

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：12614

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K21329

研究課題名（和文）高分解能魚群探知機による魚種判別への挑戦 機械学習による魚群エコーの特徴分析

研究課題名（英文）Challenge to species identification with high-resolution echosounders -analysis of fish-school echoes with machine learning-

研究代表者

甘糟 和男（Amakasu, Kazuo）

東京海洋大学・学術研究院・教授

研究者番号：80452043

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では高分解能魚群探知機を使用することにより、魚群の内部構造まで観測した。魚群の特徴量としてエコーエンベロープ波形の振幅スペクトル、エコー強度スペクトル、エコー強度の変動スペクトル、魚群形態を抽出し、いくつかは魚種判別に有用な情報であることを確認した。また、エコー強度スペクトルを正確に求めるための高速フーリエ変換の窓サイズを明らかにし、解析手法を高度化した。魚群の内部構造まで観測できたが、分布深度や密集具合によっては難しいことも明らかとなった。魚群形態情報を使用し、教師なし機械学習による魚群エコーのクラスタリングを試みたが、適切なクラスター数を決定することは困難であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高分解能魚探は魚種判別に道を開くと期待されてきたが、特徴量の抽出についてはエコーデータの処理方法も含めて未だ十分に研究がなされていない。その点、本研究は複数の特徴量を抽出し、魚種判別に有用な情報となることを確かめた。また、エコー処理方法の高度化もしている。魚種との対応付けが不十分であったが、魚種判別問題の解決に資する研究成果であり学術的意義がある。

魚種判別手法は、魚群探知機を使用した効率的な漁獲および正確な資源量推定に必要である。魚探による魚種判別技術の確立は「水産資源の保全（管理）と持続的な利用」すなわち食料の安定供給に寄与するものであり、ここに本研究成果の社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：In this study, the internal structures of fish-schools were observed with a high-resolution echosounder. Amplitude spectra, echo-intensity spectra, variation spectra of echo intensity, and morphology of fish-schools were extracted as the feature quantity of fish-schools and were confirmed that some of them were useful information for species identification. The window sizes of fast Fourier transform to obtain accurate echo-intensity spectra were clarified and the echo processing method was improved. The internal structures of fish-schools could be observed, but it was also clarified that such observations were difficult for deeper fish-schools and higher densities. Although clustering of fish-school echoes was tried with an unsupervised machine learning, it was difficult to determine appropriate number of clusters.

研究分野：水産音響学

キーワード：魚種判別 魚群探知機 スペクトル

1. 研究開始当初の背景

魚群探知機(以降,魚探と略す)は魚群を探知するために使用する水中音響機器の一つであり,船底に下向きに装備した送受波器(アンテナ)から周波数 20~200 kHz 程度の音波を海中に送信する(図 1 左)。音波は海中を伝搬し,魚群などの物体に当たると反射する特性がある。反射波(以降,エコーと称す)は送受波器方向に戻って受信され,エコーの有無から魚群の存在を知ることができる。また,音波を送信してからエコーを受信するまでの往復伝搬時間 t と水中音速 c から魚群までの距離 $r = ct/2$ もわかる。音波は周期的に送信し(例えば,1秒に1回送信),受信したエコーの強度をカラー化したエコーグラム(図 1 右)として表示することで魚群の分布深度や形状などが可視化できる。

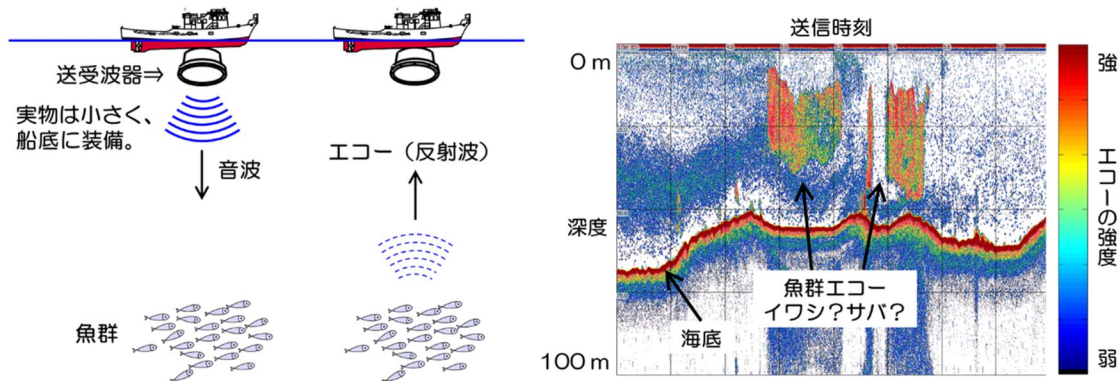


図 1 魚群探知機の原理(左)とエコーグラム(右)

このような特長を持った魚探は効率的な漁獲を可能にする漁労機器として,また魚群の分布や資源量を把握する調査機器として使用されてきた。しかし,魚群エコーを見ただけでは魚種はわからず,漁網や釣りによる漁獲またはカメラによる撮影をしなければならない。経験を積んだ漁業者や研究者は,魚群エコーから魚種を推測することも可能だが客観性に乏しい。魚探で見つけた魚群の魚種がわかれば,漁獲してよいか事前に判断でき,資源状態の悪い魚種なら漁獲を控え,資源状態の良い魚種なら選択して漁獲することも可能となる。さらに,魚探による資源量調査手法がより多くの魚種に適用できるほか,魚種判別の不確かさに伴う誤差が減り,資源量推定精度が向上する。これにより「水産資源の保全(管理)と持続可能な利用」が実現できる。

魚種判別に有用な情報として,魚種ごとに異なると考えられる魚群の内部構造が注目されてきたが(姜,2003),従来の魚探は分解能が 20 cm 程度と低いため特徴を明らかにできなかった。しかし,近年は分解能が 2 cm 程度の高分解能魚探が実用化され,魚群の内部構造が観測できるようになり,魚種判別に道を開くと期待されてきた。

2. 研究の目的

本研究のロングタームゴールは,魚探で見つけた魚群エコーから魚種を判別できるようにすることである。そこで魚探による魚種判別へ道を開くため,次の目的を設定して研究を行った。

- 1) 高分解能魚探を使用し,魚群の内部構造まで観測可能にすること。
- 2) 魚群の特徴量を抽出可能とすること。
- 3) 魚種(魚群エコー)によって特徴量に違いがあるか機械学習によって明らかにすること。

3. 研究の方法

1) 高分解能魚群探知機による魚群エコーの観測

ポータブルタイプの高分解能魚探(Simrad EK80, Kongsberg Maritime 製)を使用し,魚群エコーの定量観測が行えるよう準備した。東京海洋大学実習艇ひよどり観測プラットフォームとし,送受波器はステンレス製ポールの先端(深度 2 m)に取り付け,舷側に装備した。ACアダプターを電源として使用した場合はエコーデータに電気雑音が入りやすいため,DC12V バッテリーで駆動することとした。分解能をできるだけ高くしたいことから,掃引周波数が 90~170 kHz のリニア FM (Frequency Modulation) 信号を送信波形として使用することとした。

魚群エコーの観測は東京湾東扇島沖にて,2020 年~2022 年に計 13 回行った。魚種確認のためのサビキ釣りや水中カメラ撮影,水温・塩分の深度プロファイルの観測も行った。

2) 魚群エコーの解析

MATLAB による解析プログラムを開発し,収録したエコーデータを解析した。特徴量として,エコーエンベロープの振幅スペクトル,エコー強度スペクトル,エコー強度の変動スペクトル,魚群形態(長さ,高さ,周囲長など)を抽出した。魚群形態についてはエコーデータの後処理ソフトウェア Echoview (Echoview Software 製)の魚群検出機能を使用した。

3) エコー解析手法の高度化

個々の魚のエコー強度スペクトルは重要な特徴量である。これを正確に測定するために解析時にエコー波形に対して設定する高速フーリエ変換の窓サイズについて、水槽実験、現場観測、シミュレーションによって検討した。

4. 研究成果

1) エコーグラム

群れ内部の個々の魚まで見える高分解能なエコーグラムが得られた(図2左)。しかし、そのようなエコーグラムは常に得られるわけではなく、魚群の分布深度や密集具合に依存することがわかった。サビキ釣りによる結果、図2左に示したような表層付近の濃密な魚群はカタクチイワシであることがわかった。また、図2右に示したエコー強度がやや弱く、群れの中心に空洞のあるエコーはミズクラゲであることがわかった。海底付近に分布するエコーなども観測されたが、魚種の確認は行えなかった。

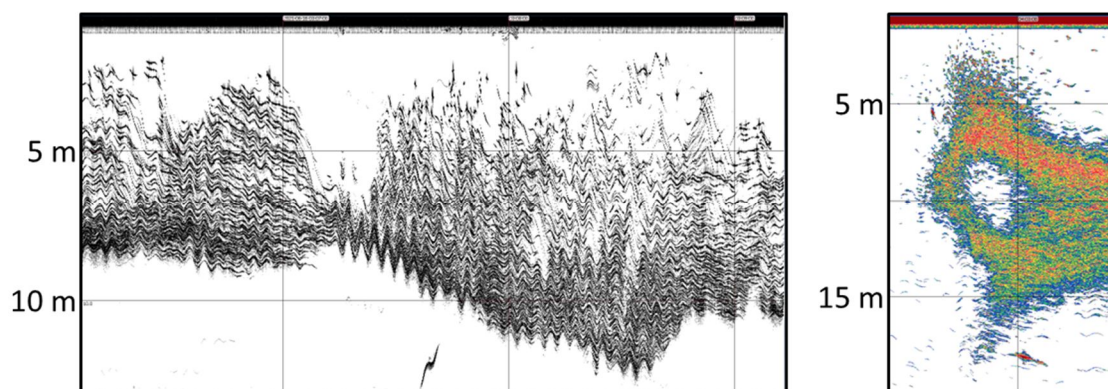


図2 エコーグラムの例。左：カタクチイワシ（個々の魚のエコーを見やすくするためにグレースケールで表示）、右：ミズクラゲ。

2) 魚群エコーの特徴量

エコーエンベロープの振幅スペクトルの一例を図3左に示す。複数のピークが見られ、魚群の内部構造を表していると考えられた。矢印で示した第一ピークの空間周波数に注目し、体長毎に調べたところ、体長が小さい方がピーク周波数が高くなる傾向が示された(図3右)。空間周波数が高いことは個体間距離が狭いことを意味するので、体長が小さいほど密集して群れていると考えられた。

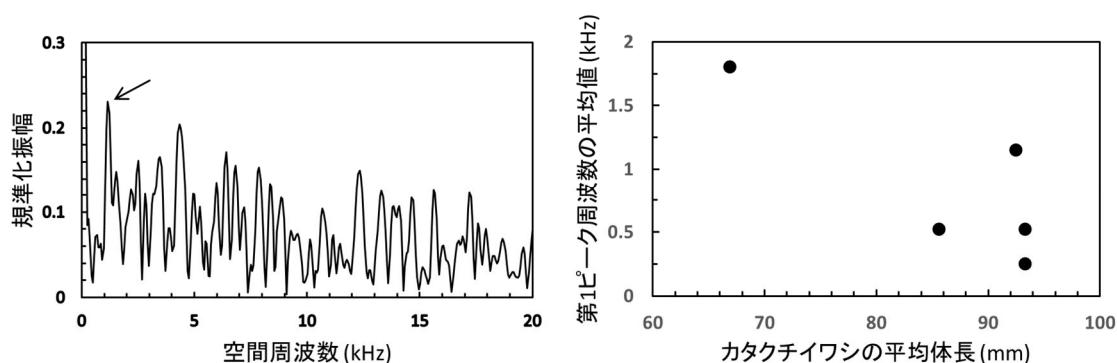


図3 エコーエンベロープ波形の規準化振幅スペクトル(左)、第1ピーク周波数と平均体長との関係(右)

タクチイワシ、ミズクラゲのエコーから抽出したエコー強度スペクトルとエコー強度の変動スペクトルを図4に示す。エコー強度に明確な差があるものの、スペクトル形状はいずれも平坦で大きな違いはなかった(図4左)。一方、カタクチイワシの変動スペクトルはクラゲ類よりも周波数依存性がやや高い傾向にあることがわかった(図4右)。これはカタクチイワシのエコー強度の姿勢依存性が高いことに起因すると考えられ、魚種判別に有用な情報となることが示唆された。

魚群形態を分析したところ、6月に観測した魚群は他の月と比較して高さより横に長い傾向にあることがわかった。また、使用した高分解能魚探は個々の魚のエコーまで詳細に捉えてしまうため、特徴量として求めた魚群の周囲長が過大になることもわかった。魚群形態を特徴量として抽出する際は、分解能が低い生データを解析することでこの問題を解決できることがわかった。

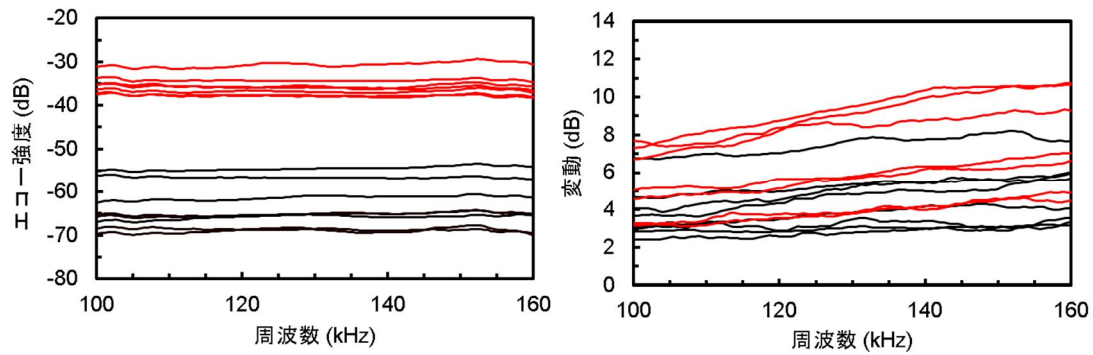


図4 カタクチイワシ（赤線）とミズクラゲ（黒線）のエコー強度スペクトル（左）と変動スペクトル（右）

抽出した魚群形態情報を使用し、教師なし機械学習（k-means）による魚群エコーのクラスタリングを試みた。しかし、本研究で得た魚群形態情報からは適切なクラスター数を決定することは困難であった。魚種が異なっても魚群形態は似ていることが考えられ、魚種間の違いを見出すことが難しいと考えられた。今後は、エコー強度スペクトルの情報も入れてクラスタリングを試みる必要がある。

3) エコー解析手法の高度化

魚のエコーを対象とする前に、高分解能魚探の送受信系の感度較正に使用する金属球（標準球）のエコーについて、高速フーリエ変換の適切な窓サイズを水槽実験により調べた。その結果、窓サイズは0.6 mが妥当であることがわかった（Liu et al., 2023）。さらに、観測海域の主要種であるカタクチイワシのエコーについて、シミュレーションと実データから高速フーリエ変換の適切な窓サイズを検討した結果、0.2 mが妥当であることがわかった。これらの窓サイズは、標準球を使用した感度較正およびカタクチイワシのエコー強度スペクトル測定においてガイドラインとして使用できる。

<引用文献>

- 姜明希, 2003. 魚群エコーの特徴抽出による魚種識別に関する研究. 東京水産大学博士学位論文, 141 pp.
- Liu et al. 2023. Effects of fast Fourier transform window size on the target strength spectra of tungsten carbide spheres. *Fisheries Science*, 89: 147-157.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Liu Jing, Saygili Burak, Iwasa Akira, Yamamoto Natsuki, Imaizumi Tomohito, Amakasu Kazuo	4. 巻 89
2. 論文標題 Effects of fast Fourier transform window size on the target strength spectra of tungsten carbide spheres	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Fisheries Science	6. 最初と最後の頁 147 ~ 157
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s12562-022-01653-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Jing Liu, Burak Saygili, Akira Iwasa, Tomohito Imaizumi, and Kazuo Amakasu
2. 発表標題 Experimental study on the measurement of calibration sphere echoes by broadband scientific echosounders
3. 学会等名 The Fourteenth Annual Meeting of Asian Fisheries Acoustics Society（国際学会）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------