

R005-33

B会場：11/5 PM2 (15:45-18:15)

15:45~16:00

インフラサウンドセンサ搭載 MOMO7 観測ロケットを用いた中層・高層大気中における低周波音計測

#水野 和樹¹⁾, 山本 真行²⁾, 西川 泰弘³⁾, 田中 智泉⁴⁾

⁽¹⁾ 高知工科大学大学院工学研究科, ⁽²⁾ 高知工科大学システム工学群, ⁽³⁾ 高知工科大学システム工学群, ⁽⁴⁾ 東北大学大学院工学研究科

Low-frequency sound measurements using the MOMO7 sounding rocket equipped with infrasound sensors

#Kazuki Mizuno¹⁾, Masayuki Yamamoto²⁾, Yasuhiro Nishikawa³⁾, Tomomi Tanaka⁴⁾

⁽¹⁾ Graduate school of Engineering, Kochi University of Technology, ⁽²⁾ School of Systems Engineering, Kochi University of Technology, ⁽³⁾ School of Systems Engineering, Kochi University of Technology, ⁽⁴⁾ Graduate School of Engineering, Tohoku University,

Introduction

Sound propagation in the Earth's atmosphere is closely related to parameters such as temperature, wind, and air density.

In the stratosphere, the mesosphere, and the thermosphere, which are considered to be the most difficult areas for in-situ observation sounding rockets are the best methods to measure the sound at altitudes of 30 km or more. In this study, infrasound sensors and buzzers were installed in the sounding rocket "MOMO" operated by a private company. We measured the propagation of the buzzer sound at each altitude, and also observed impulsive sound generated with fireworks launched from a near site of the rocket launcher. In addition, the shock wave emitted when the rocket itself reached the speed of sound was observed by using 9 sensors deployed on the ground and sensors aboard the rocket.

Purpose of the rocket experiment

The first purpose is to measure the signal strength of the buzzer sound inside the rocket at each altitude to investigate the propagation of sound at each altitude. The second one is to measure the sound generated with the fireworks on the ground by using the sensors aboard the rocket.

The third one is to observe the shock wave generated when the rocket descends with exceeding the sound speed, both on the ground and in the sky, to investigate how the shock wave propagates.

Observation Results

The sounding rocket MOMO7 developed by Interstellar Technologies Inc. was launched at 17:45 JST on July 3, 2021 in Taiki, Hokkaido, Japan.

Data of the infrasound sensor aboard the MOMO7 was acquired up to a maximum altitude of approximately 98 km during a time period of T+433 seconds after the launch(T) when to communications ground station were established.

The infrasound wave form data observed with the payload sensors shown in figure1.

Until T+120 seconds as noisy sound of the rocket engine combustion was observed, so the sound pressure values fluctuated violently. From there, the engine completed combustion at T+120 seconds, and the buzzing sound waveform could be observed up to around the highest altitude. However, no firework sound was observed and the buzzer sound did not show much variation than expected in attenuation at each altitude between 60 km~98 km. From the data obtained with the payload, a large amplitude signal was observed at T+ approximately 240 seconds. All ground-based sensors observed a shock wave that may have been generated during the rocket's descent.

Discussion and Conclusion

The lack of change in the attenuation of the buzzer at each altitude is thought to be due to the fact that the vibration of the buzzer entered the sensor through the base.

As for the fact that the sound of the fireworks could not be observed in the sky, the fireworks were No. 4 fireworks under the restriction of the town of Taiki, and they were launched at a distance of about 14 km from the launch site of the rocket. It is thought that the sound was attenuated and did not reach the target due to the distance and insufficient power. As a measure for improvement, it would be better to increase the number of fireworks and launch them along the coast as close as possible to the rocket launch site.

The large signal observed at T+240 seconds was generated at an altitude of 98 km while the rocket body was accelerating at 286 m/s. This signal may have been generated immediately after the shock wave was generated. If so, it can be interpreted that the speed of sound is 286 m/s at an altitude of 98 km.

In this study, we were able to observe the buzzing sound up to an altitude of 98 km, and concluded that it is effective in predicting the propagation of sound at different altitudes. In the next experiment, it is necessary to replace the buzzer with a

device that expels air instantaneously to mitigate the resonance with the base. Since shock waves were observed at all of the ground sensors, we would like to use grid search to identify the source of the shock waves from the ground sensor side and investigate how the shock waves propagate.

はじめに

地球大気中の音の伝わり方は温度、風、大気密度などのパラメータに密接に関わっており、それらの高度プロファイル及び時間変動の理解が進められてきた。その中でも計測が困難とされる、成層圏～熱圏の高度 30 km 以上の場所では観測ロケットがほぼ唯一の計測手段である。本研究では民間会社が運用する観測ロケット MOMO 内にインフラサウンドセンサとブザーを搭載した。そして、高度毎のブザー音の伝わり方を計測するとともに、車上の近隣地域から打ち上げた花火による爆発音の上空での観測を試みた。また、ロケット自身が音速に達したときに発生する衝撃波を地上 9 か所のセンサとロケット内センサを使って観測した。

ロケット実験の目的

目的は 3 つあり、1 つ目はロケット内で鳴らしたブザーの信号強度を高度毎に計測し、高度毎での音の伝わり方を調査すること、2 つ目は地上で打ち上げた花火による音響を上空にいるロケット内のセンサで計測し、地上から高高度への音の伝わり方を調査すること、3 つ目はロケットが下降時に発生する衝撃波を地上と上空で観測し、高高度から地上への音の伝わり方を調査することである。

観測結果

インターステラテクノロジーズ株式会社が開発した観測ロケット MOMO7 号機が 2021 年 7 月 3 日 17:45:00 JST に北海道大樹町にて打ち上げられた。

MOMO7 搭載のインフラサウンドセンサのデータは地上局との通信が成立した打ち上げ (T) から T + 433 秒までの時間帯、最高高度約 99 km までのデータを取得した。ペイロード内で計測されたインフラサウンド波形データを図 1 に示す。ペイロードデータの T+120 秒まではロケットエンジンの燃焼音が観測されており、音圧の値は激しく変動している。そこからエンジンが T + 120 秒で燃焼終了し、ブザー音の波形が最高高度付近まで観測することができた。しかし、花火音の信号は一切見られなかったことと、ブザー音は 60 km~98 km 間の高度毎の減衰の変化が予想ほど見られなかった。ペイロード内での計測データより、T + 約 240 秒に大振幅の信号を観測した。さらに全 9 地点の地上設置センサがロケット下降時に発生したと思われる衝撃波を約 9 分 40 秒後にそれぞれ観測した

考察および結論

高度毎の減衰の変化があまり見られなかった点に関しては、ブザーの振動が回路基板を通じてセンサに入ってしまった可能性が考えられる。

花火音が上空で観測できなかった点に関しては、花火は協力いただいた大樹町との取り決めにより 3 号玉と 4 号玉のみを使用しており、ロケット打ち上げ場所から約 14 km 離れた場所でしか打ち上げられなかった。距離が遠かったことと威力が十分でないことから音が減衰してしまい届かなかったと思われる。改善策としては花火の号数を上げ、ロケット射場に限りなく近い海岸沿いで打ち上げられれば良いと考える。

T + 約 240 秒に観測した大きな信号に関しては、高度 98 km、ロケット機体が下降に向かい 286 m/s で加速しているときに発生した信号であり、衝撃波の発生直後を捉えた可能性がある。正しければ、このとき高度 98 km では音速が 286 m/s だったと解釈できる。

本研究では高度 98 km までブザー音を観測することができ、高度毎の音の伝わり方の予測に有効だと結論付けた。次に実験する際には、空気を瞬間的に吐き出す装置をブザーの代わりに取り付け、基盤との共振を緩和させる必要がある。また地上センサ 9 地点のすべてにおいて衝撃波が観測されたので、グリッドサーチおよび音波レイ・トレーシングを使って地上センサ側から衝撃波発生源を特定して高層大気中での衝撃波の伝わり方を調査していきたい

