

アレイ配置によるマイクの低周波感度向上と インフラサウンド検出方式としての評価

宇宙地球探査システム研究室 1170136 藤本 将司

1. 背景

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、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。例えば、1000 Hz の音波が 1 m の距離を伝搬する時のこの減衰は、同じ大きさで 0.1 Hz のインフラサウンドが 100000 km 伝搬する時の減衰とほぼ等しい。また、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によって発生するインフラサウンドは、その特性のためリモートセンシング技術として注目されている。

国内でのインフラサウンドに関する研究のルーツは、1980 年代に田平誠氏(現 愛知教育大学名誉教授)による観測によって基礎的データが蓄積された。近年、包括的核実験禁止に関わる国際条約のための世界的な核実験検知網として CTBTO (Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty Organization) により全地球上を 60 点でカバーする大規模観測プロジェクトが進行中であり、これを用いた地球物理学的研究もホットな研究領域になりつつある [1]。

高知工科大学山本研究室では、2005 年よりインフラサウンドの研究が行われてきた。これまで同研究室では、インフラサウンドセンサーの開発、外国製の既存センサーや開発センサーを用いたインフラサウンドの観測、観測されたデータの解析などを行ってきた。インフラサウンドセンサーは、単体では音波の到来方向を認識できないが、適切な距離を持つ 3 地点以上にアレイ配置して到来時間差を検出することにより音波到来方向を推定することができる。観測地をさらに増やすには低コストのセンサーが多数必要になるため、同研究室では低コストインフラサウンドセンサーの開発を行ってきた。これまでに、 piezo 素子を用いた低コストインフラサウンドセンサー、PSD 素子を用いた非接触光学式インフラサウンドセンサー等が開発されている。

2. 目的

開発センサーはどれもある程度の容量を持った容器に膜を張る構造をしている。しかし、膜面を用いたセンサーは経年劣化の問題がある。そこで著者は大きな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目指す。株式会社サヤに委託作成いただいた試作品の 4×4 コンデンサマイクアレイ基板を用いた先行研究(藤津, 2015)においては、100 %アルゴン大気中、200 hPa の条件下で 0.1 Hz の低周波が検知できている。しかし、インフラサウンドの発生源によっては、低周波側の検知性能は十分とは言えない。本研究では、市販コンデンサマイクをアレイ配置する並べ方によって、さらに低周波感度を向上させることを目的とする。

3. マイクアレイ

マイク素子を空間的に複数配置(アレイ配置)することによって、それぞれのマイク素子の受音時間に差が生まれる。これをもとに主に音源位置の推定などに用いられる技術が

マイクアレイである。目的の音源方向を検出し、指向性を制御する信号処理技術(ビームフォーミング)が代表的である。また、複数のマイクを並べそれぞれの信号を平均することにより、ノイズが軽減され感度が上昇する。しかし、マイクを等間隔に並べると、ある周波数で信号のプラスとマイナスがそれぞれ打ち消し合い平均すると 0 になる等、偏った周波数特性を表す場合がある(図 1)。また低周波感度の向上とともに、マイク素子の間隔に依存して構造的なローパスフィルターの役割も果たす事ができると考えられる。

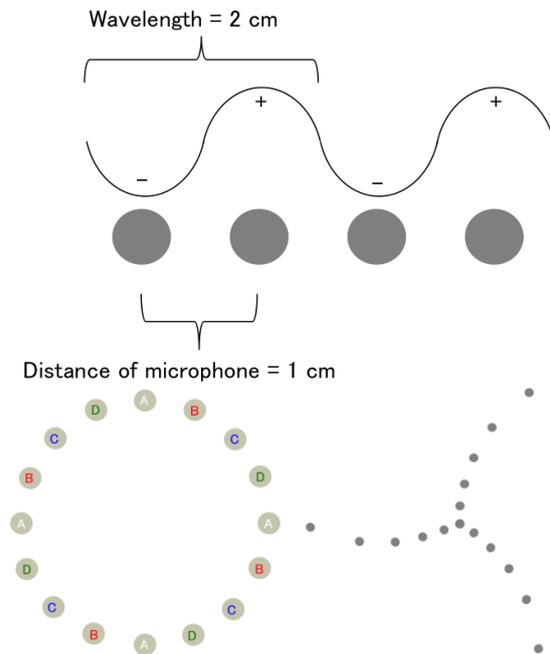


Fig.1 Images of signal interference and microphone arrays

4. 実験

本研究ではマイクアレイを 3 種類(直径約 10 cm の円、直径約 20 cm の円、20 cm 四方のボードに渦巻き状に並べられた形)を用いて実験を行った。マイクアンプは市販キットを参考に自作し、Arduino UNO にて AD 変換しサンプリング周波数 40 Hz で収録した。

4.1 低周波検出実験

音波は空気の粗密波(縦波)である。つまり、空気中の微小な空間で連続して微小気圧変化が起きて伝搬しているとみなすことができる。高知工科大学 山本研究室にある真空チャンバーと医療用シリンジポンプを用いてチャンバー内で微小気圧変動を起こし、擬似的なインフラサウンドを発生させることができる。今回は、それぞれのマイクアレイについて 0.1 Hz, 0.05 Hz, 0.01 Hz の周波数で実験を行った。

4.2 飛行機音取得実験

高知龍馬空港から約 1 km に位置する地点において、離着陸する飛行機の発する音を取得した。飛行機のエンジン音や滑走路を走行している際、比較的音圧レベルの高い可聴音のみならずインフラサウンドを含む低周波音が発生していると予測される結果を得た。

4.3 可聴音計測実験

高知工科大学 教育研究棟 A554 室でスピーカーを用いて可聴音の受音特性を確認する実験を行なった。スピーカーからマイクまでの距離を 1, 2, 3, 5 m と決めそれぞれの距離で 200, 150, 100, 75, 50, 40, 30, 20, 10 Hz と周波数を変更しながら 20 秒ずつ出力した。

5. 結果

出力値は 5 V を 1024 段階で分割しており、理論的には 512 (2.5 V) を中心に振れるが実際は約 470 (約 2.3 V) あたりを中心に振れている。サンプリング周波数は全て 40 Hz である。

5.1 低周波検出実験

得られたデータについて、今回は特に 0.01 Hz に注目して見る。それぞれのマイクアレイの 0.01 Hz のデータを以下に示す。

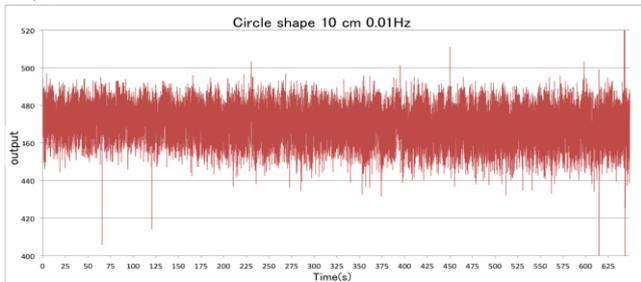


Fig.2 10 cm circle shape 0.01 Hz

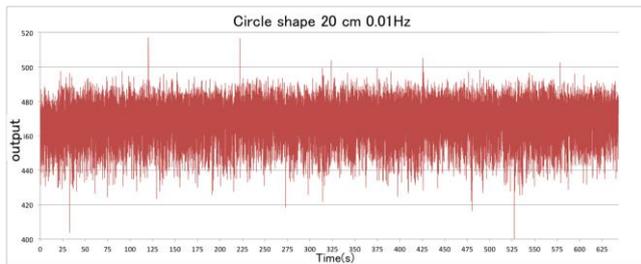


Fig.3 20 cm circle shape 0.01 Hz

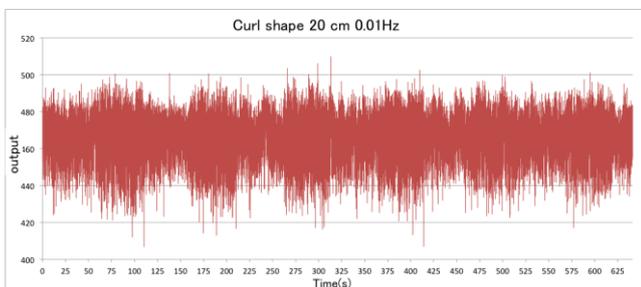


Fig.4 curl shape 0.01 Hz

図 1~3 を見ると 0.01 Hz のみ波打っているのが分かる。

5.2 可聴音計測実験

今回は 20 cm 渦巻き状アレイの結果に注目する (図 6)。比較として 20 cm の円状アレイのデータも示す (図 5)。

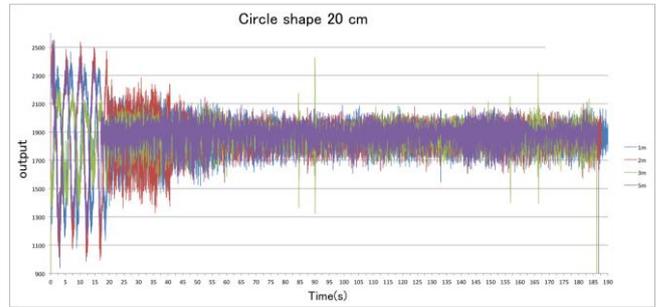


Fig.5 circle shape

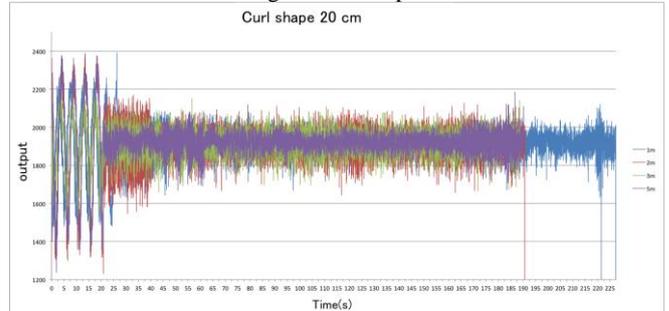


Fig.6 curl shape

6. 考察

今回の目的であるコンデンサマイクの低周波感度の向上について、真空チャンバーを用いた低周波実験から得られたデータを見ると、20 cm サイズの渦巻き状マイクアレイで周期 100 秒 (0.01 Hz) の波が検出されているように見える (図 4)。このデータを FFT にかけてみると以下に示すスペクトルが出力された (図 7)。

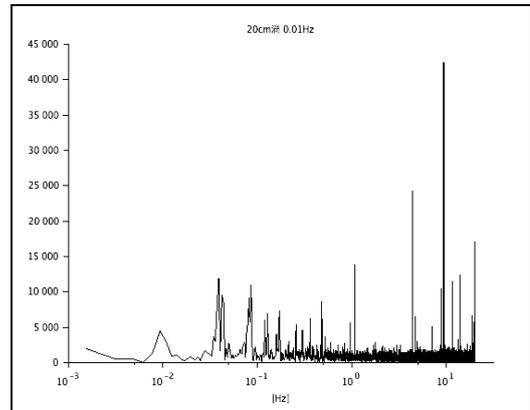


Fig.7 curl shape's FFT spectrum

0.01 Hz あたりに山が見える。低周波実験で用いたシリンジポンプは正確な sin 波ではなく三角波に近い波を入力しているが 0.01 Hz の検出ができていると言えるであろう。

また可聴音計測実験の結果から渦巻き状のアレイ配置によるノイズ除去の効果が現れる。1~3 m の距離でこのような特性が現れないのは、音源との距離が近いため音圧が大きく、マイクアレイの効果が十分に得られていない可能性が考えられる。

本実験の結果より、コンデンサマイクによるインフラサウンドの検出は可能である事が分かった。

文献

[1]インフラサウンドの世界 田平誠

http://www.senior.aichi-edu.ac.jp/mtahira/IFS/IFS_top.html

