

# 火星地表面大気環境を模擬した音響伝搬特性の計測

藤津 裕亮<sup>1</sup>, 山本 真行<sup>2</sup>

<sup>1</sup>高知工科大学 大学院工学研究科, <sup>2</sup>高知工科大学 システム工学群

## 1. 背景および目的

2020年代に火星探査機の打ち上げが計画されており, シリーズ的な火星探査の実現が期待されている. 2016年現在, 火星大気中における音波観測は未だ行われていない. 探査用ローバーに本研究を反映して設計・開発するマイクを搭載できれば, ダスト現象に伴う暴風や雷による火星大気中の音の計測だけでなく, 大気中の物理量の間接計測も可能になるとともに, 春先の季節に発生する可能性のあるガス放出現象など最近注目され始めた火星地表面活動にもフォーカスしたリモートセンシングに応用できると期待される. 既に先行研究にて火星地表面を模擬した環境下でのマイク動作特性試験を行い, 動作を確認した<sup>[1,2]</sup>. これらの実験成果を踏まえ, 火星地表面の大気条件に大気組成以外が近い状況下となる成層圏でのインフラサウンド観測実験を2017年10月にスウェーデン, 北極圏の都市キルナ近郊にある大気球・観測ロケット等の実験場である Esrange Space Center にて BEXUS (Balloon Experiments for University Student) プロジェクトに参加する計画が進行している. 本発表では火星探査機に搭載するマイク評価モデルを大型サイエンススペースチャンバー内にて稼働させ, 温度条件を除いて火星大気を模擬した状況にて分子種の違う希薄大気中の音波減衰と音速に関して実験的に測定した結果について発表する.

## 2. 実験概要

本実験では, 真空チャンバー内の2点に設置した2つのマイクによって, 2点間距離と周波数による進行波の位相差から音速を導出するよう試みた. しかし, この実験方法では定在波によりどちらから進行してきた波であるか判断できず, 正確な音速の算出は困難と判断したため, 今回は補助的に測定を行ったチャンバー内の定在波の状況を測定したデータ群から音速の算出を行った. その方法としては, 大型サイエンススペースチャンバーを用い, チャンバー内を二酸化炭素, アルゴン, 空気でそれぞれ 7 hPa, 70 hPa の条件に設定した. また, 内部にスピーカーを設置することで図1に示す配置にて音速と音波減衰の測定を行った.

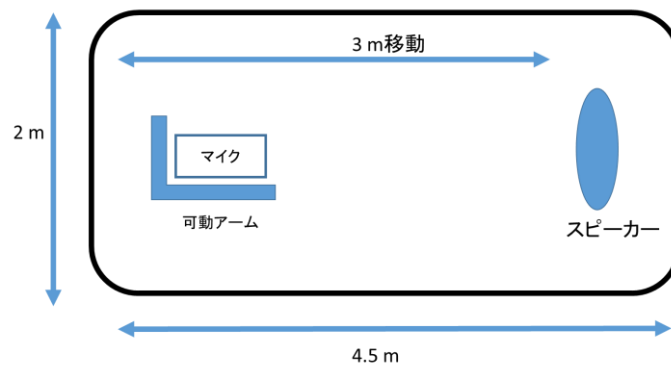


図1 真空チャンバー内配置図

実験方法としては可動アーム上にコンデンサマイクを配置し、3 m の可動範囲内を 250 mm ずつ動かすことで常時奥側に設置したスピーカーから 70, 100, 108, 95 Hz といった特定の周波数の sin 波を出力し続け、測定した振幅値から腹と節の半波長を算出し、出力した周波数から音速を実験的に求めた。各場所にて約 4 秒ずつ波形データを記録した。この時チャンバー内に存在した定在波のイメージを図 2 に示す。

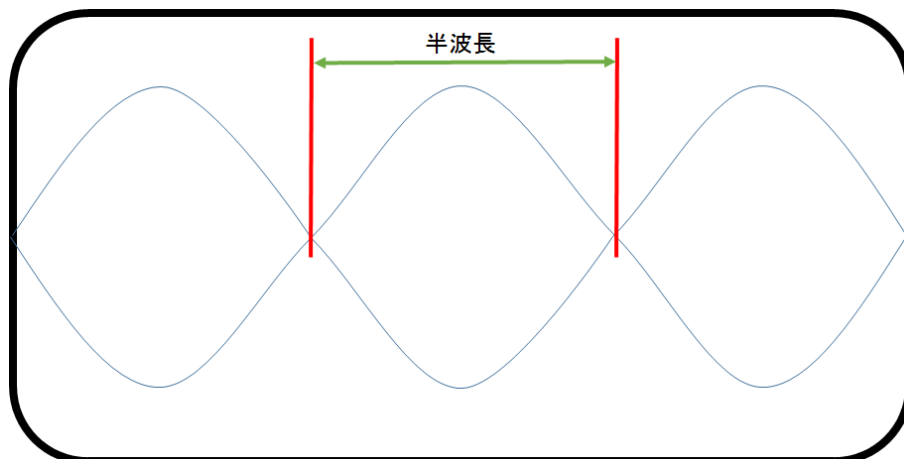


図 2 真空チャンバー内の半波長イメージ

図 2 に示す図は真空チャンバー内に現れる定在波の腹と節を示しており、マイクを移動させながら位置による受音振幅の変化をみることで半波長分の長さを測定する。本実験では 250 mm 間隔で移動させたため、音速測定の分解能が 70 Hz で 35 m/s, 100 Hz で 50 m/s, 108 Hz で 54 m/s である。

### 3. 実験結果

測定結果の一部を図 3 および図 4 に例示する。本実験の結果はチャンバー内の位置ごとに振幅強度を比較するものであり、縦軸を振幅[Pa]、横軸を距離[mm]とした。図 3 は二酸化炭素 100 % 大気、気圧 7 hPa に設定し、70 Hz の音波を出力した時、図 4 はアルゴン 100 % 大気、気圧 7 hPa に設定し、70 Hz の音波を出力した時の結果である。

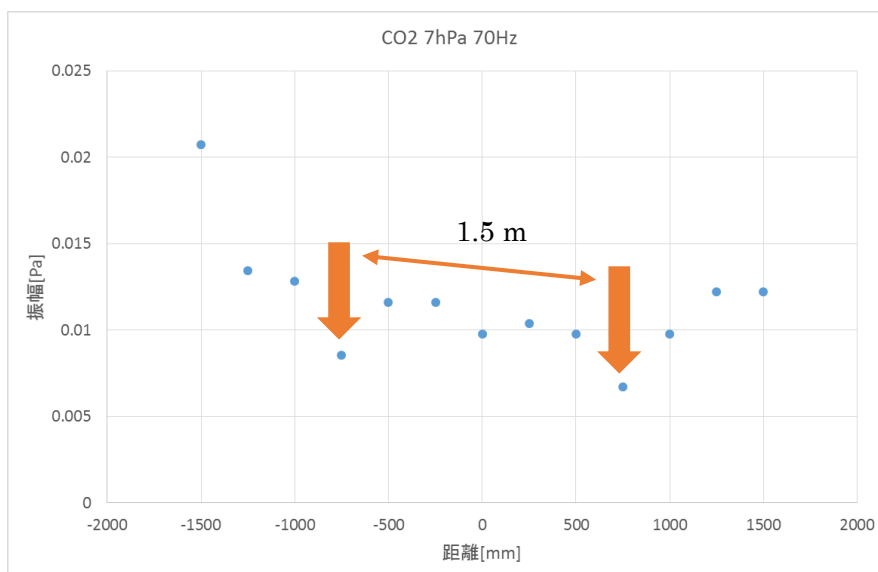


図 3 CO<sub>2</sub> 大気 7hPa 70Hz の定在波

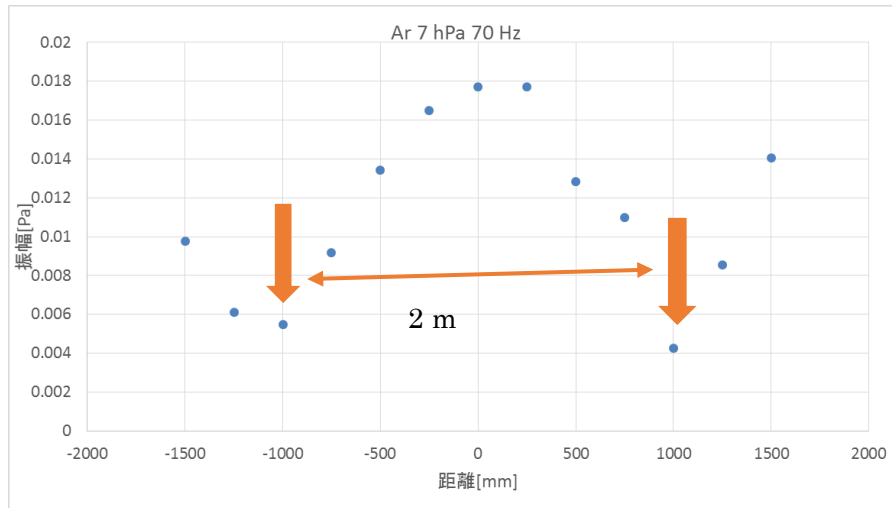


図 4 Ar 大気 7 hPa 70Hz の定在波

図 3 および図 4 で見られるように節の距離から定在波の半波長を得ることができ、これに出力した周波数条件を考慮して音速を求めた。図 3 の条件時の音速の理論値は 269.6 m/s であり、これに対し実験値は 210 m/s となった。図 4 の条件時の音速の理論値は 322.0 m/s であり、実験値は 280 m/s となった。

#### 4. 考察・まとめ

実験結果の値をまとめ、同じ大気組成・気圧条件で周波数のみ変化させたデータを平均し理論値と比較した結果を表 1 に示す。

表 1 音速データ

CO2	70 Hz	100 Hz	108 Hz	理論値	平均値	誤差
7 hPa	210 m/s	250 m/s	324 m/s	269.6 m/s	261.3 m/s	3.2%

Ar	70 Hz	100 Hz	108 Hz	理論値	平均値	誤差
7 hPa	280 m/s	350 m/s	270 m/s	322.0 m/s	300 m/s	7.3%
70 hPa	350 m/s	400 m/s	216 m/s	322.0 m/s	322 m/s	0.0%

空気	70 Hz	95 Hz	100 Hz	理論値	平均値	誤差
7 hPa	350 m/s	285 m/s	300 m/s	346.6 m/s	311.7 m/s	11.2%
70 hPa	350 m/s	332.5 m/s	300 m/s	346.6 m/s	327.5 m/s	5.8%

本実験は補助的な実験として行ったためデータ取得の分布(空間分解能)が粗かったにも関わらず、表 1 より、同じ大気組成・気圧条件で発生する定在波の位置が変わる測定データを平均化することにより平均値としては理論値との誤差 10%程度で得られたため、次の機会にはさらに理論値に近い値を得ることができると考える。

また、音波減衰については、共振点と思われる周波数で音波を出力することで節と腹の区別をつけやすく設定した実験に加え、チャンバーの共振点を外した周波数でも同様の測定を行った。このときの振幅は全体的に約半分の強度となっており、今回の実験では管共鳴の影響が大きいため音波減衰を定量的に判断することはできないと結論付ける。しかし、アルゴンを 7 hPa と 70 hPa とした時に同じ周波数で比較することで、平均で 10.14 倍の振幅差が得られた。同様に空気で 7 hPa と 70 hPa を比較した場合は

8.9 倍の振幅差が得られた。これは、動粘度 =  $\frac{\text{絶対粘度}}{\text{密度}}$  の関係と一致する。

今回の実験をさらに測定点を増やして実施することで理論式とほぼ同一な値を得られることが可能であると考えられ、今回のマイクで測定可能であることも示された。しかし、音波減衰や長手方向以外の定在波の影響を考慮すると境界面の無い環境での観測の必要性が強まったと考える。2017 年度には、スウェーデン上空での BEXUS 気球実験を進めていきたい。

#### 参考文献

- [1] 藤津裕亮, 火星大気中音波検出器開発のための過酷環境下マイク動作特性の解析, 平成 27 年度高知工科大学 卒業研究報告, 2016.
- [2] 千秋博紀, 大野宗祐, 乙部直人, 山本真行, 仲吉信人, はしもとじょーじ, 梅谷和弘, 池原光介, 藤津裕亮, 火星環境模擬チャンバーを用いた探査機器の耐環境試験, 千葉工業大学研究報告, **63**, 69-74, 2016.