

S-310-40 号機による夜間中緯度電離圏領域における電波伝搬解析 — 観測結果速報 —

石坂 圭吾, 深澤 達也(富山県大),
阿部 琢美, 北野谷 有吾, 井口 恭介(ISAS/JAXA),
遠藤 研, 熊本 篤志(東北大)

1. はじめに

夜間に内之浦にて中波帯ラジオ放送を受信すると、昼間は受信不可能な放送を受信することができる。これは、中波帯電波を吸収する電離圏 D 領域が夜間は消滅するため、電波の反射高度が上昇し、昼間よりも遠方に中波帯電波が伝搬可能になるためである。しかし、夜半ごろになると、突然放送波が受信できなくなる場合がある。これは、夜間に発生したスポラディック的に発生した D 層もしくは E 層が発生し、放送波が昼間と同じような高度で反射もしくは吸収されたと考えられる。電波伝搬の異常が見られるときにおいて、山川に設置されているイオノグラム観測によると、下部電離圏にはスポラディック E 層 (or D 層)は確認されていない。このことから、夜間に局所的な電子密度増加領域が発生し、中波帯ラジオ電波の電波伝搬に影響を与えていると推測される。このような中波帯電波が異常伝搬をしている際の、電離圏環境は調査されておらず、夜間電離圏下部領域の電子密度プロファイルは得られていない。また、夜間におけるスポラディック D 層もしくは E 層の発生原理については未解明である。そこで、中波帯電波の異常伝搬する原因の特定を目的として、電離圏下部領域内において直接電波伝搬観測と電子密度計測を行い、電離圏環境と電波障害の関係について調査する。

本ロケット実験は 2011 年 12 月 19 日 23:48 (JST)に内之浦宇宙空間観測所にて実施された。ロケットは打ち上げ後、最高高度 180 km に達した。また、搭載機器はすべて正常動作し、有益な観測が行われた。本報告では、S-310-40 号機搭載の科学観測装置による初期観測結果について述べる。

2. S-310-38 号機観測ロケット実験概要

本ロケット実験では、夜間の電波伝搬異常時の電離圏中の様子を調査する。そのため、地上において、NHK 熊本第 2 放送波(873kHz)を観測し、5 分程度受信できない状態が継続していることを確認したのち、ロケットを打ち上げる。本ロケット実験計画の模式図を図 1 に示す。本ロケット実験では、4 つの電波を同時に観測する。これは、図 1 に示すように 1 つの送信局からロケットまでの伝搬路において、高電子密度領域が存在している場合、急激な減衰が見られる。しかし、その他の送信局からの電波では、減衰が見られない場合、ロケットの飛行位置と地上送信局との位置関係を用いることにより、電波を減衰させる局所的な高電子密度領域の位置と大きさを推定することが可能となる。なおロケットの高度に関しては、できるだけ高度方向の電子密度プロファイルを調査するため、最高高度は 180 km 程度とし、ロケット打ち上げ角は、76 度程度とする。

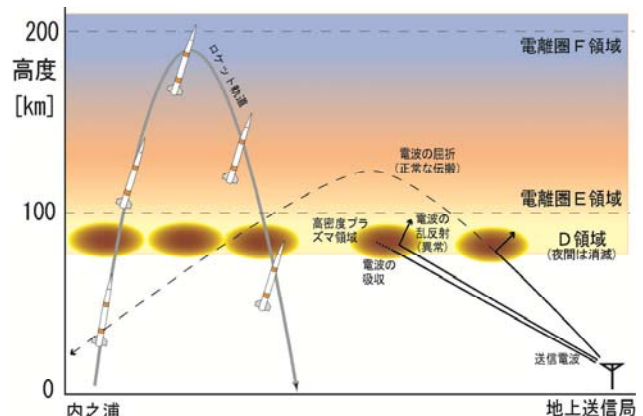


図 1 : S-310-40 号機観測ロケット実験概要

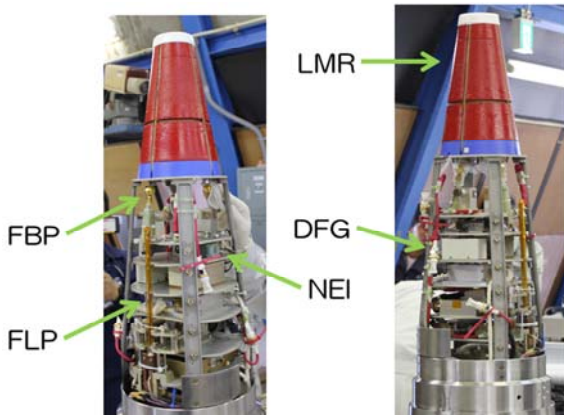


図2 S-310-40号機搭載科学観測装置外観

図2はS-310-40号機に搭載された科学観測機器の外観であり、表1は科学観測装置一覧である。S-310-40号機には6種類の科学観測装置が搭載されている。中波・長波帯電波受信機は、図3に示すように地上から発信されている電波時計用電波60kHz(1, JJY), 中波帯放送波873kHz(2, NHK熊本第2放送), 無線航行用ビーコン405kHz(3, 南大東空港), 大阪から送信されている中波帯放送波666kHz(4, NHK大阪第1放送)をロケット軌道上で受信し、得られた電波伝搬特性から電離圏中の電子密度プロファイルを推定することができる。図3中の青矢印はロケットの飛翔方向を示しているが、本ロケット実験では、ロケットから見ると、北・南・東方向から伝搬してくる電波を受信することにより、電離圏中の電子密度プロファイルの微細構造の推定が可能となる。また、地上から電波を受信できるようにループアンテナを電波透過性のノーズコーン内に展開している。これにより地上-電離圏間の電波伝搬特性が得られる。

電子密度プロファイルを観測するものとしてラングミュアプローブ・固定バイアスプローブおよびインピーダンスプローブが搭載されている。ラングミュアプローブはロケットに搭載されたガラス封じ円筒型ラングミュアプローブを用いて電子温度と電子密度の測定を行う。また、固定バイアスプローブは、直径3cmの球プローブに直流電圧を印加し、プローブに流入する電流をモニタすることで電流の変化を測定する。特に本ロケットでは、2つの球プローブを搭載し、一方には正、他方には負の電圧を印加し、それぞれ電子電流とイオン電流を測定する。インピーダンスプローブはロケットに搭載された長さ1.2mのリボンアンテナ(Be-Cu)をプローブとする標準型インピーダンスプローブによって、電離圏プラズマ中のUHR周波数を検出し、ロケットの軌道に沿った電子密度プロファイルを高精度で得ることができる。本ロケット実験では、これらの電子密度観測結果を相互比較し、クロスチェック観測が可能である。

本ロケットには、S-310-38号機に搭載されたデジタル方式フラックスゲート磁力計を改良した磁力計が搭載されている。S-310-40号機に搭載された磁力計は、新たに分解能16bitのデルタ-シグマDACを組み込んだものとなっている。磁力計による姿勢決定の目標精度は、主磁場とロケット機軸の成す角度 2° 以内である。

表1 科学観測装置一覧

| 搭載機器名 | 測定項目 |
|-------------------|--------------|
| 長波・中波帯電波受信機 (LMR) | 中波・長波帯電波伝搬特性 |
| ラングミュアプローブ (FLP) | 電子温度・密度 |
| 固定バイアスプローブ(FBP) | 電子電流・イオン電流 |
| インピーダンスプローブ (NEI) | 電子密度 |
| 地場計測器 (DFG) | 磁場 |
| 地平線撮像姿勢計 (HOS) | ロケット姿勢 |



図3 ロケットで観測する電波の送信局の位置
本文中の番号と地図上の番号が対応している。

また、ロケットの姿勢を決定する機器として、地平線センサーが搭載されている。地平線センサーは、波長 10~15 μm 付近の熱赤外線領域において大気からの放射を検出し、ロケットから見た地平線方向を決定する。上述の磁力計のデータと合わせて、搭載された観測機器のデータ解析を行う際に重要となるロケットの姿勢を正確に決定することが可能である。

3. S-310-40 号機観測結果

地上での電波観測において受信強度が減衰していることを確認したのち、S-310-40 号機観測ロケットは、2011 年 12 月 19 日 23:48 (JST)に内之浦宇宙空間観測所から打ち上げられた。ロケットは、打ち上げ後 210 秒で最高高度 180 km に達した。以下に S-310-40 号機観測実験により得られた初期観測結果を記す。

図 4 はロケット上昇時に得られたラングミュアプローブ (FLP), 固定バイアスプローブ (FBP), インピーダンスプローブ (NEI), 長波・中波帯電波観測装置 (873 kHz) の観測結果である。これらのパネルの縦軸は高度 [km] である。横軸はそれぞれの観測機器の出力に応じた単位になっている。なお、FLP, NEI の観測はノーズコーン開頭後のセンサー展開・プローブ伸展後 (ロケット打ち上げ後 62 秒, 高度約 79 km) から行われた。

FLP, FBP, NEI の観測結果から、電子密度のメインピークが高度 104 km 近傍にあり、電子密度は $5.7 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$ と観測されている (図 4 中の緑の水平線)。このとき、873 kHz の電波観測結果をみると、高度約 100 km 付近から徐々に電波強度が減衰しており、電子密度のメインピークの高度付近においても電波強度の急激な減衰は見られない。また、高度 104 km 以上の領域において、電子密度は $2.0 \times 10^3 \sim 3.0 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$ でほぼ一定となっている。そのため、観測された電波伝搬特性をみると、電波強度が減衰することなく高度 180 km の領域まで伝搬している。これはこれまで観測された電子密度プロファイルと比べると低い電子密度プロファイルとなっているため、電波が電離圏下部領域で反射・吸収されず、上空まで伝搬していること示唆している。

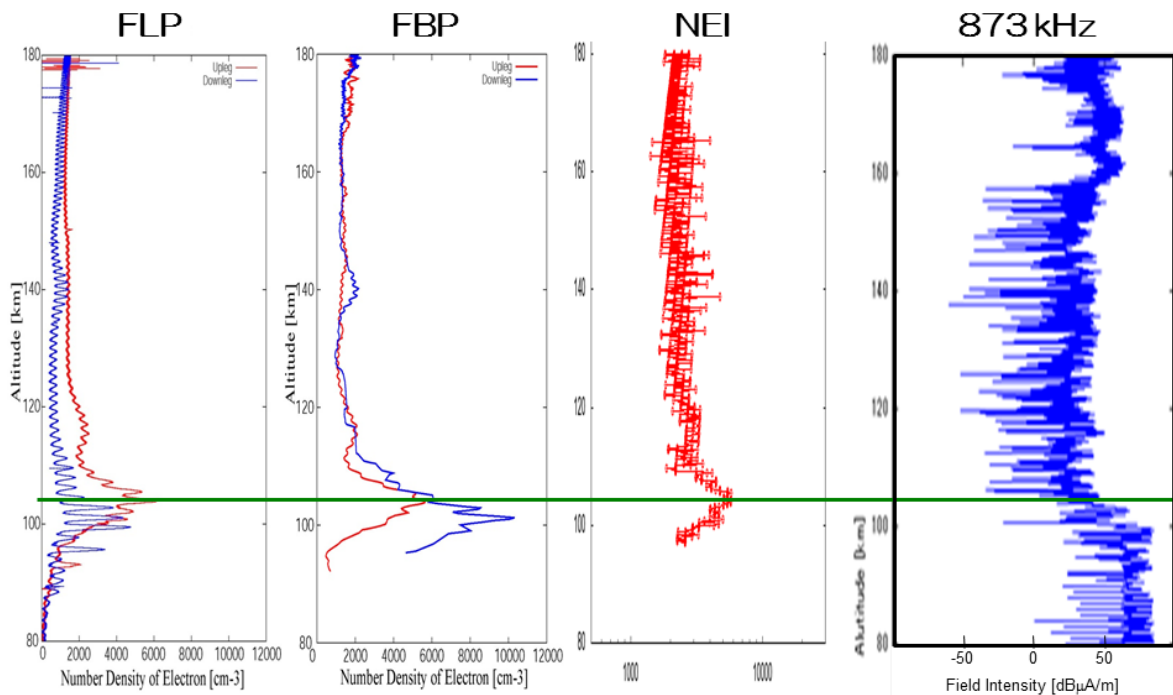


図 4 FLP, FBP, NEI, 873kHz 電波(LMR)の観測結果

図5はデジタル方式フラックスゲート磁力計(DFG)の観測結果である。図5上図を見るとロケットのスピンの周期は、デスピンの際によりスピンドアウンし、大気に再突入するまで約0.7 Hzで安定してスピンしている。また、図5下図は、DFGにより観測された地磁気姿勢角である。地磁気姿勢角は、機軸と磁力計から算出した磁場ベクトルのなす角で定義される。図5下図より、打上げからデスピン・ノーズコーン開頭の間、ロケットはほぼ一定の姿勢を維持し、大気に再突入するまで約15度の角度で歳差運動をしている。

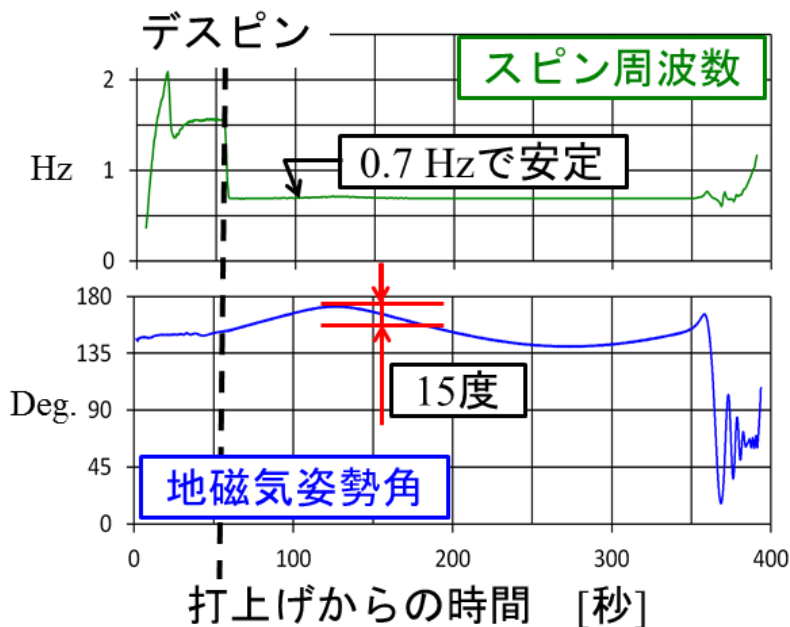


図5 DFGによる観測結果。(上：スピン周期，下：地磁気姿勢角)

4. まとめ

本報告では2011年12月に打ち上げられたS-310-40号機観測ロケットに搭載された科学観測装置の初期観測結果について述べた。搭載機器はロケット飛行中、正常動作し、電離圏中の有益な観測が実施できた。電離圏中の電子密度プロファイルを計測するために搭載されたラングミュアプローブ、固定バイアスプローブ、インピーダンスプローブ、長波・中波帯電波観測装置によって得られた結果から、ロケット上昇時の高度104 km付近に電子密度のピークが見られた。なお、観測されたメインピークの電子密度は $5.7 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$ であった。本ロケット実験において改良型のデジタル方式フラックスゲート磁力計が搭載され、ロケット軌道上において正常動作し、宇宙空間での動作が実証された。

本ロケット実験は、夜間地上で電波が受信できない時の電離圏中の電子密度を直接観測および電波を用いて、総合的に観測した。今後、各観測装置によって得られた観測結果を総合し、電離圏中の電子密度構造の調査を行う。これにより、夜間における電波の異常伝搬発生時の電離圏プラズマ密度構造と電波伝搬の関係について解明する。そして、中波帯放送を含む電波の電離圏中の伝搬に関する情報を提供することができ、安定した電波利用を行うための基礎データを提供できると期待される。