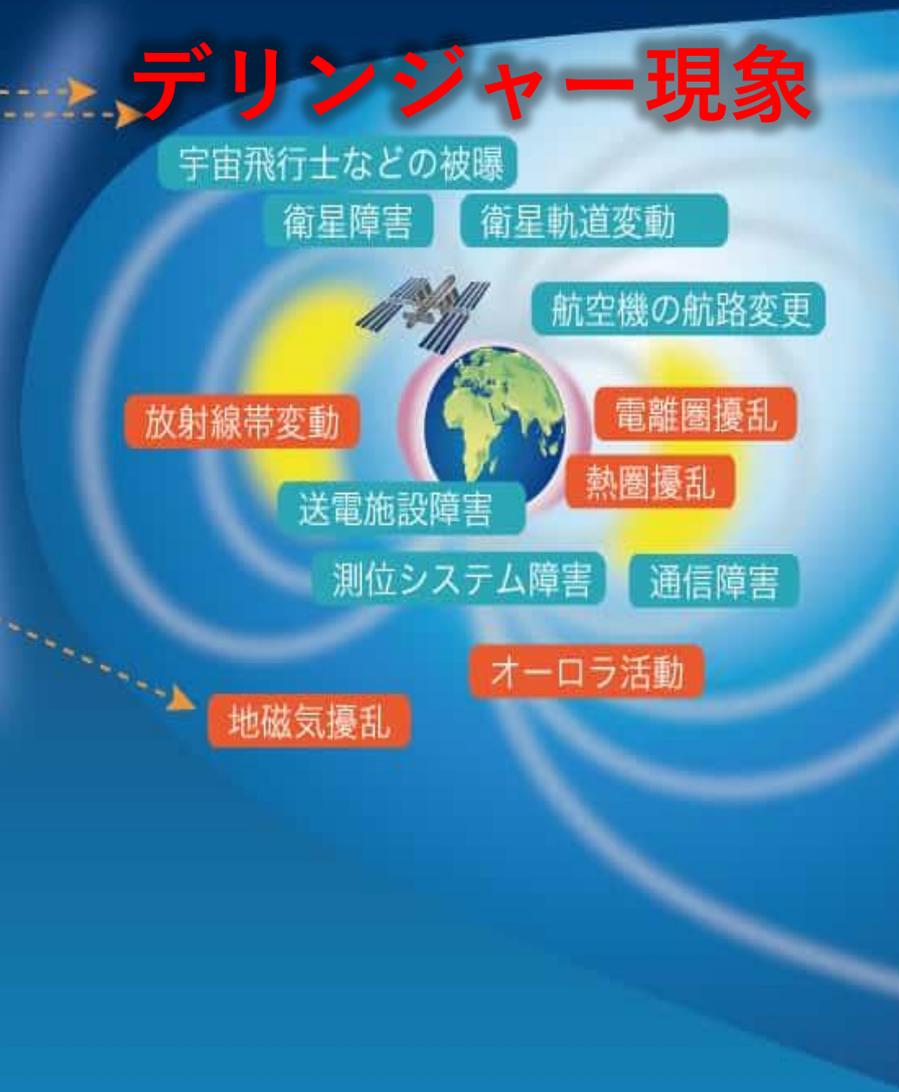
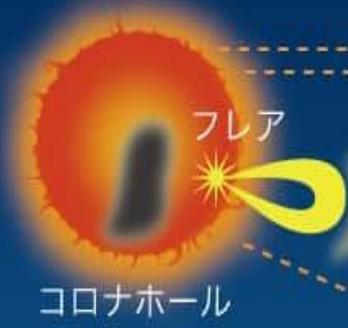
熱圏擾乱

測位システム障害

通信障害

オーロラ活動

地磁気擾乱



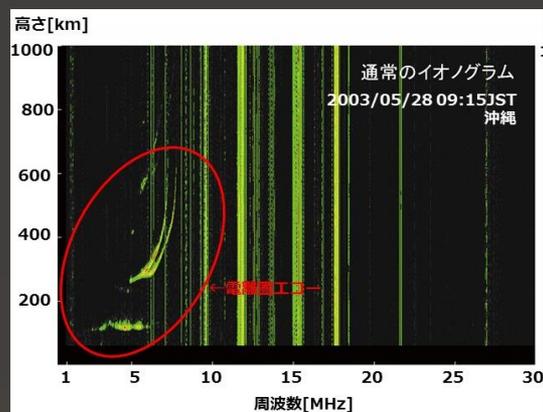
SPACE WEATHER

宇宙天気擾乱の発生から身近な社会への影響

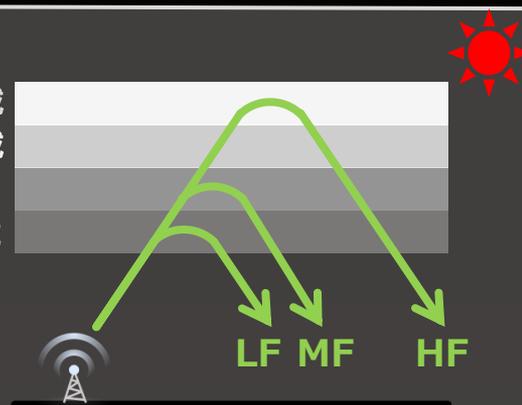
電離圏擾乱①デリンジャー現象

* 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

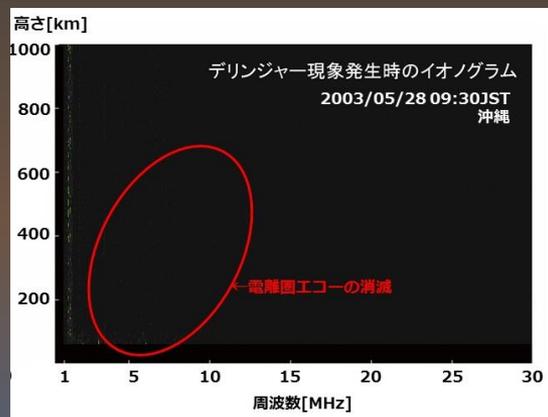
【通常時】



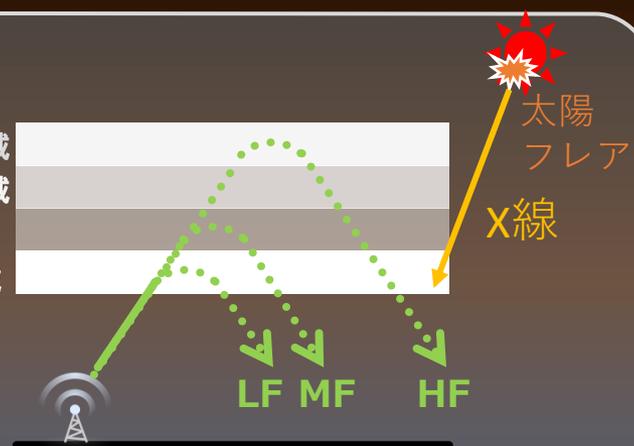
F2領域
F1領域
E領域
D領域



【デリンジャー現象発生時】

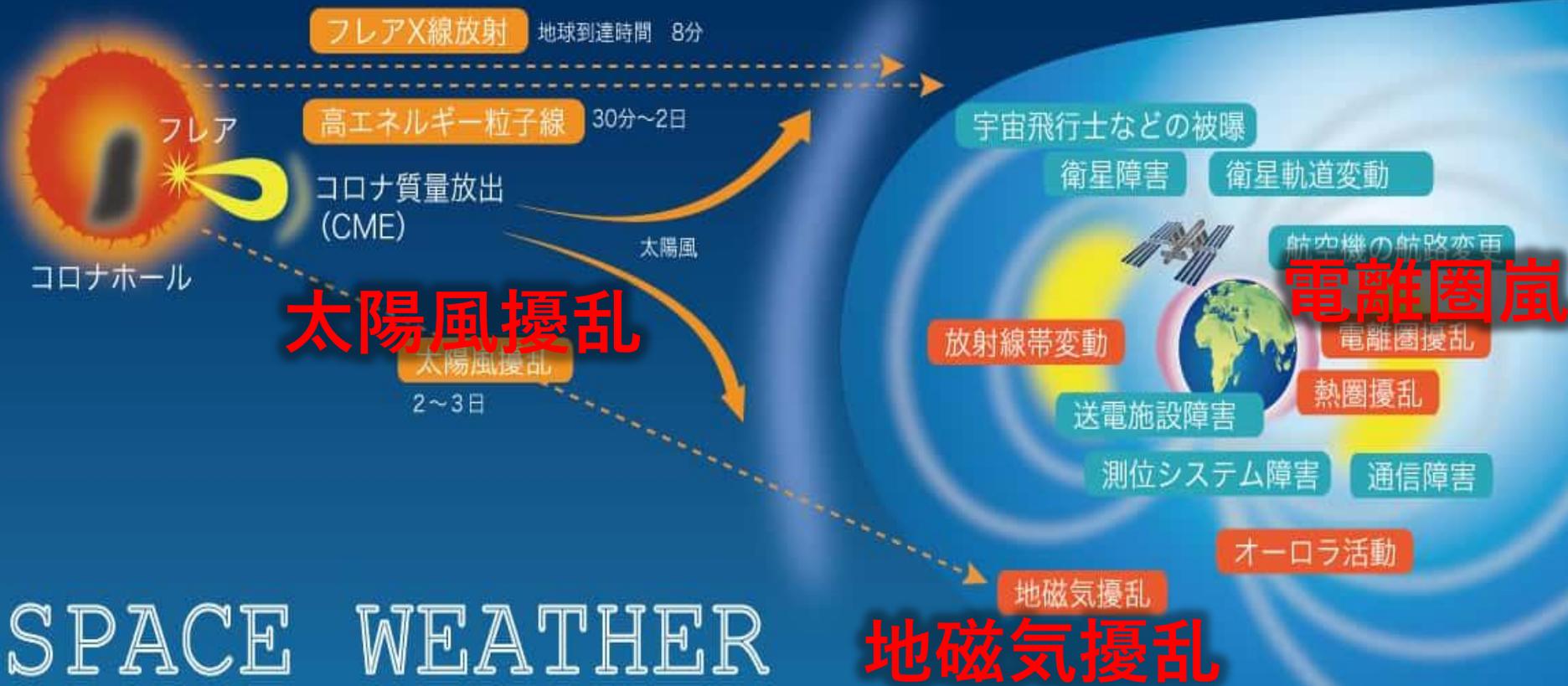


F2領域
F1領域
E領域
D領域



宇宙由来の電離圏擾乱 2

©NICT



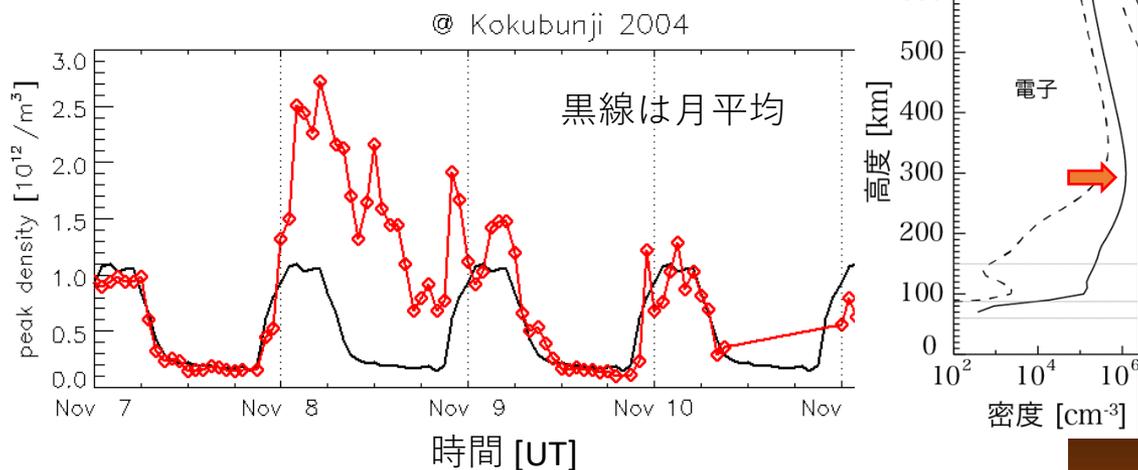
SPACE WEATHER

宇宙天気擾乱の発生から身近な社会への影響

電離圏擾乱②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)



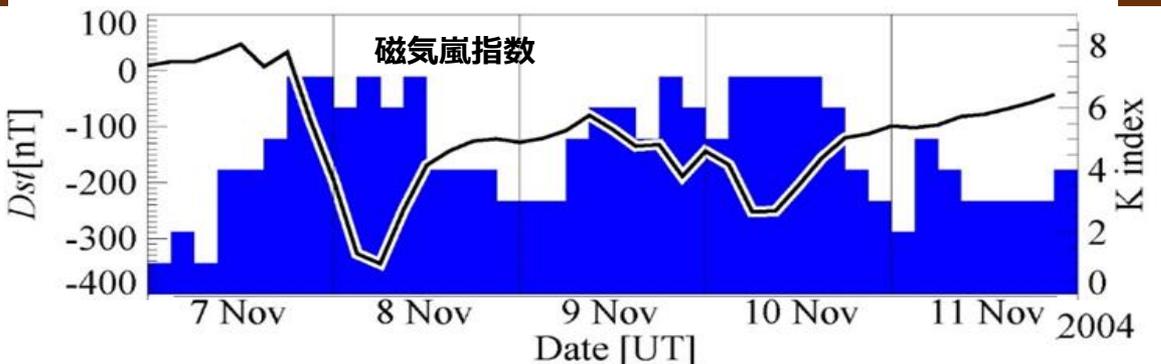
● 東向き電場の増大
電離大気



● 赤道向き中性風の増大
電離大気



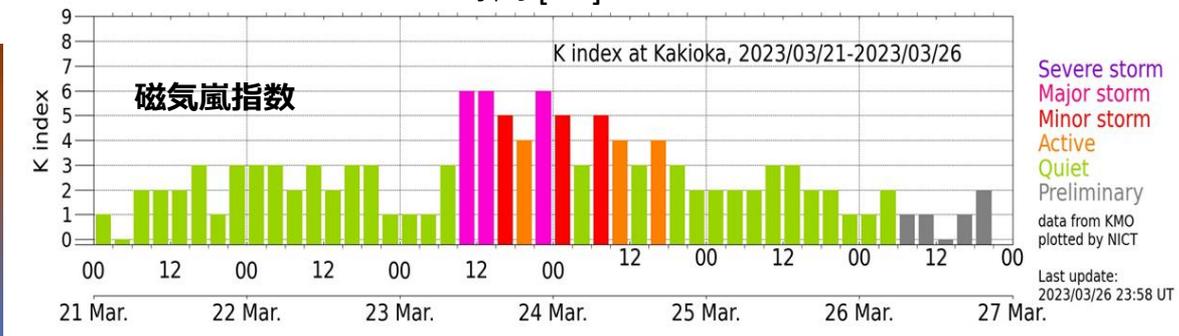
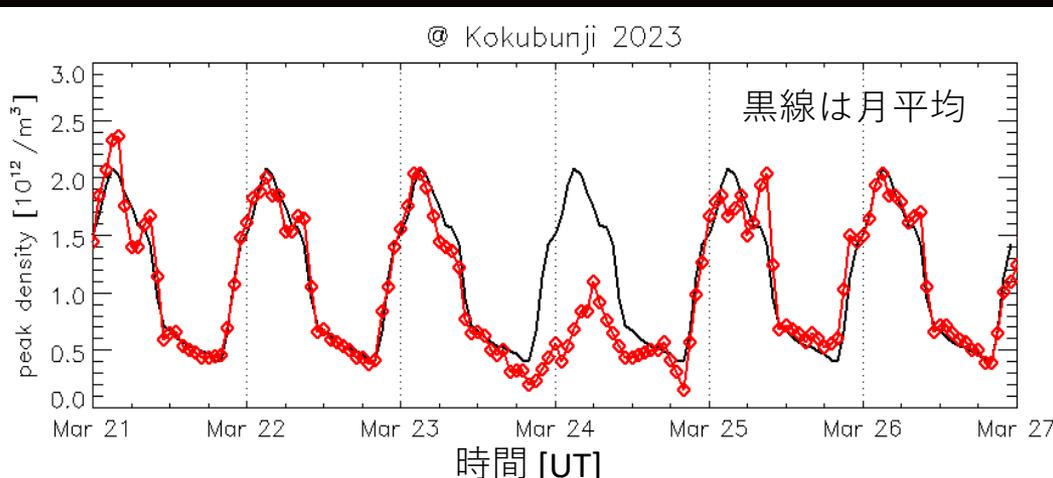
電離大気が高高度に
→ 電離大気消失が減る
→ 電離大気増加



電離圏擾乱②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 (2023年3月)



●組成の変化

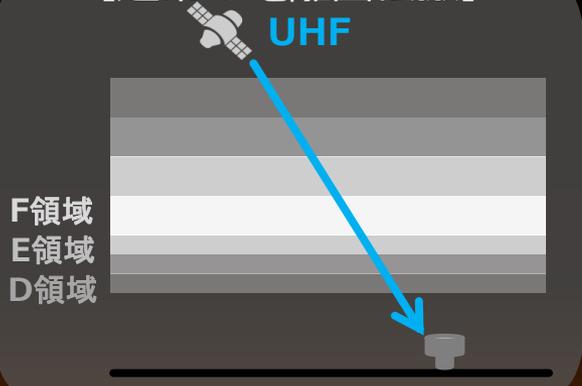


O/N₂比が小さい大気では電離大気消失が増える
→電離大気減少

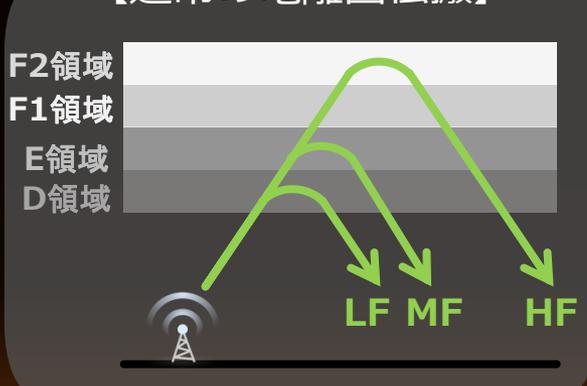
電離圏擾乱②電離圏嵐 影響

- * 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

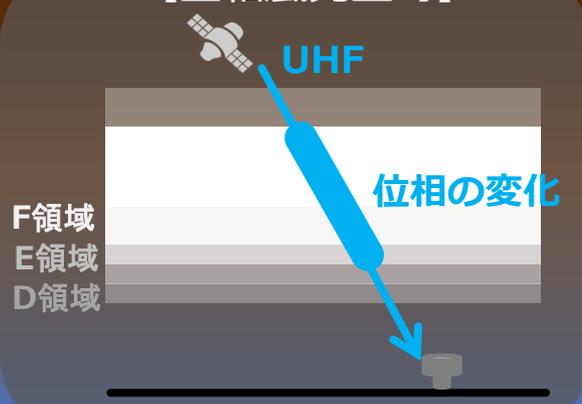
【通常の電離圏伝搬】



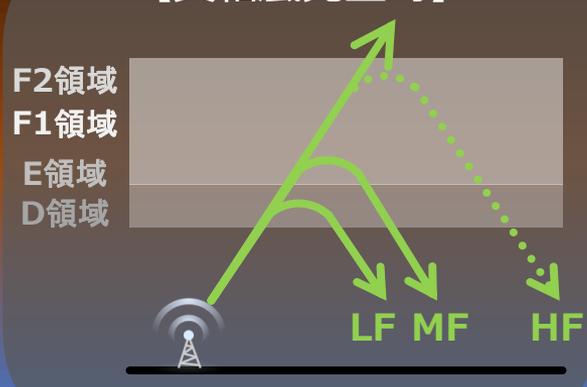
【通常の電離圏伝搬】



【正相嵐発生時】



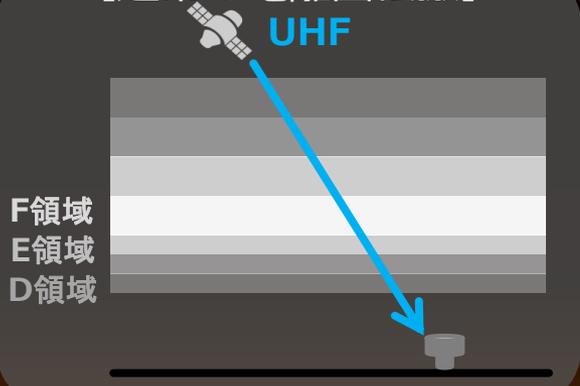
【負相嵐発生時】



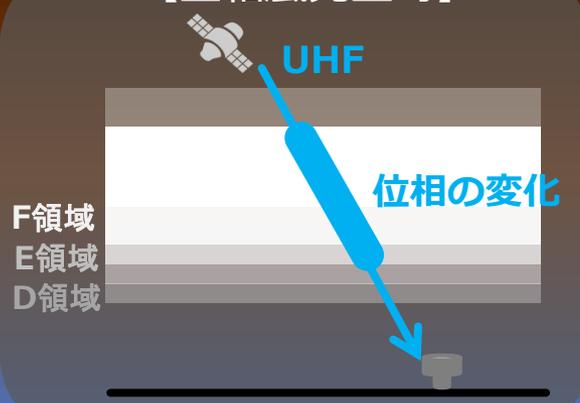
電離圏擾乱②電離圏嵐 影響例

* 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

【通常の電離圏伝搬】



【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

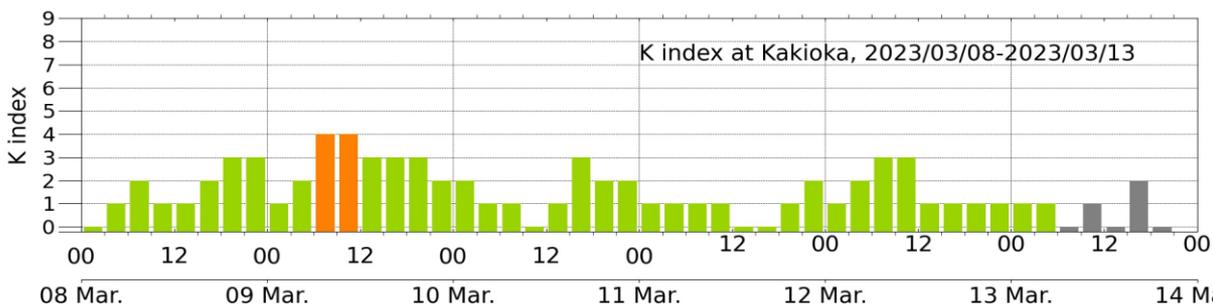
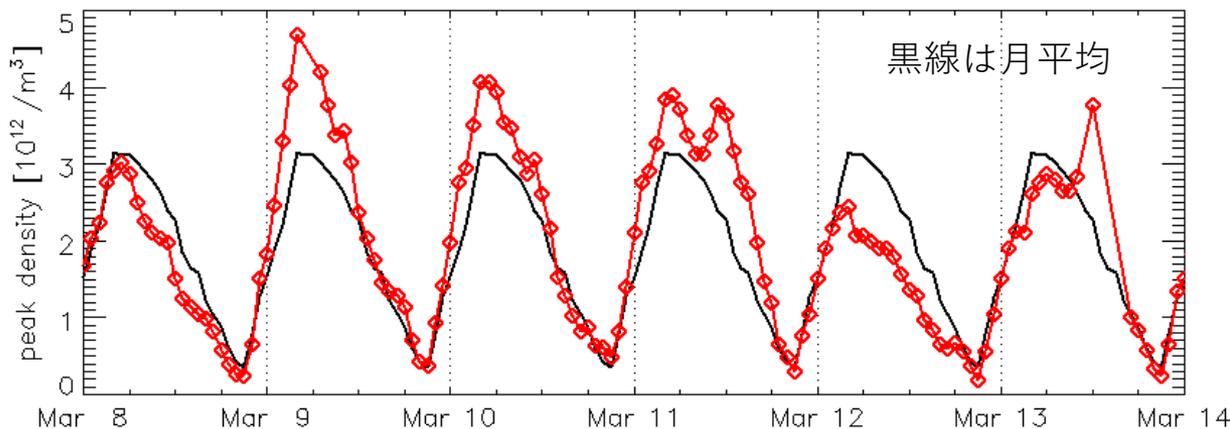
これらについては既に報道されているところですが、つくば市にある電子基準点のデータから、電離層の乱れが起きる前の9月6、7日は、GPS測位の誤差は±2m(南北、東西)、±3m(上下)程度に増えました。なお、現在変わりますので、上記の数値はあくまで一例ですが、当該時間帯においてカーナビやスマホでは、

南北 ±2m → 最大7m程度
東西 ±2m → 最大3m程度
上下 ±5m → 最大15m程度

電離圏擾乱②電離圏嵐 他要因

- * 地磁気静穏時も電離圏電子密度の大きな変動が起こることがある
- * 大規模な電離圏電子密度変動のうち約30%、中規模なもののうち約57%は、地磁気指数 $K \leq 3$ の時に発生 (1997-2014年の統計調査Nishioka et al. [2017]に基づく)

@ Okinawa 2023



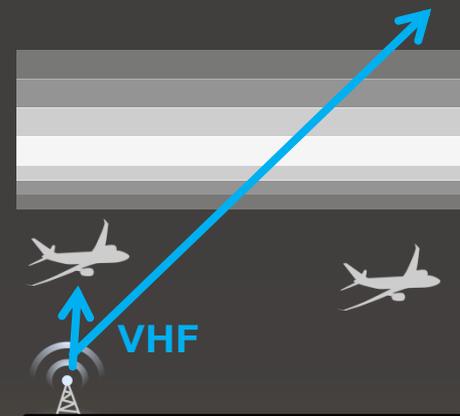
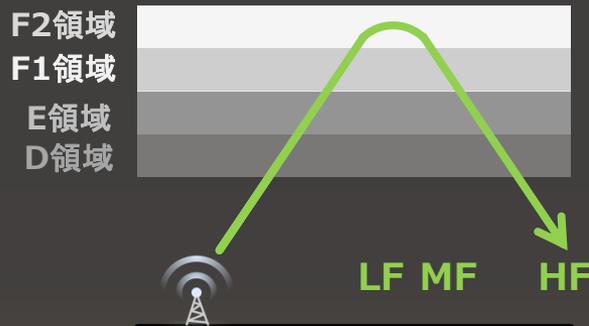
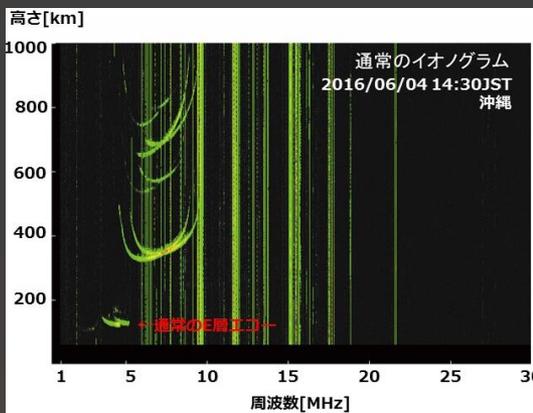
Severe storm
Major storm
Minor storm
Active
Quiet
Preliminary
data from KMO
plotted by NICT

Last update:
2023/03/13 23:58 UT

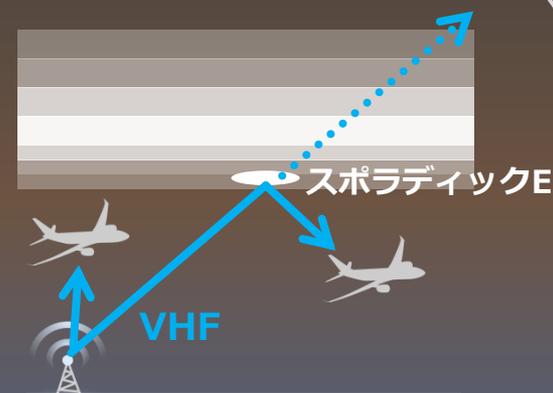
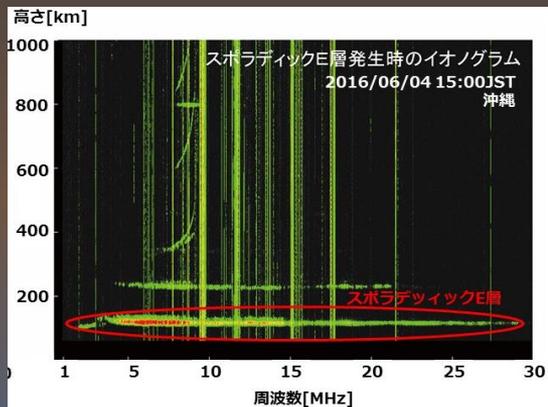
電離圏擾乱③ スポラディックE層

* 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】



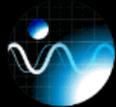
【Eスポ発生時】



NICTの電離圏現況 & 予報情報

https://swc.nict.go.jp/

JP EN



宇宙天気予報
国立研究開発法人情報通信研究機構

JST 2024/02/28 11:26 UTC 2024/02/28 02:26

- ホーム
- レポート
- 現況
- 予報
- ユーザーガイド
- リンク

予報

2024/02/27 15:00 JST ~ 2024/02/28 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	デリッジャー現象	ホラーイック層
▲活発	静穏	静穏	静穏	電離圏情報		
Lv.3	Lv.1	Lv.1	Lv.1	静穏	やや高い	静穏
Lv.1	Lv.1	Lv.1	Lv.1	Lv.1	Lv.2	Lv.1

概況・予報

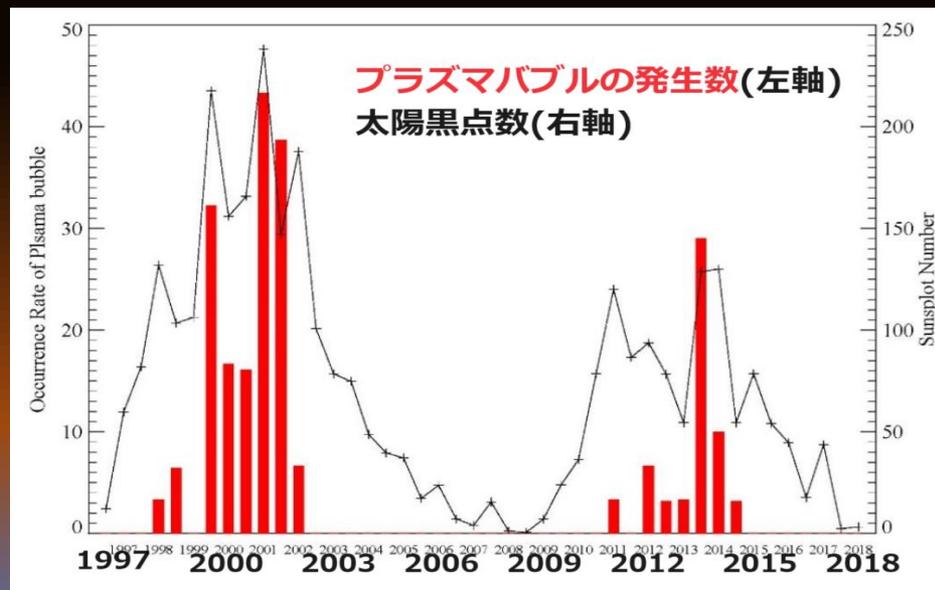
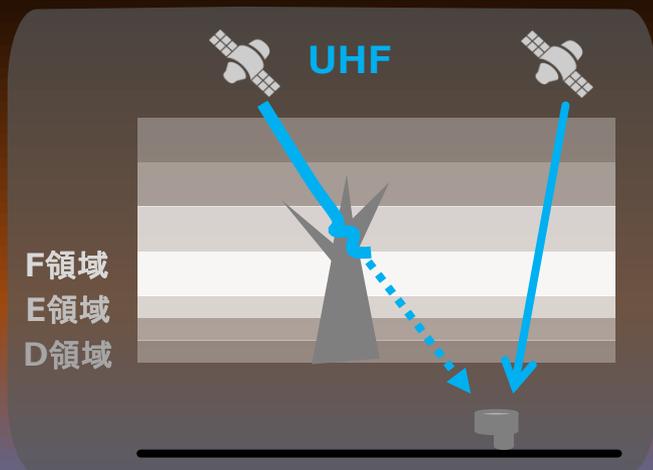
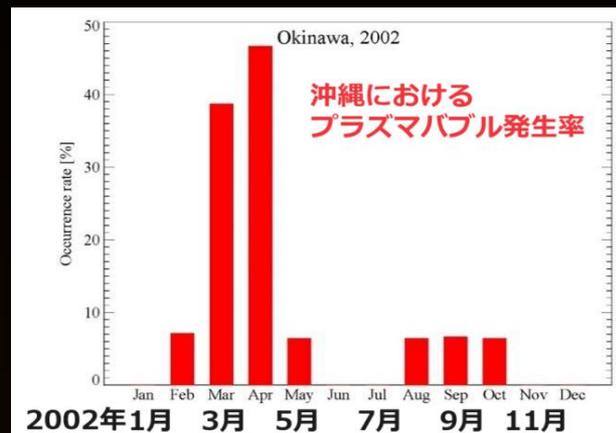
2024/02/28 09:00 JST 更新

太陽活動はやや活発でした。今後1日間、太陽活動は活発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。電離圏は静穏な状態でした。引き続き今後1日間、電離圏は静穏な状態が予想されます。

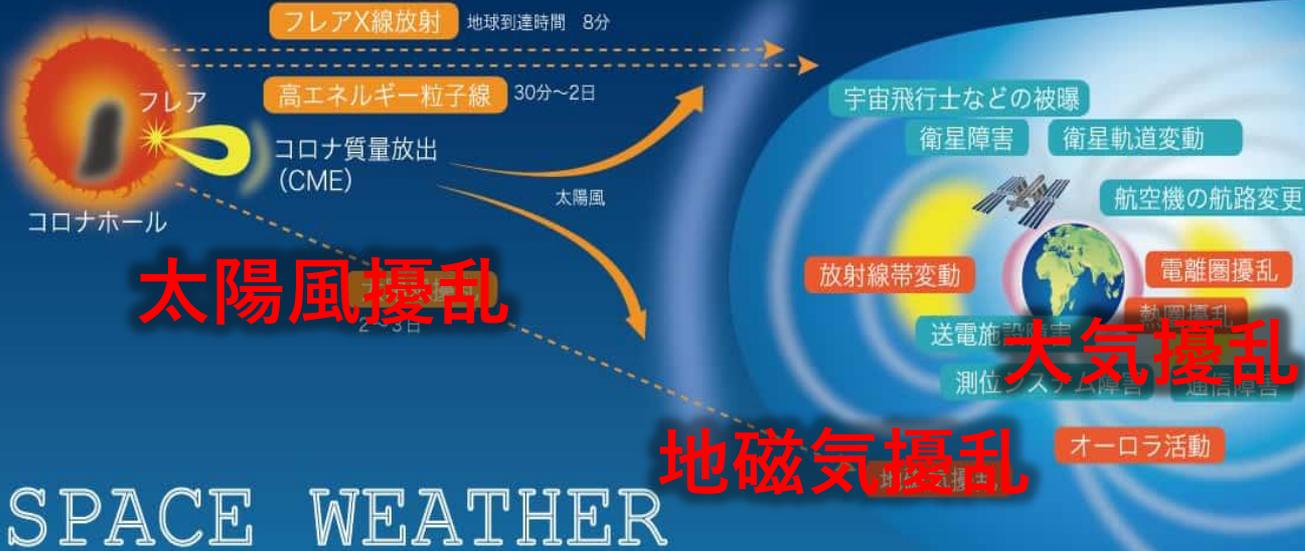
詳しくはこちら >

電離圏擾乱④プラズマバブル

- * 電子密度減少構造
- * 低緯度にて夕方に発生、沖縄～本州に至ることも
- * 太陽活動度が高いほど発生頻度が高く、春・秋に集中する
- * プラズマバブル内の不規則規模構造により通過する電波に乱れ(=シンチレーション)が生じる → サイクルスリップやロック損失



大気擾乱:低軌道衛星への影響



SPACE WEATHER

宇宙天気擾乱の発生から身近な社会への影響

* 地磁気擾乱による大気加熱

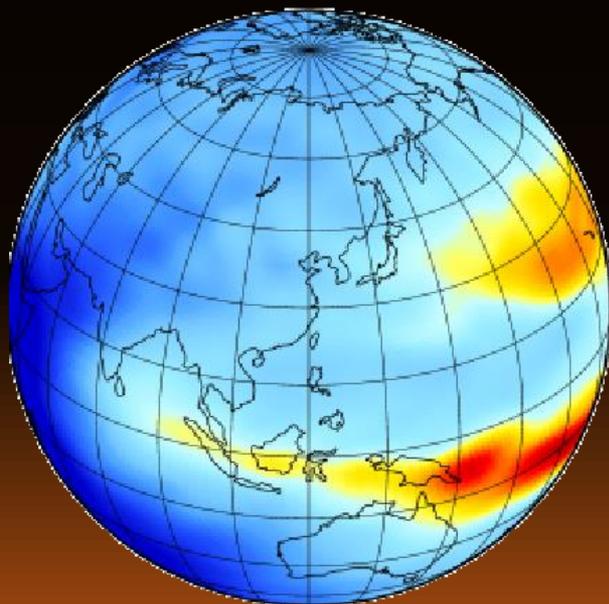
→大気密度増大 →低軌道衛星の大気抵抗の増大

* 2022年2月の磁気嵐によりスペースX社が打ち上げた49機のスターリンク衛星のうち38機が大気圏へ再突入



電離圏関係のモデルとアプリ

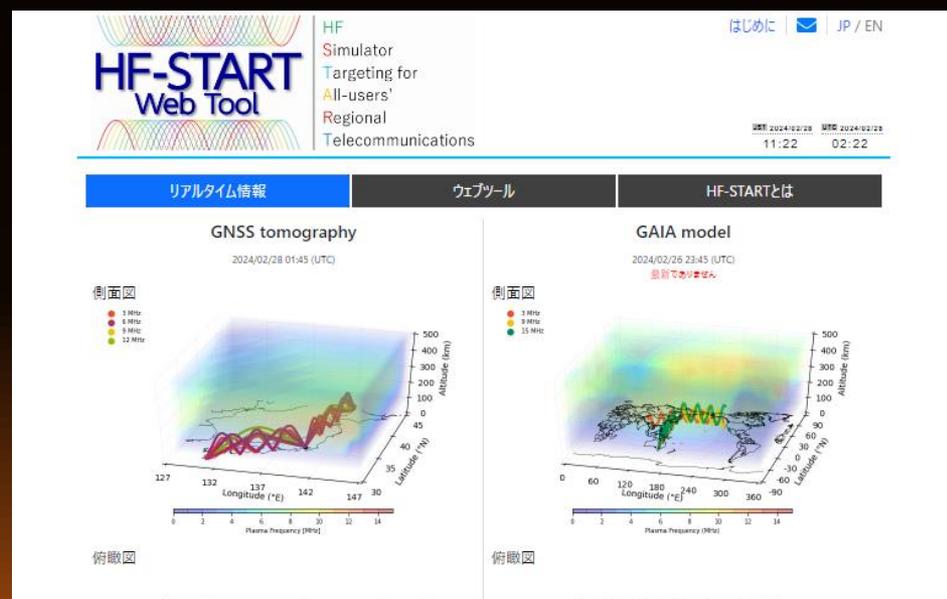
○全球大気圏-電離圏モデルGAIA



大気圏・電離圏の時空間変化を求める物理モデル

<https://gaia-web.nict.go.jp/>
ウェブツールを近日公開予定

○短波帯電波伝搬シミュレータ HF-START



短波電波の伝搬を可視化する
<https://hfstart.nict.go.jp/>にて公開中

短波帯電波伝搬シミュレータ HF-START

<https://hfstart.nict.go.jp/>

機能① リアルタイム情報提供

現在の国内・国外の電波伝搬状況を表示

機能② ウェブツール

計算条件 (電離圏密度分布の指定、日時、場所、電波周波数、送信方向) の指定に沿って電波伝搬計算を行い、電波伝搬経路の可視化結果を表示する。

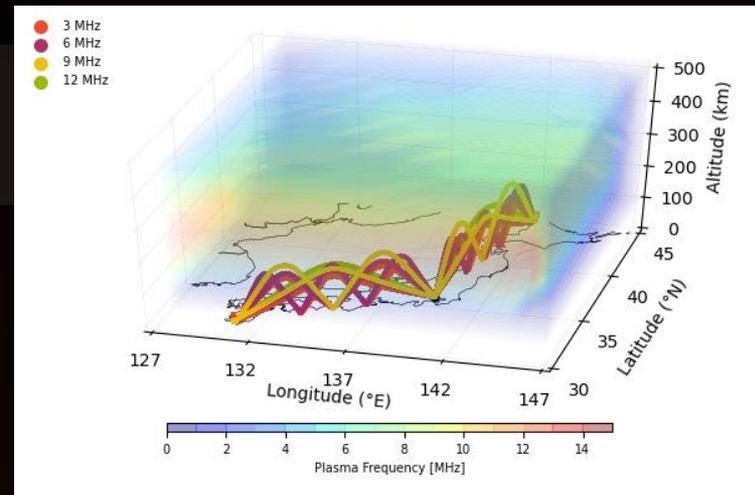
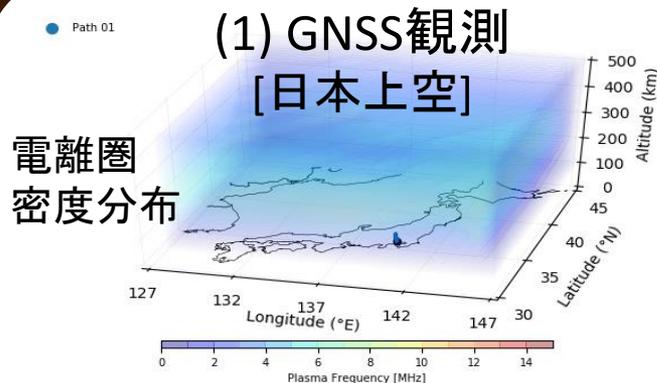
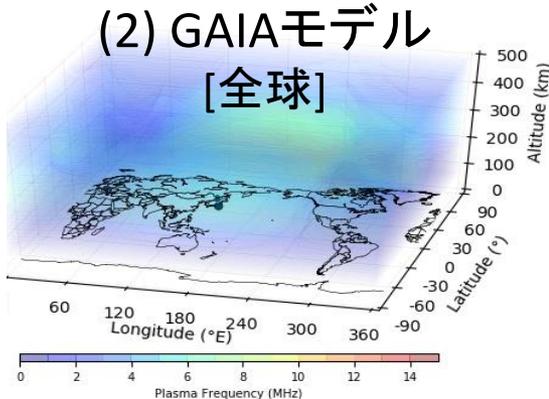


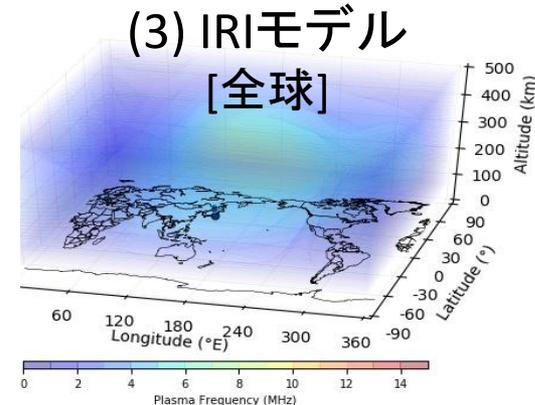
図. 国内の3,6,9,12MHz帯の電波伝搬状況



メリット：観測に基づく



全球情報を約1日先まで提供



広く参照される経験モデル

図. HF-STARTで利用できる電離圏電子密度分布

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、電波伝搬に影響を与える。NICTでは、電波観測に基づいて電離圏擾乱現象の監視と予報を行い、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の開発および短波伝搬可視化ウェブサイトの運用を行っている