

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420832

研究課題名(和文) 時間領域有限差分法による航行船舶水中音の検知技術の開発研究

研究課題名(英文) Development of Detection Technology for Underwater Sound from Ships by Finite-difference time-domain method

研究代表者

今里 元信 (Imasato, Motonobu)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：80443240

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：洋上や沿岸域の重要施設等付近を接近航行する船舶を監視するためのシステム開発の一環として、水中音を利用して接近船舶等を検知・識別する手法の開発を行う。そこで接近船舶を早期検知する手法として、高速フーリエ変換(FFT)ならびに線形予測法によるスペクトル解析を導入し、その結果、特徴のある周波数特性の早期検出を容易にすることができた。また、時間領域有限差分法(FDTD法)を用いたアルゴリズムの開発も進め、導入の検討を行った。この海上監視システムは、水中音観測によって不審船や密漁船などの出現を予測する上で役立てられると期待する。

研究成果の概要(英文)：As part of development of system for surveillance ships navigating at ocean or coastlines nearby the important power plants and facilities, I have developed methods of detecting or discrimination to approaching ships by underwater sounds. To detect approaching ships early, I introduced the spectrum analysis by First Fourier Transform (FFT) and linear prediction method. As a result, there was able to detect frequency characteristics early, more easily. And I have developed the algorithmic program using the finite-difference time-domain (FDTD) method, introduced the examination of this method. I expect that this surveillance system will be useful in predicting the presence of dangerous ships or poaching boats by sensing underwater sound.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：海上監視 船舶海洋工学 水中音響 リモートセンシング

1. 研究開始当初の背景

我が国は四方を海に囲まれた海洋国であり、海洋資源の採掘等が盛んになりつつある。さらに石油貯蔵施設や発電施設など暮らしに必要な重要施設が沿岸に立地している。そんな中、管理下に無い船舶が無断侵入する恐れがあり、海上監視システムを搭載した装置などの設置が望まれる。そこで水中音に着目し、水中音によるセンシング技術は、周辺の航行船舶を感知し、識別する技術として非常に重要な要素である。水中音は伝搬距離が空中よりも長く、音速も大きいため、接近船舶の水中音をいち早く掴むことができる。海上監視の際、目標船舶が橋梁や島などの障害物に遮られた場合、レーダや光学系センサでは障害物に遮られてしまい、目標船舶の識別が困難になるが、水中音を利用すれば、障害物の有無に関係なく目標船舶を検出できる。また明暗に左右されないため、昼夜を問わず観測できることも水中音の特徴の一つである。したがって航行船舶の水中音特性を捉えられれば、接近船舶の検出が可能となり、不審船を含む海上監視ができる。

本研究では、水中音を利用して接近船舶等を検知・識別する海上監視システムの構築を目的に開発を行う。そのため、船舶の水中音観測と、取得した観測データの最適な解析手法の選定および水中音波伝搬モデルの構築に関する技術開発を進めることとする。

2. 研究の目的

本研究では、洋上や沿岸域の重要施設等付近を接近航行する船舶を監視するためのシステム開発の一環として、水中音を利用して接近船舶等を検知・識別する手法の開発を行う。そこで航行船舶の水中音特性の検出手法や算出した検出結果の最適な識別手法の構築に関する技術開発を行うことを目的に、船舶の水中音観測および航行船舶の水中音の解析手法の構築や検出結果の最適な識別手法の構築により、接近船舶が既知船か未知船かを明らかにすることを目指す。さらに時間領域有限差分法などシミュレーションに用いられる音波伝搬モデルの導入により、構築したモデルの比較・検証を行う。

3. 研究の方法

(1) 水中音観測実験

航行船舶の水中音特性を調べるため、実海域における水中音観測実験を行った。観測実験は瀬戸内海の愛媛県弓削島の東方沖で行い、対象船は小型漁船(A船、5.6総トン)である。また観測にはアクアサウンド社製の低周波帯域用ハイドロホン(AQH-020)を用いて水深約5mに吊下した。

(2) 水中音の解析

音響信号処理はFFTによるスペクトル解析法が主流であり、研究代表者もこの手法を利用している。併せて線形予測法によるスペク

トル解析も行い、両者の差によるピーク周波数の位置検出を試みた。

(3) 水中音伝搬モデルの構築

接近船舶の水中音特性を捉えることができるなら、検出に先立って予測もできれば、海上監視システムを開発・構築する上で有効であると考ええる。そこで時間領域有限差分法(FDTD法)を用いた伝搬モデルを構築した。

4. 研究成果

(1) 水中音の解析

A船の水中音の周波数特性を図1に示し、図中の実線をFFT法、灰色破線を線形予測法による解析結果を表す。ここで解析対象には約5秒間の時系列データによる平均スペクトルを用いている。図2に両者の差分(dBのため比となる)を求めた結果を示し、特徴のある周波数が捉えやすく、図2中の閾値からピーク周波数の位置検出が容易になっている。なお、閾値の設定については検討を要する。

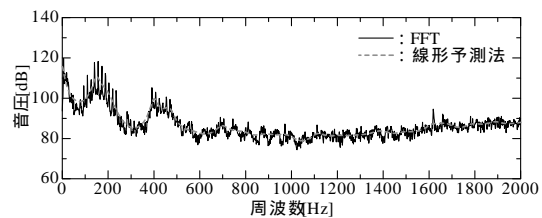


図1 水中音の周波数特性 (A船)

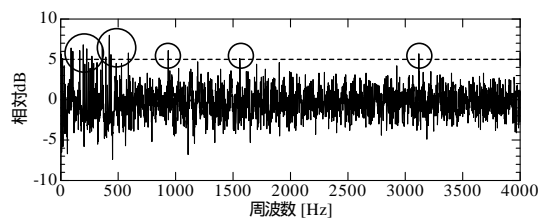


図2 音圧同士の差分結果 (A船、破線は閾値)

(2) 水中音特性の時間変化

接近中の航行船舶を早期検知するためには、水中音特性の時間変化を捉えることが望ましい。そこでA船の接近航行中の水中音データから時間方向の解析を試みた。観測船とA船との相対距離を図3に、同時間のFFTによるスペクトルを図4に、線形予測法による波形の山(70dB以上のピーク値)検出による時間変化を図5に示す。図4より、最接近する245秒付近に向けて縞模様が現れており、245秒付近を谷とする放物線らしき縞模様も描かれている。これは音源の移動により、ドップラー効果や海底、海面反射による音の干渉や打ち消しなどから周波数が変化するためと推考する。しかし、図4では早期検知がすぐには明瞭に見出せず、図5も同様の結果が得られたものの、早期検知の上では図4同様に厳しいと考えられる。

そこで、各結果からの早期検知は厳しいため、両者の差分を取った場合の時間変化を求めた。その結果を図6に示す。ここで閾値は4.5とした。図6より、約140秒から1560Hz

付近にピーク周波数が出現し、最接近するまでほぼ一定してプロットされている。また接近するにつれて、500Hz 以下のピーク周波数のプロット数が増えている。さらにこの図では読み取りにくい、特に 195Hz 付近のピーク周波数が 65 秒以降に現れており、時間の経過とともに値も大きくなっている。これらより本実験では、195Hz 近傍のピーク周波数出現で見た場合、最接近の約 180 秒前（相対距離は約 1900m）から A 船の早期検知ができたものと考えられる。なお、本計算による手法については、監視対象域や船舶の航行条件によって異なるため、最適な手法については検討を要する。

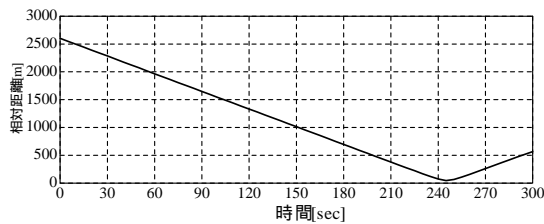


図3 観測船とA船との相対距離の時間変化

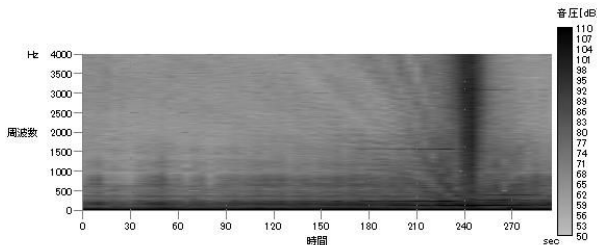


図4 FFTによる水中音特性の時間変化

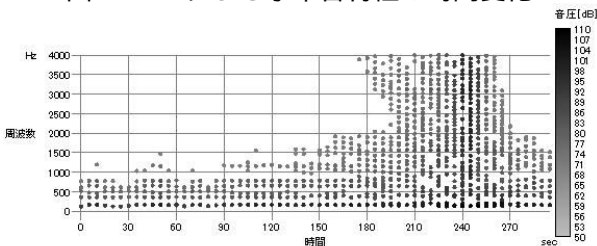


図5 線形予測法から検出した山の時間変化 (70dB以上のみ)

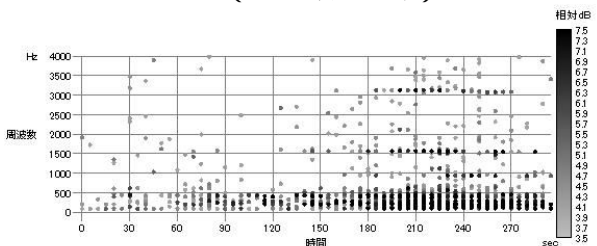


図6 両者の差分によるピーク周波数の時間変化 (接近航行時)

(3) 速力の違いにおける水中音特性

同一船舶の速力違いにおける水中音特性の時間変化も捉える必要がある。そこで前章の手法をもとにA船の水中音データから時間方向の解析を試みた。その結果を図7に示す。ここで閾値は5とし、A船の航走条件を以下に挙げる。

- ・観測船を中心に半径約100mで低速、中速、

高速で約2周ずつ航行。

- ・低速：900回転、5.0~6.3kt (図7の60~600sec)
- ・中速：1,600回転、9.0~10.4kt (図7の630~990sec)
- ・高速：2,400回転、14.2~14.9kt (図7の1,020~1,230sec)

図7より、速力の違いによるピーク周波数の出現位置が違っているものの、同じ速力では概ね一定したピーク周波数が出現しているのがわかる。

続いて速力違いによる水中音特性を捉えるため、図7の概ね一定に出現したピーク周波数に対応する音圧を抽出し、ピーク周波数と音圧の関係を求めた。その結果を図8に示し、図中の●が高速、△が中速、□が低速航行の時を表す。図が小さいため見辛いが、航走状況によって特性が分けられると考えられる。なお音圧のばらつきは、A船と観測船との相対距離を一定に保つことが厳しかったためと推考する。

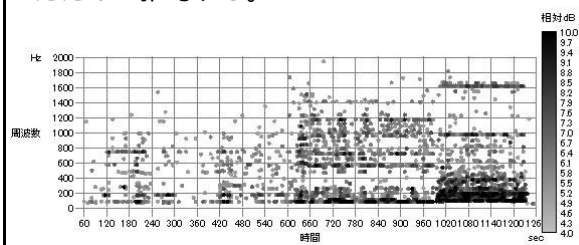


図7 両者の差分によるピーク周波数の時間変化 (周回航行時)

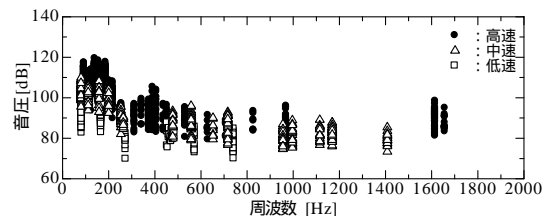


図8 ピーク周波数における音圧分布

(4) FDTD法による試計算

時間領域有限差分法(FDTD法)による水中音伝搬モデルを構築し、試計算を行った。計算結果の一部を図9に示す。なお初期設定や境界条件など計算条件については引き続き検討を要する。

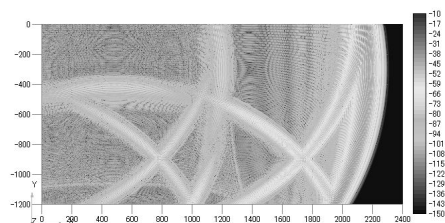


図9 FDTD法による伝搬モデル計算結果例

(5)まとめ

本研究では、FFT および線形予測法によるスペクトルの差分から水中音特性の時間変化による検出手法を検討評価した。その結果、ピーク周波数が捉えやすく、航走条件の違いにおける水中音特性の検出や接近船舶の検知が容易となった。このことから、本手法は船舶を早期検知する手法のひとつとして有用であると考え。さらに水中音観測中に遭遇した対象船以外の航行船舶の水中音も解析し、水中音特性の違いが明らかに現れたことも追記しておく。なお、水中音の観測域や対象船舶等の違いによる解析対象時間範囲の最適な設定など本アルゴリズムの有用性については検討を要する。

また接近船舶の水中音特性を捉えることができるならば、検出に先立って予測もできれば、海上監視システムを開発・構築する上で有効であると考え、時間領域有限差分法(FDTD法)を用いた伝搬モデルも構築し、試計算を行った。なお初期設定や境界条件など計算条件については引き続き検討を要する。

このような海上監視システムが実現できれば、水中音観測によって不審船や密漁船などの出現を予測する上で役立てられると期待する。

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 8 件)

今里元信、桐谷伸夫、木村隆則、航行船舶の水中音による海上監視技術の開発、第 84 回マリンエンジニアリング学術講演会論文集、査読無、2014、pp.139-140

今里元信、長井弘志、木村隆則、接近航行船舶の水中音検知技術の開発、第 85 回マリンエンジニアリング学術講演会論文集、査読無、2015、pp.205-206

塩苅恵、今里元信、石田茂資、井上俊司、洋上風力発電施設からの水中放射音に関する研究、海上技術安全研究所報告、査読有、Vol.15、2015、pp.101-122

島隆夫、長谷川一幸、塩苅恵、今里元信、洋上風力発電施設から放出される水中音が海生生物に及ぼす影響、公益財団法人海洋生物環境研究所創立 40 周年記念報告会予稿集、査読無、2015、p.60

今里元信、長井弘志、二村彰、筒井壽博、木村隆則、海上監視における船舶の水中音検知技術の開発、安全工学シンポジウム 2016 講演予稿集、査読無、2016、pp.430-431

今里元信、長井弘志、二村彰、筒井壽博、木村隆則、海上監視のための船舶水中音特性の探知、第 86 回マリンエンジニアリング学術講演会論文集、査読無、2016、pp.137-138

稲葉祥梧、岡本章裕、瀬田剛広、今里元信、篠野雅彦、金岡秀、田村兼吉、渡邊佳孝、松本宙、AUV 駆動音観測による水中音響通信・測位装置への影響評価について、第 16 回海技研研究発表会講演集、査読無、2016

島隆夫、長谷川一幸、塩苅恵、今里元信、低周波水中音がマダイ(Pagrus major)の摂餌行動および成長に及ぼす影響、環境アセスメント学会誌、査読有、Vol.15、No.1、2017、pp.77-83

[学会発表](計 5 件)

今里元信、桐谷伸夫、木村隆則、航行船舶の水中音による海上監視技術の開発、第 84 回マリンエンジニアリング学術講演会、2014

今里元信、長井弘志、木村隆則、接近航行船舶の水中音検知技術の開発、第 85 回マリンエンジニアリング学術講演会、2015

今里元信、長井弘志、二村彰、筒井壽博、木村隆則、海上監視における船舶の水中音検知技術の開発、安全工学シンポジウム 2016、2016

今里元信、長井弘志、二村彰、筒井壽博、木村隆則、海上監視のための船舶水中音特性の探知、第 86 回マリンエンジニアリング学術講演会、2016

今里元信、船舶の水中音観測、日本マリンエンジニアリング学会振動音響研究委員会、2016

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等
なし

6 . 研究組織

(1)研究代表者

今里 元信 (IMASATO, Motonobu)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研
究所・その他部局等・研究員

研究者番号：8 0 4 4 3 2 4 0