

<報文>

福岡県の沿岸海域における採捕と環境DNAメタバーコーディングによる魚類相調査結果の比較*

中島 淳**・平川周作**・金子洋平**

キーワード ①環境DNA ②魚類相 ③採捕調査 ④MiFish法 ⑤検出率

要 旨

福岡県の沿岸海域の6地点において魚類の採捕調査を行い、採捕調査と同日に採水した試料を用いて行ったMiFish法による環境DNAメタバーコーディング調査の結果と比較した。採捕と環境DNAメタバーコーディングの調査結果をあわせると、全体で80種類の魚類が確認された。採捕調査で確認された39種のうち、15種は環境DNAメタバーコーディングでは確認されず、環境DNAメタバーコーディングで確認された65種のうち、41種は採捕調査で確認されなかった。両調査方法を総合した全種類数に対する採捕調査の検出率は48.8%、環境DNAメタバーコーディング調査の検出率は81.3%であった。干潟や岩礁など環境の違いや魚類の生活型の違いによる検出傾向の違いが認められ、結果の解釈や採水地点の設定にはこれらの要素を考慮する必要があると考えられた。

1. はじめに

環境DNA分析は環境中に放出された生物由来のDNAの塩基配列を調べ、その結果をデータベースと照合することによりそこに存在する生物の分布情報等を得る手法である。近年では環境水中に含まれる特定の分類群を網羅的に解析する環境DNAメタバーコーディングが生物相調査の手法として広く使われるようになってきている¹⁾。多くの生物分類群のうち、魚類は粘液や糞等を介して水中に多くのDNAを放出することから環境DNA分析の対象として適しており、Miyaら²⁾によるミトコンドリアDNAにおける12SリボソームRNA領域の一部を標的としたMiFishプライマーの開発により、魚類相調査の一般的な手法として環境DNAメタバーコーディングが用いられるようになった。

現在、国内では行政的施策を効率的に進めていく上で環境DNAメタバーコーディングが重要な魚類相調査手法として認識されており、環境省では「環境DNA分析技術を用いた調査手法の手引き」³⁾および「MiFish法に係る誤同定チェックシート」⁴⁾を作成・公表し、生物多様性保全調査への活用を推進している。また、国土交通省では全国109水系の河川およびダムにおける生物相モニタリング調査として、「河川水辺の国勢調査」を30年以上継続して実施しているが、このうち魚

類相調査については環境DNAメタバーコーディングによる調査を従来の採捕調査と併用して実施する方向で知見の蓄積を進め⁵⁻⁷⁾、2025年12月に「令和8年度版河川水辺の国勢調査基本調査マニュアル[河川版](魚類環境DNA調査編)(案)」⁸⁾を公表した。2026年度からは実際に「河川水辺の国勢調査」において、採捕調査と併用して環境DNAメタバーコーディングによる調査が実施される方針となっている。

このように本手法が急速に普及している背景として、環境DNAメタバーコーディングによる調査は適切な採水・分析ができれば魚類の非専門家でも一定の品質を保った魚類相データが得られ、さらに採捕調査と比べて予算的・時間的にも有利であることが挙げられる。しかし、自然環境下における環境DNAの動態把握、動態を加味した試料採取方法の開発、正確な種同定の基盤となる塩基配列データベースの拡充等の課題は残されており、一層の基盤的研究の必要性が指摘されている⁹⁾。また、魚類の専門家が関与しない形で環境DNA調査を実施する際には、調査地点の環境・季節に応じた適切な調査手法の選択や種同定結果の精査による信頼性の確保等に課題が残っている。

著者らはこれまで河川域や湖沼域を中心に環境DNAメタバーコーディングを用いた魚類相調査に関する

*Comparative Analysis of Fish Fauna Surveys in Coastal Waters Using Capture-Based Sampling and Environmental DNA Metabarcoding in Fukuoka Prefecture, northern Kyushu, Japan

**Jun NAKAJIMA, Shusaku HIRAKAWA, Yohei KANEKO (福岡県保健環境研究所) Fukuoka Institute of Health and Environmental Sciences

研究を進めてきた¹⁰⁻¹⁴⁾。本研究では、沿岸海域において魚類を対象とした環境DNAメタバーコーディングを行い、同時に実施した採捕調査で確認された魚類相との違いや、環境による検出力の違いについて比較・検討を行った。

2. 材料と方法

2.1 調査地点の概要

調査は福岡県の日本海側の沿岸6地点で実施した(図1)。このうちSt.1(加布里)とSt.4(和白)が干潟、St.2(野北)が砂浜、St.3(志賀島)とSt.5(大島)が岩礁、St.6(地島)が岩礁と砂浜が隣接した環境である。各調査地点は岸沿いにおよそ100 m程度の区間とし、およそ50 cmより浅い範囲とした。

調査日は加布里、野北が2019年7月1日、和白、志賀島が同7月29日、大島が同7月30日、地島が同9月10日で、大潮もしくは中潮の干潮時に実施した。また、各地点の気温(アルコール棒状温度計)、水温および溶解酸素(DO)(ID-150, 飯島電子工業)は現地で測定し、pH、EC(MM-60R, 東亜DKK株式会社)は実験室に持ち帰ったものを当日測定した。

2.2 魚類の採捕調査

採捕調査は1地点あたり4名で、適宜投網・サデ網・タモ網を用いて約1~1.5時間にわたり任意の採集を実施した。採集された魚類は種類と個体数を記録した後、大部分は生きたまま元の場所に放流した。現地での同定が困難な一部の種類については生かしたまま研究室に持ち帰り、麻酔(クローブオイル)を施して10%中性ホルマリンで固定した後に70%エタノールに置換し、種の同定を行った。種の同定・分類は主に中坊¹⁵⁾に従い、分類学的取り扱いは主に本村¹⁶⁾に従った。

2.3 魚類の環境DNA調査

各調査地点において、複数箇所から約100 mLずつ混合して1 L採水し、10 w/v%ベンザルコニウム塩化物液(日本製薬株式会社)を1 mL添加した。保冷して実験室に持ち帰り、採水24時間以内にガラス繊維円形ろ紙GF/F(Whatman)を用いてろ過し、DNAの抽出まで-20℃で保存した。Miyaら¹⁷⁾の方法を参考にして、ろ紙に細胞溶解液を加え、溶解液を回収した後、15%ポリビニルポリピロリドン溶液を最終濃度2.5%になるように添加し、MPure Bacterial DNA Extraction Kit(MP Biomedicals)およびAMPure XP(Beckman Coulter)を用いてDNAを抽出・精製した。次に、12SrRNAの一部を標的領域としたMiFish UおよびMiFish Eを混合したプ

ライマーセットで環境DNAメタバーコーディングによる網羅的な魚類検出をおこなった²⁾。その後、TAKARA Ex Taq(タカラバイオ株式会社)を用い、1st PCRを4連で実施して混合し、2nd PCRでサンプル識別indexとアダプター配列を結合させてライブラリーを作製した。最後にMiseq System(Illumina)を用いて2×300 bpの条件でシーケンシングを実施した。DNA配列データは、DDBJ Sequence Read Archiveデータベースに登録した(Accession No. PRJDB42077)。

得られた代表配列は、MiFish pipeline(MiFish DB Ver. 30)¹⁸⁾を用いて魚類の同定を行った。塩基配列の一致率が同率で複数種が挙がっている種類については、最新の分類体系¹⁶⁾と福岡県内における分布状況¹⁹⁾に基づいて、最終的なリスト上での分類学的な取り扱いを決定した。また、各種について中坊¹⁵⁾を参考に遊泳性か底生性かを整理して記した。

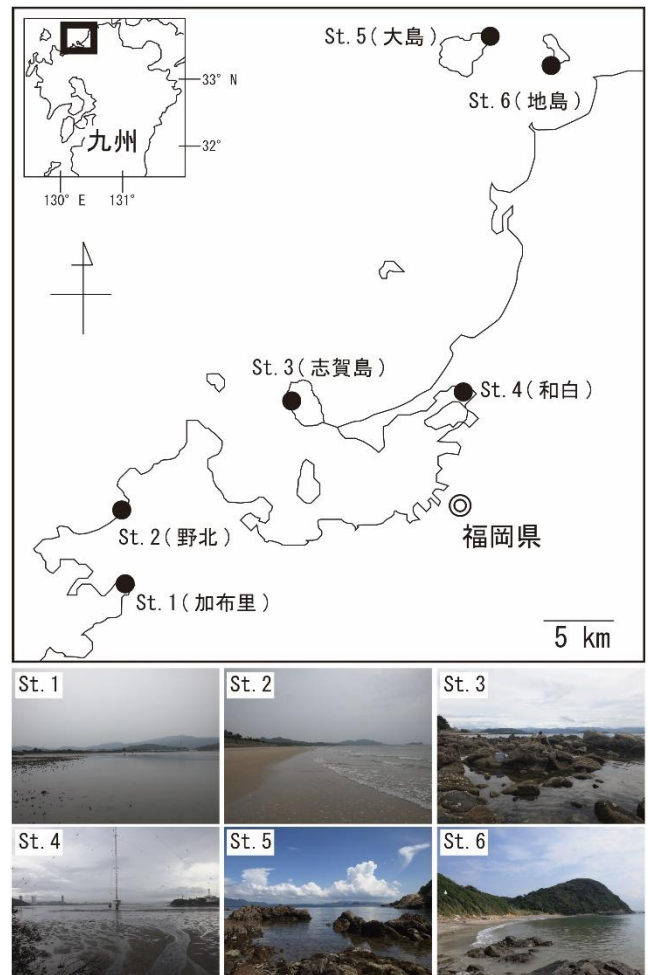


図1 調査地点の位置と各地点の景観

3. 結果及び考察

3.1 確認された魚類の同定とリスト作成

調査時の計測データを表1に、採捕と環境DNAメタ

バーコーディングの調査結果に基づいて作成したリストを表2に示す。合計で80種類の魚類が確認された。採捕調査で得られた魚類は形態の違いに基づき39種として整理した。環境DNAメタバーコーディングでは塩基配列に基づいて65種類として整理した。塩基配列に基づき分類した種類のうち、塩基配列の一致率が同率で複数種が挙げられた種類は、ツクシトビウオ属の一種*Cheilopogon* sp., コチ属の一種*Platycephalus* sp., マアジ属の一種*Trachurus* sp., クロサギ属の一種*Gerres* sp., クロダイ属の一種*Acanthopagrus* sp., ミミズハゼ属の一種*Luciogobius* sp., チワラスボ属の一種*Taenioides* sp., サバ属の一種*Scomber* sp., トラフグ属の一種A *Takifugu* sp. A, トラフグ属の一種B *Takifugu* sp. B, トラフグ属の一種C *Takifugu* sp. Cである。以下に本研究でのこれらの種の取り扱いを記す。

ツクシトビウオ属の一種については、*Cypselurus heterurus* と *Cypselurus exiliens* の2種が同一の配列で登録されていた。このうち前者は標準和名ツクシトビウオ、後者は同オジロトビに該当する。なお、現在この2種はツクシトビウオ属*Cheilopogon*に分類されている¹⁶⁾。福岡県内では本属としてこれまでにトビウオ*Cheilopogon agoo agoo*, シロフチトビウオ*Cheilopogon furcatus*, ツクシトビウオ*Cheilopogon heterurus doederleinii*の3種の記録があり¹⁹⁾, この3種を対象としたBLAST検索の結果から、今回確認された塩基配列はツクシトビウオに同定した。

コチ属の一種については、ヨシノゴチ*Platycephalus* sp. 1, マゴチ*Platycephalus* sp. 2, ミナミマゴチ*Platycephalus indicus*など複数種が同一の配列で登録されていた。福岡県内では本属としてマゴチとヨシノゴチの2種の記録があり¹⁹⁾, 今回確認された塩基配列はこの2種のいずれかである可能性が高いことから、同定は属止めとした。

マアジ属の一種については、マアジ*Trachurus japonicus*, ニシマアジ*Trachurus trachurus*など複数種が同一の配列で登録されていた。福岡県内では本属と

して記録があるのはマアジのみのため¹⁹⁾, 今回確認された塩基配列はマアジに同定した。

クロサギ属の一種については、クロサギ*Gerres equulus*, ミナミクロサギ*Gerres oyena*など複数種が同一の配列で登録されていた。福岡県内では本属としてクロサギとダイミョウサギ*Gerres japonicus*の2種の記録があり¹⁹⁾, この2種を対象としたBLAST検索の結果から、今回確認された塩基配列はクロサギに同定した。

クロダイ属の一種については、ミナミクロダイ*Acanthopagrus sivicolus*, クロダイ*Acanthopagrus schlegelii*など複数種が同一の配列で登録されていた。福岡県内では本属としてクロダイとキチヌ*Acanthopagrus latus*の2種の記録があり¹⁹⁾, この2種を対象としたBLAST検索の結果から、今回確認された塩基配列はクロダイに同定した。

ミミズハゼ属の一種については、ヤリミミズハゼ*Luciogobius platycephalus*, オオミミズハゼ*Luciogobius grandis*, バケミミズハゼ*Luciogobius* sp. 16²⁰⁾など複数種が同一の配列で登録されていた。福岡県内では本属としてミミズハゼ*Luciogobius guttatus*, イソミミズハゼ*Luciogobius martellii*, イドミミズハゼ*Luciogobius pallidus*, キマイラミミズハゼ*Luciogobius* sp. 1²⁰⁾, オオミミズハゼ*Luciogobius grandis*, ヤリミミズハゼ*Luciogobius platycephalus*, ナンセンハゼ*Luciogobius parvulus*, ナガミミズハゼ*Luciogobius elongatus*, オチヨコナガミミズハゼ*Luciogobius* sp. 8²⁰⁾, ホソミミズハゼ*Luciogobius* sp. 13²⁰⁾, ナガミミズハゼ種群未同定種2 *Luciogobius* sp. 16²⁰⁾の11種の記録がある^{19, 21)}。

「環境DNA分析技術を用いた調査手法の手引き」³⁾を参照すると、今回得られた配列は真のヤリミミズハゼではない可能性が指摘されており、本種を除いて同一の塩基配列が登録されているミミズハゼ属のうち福岡県から記録のある種はオオミミズハゼのみとなる。しかし、本属各種のMiFish領域に基づく種同定に関する知見は不足していることから、同定は属止めとした。

表1 各調査地点における計測データ

| 地点 | 調査日 | 調査時間 | 気温 (°C) | 水温 (°C) | DO (mg/L) | pH | EC (μ S/cm) |
|-------------|-----------|---------------|---------|---------|-----------|-----|-------------|
| St. 1 (加布里) | 2019/7/1 | 13時15分~14時45分 | 24.3 | 27.5 | 3.9 | 7.7 | 44800 |
| St. 2 (野北) | 2019/7/1 | 15時45分~16時15分 | 22.0 | 24.1 | 6.4 | 8.3 | 46900 |
| St. 3 (志賀島) | 2019/7/29 | 15時~16時 | 31.5 | 28.3 | 7.0 | 8.5 | 41100 |
| St. 4 (和白) | 2019/7/29 | 12時30分~14時 | 27.5 | 31.2 | 7.0 | 8.4 | 26100 |
| St. 5 (大島) | 2019/7/30 | 14時45分~16時15分 | 31.9 | 28.4 | 8.3 | 8.4 | 45000 |
| St. 6 (地島) | 2019/9/10 | 13時~14時30分 | 32.5 | 30.6 | 10.3 | 8.5 | 44300 |

チワラスボ属の一種については、チワラスボ *Taenioides snyderi*, コガネチワラスボ *Taenioides gracilis* など複数種が同一の配列で登録されていた。福岡県内では本属として記録があるのはチワラスボのみのため¹⁹⁾, 今回確認された塩基配列はチワラスボに同定した。

ゴマサバ *Scomber australasicus*, タイセイヨウマサバ *Scomber colias* など複数種が同一の配列で登録されていた。福岡県内では本属としてマサバとゴマサバの2種の記録があり¹⁹⁾, 今回確認された塩基配列はこの2種のいずれかである可能性が高いが、一方で食用としてタイセイヨウマサバも多く流通していることから、生活排水を経由して本種の塩基配列が検出され

表2 採捕調査と環境DNA調査により得られた魚類のリスト

| 和名 | 学名 | 生活型 | St. 1 (加布里) | | St. 2 (野北) | | St. 3 (志賀島) | | St. 4 (和白) | | St. 5 (大島) | | St. 6 (地島) | |
|-----------|--------------------------------------|-----|-------------|-------|------------|-------|-------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|
| | | | 採捕 | 環境DNA | 採捕 | 環境DNA | 採捕 | 環境DNA | 採捕 | 環境DNA | 採捕 | 環境DNA | 採捕 | 環境DNA |
| アカエイ | <i>Hemirhamphus akajei</i> | 底生 | | | | | | | | | | | | |
| カタクチウシ | <i>Engraulis japonicus</i> | 遊泳 | | | | | ○ | | | | | | | |
| キビナゴ | <i>Spratelloides gracilis</i> | 遊泳 | | | | | ○ | | | | | | | |
| ゴンズイ | <i>Plotosus japonicus</i> | 遊泳 | | | | | | | | | ○ | | | |
| ボラ | <i>Mugil cephalus</i> | 遊泳 | ◎ | ◎ | | | ○ | | | ○ | | | | |
| トウゴロウイワシ | <i>Doboatherina bleekeri</i> | 遊泳 | | | | | | | | | | | | ○ |
| ツクシトビウオ | <i>Cheilopogon heterurus</i> | 遊泳 | | | | ○ | | | | | | | | |
| ナミノハナ | <i>Iso fosmaris</i> | 遊泳 | | | | | | ○ | | | | | | |
| コチ属の一種 | <i>Platycephalus</i> sp. | 底生 | | | | ○ | | | | ○ | | | | |
| スズキ | <i>Lateolabrax japonicus</i> | 遊泳 | | | ○ | | | | | | ○ | | | |
| ヒラスズキ | <i>Lateolabrax latus</i> | 遊泳 | | | | | | | | ○ | | ○ | | |
| ハオコゼ | <i>Paracentropogon rubripinnis</i> | 底生 | | | | | | | | | | | | ○ |
| オニオコゼ | <i>Inimicus japonicus</i> | 底生 | | | | | | | | | | | | ○ |
| テンジクダイ | <i>Jaydia lineata</i> | 遊泳 | | | | | ○ | | | | | | | |
| マルアジ | <i>Decapterus maruadsi</i> | 遊泳 | | | | ○ | | | | | | | | |
| マアジ | <i>Trachurus japonicus</i> | 遊泳 | | | | | | | | | ○ | | | ○ |
| ブリ | <i>Seriola quinqueradiata</i> | 遊泳 | | | | ○ | | ○ | | | | | | |
| クロサギ | <i>Gerres equulus</i> | 遊泳 | | | | | | | | | ◎ | ◎ | ○ | |
| クロダイ | <i>Acanthopagrus schlegelii</i> | 遊泳 | | | | ○ | | | | | | ○ | | ○ |
| マダイ | <i>Pagrus major</i> | 遊泳 | | | | | | | | | | | | ○ |
| シロギス | <i>Sillago japonica</i> | 遊泳 | | | | ○ | | | | | | | | |
| イトフエフキ | <i>Lethrinus genivittatus</i> | 遊泳 | | | | | | | | | | | | ○ |
| ハマフエフキ | <i>Lethrinus nebulosus</i> | 遊泳 | | | | | | | | | | | | ○ |
| コバンヒメジ | <i>Parupeneus indicus</i> | 遊泳 | | | | | | | | | | | | ○ |
| アオタナゴ | <i>Ditrema viride</i> | 遊泳 | | | ○ | | ○ | | | | | | | ○ |
| シマイサキ | <i>Rhyncopelates oxyrinchus</i> | 遊泳 | | | | | | ○ | | | | | | ○ |
| メジナ | <i>Girella punctata</i> | 遊泳 | | | | ○ | ◎ | | | | ◎ | | ◎ | ◎ |
| クロメジナ | <i>Girella leonina</i> | 遊泳 | | | | ○ | | | | | | ○ | | ◎ |
| ホシササノハベラ | <i>Pseudolabrus sieboldi</i> | 遊泳 | | | | | | | | | | ○ | | ○ |
| アカササノハベラ | <i>Pseudolabrus eoethinus</i> | 遊泳 | | | | | | | | | | ○ | | ○ |
| カミナリベラ | <i>Stethojulis interrupta terim</i> | 遊泳 | | | | | | | | | ○ | | ◎ | ◎ |
| キュウセン | <i>Parajulis poeciloptera</i> | 遊泳 | | | | | | | | | ◎ | ◎ | | |
| ホンベラ | <i>Halichoeres tenuispinis</i> | 遊泳 | | | | ○ | | | | | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ |
| クジメ | <i>Hexagrammos agrammus</i> | 底生 | | | | ○ | | | | | | | | ○ |
| アサヒアナハゼ | <i>Pseudoblennius cottoides</i> | 底生 | | | | | | | | | ○ | | | |
| ダイナンギンボ | <i>Dictyosoma temminckii</i> | 底生 | | | | | ○ | | | | | ○ | | |
| ベニツケギンボ | <i>Dictyosoma rubrimaculatum</i> | 底生 | | | | | | | | | | ○ | | |
| ヘビギンボ | <i>Enneapterygius etheostoma</i> | 底生 | | | | | | | | | | ○ | | |
| イソギンボ | <i>Parablennius yatabei</i> | 底生 | | | ○ | | ○ | | | | | | | ○ |
| ホシギンボ | <i>Entomacrodus stellifer stell.</i> | 底生 | | | | | | | | | | ○ | | ○ |
| カエルウオ | <i>Istiblennius enosimae</i> | 底生 | | | | | | | | | ◎ | ◎ | | ○ |
| ナベカ | <i>Omobranchus elegans</i> | 底生 | | | | | ◎ | ◎ | | | | ○ | | |
| トサカギンボ | <i>Omobranchus fasciolatoceps</i> | 底生 | ○ | | | | | | | | | | | |
| ニジギンボ | <i>Petroscirtes breviceps</i> | 底生 | | | | | | | | | ○ | | | |
| ミサキウバウオ | <i>Lepadichthys misakius</i> | 底生 | | | | | | | | | ○ | | | |
| ハナビスメリ | <i>Paradiplogrammus enneactis</i> | 底生 | | | | | | | | | ○ | | | |
| ネズミゴチ | <i>Repomucenus curvicornis</i> | 底生 | | | | | | | | | ○ | | | |
| ヒモハゼ | <i>Eutaenichthys gillii</i> | 底生 | ○ | | | | | | | | | | | |
| ミミズハゼ属の一種 | <i>Luciogobius</i> sp. | 底生 | | | | | | | | | ○ | | | ○ |
| セジロハゼ | <i>Clariger cosmurus</i> | 底生 | | | | | ○ | | | | | | | |
| チワラスボ | <i>Taenioides snyderi</i> | 底生 | | | | | ○ | | | | | | | |
| サビハゼ | <i>Sagamia geneionema</i> | 底生 | | | ○ | | | | | | | | | |
| マハゼ | <i>Acanthogobius flavimanus</i> | 底生 | | | | | | | | ◎ | ◎ | | | |
| アシシロハゼ | <i>Acanthogobius lactipes</i> | 底生 | ○ | | ○ | | | | | ◎ | ◎ | | | |
| アベハゼ | <i>Mugilogobius abei</i> | 底生 | | | | | | | | | ○ | | | |
| マサゴハゼ | <i>Pseudogobius masago</i> | 底生 | | | | | | | | ◎ | ◎ | | | |
| シモフリシマハゼ | <i>Tridentiger bifasciatus</i> | 底生 | ○ | | | | | | | | | | | |
| アカオビシマハゼ | <i>Tridentiger trigonocephalus</i> | 底生 | | | | ○ | ○ | | | | | | | |
| ウロハゼ | <i>Glossogobius olivaceus</i> | 底生 | ○ | | | | | | | | | | | |
| ヒメハゼ | <i>Favonigobius gymnauchen</i> | 底生 | ○ | | | | | | | | ○ | | | |
| ビリンゴ | <i>Gymnogobius breunigii</i> | 底生 | | | | | | | | ◎ | ◎ | | | |
| クモハゼ | <i>Bathygobius fuscus</i> | 底生 | | | | | | | | | | | ○ | |
| スジハゼ | <i>Acentrogobius virgatulus</i> | 底生 | | | ○ | | ○ | | | | | | | |
| クツワハゼ | <i>Istigobius campbelli</i> | 底生 | | | | | | | | | ◎ | ◎ | | |
| ドロメ | <i>Chaenogobius gulosus</i> | 底生 | | | | | ○ | | | | ◎ | ◎ | | ○ |
| イトヒキハゼ | <i>Myersina filifer</i> | 底生 | | | | | ○ | | | | ○ | | | |
| アイゴ | <i>Siganus fuscescens</i> | 遊泳 | | | | | ○ | | | | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ |
| アカカマス | <i>Sphyrna pinguis</i> | 遊泳 | | | | | | | | | ○ | | | |
| サバ属の一種 | <i>Scomber</i> sp. | 遊泳 | | | | | | | | | | | | |
| ヒラメ | <i>Paralichthys olivaceus</i> | 底生 | | | ○ | | | | | | | | | ○ |
| サザウシノシタ | <i>Heteromyceteris japonicus</i> | 底生 | | | | ○ | | | | | | | | ○ |
| クロウシノシタ | <i>Paraplagusia japonica</i> | 底生 | | | | ◎ | | | | | | | | |
| マコガレイ | <i>Pseudopleuronectes yokohamae</i> | 底生 | | | | | | | | | | ○ | | |
| アミメハギ | <i>Rudarius ercodes</i> | 遊泳 | | | | | ○ | | | | | ◎ | ◎ | ◎ |
| カワハギ | <i>Stephanolepis cirrhifer</i> | 遊泳 | | | | | | ○ | | | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ |
| クサフグ | <i>Takifugu albopulchreus</i> | 遊泳 | ○ | | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | | | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ |
| シマフグ | <i>Takifugu xanthopterus</i> | 遊泳 | | | | | ○ | | | | | ○ | | ○ |
| トラフグ属の一種A | <i>Takifugu</i> sp. A | 遊泳 | | | | | | | | | | | | ○ |
| トラフグ属の一種B | <i>Takifugu</i> sp. B | 遊泳 | | | | | ○ | | | | | ○ | | ○ |
| トラフグ属の一種C | <i>Takifugu</i> sp. C | 遊泳 | | | | | | | | | | ○ | | ○ |
| 種数 | | | 8 | 1 | 4 | 27 | 5 | 29 | 5 | 8 | 21 | 29 | 14 | 25 |

○は確認された種類, ◎は同地点で採捕と環境DNAの両方で確認された種類

た可能性もある。したがって、同定は属止めとした。トラフグ属については遺伝子データベース上の学名と塩基配列の関係に混乱があること、MiFish領域において判別できない種がいることから、日本産種において同領域で種レベルでの同定ができるのは現時点でクサフグ *Takifugu alboplumbeus* とシマフグ *Takifugu xanthopterus* の2種のみと思われる。本調査ではクサフグ、シマフグ以外に異なる3つの塩基配列が確認され、今回はナシフグ *Takifugu vermicularis*、マフグ *Takifugu porphyreus* が含まれる配列をトラフグ属の一種A、ゴマフグ *Takifugu stictonotus*、シヨウサイフグ *Takifugu snyderi* が含まれる配列をトラフグ属の一種B、メガネフグ *Takifugu ocellatus* が含まれる配列をトラフグ属の一種Cとして区別した。

3.2 採捕と環境DNA調査の種数と検出率の比較

採捕調査で確認された39種のうち、15種は環境DNAメタバーコーディング調査では確認されず、一方で環境DNAメタバーコーディング調査によって確認された65種のうち、41種は採捕調査で確認されなかった(表2)。したがって両調査方法を総合した全種類数に対する採捕調査の検出率は48.8%、環境DNAメタバーコーディング調査の検出率は81.3%であった。各地点での全種類数に対する採捕調査の検出率は13.8%~100% (平均47.2%, $n=6$)、環境DNAメタバーコーディング調査の検出率は12.5%~93.5% (平均73.4%, $n=6$) であった。

著者らが福岡県の3河川・2季において採捕調査と環境DNAメタバーコーディングによる調査を同時に実施してその結果を比較した事例¹⁰⁾では、採捕調査の検出率が22.2%~45.5% (平均34.5%, $n=6$)、環境DNAメタバーコーディング調査による検出率が86.4%~96.3% (平均93.4%, $n=6$) であった。また、福岡県日本海側沿岸海域の2地点・4季において採捕調査と環境DNAメタバーコーディング調査を同時に実施した事例²²⁾では、採捕調査の検出率が32.0%~66.7% (平均47.1%, $n=6$)、環境DNAメタバーコーディング調査の検出率が50.0%~84.0% (平均63.2%, $n=6$) となっていた。これらの事例と本研究の結果から、河川と比較して沿岸海域にお

いては環境DNAメタバーコーディング調査による検出率がやや低くなる要因があるものと考えられる。

3.3 環境による環境DNAメタバーコーディング検出率の違い

表3に調査地点ごとの確認状況を整理した。今回調査を行った6地点のうち、特に環境DNAメタバーコーディングでの検出率が低かったのはSt.1 (加布里) で、検出率は12.5% (確認種類数は1種のみ) であった。St.1は干潟で(図1)、強い濁りが認められた。強い濁りのある環境では、泥分によるDNAの吸着やろ過フィルターの目詰まりによるろ過水量の低下等を理由として、環境DNAによる検出力が低下することが知られている^{23, 24)}。現在こうした濁りに対する有効な対策は決定的なものがないが、少なくとも干潟域において環境DNAメタバーコーディング調査を実施する際には、他の海域とは異なる検出傾向があることを考慮しておく必要がある。また、本研究のSt.1は干潮時に近い段階で調査を実施したため、採水が困難であったことから泥も混入しやすい状況にあったことも一因として考えられる。特に干潟の環境DNAメタバーコーディング調査では、調査のタイミングが重要な因子になるかもしれない。

環境DNAメタバーコーディング調査による検出率がSt.1に次いで低かったのがSt.5 (大島) である。ここでは全種類数が39種類に対し、採捕のみで確認された種類が10種と最多であった。St.5は複雑に入り組んだ岩礁であり(図1)、タモ網やサデ網による採捕での魚類捕獲が比較的容易であったこと、一方、その構造からそれぞれの種から放出されたDNAが拡散しにくい構造であったことが理由かもしれない。環境DNA分析用の採水は複数箇所で行われ、混合したものを試料としたが、採捕調査した地点全てを網羅したとは言い難い。したがってこうした環境で環境DNAメタバーコーディング調査を実施する際には、採水ポイント数を増やすことが検出率を向上させる上で重要と考えられる。

3.4 生活型による検出率の違い

採捕調査で確認され、環境DNAメタバーコーディング調査で確認されなかった15種はゴンズイ *Plotosus japonicus*、スズキ *Lateolabrax japonicus*、マダイ

表3 各調査地点における魚類の確認種類数・検出率の一覧

| 地点 | 環境 | 全種類数 | 採捕種類数 | 環境DNA確認種類数 | 採捕のみで確認された種類数 | 環境DNAでのみ確認された種類数 | 共通確認種類数 | 採捕検出率 (%) * | 環境DNA検出率 (%) ** |
|-------------|-------|------|-------|------------|---------------|------------------|---------|-------------|-----------------|
| St. 1 (加布里) | 干潟 | 8 | 8 | 1 | 7 | 0 | 1 | 100.0 | 12.5 |
| St. 2 (野北) | 砂浜 | 29 | 4 | 27 | 2 | 25 | 2 | 13.8 | 93.1 |
| St. 3 (志賀島) | 岩礁 | 31 | 5 | 29 | 2 | 26 | 3 | 16.1 | 93.5 |
| St. 4 (和白) | 干潟 | 9 | 5 | 8 | 1 | 4 | 4 | 55.6 | 88.9 |
| St. 5 (大島) | 岩礁 | 39 | 21 | 29 | 10 | 18 | 11 | 53.8 | 74.4 |
| St. 6 (地島) | 岩礁+砂浜 | 32 | 14 | 25 | 7 | 18 | 7 | 43.8 | 78.1 |

*採捕検出率 (%) = 採捕種類数/全種類数 × 100, **環境DNA検出率 (%) = 環境DNAメタバーコーディング確認種類数/全種類数 × 100

Pagrus major, コバンヒメジ *Parupeneus indicus*, アサヒアナハゼ *Pseudoblennius cottoides*, トサカギンポ *Omobranchus fasciolatoceps*, ニジギンポ *Petroscirtes breviceps*, ハナビヌメリ *Paradiplogrammus enneactis*, ネズミゴチ *Repomucenus curvicornis*, ヒモハゼ *Eutaeniichthys gilli*, シモフリシマハゼ *Tridentiger bifasciatus*, ウロハゼ *Glossogobius olivaceus*, ヒメハゼ *Favonigobius gymnauchen*, ササウシノシタ *Heteromycteris japonicus*, マコガレイ *Pseudopleuronectes yokohamae*で、このうち4種が遊泳魚, 11種が底生魚であった。採捕調査で確認された39種のうち遊泳魚は14種, 底生魚は25種, 環境DNAメタバーコーディング調査で確認された65種類のうち遊泳魚は35種類, 底生魚は30種類であった。今回の調査で確認された全80種類のうち遊泳魚は39種類, 底生魚は41種類であった。これらの結果についてカイ二乗検定を実施したところ有意差は認められなかったものの, 採捕においては遊泳魚が確認されにくく, 環境DNAメタバーコーディングにおいては底生魚が確認されにくい傾向が認められる。

こうした傾向が生じた理由について, 採捕調査は投網やサデ網, タモ網を用いて比較的水深の浅い場所で行ったことから, 沖合を遊泳する魚類の採捕が困難であったことが考えられる。また, 河川やダム湖における環境DNAメタバーコーディングによる調査では一般的に底生魚の検出率が低い傾向が知られることから^{7, 10, 25, 26)}, 沿岸海域においても同様の現象が生じた可能性がある。これらのことから, 沿岸海域での環境DNAメタバーコーディングによる調査結果の解釈において, 遊泳魚か底生魚かという生活型に関する考慮は必要かもしれない。しかしこの点についてはより詳細な研究が必要である。

4. まとめ

福岡県日本海側の6地点において, 採捕および環境DNAメタバーコーディングによる魚類相調査を実施し, 以下の知見を得た。

1) 調査全体で80種類の魚類が確認され, 採捕よりも環境DNAメタバーコーディングの方が高い検出率となり, その有用性が確認された。しかし, 河川域の事例と比較するとその検出率は低い傾向であった。

2) 濁りの強い干潟域の1地点では極端に環境DNAメタバーコーディングによる検出率が低かった。

3) 複雑な環境構造を有する岩礁域の1地点では環境DNAメタバーコーディングでの検出率がやや低く, 採捕で確認された種数が比較的多かった。

4) 環境DNAメタバーコーディングでは遊泳魚より底生魚の検出率が低い傾向があり, 調査結果の解釈において生活型を考慮することの重要性が示唆された。

謝辞

塩基配列に基づく種同定についてご助言いただいた乾 隆帝博士(福岡工業大学), 採捕調査に協力いただいた福岡県保健環境研究所の水質課・環境生物課の諸氏にこの場を借りてお礼申し上げる。本研究の一部はJSPS科研費22K04390の助成を受けて行った。

5. 引用文献

- 1) 土居秀幸, 近藤倫生: 環境DNA 生態系の真の姿を読み解く. 共立出版, 東京, 2021
- 2) Miya M., Sato Y., Fukunaga T., Sado T., Poulsen J.Y., Sato K., Minamoto T., Yamamoto S., Yamanaka H., Araki H., Kondoh M., Iwasaki W.: MiFish, a set of universal PCR primers for metabarcoding environmental DNA from fishes: detection of more than 230 subtropical marine species. *Royal Society Open Science*, **2**, 150088, 2015
- 3) 環境省生物多様性センター: 環境DNA分析技術を用いた調査手法の手引き(淡水魚類・両生類)第1版, https://www.biodic.go.jp/edna/reports/mifish_anphi_tebikil.pdf (2026.4.6アクセス)
- 4) 環境省生物多様性センター: MiFish法に係る誤同定チェックシートver.1.3, https://www.biodic.go.jp/edna/reports/mifish_checksheetsheet_ver.1.3.xlsx (2026.4.6アクセス)
- 5) 川崎 敦, 大杉奉功, 新宅幸夫: 河川水辺の国勢調査における環境DNA調査手法の導入検討. 水源地環境技術研究所所報, **2024**, 21-25, 2025
- 6) 都築隆禎, 舟橋弥生, 太田昌志, 内藤太輔, 赤松良久, 乾 隆帝: 環境DNAメタバーコーディング法の河川における魚類相モニタリング調査手法としての有効性について. リバーフロント研究所報告, **29**, 17-18, 2018
- 7) 村岡敬子, 菅野一輝, 篠原隆佑, 天羽淳, 中村圭吾: 河川水辺の国勢調査への環境DNA導入に向けた取り組み. 土木技術資料, **64(5)**, 12-17, 2022
- 8) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課: 令和8年度版 河川水辺の国勢調査基本調査マニュアル [河川版] (魚類環境DNA調査編) (案),

- https://mizukokuinfo.zll.web.core.windows.net/ksnkankyo/mizukokuweb/system/Download/R08KK_02gyoruiDNA.pdf (2026. 4. 6アクセス)
- 9) 深谷肇一：マクロ生物調査のための環境DNA分析 一種の検出と定量およびその他の応用における可能性と課題一．全国環境研会誌，**47**，159-165，2022
- 10) 平川周作，中島 淳，松木昌也，古賀敬興，秦弘一郎，柏原 学，古閑豊和，石間妙子，宮脇崇，金子洋平，志水信弘，松本源生，石橋融子：環境DNAメタバーコーディングを用いた河川における魚類調査手法の検討と水質による影響の解析．環境化学，**30**，125-132，2020
- 11) 平川周作，中島 淳：河川水を対象とした環境DNA分析による魚類相調査の可能性．福岡県保健環境研究所年報，**47**，62-66，2020
- 12) 平川周作，中島 淳，松木昌也，古賀敬興，秦弘一郎，柏原 学，古閑豊和，石間妙子，金子洋平，宮脇 崇，志水信弘，松本源生，石橋融子：水生生物の保全に係る水質環境基準の指標となる魚種の生息状況調査における環境DNA分析の可能性．全国環境研会誌，**47**：19-24，2022
- 13) 平川周作，中島 淳：湖沼における環境 DNA 分析を用いた魚類相調査の検討．福岡県保健環境研究所年報，**50**，79-84，2023
- 14) 平川周作，古賀智子，中島 淳：環境DNA分析における塩化ベンザルコニウム溶液の添加及び冷蔵保存による影響．全国環境研会誌，**51**，47-53，2026
- 15) 中坊徹次：日本産魚類検索 全種の同定第三版．東海大学出版部，秦野，2013
- 16) 本村浩之：日本産魚類全種目録．これまでに記録された日本産魚類全種の現在の標準和名と学名．Online ver. 38，
<https://www.museum.kagoshima-u.ac.jp/staff/motomura/jaf.html> (2026. 4. 6アクセス)
- 17) Miya M., Minamoto T., Yamanaka H., Oka S., Sato K., Yamamoto S., Sado T., Doi H.: Use of a filter cartridge for filtration of water samples and extraction of environmental DNA. *Journal of Visualized Experiments*, **117**, e54741, 2016
- 18) Sato Y., Miya M., Fukunaga T., Sado T., Iwasaki W.: MitoFish and MiFish Pipeline: A mitochondrial genome database of fish with an analysis pipeline for environmental DNA metabarcoding. *Molecular Biology and Evolution*, **35**, 1553-1555, 2018
- 19) 日比野友亮，中島 淳，乾 隆帝，鬼倉徳雄，安武由矢：文献に基づく福岡県産魚類の目録，および標本に基づく種同定の訂正．北九州市立自然史・歴史博物館研究報告A類（自然史），**23**，1-93，2025
- 20) 渋谷浩一，藍澤正宏，鈴木寿之，金川直幸，武藤文人：静岡県産ミミズハゼ属魚類の分類学的検討（予報）．東海自然誌，**12**，29-96，2019
- 21) 浅山典昭，潮上太郎，井上裕太，是枝伶旺，中島 淳，日比野友亮：福岡県沿岸および島嶼から得られた海産ミミズハゼ属9種．北九州市立自然史・歴史博物館研究報告A類（自然史），**24**，4-26，2026
- 22) 有本圭佑，中山恵利，大平良一：環境DNA 技術を用いた魚類モニタリング調査手法の検討．福岡市保健環境研究所報，**49**，137-148，2024
- 23) 糠澤 桂，深川 柊，鈴木祥広：高濁度水への環境DNA 法の適用に向けたろ過・濃縮手法の基礎的検討．土木学会論文集 G（環境），**76(5)**，I_19-I_26，2020
- 24) 三上優貴，Xu Chen，糠澤 桂：DNA 存在形態を考慮した濁水における環境DNA の変動の評価．土木学会論文集，**80(25)**，24-25022，2024
- 25) 赤松良久，都築隆禎，横山良太，舟橋弥生，太田宗宏，畔上雅樹，内藤太輔，乾 隆帝：河川水辺の国勢調査による魚類相調査と環境 DNA メタバーコーディング解析の比較検討．土木学会論文集 B1（水工学），**74(5)**，I_415-I_420，2018
- 26) 村岡敬子，天羽 淳，菅野一輝，篠原隆佑，中村圭吾：ダム湖内魚類相を効率的に捉えるための環境DNA調査方法に関する検討．河川技術論文集，**28**，211-216，2022