

TUMSAT-OACIS Repository - Tokyo

University of Marine Science and Technology

(東京海洋大学)

定置網用魚群探知機の画像から求めた魚群量指数と箱網の漁獲量との関係に関する研究

メタデータ	言語: ja 出版者: 公開日: 2024-05-28 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 中江, 正樹 メールアドレス: 所属:
URL	https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/2000170.1

修士学位論文

定置網用魚群探知機の画像から求めた魚群量指数と
箱網の漁獲量との関係に関する研究

2023 年度
(2024 年 3 月)

東京海洋大学大学院
海洋科学技術研究科
海洋生命資源科学専攻

中江 正樹

修士学位論文

定置網用魚群探知機の画像から求めた魚群量指数と
箱網の漁獲量との関係に関する研究

2023 年度
(2024 年 3 月)

東京海洋大学大学院
海洋科学技術研究科
海洋生命資源科学専攻

中江 正樹

目次

1. 目的	1
2. 方法	3
3. 結果	12
4. 考察	28
謝辞	34
文献	35

1. 目的

定置網は漁具を海中に固定し、魚の入網を待って漁獲を行う受動的な漁法であり、その漁獲は敷設漁場の環境的特徴、垣網、身網の機能および対象資源の来遊量等に大きく依存する。¹⁾漁業者は決まった時間に出漁して網を起し、その時点ではじめてその日の網の状況を確認することとなる。²⁾そのため、潮が速く網を起すことができずに帰港する日や、出漁に見合う水揚げが得られない日もある。³⁾こうした無駄な操業をなくすことによるコストの削減が定置網漁業の共通の課題であり、そのために定置網における魚の入網状況の把握が不可欠である。網内の魚群を監視する方法として、魚群探知機やバイオテレメトリー、スキャニングソナー等があり、主に定置網内の魚群行動の調査研究のために使用されてきた。また、魚群探知機のデータを無線で送信するテレサウンダーやソナーのデータをデータ通信で送信するリモートソナーなど、定置網を遠隔から監視することを目的とした商品も開発、使用されてきた。⁴⁾近年では、軽量かつ安価であるだけでなくICTを活用してデータをクラウドサーバーに蓄積・管理できるようにしたユビキタス魚探⁵⁾が開発され、各地の定置網にて導入されているほか、複数の水温センサーを搭載したスマートブイ⁶⁾の研究開発も進められている。一方で、最近では改正漁業法の施行によりTAC魚種の拡大が想定されており、定置網漁業においても魚種ごとの数量管理への厳格な対応が必要となってきた。定置網用魚群探知機の導入によって、海中の魚種を把握し、漁獲可能量を超える前に揚網を中断し魚を逃がすなどの判断を支援することが可能になるとされ、⁷⁾数量管理への貢献が期待されている。

音響機器から得られた画像が持つ情報の評価方法は、「見る」という定性的かつ主観的な方法にとどまっている。⁸⁾そのため、研究材料として扱うに際し、画像解析による画像の定量化が不可欠である。しかしながら、定置網用の音響機器における画像の定量化の研究および実際の漁獲量と

の比較検討はテレサウンダー^{10,11)}やリモートソナー⁵⁾についてわずかに行われたのみである。そのため本研究では、定置網用魚群探知機の画像の定量化が定置網における将来的な数量管理に活用可能か検討することを目的とし、定置網用魚群探知機の画像を魚群量指数として数値化し、魚群量指数と箱網における実際の漁獲量との関係について検討した。

2. 方法

定置網用魚群探知機

研究には日東製網株式会社製のユビキタス魚探(Fig.1)を使用した。主に海上ブイ、送受波器、バッテリー、潮流計、それらを結ぶケーブルで構成されており、使用する超音波の周波数は50kHz、指向角は53°であった。得られた魚探画像は携帯電話回線によるデータ通信でクラウドサーバーに送信され、漁業者はiPadアプリ「定置網魚探」や、スマートフォン、パソコン等から(株)光電製作所のブラウザ「ユビキタス魚探ウェブサーバーサービス」にアクセスすることで現在の網内の魚群情報を確認することができる。「ユビキタス魚探ウェブサーバーサービス」上では、最大2時間の連続した魚探画像や水深を確認することができるほか(Fig.2)、クラウドサーバー内に蓄積した潮流計のデータにアクセスすることができる。

調査漁場

本研究では青森県西津軽郡深浦町の沢辺漁場(西定第3号)、松神漁場(西定第2号)を調査漁場とした(Fig.3)。沢辺漁場に敷設された大型定置網の網型をFig.4に示す。網型は垣網、運動場、昇網、第1箱網、第2箱網からなる両端口片二段落網で、第2箱網の沖側に金庫網、運動場の南側に底層網を有し、身網の全長は432m、第2箱網魚捕部の目合は60mmであった。揚網部位は第2箱網、金庫網、底層網であった。通常1日に1回、午前7時から10時の間に操業が行われ、第2箱網が揚網された。金庫網と底層網は数日おきに漁労長の判断により揚網が行われた。定置網用魚群探知機の送受波器は、第2箱網の内昇網を展張している2本の張網のうち、沖側の張網から真下に向けて垂下した。内昇網先端から送受波器までの距離は約15m、設置深度は約1.5mであった。松神漁場に敷設された大型定置網の網型をFig.5に示す。網型は垣網、運動場、昇網、箱

網からなる両端口片落網で、箱網の陸側、沖側に金庫網、運動場の南側に底層網を有し、身網の全長は384m、箱網魚捕部の目合は48mmであった。揚網部位は箱網、金庫網、底層網であった。通常1日に1回、午前7時から10時の間に操業が行われ、箱網が揚網された。金庫網と底層網は数日おきに漁労長の判断により揚網が行われた。定置網用魚群探知機の送受波器は箱網の内昇網を展開している2本の張網のうち、沖側の張網から真下に向けて垂下した(Fig.6)。内昇網先端から送受波器までの距離は約15m、設置深度は約1.5mであった。

魚群量指数の算出方法

魚群量指数の算出方法をFig.7に示す。定置網用魚群探知機の画像は(株)光電製作所の「ユビキタス魚探ウェブサーバーサービス」からダウンロードし、スクリーンショットにより静止画としてパソコンに保存した(A)。このとき、魚探画像の表示感度はレンジを64、オフセットを16とした。画像は沢辺漁場では2020年6月5日～8月4日、2021年4月24日～8月4日、2022年5月11日～6月30日、2023年5月16日～8月3日、松神漁場では2023年5月16日～7月22日にて、1時間に1枚、1日あたり24枚収集した。次に、画像編集ソフト(Adobe Photoshop)を用いて以下の処理および解析を行った。まず、定置網用魚群探知機の魚探画像以外のパソコン画面や、魚探画像の右側に表示されている水深表示部分を除外し、左側の1時間分の魚探画像を抽出した(B)。抽出した魚探画像の大きさは横1200ピクセル、縦640ピクセルであった。この時点で魚探画像には反応強度ごとに256色以上の色が使用されているため、色数調節機能を用いて赤、黄、青、背景色の濃紺の4色に減色した(C)。次に、魚探画像に表示されている海面や海底、吹き上がって映り込んだ漁網等の魚群反応以外の反応を、ブラシツールと塗りつぶしツールを用いて濃紺に置き換える形で除去し、魚群反応のみを抽出した(D)。次に、魚群反応である赤、黄、青のそれぞれについて、近似色選択ツ

ルで同一色を一括選択し、計測ツールを用いてピクセル数を測定した。一般的に漁獲量が多いときには魚群密度が高くなるため、送受波器から発射された超音波の反射波は強くなり魚探画面上で赤く表示され、漁獲量が少ないときには魚群密度が低くなるため、反射波が弱くなり魚探画面上で青く表示される。⁵⁾そのため、本研究においては簡易的な重みづけとして赤に係数3、黄に係数2、青に係数1を積算し、次式により魚群量指数を算出した。

$$\text{魚群量指数}F = (\text{赤のピクセル数} \times 3 + \text{黄のピクセル数} \times 2 + \text{青のピクセル数}) \times 10^{-3}$$

漁獲資料

漁獲資料として、調査漁場で操業する漁業者の操業日誌に記載された漁獲記録を用いた。これは調査漁場において、揚網が行われるごとに漁労長から陸上の事務員に報告された漁獲の記録である。操業部位ごとの漁獲量が記載されているため、定置網用魚群探知機の設置部位である箱網の漁獲量のみに着目する本研究に適切であると判断し、本研究においては箱網の漁獲量のみを用いた(以降、漁獲量は箱網における漁獲量を指す)。また調査漁場では、夏季には落網を用いてブリ *Seriola quinqueradiata* やクロマグロ *Thunnus orientalis* 等を、冬季には底層網を用いてサケ *Oncorhynchus keta* やマダラ *Gadus macrocephalus* 等を漁獲する定置網漁業が営まれているが、本研究では夏季漁期を対象として定置網用魚群探知機を設置したため、夏季漁期における漁獲記録のみを収集した。資料は沢辺漁場では2020年4月30日～8月11日、2021年5月16日～8月1日、2022年4月29日～8月21日、2023年5月10日～8月7日、松神漁場では2023年5月10日～8月7日にて収集した。それぞれの漁場の調査期間中の漁獲量を整理し、各操業における漁獲量を抽出した。またそれぞれの漁場における漁獲魚種組成を求め、漁獲割合の上位を占めた魚種をそれぞれの漁場における主要魚種とした。

流況資料

沢辺漁場における流況の資料として、定置網用魚群探知機に付属する潮流計のデータを使用した。資料は(株)光電製作所の「ユビキタス魚探ウェブサーバーサービス」上からExcel CSVファイル形式でダウンロードした。Excel CSVファイル内には10分毎の流向(真方位 0° を0として $0\sim 360^{\circ}$ で表示される)および流速(knot)が記載されていた。資料は2019年6月1日～8月11日、2020年6月5日～8月4日、2021年4月24日～8月4日、2022年5月11日～6月30日、2023年5月16日～8月3日にて収集した。調査期間の全流向データについて、階級幅 22.5° ごとの出現頻度を調べ、沢辺漁場における流向の傾向を求めた。また、辻ら(2013)¹²⁾にならい、階級幅 0.25° ごとの出現頻度を調べて沢辺漁場における主流軸を求め、沢辺漁場における最頻の流れを順流、その反対方向の流れを逆流と定義した。なお、松神漁場における流況の資料はデータに欠損が多かったため使用しなかった。

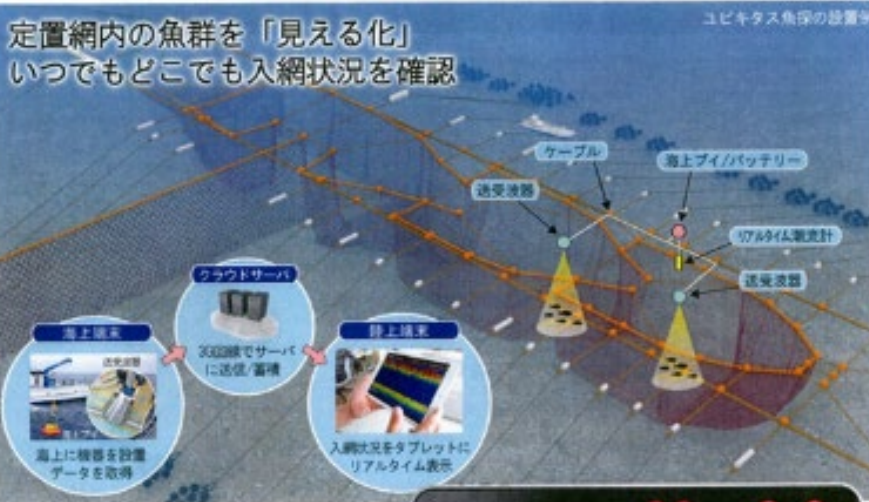
魚群量指数と漁獲量との関係

沢辺漁場の2020～2023年の各年度について操業直前1時間の魚探画像から算出した魚群量指数と、対応する操業の漁獲量を抽出し、各年度におけるそれぞれの日変化、傾向を分析した。また、魚群量指数と漁獲量との詳細な関係を検討するために、各年度について魚群量指数と漁獲量の相関分析を行った。さらに4年間のデータをまとめた場合についても相関分析を行い、得られる結果の変化について検討を行った。次に、魚種による魚群量指数と漁獲量との関係の違いを明らかにするため、沢辺漁場における主要な魚種について、その魚種が漁獲量の7割以上を占めた操業のみを抽出し、魚群量指数と魚種漁獲量との相関分析を行った。また、操業時の流向による相関関係の違いを検討するため、各操業を操業時刻における流向によって順流、逆流、その他

の3種類に分類した。この3種類についてそれぞれ魚群量指数と漁獲量との相関分析を行い、比較を行った。松神漁場についても同様に、操業直前1時間の魚探画像から算出した魚群量指数と、対応する操業の漁獲量を抽出し、日変化、傾向を分析するとともに相関分析を行った。また、松神漁場における主要な魚種について、その魚種が漁獲量の7割以上を占めた操業のみを抽出し、魚群量指数と魚種漁獲量との相関分析を行った。相関分析では、ExcelのCorrelation関数を用いて魚群量指数と漁獲量との相関係数を算出した。また、相関の有無については、「両者の間に相関がない」という帰無仮説を用いた仮説検定を有意水準5%にて行い判断した。有意な相関が認められた場合には、両者の関係を表す近似式を追加で記載した。魚群量指数が0のとき、漁獲量は0であると考えられるため、近似式のy切片は0とし、Excelのソルバーを用いた最小二乗法によって傾きを算出した。

魚群反応と魚群量指数の日周変動

魚種ごとの魚群反応の出現傾向の違いについて調べるために、沢辺漁場を対象として主要な魚種の魚群反応の日周変動について調べた。主要な魚種が漁獲の中心であった操業について、前日の12:00から当日の13:00までの1時間ごと25枚の魚探画像を参照し、その魚種の魚群反応の出現傾向について検討を行った。また、漁期を通しての沢辺漁場における魚群反応の出現傾向を調べるために、各操業日における魚群量指数の日周変動を調べた。操業前日の12:00から当日の13:00までの1時間ごと25枚の魚探画像からそれぞれ魚群量指数を算出し、各操業日における日周変動を調べるとともに、平均魚群量指数の日周変動についても検討した。



専用アプリ「定置網魚探」の機能

- 1 バッテリー残量の表示機能
13.10V → 11.30V → 10.10V
バッテリー交換のタイミングが一目でわかります
- 2 画面キャプチャー機能
魚探画像を所望した時は、静止画として保存できます
- 3 カレンダー表示機能
過去1年間の魚群情報を確認できます
- 4 感度調整機能
自分好みの見え方に調整できます



※1：上下2画面表示（送受波器は2式まで取り付け可能）
※2：送受波器2式・リアルタイム監視計のフル装備モデルの場合

● ユビキタス魚探の活用例

魚群の入網状況に合わせた対応が可能に

- 入網を確認 → 対応 出漁
水揚量を予測 → 対応 船に積み込む水の量を調整
- 出漁のタイミングを見計らう判断材料に
複数漁場をチェック → 対応 入網の多い網を優先して操業
潮が退いた網次かれ → 対応 出漁しない

Fig.1 ユビキタス魚探のカタログ(日東製網株式会社)

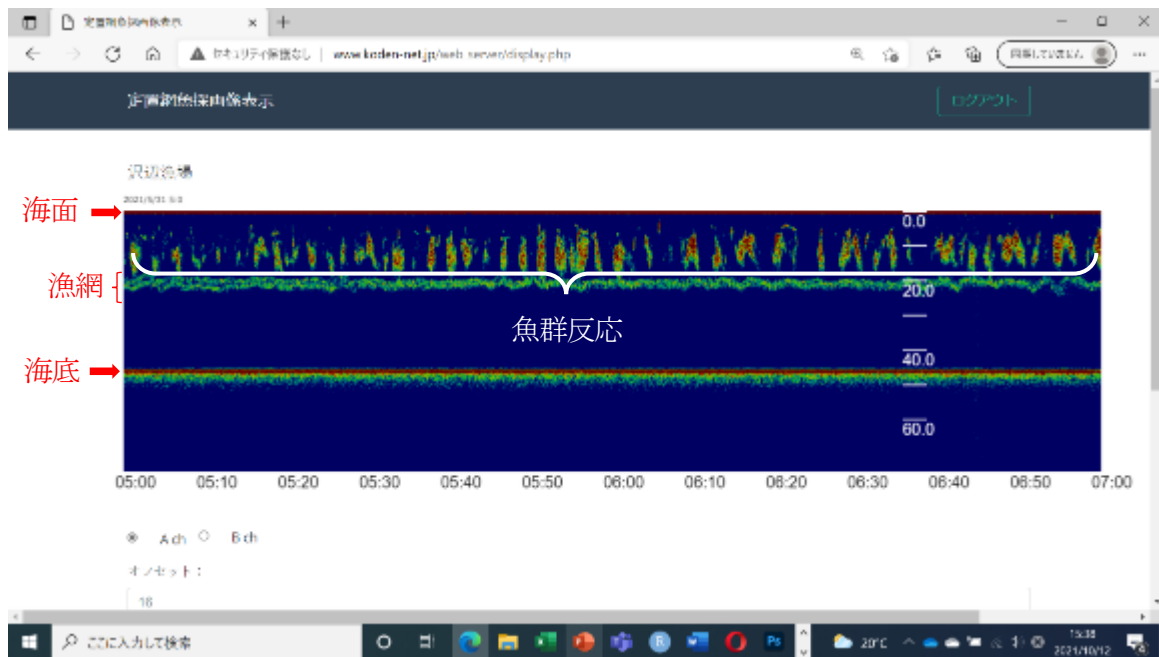


Fig.2 パソコンで表示した定置網用魚群探知機の画像例

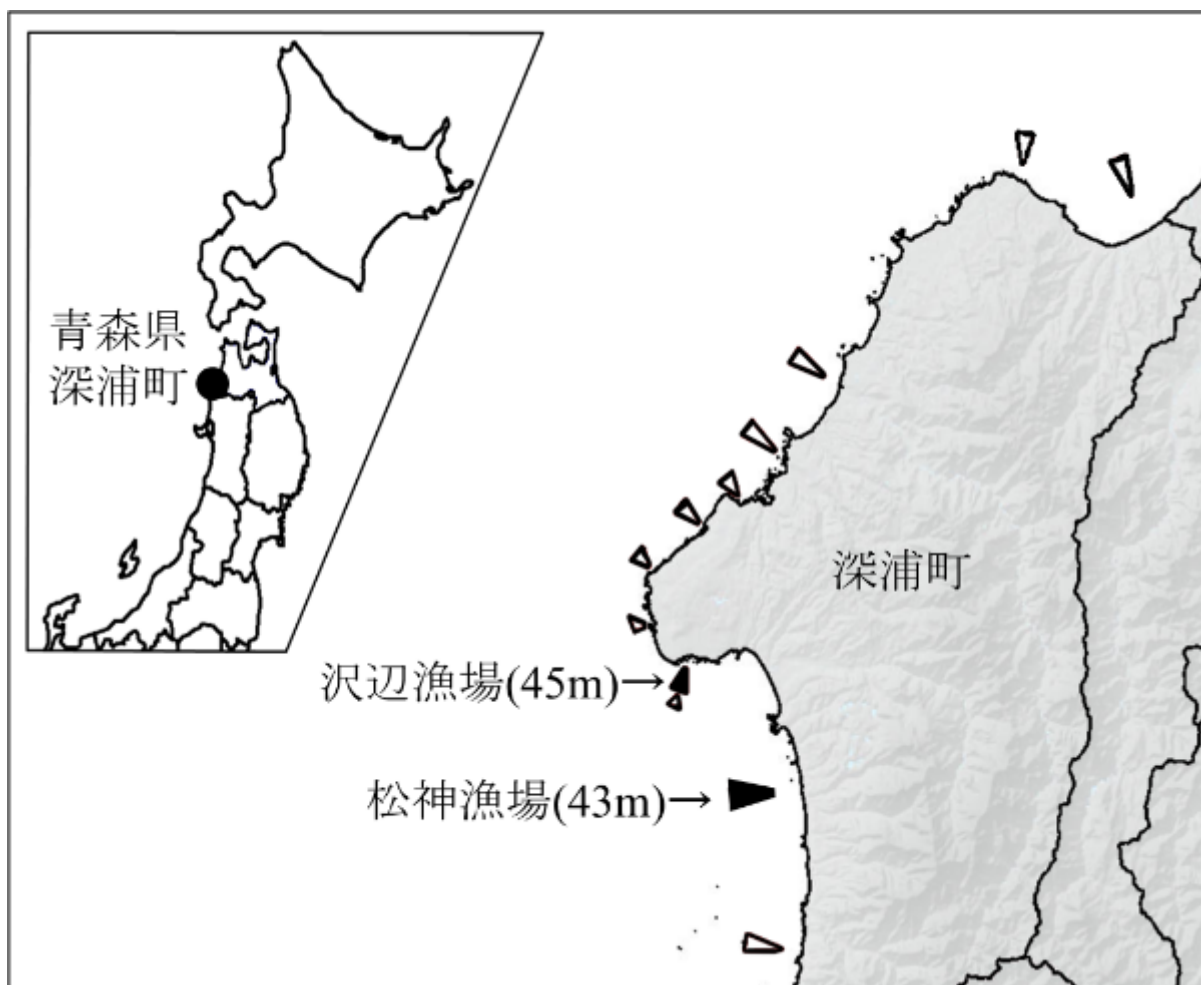


Fig.3 調査漁場の位置

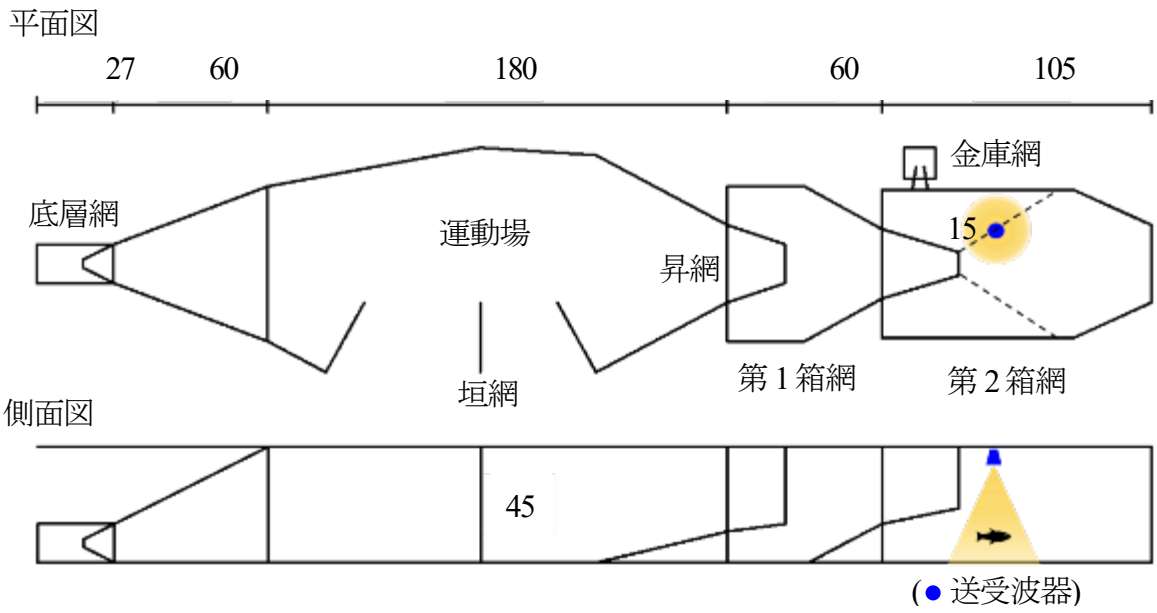


Fig.4 沢辺漁場の平面図と側面図および送受波器の設置位置(単位:m)

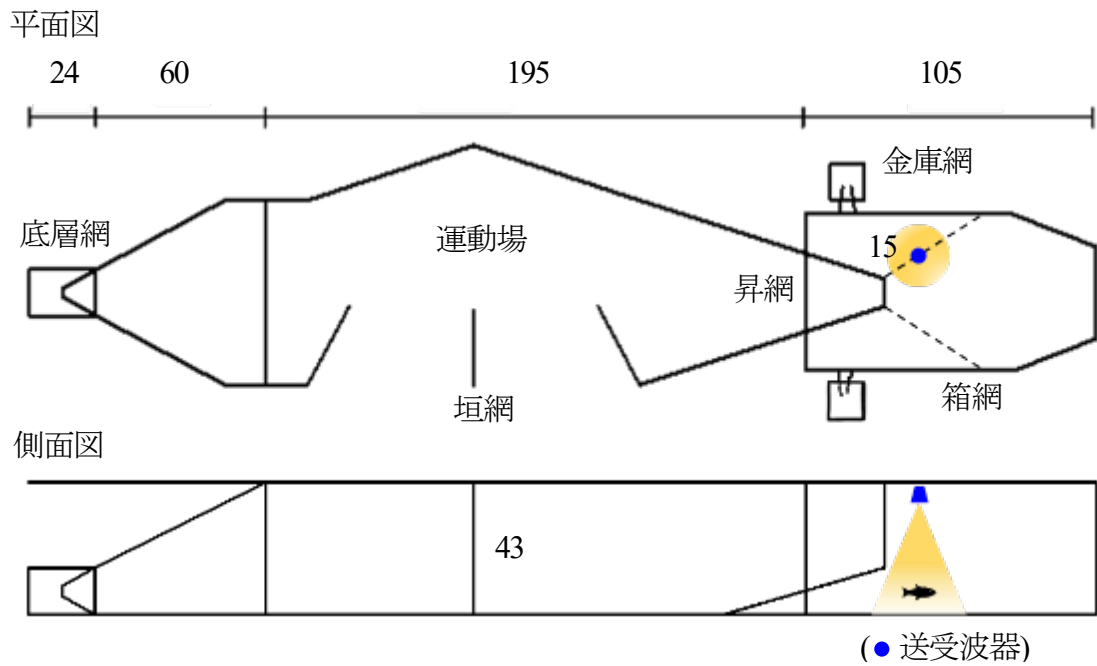


Fig.5 松神漁場の平面図と側面図および送受波器の設置位置(単位:m)

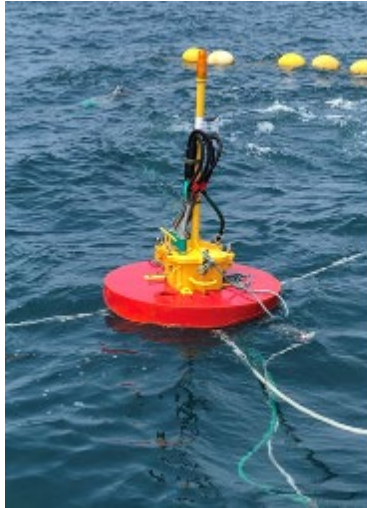
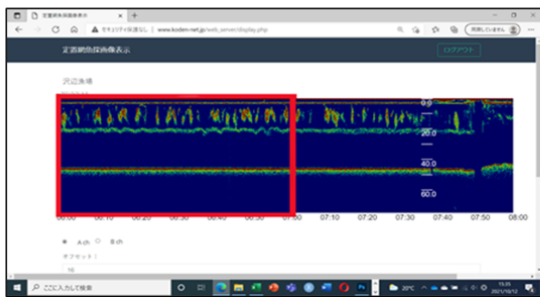
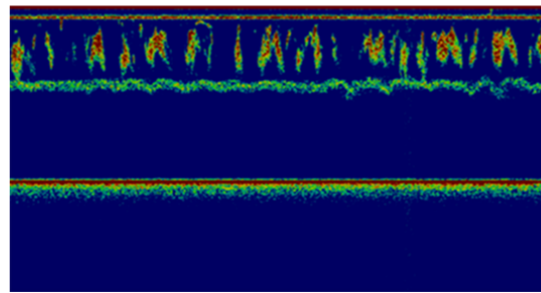


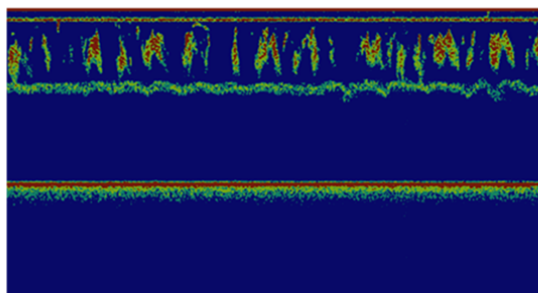
Fig.6 定置網用魚群探知機の海上ブイ(左)と送受波器(右)



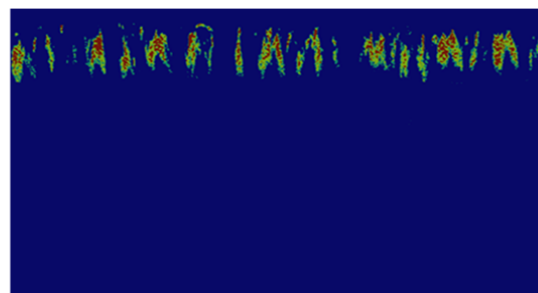
(A) ユビキタス魚探の画像を保存



(B) 1時間分の魚探画像を抽出



(C) 減色処理(赤、黄、青、濃紺の4色)



(D) 魚群反応のみを抽出

Fig.7 魚群量指数の算出方法

3. 結果

漁獲魚種組成

2020～2023年の夏季漁期における沢辺漁場第2箱網の漁獲魚種組成をFig.8に示す。4年間の総漁獲量は895t、各魚種の割合は上位からサバ類 *Scomber spp.* が29.7%、ブリが23.2%、クロマグロが21.9%、マダイ *Pagrus major* が14.8%、その他が10.3%であった。以上より、上位4種(サバ類、ブリ、クロマグロ、マダイ)を沢辺漁場における主要魚種とした。2023年の夏季漁期における松神漁場箱網の漁獲魚種組成をFig.9に示す。総漁獲量は41.8t、各魚種の割合は上位からクロマグロが34.0%、ブリが24.0%、マダイが7.5%、シイラ *Coryphaena hippurus* が4.5%、ゴマフグ *Takifugu stictonotus* が4.4%、その他が25.6%であった。以上より、上位5種(クロマグロ、ブリ、マダイ、シイラ、ゴマフグ)を松神漁場における主要魚種とした。なお、サバ類にはマサバ *S. japonicus* とゴマサバ *S. australasicus* が含まれていたが、操業日誌からは両者の漁獲割合が特定できない場合があったため、本研究では一括して扱った。

潮流の頻度分布

2019～2023年の夏季漁期における沢辺漁場の16流向区分別の頻度分布をFig.10に示す。流向区分NWの出現頻度が最も高く、全体の26%を占めた。また、階級幅0.25°ごとの頻度分析の結果、267.5～357.5°の範囲に全データの約66%が含まれることがわかった。このことから沢辺漁場における主流軸が312.5°方向であることがわかり、Fig.10中に矢印で示した。これは運動場から箱網方向への流れであった。この結果から267.5～357.5°の範囲の流れを調査漁場における順流、その真逆の87.5～177.5°の範囲の流れを逆流と定義し、Fig.10中にその範囲を示した。また、順流、逆流のいずれにも該当しない流向をその他と分類した。

魚群量指数と漁獲量との関係

各年の沢辺漁場における操業日毎の魚群量指数と漁獲量の日変化をFig.11に示す。なお、2020年の5月は定置網用魚群探知機の設置が無かったため、また、2022年の6月下旬以降は網の修理に伴い休漁したため、それぞれ空白とした。定置網用魚群探知機の画像から得られた魚群量指数と漁獲情報の両方が揃った日は、2020年が32日、2021年が48日、2022年が24日、2023年が45日であった。すべての年で、漁期を通して魚群量指数が低い日には漁獲量が少なく、魚群量指数が高い日には漁獲量が多くなる傾向がみられたが、魚群量指数が低いにもかかわらず漁獲量が多い日や、魚群量指数が高いにもかかわらず漁獲量が少ない日がみられた。こうした日について、漁獲された魚種は様々であった。松神漁場における操業日毎の魚群量指数と漁獲量の日変化をFig.12に示す。定置網用魚群探知機の画像から得られた魚群量指数と漁獲情報の両方が揃った日は、32日であった。漁期を通して魚群量指数が低い日には漁獲量が少なく、魚群量指数が高い日には漁獲量が多くなる傾向がみられたが、魚群量指数が低いにもかかわらず漁獲量が多い日や、魚群量指数が高いにもかかわらず漁獲量が少ない日がみられた。

沢辺漁場の各年における魚群量指数と漁獲量との関係をFig.13に示す。なお、Fig.13および後述するFig.14、Fig.15、Fig.20においては、散布図の軸に実数軸を用いた場合プロットの重なりが著しく、視認性を欠くため、両軸ともに対数軸を用いた。すべての年において、魚群量指数と漁獲量の間には有意な正の相関が認められ($p < 0.05$)、相関係数は2020年度から順に0.58、0.52、0.55、0.39であった。近似式の傾きは2020年から順に0.1252、0.2221、0.201、0.116とすべての年で近い値をとった。また、4年間分のデータをまとめた場合について、魚群量指数と漁獲量との関係をFig.14に示す。魚群量指数と漁獲量との間に有意な正の相関が認められ($p < 0.05$)、相関係数は0.51であっ

た。また、近似式の傾きは0.1694であり、各年と大きな差のない結果であった。松神漁場における魚群量指数と漁獲量との関係をFig.15に示す。魚群量指数と漁獲量との間には有意な正の相関が認められ($p<0.05$)、相関係数は0.39であった。両者の関係を表す近似式の傾きは0.0572であった。

沢辺漁場における主要4魚種(サバ類、ブリ、クロマグロ、マダイ)について、魚群量指数とそれぞれの魚種漁獲量との関係を調べて比較を行った。魚群量指数とサバ類漁獲量との関係およびサバ類が漁獲量の7割以上を占めた操業時の魚探画像例をFig.16に示す。サバ類が漁獲量の7割以上を占めた日数は16日であった。なお、Fig.16～19に示す散布図では、値のとり幅が小さくプロットの重なりがわずかであるため散布図の軸には実数軸を用いた。サバ類はFig.16内の魚探画像例A、Bに示したとおり、魚群量指数が高くなるのにしたがって漁獲量も多くなる傾向がみられた。

魚群量指数とサバ類漁獲量との間に有意な正の相関が認められ($p<0.05$)、相関係数は0.57であった。これは沢辺漁場における主要4魚種の中で相対的に最も高い値であった。魚群量指数とブリ漁獲量との関係およびブリが漁獲量の7割以上を占めた操業時の魚探画像例をFig.17に示す。ブリが漁獲量の7割以上を占めた日数は34日であった。ブリはFig.17内の魚探画像例A、Bに示したとおり、魚群量指数が高くなるのにしたがって漁獲量も多くなる傾向がみられた。魚群量指数とブリ漁獲量との間に有意な正の相関が認められ($p<0.05$)、相関係数は0.37であった。一方で、魚探画像例Cに示したように魚群量指数が低いにもかかわらず漁獲量が多いという場合もみられた。魚群量指数とクロマグロ漁獲量との関係およびクロマグロが漁獲量の7割以上を占めた操業時の魚探画像例をFig.18に示す。クロマグロが漁獲量の7割以上を占めた日数は17日であった。クロマグロはFig.18内の魚探画像例A、Bに示したとおり、魚群量指数が近い値をとるにもかかわらず実際の漁獲量には大きな差がある事例がみられ、魚群量指数とクロマグロ漁獲量との間に有意な相関は

認められなかった($p>0.05$)。魚群量指数とマダイ漁獲量との関係およびマダイが漁獲量の7割以上を占めた操業時の魚探画像例をFig.19に示す。マダイが漁獲量の7割以上を占めた日数が16日であった。マダイはFig.19内の魚探画像例Aに示したように魚群量指数が高く、多くの漁獲があった日もあれば、魚探画像例Bに示したように魚群量指数が低いにもかかわらず実際の漁獲量は多かった日もあり、魚群量指数とマダイ漁獲量との間に有意な相関は認められなかった($p>0.05$)。なお松神漁場においては、漁獲量の7割以上を占めた日数が5日を超えた魚種がなかったため、魚群量指数と魚種漁獲量との関係分析は行わなかった。

沢辺漁場における4年間分の操業データを、操業時刻の流向を参照して順流、逆流、その他の3種類に区分した場合について、それぞれにおける魚群量指数と漁獲量との関係をFig.20に示す。それぞれの日数は、順流が102日、逆流が24日、その他が23日であった。3種類の流向すべての場合で、魚群量指数と漁獲量との間に有意な正の相関が認められ($p<0.05$)、相関係数は順流が0.38、逆流が0.71、その他が0.51であった。それぞれの流向における両者の関係を表す近似式の傾きは順流が0.1541、逆流は0.1672、その他が0.2238であった。また、魚群量指数が非常に低い操業(魚群量指数 $F<0.1$)は順流の場合にのみ存在することがわかった。

魚群反応と魚群量指数の日周変動

サバ類の魚群反応の日周変動の例として、2022年6月8～9日の魚探画像をFig.21に示す。この日の日没時刻は19:07、日出時刻は4:05、揚網開始時刻は7:10、サバ類の漁獲量は31.6tであった。サバ類の魚群反応は昼間にはあまり現れず、日没の前後から出現する傾向がみられた。ブリの魚群反応の日周変動の例として2020年6月28日～29日の魚探画像をFig.22に示す。この日の日没時刻は19:13、日出時刻は4:08、揚網開始時刻は7:25、ブリの漁獲量は14.05tであった。ブリの魚群反

応は昼間から現れているが、夜間になると反応が大きくなる傾向がみられた。クロマグロの魚群反応の日周変動の例として、2021年7月6～7日の魚探画像をFig.23に示す。この日の日没時刻は19:12、日出時刻は4:12、揚網開始時刻は7:42、クロマグロの漁獲量は32.8tであった。クロマグロの魚群反応は昼間から大きく出現し、早朝に反応が小さくなるという傾向がみられた。マダいの魚群反応の日周変動の例として、2021年5月29～30日の魚探画像をFig.24に示す。この日の日没時刻は18:59、日出時刻は4:09、揚網開始時刻は9:33、マダいの漁獲量は13tであった。マダいの魚群反応は昼間にはあまり出現せず、夜間から早朝の時間帯に出現する傾向がみられた。これらの魚種ごとの魚群反応以外にも、漁期を通してFig.25のように日没後から水面下に大きな反応が出現し、連続して出現したのち日出前に反応が消失するという事例がたびたび確認された。沢辺漁場における4年間149回の操業から魚探画像に欠損がみられた1日を除いた148日における魚群量指数の日周変動をFig.26に示す。また、148日の平均魚群量指数の日周変動をFig.26中に赤線で示した。Fig.21～25に示したような反応の影響もあり、漁期を通して、魚群量指数は昼間に低く、夜間になると高くなるという傾向がみられ、平均魚群量指数についても同様の日周変動がみられた。

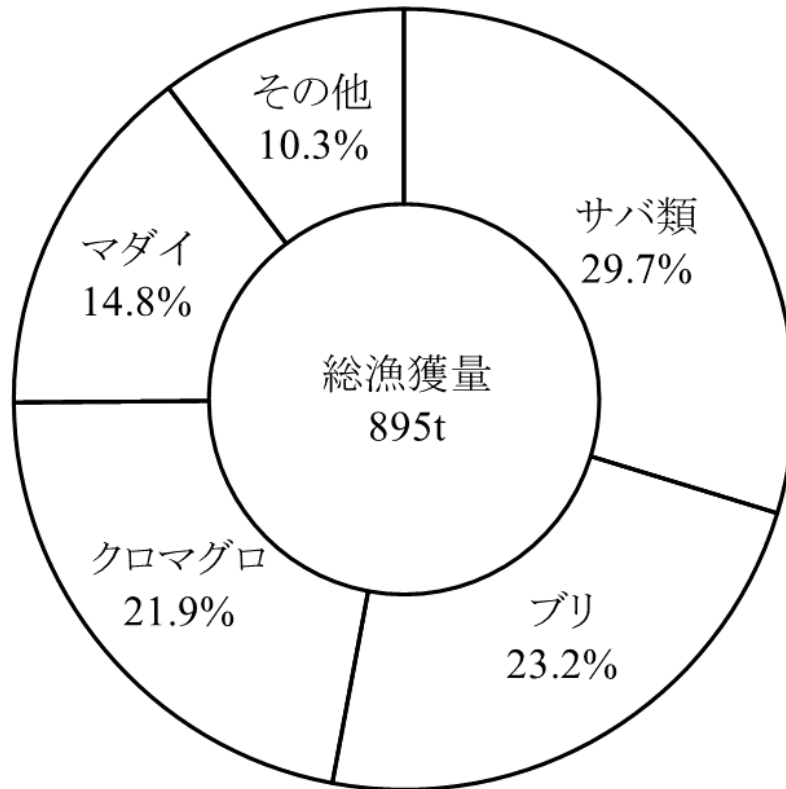


Fig.8 調査期間中の漁獲魚種組成(沢辺漁場、第2箱網)

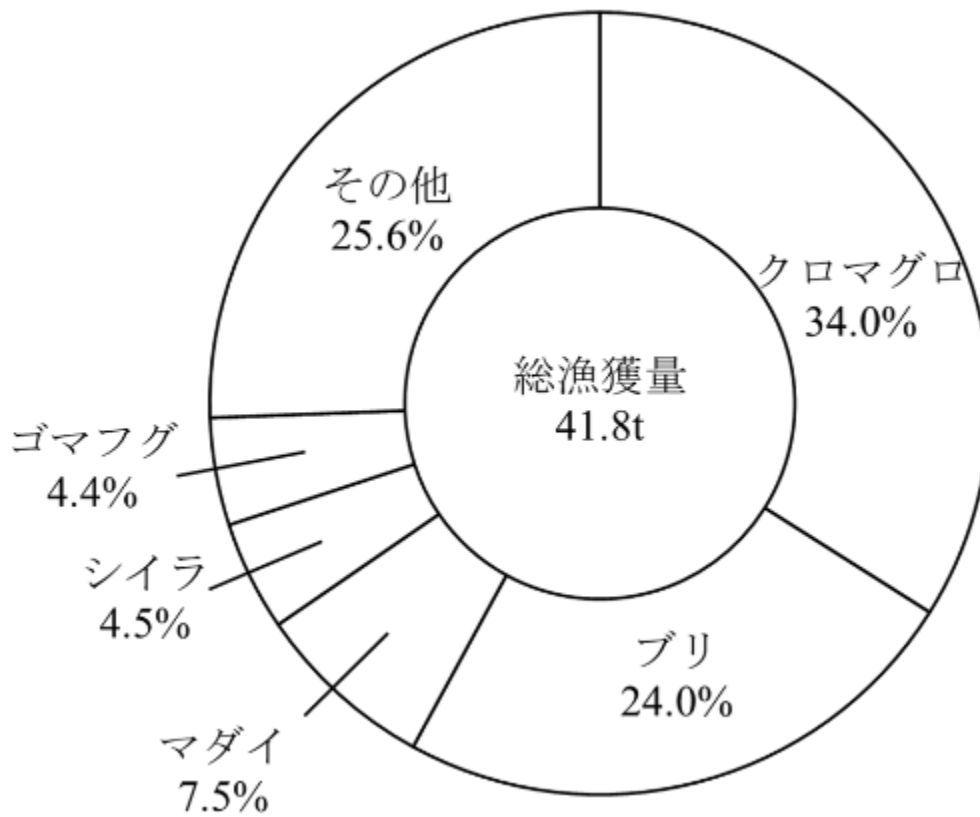


Fig.9 調査期間中の漁獲魚種組成(松神漁場、箱網)

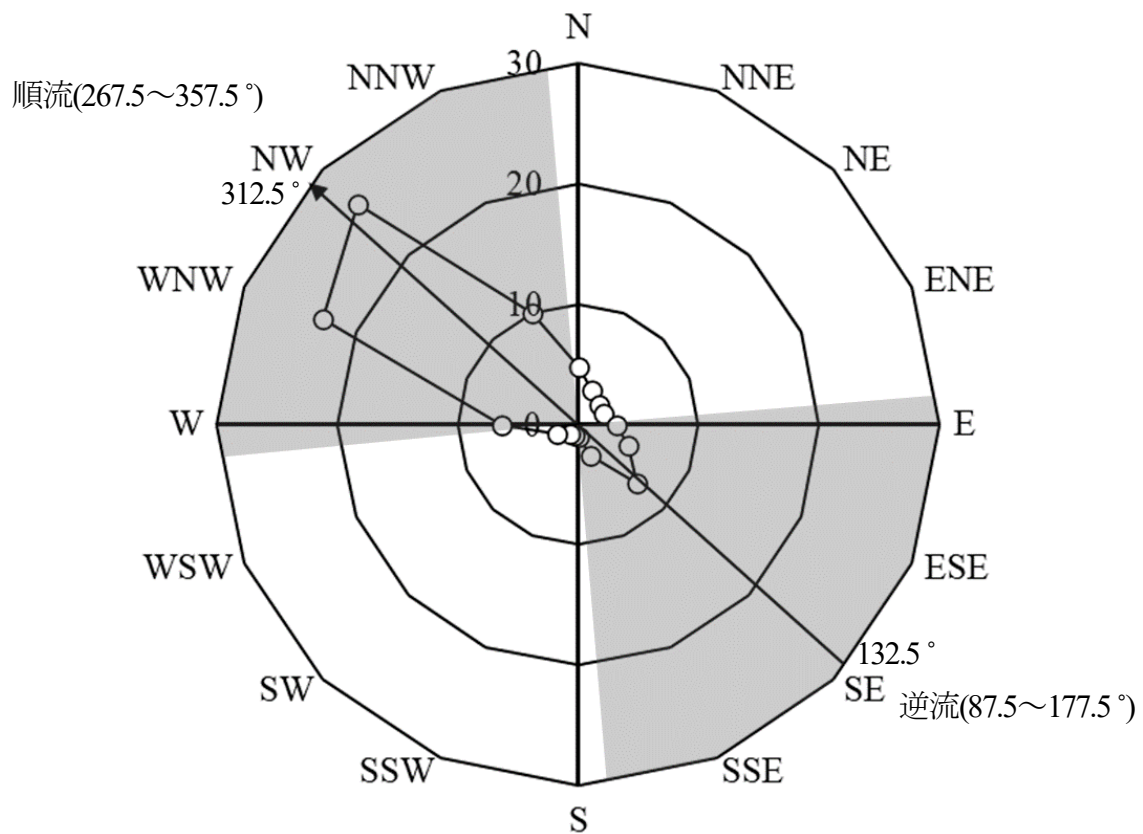


Fig.10 調査期間中の流向頻度分布(沢辺漁場)

図中の灰色部は順流、逆流と定義した範囲、矢印は主流軸の方向を示す。

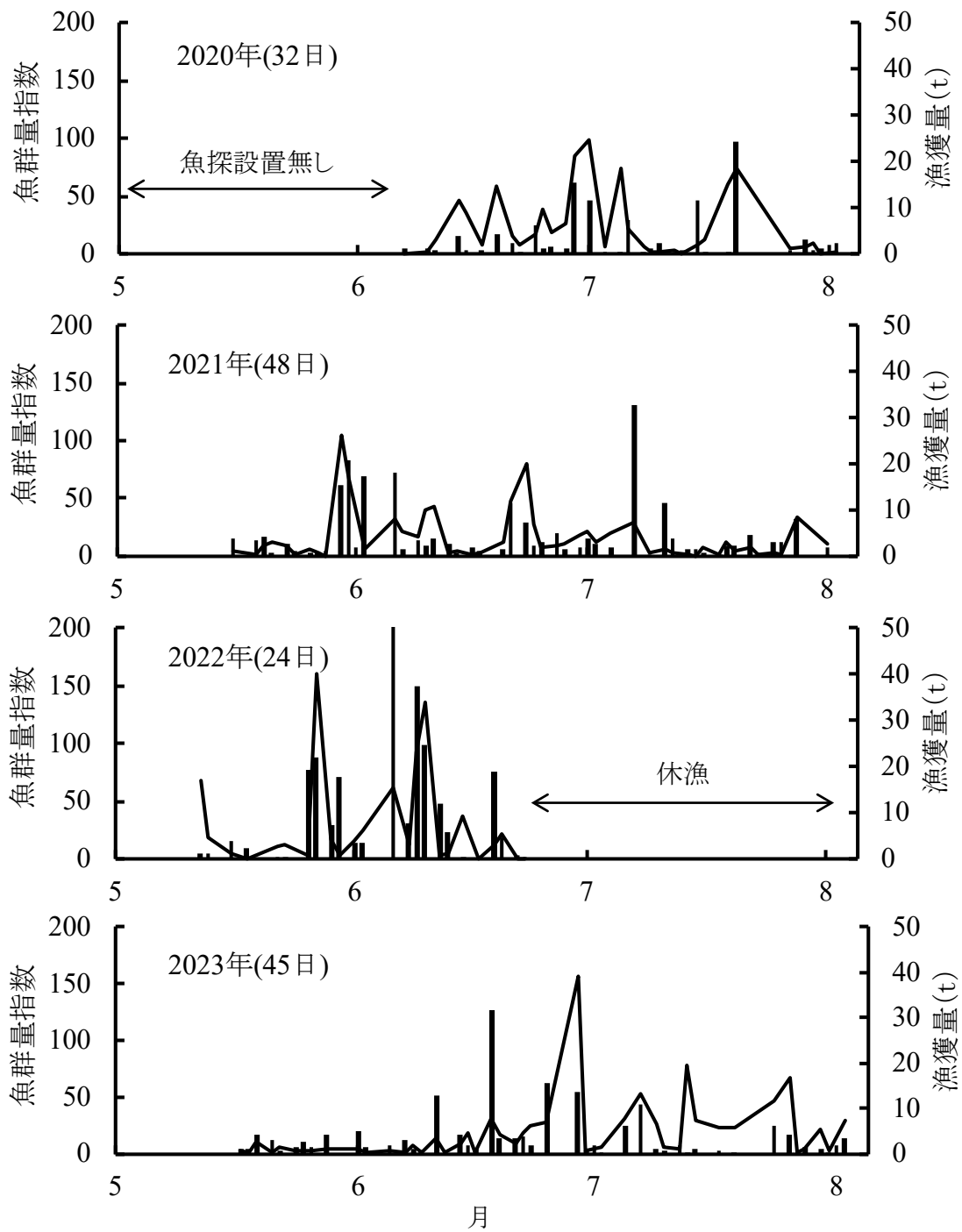


Fig.11 各年度における魚群量指数と漁獲量の日変化(沢辺漁場)

折れ線:魚群量指数 縦棒:漁獲量

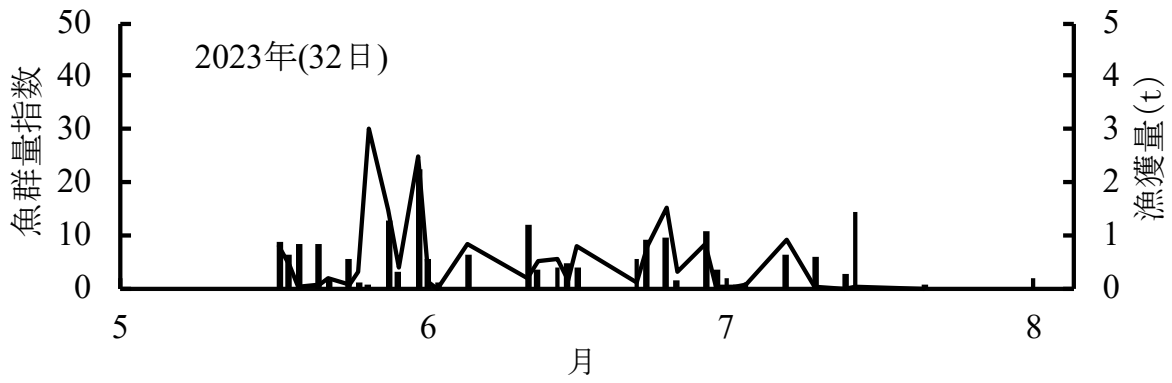


Fig.12 魚群量指数と漁獲量の日変化(松神漁場)

折れ線:魚群量指数 縦棒:漁獲量

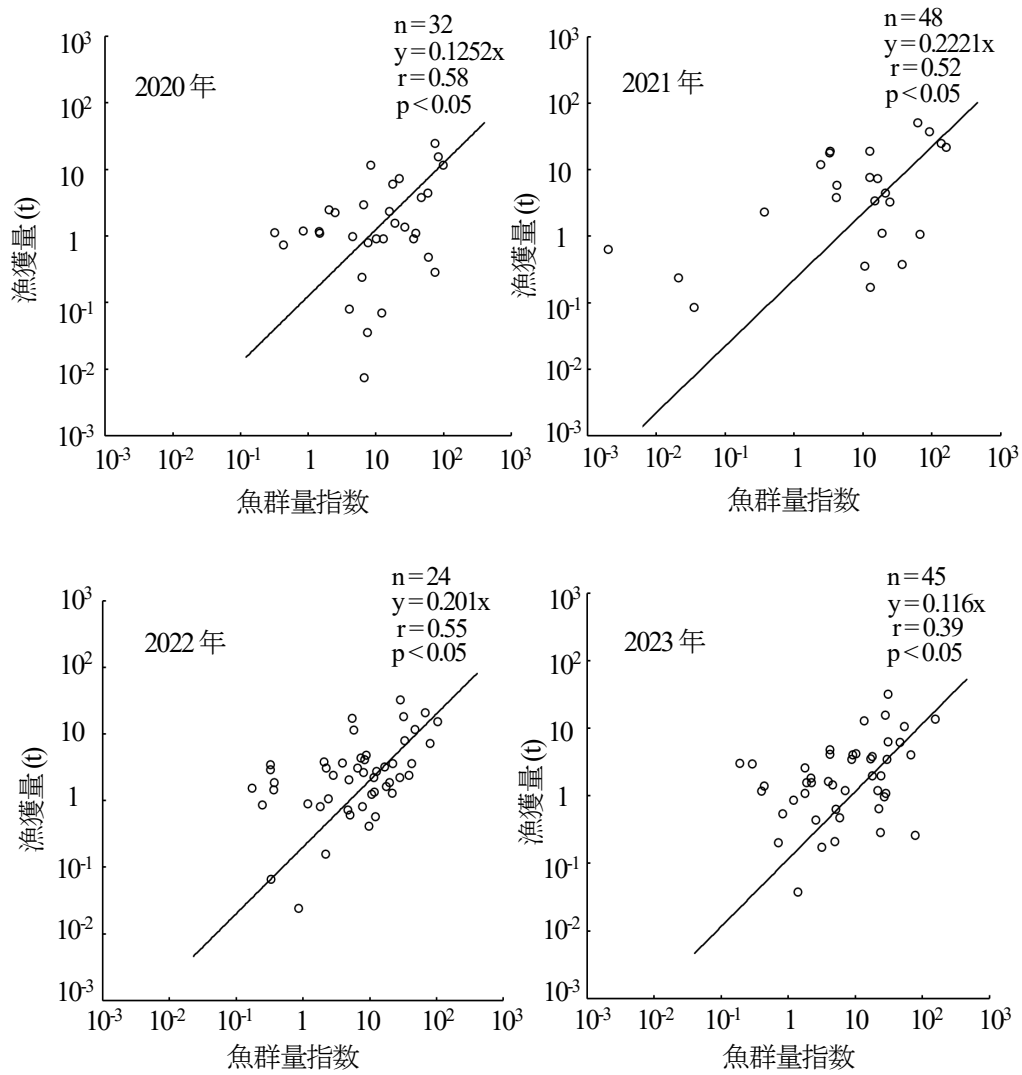


Fig.13 魚群量指数と漁獲量との関係(沢辺漁場、2020～2023年、各年)

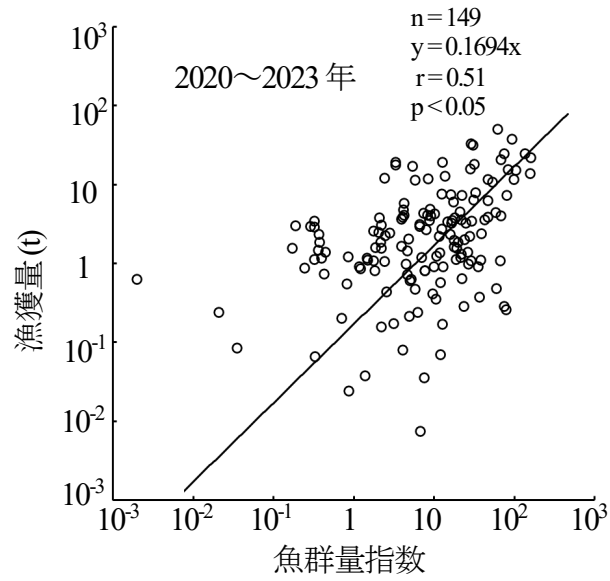


Fig.14 魚群量指数と漁獲量との関係(沢辺漁場、2020~2023年)

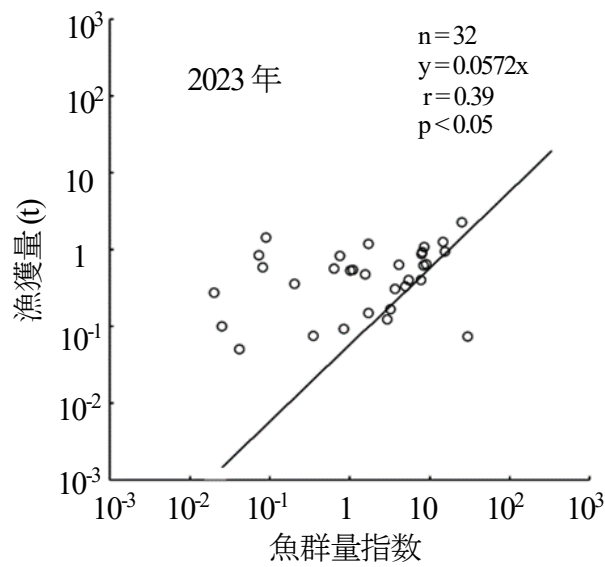


Fig.15 魚群量指数と漁獲量との関係(松神漁場、2023年)

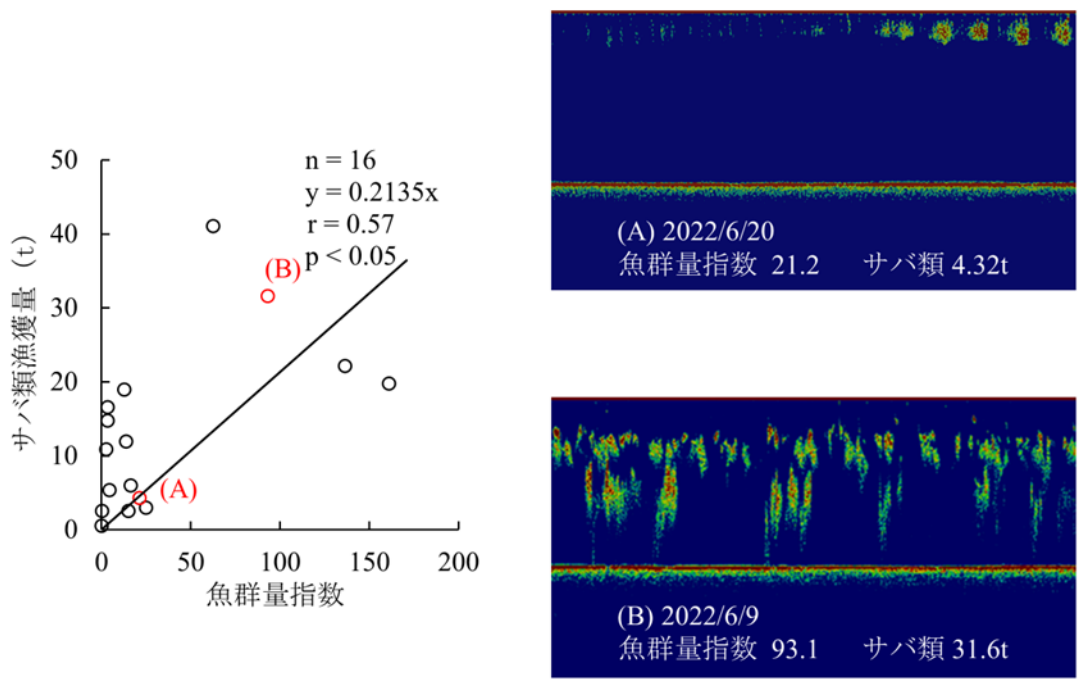


Fig.16 魚群量指数とサバ類漁獲量との関係および魚探画像例(沢辺漁場)

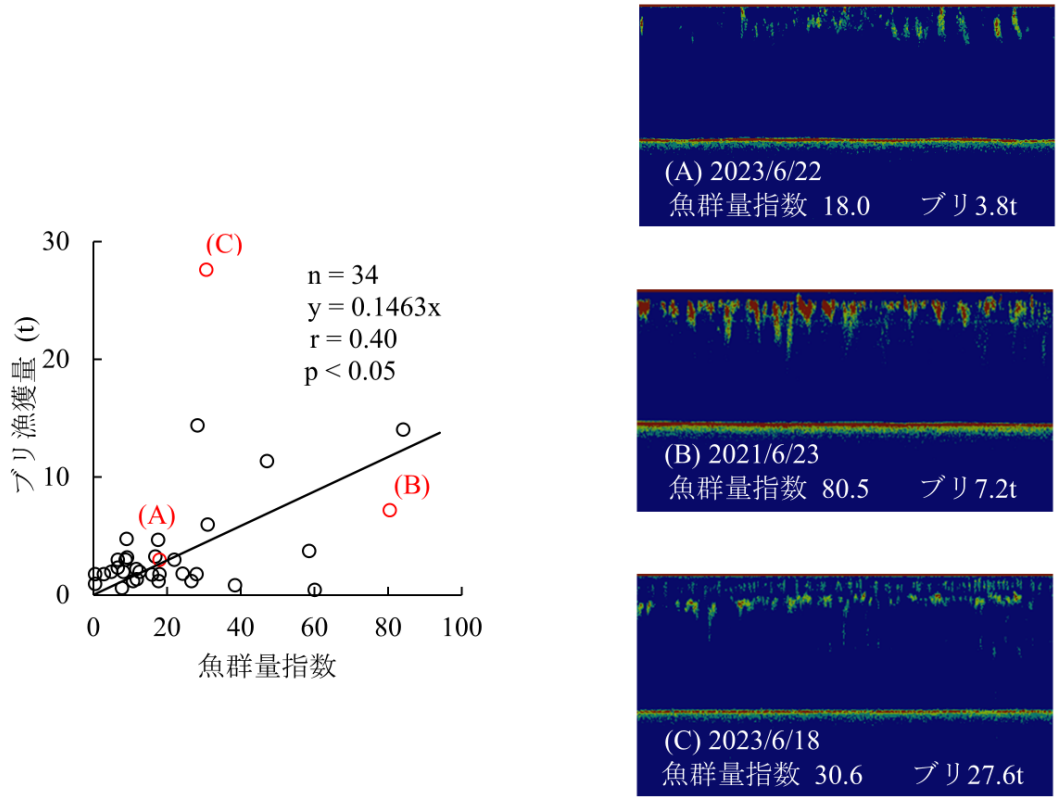


Fig.17 魚群量指数とサバ類漁獲量との関係および魚探画像例(沢辺漁場)

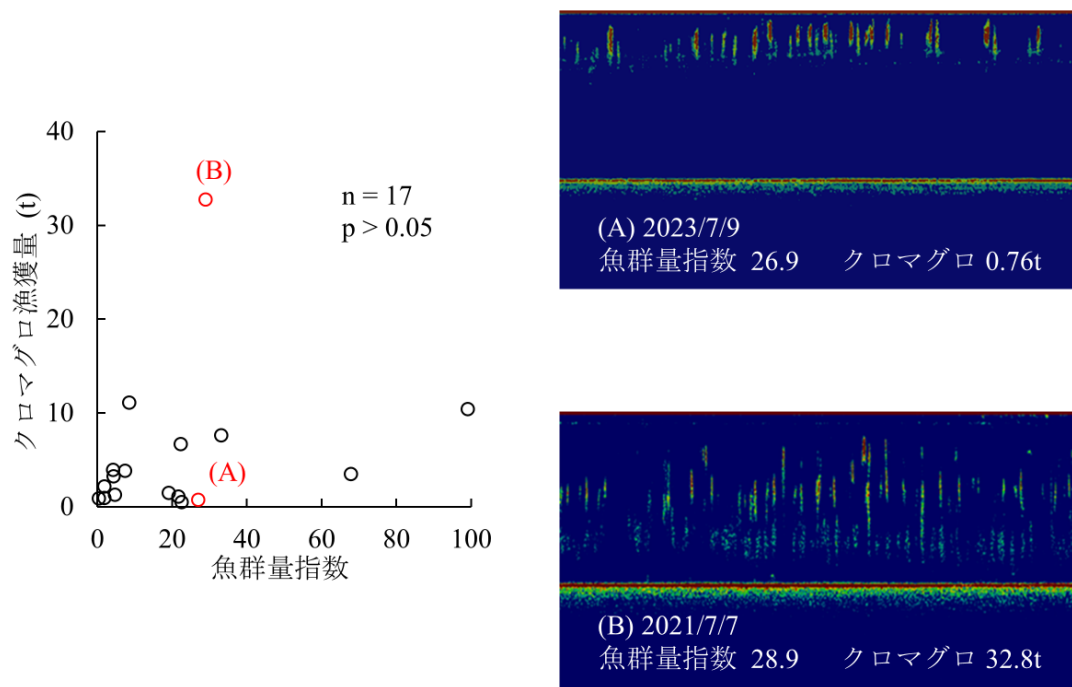


Fig.18 魚群量指数とクロマグロ漁獲量との関係および魚探画像例(沢辺漁場)

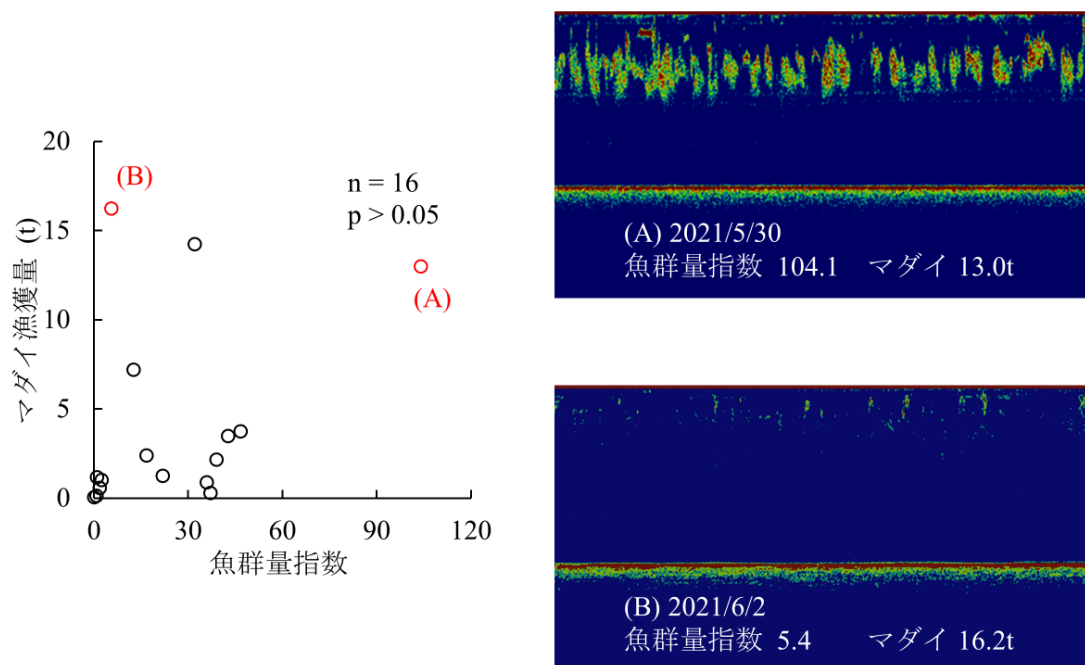


Fig.19 魚群量指数とマダイ漁獲量との関係および魚探画像例(沢辺漁場)

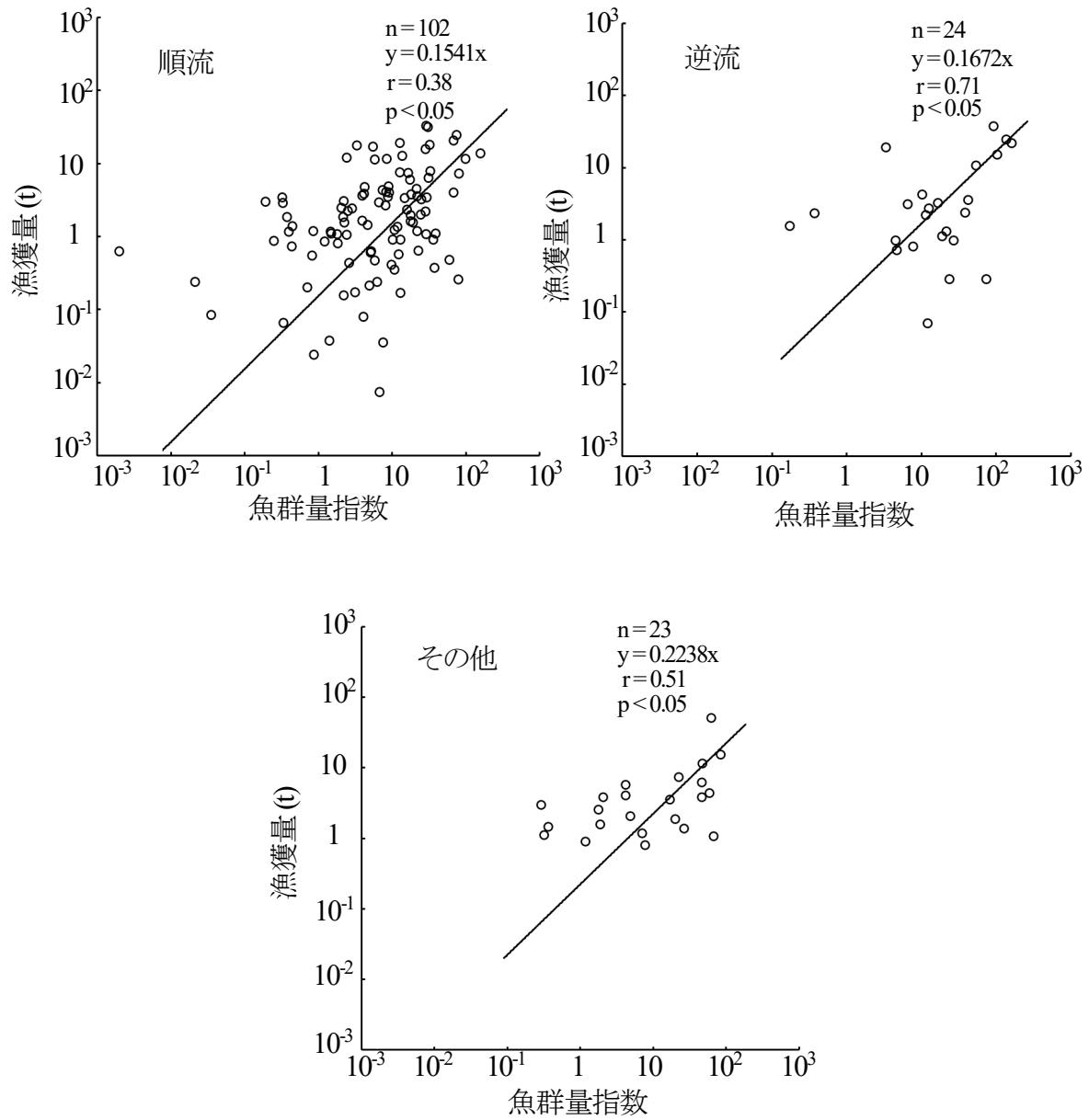


Fig.20 魚群量指数と漁獲量との関係(沢辺漁場、流向別)

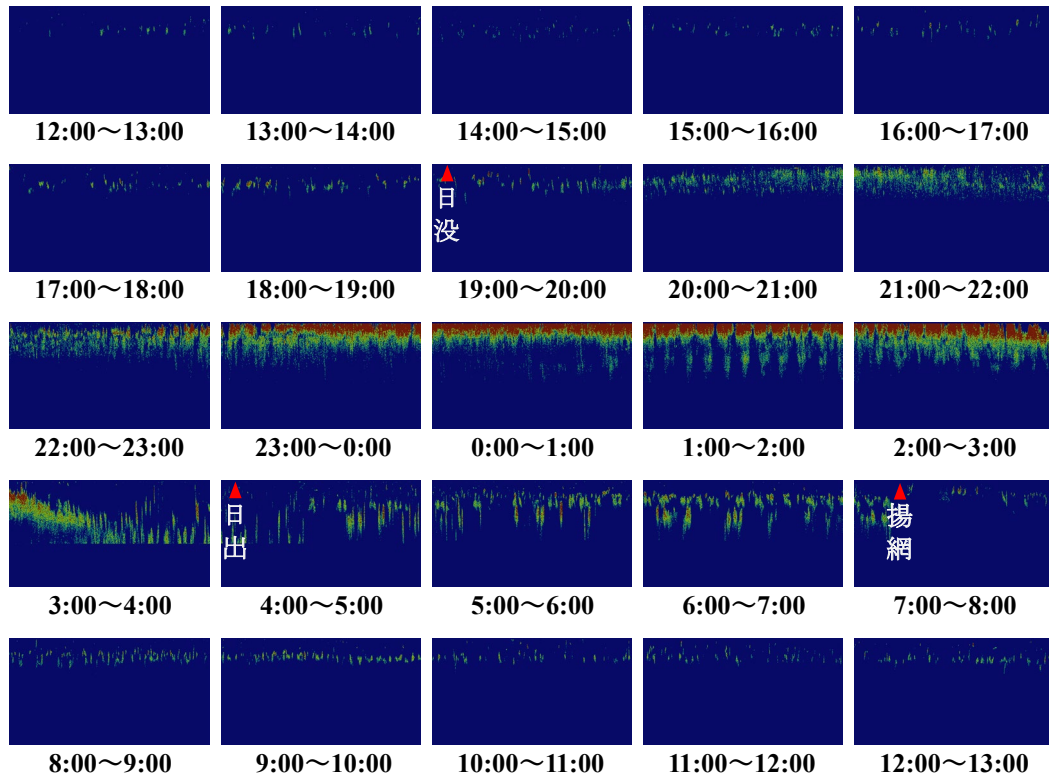


Fig.21 魚群反応の日周変動例(サバ類、2022年6月8～9日)

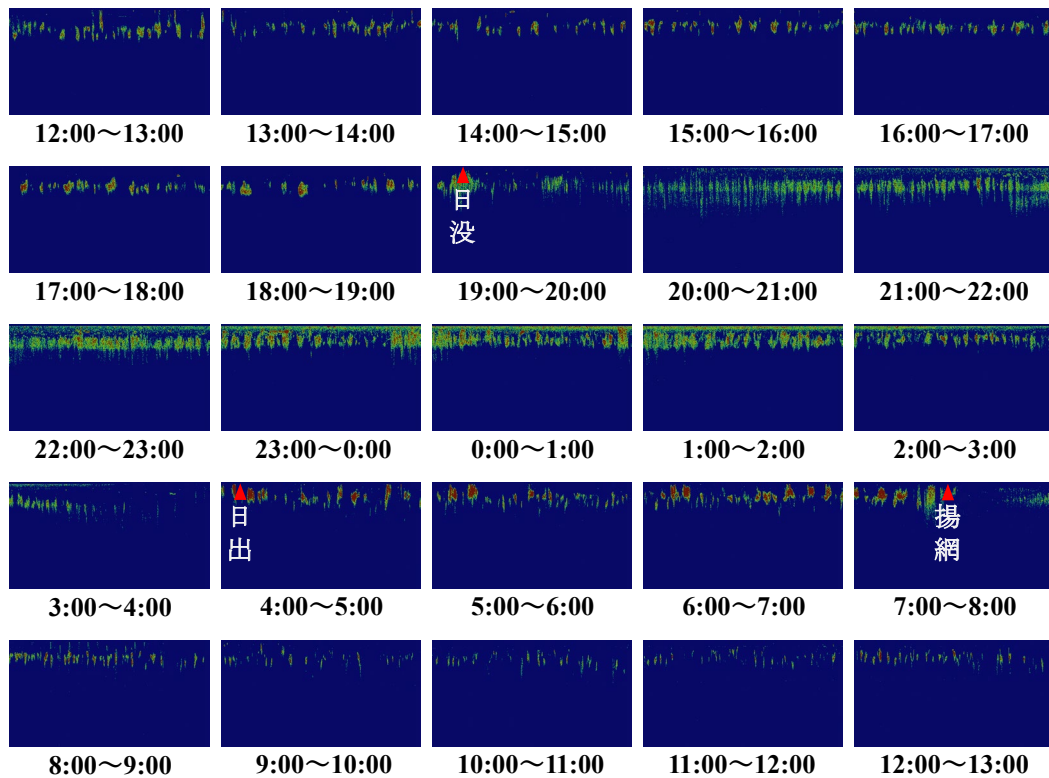


Fig.22 魚群反応の日周変動例(ブリ、2020年6月28～29日)

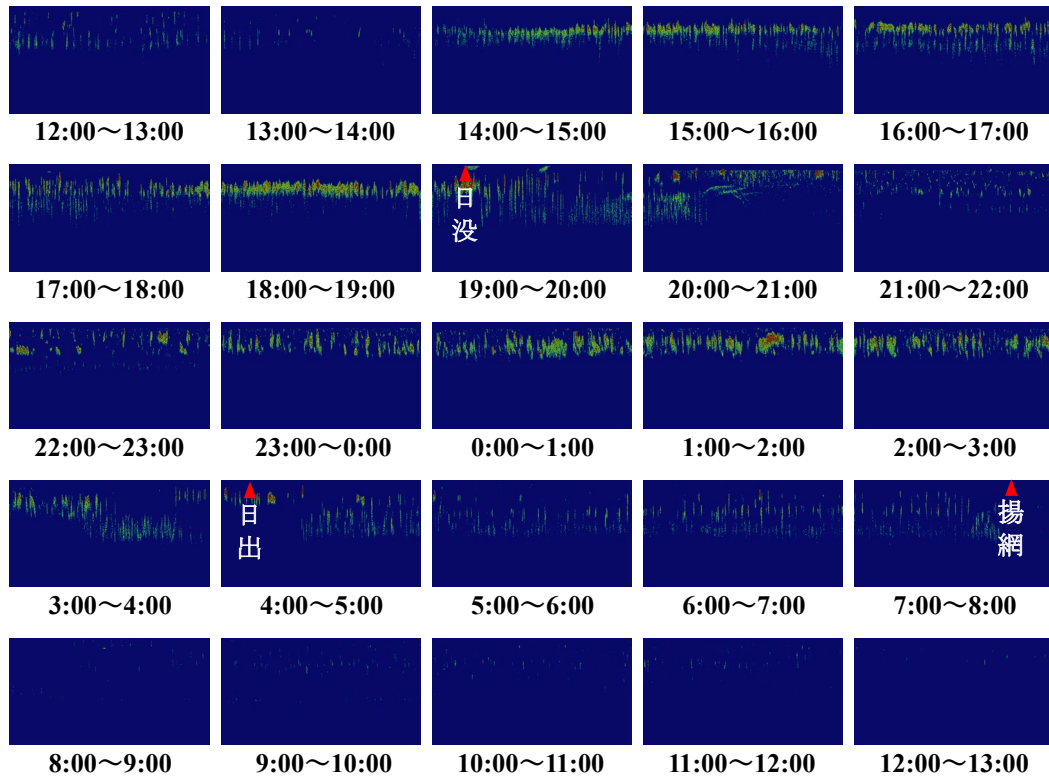


Fig.23 魚群反応の日周変動例(クロマグロ、2021年7月6～7日)

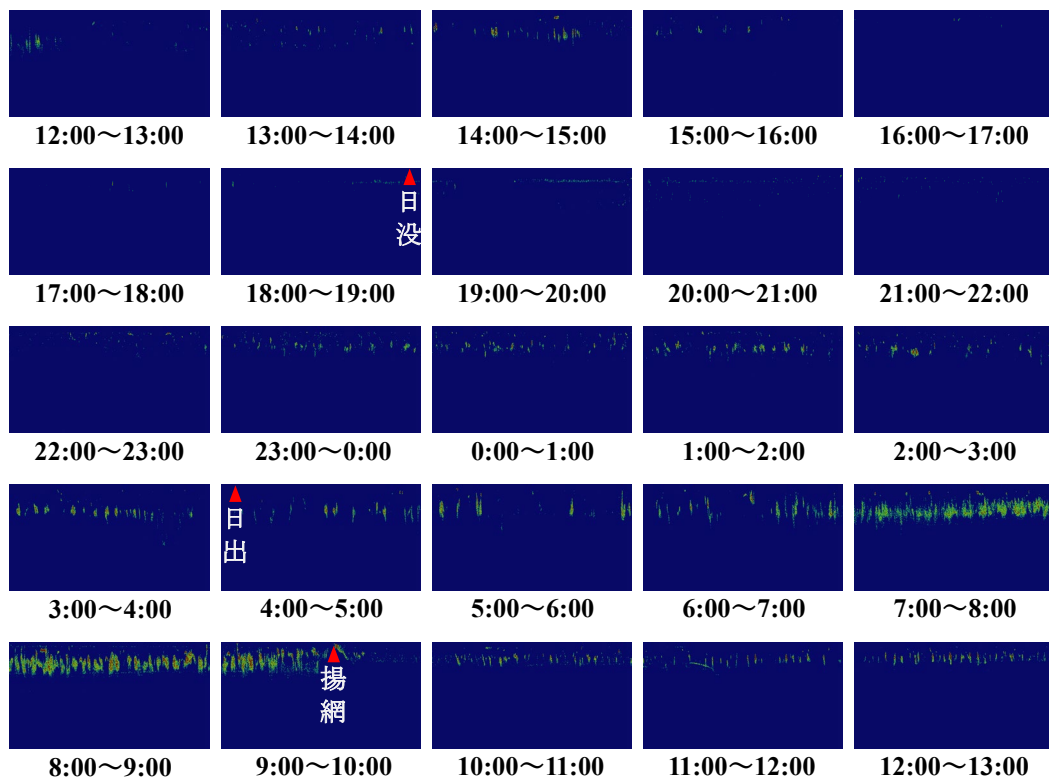


Fig.24 魚群反応の日周変動例(マダイ、2021年5月29～30日)

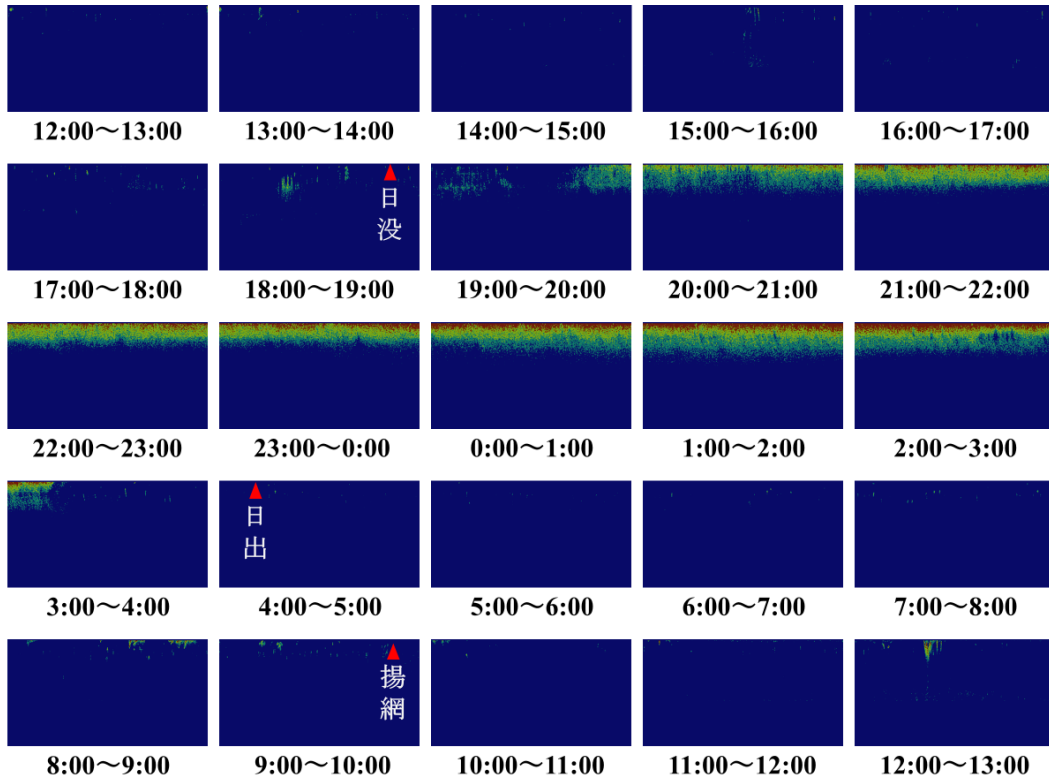


Fig.25 魚群反応の日周変動例(2023年5月18~19日)

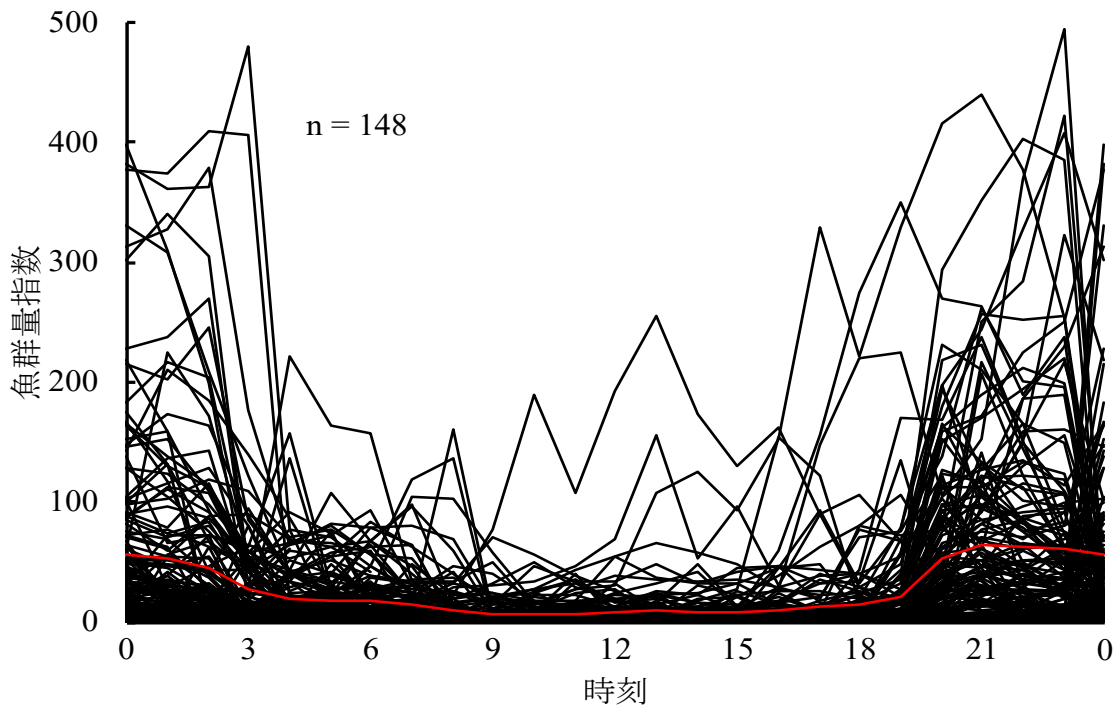


Fig.26 魚群量指数の日周変動

図中の赤線は平均魚群量指数を示す

4. 考察

魚群量指数と漁獲量との関係

魚群量指数と漁獲量の日変化(Fig.11~12)から魚群量指数が高くなるにつれて漁獲量も多くなる傾向がみられ、両漁場のすべての年において、魚群量指数と漁獲量との間に有意な正の相関が認められた(Fig.13~15)。このことから、画像解析によって魚群量指数を算出する方法は、定置網用魚群探知機の画像を簡易的に定量化する手法として有用であると考えられた。また、魚群量指数と漁獲量との関係を表す近似式 $y = ax$ (x :魚群量指数 y :漁獲量)から得られた係数 a が漁場ごとにほぼ一定の値をとることから、今回得られた関係式を基礎情報として簡易的な漁獲量推定を行うことができると考えられた。しかしながら、本研究で得られた魚群量指数と漁獲量との相関係数は最大で2020年の0.58であり、石黒(2001)¹¹⁾による魚群探知機を用いた先行研究で得られた、魚群映像部分の面積と漁獲量との相関係数($r=0.45$)とは近い値を示したが、平井(2010)⁹⁾によるソナーを用いた先行研究で得られた、魚群容積指数(ソナーの魚群面積を数値化したもの)と漁獲量との相関係数($r=0.96$)と比較すると低い値であった。この要因として、魚群探知機とソナーの探知範囲の違いが考えられた。ソナーの場合、箱網内の広い範囲を探知することができるが、魚群探知機では、指向角の範囲内すなわち箱網内の限られた範囲しか探知することができない。¹¹⁾そのため、魚群が箱網内に存在していたとしても魚群探知機の探知範囲内を遊泳していない場合には魚群反応として映らず魚群量指数が低くなり、魚群が魚群探知機の探知範囲内に留まった場合には魚群反応が大きくなり魚群量指数が高くなることが予想される。このようにして魚群量指数が、入網した魚群を実際よりも過少あるいは過大に評価してしまうことにより、魚群量指数と漁獲量との相関係数が低くなったと考えられた。また、日々の漁獲量が少なかった松神漁場における

魚群量指数と漁獲量との相関係数は、沢辺漁場と比較すると低い値であった。このことから、魚群量指数を用いた簡易的な漁獲量推定では、箱網内の魚群の大小については把握できるが、入網量が相対的に少ない中で漁獲の大小を判断、推定するのは難しいと考えられ、今後に向けての課題となった。

魚群量指数と主要魚種の漁獲量との関係をみると、主要4魚種のうちサバ類とブリでは有意な正の相関が認められ(Fig.16~17)、クロマグロとマダイでは有意な相関が認められなかった(Fig.17~18)。魚種ごとに相関関係に大きな違いが表れたが、これは魚種ごとの網内での遊泳行動の違いや、定置網内における分布の偏りに依るものだと考えられた。サバ類が漁獲量の7割以上を占めた操業時の魚探画像例(Fig.16-A、B)では連続した反応が周期的に出現していたが、サバ類は成群性が強く、¹³⁾網内では魚群を形成して巡航速度以下(0.3m/s以下)で遊泳することが多い¹⁴⁾とされている。このサバ類の遊泳行動の特徴が連続的な反応パターンに表れたと考えられた。また、岩田(1992)¹⁵⁾は垣網に対する魚群の行動の違いから魚種を接近型、非接近型に分類し、サバ類は非接近型に分類されている。このことから、サバ類は箱網内で遊泳する際に網地に接近しない傾向があるため、網地から離れて設置されていた定置網用魚群探知機の探知範囲内を遊泳することが多いと考えられた。入網したサバ類の魚群が安定して定置網用魚群探知機に映し出されることで、定置網箱網内のサバ類の魚群量が魚群量指数に適切に反映され、その結果、魚群量指数とサバ類漁獲量との間に有意な正の相関が認められ、他魚種と比較して相対的に高い相関係数($r=0.57$)を示したと考えられた。ブリが漁獲量の7割以上を占めた操業時の魚探画像例(Fig.17-A、B、C)では、連続した反応が周期的に出現していた。ブリは垣網に沿って遊泳するときの進行速度がほぼ0.8m/sであるという報告¹⁶⁾があり、網内でもこれに近い速度で遊泳していると考えられ、

この遊泳行動の特徴が反応パターンに表れていると考えられた。またブリでは魚群量指数が低い値であるにもかかわらず実際には多くの漁獲があった事例(Fig.17-C)がみられたが、これはブリの遊泳経路に起因すると考えられた。ブリは岩田¹⁵⁾の分類では接近型に分類されている。また、内田ら(2018)¹⁷⁾がバイオテレメリー手法を用いて、箱網内においてもブリが網地に接近して遊泳することが多いことを明らかにしている。定置網用魚群探知機の探知範囲外である網地の近くを泳ぐため、ブリの魚群が魚探画像には映らず、魚群量指数が入網量を低く評価してしまった可能性が考えられた。このような事例があったため、魚群量指数とブリ漁獲量との相関係数も相対的に低い値($r=0.40$)になったと考えられた。クロマグロが漁獲量の7割以上を占めた操業時の魚探画像例(Fig.18-A、B)では、縦に細長い反応パターンが周期的に出現していた。河岸ら(1991)¹⁸⁾によって、クロマグロの定置網内での遊泳速度は他の魚種よりも大きい $0.9\sim 4.6\text{m/s}$ と推定されている。遊泳速度が大きい場合、定置網用魚群探知機の探知範囲内に滞在する時間が短いことから魚群反応は細くなると考えられ、本研究の魚探画像に映ったクロマグロの細長い反応パターンからもクロマグロの定置網内での遊泳は非常に速いと推測された。定置網箱網内で非常に速く遊泳していることから、クロマグロは実際には大きな魚群であったとしても魚探画像内に魚群反応として表れにくく、Fig.18-Bのように魚群量指数が低いにもかかわらず実際には多くの漁獲量があるという事例が生まれたと考えられた。このような事例もありクロマグロにおいては魚群量指数とクロマグロ漁獲量との間に有意な相関が認められないという結果になったと考えられた。マダイが多く漁獲された日の魚探画像例(Fig.19-A)では、連続した反応が周期的に出現していた。マダイの遊泳の特徴として定置網や天然礁に近づくと移動が鈍くなることが報告されている。¹⁹⁾また、竹内(1968)²⁰⁾によって、マダイは潮下の箱網にて多く漁獲されていることが報告されており、マダイは定置網内で積極

的な遊泳を行わないと考えられた。このことから、魚群の大きさに依らずマダイが定置網内魚群探知機の探知範囲内を中心に遊泳した場合にはFig.19-Aのように魚群量指数が高くなり、探知範囲外を中心に遊泳した場合はFig.19-Bのように魚群量指数が低くなると考えられた。このような事例もあり魚群量指数とマダイ漁獲量との間に有意な相関が認められないという結果になったと考えられた。このように、本研究では入網した魚種によって魚群量指数と魚種漁獲量との相関関係に大きな違いがみられた。石黒¹¹⁾による先行研究において、魚種によって魚群探知機に記録された魚群映像部分の面積と漁獲量との相関関係に違いがあることが報告されており、本研究で着目した魚種は用いられていなかったが、マアジが他魚種と比較して最も高い相関係数($r=0.64$)であった。マアジは岩田¹⁷⁾の分類ではサバ類と同じ非接近型に分類されている魚種である。本研究で得られた結果は、魚種ごとに相関関係に差が出る点、非接近型の魚種で相関係数が大きくなったという点でこの先行研究と一致した。

流向別に分類して求めた魚群量指数と漁獲量との相関係数を、流向の分類を行わなかった場合(Fig.14)の相関係数($r=0.51$)と比較すると、順流の場合に相対的に低く($r=0.38$)、逆流の際に相対的に高く($r=0.71$)なった(Fig.20)。定置網では、網自体は基本的に海底に固定されておらず、¹²⁾潮流によって網成りが容易に変化する。²¹⁾この網成りの変化や、潮流に対する魚群行動が、流向による相関係数の大小に影響を与えたと考えられる。順流(箱網方向への流れ)では網内容積の変化率が小さく網成りは良好に保たれる²²⁾が、逆流(運動場方向への流れ)では、網底が吹き上がって網内容積の減少が著しく、^{22,23)}網成りが崩れて魚群の行動可能範囲が限られるようになる²⁴⁾と報告されている。また、両落し網の左右の漁獲と潮流との関係を調査した結果によると、ブリ、²⁰⁾クロマグロ、²⁵⁾サバ類、²⁵⁾マダイ²⁰⁾といった当漁場における主要魚種は潮下の箱網で漁獲されるとさ

れている。そのため、順流下では魚群が魚捕り部側に主に滞在し定置網用魚群探知機の探知範囲内に出現しづらくなるため、魚群量指数と漁獲量との相関係数が相対的に低くなったと考えられる。一方で逆流下では、魚群は昇り網側に主に滞在しており、網成りが崩れることで限られた範囲を遊泳することになると考えられる。そのため箱網内の入網魚群が定置網用魚群探知機に魚群反応として適切に反映され、魚群量指数と漁獲量との相関係数が相対的に高くなったものと考えられた。

魚群反応と魚群量指数の日周変動

沢辺漁場における主要な魚種について、魚種ごとの魚群反応の出現傾向を調べた結果、サバ類とブリでは昼間の魚群反応は小さく、日没から夜間にかけて魚群反応が大きくなる傾向がみられた(Fig.21~22)。このことから、サバ類とブリは日没から夜間にかけて箱網へと入網する傾向があると考えられた。また、マダイも昼間の魚群反応は小さく、夜間から早朝にかけて魚群反応が大きくなる傾向がみられた(Fig.24)。このことから、マダイは夜間から早朝の時間帯に箱網へと入網する傾向があると考えられた。早朝と夕刻の操業における魚種ごとの漁獲量の比較から入網時間帯を推測した宮本(1942)²⁸⁾によると、サバ類、ブリ、マダイは早朝の操業にて多く漁獲されることから夜間に入網する傾向があるとされており、本研究でみられた傾向はこの報告と一致した。一方でクロマグロは、昼間から大きな魚群反応がみられ、大きさは夜間になっても変化しなかった(Fig.23)。このことから、クロマグロは昼間に箱網へと入網する傾向があると考えられた。宮本²⁶⁾によると、クロマグロは夕刻の操業にて多く漁獲されることから昼間に入網する傾向があるとされている。また、河岸ら(1990)²⁷⁾による魚群探知機を用いた定置網内におけるクロマグロの行動調査でも、日没後から夜半にかけてクロマグロはほとんど入網しないと報告されており、本研究でみられた傾向はこれら

の報告と一致した。これらの結果より、定置網用魚群探知機の画像を用いて、魚種ごとの入網傾向あるいは入網時間帯の違いから入網した魚種について推測できる可能性が示唆された。一方で、本研究の調査漁場では日没後に出現して日出前に消失する反応が漁期を通してたびたびみられたが(Fig.25)、反応が出た後に共通して多く漁獲された魚種はなかった。また、Fig.25の反応の出現傾向は、夜間に出現するという点で、先述したサバ類やブリ、マダイの出現傾向と一致するが、日出前に消失するという傾向や魚群反応の形状(Fig.16~19、25)において、いずれの魚種とも一致しなかった。これらの知見から、この反応の元となる生物は、反応は出ているが漁獲されていない、もしくは漁獲されているが販売されないため操業日誌に記録されていないと考えられた。この反応が大きく出現する夜間に調査を行うことや、操業に同行してより細かな漁獲情報を集めることで、反応元の生物について解明することが必要であり、今後の課題となった。

以上、定置網用魚群探知機の画像を魚群量指数として数値化し、実際の漁獲量との関係分析を行った結果、複数漁場の各漁期において魚群量指数と漁獲量との間に有意な正の相関が認められた。また、魚種ごとに魚群量指数と魚種漁獲量との関係性を調べた結果、クロマグロとマダイでは有意な相関が認められなかったが、サバ類とブリでは有意な正の相関が認められた。これらのことから、定置網用魚群探知機の画像を定量化した魚群量指数は定置網箱網内の魚群の多寡を判断する指標として有用であると考えられた。また、魚群反応の出現傾向から入網した魚種を推測できる可能性もあり、魚群量指数と併せて魚種ごとの数量管理への活用が期待できる。しかし、現状では相対的に相関係数は低く、今後研究を進め、精度の高い手法を検討する必要がある。特に、定置網用魚群探知機の探知範囲外を魚群が遊泳することが原因と考えられる課題が多く、今後はより魚群の遊泳状況を把握できる送受波器の設置場所について検討する必要がある。

謝辞

本研究の実施にあたり、終始一貫してご指導を賜りました東京海洋大学学術研究院の秋山清二教授に謹んで感謝の意を表します。また、研究へのご助言を賜りました塩出大輔教授ならびに宮本隆典助教に心より御礼申し上げます。また、本研究の実施にあたり、大変お世話になりましたクロマグロ小型選別放流技術研究開発コンソーシアムの皆様に深く御礼申し上げます。

文献

- 1) 宮本秀明. 「定置網漁論」河出書房, 東京. 1944
- 2) 西山作蔵. 「最新 定置網の手びき」北日本海洋センター, 北海道. 1974
- 3) 細川貴志. ユビキタス魚探の開発とクロマグロの入網判別の可能性. ていち
2018; 133: 1-10.
- 4) 和田雅昭, 畑中勝守. IoTによる持続可能な定置網漁業の取り組み. *Journal of Life Cycle Assessment, Japan* 2018; 14: 207-212.
- 5) 平井良夫. リモートソナーを利用した漁具・魚群監視システム. ていち 2010; 118: 43-52.
- 6) 和田雅昭. 定置網モニタリングシステム高度化のためのユビキタス魚探とクラウド技術の開発.
平成28年度戦略的基盤技術高度化・連携支援事業, 戦略的基盤技術高度化支援事業研究開発
成果等報告書. 一般財団法人ニューメディア開発協会, 東京. 2017
- 7) 南雄也, 宇都宮栄二, 吉原貴仁. IoT技術を用いたスマート漁業実現への取り組み. システム/制
御/情報 2021; 65: 7-12.
- 8) 平間友大, 鈴木恵二, 高博昭, 和田雅昭. Neural Networkを用いた定置網内の魚群探知機によ

る魚種判別. 情報処理学会全国大会講演論文集 2017; 79(2): 2. 495-2. 496.

9) 小林徹也. 定量的画像解析のための情報技術. 顕微鏡 2012; 47(4): 201-205.

10) 河岸賢, 井上寿, 西岡純, 飯塚覚. テレサウンダーで得られたトビウオ記録の定量的解析手法の検討. 京都府立海洋センター研究報告 1985;9:11-16.

11) 石黒雄一. 魚群探知機による定置網箱網内への魚群入網・出網時刻と漁獲量. 神奈川県水産総合研究所 2001; 6: 77-80.

12) 辻俊宏, 酒井秀信, 石戸谷博範. 定置網の垣網の網成りを良好に保つための立碇の効果. 水産技術 2013; 5(2): 151-158.

13) 井上実. 魚類の対光行動とその生理. 日本水産学会誌 1972; 38(8): 907-912.

14) 金文官, 有元貴文, 松下吉樹, 井上喜洋. 定置網漁場における魚群の移動行動. 日本水産学会誌 1993; 59(3): 473-479.

15) 岩田圭司. 魚群行動から見た網型の改良. ていち 1992; 81: 15-26.

16) 宮本秀明. 「漁具漁法学」金原出版, 東京. 1959.

17) 内田圭一, 小川大道, 長谷川浩平, 宮本佳則, 野呂英樹, 和田由香, 秋山清二. 超音波テレメトリ

ーを用いた定置網内のクロマグロ小型魚とブリの行動モニタリング.

日本水産学会誌 2018; 84(1): 14-22.

18) 川岸賢, 宗清正廣, 飯塚寛. 定置網内におけるクロマグロの遊泳速度. 京都府立海洋センター

研究報告 1997; 59: 171-175.

19) 町中茂. バイオテレメリーシステムによるマダイの行動生態に関する研究. 石川県水産試験

場報告 1980; 3: 1-20.

20) 竹内正一. 両落網における漁獲と潮流の方向との関係. 日本水産学会誌 1968; 54(2): 123-127.

21) 井上喜洋. 「定置網技術総覧」(井上喜洋編) 北日本海洋センター, 北海道. 2002.

22) 稲田博史, 小池篤, 竹内正一, 平元泰輔, 石戸谷博範. 落し網の箱網の流れによる容積変化.

東京水産大学研究報告 1997; 83(1,2): 139-152.

23) 野呂英樹. 可変型昇網による漁獲コントロール技術の開発. 令和4年度イノベーション創出強

化研究推進事業「クロマグロの資源回復と定置網漁業の生産性向上を同時に実現する漁獲コント

ロール技術の開発」成果報告書 2023: 13-24.

24) 森山豊. 定置漁場の流況と網成りについて. 千葉県水産試験場報告 1992; 50: 1-7.

25) 小池篤. 定置網に対する魚群の行動. 日本水産学会誌 1971; 37(3): 242-249.

26) 宮本秀明. 朝持と夕持との漁獲量の相違. 日本水産学会誌 1942; 10(5): 225-228.

27) 河岸賢, 宗清正廣, 飯塚寛, 和田洋蔵. クロマグロの定置網内における行動. 日本水産学会誌
1990; 56(8): 1187-1192.