

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：82723

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06633

研究課題名(和文)海中周囲雑音による物体画像化における周波数依存エコーの効果的な表現に関する研究

研究課題名(英文) Study of effective image expression formed by frequency-dependent-echo in the ambient noise imaging

研究代表者

森 和義 (Mori, Kazuyoshi)

防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工・応用科学群・教授)

研究者番号：70259894

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、周囲雑音イメージングにおいて得られるターゲットからの周波数依存エコーに着目し、その周波数成分を効果的に表現する画像化手法を開発することを目的とする。ここでは、受信対象帯域を3分割して各帯域レベルを求め、低・中・高周波帯域に赤(R)・緑(G)・青(B)を割り当ててRGB加法混合により画像化する手法を提案した。2つの周波数依存ターゲットを配置した実海域試験を行い、沿岸域の生物雑音によって生成されたエコーより画像化を行った結果、提案手法は、両ターゲットの有無だけでなく、それぞれの周波数依存性の違いを画像内の色の違いとして効果的に表現することに成功した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we paid attention frequency-dependent-echoes obtained in the ambient noise imaging, and attempted to develop an effective image expression formed by those echoes. Here, the received frequency band was divided into three parts, and the band levels of low-, mid-, and high-frequency bands were assigned to Red (R), Green (G), and Blue (B) colors, respectively. We proposed to form the target image by the RGB additive color mixing of those band levels. The sea trial was carried out using two frequency-dependent-targets, and the images were formed by echoes generated by biological noises in the coastal water. The proposed method successfully expressed not only the presences of both targets but also the frequency-dependences of both targets as color differences in the image.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：海洋科学 海洋工学 海洋探査 音響レンズ 海中周囲雑音 物体映像化 沿岸域生物雑音 周波数依存エコー

1. 研究開始当初の背景

従来の海中音響映像化装置において周囲雑音は探知を乱す妨害音と見なされてきた。しかし、海中周囲雑音を音源として積極的に活用する革新的なアイデアが提唱されている。この手法はアクティブでもパッシブでもない第3の新しい方式であり、周囲雑音イメージングとも呼ばれている。申請者は、周囲雑音イメージングを実現する有力な手段として音響レンズに着目し、数値解析および縮尺実験により集束特性を検討してきた。2009~2011年の間は科研費基盤研究(B)[番号:21360440]の助成を受け、より具体的なシステム開発に向けた研究を行った。2009年には、実海域での利用を想定したレンズ設計を行い、同レンズを用いた試作システムを開発した。2010年の内浦湾での実験では、ビームパターンを計測して試作システムが設計通りの方位解像度を有することを確認し、アルミ板から成る無音ターゲット物体を海中周囲雑音のみで探知することに成功した。この成果は高い評価を得て、応用物理学会より2012年の SPOTLIGHTS: Editors' Choice from APEX and JJAP に選出された。2012~2014年の間は科研費基盤研究(C)[番号:24560999]の助成を受け、周囲雑音イメージングにおいて雑音源位置が探知画像に与える影響を調査し、ターゲットの背後に雑音源が無い場合にはターゲット方向の受波強度が増加し、逆にターゲットの背後に雑音源がある場合にはターゲット方向の受波強度が低下することが、数値解析および実海域試験にて確認された。

近年、ターゲット物体の距離や方位などの空間情報を得るだけで無く、広周波数帯域(以下、広帯域)信号を用いてその形状や組成に関するさらに高度な情報の抽出を目的とした研究が行われている。特に水産音響の分野で盛んであり、FM チャープ波やイルカのクリックスを模倣した音などの広帯域音波を利用し、エコーのスペクトルから周波数依存性を抽出して魚種判別を行おうとしている。一方、周囲雑音イメージングでは、図1のように海中周囲雑音によるターゲット・エコーを音響レンズで屈折させて受波器アレイに結像している。従来は、各受波素子で得られた音圧振幅の強度を利用し、例えば、低強度で白、高強度で黒となるように白黒濃淡画像を形成しており、ターゲットの有無だけが把握できる。雑音源には沿岸域に生息するテッポウエビが発する広帯域パルス雑音を用いているにも関わらず、画像化においてエコーの周波数依存性を抽出する高度な表現は行われていない。

2. 研究の目的

海中物体の形状や組成は様々であり、そのエコーには周波数依存性を有することが多い。逆にいえば、エコーの周波数依存性を抽出することで、ターゲットの形状や組成等を

把握し、ターゲットを類別するのに役立てることができる。本研究では、光学における人間の物体視覚化を模倣し、広周波数帯域の海中雑音に対するターゲットからのエコーを画像化する際に、その周波数成分を含む情報を効果的に表現する手法を開発することを目的とする。申請者は、図2のように周波数依存ターゲットからのエコーをレンズによって受波器アレイに結像させる。そして、受波信号のパワースペクトルを求め、周波数帯域を3分割して、各帯域の受波レベルを求める。さらに、各受波レベルに対して低周波数帯域には赤(R)、中周波数帯域には緑(G)、高周波数帯域には青(B)の色を割り当て、RGB加法混合を行って画像化を行うことを提案する。ターゲットの組成や形状によってエコーに周波数依存性がある場合に、色によってその違いを効果的に表現できる。

今回は、提案手法を評価するために予めエコーの周波数依存性を把握している模擬ターゲットを用いる。そして、開発済みの音響レンズを用いた周囲雑音イメージング装置を用いて、提案手法が効果的に模擬ターゲットを画像化できるかを調査する。

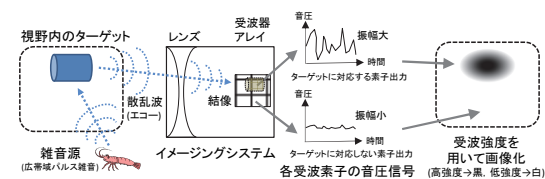


図1 従来の周囲雑音イメージングの画像化処理の概念図

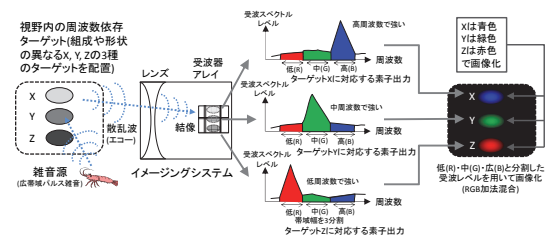
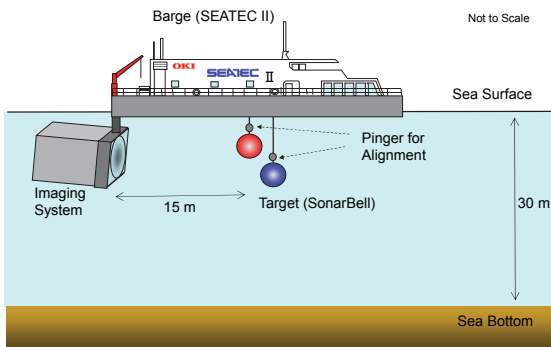


図2 提案手法の画像化処理の概念図

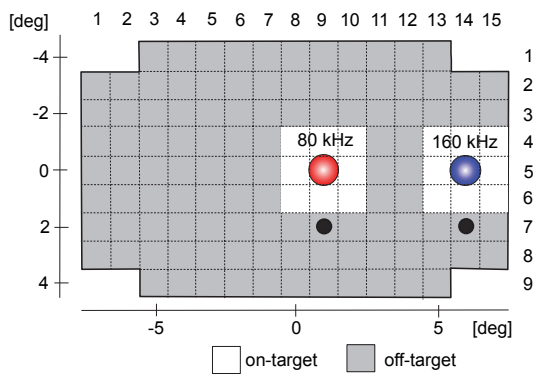
3. 研究の方法

実海域試験は、2016年11月28~30日に実施され、沼津市三津町の海岸から約250m沖(内浦湾)に係留された実験バージ OKI SEATEC II を利用した。図3(a)に実験装置配置を示す。この海域の海底深度は約30mである。音響レンズと受波器アレイから構成されるプロトタイプイメージングシステムはバージの端に固定され、雑音が受波器アレイに直接入射しないようにアルミ板と発泡スチロール板からなる防音板に覆われている。また、防音板内側の一部には反射を抑制するためにウレタン系合成ゴムから成る吸音ゴム板が貼り付けられている。模擬ターゲットには、周波数依存性を有する直径275mmの球形ターゲット SonarBell を2個用いた。各ターゲットはバージ開口部から吊り下げら

れ、イメージングシステムから約 15 m の距離に配置した。また、位置合わせのためピンガが取り付けられている。それぞれの模擬ターゲットは 80 kHz および 160 kHz の周波数依存エコーを生じるように予め設計された。イメージングシステムの像面に配置された各受波素子は、音響レンズによって形成された受信ビームの向いている各方位に対応することになる。視野内の模擬ターゲットの配置を図 3(b)に示す。



(a) 実験装置配置



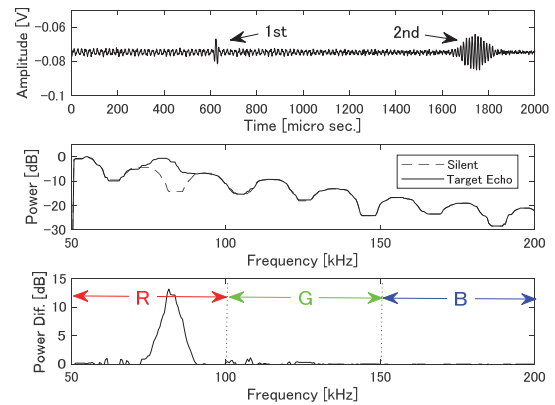
(b) 視野内の模擬ターゲット配置

図 3 実験装置図

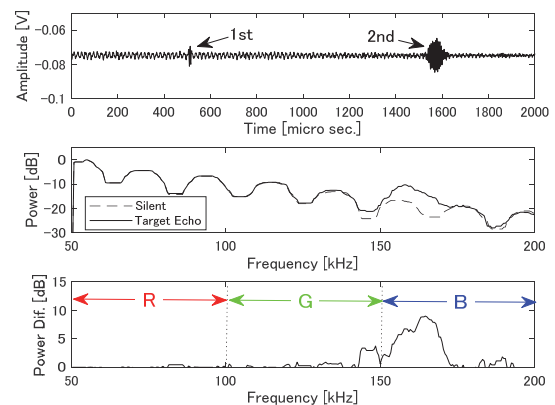
#### 4. 研究成果

図 4 は周囲雑音によって生成されたエコーについて、2 つの模擬ターゲットの方位に対応する受波素子で観測した受波波形およびそのパワースペクトルの例を示す。図 4(a)は、水平方位+1度および垂直方位0度の方向に配置され、エコーの周波数依存性が 80 kHz にピークを有する模擬ターゲットの結果である。そのエコーは、球体表面からの第一成分および内部伝搬して音源方向にフォーカスされた第二成分から成り、パワースペクトルには 80 kHz 付近に局所的なピークが見られる。図 4(b)は、水平方位+6度および垂直方位0度の方向に配置され、エコーの周波数依存性が 160 kHz にピークを有するターゲットの結果であり、パワースペクトルには 160 kHz 付近に局所的なピークが見られる。本実験では、このようなエコーが多数観測された。それぞれのエコーについて、RGB 加法混合による画像化を行った。ここでは、受信帯域 50-200 kHz を 3 分割し、50-100 kHz に赤(R)、100-150 kHz

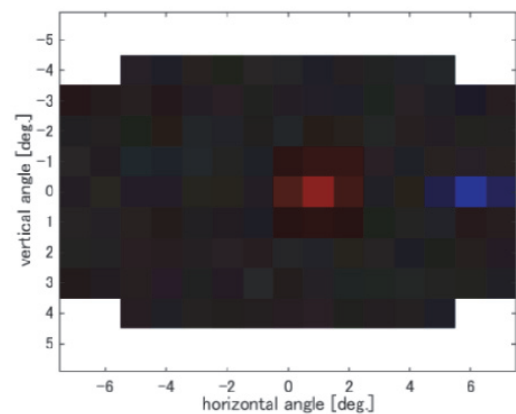
に緑(G)、150-200 kHz に青(B)として、それぞれの帯域レベルに色を割り当てた。図 4(c)は 45 個のエコーデータを結合して得られた RGB 加法混合画像である。水平方位+1度および垂直方位0度の方向に赤いスポット、そして水平方位+6度および垂直方位0度の方向に青いスポットを確認することができる。これは図 3(b)の模擬ターゲット配置と一致しており、それぞれの周波数依存ターゲットの画像化に成功した。



(a) 80 kHz



(b) 160 kHz



(c) RGB 加法混合による画像化

図 4 実海域試験結果の一例

以上より、従来手法のようにターゲットの有無だけでなく、本提案手法はターゲットエコーの周波数依存性を色の違いとして効果的に画像化し、各ターゲットの違いを把握することができた。本研究の成果は、ターゲット物体の形状や組成等をエコーの周波数依存性から類別することに役立ち、水中セキュリティや音に敏感な海洋生物調査などに応用することが期待される。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計5件)

- ① K. Mori, H. Kawahara, H. Ogasawara, T. Tsuchiya, Expression with Red-Green-Blue Additive Color Mixing for Frequency-Dependent Targets in the Third Sea Trial of Ambient Noise Imaging with Acoustic Lens in 2016, Japanese Journal of Applied Physics, フル査読有り, Vol. 57, No. 7S1, 2018, 掲載決定
- ② K. Mori, H. Kawahara, H. Ogasawara, T. Tsuchiya, Preliminary Data Analysis of the 3rd Sea Trial for Ambient Noise Imaging with Acoustic Lens, Proceedings of the 4th Underwater Acoustics Conference and Exhibition, 要旨査読有り, 2017, 489-494  
<http://www.uaconferences.org/index.php/component/contentbuilder/details/9/66/uace2017-preliminary-data-analysis-of-the-3rd-sea-trial-for-ambient-noise-imaging-with-acoustic-lens?Itemid=410>
- ③ H. Kawahara, H. Ogasawara, K. Mori, Preliminary Analysis of Sound Field Converged by Convex Acoustic Lens for Installing in Small AUV's Bow, Proceedings of the 4th Underwater Acoustics Conference and Exhibition, 要旨査読有り, 2017, 975-980  
<http://www.uaconferences.org/index.php/component/contentbuilder/details/9/125/uace2017-preliminary-analysis-of-sound-field-converged-by-convex-acoustic-lens-for-installing-in-small-auv-s-bow?Itemid=410>
- ④ K. Mori, H. Ogasawara, T. Tsuchiya, and N. Endoh, Data Analysis Results of the Second Sea Trial of Ambient Noise Imaging with Acoustic Lens in 2014: Two-dimensional Target Images Affected by Direction of Field of View and Spatial Noise Distribution, Japanese Journal of Applied Physics, フル査読有り, Vol. 55, No. 7S1, 2016, 07KG07-1-07KG07-9  
<https://doi.org/10.7567/JJAP.55.07KG07>
- ⑤ K. Mori, H. Ogasawara, T. Nakamura, T. Tsuchiya, N. Endoh, Preliminary Data

Analysis of the 2nd Sea Trial for Ambient Noise Imaging with Acoustic Lens, Proceedings of the 3rd Underwater Acoustics Conference and Exhibition, 要旨査読有り, 2015, 115-120

[http://www.uaconferences.org/docs/Past\\_proceedings/UACE2015\\_Proceedings.pdf](http://www.uaconferences.org/docs/Past_proceedings/UACE2015_Proceedings.pdf)

〔学会発表〕(計15件)

- ① H. Kawahara, H. Ogasawara, K. Mori, Fundamental Study on Effect of Acoustic Matching Layer on Convex Aspherical Acoustic Lens for Installation in Bow of Small AUV, The 38th Symposium on Ultrasonic Electronics, 2017
- ② K. Mori, H. Kawahara, H. Ogasawara, T. Tsuchiya, The 3rd Sea Trial for Ambient Noise Imaging with Acoustic Lens, The 38th Symposium on Ultrasonic Electronics, 2017
- ③ 河原宏幸, 小笠原英子, 森 和義, 小型潜水艇搭載用凸型非球面音響レンズの集束音場解析についての基礎的研究, 日本音響学会 2017 年秋季研究発表会, 2017
- ④ 河原宏幸, 小笠原英子, 森 和義, 小型潜水艇搭載用凸型音響レンズにおける音響整合層の効果についての基礎的研究, 超音波研究会, 2017
- ⑤ 河原宏幸, 上松 遥, 井上海渡, 小笠原英子, 森 和義, 小型潜水艇搭載用凸型音響レンズの集束音場解析についての基礎的研究, 海洋音響学会 2017 年度研究発表会, 2017
- ⑥ 森 和義, 河原宏幸, 小笠原英子, 土屋健伸, 音響レンズを用いた周囲雑音イメージング: 2016 年 11 月に内浦湾で実施した第 3 回実海域試験の概要, 海洋音響学会 2017 年度研究発表会, 2017
- ⑦ 森 和義, 小笠原英子, 土屋健伸, 遠藤信行, 音響レンズを用いた周囲雑音イメージングにおける過去 10 年間の研究の紹介, 日本音響学会 2017 年春季研究発表会, 2017
- ⑧ 森 和義, 四方慶一, 河原宏幸, 小笠原英子, 日本沿岸域におけるテッポウエビ雑音の過去 10 年間の観測事例の紹介, 第 26 回海洋工学シンポジウム, 2017
- ⑨ K. Shikata, H. Kawahara, K. Mori, and H. Ogasawara, Preliminary Statistical Analysis of Transient Noise Observed at Several Coastal Waters in Japan, The 37th Symposium on Ultrasonic Electronics, 2016
- ⑩ 四方慶一, 森 和義, 小笠原英子, 横須賀走水港で観測した突発性雑音の統計解析, 超音波研究会, 2016
- ⑪ 四方慶一, 森 和義, 小笠原英子, 横須賀走水港で観測した沿岸域突発性雑音の振幅統計の日中変化, 海洋音響学会 2016 年度研究発表会, 2016
- ⑫ 四方 慶一, 森 和義, 小笠原英子, 横須

賀市走水港で観測した沿岸域突発性雑音の振幅統計の基礎的研究, 日本音響学会 2016 年春季研究発表会, 2016

- ⑬ K. Mori, H. Ogasawara, T. Tsuchiya, N. Endoh, The 2nd Sea Trial for Ambient Noise Imaging with Acoustic Lens, The 36th Symposium on Ultrasonic Electronics, 2015
- ⑭ 森 和義, 小笠原英子, 土屋健伸, 遠藤信行, 音響レンズを用いた周囲雑音イメージングにおける雑音空間分布の影響 -2014 年 11 月の第 2 回実海域試験データの予備解析-, 超音波研究会, 2015
- ⑮ 森 和義, 小笠原英子, 中村敏明, 土屋健伸, 遠藤信行, 音響レンズを用いた周囲雑音イメージング: 2014 年 11 月に内浦湾で実施した第 2 回実海域試験の概要, 海洋音響学会 2015 年度研究発表会, 2015

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

森 和義 (MORI, Kazuyoshi)

防衛大学校・応用科学群・教授

研究者番号: 70259894

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし

### (4) 研究協力者

なし