

令和 4 年 6 月 5 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04861

研究課題名（和文）超音波流速計（ADCP）を用いた卵稚仔魚の水産資源量の計測

研究課題名（英文）Measurement method of larval fish by ADCP in sea area

研究代表者

新井 励（Arai, Rei）

大阪府立大学・工学（系）研究科（研究院）・准教授

研究者番号：60508381

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では日本近海の水産資源となり得る魚種の仔魚を超音波流速計（以降ADCPと呼ぶ）により定量化することを試みた。まず、クロマグロの産卵場とされる海域において国際水産資源研究所より実施されたクロマグロの仔魚採集調査によって得られた仔魚の計数データを整理し、黒潮の流軸付近にはカツオやソウダガツオの仔魚が、黒潮の周辺にはクロマグロやキハダマグロの仔魚がいることが確認された。次に仔魚調査と同時に実施されたADCPの計測データと仔魚の計数データを比較することでADCPより得られた散乱強度から仔魚量の推算の可能性を示唆する結果を得た。最後に、仔魚一個体当たりの濁度から算出されるADCP濁度を定量化した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、太平洋におけるクロマグロをはじめとした各種の魚類の乱獲による資源量の枯渇が問題となっており、魚類の資源量の管理が世界的に求められている。魚類の資源回復を図るうえで、適切な漁業管理が必要だがそのためには、魚類の資源量を把握しなければならない。従来、日本近海でも、資源量を把握するため、卵稚仔採取から計数（卵稚仔魚を数えること）までを手作業によって調査が行われてきた。この手作業による卵稚仔魚を計数する作業は、極めて原始的な作業で、一定期間に得られる情報量が少ないといった課題がある。そのため、ADCPにより非接触で魚類の卵稚仔魚を計数できれば極めて効率的であり、有意義であると考えられる。

研究成果の概要（英文）：The Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) is an efficient tool to measure current field in water column. ADCP consists of 4 transducers that emit the ultrasonic sound wave and capture the reflected waves. It also measures the scattering intensity of the suspended matters which relates to the concentration of those measured components. Thus, ADCP has the possibility to be an effective non-contact instrument that can measure concentration of suspended matter. The purpose of this study is to investigate the measurement method for the larval fish in the actual sea area. First, the author confirmed the correlation between scattering intensity and the larvae, using the data of the past laboratory experiment. Then the author confirmed the relationship between ocean currents and different species of larva. Finally, the author shows that it is possible to determine the trend of larva density from the scattering intensity of ADCP.

研究分野：海洋計測

キーワード：クロマグロ 超音波流速計 ADCP 水中音響 稚仔魚 散乱強度

### 1. 研究開始当初の背景

近年、乱獲などで減少傾向にあるクロマグロやアジといった魚種が増え、養殖が盛んに行われるようになってきた。資源管理を目的として従来、日本近海におけるクロマグロなどの仔魚の採集による分布調査が行われてきた。採集した仔魚は人の手作業により分類、計数されているのが現状であり、膨大な時間を要するとともに、一定期間に得られる情報量が少ないといった点が問題となっている。

### 2. 研究の目的

本研究では日本近海の水産資源となり得る魚種の仔魚を定量化することを目的とする。まず、クロマグロの産卵場とされる海域において水産研究・教育機構により実施されたクロマグロの仔魚採集調査によって得られた仔魚の計数データを整理する。次に仔魚調査と同時に実施された ADCP の計測データと仔魚の計数データを比較分析する。最後に、ADCP より得られた散乱強度から仔魚量の推定の可否を検討する。

### 3. 研究の方法

#### 3.1 物理モデル

ADCP により送受信される音波の濁度に対する応答特性を把握するためには、超音波の伝搬過程と散乱過程をモデル化する必要がある。伝搬過程は ADCP から送信された超音波が懸濁物質に入射するまで、あるいは音響散乱体により散乱された超音波が ADCP により受信されるまでを意味する。また、散乱過程は複数の音響散乱体に入射した音波がそれぞれの音響散乱体の濃度に応じてどのように散乱するかを意味する。4 つあるトランスデューサーの、 $j$  番目のトランスデューサーから距離  $r$  [m] に存在する音響散乱体に入射した音圧  $Pi_j$  [Pa] を式(1)に示す。ADCP のトランスデューサーが受信した音圧  $P_j$  [Pa] によって得られる、音響散乱体からの反射波  $Ps_j$  [Pa] を式(2)に示す。

$$Pi_j = P_o \phi(r) e^{-(a_w + a_s)r} = P' i_j * e^{-a_s r} \quad (1)$$

$$Ps_j = \frac{P_j}{\phi(r)} e^{(a_w + a_s)r} = P' s_j * e^{a_s r} \quad (2)$$

ここで、 $P_o$  は ADCP から送信された音圧 [Pa]、 $\phi(r)$  は伝搬過程における音波の拡散による減衰 [dB/m]、 $a_w$  は水による音波の吸収 [dB/m]、 $a_s$  は音響散乱体による減衰 [dB/m] である。 $P' i_j$  と  $P' s_j$  は式(1)、式(2)における、水と音波の拡散により算出される音圧 [Pa] である。また、ADCP から送信された音圧レベルは、式(3)にあらわすように Transmit Power (TP) [W] に比例定数  $k$  をかけて表されることが知られている。また、ADCP は指向性を持つピストン音源であるため、伝搬過程における音波の拡散は、音波が拡散した表面積  $S(r)$  [m<sup>2</sup>] で表現される。よって音波による拡散  $\phi(r)$  を、式(4)、式(5)で表現する。

$$P_o = kTP = k(TC \times 0.011451) \times (TV \times 0.380667) \quad (3)$$

$$S(r) = 4 \frac{B^2}{\sin^2 \theta} \theta^2 \quad (4)$$

$$\phi(r) = \frac{S(l)}{S(r)} \quad (5)$$

$B$  はトランスデューサーの半径 [m] で、 $\theta$  は ADCP の音波の指向角 [rad]、 $TC$ 、 $TV$  はそれぞれトランスデューサーへの印加電流 [A]、印加電圧 [V] を表しており、この値は ADCP のバイナリデータから取得することができる。ここで、音響散乱体による反射は、それぞれの音響散乱体濃度  $C_i$  と、その音響散乱体の散乱する強さを表す係数  $N_i$  によって、式(6)で表される。つまり、 $P' s_j$  と  $P' i_j$  の比は、 $n$  種類存在する音響散乱体による減衰  $\alpha_i$  [dB/m] を用いて式(7)で表現できる。その両辺の自然対数を取ることで、式(8)で表現される。

$$\frac{Ps_j}{Pi_j} = \prod_i^n (N_i C_i)^{\gamma_i} \quad (6)$$

$$\frac{\overline{Ps_j}}{\overline{Pi_j}} = \prod_{i=1}^n (N_i C_i)^{\gamma_i} e^{-2a_i(C_i)r} \quad (7)$$

$$X_j = \log \frac{P's_j}{P'i_j} = \sum_{i=1}^n \{\gamma_i \log N_i C_i - 2a_i(C_i)r\} \quad (8)$$

式(8)より、計測される音響散乱体の情報が、それぞれの音響散乱体濃度の自然対数を取った値の重ね合わせで表現できると考える。

### 3. 2 主成分分析

主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)は、高次元データ空間に散らばるデータの関係を利用し、もとの変数の一次結合で表される新たな変数を構成することで、次元圧縮を行うとともに合成された変数を通してデータから有益な情報を読み取るための手段である。その際、新しい変数を作成するにあたって、まず元の変数の一次式を考え、その分散が最大になる係数を決める。この手続きによって得られる変数を第1主成分と呼ぶ。第2主成分は、この第1主成分と無相関な中から分散が最大になるものを定める。また、式(9)に示すように、データ行列  $\mathbf{X}$  は、その分散共分散行列の固有ベクトル  $\mathbf{T}$  空間上から見て第  $p$  主成分スコア  $\mathbf{Y}=(Y_1, Y_2, \dots, Y_p)$  となるように展開される。

$$\mathbf{Y}=\mathbf{XT} \quad (9)$$

このことから、分散共分散行列を主成分分析により、固有値解析した際の固有値が、射影軸上の分散に対応する。固有値が大きい主成分ほど、多くの情報を有していることになるため、データ行列  $\mathbf{X}$  が有している有意な主成分の数  $n$  を特定し、 $\mathbf{X}$  の特性を効率的に抽出できる。

### 4. 研究成果

ADCP により計測された各計数地点での東方流速と北方流速より得られた流向流速を Fig.1 に、海上保安庁より発表された同時期、当該海域における海流図を Fig.2 に示す<sup>1)</sup>。



Fig.1 Current chart measured by ADCP.

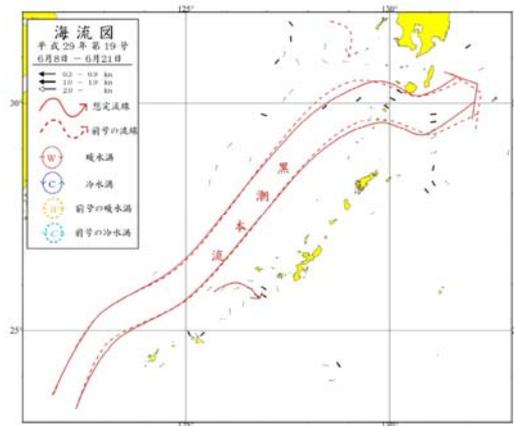


Fig.2 Current chart released by the Japan Coast Guard.

Figure 1 と 2 を比較すると海上保安庁より発表されている黒潮本流の流向流速は ADCP により計測された流向流速データと良好に一致していることが確認できる。この結果より計数地点を「黒潮本流」と「黒潮本流の周辺」という 2 種類の海域に分類し、魚種の資源量について考察した。黒潮本流とその周辺の流れにおける、それぞれの魚種の計数割合をまとめた表を Table 1 に示す。カツオやソウダガツオは黒潮本流に多く存在しており、特にソウダガツオの 78% が存在する結果となった。またクロマグロとキハダは黒潮本流の周辺に多く存在し計数量の約 80% が存在した。この結果より、ADCP から得られた流向流速より仔魚の種別ごとの存在割合の傾向を判断できる可能性が示唆された。

Table 1 Percentage of fish species by ocean current

	Kuroshio current	Around kuroshio current
Pacific bluefin tuna	18%	82%
Yellowfin tuna	21%	79%
Skipjack tuna	54%	46%
Auxis	78%	22%

次に ADCP から得られた散乱強度より推定した濁度と各地点での仔魚密度を比較したものを Fig. 3 に示す。

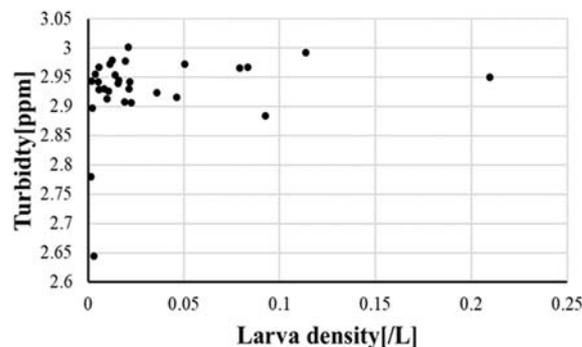


Fig.3 Comparison between Larva density and turbidity.

Figure 3 のように濁度と仔魚密度に高い相関関係は確認できなかった。ADCP 計測時の、動物プランクトンや植物プランクトンといった仔魚以外の音響散乱体の存在や環境騒音といったバックグラウンドの影響を受けていることが想定される。そこで ADCP による計測第一層の濁度は仔魚とバックグラウンドの和であり、第三層以降はバックグラウンドのみと仮定し、その差分をとることでバックグラウンドの除去を試みた。また ADCP による仔魚の測定の定量下限値として仔魚密度を 0.05 [匹/L] と設定しその結果を Fig. 4 に示す。Figure 4 の結果より濁度と仔魚密度は良い相関を示している。ADCP より得られた濁度から仔魚量を推定できる可能性が示唆された。仔魚密度が 0.05 [匹/L] 以上であった ADCP 濁度に対して主成分分析を用いたところ第 1 主成分の

寄与率が 99%で、第 1 主成分得点と仔魚密度に対して相関が見られた。そこで第 1 主成分に仔魚の情報が含まれていると仮定し仔魚の濁度を推定した結果を Fig. 5 に示す。また水槽実験で得られた結果を Fig. 6 に示す。Figure 5 と 6 の傾きはそれぞれ仔魚 1 個体当たりの濁度として考えられ、それぞれの傾きは 9.8 と 2.8 であり水槽実験での結果に対して実海域での仔魚一匹当たりの濁度が三分の一程度という結果が得られた。この原因として水槽実験では植物プランクトンが過飽和の状態が存在し、また仔魚密度も実海域と比較し 100 倍ほど異なるといった環境の違いが挙げられる。このような環境の違いを考慮すれば実海域での仔魚一匹当たりの濁度は妥当であると考えられる。

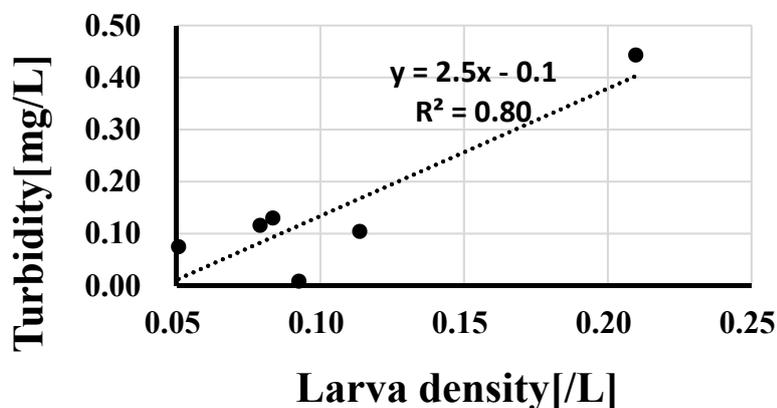


Fig. 4 Comparison between larva density and turbidity.

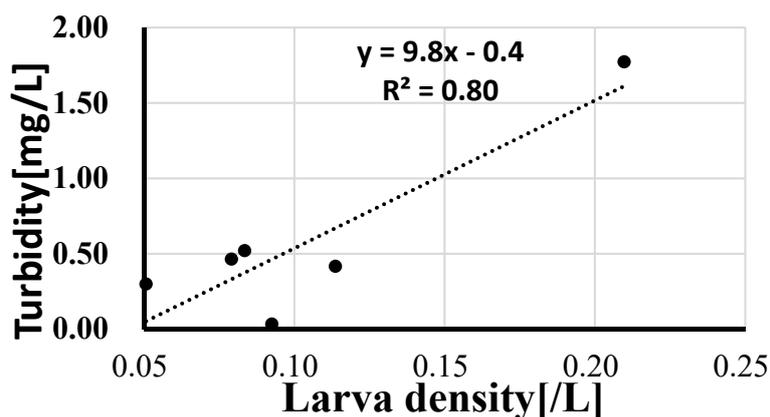


Fig. 5 Comparison between larva density and estimated turbidity.

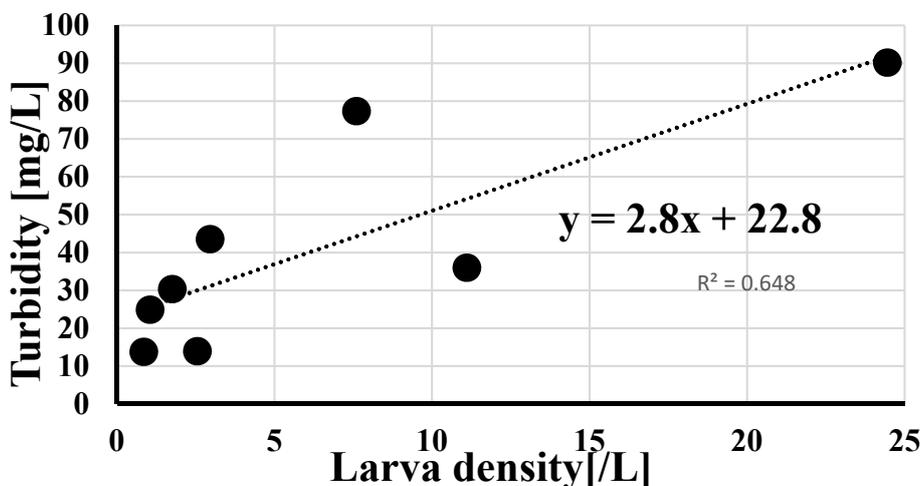


Fig. 6 Comparison between larva density at aquarium experiment.

1) 海上保安庁 第十一管区海上保安本部：“十一管区海洋速報”，Available at : <<https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN11/sokuhou/sokuhou.html>>Accessed on: June, 5th 2022.

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 新井 励、ハリクリシュナン ハリワーマン、中谷直樹	4. 巻 -
2. 論文標題 超音波流速計を用いた実海域における懸濁物質濃度の計測法	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演論文集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	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 0件）

1. 発表者名 新井 励、ハリクリシュナン ハリワーマン、中谷直樹
2. 発表標題 超音波流速計を用いた実海域における懸濁物質濃度の計測法
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会春季講演会
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
研究分担者	塚原 洋平  (tsukahara youhei)  (90781865)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水研機構(清水)・研究員   (82708)	
研究分担者	久門 一紀  (kumon kazunori)  (70576800)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水研機構(長崎)・グループ長   (82708)	
研究分担者	山下 貴示  (yamashita takashi)  (00443375)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水研機構(長崎)・主任研究員   (82708)	

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
---------	---------