# 令和２年度 資源・漁獲情報ネットワーク構築事業 報告書

**大課題名**: 沿岸資源情報ネットワークⅠ

**海域名（中課題名）**: 伊勢・三河湾海域

**小課題 1**: 資源評価に利用するデータの効率的な収集

**小課題 2**: 標本船による資源評価及び効率的な漁場利用のためのデータ収集

**小課題 3**: 機械学習等を利用した水産資源動態予測手法の構築

**【参画機関】**

愛知県水産試験場、三重県水産研究所、国立大学法人　東京大学、国立大学法人　名古屋大学、一般社団法人漁業情報　サービスセンター（JAFIC）、水産研究・教育機構　水産資源研究所、水産技術研究所

**【対象魚種】**

サワラ、ガザミ、マダコ、マコガレイ、イシガレイ、メイタガレイ、コウイカ類、ウシノシタ類、イボダイ、クロダイ、エイ類、スズキ、コノシロ、サバフグ、シロギス、ギマ、コショウダイ、ホウボウ、ハマグリ、ヤマトシジミ、サルエビ類、クルマエビ、マダイ、ヒラメ、ハモ、マイワシ、カタクチイワシ、マアナゴ、シャコ、イカナゴ、トラフグ等

**【対象漁業】**

○　小型底びき網（まめ板網、貝桁網、桁網（マグワ）、渥美外海板びき網）

○　船びき網漁業（いかなご船びき網、しらす船びき網、ぱっち網）

○　その他曳き縄釣り等

**【実施計画】**

**小課題 1:資源評価に利用するデータの効率的な収集**

**①水揚市場における漁獲データの収集**

**愛知県**

・小型底びき網対象魚種は、豊浜市場からのデータ収集を継続するとともに、他市場についてもデータ収集を検討する。

・船びき網対象魚種は、引き続き水揚げ全 7 市場の漁獲データを収集する。

三重県

・三重外湾漁協、鳥羽磯部漁協、伊勢湾漁協からの漁獲（販売）実績を収集する。

**②生物測定データの収集**

**愛知県**

・漁獲物の体長等、生物測定データの収集を月 1 回以上、豊浜市場において継続するとともに、他市場での実施についても検討する。
・魚種は、サワラ、ガザミ、マダコ、マコガレイ、イシガレイ、メイタガレイを対象とする。
・クルマエビは、幼生の環境 DNA 分析を実施する。
三重県
・将来の資源評価のための生態調査や利用実態の把握(市場測定・精密測定等)を行う。
・船びき網、小型底びき網、ひき縄等の漁法毎の努力量や漁獲情報を収集し、資源評価活用のための資料として整理する。
・DNA 解析手法を用いたクルマエビ幼生の出現状況の把握を行う。

**小課題 2:標本船による資源評価及び効率的な漁場利用のためのデータ収集**

**①漁獲データ収集**

**(愛知県)**

・標本船から、魚種別の漁獲量、操業位置、操業時間、水温等のデータを収集する。
・対象漁船は、船びき 40 統及び底びき網 4 隻、対象海域は、伊勢・三河湾及び遠州灘とする。
・収集方法は、紙媒体の野帳回収を中心に、適宜、メールや携帯電話も活用する。
(三重県)
・ひき縄 3 隻(サワラ)、貝桁網 4 隻(ハマグリ・ヤマトシジミ)、小型底びき網(まめ板)3 隻(マアナゴ・シャコ・クルマエビ他)において標本船調査を実施する。
・データ拡充のため、小型底びき網(桁網)、貝桁網の標本船の増船に取り組む。
・標本船漁船に装着する既存の水質ロガー類の持つ機械的な課題を解決するため、代替機種を選定し、実用性を検討する。

**②人工衛星データと漁船情報の統合による海況情報提供システムの開発(愛知県、名古屋大、JAFIC)**

・大気の影響を大きく受ける人工衛星の水色データについて、現場データを利用した解析値の補正手法の開発を進める
・衛星データを補完するため、デジタルカメラデータから Chl.a 濃度を推定する手法の開発。
・人工衛星の水温及び水色データの分布図を作成する技術を用いて、環境情報と漁業情報との統合図をデータベース化するとともに、作成手順の効率化を検討する。
・衛星情報と漁業情報とを統合するシステムから漁場図を作成し、web 情報として公開する。

**小課題3:機械学習等を利用した水産資源動態予測手法の構築(東京大、三重県)**

・年による差異の把握やより広域への適用可能性について検討する。

・機械学習による解析結果を漁業シミュレータに反映させ、資源評価を行う方法について検討する。

**【今年度の成果】**

**小課題 1:資源評価に利用するデータの効率的な収集**

**①水揚市場における漁獲データの収集**

愛知県

・愛知県の主要港である豊浜漁港、片名漁港及び船びき網水揚げ 7 港について、漁獲データを収集した。
・豊浜市場における内湾小型底びき網の対象魚種水揚げ情報について、2020 年のデータを整理・確定し、データベースに入力可能な状態とした。
・豊浜漁協、西三河漁協において、販売システムからの漁業情報収集上の問題点を整理するため、同システムの入出力の実態について調査し、箱あたり重量を推定することにより金額から重量変換等の手法を考案した。

三重県

・鳥羽磯部・三重外湾など、主要な漁協から漁獲情報を入手し、エクセルファイル上で整理して電子データ化した。

**②生物測定データの収集**

愛知県

・サワラ、マダコ、ガザミの市場で測定したデータから体長組成を整理し、漁獲データと合わせて本県沿岸域における加入や成長についての情報を得た。
・カレイ類は、伊勢湾漁場一斉調査や漁況海況調査の過去データを整理し、本県沿岸域における成長や産卵の平均的な季節的傾向を把握した。
・クルマエビは、4 月から 11 月に三河湾で環境 DNA 試料を 24 検体採取し、沿岸域における幼生の分布変化を推定した。
・船びき網及び小型底びき網の標本船から、月 1 回程度、紙媒体で操業記録を回収し、漁獲位置や漁獲量情報を収集した。

三重県

・サワラは鳥羽磯部漁協内の産地市場で 4476 個体の尾叉長測定を実施した。また、108 個体を購入して精密測定し、年齢形質を取得したことで、漁獲されるサワラの尾叉長や年齢構成を明らかにした。1 歳魚は尾叉長 55-75 ㎝、2 歳魚は 65-80 ㎝を中心に広く出現し、互いに大きく重複していた。
・スズキは 11 月に 10 個体を購入して精密測定し、年齢形質を取得して当海域における成長等の資料とした。

・調査対象種の水揚げ実績や努力量等について、主な水揚港を有する漁協から適宜データを収集し、エクセルファイルにまとめた。

**小課題2:標本船による資源評価及び効率的な漁場利用のためのデータ収集**

**①漁獲データ収集(愛知県、三重県)**

愛知県:

・しらす船びき網は 4 月にマイワシシラスとカタクチシラス、5 月以降はカタクチシラスを漁獲しており、漁場は 4～7 月及び 10～11 月は渥美外海、8、9 月と 12 月は伊勢湾が主体であった。

・ぱっち網操業は 7 月にを開始、漁場は 12 月まで伊勢・三河湾内でマイワシ及びカタクチイワシを漁獲した。

・小型底びき網はマダイが概ね年間を通じて好漁で伊勢湾の南部を中心に漁場が形成された。ガザミも 7 月から 10 月に好漁で漁場は同湾の北部が中心であったが、シャコ、マアナゴは調査期間を通じて低調な漁獲であった。

三重県:

・ひき縄釣り 3 隻を標本船とした。2020 年 11 月までの操業はほとんどが伊勢湾内で行われ、大銘柄（2.1～2.9 kg）が多かった。

・伊勢（有滝）の小型底びき網（まめ板）3 隻（調査対象種:アナゴ・シャコ・クルマエビ等)、桑名（赤須賀）の貝桁網 4 隻（調査対象種:ハマグリ・ヤマトシジミ）を GPS・水質ロガー搭載標本船とし、操業実態と操業時の漁場の環境データを周年で取得して、漁場の環境と CPUE（資源の分布）に関する情報を収集した。

・新たに鈴鹿の小型底びき網（桁網）1 隻（調査対象種:シャコ・クルマエビ等）に GPS・水質ロガーを搭載、桑名の貝桁網 8 隻（調査対象種:ハマグリ・ヤマトシジミ）に GPS ロガーを搭載して標本船とし、CPUE や漁場の環境に関する情報収集体制を強化した。

・これまで、漁具に装着する水質観測用のロガーとして、ONSET 社製のロガー3 機種（観測項目:水温、塩分、溶存酸素濃度、水深）を活用してきたが、記憶容量上、1 ヶ月間の連続観測では 3 分毎の取得が限界で、センサーの反応速度の問題もあり、短時間の曳網では充分なデータが得られない場合があった。また、内部構造的にも脆弱性が認められていた。特に塩分（電導度）では、付着物によるドリフトや浮泥による異常観測値が記録されがちな課題もあった。そこで、JFE アドバンテック社製の塩分・水温ロガーおよび圧力（水深）ロガー、PME 社製の DO ロガーを導入して漁具に装着し、実用性の確認を行った。まめ板標本船 1 隻には 9 月より、桁網標本船 1 隻には 1 月より新機種のロガー類を装着して運用試験を続けている。これら新機種では 1 分毎のデータ取得が可能で、これまでより詳細な漁場の環境データが得られた。センサーの反応速度の向上により、曳網開始直後の無効データ時間が削減できたほか、塩分は観測値のドリフトがほとんどみられないなど、信頼性あ

るデータが取得できるようになった。
・　貝桁網において GPS データを機械学習で解析することにより、GPS データだけで操業距離・時間の推定が可能となった。
・極浅海域を含む伊勢湾の全域で二枚貝類の餌料環境（DIN、PO4-P、クロロフィル a）を周年観測する体制を構築した。

**②人工衛星データと漁船情報の統合による海況情報提供システムの開発（愛知県、名古屋大、JAFIC）**
・JAXA が JASMES で公開している「しきさい」バージョン２のクロロフィル a は、MODIS 用に開発した補正を利用しなくても、十分な精度であることを確認した。
・COVID-19 の影響で新たなカメラデータの取得はできなかったが、これまでに取得した反射板の画像で補正することを検討したが精度の向上はできなかった。
・新しい技術を活用した衛星データ配信システムを構築した。
・衛星データ配信システムと連携した水産 GIS を開発した。
・衛星情報と漁業情報とを統合するシステムから漁場図を作成し、web 情報として公開可能とした。
・豊浜地先に設置した自動観測ブイから水温、塩分、Chl-a のデータを取得し、web 情報として公開した。

**小課題 3:機械学習等を利用した水産資源動態予測手法の構築**
・ランダムフォレストを用いて底層環境データ（水温、DO など）等から資源密度（CPUE）を推定する手法について、2016-2017 年のデータを学習に用いてモデルを構築し、それを 2018 年の資源密度推定に適用した。
・漁船によるモニタリングデータを用いて環境シミュレーションの再現性を確認した。また、漁船によって取得した環境データを同化することによって環境シミュレーションの再現性を改善し、その結果を漁業シミュレータに反映することによる資源密度分布推定への影響を調べた。

**【事業期間全体の成果】**
小課題 1:**資源評価に利用するデータの効率的な収集**
**①水揚市場における漁獲データの収集**
・愛知県の主要港である豊浜漁港、片名漁港及び船びき網水揚げ７港について、漁獲データを収集した。
・豊浜市場における内湾小型底びき網の対象魚種水揚げ情報について、2002 年～2020 年のデータを整理・確定し、データベースに入力可能な状態とした。
・豊浜漁協、西三河漁協、渥美漁協において、販売システムからの漁業情報収集上の問題点

を整理するため、同システムの入出力の実態について調査し、箱あたり重量を推定することにより金額から重量変換等の手法を考案した。

三重県

・三重県内の 4 漁協の電算システムについて調査し、それぞれで出力が可能な情報、不可能な情報を把握した。漁協の電算システムは、各漁協の既存の必要性に応じた独自のソフトウェアであり、今後、資源評価を目的として整備されるサーバに入力すべき情報が抽出可能とは限らなかった。このため、今後、漁獲情報をサーバに登録していく上では、個別に対応が必要であることが分かった。

・鳥羽磯部、三重外湾など、主要な漁協から漁業種毎の漁獲や操業実績にかかる情報を入手してエクセルファイルにまとめ、将来整備されるデータベースへの登録準備とした。

**②生物測定データの収集**

愛知県

・サワラ、カレイ類、マダコ、ガザミについて体長組成を整理し、本県海域における加入や成長等についての情報を得た。

・船曳網及び小型底曳網の標本船から、月 1 回程度、紙媒体や電話聞取りで操業記録を回収し、漁獲位置や漁獲量情報を収集した。

三重県

・伊勢湾口周辺で水揚されるサワラやスズキについて、サワラでは毎月原則 2 回市場調査を実施したほか、サワラとスズキでは買取標本による精密測定も実施し、漁獲物の体長組成や年齢構成（成長）等についての情報を得た。

・DNA 分析技術を用いたクルマエビ幼生の出現状況の把握について、愛知県と三重県とで分担してプランクトンネットを用いた調査を実施し、2 ヵ年分の分析結果を得た。伊勢湾では湾奥部、三河湾では湾内でともに秋季に検出があり、伊勢・三河湾の資源は秋季発生群が重要であることが示唆された。

**小課題 2:標本船による資源評価及び効率的な漁場利用のためのデータ収集**

**①漁獲データ収集(愛知県、三重県)**

愛知県：

・愛知県は船びき網 40 隻、小型底びき網 4 隻の標本船から、漁獲物、漁獲量、漁獲位置、水温、水色等の情報について、操業時の状況を月 1 回程度の頻度で紙媒体により収集した。

三重県

・サワラひき縄釣りは、6～11 月頃は伊勢湾内、冬季は伊勢湾口周辺で操業することが把握された。

・将来的に ICT 技術を活用したロガー類を搭載した標本船の導入を検討する上で、漁業者が入力しやすい電子野帳（入力）と、収集データを標本船従事者自らも閲覧し、効率的な操業支援につなげるための表示ソフトの必要性が考えられた。そこで、電子野帳／表示ソフトの要件を漁業者の意見も踏まえて検討し、基本設計をまとめた。
・操業海域の環境要素の把握は、資源分布の把握に有効である。そのためにはなるべく多数のロガー搭載船が稼動することが望ましいが、記録式のロガー類はそれぞれが高価かつ、データの回収・分析に必要な労力も多大である。そこで、なるべく安価でデータ回収の効率化を実現するため、最低限必要なデータ種に絞った安価なロガーの開発が必要と結論し、その要件をまとめた。
・漁獲制限（1 出漁あたりの水揚量制限）のある貝桁網においては、操業時間等の努力量を収集して漁獲量を補正することにより、漁獲制限の影響を排除した CPUE の算出が可能であることがわかった。
・貝桁網において GPS ロガーの搭載により努力量の把握が可能となり、三重県が現在実施している資源評価の効率化につながる成果が得られた。
・水質ロガーから操業中の記録を抽出するため、GPS ロガーの記録を用いて操業開始・終了を特定する手法を検討した。具体的には曳網開始・終了にかかる特異な漁船の挙動パターンの特定や、機械学習を用いた自動抽出技術の開発にも取り組んだ。これらの検討を元に、最適な GPS の記録頻度の設定や、野帳記録の労力削減等を実施した。
・既存の水質ロガー（観測項目：水温、塩分、溶存酸素濃度、水深）では、充分な数の観測値が得られないこと、センサー性能上の不十分さ、構造上の脆弱性があるという問題点がみられた。そこで、代替機種として JFE アドバンテック社製の塩分・水温ロガーおよび圧力（水深）ロガー、PME 社製の DO ロガーを導入して漁具に装着して実用性の確認を行った。その結果、いずれの機種も実用に耐え、1 分毎の高頻度な記録が可能となったほか、センサーの高性能化もあり、データの信頼性を高めることが出来た。
・極浅海域を含む伊勢湾の全域で二枚貝類の餌料環境（DIN、PO4-P、クロロフィル a）を周年観測する体制を構築することができた。

**②人工衛星データと漁船情報の統合による海況情報提供システムの開発（愛知県、名古屋大、JAFIC）**

・JAXA が JASMES で公開している「しきさい」のクロロフィル a 値は MODIS 用に開発した補正を利用しなくても、十分な精度であることを確認した。
・市販のデジタルカメラの画像データをそのまま利用しても、衛星データの検証に使うクロロフィル a の精度を高めることはできなかった。
・GIS 利用を想定したデータのフォーマットの検討、新しいデータ配信技術の採用により、衛星データ配信システムを構築し、運用をスタートした。

・汎用性の高い水産用 GIS を開発、今回開発した衛星データ配信システムと連携することで、衛星データと漁船データを重ね合わせて GIS マップを作製した。
・豊浜地先に自動観測ブイを設置し、水温、塩分、Chl-a データを web で公開した。
・衛星情報と漁業情報の統合システムから漁場図を作成し web で公開可能とした。

**小課題 3:機械学習等を利用した水産資源動態予測手法の構築**

・小型底びき網漁業を対象とし、標本船の漁具に着装した水温・溶存酸素・水深・GPS ロガーによって連続的に記録された水質データについて、水深変化から曳網中の時間を判定するとともに、曳網ごとの水質データの統計値等を算出した。
・データの欠損等のため多大な労力を要していた水質ロガーデータと操業データの照合について、機械学習と最尤推定アルゴリズムを用いて欠損を含む操業日誌を水質ロガーと突合する手法を構築した。
・ランダムフォレストを用いて底層環境データ（水温、DO など）等から資源密度（CPUE）を予測するモデルを構築した。また、水温および DO の 2 変数を任意の値に変化させ、その他の説明変数を代表値に固定したときの CPUE を 2 次元上にマッピングした。さらに、部分従属プロット法を用いて、各説明変数の CPUE の増分に対する「貢献度」を調べた。
・高頻度で取得している環境データを有効活用するため、ニューラルネットワークを並列的に使用し、3 分ごとの入網量を中間層で計算した和をもとに 1 曳網での漁獲量を推定するモデルを開発し、中間層を抽出することにより曳網中のどの時点で入網量が多いのかピンポイントで予測できる可能性を示した。
・漁船によるモニタリング情報を漁業シミュレータに反映させ、資源評価に適用する方法について検討した。

**【令和2年度実施概要】**

**小課題 1:資源評価に利用するデータの効率的な収集**

**①水揚市場における漁獲データの収集**

愛知県

愛知県の主要港である豊浜市場及び片名市場の漁業種類別、漁種別漁獲量のデータを電子データ及び紙媒体で月 1 回取得した。船びき網対象魚種（シラス、マイワシ、カタクチイワシ）は水揚げ全 7 市場の漁獲データを FAX 受信等により概ね出漁日毎に取得した。豊浜市場で水揚された内湾小型底びき網のカレイ類、マダコ、ガザミ、サワラ、スズキ、シロギスの 2002 年～2020 年の漁獲量データを整理し、カレイ類、マダコ、ガザミ、サワラ、スズキ及びシロギスの漁獲量を図 1-1、サワラの月別漁業種類別漁獲量を図 1-2、底びき網の日別 CPUE を図 1-3 に示す。

豊浜漁協、西三河漁協について、作業実態や販売システムから出力される情報などを調査

し、漁業情報の収集にあたっては、販売システムが金額管理の場合があり重量への変換が必要なこと等の問題点を抽出し、推定した箱あたり重量をシステムに入力されている取引箱数に乗じることにより金額から重量変換の手法を考案した。

三重県

鳥羽磯部漁協より紙データで日別（2015 年～）、電子データで月別（2002 年～）、三重外湾漁協より電子データで日別（2010 年～）の漁法別漁獲量などの水揚情報を収集した。これらのデータは、今後の資源評価での活用やデータサーバーへの登録を念頭に、統一フォーマットでのエクセルファイルとして可能な限り詳細に記録し、整理した。

**②生物データの収集**

愛知県は豊浜漁港と片名漁港において、月 1 回以上のサイズ測定を実施した。12 月までに、サワラ計 1,208 個体、ガザミ計 6,860 個体、マダコ計 1,873 個体、マコガレイ計 185 個体、イシガレイ計 196 個体、メイタガレイ計 2,333 個体のデータを得た。 サワラ、マダコ、ガザミは体長組成を整理し、収集した漁獲データと合わせて加入や成長の概要を把握し、例としてサワラの尾叉長組成結果を示す（図 1-4)。カレイ類は、伊勢湾漁場一斉調査や漁況海況調査における 2004 年～2018 年の調査データを整理することにより、加入、成長及び産卵の平均的な季節的傾向を把握した。例としてマコガレイの全長組成を示す（図 1-5)。三河湾において、4 月から 11 月までに、24 検体のクルマエビ環境 DNA 試料を採取し、分析の結果、秋季にクルマエビ DNA が検出された（図 1-6)。

三重県は、サワラは原則月 2 回、答志島にて市場調査を実施して、漁獲物の概要を把握した（図 1-7)。また、適宜買取を実施して尾叉長、体重等を測定し、年齢査定用の耳石および鱗を採取して成長にかかる情報を得た。本年度は 108 個体を購入（他事業の購入を含む）した。このうち 94 個体（尾叉長 46-93 ㎝）について年齢査定を実施した（図 1-8)。1 歳魚は 55-75 ㎝、2 歳魚は 65-80 ㎝を中心に広く出現し、両者の尾叉長は大きく重複していた。スズキでは 11 月に鈴鹿にて水揚されたスズキを買い取って全長、標準体長、体重の計測および耳石と鱗の採集を行い、当海域での成長にかかる資料とした。さらに、標本船の操業日誌を整理し、操業時間と漁獲量を整理した。

**小課題 2:標本船による資源評価及び効率的な漁場利用のためのデータ収集**

**①漁獲データ収集**

愛知県は船びき網 40 隻、小型底びき網 4 隻の標本船から、漁獲物、漁獲量、漁獲位置、水温、水色等の情報について、操業時の状況を月 1 回程度の頻度で紙媒体により収集した。船びき網のうち、しらす船びき網は 4 月にマイワシシラスとカタクチシラス、5 月以降はカタクチシラスを漁獲しており、漁場は 4～7 月及び 11 月は渥美外海、8、9 月と 11、12 月は伊勢湾が主体であった。船びき網のうち、ぱっち網は 7 月に操業を開始し、12 月まで伊

勢・三河湾内に漁場が形成されて、マイワシ及びカタクチイワシを漁獲した。収集データを基に、漁場位置の推移を図示し（図 2-1)、関係者に情報提供した。小型底曳網ではマダイが概ね年間を通じて好漁で伊勢湾の南部を中心に漁場が形成され、また、ガザミも 7 月から 10 月にかけて好漁で漁場は同湾の北部が中心であったが、シャコ、マアナゴは調査期間を通じて低調な漁獲であった。

三重県はサワラ対象の標本船 3 隻に対し、操業野帳の記載を依頼し、収集データを毎月回収して整理し、漁獲実態や資源分布の資料とした。マアナゴ・シャコ等を対象とした標本船、伊勢（有滝）所属の小型底びき網（まめ板）漁船 3 隻、鈴鹿（箕田）所属の小型底びき網（桁網）1 隻に対して標本船野帳への記載のほか、GPS、DO、塩分、水温、塩分を観測するロガー類の装着を依頼し、収集データを毎月回収して整理し、漁場と CPUE の関係性を分析する資料とした。環境ロガー類については、データ収集の高頻度化（１分毎)、計測値の安定性、堅牢性などの観点から、既存機種を代替し得る機種を選定し、小型底びき網（まめ板、マグワ）漁船に装着した。その結果、新機種は実用に耐える堅牢性があり、これまでよりも高頻度かつ安定した観測値の収集が可能であることが確認された。桑名地区の貝桁網標本船 4 隻（ハマグリ 2 隻、ヤマトシジミ 2 隻）には GPS、水位、水温、塩分、DO ロガーを設置し、2 週間に 1 回、データを回収した。標本船 4 隻の操業日誌は月毎に回収して操業時間と漁獲量を把握した。また、GPS ロガーのみ搭載する標本船として、ハマグリ漁 2 隻、ヤマトシジミ漁 2 隻を令和 2 年 8 月に追加した。さらに、令和 3 年 1 月には、ハマグリ漁 2 隻、ヤマトシジミ漁 2 隻を追加した。これまでに収集したデータは図 2-2 と 2-3 のとおりであった。貝桁網では、DO ロガー故障（操業中の衝撃や異常高温等の影響と推測）が頻発し、欠測が多かった。取得データのとりまとめ作業効率化のため、ハマグリ標本船 2 隻の GPS データと水深データを用いて機械学習（ランダムフォレスト）による操業時間・操業距離の推定手法を開発し、学習・テストデータ 12 万件に基づいて平均 92%程度の正答率を得た。作成したモデルを用いてハマグリ標本船 2 隻の 1.5 年分の操業距離と操業時間を推定した結果、異常値を除けば、推定値はおおむね妥当な範囲に収まったため（図 2-4)、当手法は十分実用性があるものと考えられた。ヤマトシジミ標本船 2 隻のデータについても同様に操業時間・操業距離の推定手法の開発を進めたが、作成した学習・テストデータが 4 万件にとどまって十分には検討できず、今後の課題となった。さらに、極浅海域を含む伊勢湾の全域で二枚貝類の餌料環境（DIN、PO4-P、クロロフィル a）を周年観測する「ノリ・貝類漁場栄養塩調査」の体制を令和 2 年 4 月より開始することができた。調査は、極沿岸域では漁業者・漁協が 1～2 週間に 1 回、9～20 測点で採水し、沖側については毎月 1 回の浅海定線観測時に採水して分析する体制とした。クロロフィル a については DMF 抽出試料を分光光度計で測定した。極沿岸域と沖側の分析結果を統合した時空間分布図をスプライン法で作成した（図 2-5)。餌料環境の分析結果の一部を三重県漁連から関係漁協に毎月 1 回提供したほか、三重

県アサリ協議会とも協議した結果、餌料環境を考慮した資源評価の必要性が認識され、長期的な観測の合意が得られた。今後もデータを蓄積し、資源評価に活用する。

**②人工衛星データと漁船情報の統合による海況情報提供システムの開発（愛知県、名古屋大、JAFIC）**

人工衛星データの現場漁船データによる補正

これまで伊勢・三河湾で取得した様々なデータ、および愛知県水産試験場が収集したクロロフィルａデータで、「しきさい（SGLI）」のプロダクトを検証した。JAXA から提供されている「しきさい」のデータは G-portal と JAMSES があるが、今回は比較的データ検索・取得・処理が容易な JASMES（https://www.eorc.jaxa.jp/cgi-bin/jasmes/sgli_nrt/index.cgi）を利用した。2020 年 6 月にバージョン１からバージョン２にアップデートされているため、その両者の比較を行った。

クロロフィル a の検証結果から、名古屋大学で取得したデータでも、愛知県水産試験場で取得したデータでも、しきさいのクロロフィル a 濃度と現場のクロロフィル a 濃度は良い相関を示した（図 2-6）。令和元年度まで配布されていたバージョン１と、令和 2 年度から配布されたバージョン２を比較すると、バージョン１で散在した過大評価値が少し是正された（図 2-7）。

次に、クロロフィル a 濃度を計算するため、利用されるリモートセンシング反射率（反射率）の値を検証した。しきさいのバージョン１では、380、412、 443nm の値で負の反射率が見られ、これは大気補正に問題があることを示している。しかし、クロロフィル a の推定に主に用いられる 530nm 以上の波長の反射率は比較的現場値と近い。バージョン 2 では、380nm はまだ負であるが、412nm と 443nm の値は負にならないよう補正され、ほとんどの値は 0 となっていた。

クロロフィル a 濃度が比較的高い内湾域のクロロフィル a の計算は、ほとんど 530nm と 565nm の反射率の比が利用される。よく利用されている SeaWiFS や MODIS といった衛星では、490nm の反射率を利用していたため、大気補正の誤差の影響が大きかった。しかし、530nm を利用することで、大気補正の誤差の影響は小さくなったと考えられる。この比の検証を行ったところ、バージョン 1、２とも現場値をやや過小評価する傾向がみられた（図 2-8）。それにもかかわらず、クロロフィルａについては 1：1 に近い値をとっているのは、反射率の比からクロロフィル a を推定する水中アルゴリズムが伊勢・三河湾の値とは少しずれていたためと考えられた。しかし、このため最終的にクロロフィル a の推定値についての誤差が減少している。

林ら（2018）は、短波長側が負になりやすい伊勢・三河湾での大気補正に関して、大気補正後の反射率に、現場での 412nm と 565nm の比の経験値と線形の誤差を仮定して誤差推定し、反射率を修正する手法を提案している。しきさいのデータにこの修正法を適用することによって、反射率の誤差は小さくすることが可能であった。しかし、しきさいの水中アルゴリズ

ムを利用すると返って誤差が大きくなってしまうことが明らかとなった。水中アルゴリズムについても、伊勢・三河湾用に作り直すことにより、クロロフィルａ値も少しは向上できる可能性もあるが、しきさいバージョン２の値と比較して、それほど大きな向上はできないと考えられる。従って、現時点では JASMES バージョン２の値をそのまま利用するのが良いと考えられた。

しきさいはクロロフィルａ以外に、懸濁物質重量(TSM)や有色溶存有機物（CDOM）の推定も行っているため、両者についても検証を行った。濁りを表す懸濁物質重量はバージョン１でもバージョン２でも相関があまりよくなかった（図 2-9)。塩分の指標となる有色溶存有機物は短波長側のデータを利用するために，データ自体がかなり少なくなっていた。バージョン２では少しデータ数が増加したが、相関はあまりよくなかった。

漁船からクロロフィルａ情報を収集する方法として、一般に普及しているデジタルカメラの画像を利用できるか検討してきた。Olympus TG-4 デジタルカメラで撮影した JPEG 画像から、G/R 比と B/G 比を計算し、クロロフィルａの測定値と比較したが、今回試した方法では、カメラによる推定は誤差が大きく実用的とは考えられなかった。 誤差の可能性としては以下が考えられた。

１）カメラの自動補正：現在のデジカメは画像に様々な補正を行っている。補正を行う前の RAW データを利用することも可能性としてはあるが、容量が非常に大きくなるデメリットがある。以下の２)，３）を考慮するために、天空や反射板を入れた画像を撮像してみたが、画像全体の色が変化するため誤差となる。

２）太陽光の海面直接反射：今回は、過去の研究で推奨されている海面での直接反射がなるべく少なくなる角度で海面を撮影し、比較的暗い画素を選択した。この方法では、反射が充分に取り除かれていない可能性がある。偏光フィルターを利用する方法もあるが、フィルター調整の問題がある。

３）海面上の照度補正：衛星データの検証で行う場合は、海面上で照度を測定し補正を行う。天空の明るさで補正することも試みたが、充分な補正はできなかった。

1998 年以降、衛星 SeaWiFS と MODIS のクロロフィルａデータについて、林ら（2018）の方法で伊勢・三河湾海域の現場に合うように補正を行いデータベース化した。近年、指摘されているように貧栄養化の進行を確かめるため、伊勢・三河湾全域の 20 年間の長期変動を月別に解析した結果、どの月も全体的には有意な変化はなかった。最小値を選択すると春や夏ではクロロフィルａの減少傾向が示唆されたが、それでも統計的には有意でなかった。これは 20 年間では、データが十分に長くないことや、衛星データの取得機会が天候などによって変動することの影響などが考えらえる。

衛星データ配信システムの開発と水産 GIS の開発

当初はデータ配信システムと GIS が一体化した WEB-GIS を検討したが、WEB-GIS は開発費用がかかること、ランニングコストを含む後年度負担がかかること、一度構築してしまうと拡張性が

低いことなどから、本システムはデータを配信するシステムと解析するシステムを分離することとした。これにより、開発費を大幅に抑えることができ、改変容易性、将来的な拡張性にも対応することが可能となった。本システムは、伊勢・三河湾海域以外への応用が容易となっているほか、WebAPI などの新しい技術への対応も行っており、データ連携基盤として機能することも想定している。また汎用的な設計思想のため、他のデータベースとの統合や連携も可能で、次世代のデータシステムのプラットフォームの一部としても機能することが可能となった。

衛星データ配信システムは、GIS との連携を前提として開発した。GIS を利用すれば地図投影法や地球楕円体などの衛星データに関する専門的な知識がない研究者でも簡単に衛星データをハンドリングして解析に使うことができる。この基本方針に合わせて、衛星画像は GIS との親和性の高い Geotiff 形式を標準フォーマットとした。Geotiff の場合、画像が緯度経度情報や地図投影情報を保持しており、画素ごとの緯度経度の取得が簡単に行える。また Geotiff に格納されるデータについても、写真タイプの RGB 画像データと、4 バイト浮動小数点で画素値（水温やクロロフィル濃度）を格納したデータタイプの画像データの 2 種類を併用することとした。これは水産海洋研分野ではピンポイントで画素値を必要とする場合が多いためである。衛星データ配信システム（https://todo2.jafic.or.jp/）の画面を図 2-10 に示す。配信するデータは GCOM-C/SGLI を中核として、JAFIC が収集する各種の衛星データとなっている。配信システムの基本思想は、①簡単、②汎用性、③安価、④移植性、の 4 点である。更に今回、試験的に GEO サーバも構築した。GEO サーバは GIS に特化した画像配信システムで、これが稼働すると、「ホームページにアクセスして、画像をダウンロードして、GIS で表示する」というアクションをいちいち行う必要なく、GIS からダイレクトで衛星データ配信システムに接続して画像を選択・表示することが可能となる。

海洋の GIS は、対象となる海の時空間変動が速いこと、水深方向に情報があることなど、海特有の特徴に対応する必要であり、陸域の GIS に比べてノウハウの蓄積が少ない。本事業では安価で汎用的な水産 GIS を開発した。GIS のコアシステムには QGIS を採用した。QGIS は地理情報システムの閲覧、編集、さらに分析まで可能なオープンソースの GIS ソフトウェアである。無料であることに加え、改変容易性、拡張性を考慮して、これを本開発のプラットフォームとした。水産海洋研究における GIS の基本的要件を整理したものを表 1 に示す。最近の水産海洋分野の GIS で求められる画像データは衛星データ、海洋数値モデルデータの 2 つが考えらえる。衛星データは、表面水温画像、クロロフィル濃度画像の２つが特に求められる。近年研究開発が進む海洋数値モデルのデータは水深別の水温および海流の情報が求められており、ROMS や JADE など近年普及が進んでいるが、本課題では衛星データの表示のみに対応した仕様となっている。衛星データなどのベースとなるマップ上にオーバーレイするポイントデータは、概ね 2 つのデータに分けられる。1 つは漁場位置や赤潮の分布などの漁業・環境データ、もう 1 つは実際に試験研究機関が調査船などで観測した現場データである。調査船による観測データは緯度経度点のデータ、かつ深さ方向にも観測値を持っている場合が多く、衛星データでは得られない情報を含んでいるので水産海

洋研究では重要視される傾向が強い。海洋環境の把握のためには、表面に加えて深さ方向の情報も加味することは重要とされる。解析・分析機能で求められるのは一般的な比較解析やクラスタ解析などに加え、移動を可視化する粒子解析が求められる。また近年はAIなどを活用した漁場予測情報の表示なども求められるようになっている。水産業を対象とした地理情報として特徴的な海域表示は農林漁区表示である。農林漁区は水産分野で汎用的に利用され、漁場位置報告などにも使われていることから、本システムでも農林漁区に対応させた。本課題では伊勢三河湾のシラス漁獲量と衛星水温画像をオーバーレイして表示した(図2-11)。衛星画像はGCOM-C/SGLIの250m表面水温分布である。図中の〇印は実際のシラス漁船の漁場位置で、色の濃淡は漁獲量と連動する。シラス漁業はごく沿岸で操業するため、高解像度の衛星データが必要でありGCOM-C/SGLIの活用が有効である。シラス漁場の重心マップを図2-12に示す。このような解析はQGISがあらかじめ実装しており、これを活用することで簡単にデータ分析が可能となる。

本研究ではGISでの活用を想定した衛星画像配信システムとした。またQGISを利用した水産GISの開発も示した。衛星データ配信システムは、近年Googleなどが積極的に推進するAPIによるデータ連携が主流となりつつある。これからのシステム開発では、これに対応することは必要不可欠である。海上保安庁でもWebAPIの開発を進めており、データ連携が可能になることが期待される。本事業で開発したGISは海しるのデータと連携が可能である。QGIS等のフリーソフトウエアの利用は、自治体によりインストールが禁止されている場合もあるが、非常に安価かつ簡単に機能を実装できることから、導入を検討すべき価値があると考えられる。配信システムは、JAFICのデータ配信システムの一部として機能するようにアップデートしていく予定としている。またGISも引き続き開発を進め、水産試験研究機関向けに提供していく予定としている。

海況情報提供システムの公開

衛星情報と漁業情報とを統合するシステムから漁場図を作成し、web情報として愛知県水産試験場HPにて公開した。また、豊浜地先に設置した自動観測ブイから水温、塩分、クロロフィルaのデータを取得し（図2-13)、同様にweb情報として公開した。

### 小課題3:機械学習等を利用した水産資源動態予測手法の構築

前年度までにランダムフォレストを用いて底層環境データ（水温、DOなど）等から資源密度（CPUE）を予測するモデルを構築した。このモデルの一般性を調べるために、2016-2017年のデータを学習に用いてモデルを構築し、それを2018年の資源密度推定に適用した。マアナゴについては、推定したCPUEと実測値には一定の相関が見られたが、環境条件以外の説明変数（操業位置・時刻、等）の寄与も含めてさらに検討が必要である（図3-1)。シャコについては、推定値と実測値にあまりよい相関が得られなかった。年ごとに異なるファクターが影響している可能性の他に、学習データの量と質や、機械学習モデル（時空間構造の特徴量抽出など）についての検討が必要である。

また、漁船によるモニタリング情報（水質、漁獲量、等）を漁業シミュレータに反映させる方法について検討した。漁業シミュレータでは、環境シミュレーションによって得られた水質分布と操業情報から資源の時空間変動を計算している。まず、環境シミュレーションと漁船によるモニタリングデータを比較し、環境シミュレーションの再現性を確認したところ、底層水温については概ねよい再現性を示したが、溶存酸素の再現性には課題があることがわかった。そこで、漁船によって取得した水質データを同化することによって環境シミュレーションの再現性を改善し、その結果を漁業シミュレータに反映することによって資源密度分布推定がどのように変化するかを調べた。その際、漁業シミュレータ中の漁獲死亡係数を、愛知県の標本船データも用いて設定した。改善された水質分布や資源動態モデルのパラメータを反映した漁業シミュレータを用いて資源量を逆推定することで資源評価に適用することが可能であると考えられる。

【図表など】

小課題 1:資源評価に利用するデータの効率的な収集

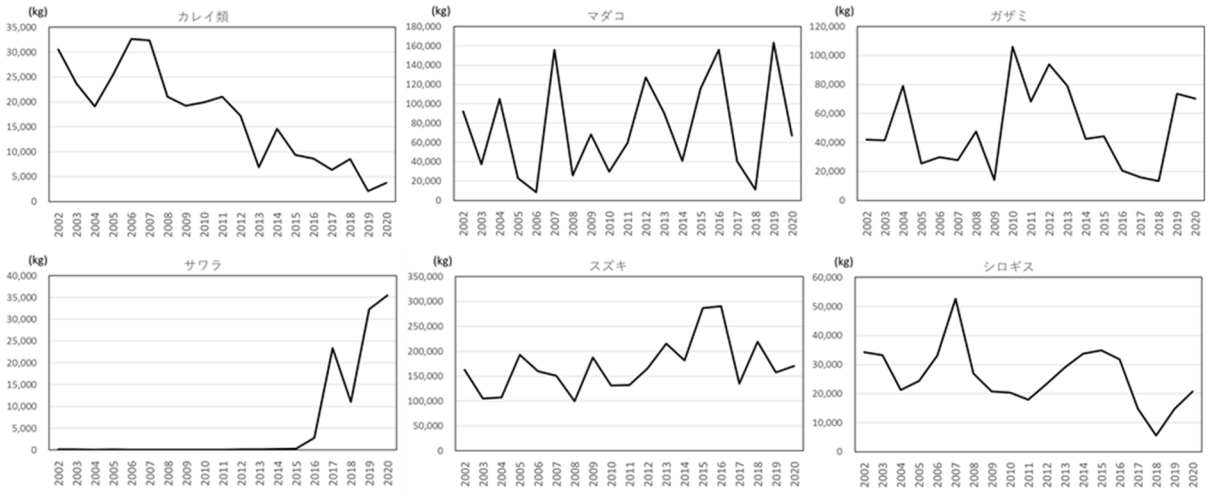


図 1-1 愛知県豊浜市場における内湾小型底びき網による調査対象魚種の漁獲量 上段左からカレイ類、マダコ、ガザミ、下段左からサワラ、スズキ、シロギス ※カレイ類はマコガレイ、イシガレイ、メイタガレイを主体とする。

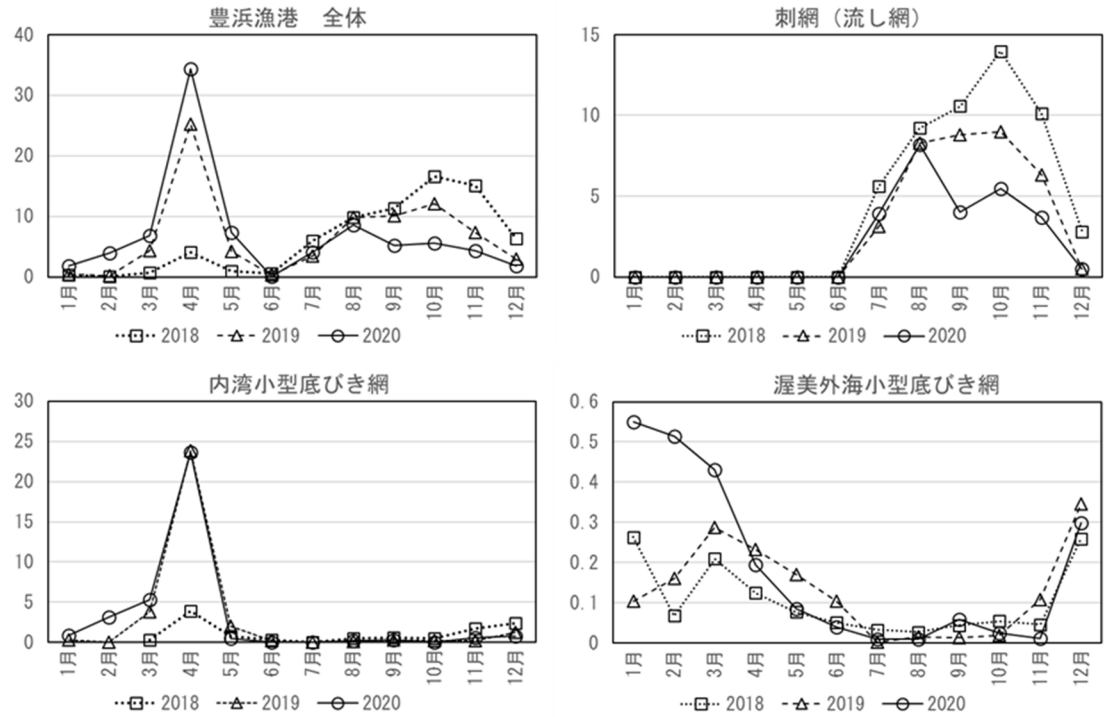


図 1-2 愛知県豊浜漁港におけるサワラの月別漁獲量(豊浜漁港全体及び主要漁業種類別、単位:トン)

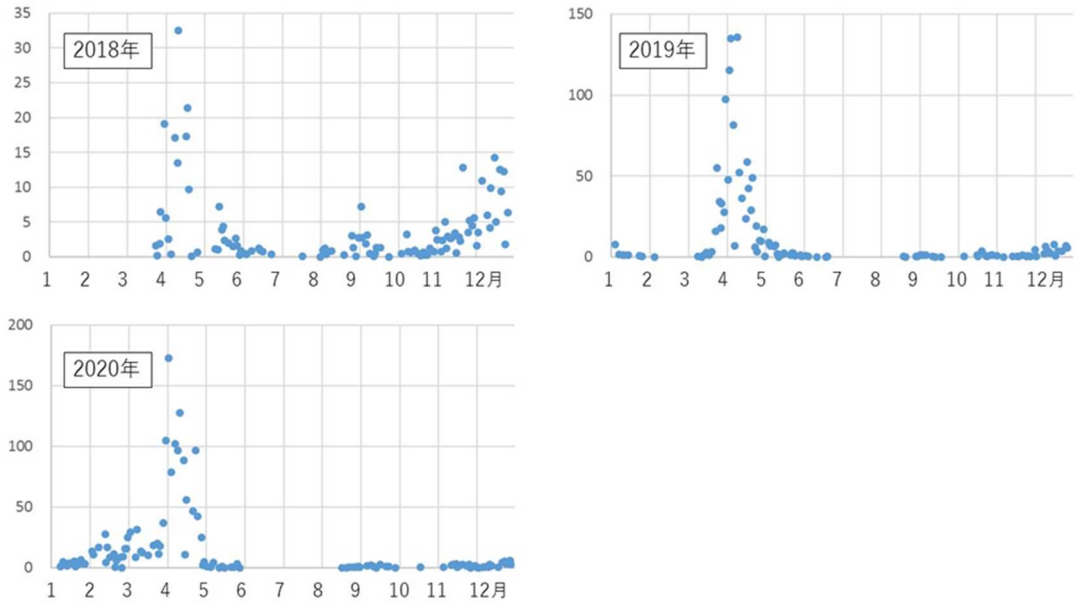


図 1-3　愛知県豊浜漁港における内湾小型底びき網によるサワラの日別 CPUE（単位：kg／隻／日）

＊　愛知県沿岸域で漁獲されるサワラは、複数の年齢群で構成され、秋季には当歳魚と推定される魚群も出現している。豊浜漁港におけるサワラの漁獲は、全体では春季と夏秋季にピークがあり、春季は内湾小型底びき網、夏秋季は刺網が主体であり、また、渥美外海小型底びき網では冬季にも増加することがある。このように漁業種類によって主漁期が異なることは、サワラの分布海域の変遷と関係する可能性がある。

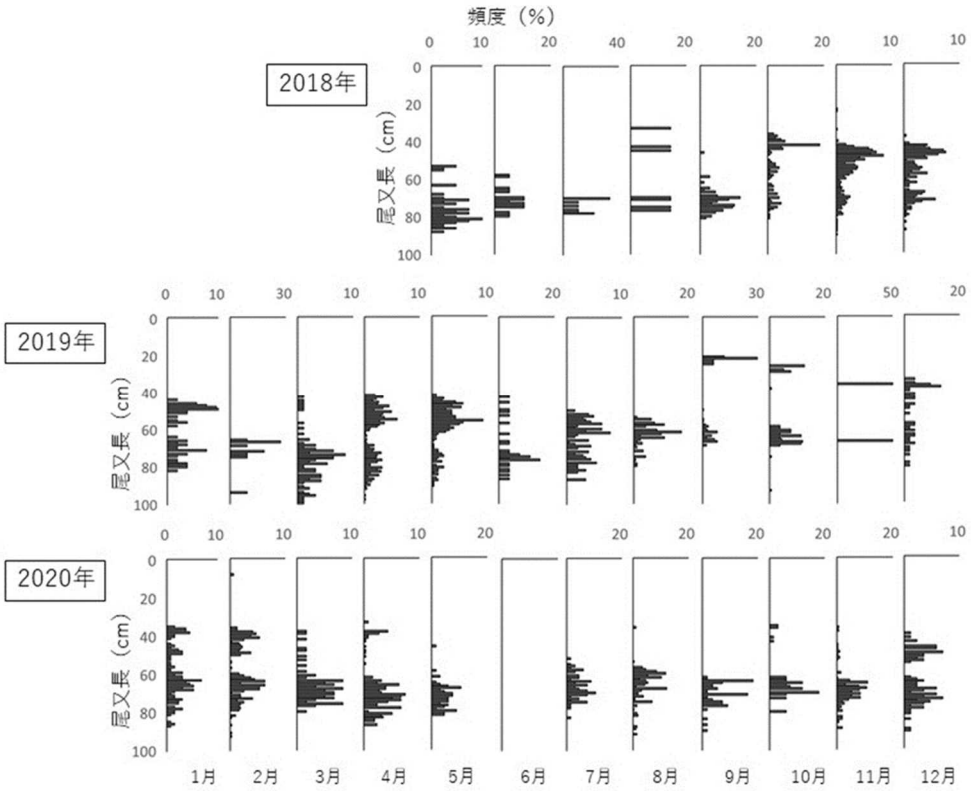


図 1-4　愛知県で漁獲されたサワラの尾叉長組成（2018 年 5 月～2020 年 12 月）

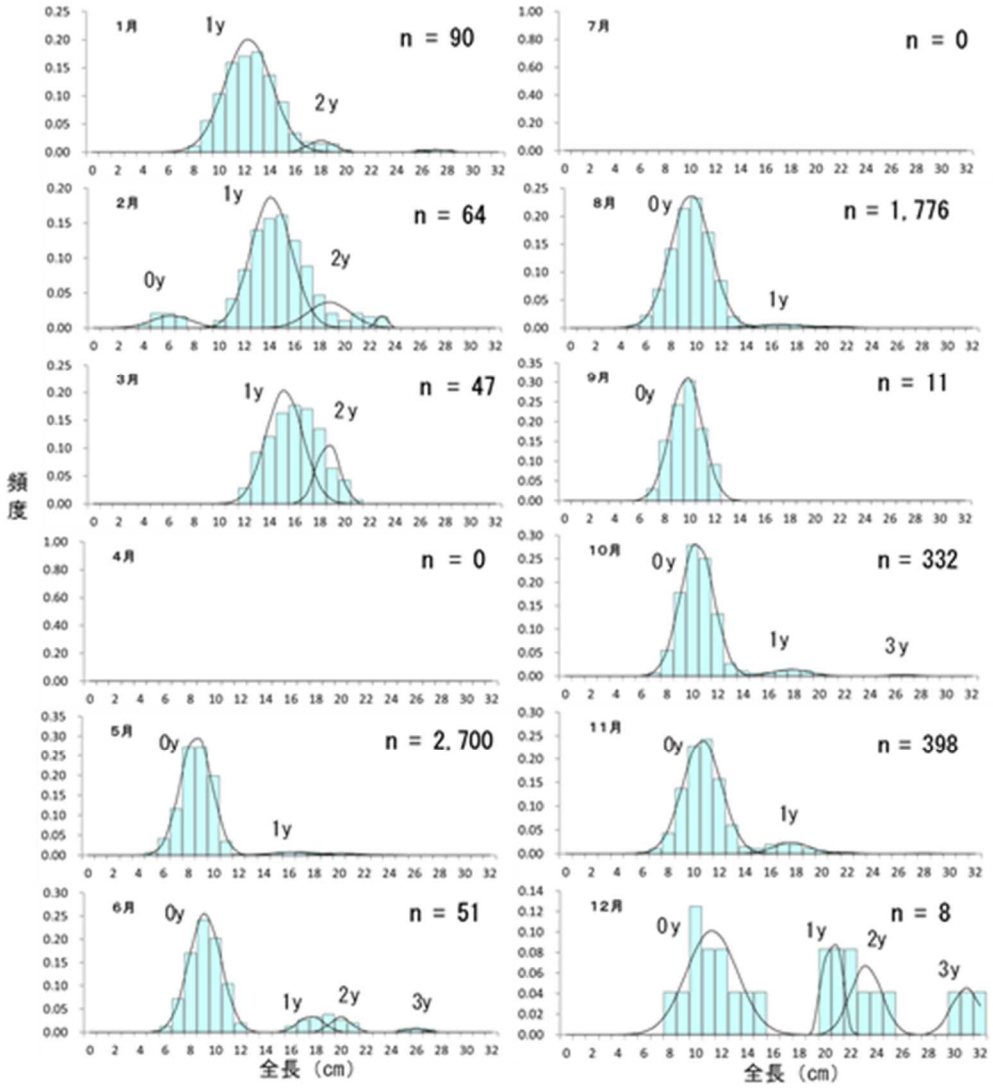


図 1-5　伊勢湾の漁場一斉調査で採取されたマコガレイの全長組成（2004 年～2018 年）
※3 項移動平均、※※年齢の起算月は卵稚仔の出現状況から決定

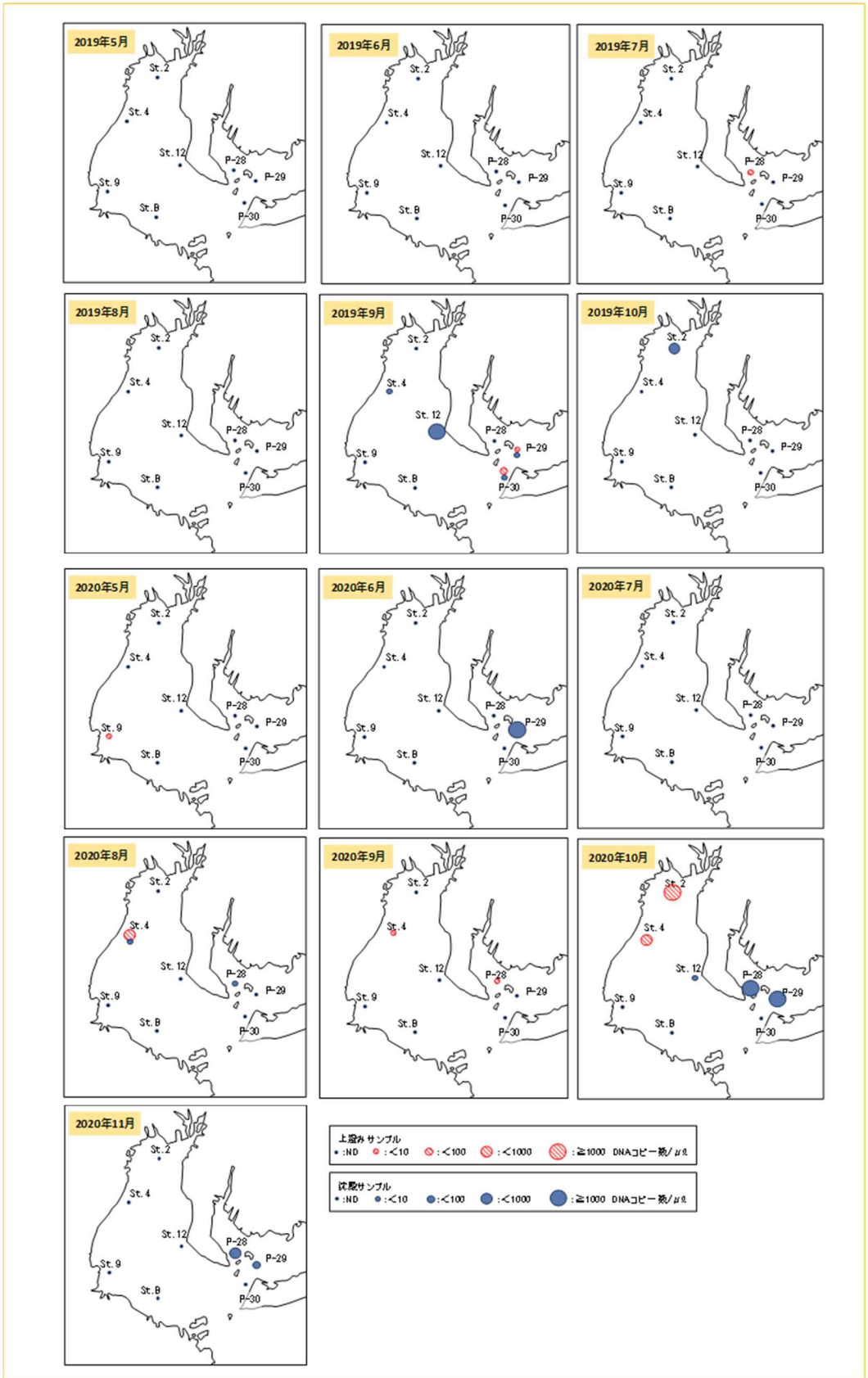


**図 1-6**　伊勢・三河湾で愛知県・三重県により収集したプランクトンネット採集物内のクルマエビ DNA の検出結果

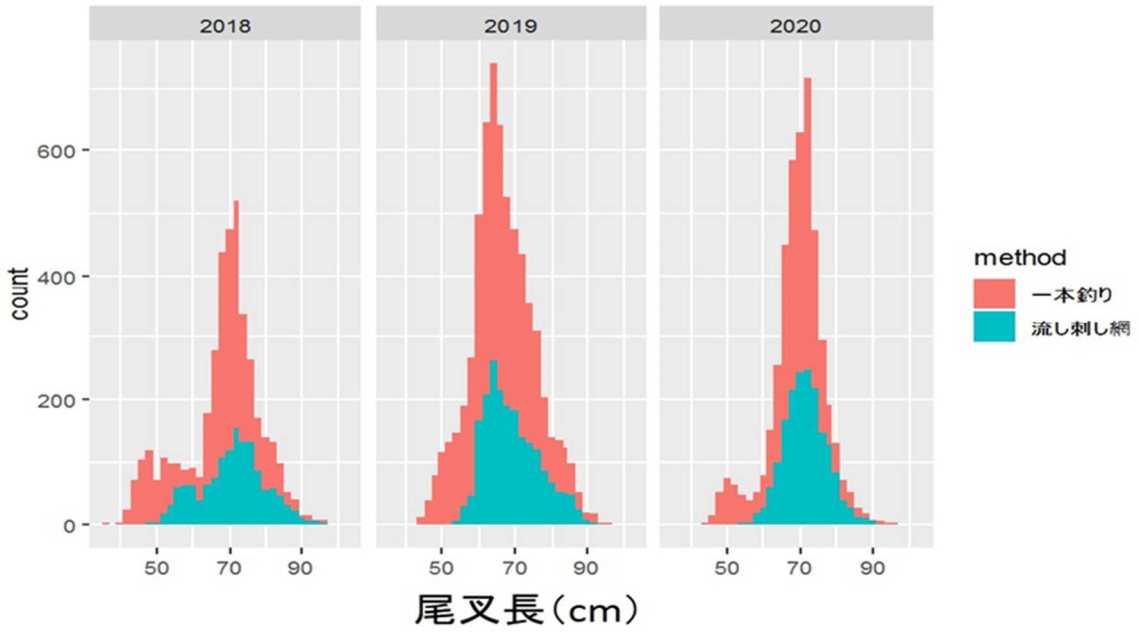


図 1-7　2018～2020 年実施の三重県市場調査で把握されたサワラの尾叉長組成

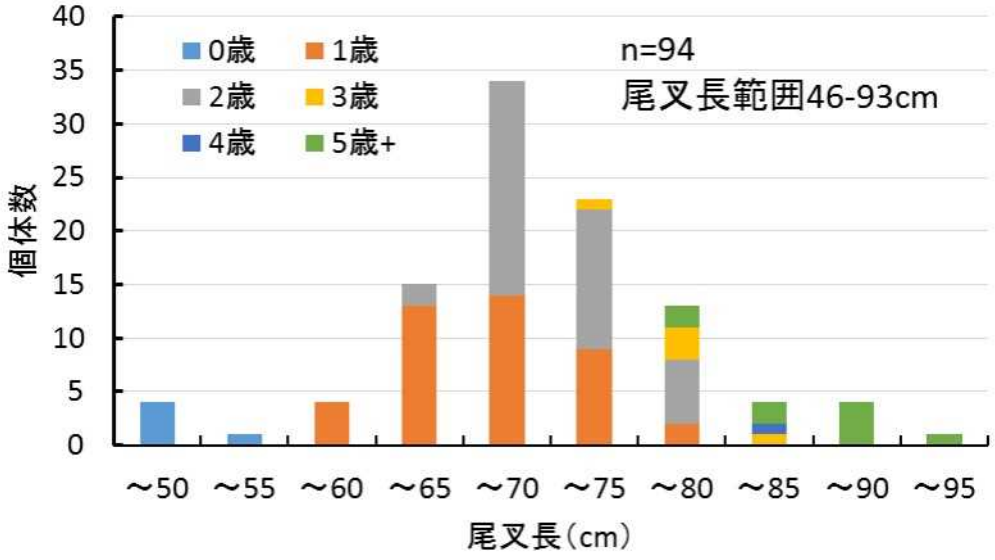


図 1-8　鳥羽で漁獲されたサワラの尾叉長階級毎の年齢組成