

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 1日現在

機関番号：82627

研究種目：若手研究B

研究期間：2009～2011

課題番号：21760674

研究課題名（和文） 水中音を用いた航行船舶の識別に関する研究

研究課題名（英文） Research for Recognition of Ships by Underwater Sound

## 研究代表者

今里 元信（IMASATO MOTONOBU）

独立行政法人 海上技術安全研究所 運航・物流系 主任研究員

研究者番号：80443240

研究成果の概要（和文）：沿岸部の発電所や石油貯蔵施設等の重要施設において、海側から不審船等が接近するのを早期探知するシステムが必要である。そこで、海上監視システムを搭載したブイの開発研究を行っている。

本報告では、これまでに実海域における航行船舶の水中音観測を実施したので、それらの結果について述べる。そこで観測船に設置したハイドロフォンで水中音を記録し、線形予測法による解析を実施した。その結果、接近する対象船の検出する上で有用な手法であることが確認できた。これまでの結果から、本手法はリアルタイム水中音観測に利用できる手法の一つになると考えられる。この海上監視ブイシステムは、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）：An early warning system for sensing suspicious ships approaching the important power plants and facilities located on coastlines has become necessary. Thus, we developed a buoy equipped with the maritime surveillance system.

In this report, the results of sensing underwater sound from ships on the actual sea are presented. The underwater sound was recorded with hydrophones mounted on an observation ship and was analyzed by the linear prediction method. The method used to detect underwater sound of ships approaching the observation ship was evaluated. Results show that this technique can be a useful method for real-time underwater sound monitoring. We expect that this surveillance buoy system will be useful in predicting the presence of dangerous ships or poaching boats by sensing underwater sound.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,800,000	1,140,000	4,940,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：海洋探査・機器，水中音響，海上監視

## 1. 研究開始当初の背景

沿岸の重要施設において不審船の早期探知をするためには、重要施設の沖合海域の海

上監視システムが有効である。例えば船舶搭載の海上監視装置としては、一般的にレーダが広く用いられている。また国際条約により、

AIS（船舶自動識別装置）の搭載義務化が実施され、AISにより、付近航行船舶の航行情報が取得できる。しかし、AIS未搭載の船舶が存在し、また故意にAISの作動を停止することも考えられ、これらの船舶に対して更なる監視技術向上のために、センシング技術に関する様々な研究が行われている。例えば海上技術安全研究所では、航行障害検出システムの研究を実施している。これはレーダ画像等を連続処理して他船を検出することにより、AIS未搭載の船を含む近距離の他船情報を自動収集するシステムを構築するものであり、航行他船の情報が自動的に得られる。

一方、水面下に着目すると、水中音を利用したセンシング技術もまた周辺を航行する船舶を探知し、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識別できる。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、航行船舶の水中音響特性を捉えることができれば、接近船舶の個別識別が可能となり、不審船を含む海上監視ができる。

海洋音響観測には、アクティブソナーとパッシブソナーがある。アクティブソナーは、その目的により、潜水艦を探知するものから、目標物体の形状を認識するものまで、多くの種類のもので防衛分野、海洋開発分野で使用されている。海上交通においては、ドップラー・ソナーとして、船舶の離着岸時の衝突・接触を避けるため、微速制御の監視に活用されることが多い。一方、パッシブソナーは、捉えた目標放射音の特徴を把握することにより、目標の種類や行動に関する情報を得ることができる。この特徴のために、パッシブソナーは軍用、海底火山活動や地震の監視、生物の鳴音の観察等、様々な分野で活用されている。

水中音を利用した監視システムの開発を行っている研究機関としては、東京大学生産技術研究所が挙げられる。ここでは沿岸の重要施設等に対する犯罪防止のために、アクティブソナーを用いて目標を監視追尾し、識別することにより、総合的な監視の実現を目指している。そのためダイバー等目標物の水中捜索のための水中監視手法およびリアルタイム映像解析、探知ソフトウェアの開発を行っている。しかし海上交通において高速船などを監視する際、この手法では近距離(40m)で目標を識別した段階では遅きに失し、侵入、破壊を許す恐れがあると考えられる。

一方、船舶の放射する音は低周波の方がレベルが高く、遠距離まで伝搬することと、アクティブソナーを低周波帯域で用いるとソナー自体が騒音源となることから、船舶の水中音解析を行う上では、パッシブソナーが有効であると考えられる。そこで海上技術安全研究所では、パッシブソナーであるハイドロフォンを用いて不審船舶等を早期に探知し、識別する装置の開発を試みている。監視装置の概念図を図1に示す。

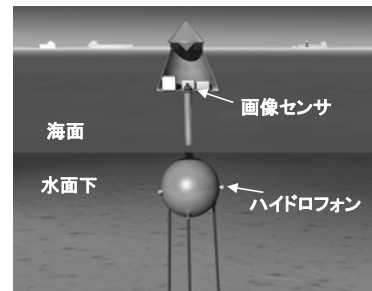


図1 監視装置の概念図

水中には波浪によって発生する音、船舶から発生する音やイルカ、クジラなど動物の鳴き声など様々な音が存在する。この水中音に対して、陸上には気象に伴う音、交通音、工事音、人の声など様々な音が存在する(以下、これらをまとめて水中音に対して空中音と呼ぶ)。

水中音を利用して航行船舶が識別できるようにするためには、船舶音以外の雑音を含む水中音から船舶音のみを抽出する技術が必要である。空中音においては、コンピュータによって聞きたい音を聞き分ける、すなわち聞きたい音源を分離抽出するために、音源分離処理技術に関する様々な研究が行われているが、水中音においては一般化されていない。そこで本研究では、水中観測音を用いて雑音下から目的音を抽出するために、空中音の音源分離技術を採用することを考える。さらに水中音に見合った音源分離抽出技術を構築することにより、水中音による航行船舶の識別が可能になる。

空中音において利用される音源分離抽出技術の主な手法として、スペクトルサブトラクション法が挙げられる。本手法による雑音除去は、雑音が定常であり、目的信号と無相関であるという仮定に基づいてスペクトルの減算を行う方法である。この手法を採用し、カスタマイズすることにより、水中音を用いて航行中の船舶の識別が可能となり、海上監視にも有効であると考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、ハイドロフォンを利用して航行船舶の水中音特性を把握し、航行船舶の識別技術を確立することである。そのためには、船舶音以外の雑音を含む水中音から船舶音のみを抽出する技術が必要である。音声工学分野などでは、コンピュータによって聞きたい音源を分離するためや特性を抽出するために様々な研究が行われているが、水中音においては一般化されていない。

そこで本研究では、この音源分離技術をはじめ、接近船舶の水中音抽出技術を採り入れることを考える。さらに水中音に見合った音源分離や接近時の抽出技術を構築することにより、水中音による航行船舶の識別が可能になると考えられる。これにより、不審船や密漁船監視に役立てられると期待する。

## 3. 研究の方法

海上技術安全研究所には、大型・中型試験水槽が設置されており、水中音観測に最適な試験水槽が揃っている。これらの水槽を用いることにより、効率的に装置開発を進められる。また海上技術安全研究所では、弓削商船高等専門学校と連携して研究を進める機会が多く、これまでも練習船などの実船観測データを用いて解析した経緯がある。このことから、船舶の水中音観測を円滑に進めることができる。

具体的な計画としては、海上技術安全研究所において、試験水槽でハイドロフォンを用いた水中音の観測を行う。また東京港周辺では航行船舶の水中音観測、弓削商船高等専門学校においては、実船による水中音観測を行い、本研究で導入を検討しているスペクトルサブトラクション法をはじめとする手法により、船舶音の分離・識別を試みる。これらの観測実験において、実験を効率よく進めるために、高専の先生方にご支援・ご協力を仰いだ。また職員、先生方より、研究の進捗について適宜ご教示頂いた。

以下に年次毎に実施した主な研究方法について列挙する。

### ①平成 21 年度

- ・より遠方の航行船舶の水中音を検知できるようにするため、受波感度が高いハイドロフォンの製作。
- ・航行船舶の方位推定算出手法の開発を行うため、試験水槽においてハイドロフォン2台を利用したパルス波（単発音）の位相差観測実験。
- ・観測実験において雑音の混入が発生したため、後処理に雑音除去処理導入の検討。

### ②平成 22 年度

- ・航行船舶の水中音データ収集のため、実海

域等における水中音観測実験。

- ・線形予測法による音響解析手法を用いた船舶水中音の解析に関する検討評価。
- ・水中音観測下における接近船舶の水中音検知に関する検討評価。
- ・水中音特性から航行船舶の識別に関する手法についての検討評価。

### ③平成 23 年度

- ・前年度に引き続き、航行船舶の水中音データ収集のため、実海域等における水中音観測実験。
- ・線形予測法による音響解析手法を用いた船舶水中音の解析に関する検討評価。
- ・水中音特性から航行船舶の識別に関する手法についての検討評価。
- ・オクターブ分析に基づく水中音特性から、航行船舶の水中音検出に関する検討。
- ・航行船舶の方位推定算出手法の開発を行うため、観測船を中心に周回航行する対象船の水中音観測実験の実施。

## 4. 研究成果

以下に年次毎に主な研究成果を列挙する。

### ①平成 21 年度

- ・接近船舶をいち早く捉えられるように、より遠方の航行船舶の水中音を検知できるようにするため、船舶水中音観測に特化した受波感度の高い水中マイクロホンを開発した。
- ・水中の環境雑音の混入に対して、後処理に雑音除去処理の導入による目的音の抽出に成功した(図2)。
- ・音響特性からの識別に有効であると考えられる手法のひとつとして、線形予測法による音響解析のアルゴリズムを構築し、プログラム登録を行った。
- ・線形予測法により、特徴のある周波数域が捉えやすくなり、航行船舶の特性を把握する手法のひとつとして有用であることを明らかとした(図3)。

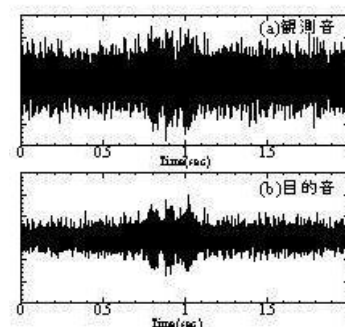


図2 雑音除去処理結果

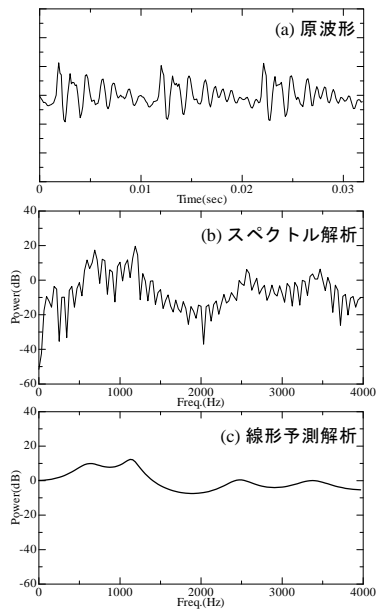


図3 線形予測法による解析結果

②平成 22 年度

- ・対象船(A 船)の水中音の FFT によるスペクトル解析法および線形予測法による解析を行い、その結果を図4に示す。図4より線形予測法を用いれば、船舶の水中音特性がより捉えやすくなると考えられる。
- ・観測点へ接近航行中の A 船のピーク周波数の検出を試みたところ、A 船が接近するにつれて、ピーク周波数が低い方へ移動しているのがわかる。これは音源の移動に伴い、直接伝搬音に海底や海面からの反射音等が干渉することにより、ピーク周波数が変化するものと考えられる。このピーク周波数の個別な特徴とその変化を捉えられれば、接近船舶の有無と動静を認識する手法のひとつとして有用である(図5)。
- ・ピーク周波数が検出できれば、この違いが個々の船舶を識別する手法のひとつになり得ると考えられる。そこで観測中に遭遇した他船の水中音解析結果を A 船と併せて図6に示す。図6より、各船舶のピーク周波数の違いが明らかである。これらのピーク周波数が各船舶の特性を表していると考えられる。よって水中音を利用した航行船舶の識別による手法のひとつとして、ピーク周波数検出の有効性を確認できた。また逆の観点から、検出したピーク周波数の組み合わせから航行船舶の推定ができる。

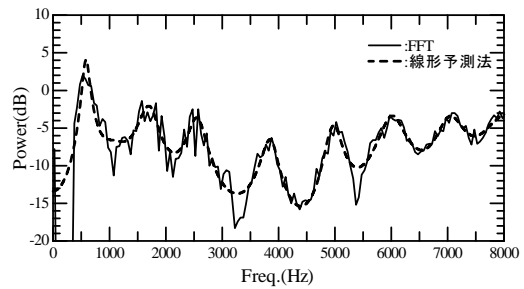


図4 水中音解析結果(A 船)

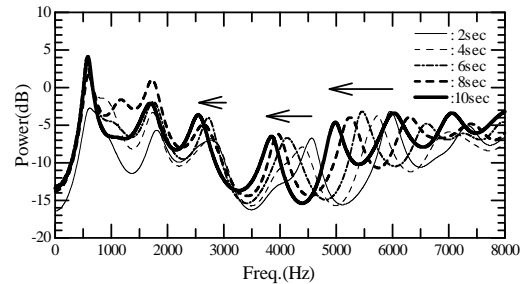


図5 水中音解析結果(A 船, 10 秒間)

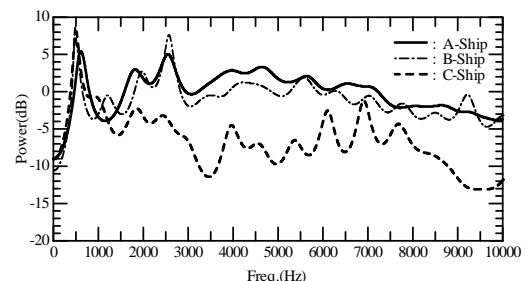


図6 他船の水中音解析結果

③平成 23 年度

- ・対象船(A 船)の水中音観測データをもとに FFT によるスペクトル解析および線形予測法によるスペクトル解析から両者の差 (dB のため比となる) を求めたところ、特徴のある周波数が捉えやすく、閾値によりピーク周波数の位置検出が容易となった(図7)。
- ・上述の手法により、ピーク周波数が検出できれば、この違いが個々の船舶を識別する手法のひとつになり得ると考えられる。そこで観測中に遭遇した他船の結果を A 船と併せて図8に示す。図8より、各船舶の差分によるピーク周波数の位置の違いが明らかである。これらの差分結果が各船舶の特性を表していると考えられる。よって水中音を利用した航行船舶の識別による手法のひとつとして、差分算出によるピーク周波数の位置検出の有効性を確認できた。さらに逆の観点から、検出したピーク周波数の差分結果の組み合わせから航行船舶の推定ができる。
- ・航行船舶の方位検出のアルゴリズム構築のために、2 台の水中マイクによる位相差を

利用した音源の方位推定を試みた。ここで位相差算出には、音源の固有的な特徴を周波数領域において評価し、逐次自動設計されるバンドパスフィルタ処理を施すことによって実行することとし、位相差算出の自動推定手法のひとつになり得ると考えている。そこで観測船周囲を周回するA船の水中音観測も行い、音源であるA船の方位変化を位相差計算から求めた。ここでは2秒おきに計算を行い、その方位(相対:GPSロガー, 推定:水中マイク)の結果を図9に示す。図9より、約140秒以降は速力を上げたため、勾配が少し急になったものの、A船の巡回航行の状況が明らかとなったことから、本アルゴリズムの有効性を確認できた。なお、本計算に用いる波形の対象時間範囲や濾過周波数範囲については、監視対象域や船舶によって異なるため、最適な設定については検討を要する。

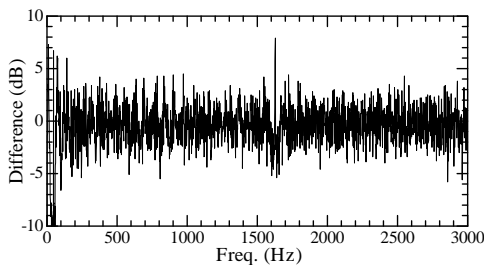


図7 パワー同士の差分結果(A船)

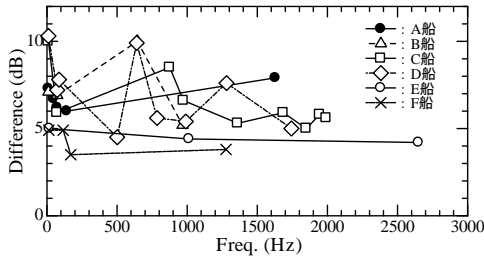


図8 パワー同士の差分結果(他船, ピークのみ)

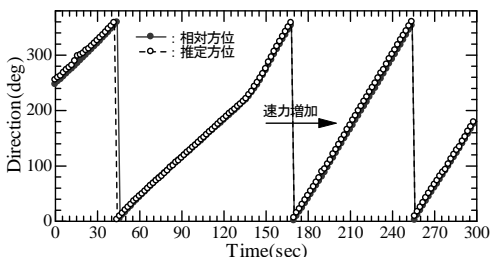


図9 位相差評価による音源方位推定結果

## 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4件)

- ① K. Matsushita, M. Imasato, N. Kiriya, H. Asou, O. Toyama: The development of a surveillance buoy as a protection monitor for coastal important facilities, Proceedings of 8th International Symposium on Marine Engineering, 査読有, 2009.10
- ② 今里元信, 桐谷伸夫, 麻生裕司, 遠山修, 松下邦幸: 水中音観測による海上監視技術の確立, 日本マリンエンジニアリング学会誌第46巻第1号, 査読有, pp. 87-92, 2011.1
- ③ 今里元信: 水中音観測による海上監視システム, 船と海のサイエンス 2012 Winter, pp. 18-20, 査読無, 2012.1
- ④ M. Imasato, N. Kiriya, H. Asou, O. Toyama, K. Matsushita: Development of Marine Surveillance Technology by Sensing Underwater Sound, Award Papers of Japan Institute of Marine Engineering 2011, 査読有, 投稿中

[学会発表] (計7件)

- ① 今里元信, 桐谷伸夫, 麻生裕司, 遠山修, 松下邦幸: 海上監視ブイにおける水中音観測について, 第79回マリンエンジニアリング学会講演会講演論文集, 査読無, pp. 105-106, 2009.9
- ② 今里元信, 桐谷伸夫: 水中音による航行船舶の監視技術, 安全工学シンポジウム2010講演集, 査読無, pp. 344-345, 2010.7
- ③ 今里元信, 桐谷伸夫: 線形予測法を用いた船舶の水中音解析, 第80回マリンエンジニアリング学会講演会講演論文集, 査読無, pp. 163-164, 2010.8
- ④ 今里元信, 桐谷伸夫, 木村隆則: 接近船舶監視のための水中音観測, 安全工学シンポジウム2011講演集, 査読無, pp. 465-466, 2011.7
- ⑤ 今里元信, 桐谷伸夫, 木村隆則: 水中音観測による海上監視技術の開発, 第20回交通・物流部門大会講演論文集, 査読無, pp. 245-246, 2011.12
- ⑥ 今里元信, 桐谷伸夫, 木村隆則: 水中音による海上監視技術の開発, 第12回海上技術安全研究所研究発表会講演集, 査読無, 2012.6
- ⑦ 今里元信, 桐谷伸夫, 木村隆則: 航行船舶の水中音監視技術の開発, 安全工学シンポジウム2012講演集, 査読無, 投稿中, 2012.7

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計1件）

名称：線形予測法による音響観測データ連続  
解析用ソフトウェア

発明者：今里元信

権利者：海上技術安全研究所

種類：プログラム登録

番号：2010-NMRI-CFT-IMASATO-01

出願年月日：2010年3月23日

国内外の別：国内

○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

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

今里 元信 (IMASATO MOTONOBU)

海上技術安全研究所・運航・物流系・主任  
研究員

研究者番号：80443240