

観測ロケットS-310-46号機実験 「中緯度域電離圏における スプラディックE層の形成過程の解明」 概要説明資料

2025年 7月 7日

実験主任:	羽生宏人(JAXA)
搭載観測機器主任:	阿部琢美(JAXA)
実験提案代表者:	齊藤昭則(京都大学)

スプラディックE層とは？



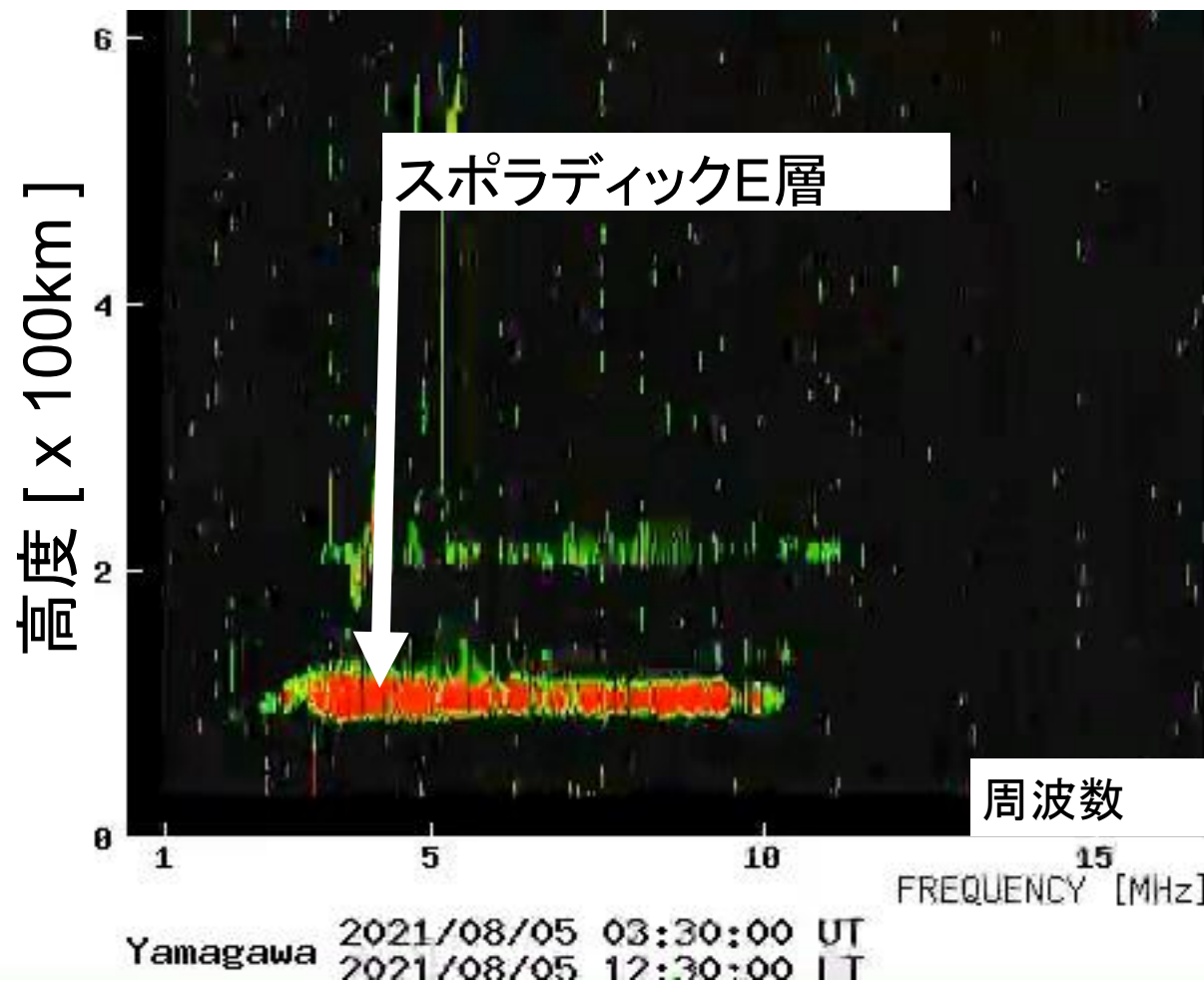
クレジット: RIDEキャンペーン・グループ

sporadic: 散発的な
E層: 高度100km付近の電離層

- 高度100km付近に急に現れる金属（鉄など）の「雲」のようなかたまり
- もとになる金属は流星が燃え尽きて放出されたものと考えられている
- 大部分が、原子イオンと電子に分かれたプラズマ状態になっている
- 普通の「水の雲」は光を反射するので目で見えるが、「金属イオンの雲」は目には見えない。その代わりに電波を反射するので、発生すると地上から出した電波が跳ね返ってくる。

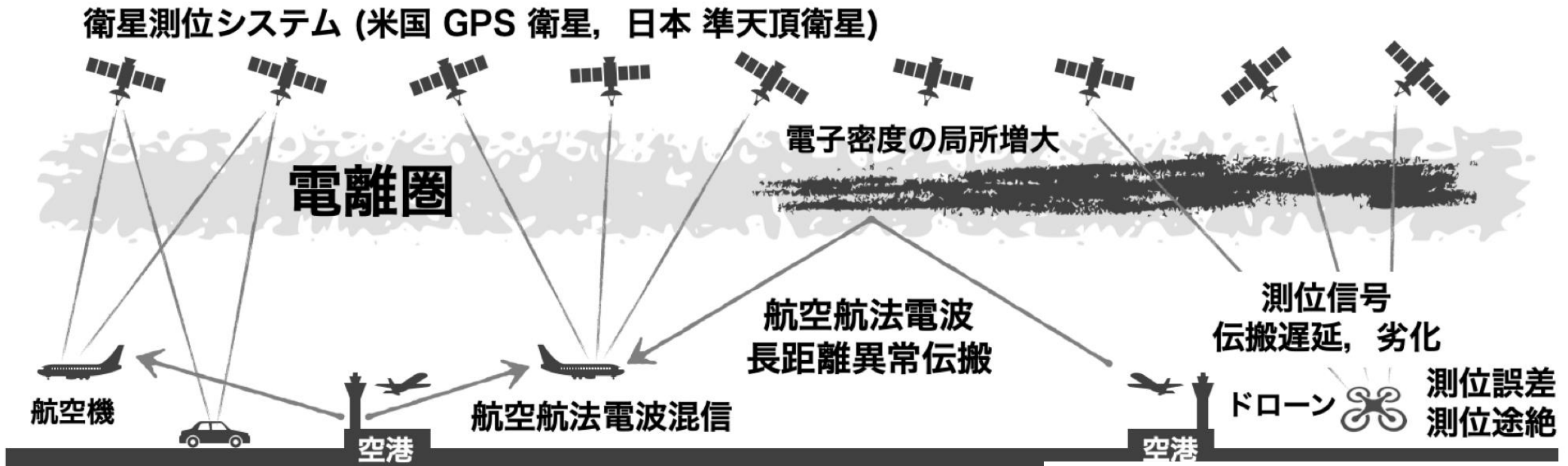
- 電波を反射する特性から、レーダーの電波を反射するので観測できる。
- 右図で高度100km付近で、横に伸びている(広い周波数の電波を反射する)のがスプラディックE(Es)層
- 高度方向に複数現れるのは地面とEs層の間で電波が往復するため
- プラズマ密度が高い時は、高い周波数の電波を反射する。
- 現れたり、消えたりを繰り返すが、その原因は未解明。流星の量とは直接関係していないと考えられている。

2021/08/05



スプラディックE層の影響

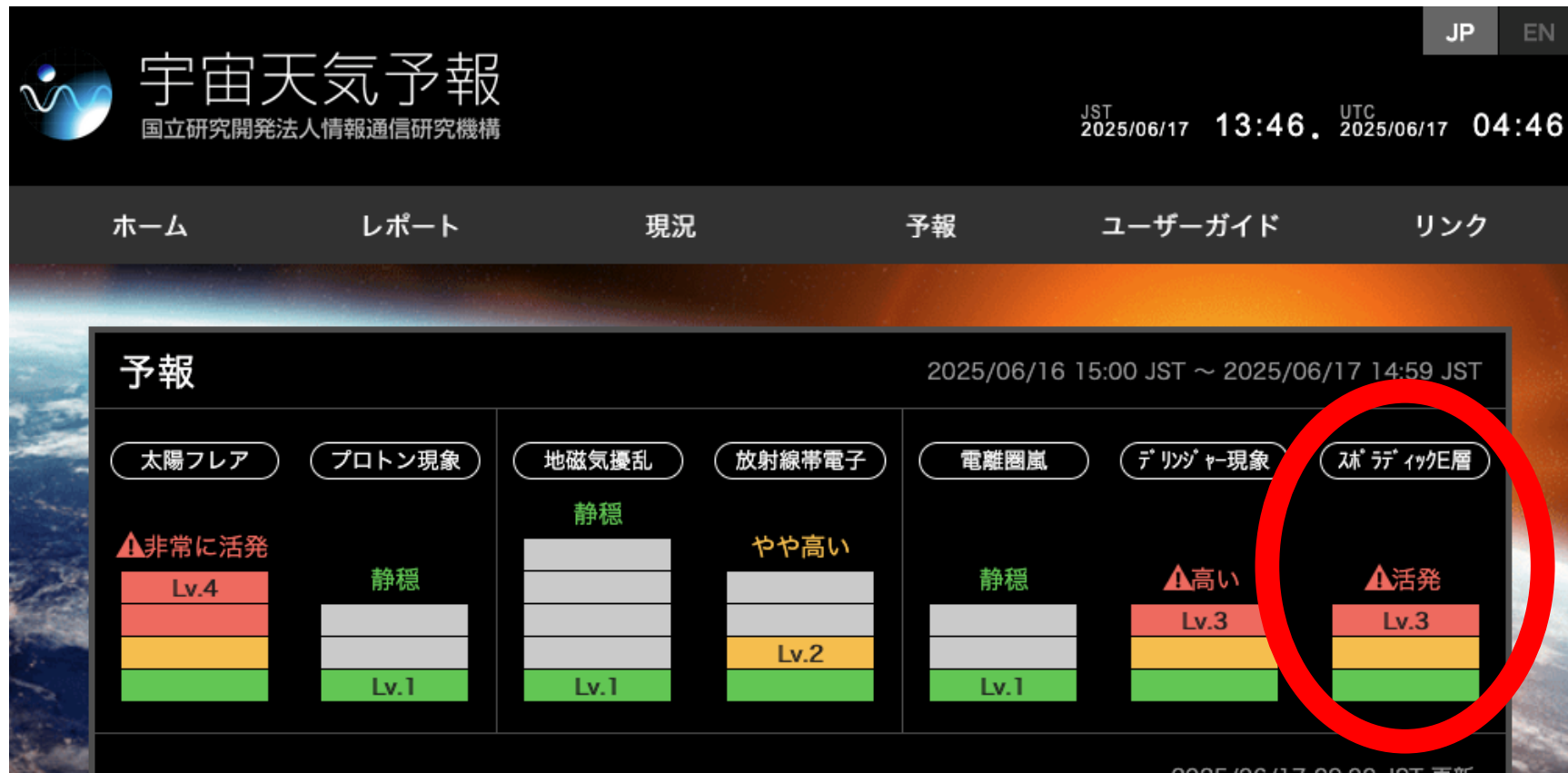
- 通常は、地上から出ている10MHzよりも高い周波数の電波は、送信点から遠いところでは受信できないが、Es層が出ていると高度100kmで反射されて、想定外に遠いところまで届いてしまう
- 空港で使用されている、航空機航法用のVHF電波(およそ100MHz)が昼間のEs層によって反射されて遠方まで届いていることが観測されている(斜めの電波は反射されやすい)→混信の原因 [Hosokawa et al., 2021]



スプラディックE層の課題

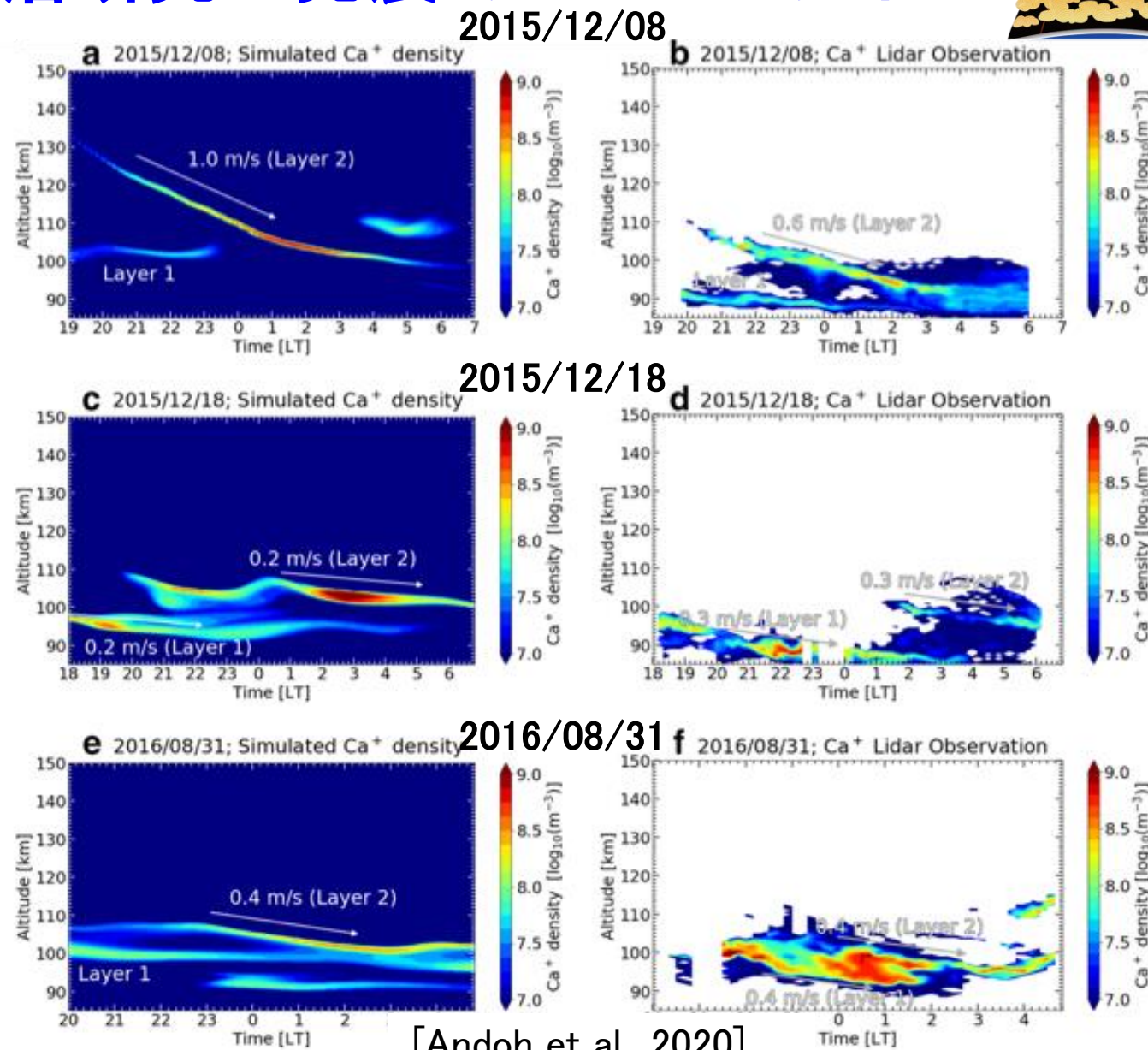


- 電波利用の点からEs層の予報・警報は重要で、情報通信研究機構の宇宙天気予報(<https://swc.nict.go.jp/>)にも含まれているが、気象の予報のような物理過程を理解した予報ではなく、発生傾向からしか予報ができていない → 傾向としては、夏の東アジア域で多いことが知られている



[情報通信研究機構
<https://swc.nict.go.jp/>]

- 電離圏内の金属イオンの3次元数値シミュレーションが開発されて、金属イオンが集まってEs層が作られて移動する様子が計算できるようになった。
- 日によるEs層の振る舞いの違いが再現されてきている。
- 対流圏（高度10km以下）などの低い高度の観測データを利用して、高度100km以上の風を予測して使っている
- まだ正確ではないが、「金属イオンの雲」の様子が、気象現象のように再現できる可能性が出てきた



[Andoh et al., 2020]

シミュレーション

観測(カルシウム・イオン・ライダー)

JAXA Es層の複雑さの原因を調べたい

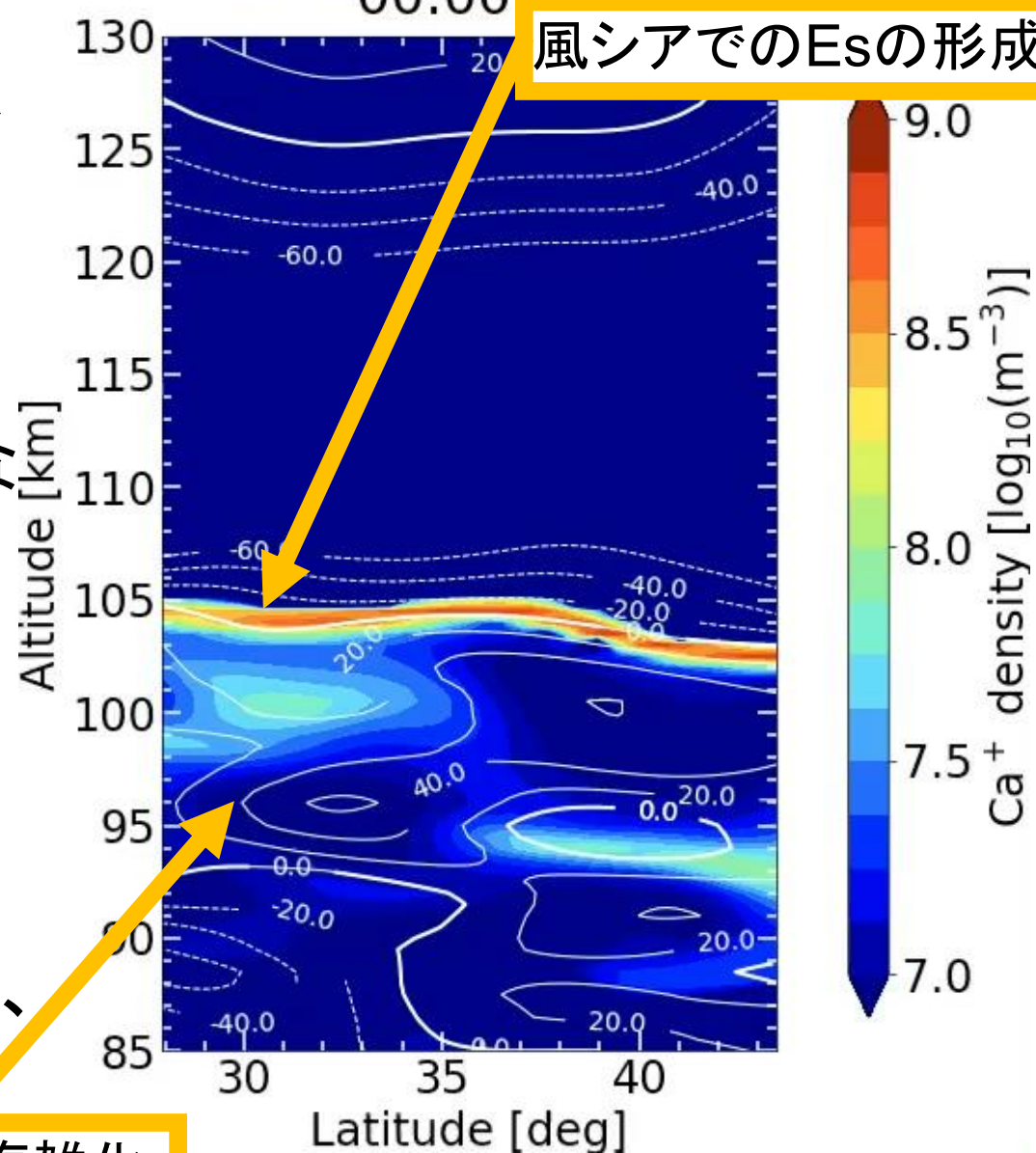
Es層数値シミュレーション

- 上から下に(見かけ上)移動する、大きな風の波(潮汐波)の風が入れ替わるところでEs層が作られて、徐々に下降してくる
- 低い高度になると、金属イオンは大気との衝突が多くなるので、風の入れ替わるところから遅れていき、その風に流されて複雑な形になっていく(シミュレーションの予想)
- 高い高度では電場によっても、風の入れ替わるところからズレる(シミュレーションの予想)



- 直接、観測ロケットで調べたいのはEs層と、金属イオンの動き、風、電場、大気の関係
- Es層の複雑さの原因は何か？

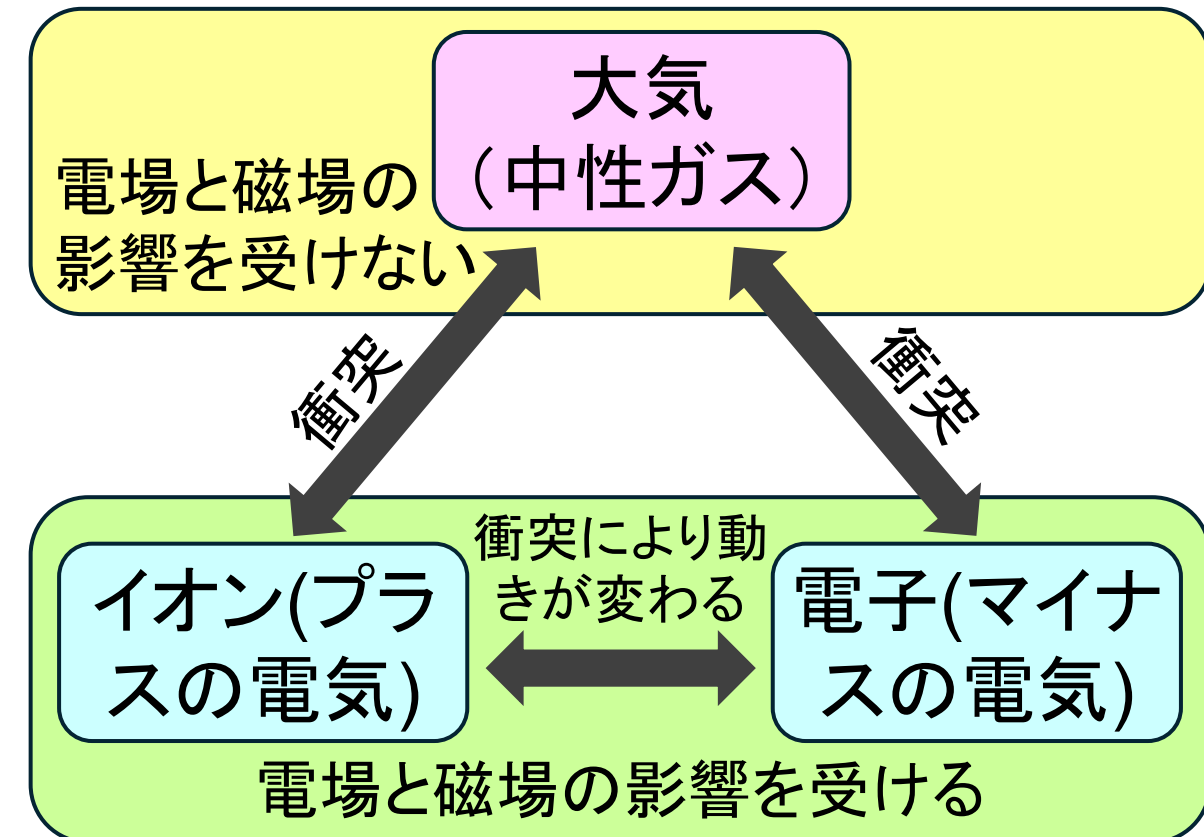
低高度での複雑化



なぜ観測ロケットで測定？

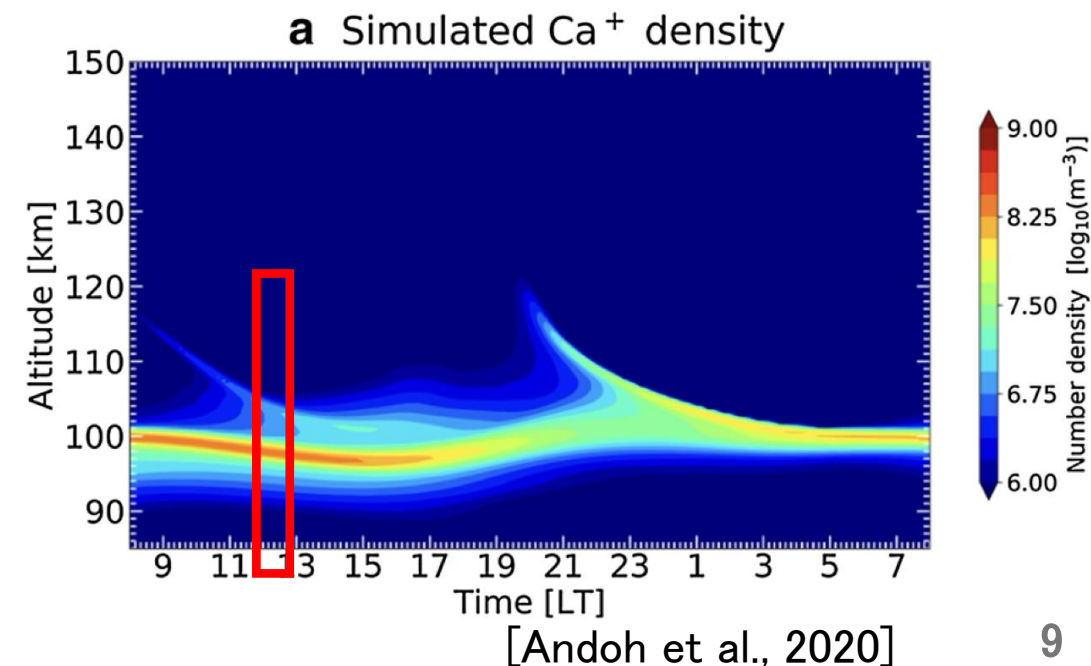


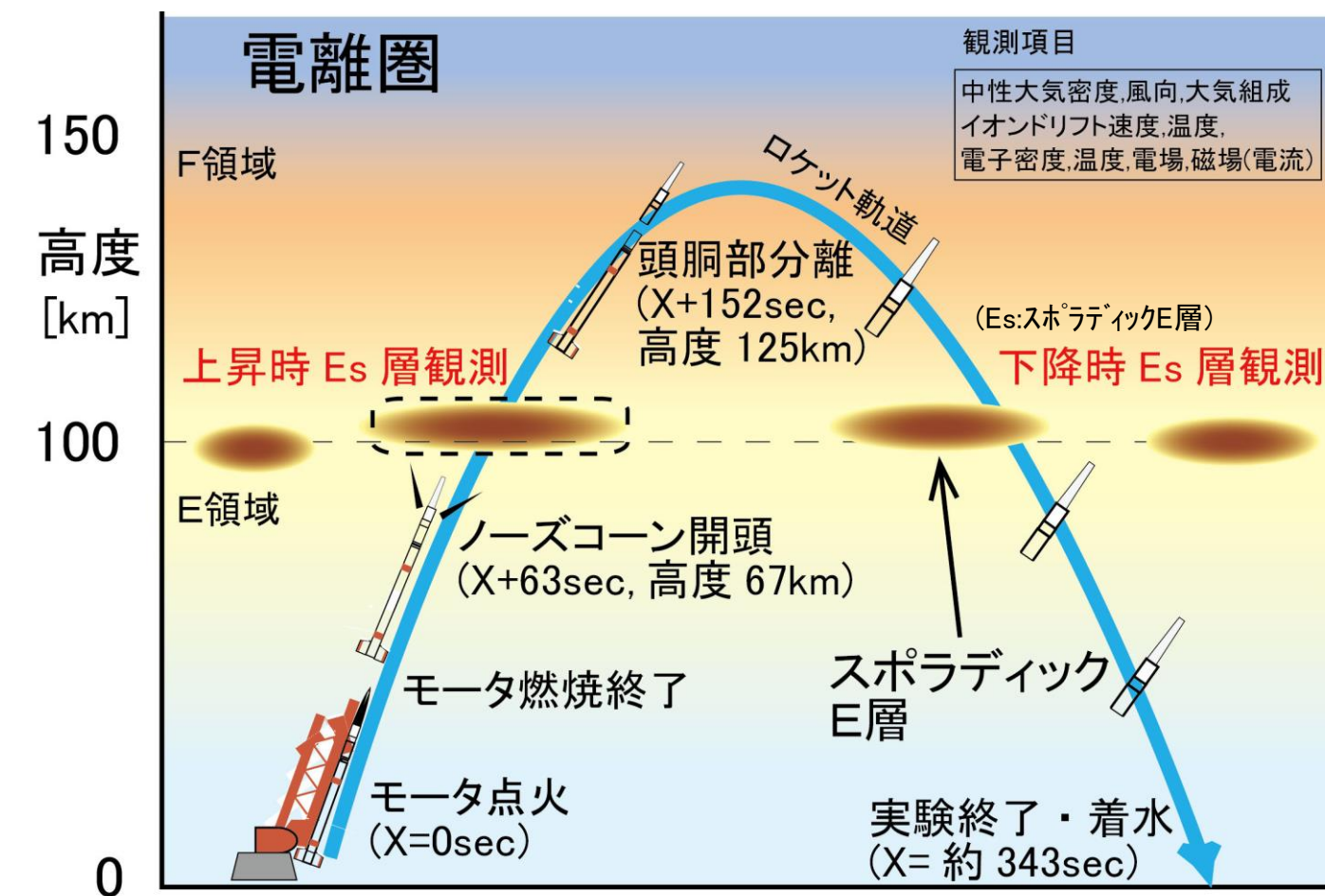
- 地上からの観測では、金属イオンが集まって「雲」のようになっていることは分かるが、なぜ集まったのかは分からない。
- Es層ができる過程を理解するには、金属イオンを動かす「風」と「電場」と、それらを作る周辺の中性大気・プラズマ大気・電流を測らないといけないが、それらは地上からは測定できない
- 形成過程を理解するためには観測ロケットでEs層中で中性大気、プラズマ大気(イオン、電子)、電場、磁場を観測する必要がある



RIDEキャンペーン

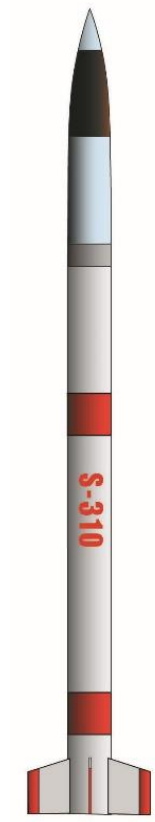
- Rocket Investigation of Daytime E-region (RIDE)
- 観測ロケットS-310-46号機とレーダー網、VHF受信機網などの地上観測との同時観測で、突発的に現れて、電波障害の原因にもなる「金属イオンの雲」であるEs層の形成過程を解明する。
- キャンペーンのために設置した地上観測点: 宮崎市、南阿蘇村、別府市、黒潮町
- 打上げ時刻の昼の12時-13時は、新しく作られて上から発達しながら下降してくるEs層と、低い高度で停滞しているEs層の両方が見えると期待できる時間帯で、Esの振る舞いを調べるのに適している。





S-310-46号機 諸元	
全長	8m
直径	0.31 m
重量	0.8 t
到達高度	127 km
観測機器質量	41 kg

JAXA内之浦宇宙空間観測所KS台地から打上げ



内之浦
(Copyright: JAXA)

- 打上げ条件:
 - 情報通信研究機構(NICT)の山川観測所のイオノゾンデ観測により、打上げ予定時刻にスποラディックE層が十分な強度で存在することが予想されること
 - 打上げに支障のない天候であること

搭載観測機器	観測項目		担当機関
磁場計測器(MAG)	磁場	(ベクトル)	京都大学、JAXA
電場観測装置(EFD)	電場	(ベクトル)	富山県立大学
中性大気質量分析器(NMS)	中性大気	組成	JAXA、東京大学、 大阪大学、京都大学
中性大気密度・風計測装置(IOG)		密度、中性風	神戸大学、JAXA
イオン速度測定器(IVA)	イオン	ドリフト速度・密度・温度	JAXA、京都大学
インピーダンスプローブ(NEI)	電子	密度	東北大学
高速ラングミュアプローブ(FLP)		温度・密度	JAXA、京都大学

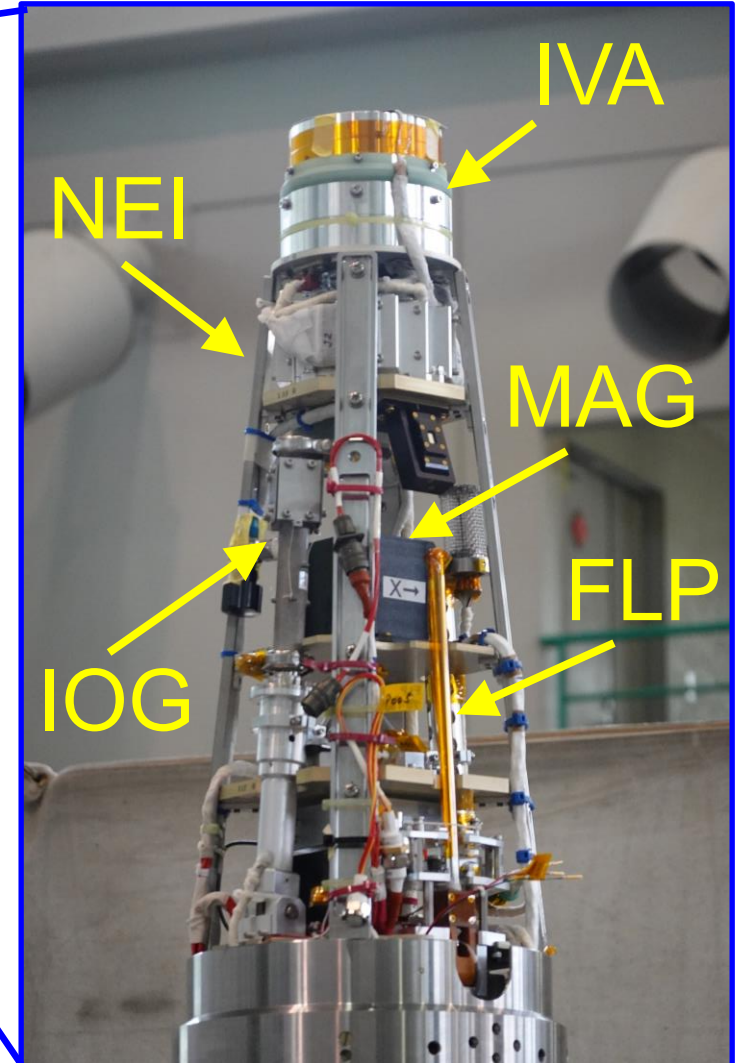
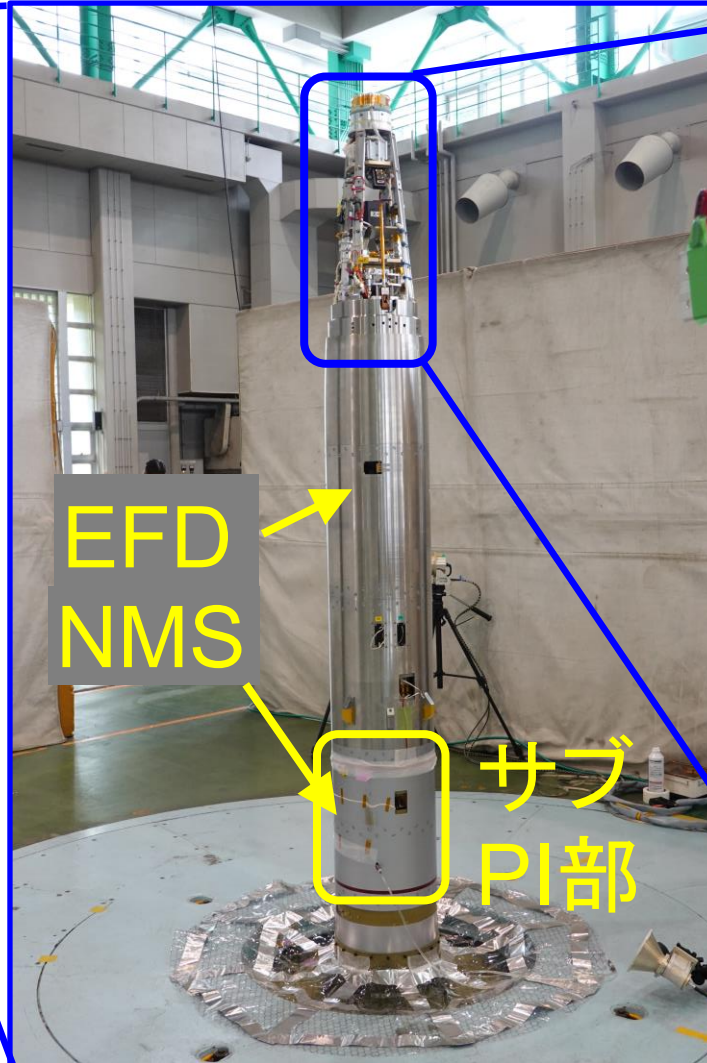
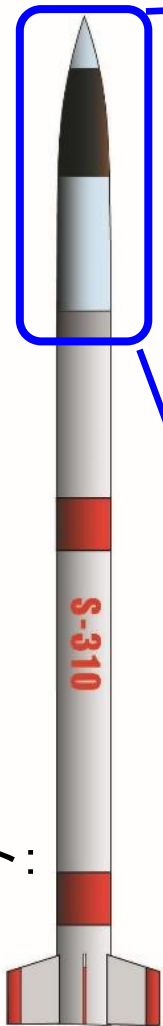
搭載観測機器の位置

頭胴部

頭胴部先端

ロケット
全体

(画像クレジット:
JAXA)



搭載観測機器(1)

磁場計測器(MAG)

Magnetometer



(画像クレジット:
京都大学,JAXA)

直交する3方向の磁場を測ることにより、ベクトル磁場を測定。小型省電力を実現したセンサを使用。更にASIC※集積回路技術による回路の小型化を行った

(ASIC※: Application Specific Integrated Circuit特定用途向け集積回路)

電場観測装置(EFD)

Electric Field Detector



(画像クレジット: 富
山県立大学,JAXA)

電場センサであるアンテナ、プリアンプ、メインエレクトロニクスで構成。Es層内部およびその上下を含む領域の直流電場を詳細に観測

搭載観測機器(2)

中性大気質量分析器(NMS)

Neutral Mass Spectrometer



中性大気の組成・密度の測定装置で大気の質量スペクトルを高い質量分解能($M/\Delta M$:~200)で計測できることが特長。サブPI部に搭載されロケットモータ切り離し後に観測を開始

中性大気密度・風計測装置(IOG)

Ion Gauge



(画像クレジット: 神戸大学, JAXA)

ノーズコーンの開頭後に中間圏・熱圏を飛翔中に出るだけ広い高度範囲で大気圧を測定する。得られる圧力値から大気密度と大気流の方向を推定する

搭載観測機器(3)

インピーダンスプローブ(NEI)

Number density measurement of Electron by Impedance probe

(画像クレジット: 東北大学, JAXA)



長さ1.2mのプローブに広帯域信号を印加し電気容量が極小となる周波数を計測することで、電子数密度を数%の精度で推定。今回は広帯域の白色雑音を印加する新方式の計測機能を追加し、大幅な分解能向上を図る

高速ラングミュアプローブ(FLP)

Fast Langmuir Probe

(画像クレジット: JAXA)

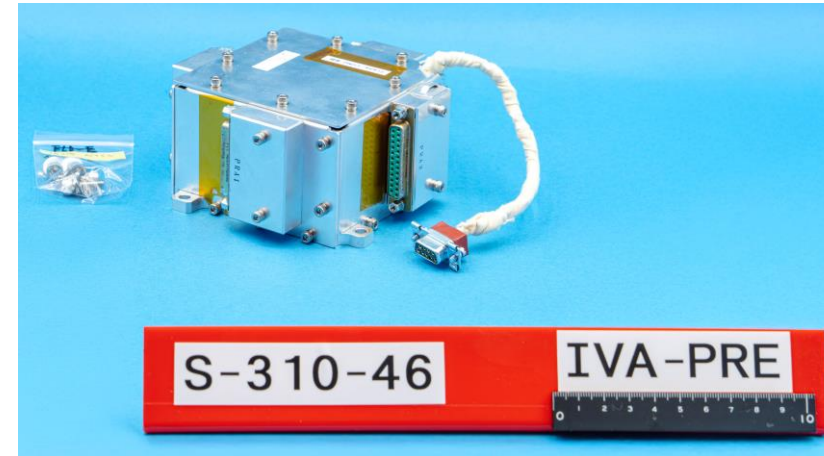
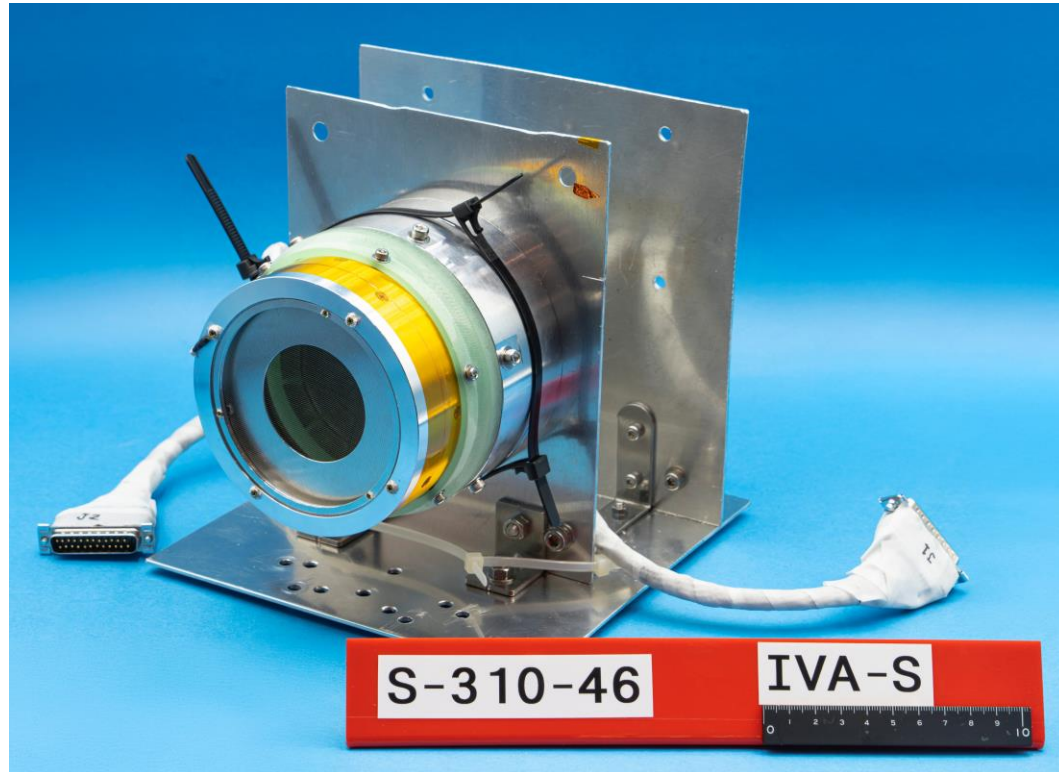


円筒プローブに三角波電圧を印加した際に得られる電流－電圧特性から電子温度と密度を推定。電圧掃引周期100ミリ秒で1秒間に20セットの電圧－電流特性を取得する高速サンプリングにより、高空間分解能データを得る

搭載観測機器(4)

イオン速度測定器(IVA)

Ion Velocity Analyzer



(画像クレジット:
JAXA)



測定器のセンサ部はRPA(Retarding Potential Analyzer)部とコレクタ電極部から構成され、RPA部では内部に配置したメッシュに電圧を印加しイオンのエネルギーを分析、コレクタ電極部では配列された電極で得られる電流分布からイオンの到来方向を推定。イオン速度を3次元的に推定できることが本測定器の特長

参考文献



- Andoh, S., Saito, A., Shinagawa, H., and Ejiri, M.K., (2020). First simulations of day-to-day variability of mid-latitude sporadic E layer structures. Earth, Planets and Space 72, 165, <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01299-8>
- Hosokawa, K., Kimura, K., Sakai, J., Saito, S., Tomizawa, I., Nishioka, M., Tsugawa, T., and Ishii, M., (2021). Visualizing sporadic E using aeronautical navigation signals at VHF frequencies. J. Space Weather Space Clim. 11, 6. <https://doi.org/10.1051/swsc/2020075>
- Maeda, J., Suzuki, T., Furuya, M., and Heki, K., (2016), Imaging the midlatitude sporadic E plasma patches with a coordinated observation of spaceborne InSAR and GPS total electron content, Geophys. Res. Lett., 43, 1419–1425, <https://doi.org/10.1002/2015GL067585>