

微気圧計の振動実験

Shaking table tests on seismic response of microbarograph

*岩國 真紀子¹、村山 貴彦¹、大井 拓磨²、新井 伸夫³、綿田 辰吾⁴、市原 美恵⁴

*Makiko Iwakuni¹, Takahiko Murayama¹, takuma oi², Nobuo Arai³, Shingo Watada⁴, Mie Ichihara⁴

1. 一般財団法人 日本気象協会、2. 東邦マーカンタイル株式会社、3. 名古屋大学減災連携研究センター、4. 東京大学地震研究所

1. JAPAN WEATHER ASSOCIATION, 2. Toho Mercantile co., ltd., 3. Disaster Mitigation Research Center, Nagoya University, 4. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

微気圧計は大きい地震でも振り切れることなく設置した場所周辺の地面の振動を計測でき、地震計を補完できる可能性がある、これまで研究されてきた。地震時に微気圧計で観測される圧力変化は気圧計が上下することによる気圧の高度変化の影響と地震動が地面を揺らすことで励起される大気の振動（動圧）や、気圧計が揺すられることによる振動（機械応答）も含まれると考えられてきた。

広帯域加速度計と微気圧計を用いてMj=3.7深さ5.2kmの地震を20km離れた地点で計測した事例では、圧力変化は上下動による気圧の高度変化よりはるかに大きく、揺れ始めは加速度波形と関係があるように見えた。そこで、地震により観測される気圧変化の原因を明らかにするため、地震を計測した時の広帯域加速度計と微気圧計を振動台に載せて鉛直方向と水平方向に振動させる実験を行った。なお、微気圧計の空気取り入れ口(ポート)に配管する際に機械的な衝撃や継手を締め付ける際のオーバートルクで内部のメカニズムを壊してしまわないようにダンパーとしてコイル状の継手付きチューブがついている。実験では、チューブを固定してチューブの振動の影響を排除し、ポートに金属で蓋をして外部から空気が流入しない状況をつくり機械応答を調べた。本発表では様々に条件を変えて行った振動実験の結果を報告する。

謝辞：東京大学地震研究所の地震計測定震動台を使わせていただきました。操作方法を教えていただいた新谷教授に感謝いたします。

キーワード：微気圧計、震動台、気圧計が揺すられることによる機械応答

Keywords: Sensitive Microbarograph, Shake table, instrument response of microbarograph by vibration

高知県におけるインフラサウンド面的観測計画

Dense infrasound observation network planned in Kochi prefecture

*山本 真行¹

*Masa-yuki Yamamoto¹

1. 高知工科大学 システム工学群

1. Department of systems engineering, Kochi University of Technology

Infrasound is known as pressure waves in atmosphere with its frequency lower than the human audible limit of 20 Hz. Due to its distant propagation characteristics without large attenuation, the infrasound can be used as a remote-sensing tool for the huge scale geophysical events closely coupled with atmospheric environment. Tsunami is one of the most dangerous geophysical phenomena for human life and the Japanese originated word of TSUNAMI shows Japan is one of the most dangerous regions for tsunami disasters in the world. Kochi prefecture is located in Shikoku island and, at along the southern coast of Kochi, we have many dangerous sites of tsunami invasion once a huge earthquake happens in Nankai Trough in the pacific ocean, just near the southern coast of Japan. Infrasound observation network has currently been installing in Kochi region since 2016 for disaster prevention, taking account mainly for tsunami disasters. As for the pilot arrangement, we installed 5 sensors in Kuroshio Town in western district in Kochi pref. with a separation of about 2 and 8 km, making two-sized triangle arrays there. The infrasound sensor arrays reveal us some important feature of the detected signals coming from Typhoons and volcanic eruption of Mt. Aso in Kyushu island. Moreover, in 2017, we have a plan to install 11 more sensors in Kochi pref. to make the densest infrasound observation network in such specific small area in Japan. In this talk, we will introduce our observation design of the network and previously obtained datasets for consideration of tsunami disaster prevention.

キーワード：インフラサウンド

Keywords: Infrasound

インフラサウンドの計測に向けたマイクアレイによる低周波検出実験

Low frequency detection experiment by microphone array for infrasound measurement

*藤本 将司¹、山本 真行¹

*Masashi Fujimoto¹, Masa-yuki Yamamoto¹

1. 高知工科大学 システム工学群

1. Kochi University of Technology

1.はじめに

人間の可聴周波数は20 Hzから20 kHzとされている。20 Hz以下の超低周波音波をインフラサウンドと言い、火山の噴火や津波、隕石の大気突入などの大規模な自然現象や、ロケットの打ち上げのような人工的爆発によって発生する。低周波であることにより空気の粘性による減衰を受けにくく、長距離伝搬する特性を有するため、リモートセンシング技術として注目されている。

高知工科大学ではこれまで、 piezo素子やPSD素子を用いた低コストインフラサウンドセンサの開発が行われてきた。しかし、これらのセンサはある程度の容量を持った容器に膜を張り、微小な気圧変動による膜面の膨張収縮を検出しているため、膜面の劣化によって性能が低下する問題がある。そこで我々は膜面を用いない、コンデンサマイクによるインフラサウンドの検出を提案し、実験を行なっている。

2.実験

コンデンサマイクは単体ではインフラサウンドのような低周波の検出は難しいが、マイク複数個をアレイ配置することによって低周波感度が向上する。今回はコンデンサマイク16個を用いたマイクアレイを用意して実験を行なった。各マイク素子は2 mm厚のスチレンボードに配置し、丸ピンソケットをマイクとのコネクタとして利用することで自由に配置を変更することが可能である。A/D変換器(サンプリング周波数: 40 Hz)としてArduino UNOを用いた。

当研究室にある真空チャンバーとシリンジポンプを用いて低周波検出の実験を行なった。真空チャンバーは密閉するためのみに使用し、接続したシリンジポンプによる空気の出入りのみでチャンバー内部の気圧を微小変動させることで擬似的にインフラサウンドを発生させた。シリンジポンプは1分間に注入する容量を入力でき、それにより発生させる周波数を決定することができる。本実験では、0.1 Hz, 0.05 Hz, 0.01 Hzと周波数を変更して実験を行なった。

また、製作したマイクアレイの可聴音に対する受音性能を確認する実験も行なった。静かな部屋でスピーカーからマイクまでの距離を1,2,3,5 mと決め、音波の減衰の様子を確認した。それぞれの距離で200,150,100,75,50,40,30,20,10 Hzと順に変更しながらアンチエイリアシングフィルターを用いずに実験を行なった。

3.結果と考察

今回の実験で用いたマイクアレイの形状は、10 cm四方のスチレンボードに配置した直径約9 cmの円形と20 cm四方のスチレンボードに配置した直径約19 cmの円形、20 cm四方に配置した中心から120°間隔で3本のマイク列がカーブしながら伸びている形状である。低周波検出の実験では、カーブしている形状のマイクアレイでのみ0.01 Hzの低周波検出に成功した。

可聴音計測の実験では距離による音波の減衰の様子が見られたとともに、アレイ形状による減衰の違いも見られた。1~3 mまではどれも同じように減衰し、5 mでの減衰に違いが現れた。直径9 cmの円形、直径19 cmの円形、カーブ形状の順に減衰が大きくなっていった。また、大きく減衰していたのは200 Hzから20 Hzまでであることから、アレイ配置の形状による高周波をカットする効果ではないかと考えられる。特にカーブ形状での効果が大きく見られた。

4.まとめ

数回の実験を通してコンデンサマイクをアレイ配置することによってインフラサウンドの検出が可能であり、さらにアレイ配置の形状を工夫することで性能を決められる可能性が確認された。これからの実験ではマイクアレイに対して斜め方向からの音波に対する効果の検証、ノイズ対策、回路の改良を行なっていく予定である。

キーワード：インフラサウンド、マイクアレイ

Keywords: Infrasound, Microphone array

火星地表面模擬環境下における音波特性の実験的検証

Experimental verification of acoustic characteristics under simulated Martian surface environment

*藤津 裕亮¹、山本 真行¹

*Hiroaki Fujitsu¹, Masa-yuki Yamamoto¹

1. 高知工科大学

1. Kochi University of Technology

背景

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りリモートセンシングに応用できると期待される。

目的

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することを目的とする。

実験概要

火星地表面における大気条件は、CO₂成分が95%を占め、地表面気圧7 hPa、夜間気温-120℃というもので、これらの過酷環境を模した環境下で耐久試験およびインフラサウンドを含めた音波検出性能の較正試験を千葉工業大学、高知工科大学、ISAS/JAXAにて2015年度に行った。火星地表条件下での動作確認を終えたマイクを用いてISAS/JAXAの大型サイエンススペースチャンバーで火星模擬大気中での音波伝搬特性を計測した。実験条件として空気、アルゴン、二酸化炭素をそれぞれ7 hPa、70 hPaとし、空気のみ大気圧を含めた測定を行った。このチャンバーは直径約2 m、長さ4.5 mで、内部に可動アームがあり、アーム終端より奥側にスピーカーを固定設置し一定の周波数を出力、アームの可動する3 mの範囲内で長手方向に0.25 mずつ動かして測定した。音速は、チャンバー内で発生する半波長分の定在波から算出した。また、減衰は同様の手法にて、異なる圧力下で振幅値を比較し算出した。

実験結果

今回の実験では約3 m離れた2台のマイク側の時間差から音速測定を目指した手法での検出管共鳴によるは定在波にかき消され算出困難と判断したため、この定在波の腹と節の位置確認に補助的に取得したデータから音速を算出した。今回、データ取得の分布が粗かったため正密な値は算出できなかったが、チャンバー内を二酸化炭素で7 hPaに設定した時、音速の理論値269.7 m/sに対し実験値では280 m/sという結果が得られた。また、アルゴンでは理論値322.1 m/sに対し実験値350 m/s、空気では同326.4 m/sに対し350 m/sとなり、これらの結果より理論値に対し8%以内の誤差で求めることができた。また、アルゴンで70 hPaと7 hPaでの音波強度を比較した場合、10 倍の圧力差であれば平均で10.41倍の振幅の差が得られ、空気のととき同条件では8.9倍の振幅差が得られた。

考察

音速の計測を行い、理論値に近い値が得られたため、同様の手法で観測点を増やすことでより正確な値を導き出すことが可能であると考えられる。また、音波減衰に関しては $\text{動粘度} = \text{絶対粘度} / \text{密度}$ の式より音

速，気体，温度が同一とした場合，圧力が密度の関数となるため圧力が小さいと減衰は大きくなるという考えと一致する。

結論

マイク評価モデルを用いて火星地表面模擬環境下にて音速と音波減衰を計測した。音速は理論値に近似した値を得られたため，火星大気での音速は理論式とほぼ同一な値を得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。今後は気球にマイクを搭載し，チャンバーのような境界面が無く火星大気条件に比較的近い成層圏大気中における実験を10月にスウェーデンESRANGEにて行う予定である。

キーワード：音波、火星

Keywords: Sound, Mars