

S-310-41 号ロケット搭載 PDI の開発と中層・高層大気中における音波伝搬特性の直接計測

システム工学群 山本研究室 1130056 木原大城

1. 背景

高層大気中における音波伝搬路は基本的に温度場と風速場に依存しており、主な大気モデルにより導出可能であるが、この実測が比較的難しく過去の実験例も極めて限られている。1960年代には、観測ロケットに搭載した火薬を爆発させ地上の複数地点での音波伝搬特性から温度と風速の計測を行ったグレナード法 (Stroud et al., 1960) が実施され、1990年代には、低周波音波発生装置により高層大気に向けて音波を送り、大気疎密を発生させ MU レーダー (Middle and Upper Atmosphere Rader; 中層・高層大気観測レーダー) で観測を行う RASS (Radio Acoustic Sounding System) による計測が実施された (Tsuda et al., 1994) が、飛翔体を用いた直接的な高層大気音波計測は実施されていない。

2. 目的

本研究では、ロケット搭載音波伝搬特性計測装置 PDI (Propagation Diagnostics in upper atmosphere by Infrasonic/Acoustic waves) を開発、搭載することで、中間圏・下部熱圏の音波伝搬特性を世界で初めて直接計測し、高度プロファイルを取得するとともに、地上設置センサにてインフラサウンド (周波数 20 Hz 以下の可聴下音) と可聴音 (同 20 Hz から 20 kHz) の同時観測を行うことでインフラサウンドと可聴音の 3 次元長距離音波伝搬路の解明を目的とする。さらに、地上設置 MU レーダー・RASS 用低周波発生装置から音波を上空に送出し、飛翔中のロケットでの観測を試みるとともに、ロケット燃焼時の燃焼音、ノーズコーン開頭およびメインペイロード分離時の火薬爆発音を音波源として搭載用マイクにより計測することで音速、大気温度の算出を行うことを目的とする。

3. 搭載機器 PDI の開発、打上げに伴う準備

ロケット搭載音波伝搬特性計測装置 PDI (図 1) は、音波源となるスピーカー、検出器であるマイク 3 台、音波制御などを行うエレキ部、圧力センサにより構成されている。PDI は、先行研究により搭載機器を選定、本学の小型真空チャンバと JAXA 宇宙科学研究所の大型スペースサイエンスチャンバを用いた較正実験により PDI スピーカーからの出力音波強度、周波数、PDI マイクのアンプゲインなどが決定された。PDI のロケット搭載に伴い、個別環境試験 (真空試験、熱試験、振動・衝撃試験)、頭胴部環境試験 (噛合せ試験、振動・衝撃試験、スピンドライマ試験) を実施した。

また、打上げに伴う準備としてロケットより受信したデータをリアルタイムで確認するための Quick Look (QL) ソフトを開発した。



図 1 S-310-41 号搭載 PDI

4. S-310-41 号ロケット実験概要

2012 年 8 月 7 日 16:30 (JST)、JAXA 内之浦宇宙空間観測所より観測ロケット S-310-41 号機が打ち上げられた。本ロケットのメインペイロードは、エアロジェル展開を行う工学実験であり、本研究で開発した PDI はサブペイロードの 1 つとして搭載を行った。

本実験では、PDI スピーカーより出力電力 1 W、周波数 10 Hz から 1 kHz までの 7 周波および無音を 0.2 秒ずつ計 1.6 秒の音波を繰り返し出力し PDI マイクにより計測、ならびにロケット燃焼音、ノーズコーン開頭およびメインペイロード分離時の火薬爆発音を音源として観測を実施した。また、地上からはロケット打上げ前より地上設置 RASS 用低周波音発生装置から周波数 50 Hz、100 Hz の音波 (120 dB) を一定間隔で送出し、ロケット飛翔中に PDI マイクで観測を試みた。

5. 飛翔実験結果

S-310-41 号搭載 PDI は、予定通り動作し、打上げから約 34 秒 (高度約 35 km) までロケット燃焼音が計測された。その後、搭載スピーカー出力音の計測が開始され、最高高度 150 km 到達後も出力音を確認することができた (図 2)。飛翔中に実施された火薬爆発音の計測にも成功したが、地上より送出した音波は PDI マイクで取得した音波からは確認できなかった。また、地上設置センサにてロケット打上げに伴うインフラサウンド、可聴音の観測にもついても、射点から 13 km 以内の 6 地点で 27 秒後までの音波を観測した。

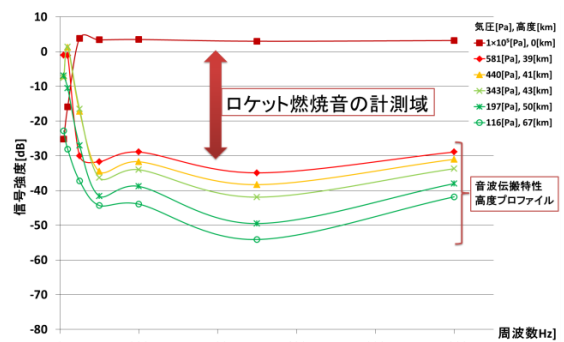


図 2 PDI マイクより計測された音波伝搬特性

6. 考察および結論

本研究により開発されたロケット搭載機器 PDI は、最高高度 150 km 到達後も正常に動作し、世界で初めて中間圏・下部熱圏での音波伝搬特性の直接計測を行った。取得した高度プロファイルから高度 (気圧) の変化に伴って信号強度が減衰していることが明瞭に確認できた。ロケット飛翔中の火薬爆発音による取得波形の変動を確認できた。これらから音速、大気温度の算出を行ったが、サブペイロード用に確保できたテレメトリ通信容量が不足しており理論値とは大きな誤差が生まれる結果となった。音波伝搬特性の高度プロファイルは Sutherland et al. (2004) による理論計算によく一致する世界初の実測結果を得た。