

火星表層模擬環境および地球成層圏下部実大気での音波特性の実験的検証

Experimental verification of sound characteristics in simulated environment of

Martian surface and real lower stratosphere of the Earth

1205071 藤津 裕亮 (宇宙地球探査システム研究室)

(指導教員 山本 真行 教授)

1. はじめに

2020年代に複数の火星探査機の打ち上げが計画されている。しかし2017年末時点で、火星大気中における音波観測は未だ行われていない。そこで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すれば、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、雷の有無の検証や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りモータセンシングに応用できると期待される。

2. 目的

火星大気を模擬した苛酷環境条件下での音波伝搬特性の理解を進め、火星探査機に搭載可能な改良型マイクアレイの苛酷環境下での試験を行い、さらに大気球を用いて地球高層大気中で実観測を行うことで大気組成の違いを除いては火星大気環境に近い条件下での実証試験を行い、希薄大気中や低温条件下での動作性能を確認すること、および複合的な耐久動作試験と評価を行い火星地表面における観測のための性能を確認することを目的とする。

3. 音波伝搬実験

2016年10月3日~10月7日と2017年6月19日~6月23日の計10日間、JAXA宇宙科学研究所にて内径3m×長さ4mの大型サイエンススペースチャンバー内で火星大気をCO₂100%、7hPaの条件で模擬した環境を作り、スピーカーからの出力波を音源とした音波伝搬実験を行った。火星大気での音速は主に平均分子量が約44となる影響で遅くなるが、2016年の実験ではADX-II INF02型マイクを用いた実験値から音速の導出を試みた。2017年には小型化した改良版であるADX-II INF02 A4型を用い測定点を空間的に密にすることで高精度な音速の導出を試み、マイク自体の回転運動や振り子運動に対する希薄大気中の応答についても調査した。さらに2017年10月18日に、スウェーデンESRANGEにおいて、るレオ工科大学の学生チームによるBEXUS/EXIST大気球実験に日本からINF03型マイクを提供する形で共同参画し、成層圏における音波波形に挑戦した。

4. 解析結果

2016年の実験では、真空チャンバー内に発生する定在波の位置より音速を導出した。表1に各条件における結果を示す。

表1. 音速データ

CO ₂	理論値	実験値の平均	誤差
7 hPa	269.6 m/s	261.3 m/s	3.20%
Ar	理論値	実験値の平均	誤差
7 hPa	322.0 m/s	300.0 m/s	7.30%
70 hPa	322.0 m/s	322.0 m/s	0.00%
空気	理論値	実験値の平均	誤差
7 hPa	346.6 m/s	311.7 m/s	11.20%
70 hPa	346.6 m/s	327.5 m/s	5.80%

2017年の実験で用いた改良版マイクでは定在波の取得が困難であったため、低圧下での周波数特性を確認したのち、振り子運動及び回転運動の信号波形への影響を測定した。回転運動の静穏時と空気流入時の結果を図2に示す。

BEXUS/EXIST実験では高度12000mまでの動作を確認した。

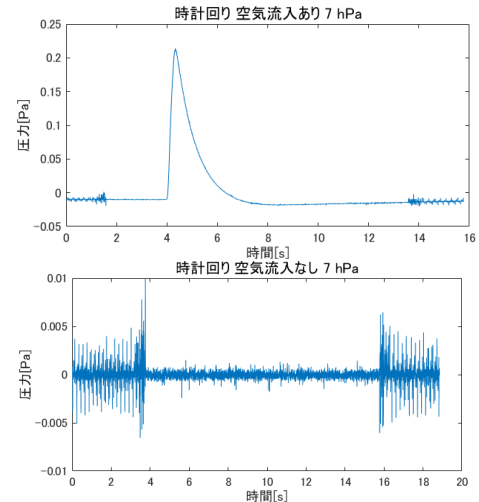


図2. 回転運動時の音波計測結果(上: 静穏時、下: 回転時)

5. 考察

2016年10月の実験当初には、定在波が大きな影響を与えると想定しておらず、定在波に関する空間分布の測定を補助的実験としたためデータ取得の空間分布は粗かったが、同じ大気組成で発生し、かつ定在波の位置が変わるデータを平均化することにより平均値として得た各条件下での音速の値は、理論値との誤差10%程度で計測できた。

2017年6月には詳細な空間分布の計測を試みたが低圧下では2016年の実験のような定在波がほぼ見られなかった。原因として改良版マイクは4×4アレイの構成は同じであるが、小型化により模擬的な膜面の面積が1/16.5倍となり、さらにマイク上部に音波の経路均一化のための物理的な構造を付加したため音圧への応答が低下した可能性が考えられる。同条件下での実験では振幅が2016年の旧マイクアレイに比べ約1/4の振幅であった。そのため、改良型マイクアレイは低圧下の観測に不向きな可能性も考えたが、定在波が観測できない場合でも周波数スペクトルは確認されたため波形の観測は可能であると考えられる。回転運動の結果からは、マイク自体が回転運動する間は振幅が大幅に小さくなった(図2)。周波数領域で見ると主な周波数帯はそのままに、ノイズが取り除かれたような分布が得られた。そのため、回転自体が大振幅の低周波を生み、同じ場所に高周波音が到来しても低周波の音圧に飲み込まれ高周波への応答が鈍くなる結果ローパスフィルタに近い状況が生じた可能性があるかと推察される。2017年10月に行われたBEXUS/EXIST実験でも成層圏下部850hPa条件までの高層大気中での音波計測に成功した。

6. 結論

本研究では、火星表面の希薄大気中での音波観測に向けてマイクの苛酷環境下での動作の実証実験を行った。改良を重ねる都度コンデンサマイクアレイの火星表層模擬環境下での動作実験を行い、それぞれの実験で動作が確認できた。マイクアレイを小型化することで搭載の幅は広がりBEXUS大気球実験への搭載も実現した。チャンバー実験の結果から低圧下で観測できる音圧は小さくなることが分かった。しかし、低周波特性の取得は可能なため、小型化と膜面面積の比率を選定していくことで火星表面における自然現象の観測が可能なマイクアレイであることが検証できたと結論する。