

## S-310-41号観測ロケット搭載PDIによる中層・高層大気における音波伝搬特性の計測と初期解析

# 木原 大城 [1]; 山本 真行 [1]; 森永 隆稔 [1]  
[1] 高知工科大

### Measurement and preliminary analysis of sound wave propagation characteristics in middle and upper atmosphere by PDI/S-310-41

# Daiki Kihara[1]; Masa-yuki Yamamoto[1]; Takatoshi Morinaga[1]  
[1] Kochi Univ. of Tech.

#### 1. Introduction

Sound propagation characteristics in middle and upper atmosphere basically depend on atmospheric temperature and wind. Mainly, they can be derived by empirical atmospheric models. But this measurement is comparatively difficult and previous experimental results are very limited. In 1960's, multiple grenades on-board a sounding rocket were used for measuring the sound propagation of explosions at multiple sites on ground in order to obtain temperature and wind profiles in middle and upper atmosphere. In 1990's, a measurement method by using MU-Rader with RASS (Radio Acoustic Sounding System) was developed. In order to detect acoustically modulated atmosphere by MU-Rader, the RASS sends low-frequency sound pulses from the ground. However, in-situ sound measurement in middle and upper atmosphere by using a rocket has never been carried out.

#### 2. Experiment outline of PDI on-board S-310-41

The S-310-41 sounding rocket is scheduled to be launched this summer. Main mission of the rocket is engineering experiment by an aeroshell, testing a new reentry system. In order to investigate sound wave propagation characteristics PDI (Propagation Diagnostics in upper atmosphere by Infrasonic/Acoustic waves) is installed as one of 3 sub payloads.

The PDI consists of a speaker for generating sound source, one main microphone and two sub microphones as sound detectors, and a sound generator circuit. Those devices will be operated by sending 7 fixed-frequency sound waves between 10 Hz and 1 kHz at output power of 1 W for each 0.2 s with keeping silent for another 0.2 s, having a repetition of every 1.6 s. Measurements of audible sound noise by rocket motor burning, an operating sound of nose-cone open and payload separation will also be carried out. A RASS-type speaker set up on ground will generate high-power pulsating sound at 50 Hz and 100 Hz before the rocket launch from the ground so as to perform a trial measurement by the on-board microphones. The purpose of experiment is direct measurements of frequency characteristics of sound propagation in middle atmosphere by PDI.

#### 3. Pre-flight experiment

As a laboratory experiment, by putting 3 microphones and a speaker in vacuum chambers at Kochi University of Technology and ISAS/JAXA, measurement of sound wave propagation characteristics in rarefied atmospheric environment has been performed with simulating equivalent environment up to 100 km altitude level ( $10^{-4}$  Pa). As a result, it was confirmed that received signal strength was decreased in rarefied condition. Sound wave is known as pressure fluctuation in gaseous medium. By vibrating molecules in the atmosphere, it propagates as dilatational waves, hence, the propagation characteristic directly depends on density and temperature of the atmosphere. The decreasing signal strength is related on number of molecules in rarefied atmospheric condition. As was shown by previous studies on the frequency characteristics of sound propagation in upper atmosphere (e.g. Sutherland et al., 2003), the sound wave less than 50 Hz are comparatively easy to propagate to the upper atmosphere, therefore, we will investigate the characteristics by in-situ measurements.

#### 4. Summary

Direct measurement of sound propagation characteristics by using a sounding rocket in middle and upper atmosphere is the world-first trial. The purpose of experiment is in-situ measurement of the frequency characteristics of sound propagation in middle and upper atmosphere. Pre-flight experiments of the on-board instrument PDI were ended by April, 2012. At present, preparations for the flight operation including some instruments on the ground are in progress.

In this presentation, preliminary results of PDI on-board the S-310-41 sounding rocket will be shown, comparing between obtained data and theoretical calculation.

#### 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ネード法 (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 (Middle and Upper Atmosphere Rader; 中層・高層大気観測レーダ) で観測を行う RASS (Radio Acoustic Sounding System) が実施されているが、飛翔体を用いた直接的な高層大気の音波計測は実施されていない。

## 2. S-310-41 号機実験概要と搭載機器

S-310-41 号観測ロケットは、本年度の夏季に打上げが予定されている。本ロケットのメインペイロードは、エアロシェル展開を行う工学実験であり、我々が開発を行ったロケット搭載音波伝搬送受信機器 PDI ( Propagation Diagnostics in upper atmosphere by Infrasonic/Acoustic waves ) はサブペイロードの 1 つとして搭載される。

本ロケット搭載機器 PDI は、音波源となるスピーカー、検出器であるマイク、音波制御回路、圧力計により構成されている。スピーカーから出力電力 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 秒刻みに繰り返し送出しマイクにより計測、ならび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源として観測を行う。また、地上からはロケット打上げ前より RASS 用低周波音発生装置から周波数 50 Hz、100 Hz の音波を一定間隔で発生させ、ロケット飛翔中に搭載マイクにより観測を行う。

本実験は、PDI を用いて中層・高層大気において音波伝搬の周波数特性の直接計測を行うことを目的としている。

## 3. 予備実験

地上予備実験として、我々は、搭載用マイクとスピーカーを高知工科大学および JAXA 宇宙科学研究所の真空チャンバ内に設置し、高度約 100 km の大気圧 ( およそ  $10^{-4}$  Pa ) までの音波伝搬特性を計測した。その結果として、真空チャンバ内の気圧が下がるに伴い信号強度が低下するデータを取得することができた。音波は、圧力変動であり大気中の分子が振動し、疎密波として伝搬しているためその伝搬特性は、媒質 ( 大気 ) の密度や温度に依存する。希薄な大気密度の状態を模擬することで分子の数密度が減少し受信信号強度の低下に繋がった。高層大気中の音波伝搬の周波数特性についての研究 ( e.g. Sutherland et al., 2003 ) は、50 Hz 以下の音波は比較的上空まで伝搬しやすいことをしめしており、我々は、これを実測により比較検証する。

## 4. まとめ

中層・高層大気中において観測ロケットを用いた音波伝搬特性の直接計測を行うことは世界初であり、本実験では、中層・高層大気においての音波伝搬の周波数特性の直接計測を最初の目的としている。搭載機器 PDI は、2012 年 4 月までに予備実験および環境試験を終了し、現在、打上げに向けて地上機器を含めた入念な準備を進めている。

本発表では、S-310-41 号観測ロケット打上げにより計測されるデータの初期解析結果を、理論計算および予備実験により得られたデータと比較しつつ報告する。