

S-520-29 号機による 電離圏中の中波帯電波伝搬特性の観測

石坂圭吾, 板屋佳汰 (富山県立大)

阿部琢美 (ISAS/JAXA)

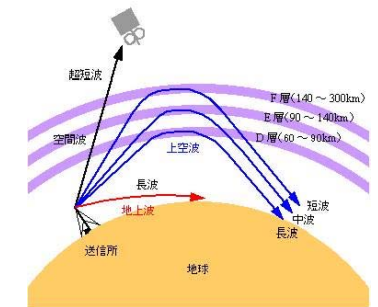
熊本篤志 (東北大)

栗原純一 (北大理)

ロケット実験の目的と実験概要

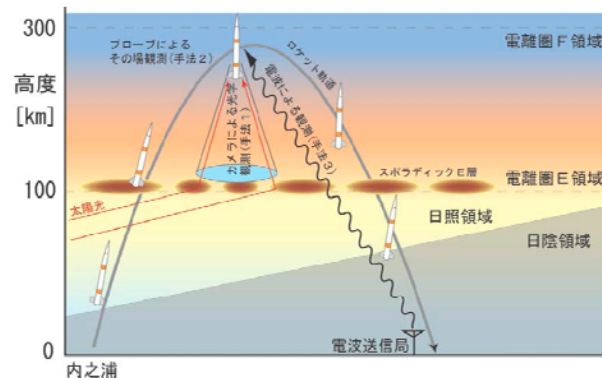
実験目的:

高度90~140km付近に存在する電離圏E領域内において、スプラディックE層(Es層)と呼ばれる局所的に高密度な領域が発生する。このEs層付近での水平方向や鉛直方向のプラズマ密度分布の観測を通して、Es層の立体的な空間構造を明らかにし、密度変動の生成メカニズムを解明する。



実験概要: 3つの異なる手法による観測データを組み合わせて電離圏E領域プラズマ密度分布を立体的に観測する。

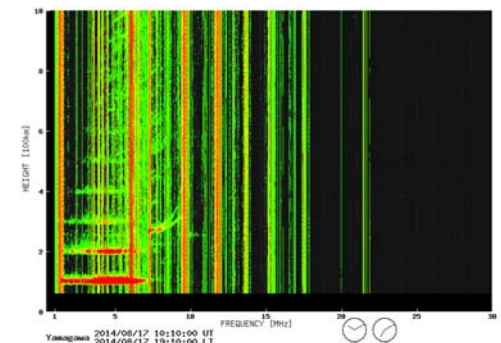
1. スプラディックE層中に存在する金属イオンによる太陽光散乱光をロケットから撮像(水平方向の分布)
2. プローブによる飛翔軌道上のプラズマ密度分布観測
3. 地上からの送信電波観測による垂直方向のプラズマ密度分布を推定。



ロケット打ち上げ条件

- 1) ロケットが飛翔する電離圏E領域にスプラディックE層が発生していることをイオノグラム観測結果を用いて確認する。
- 2) スプラディックE層内の金属イオンの散乱光観測のため、太陽光が電離圏E領域を照射し、かつ高度50km以下の領域が日陰状態であること。

イオノグラム観測結果
(NICT提供)



目的

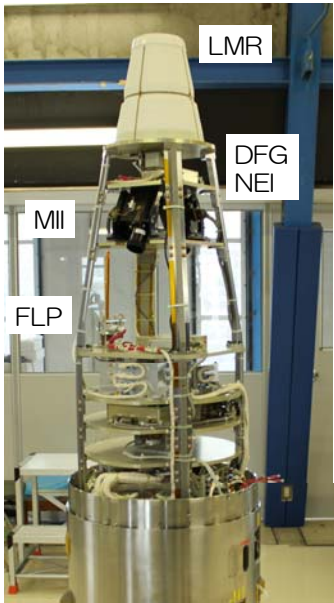
スプラディックE層発生時における
長・中波帯電波観測

地上-電離圏間における電波伝搬特性の連続観測

スプラディックE層発生時における電子密度分布推定

S-520-29号機観測ロケット搭載機器

長・中波帯電波受信機	LMR	長・中波帯電波観測
高速ラングミュアプローブ	FLP	イオン・電子密度
インピーダンスプローブ	NEI	電子密度
デジタルフラックスゲート磁力計	DFG	地球磁場計測
Mg+共鳴散乱光意メジャー	MII	イオン密度構造



LMR概要

周波数 [kHz]	名称	送信場所	出力[W]
873	NHK熊本第2放送	熊本県大津町	500k
666	NHK大阪第1放送	大阪府大阪市	100k
60	標準電波	佐賀県はがね山	50k

受信した電波は100Hzに
周波数変換され、
波形として地上に送られる。



3軸ループアンテナにより、
X、Y、Z軸方向成分を直接観測

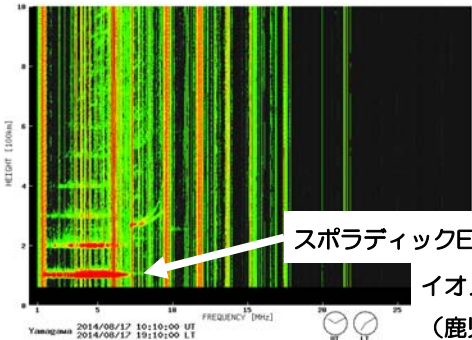
電波透過型ノーズコーンの採用
により地上-電離圏間の電波伝搬
特性が取得可能

実験結果

2014年8月17日
19:10 JST
最高高度 243 km
X+249sec

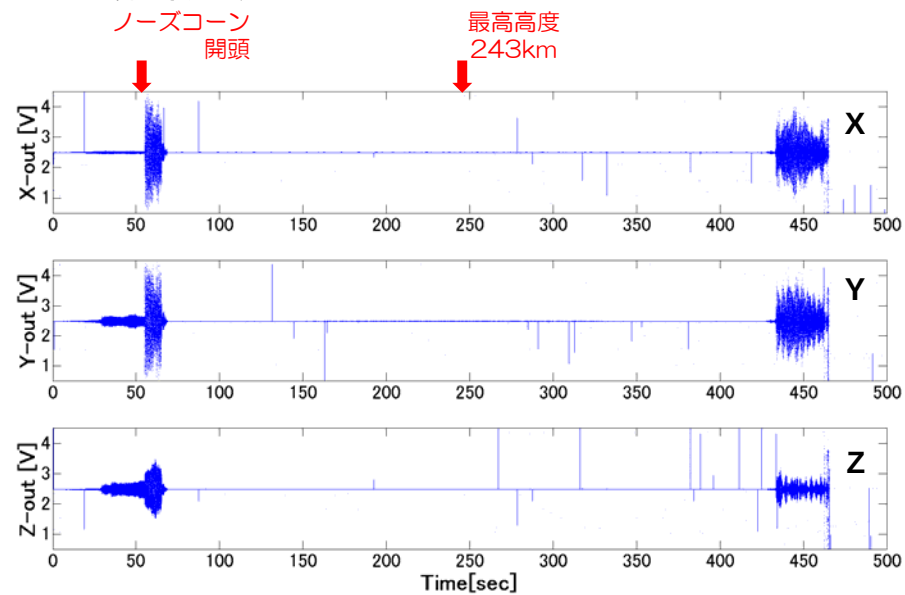


S-520-29号機の打ち上げ
(JAXA提供)

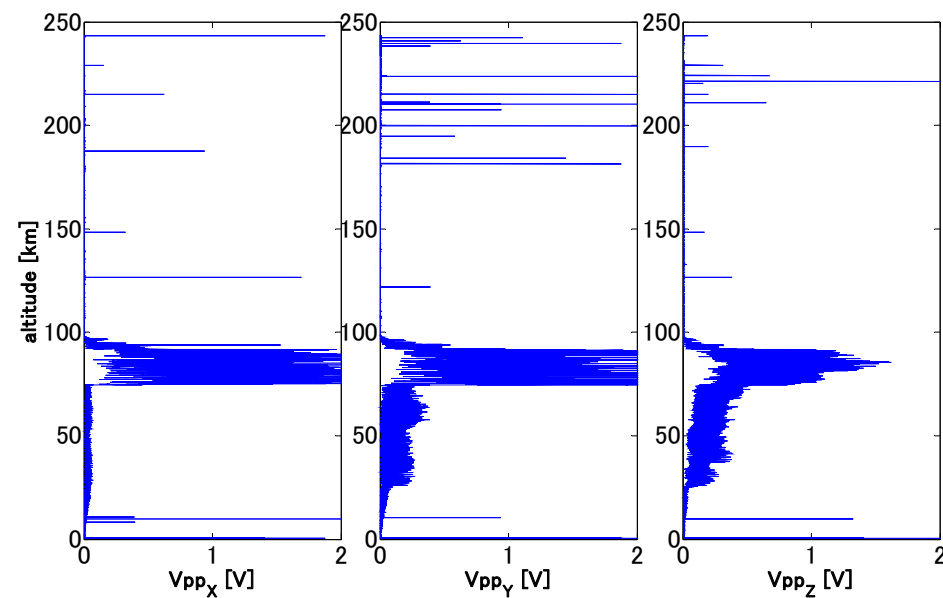


S-520-29号機
(JAXA提供)

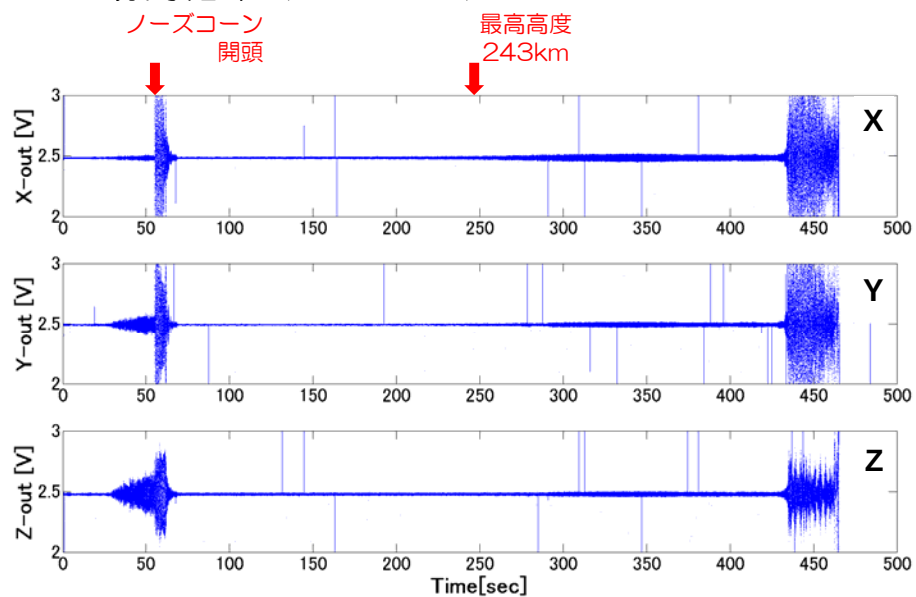
LMR観測結果 (873kHz)



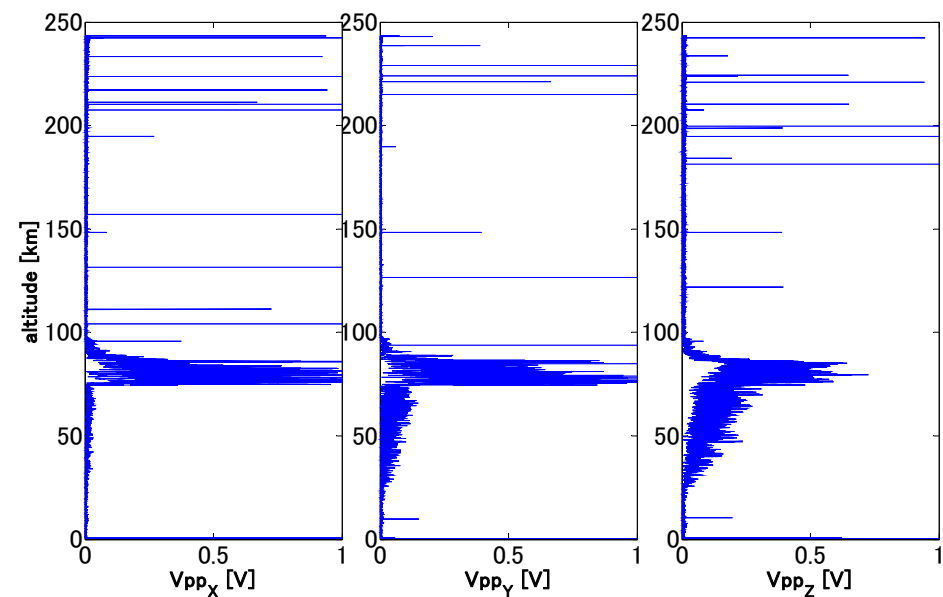
873kHz 高度-Vpp特性



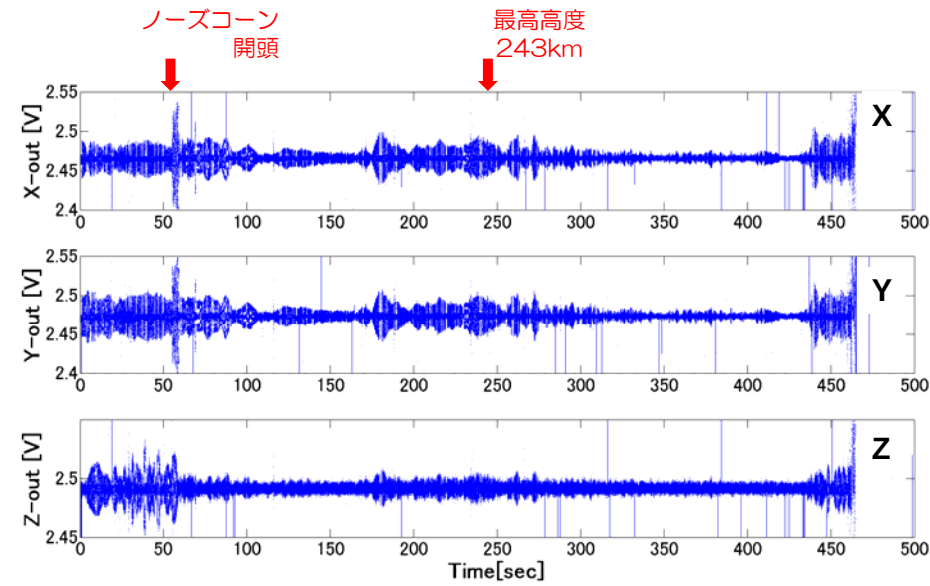
LMR観測結果 (666kHz)



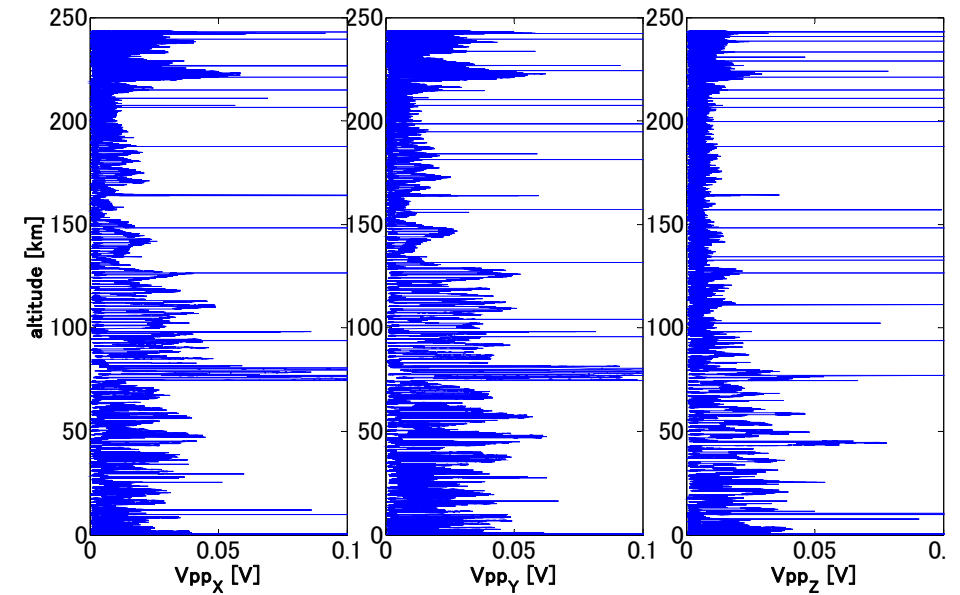
666kHz 高度-Vpp特性



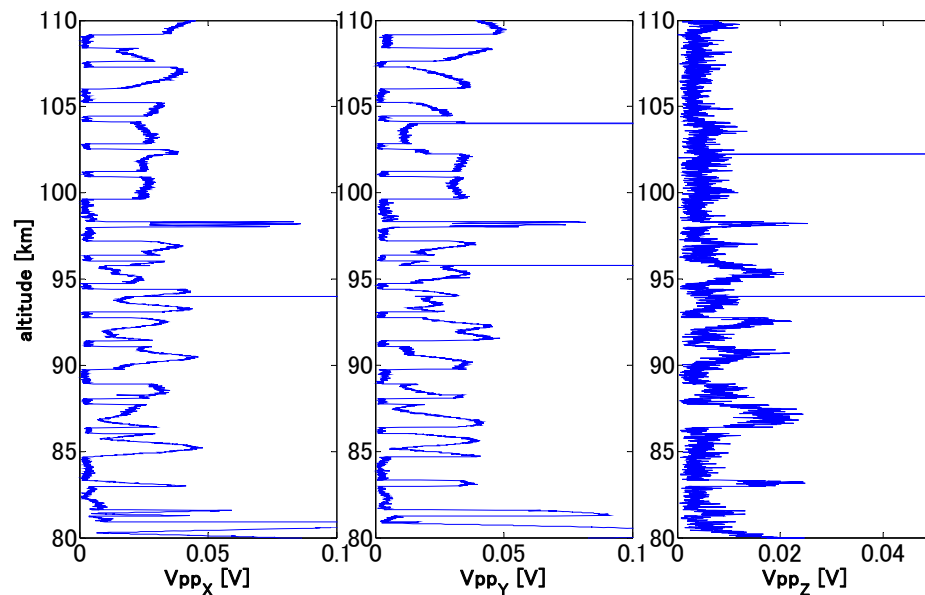
LMR観測結果 (60kHz)



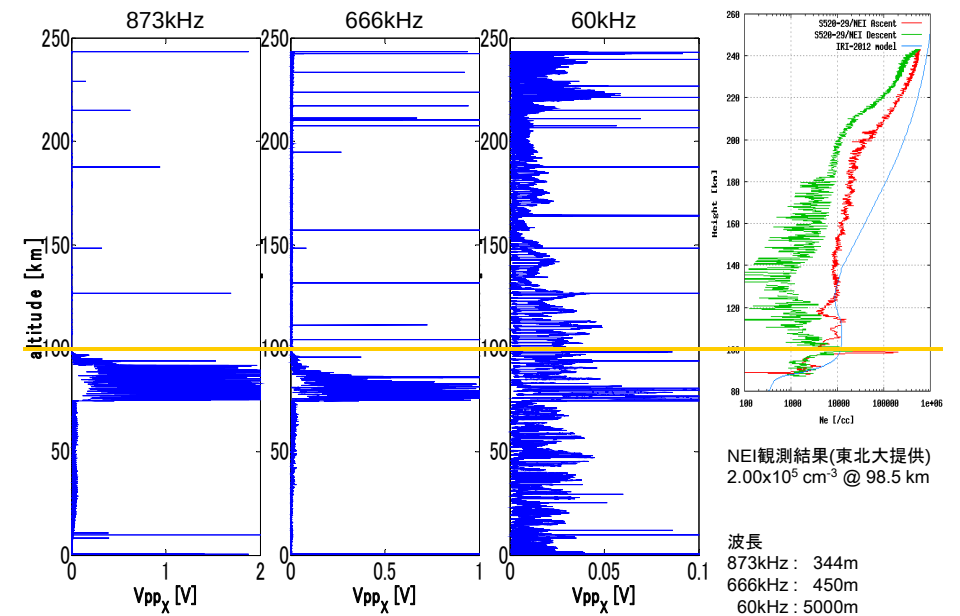
60kHz 高度-Vpp特性



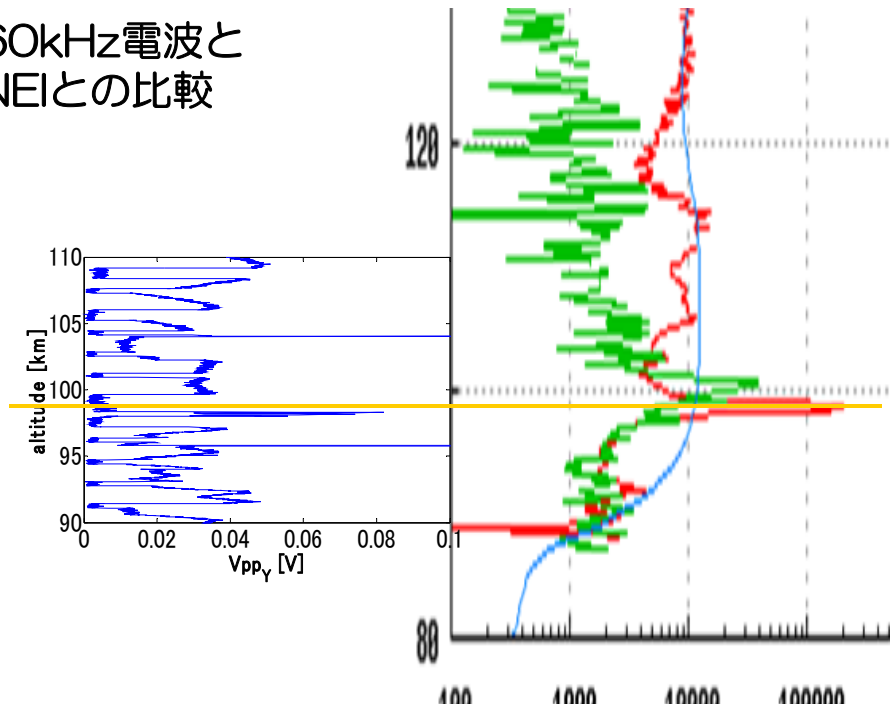
60kHz 高度-Vpp特性 (拡大図)



NEIとの比較



60kHz電波とNEIとの比較



偏波分離概念

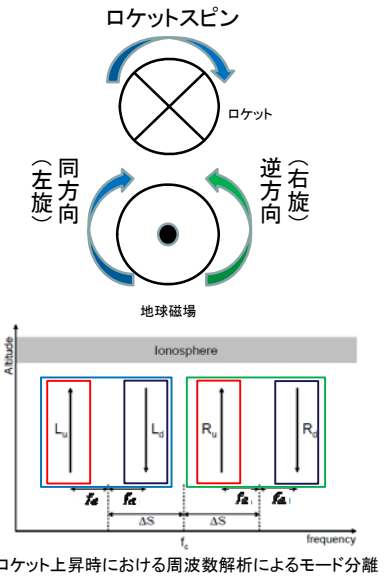


中心周波数 f_c
ドップラーシフト f_d
ロケットスピン周波数 ΔS

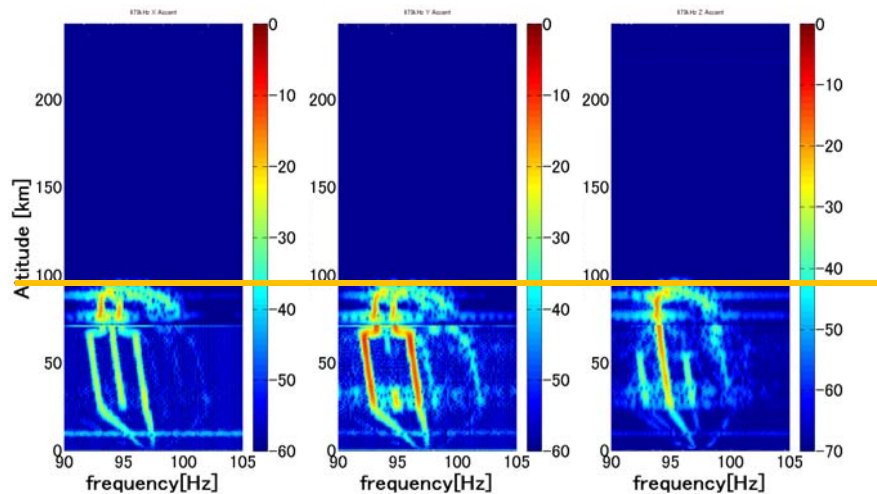
$$\begin{aligned} L_u (\text{左旋} \cdot \text{上昇波}) &= f_c - f_d - \Delta S \\ R_u (\text{右旋} \cdot \text{上昇波}) &= f_c - f_d + \Delta S \\ L_d (\text{左旋} \cdot \text{下降波}) &= f_c + f_d - \Delta S \\ R_d (\text{右旋} \cdot \text{下降波}) &= f_c + f_d + \Delta S \end{aligned}$$

$$f_d = -\frac{1}{2\pi} \mathbf{k} \cdot \mathbf{V}$$

ドップラーシフト周波数 f_d を求めることで、
伝搬ベクトル $\mathbf{k}$ を求めることができる
伝搬ベクトルから電子密度推定が可能。

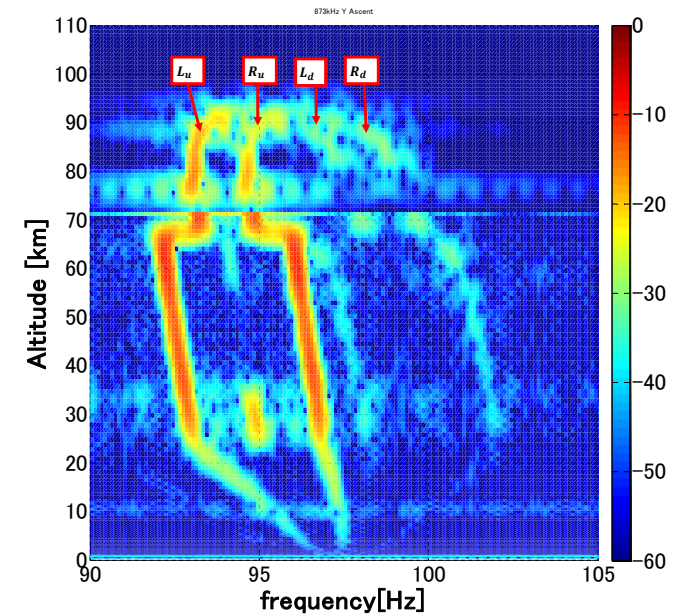


LMR観測結果 (873kHz上昇時)

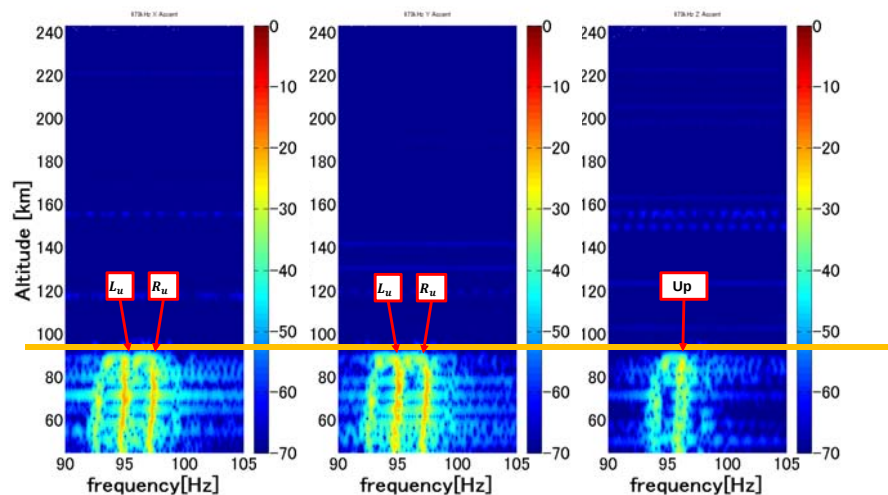


100km以上の領域に伝搬していない

LMR観測結果 (873kHz上昇時, Y成分)



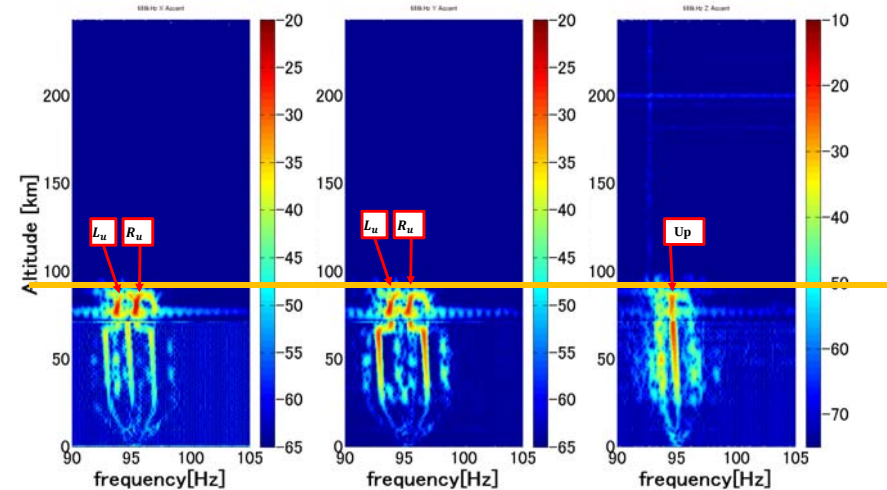
LMR観測結果 (873kHz下降時)



100km以上の領域に伝搬していない
上昇時よりも低い高度で反射

21

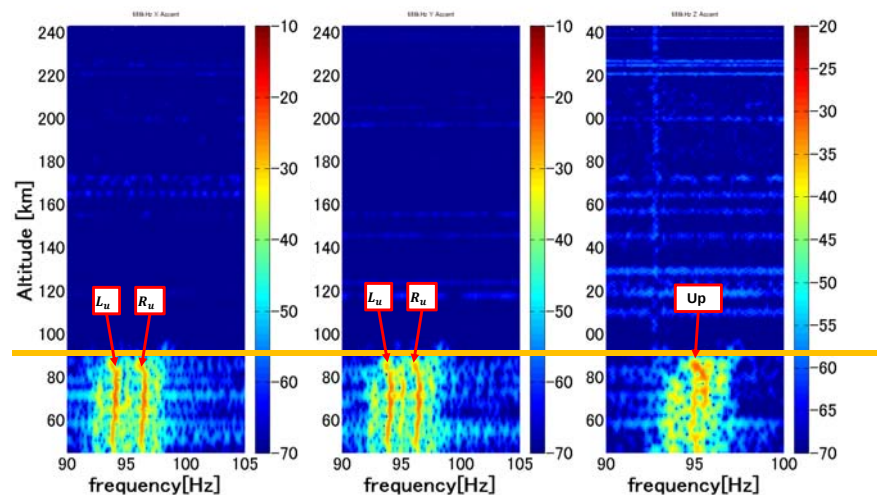
LMR観測結果 (666kHz上昇時)



100km以上の領域に伝搬していない

22

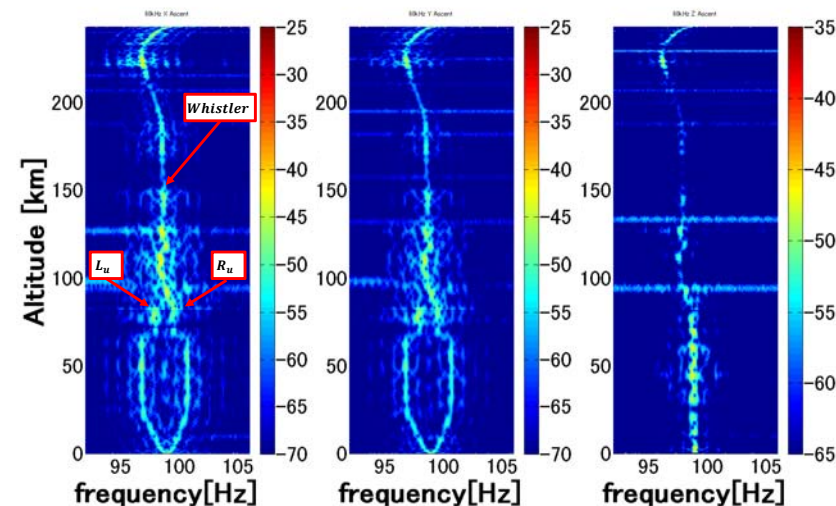
LMR観測結果 (666kHz下降時)



100km以上の領域に伝搬していない
上昇時よりも低い高度で反射

23

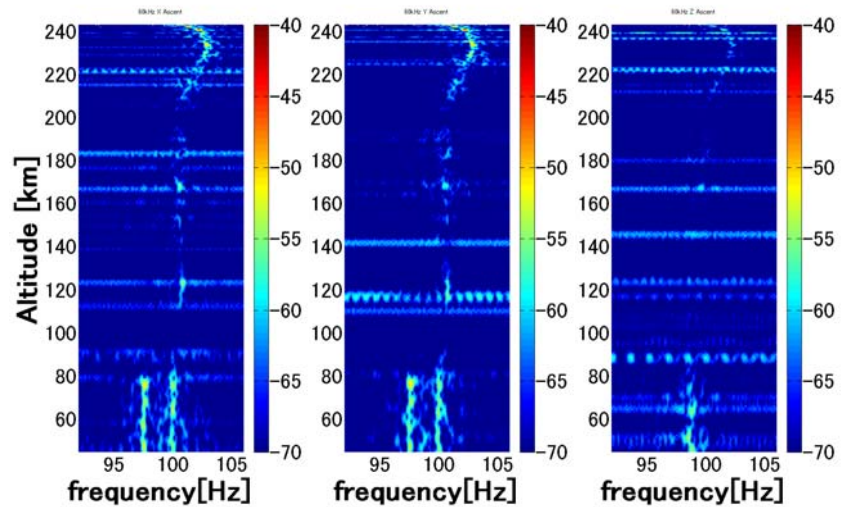
LMR観測結果 (60kHz)



100km以上の領域に伝搬している

24

LMR観測結果 (60kHz下降時)



25

まとめ

S-520-29号機ロケット実験



搭載機器は正常動作

電波強度

- 873kHz・666kHz電波は完全反射している
- 60kHz電波は上空に透過している

周波数解析

- 偏波分離可能
- 873kHz・666kHz電波・60kHz
→ 反射高度までの密度推定可能
- 60kHz電波
→ 最高高度までの密度推定可能か検討

スポラディックE層発生時の電離圏内の電子密度推定