

多周波ソナーによる気泡サイズと濃度の観測に向けた研究

A study for measurement of the bubble size spectrum by a multi-frequency sonar

北海道大学工学部 ○学生会員 中山晴生 (Haruki Nakayama)
 北海道大学院工学研究院 正会員 猿渡亜由未 (Ayumi Saruwatari)
 北海道大学院工学研究院 正会員 渡部靖憲 (Yasunori Watanabe)

1. はじめに

暴風波浪時の大気海洋間では、継続的な砕波に伴う大量の気泡を介して熱やエネルギー、酸素や二酸化炭素などの物質輸送が行われている。しかし、現行のバルクモデルを用いた、暴風波浪時の大気熱、物質輸送の見積もりでは、過小評価であることが指摘されている。近年、地球温暖化による海水温の上昇に伴う、台風の大規模化が危惧される中で、暴風波浪場に適用可能な大気海洋間相互作用モデルの開発が課題となっている。先行研究より、海中混入気泡は周囲の海水と直接熱交換を行うことにより効率的な熱交換を行う役割を持つことがわかっている。大気海洋間での熱輸送現象における気泡の寄与について調査することは、新たな大気海洋間相互モデルの評価においてとても重要である。

本研究は、多周波数を同時に発振できるソナーを用いた気泡サイズ、濃度観測法を開発するため、実験室での気泡観測実験におけるソナーの基本的な応答を明らかにすることを目的とする。

2. 実験装置

本実験で使用したソナーは、周波数を 38～75kHz,130～210kHz の範囲を 0.1kHz 刻みで変更可能であり、同時に任意の 4 周波を選択して測定することができる。ソナーで送受信した情報は表示機に表示され、反射強度の強い場所ほどカラーバーの濃い色で表される。超音波の送受信波器の寸法は、横幅 368mm、縦幅 124mm、高さ 156mm である。水槽底面から 60mm の位置に水平方向に音波を発するよう設置した。本実験は、片側に壁面に見立てた造波板のついた全長 9.4m、幅 4.7m、深さ 0.5m の平面水槽で行った(図1)。ソナーから壁面までの距離は 5.0m、気泡を発生させるためのエアストーンまでは 3.0m の場所に直列に 2 台設置した。水槽には水位が 0.38m になるように水を張った。

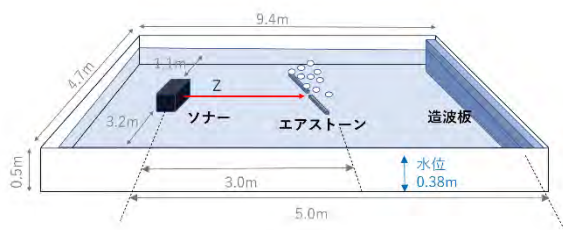


図1. 実験装置

3. 測定方法

ソナーからエアストーンの方に超音波を発振し、気泡未発生時、気泡発生時の2パターンについてそれぞれ9回の測定を行った(表1)。周波数はそれぞれ40～75kHz,130～210kHzの範囲で5.0kHz刻みに変更し、計25種類の超音波でのデータを得た。気泡発生時は、気泡を2秒間発生させ、発生終了から5秒後の映像を撮影した。

表1. 測定時の周波数一覧

	L2[kHz]	L1[kHz]	H2[kHz]	H1[kHz]
1回目	40	60	130	170
2回目	45	65	135	175
3回目	50	70	140	180
4回目	55	75	145	185
5回目	55	75	150	190
6回目	55	75	155	195
7回目	55	75	160	200
8回目	55	75	165	205
9回目	55	75	165	210

4. 画像解析

ソナーから測定されたデータは、図2のように表示機に映し出される。画面を縦に4分割しており、左から右の画面に行くほど高周波でのデータが表示されている。各画面では右から左方向へと映像が更新されるため各画面の一番右端が最新の映像となっている。各画面の情報が右端から左端まで流れるのに14秒間かかる。

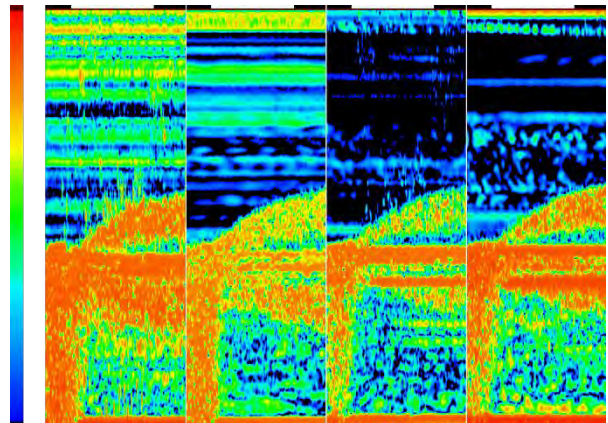


図2. カラーバーと気泡発生時の表示機の映像
(周波数は左から40,60,130,170kHz)

5. 実験結果

画像解析により得られたデータを元に、縦軸に超音波送受波器からの距離 Z (m)、横軸に周波数 (kHz) をとったときの反射強度のカラーマップを作成した (図 3)。図右のカラーバーに対応して、画像上の色が濃赤に近いほど反射強度が強く、逆に濃青に近いほど反射強度は弱くなっている。気泡未発生時、気泡発生時の両方の図において $Z=5\text{m}$ で一番強い反応が出ており、しっかりと水槽壁面が検出されていることがわかった。また両図において $Z=3\text{m}$ 地点で強い反応が出ているのはエアストーンである。気泡発生時の $Z=2.5\text{m}\sim 3\text{m}$ に注目すると、気泡未発生時に比べ反射強度が上がっているこ

とが確認できた。これは、発生した気泡がエアストーンを中心として広がり、ソナーに反応が出た結果である。この結果は目視による気泡の分布と一致していた。

気泡発生時のカラーマップをもとに、 $Z=2.5\text{m}\sim 3\text{m}$ での反射強度が強い周波数を抽出し、縦軸に送受波器からの距離 Z (m)、横軸に反射強度をとったグラフを作成した (図 4)。特に大きな変化がみられるのは、周波数が 200kHz の時で、気泡発生時、 $Z=2.3, 2.5\text{m}$ で大きな反応が確認できた。しかし、これらの反射強度の変化が、気泡によるものであるのかノイズによるものであるのかは、現時点では明らかではないため、今後検討が必要である。

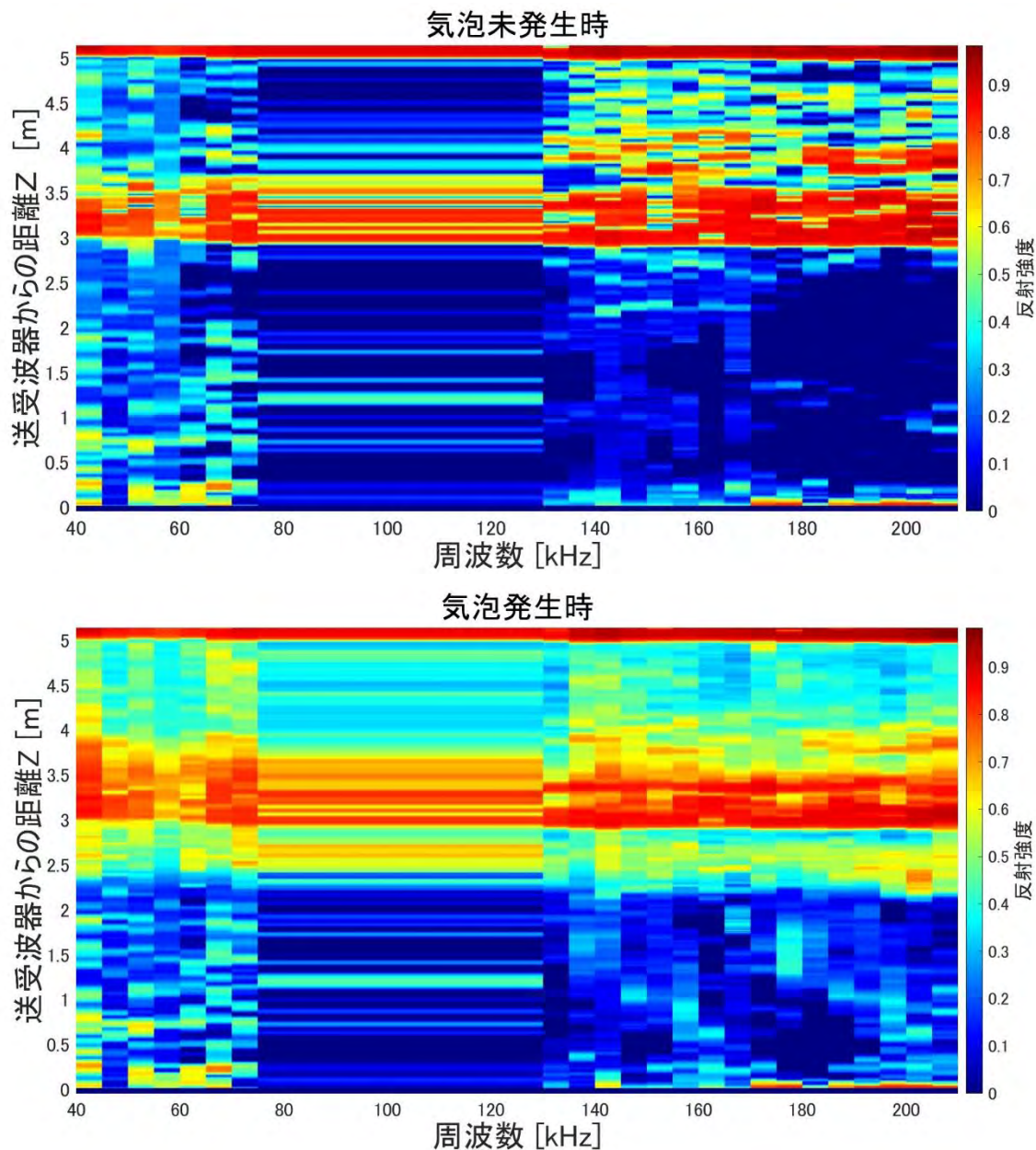


図 3.気泡未発生時と気泡発生時におけるカラーマップ

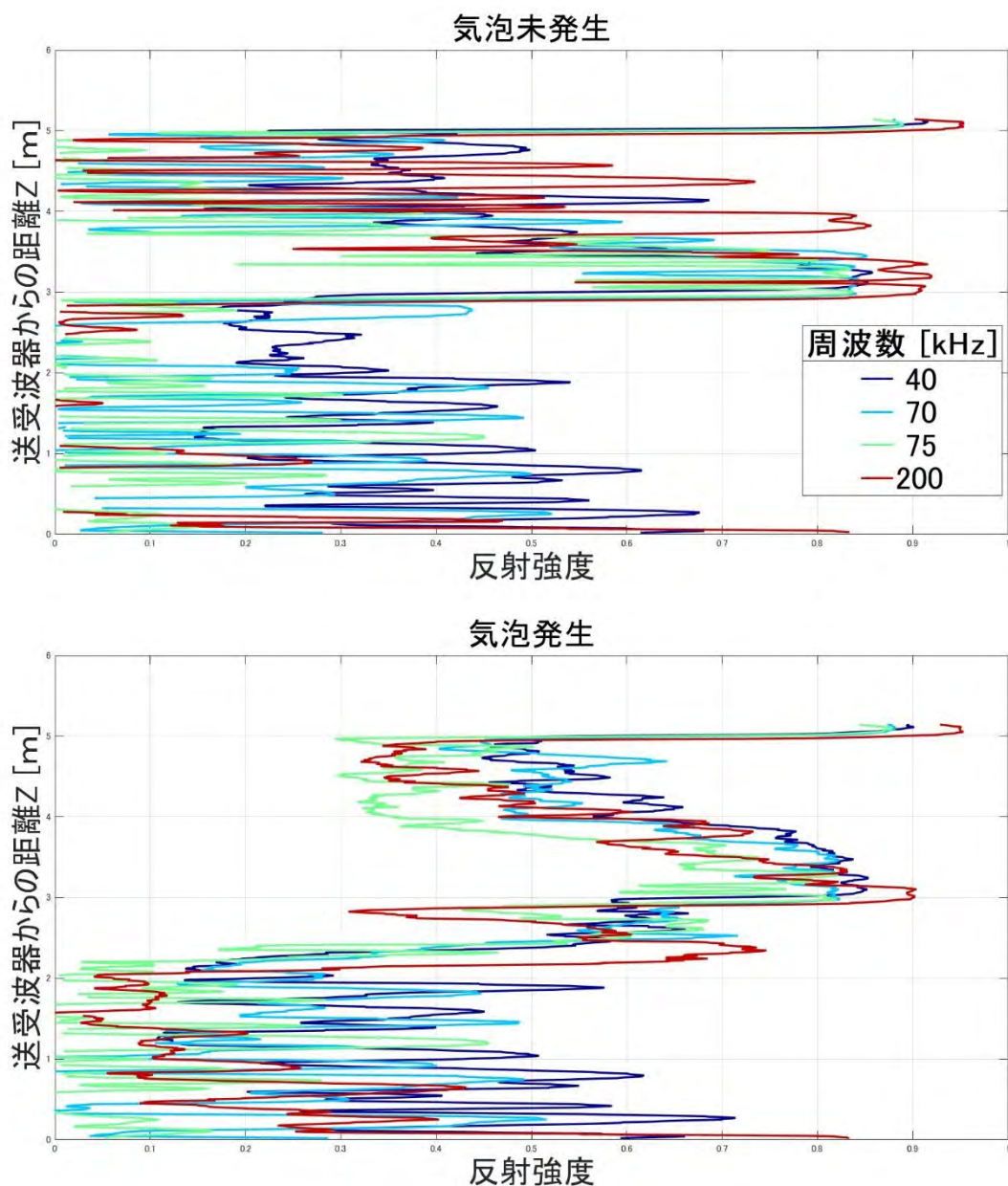


図 4.気泡発生時の深度と反射強度のグラフ

6. 結論

本研究では、ソナーから得た気泡未発生時と気泡発生時のデータを比較することによって、多少なりとも気泡の観測が可能であることは確認できたが、期待していたような明確な違いを見出すことはできなかった。考えられる原因としては、測定可能な周波数の範囲である。今回使用したソナーでは、75~130kHzの範囲の超音波は発することができない仕様であるため最大周波数から最低周波数を満遍なく網羅しての計測ができなかった。また、気泡は細かいものほど高周波と共鳴する性質をもっている。本研究で使用したエアストーンはかなりきめ細かい気泡を発生するものであったため、本研究で使用したソナーで測定可能な範囲より高周波で共鳴し、強い反射強度を示す可能性がある。そのほかにも、水槽の水位が低すぎるため水槽の底面や水面に超音波が反応してしまっ

ているのではないかと感じた。今後の展望として、水槽環境の改善、気泡濃度を変えての実験や、より径の大きい荒い気泡を発生させての実験を行い、正確な気泡観察法を開発していきたい。

7. 参考文献

- 1) 猿渡亜由未ら, 海中混入気泡による超音波後方散乱と熱輸送, 土木学会論文集 B2, 75 巻 2 号, 2019