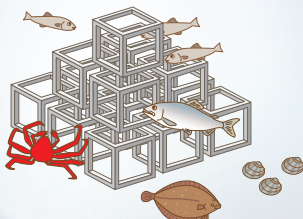


# FRA NEWS

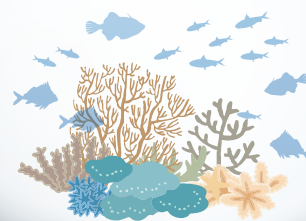
vol. 76  
2023年9月

特集

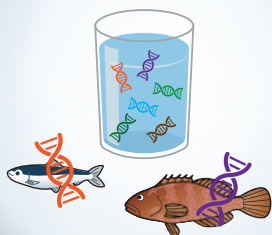
魚礁の効果



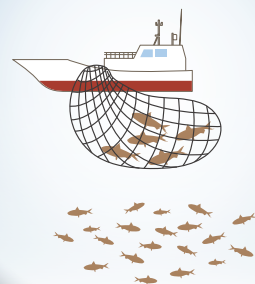
生態系の評価



魚種の推定



漁場の開発



# 環境 DNA

- 専門家に聞きました <伊藤 篤>  
二枚貝のスペシャリスト 百均のプロペラで問題解決!?
- イベント紹介  
国際イワナシンポジウムを開催しました  
うみ博2023でニホンウナギの完全養殖の研究成果を紹介  
一般公開を再開しました さかなと森の観察園 / 宮津庁舎

# 環境DNA

## はじめに

### 環境DNAとは

水中や土壌、大気などには、生物の細胞片や粘液、糞、ウイルスなどのDNAが含まれています。環境DNAは、環境の中あらゆる場所にある生物由来のDNAのことです。

環境DNAの研究は、1990年ごろに、微生物を調べるために水、土壌、大気中のDNAを直接集めて分析することから始まりました。大型生物では2008年にヨーロッパで問題となっていたウシガエルの分布を報告したのが始まりです。それ

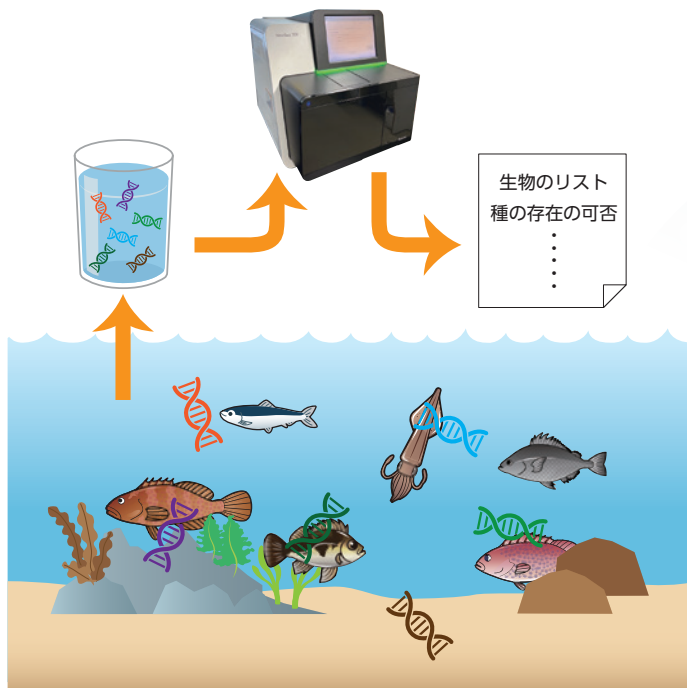


図 環境DNA調査のイメージ

以降、DNA配列の解析機器の発達などにより、環境DNAの研究が急速に進んでいきます。

#### Contents と執筆者

2	特集 環境DNA	
	はじめに	水産研究・教育機構 経営企画部 広報課 編集事務局 監修：水産資源研究所 水産資源研究センター 生命情報解析部 分子機能グループ 主任研究員 本郷 悠貴
6	環境DNAによる人工魚礁の効果評価	水産技術研究所 環境・応用部門 水産工学部 水産基盤グループ長 井上 誠章 / 同グループ 主任研究員 佐藤 允昭
8	沿岸資源の生態調査と環境DNA	同部門 沿岸生態システム部 亜熱帯浅海域グループ 研究員 笹野 祥愛
10	環境DNAでニホンウナギを調べる	同部 内水面グループ 主幹研究員 山本祥一郎
12	いか釣りの漁場を環境DNAで探る	開発調査センター 開発業務課 技術調査調整役 加藤 慶樹
14	海水一杯から分かる魚の多様性	水産資源研究所 水産資源研究センター 生命情報解析部 分子機能グループ 主任研究員 本郷 悠貴
16	専門家に聞きました <伊藤 篤>	
	二枚貝のスペシャリスト 百均のプロペラで問題解決!?	経営企画部 広報課 山口 純奈・中原 明紀
20	イベント紹介	
	国際イワナシンポジウムを開催しました	水産技術研究所 環境・応用部門 沿岸生態システム部 内水面グループ 主幹研究員 山本祥一郎
21	うみ博2023でニホンウナギの完全養殖の研究成果を紹介	
22	一般公開を再開しました さかなと森の観察園/宮津庁舎	経営企画部 広報課 山口 純奈・中原 明紀

今回の特集では、水産関連分野での環境DNAの研究例を紹介します。

### 何が分かるのか

一般の生物の調査では、生物を実際に採集して、どこに、何種類の、どのような生物が、どれだけいるのかを調べます。それには、生物を採集する網などの装備、調査のための労力と時間、採捕した生物の種を判別するための資料や専門知識が必要です。

一方、環境DNAでは、水をくむだけで、短時間でいくつもの水生生物の調査が可能です。また、生物に対する専門知識がなくても、DNAで生物の種が判別できます。

環境DNAには二つの分析方法があります。一つは、特定の生物種の存在やその数を推定する「特異的分析」、もう一つは、特定の種を決めずに調べたい生物群の構成を推定する「網羅的分析」です。

### 必要なもの

環境DNAの分析では、解析のために、ごく微量のDNAをPCR法で増やす必要があります。特異的分析では対象種に特有なDNA配列だけを増やす<sup>\*</sup>プライマー、網羅的分析では生物群に共通するDNA領域を増やすためのユニバーサルプライマーが必要です。

ユニバーサルプライマーは、甲殻類用、魚類用、鳥類用、哺乳類用、節足動物用、二枚貝用、巻貝用、イモリ類・サンショウウオ類用などの動物用のほか、陸上植物、褐藻用、紅藻用など、生物群ごとに作られています。とくに魚類用では、MiFishと呼ばれるユニバーサルプライマーがあり、このプライマーを使って解析する仕組みが作られています。

環境DNAを使った調査のためのマニュアルとして、環境省自然環境

局生物多样性センターの「環境DNA分析技術を用いた淡水魚類調査手法の手引き」や一般社団法人環境DNA学会の「環境DNA調査・実験マニュアル」などがあります。

	生物調査	環境DNA調査
利点	<ul style="list-style-type: none"> <li>実際に生物がすんでいる場所の状況や数も分かる</li> <li>生物の大きさやその構成が分かる</li> <li>採集することで、環境DNAで検出できない生物が確認できる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>時間と労力をかけずに多数の種類を判別できる</li> <li>採集が難しい生物や見た目から種の判別が難しい生物でも判別できる</li> <li>水をくむだけで生物を採集しないので、生物や環境に負荷をかけることが少ない</li> </ul>
欠点	<ul style="list-style-type: none"> <li>労力と時間がかかる</li> <li>生物の種判別に専門的な知識が必要</li> <li>調査により生物や環境に負荷をかける可能性がある</li> <li>採集されないと存在しないと判定される</li> <li>先入観にとらわれて調査をする可能性がある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>DNAの分析には専門の設備などが必要</li> <li>生物のすんでいる場所の状況、大きさやその構成、環境DNAで検出できない生物のことは分からない</li> <li>人間の活動にともない調査と関係がないDNAの混入があると判定に間違いが起きる</li> <li>いるはずの種が検出されないこともあるので注意が必要</li> <li>調査対象種のDNAデータがなければ分析できない</li> </ul>

表 生物調査と環境DNA調査の利点と欠点の比較

\* 5ページ「用語解説」参照

# どうやって調べるの？

## 水を使った調査の例

研究目的によって分析法を使い分けることで、有用な情報を素早く手に入れることができます。しかし、ごく微量のDNAを増やして調べるため、目的以外のDNAのコンタミネーション（本来混入すべきでない物質が混入すること）を防ぐなど、試料の採取や分析、結果の解釈には細心の注意が必要となります。



## 用語解説

## DNA (ディーエヌイー)

デオキシリボ核酸 (Deoxyribonucleic acid) の頭文字を取った略語で、塩基と糖、リン酸で構成されるヌクレオチドという単位が複数つながってできている遺伝情報をもつ物質です。DNAはアデニン (A)、チミン (T)、グアニン (G)、シトシン (C) という4種類の塩基と呼ばれる物質の並び順で構成されており、遺伝情報はATGCのように長い文字列 (DNA 配列) としてDNAに書き込まれています。DNAの構造は、2本のヌクレオチドの鎖が塩基のAとT、GとCという相補的な対で結合し二重らせん構造をとっています。

## PCR法 (ピーシーアールほう)

ポリメラーゼ連鎖反応 (Polymerase Chain Reaction) のことで、温度によってDNAの二本鎖がほどけたり、くっついたりする性質を利用し、そこにプライマーを結合させて、DNAポリメラーゼと呼ばれる酵素の働きによってDNA配列を複製する方法です。加熱による二本鎖DNAの解離 (ディネーチャー)、プライマーの結合 (アニーリング)、酵素による配列伸長 (エロンゲーション) の3つを1サイクルとして、DNA配列を複製します。

1983年にキャリー・マリス博士がPCR法を発明し、この成果により93年にノーベル化学賞を受賞しました。また同年、PCR技術を発展させ、リアルタイムPCR法が開発されました。リアルタイムPCR法とは、ポリメラーゼ連鎖反応による増幅をリアルタイムに測定することで、その増幅率に基づいてDNAの定量を行う方法です。

## プライマー

プライマーとは目的のDNA配列だけに結合する配列の短いDNA断片です。研究では、増幅したいDNA領域を挟む形で設計し、そのプライマー配列は元のDNA配列と相補的な配列で人工合成されています。

生物群に共通するDNAを増幅させることができるプライマーをユニバーサルプライマーといいます。

## シーケンサー

DNA配列を読む解析装置のこと。1970年代、後にノーベル化学賞を2回受賞したフレデリック・サンガー氏によって発明されました。2000年代に解析の仕組みが改善されたことで膨大な量のDNA配列を高速で解読することができ、それ以降は次世代シーケンサーと呼ばれています。

## データベース

DNA塩基配列を照合するためのデータベースには、国立遺伝学研究所のDNAの塩基配列のデータベース「DDBJ」や環境DNAを活用した魚類調査データベース「ANEMONE DB (アネモネデータベース)」などがあります。また、魚類のMiFishプライマーを使って得られたDNA配列を自動で解析できるMiFishパイプラインと呼ばれる仕組みも作られています。

# 環境DNAによる人工魚礁の効果評価

## 魚礁の評価に使う理由

日本の沿岸域には、水産資源の保護や育成のため、魚類のすみかとなる人工魚礁（以下、魚礁）が多く設置されています。その魚礁に集まる魚類の種類や量を調べるために、潜水観察や漁獲調査、魚群探知機（以下、魚探）を使った調査などが行われてきました。

しかし、潜水観察や漁獲調査は、魚種や分布量、どれくらいの大サイズの魚がいるのかは分かりますが、調査には多くの時間と労力を必要とし、漁獲調査には魚を捕獲することでその場の水産資源を減らす欠点があります。また、魚探を使った調査は、広範囲を短時間で調査できますが、魚の正確な種を判別するのが困

難です。

環境DNAを用いた調査は、短い調査時間で、潜水調査ではとらえにくいイワシ類・マアジ・マサバや岩陰にいる生物も検出できるなど、これまでの調査手法の弱点を補う情報が入手でき、より簡単に魚礁効果を評価できる手法です。

水産技術研究所水産工学部では、魚礁効果の新たな評価手法の開発を目標として、2018年から環境DNAを用いた魚類調査を実施しています。

## 館山湾の魚礁調査

2018年5月の館山湾の魚礁調査では、当機構の調査船たか丸で魚探を稼働させながら、2基の高さ約30メートルの高層魚礁（図1

のA、設置場所は

CのAR1・AR

2)の直近とその

周辺の調査点(図

1のB、C)で、

中層と底層から海

水を採水し、次世

代シーケンサーを

用いた定量<sup>\*1</sup>Miseq

法により分析しま

した。この手法

で、サンプル水中

に含まれる多くの魚類の環境DNA

量が推定可能です。

分析の結果、92魚種が検出され、

イサキ、マダイ、サバ類（マサバと

ゴマサバを含む）、マアジ、キンメ

ダイの5魚種がほかの魚種よりも多

く分布していることが分かりました



同グループ

主任研究員 佐藤 允昭



水産技術研究所

環境・応用部門 水産工学部

水産基盤グループ長 井上 誠章

\* 5 ページ「用語解説」参照

※ 1 定量Miseq法：濃度を規定したその海域に存在しないDNA配列を内部標準として添加し、次世代シーケンサーMiseqによる網羅的検出を行う手法

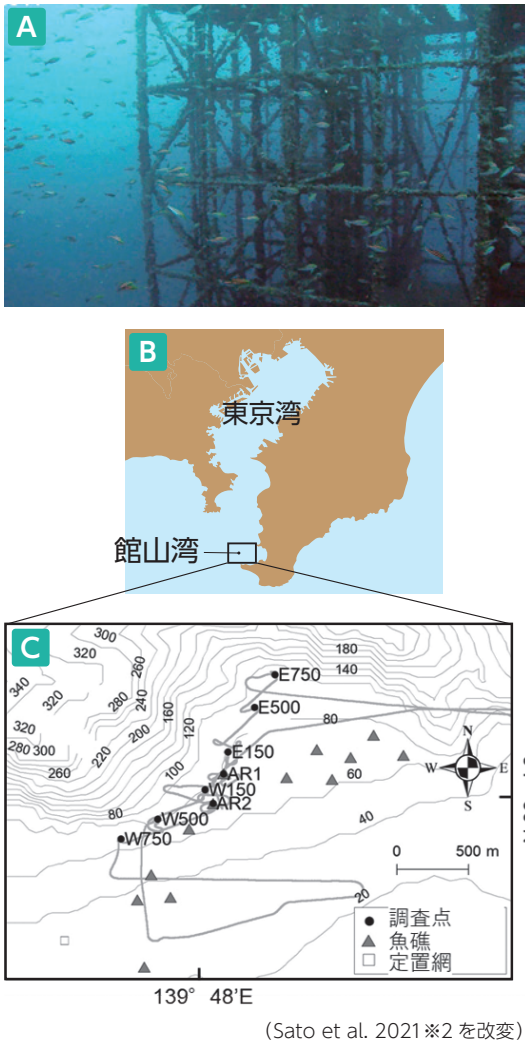


図1 水中ドローンで撮影した高層魚礁に集まるイサキの魚群 (A)、千葉県館山湾の調査域 (B)、高層魚礁の位置 (AR1、AR2)、調査船の航跡 (灰色の線) (C)

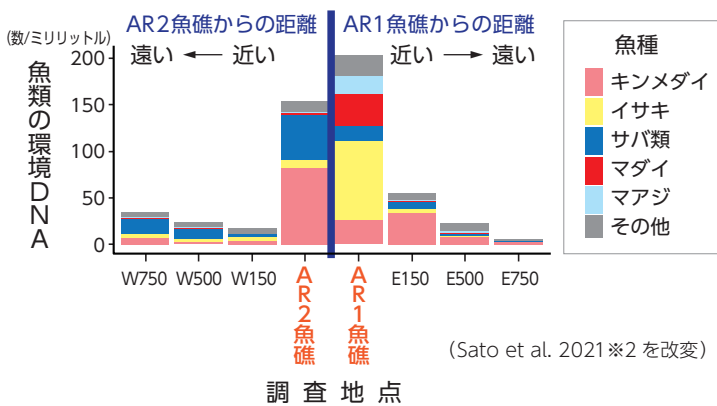


図2 各調査地点で採水したサンプルの魚種ごとの環境DNA量

数が多いほどその生物量が多いことが分かります

(図2)。調査海域近くの定置網でも、同時期に同じ魚種が多く水揚げされ、現場の分布状況と一致していました。これら5魚種の環境DNA量は魚礁周辺で最も多く、キンメダイを除く4魚種は魚礁から離れるに従って環境DNA量が激減しました(図2)。この4魚種は魚礁に強く群がる習性が報告されており、その習性と一致します。

環境DNAが魚礁効果の指標に  
この結果から、環境DNA量は局所的な魚種や生物量を反映すると考

が分かりました。これは、環境DNA量が生物量と関係があることを示しています。また、魚群は魚礁の潮上(潮流の上流側)に形成される傾向にあることが知られていますが、2019年6月の調査で、環境DNA量も同じ傾向が見られました。

えられ、環境DNA量が魚礁の効果指標となる可能性が示されました。環境DNAは、魚礁だけでなく藻場や干潟などの調査にも応用できます。南日本の磯焼けの原因の一つは、海藻を食べるノトイスマズミなどの食害と考えられます。現在、私たちは、環境DNAによるそれらのモニタリング調査を行っています。

※2 Sato et al. (2021) Sci. Rep. 11: 19477. DOI:10.1038/s41598-021-98926-5

# 沿岸資源の生態調査と環境DNA

## 「どこにでもいる」クロダイの調査

港の岸壁やまちなかの河川など、

「どこにでもいる」魚といえれば何が思い浮かぶでしょうか。例えばクロダイやボラ、ウグイなどは、水辺を散歩すると比較的簡単に会えます（写真1）。釣り好きの方はスズキを挙げるかもしれませんが。クロダイやスズキは食卓でもおなじみですが、沿岸資源の中でも珍しく漁獲が安定している魚です。

そんな魚の秘密に迫るため、クロダイを対象に環境DNA調査を実施しました。まずは京都府丹後海の沿岸から沖合35キロまでの海域で、環境DNAの分布を調査しました。過去の採集例や産卵・仔魚期の情報とも照らし合わせたところ、クロダイ



写真1 陸から会えるクロダイ  
(2020年8月26日、京都大学舞鶴水産実験所の岸壁から撮影)

は「どこにでもいる」のではなく、卵や仔魚の期間だけ沖合へ分散し、大きくなると基本的に岸から約3キロの範囲にすることが分かりました。また、クロダイは河口でよく釣れますが、河川へのくらい上ってくるのかも調べてみました。京都府と広島県の4つの河川で季節ごとの調査をしたところ、どの河川でもクロダイは河口の汽水域には年中いて、

水温が一定以上のときだけ、より上流の淡水域にも上っていました。クロダイが淡水域に上る最低水温は京都府より広島県で低く、京都府では河口に多いが広島県では海水と淡水の境目付近に集まる、など地域によって河川を利用するようすが異なることも分かりました。私たちから見て「どこにでもいる」魚は、実は沿岸や河川など「ひとのそば」でたくましく生きる隣人なのです。

## 簡単な作業で広範囲の調査が可能

今回の研究では、合計39回の調査で1695検体を採水し、その環境DNAを定量しました。一般に沿岸



水産技術研究所  
環境・応用部門  
沿岸生態システム部  
亜熱帯浅海域グループ  
研究員 笹野 祥愛

## CHECK

ANEMONE という、環境DNAを利用した生物多様性観測網があります。当機構も運営に関わっており、大学や企業、行政、地域住民が連携することで全国をカバーする生態系ビッグデータを獲得、提供しています。

▶ [https://anemone.bio/anemone\\_ja/](https://anemone.bio/anemone_ja/)



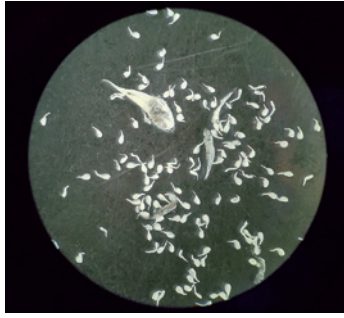


写真2 小さな生物の採集調査では、網に入ったあらゆる物から目的の生物を選び分け、種を区別するのは重労働です  
(写真はすべて魚、実体顕微鏡下で撮影)

の生物の調査では、採集や目視観察が行われます(写真2)。この方法で今回と同じ範囲・頻度の調査をするにはかなりの労力と時間がかかります。熟練の技術や専門知識も必要です。

環境DNAを利用する最大の強みは、広い範囲をこまめに調査できることで、海にも河川にもいるクロダイを一年中調べて回るのが最適でした。また、現場の作業が水をくむだけと簡単なことから、各地の研究者や企業、市民も参加して採水する大規模な調査も可能です。すでに全国

規模の採水プロジェクトも行われています(👉CHECK)。

**さまざまな調査を組み合わせる**

環境DNA調査には限界もあり、より詳細な生態情報を得るためには、目的に応じてさまざまな調査を組み合わせることが重要だといえます。例えば、最初に広く環境DNAの分布調査を行い、目的の生物が多そうな場所や時期に目星をつけてからほかの方法で生物の状態や行動を詳しく調査する、という役割分担は効果的でしょう(図)。

私たちは現在、亜熱帯海域の重要水産魚種であるスジアラの産卵場所を探す足掛かりとして、石垣島・西表島<sup>おもてしま</sup>周辺海域の環境DNA調査に着手しています。産卵が起こると、親や精子などに由来する環境DNAが大量に放出されます。環境DNAをもとに産卵場所が絞り込めれば、卵の採集や潜水調査、行動追跡調査な

どを効率よく実施できそうです。沿岸資源を末永く利用するには生態を知ることが不可欠です。その研究を加速するため、新しい手法を上手に活用していきたいと考えています。

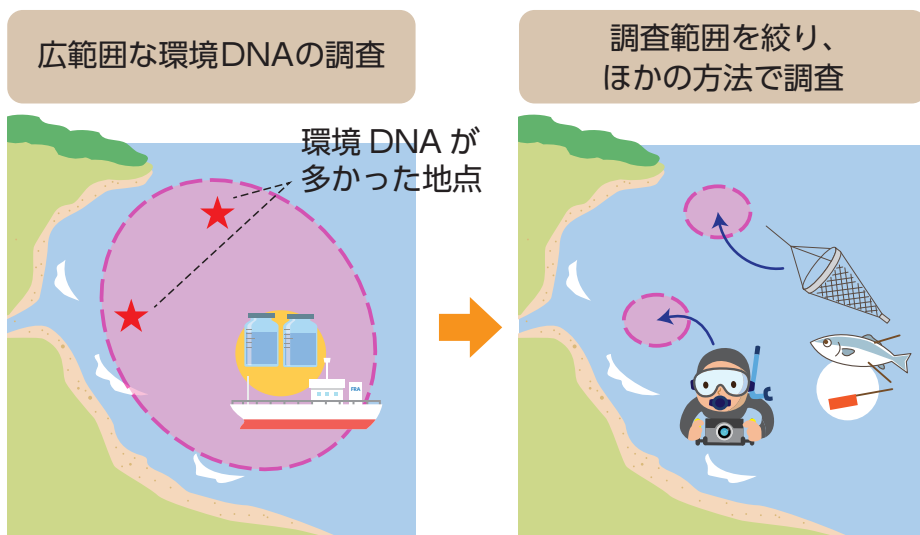


図 環境DNA調査とほかの調査を組み合わせた例(イメージ)

この成果の一部は京都大学と広島大学との共同研究によるもので、JST CREST「環境DNA分析に基づく魚類群集の定量モニタリングと生態系評価手法の開発(JPMJCR13A2)」、JSPS 科研費「沿岸生態系における構造転換：高度観測と非線形力学系理論に基づく実証アプローチ(19H05641)」「水産資源生物の繁殖・被食・加入過程への環境DNAによるアプローチ(19H03031)」の支援を受けたものです

# 環境DNAでニホンウナギを調べる

## 環境DNAの室内実験

環境DNA分析は、対象種の資源量や空間分布を推定する手法として注目されており、内水面の資源研究への応用が期待されています。ここでは、私たちがニホンウナギ（以下、ウナギ）を対象に取り組んできた環境DNAの研究成果を紹介します。

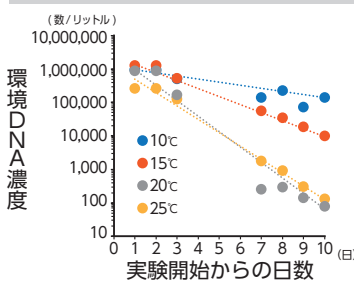
海や河川・湖沼の水から検出される環境DNAの量（濃度）は、「生物から環境中へのDNA放出量」、「放出された環境DNAの分解」、「流れによる輸送」といった複数の要素の関係を反映したものと考えられます。

環境DNAの分解速度を調べる室内実験を行ったところ、水槽内の環境DNA濃度は時間とともに減少

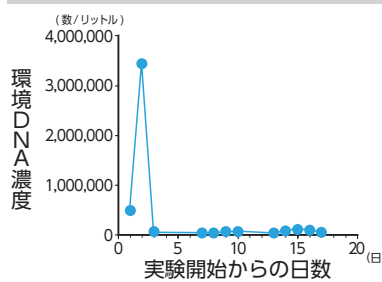
し、そのパターンは指数関数式に適合することが分かりました。また、その減少速度は低温環境下で遅くなることが確認されました（図1左上図）。

一方、水槽内に魚がいる場合は、魚から絶えずDNAが放出されるはずで、複数の実験水槽にウナギを1尾ずつ入れて環境DNA濃度の変化を調べたところ、多くの水槽で環境DNA濃度は実験開始2〜4日後にピークに達し、その後減少に転じるパターンを示しました（図1右上図）。これは、水槽に移されたウナギがある時間を経て活動性を低下させた結果、体外に放出されるDNA量が減少し、単位時間あたりのDNA放出量が分解量を下回ったためと考えられます。実験開始から8〜10

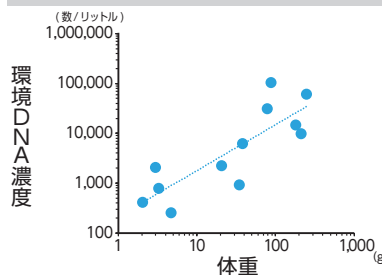
実験水槽内にウナギがない場合



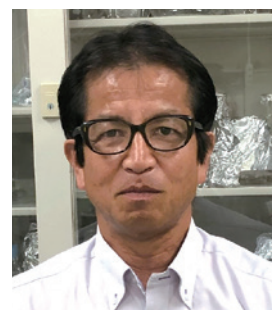
実験水槽内にウナギがいる場合 (全長518ミリの個体)



実験開始から15日後の環境DNA濃度と個体の体重との関係



実験に用いた水槽



水産技術研究所  
環境・応用部門  
沿岸生態システム部  
内水面グループ  
主幹研究員 山本 祥一郎  
やまもと しょういちろう

図1 環境DNAの分解過程、魚からの放出過程および存在量を調べる室内実験

日以降では、極端な濃度変化は観察されず、水槽ごとにある一定の濃度で推移しました。この濃度は個体からのDNA放出量と分解量が平衡に達した値と考えられます。そして、その濃度は大型のウナギほど高くなるのが分かりました(図1右下図)。

この一連の室内実験の結果は、水中の環境DNA濃度が、ウナギの体重の合計(生物量)や活動性(代謝)、DNAの分解に影響を及ぼす水温など、さまざまな要因によって変化することを示しています。

### ウナギの生息数を調べる

ウナギは、日中、石の隙間や砂礫されきの中などにいることが多く、捕獲が難しい魚です。「ウナギを捕獲することなく、水をくむだけで分布や生息数が分かるのか?」。これは私たちの研究動機の一つでもありました。

人工河川(流程約120メートル、川幅約1メートル)でウナギの

生物量と環境DNA濃度との関係を調べる実験を行ったところ、人工河川の上流で蓄養<sup>\*</sup>したウナギの生物量が多いほど、下流地点の環境DNA濃度が高くなるのが分かりました(図2)。この結果は、人工河川程度の小規模な河川や水路では、ウナギの生物量推定に環境DNAが適用できることを示しています。

図3は、二つの自然河川で、多点採水調査に基づく環境DNA量と、標識再捕獲調査に基づくウナギの推定生息数との関係を表したものです。推定精度の問題はあるものの、河川の多くの地点で採水・分析することで、ウナギの生息数や生物量を異なる河川間や年度間で相対的に評価できる可能性が見えてきました。

今後は、推定精度を高める現地調査や分析手法の検討とともに、環境DNA分析の他魚種への展開を進めていくことを考えています。

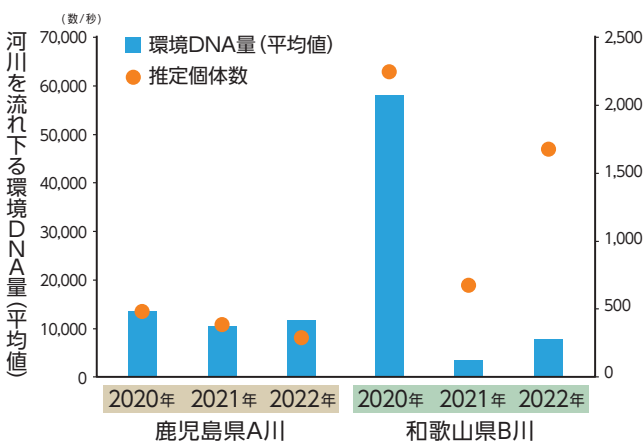


図3 単位時間あたり河川の横断面を流れ下る環境DNA量と標識再捕獲調査に基づく生息数

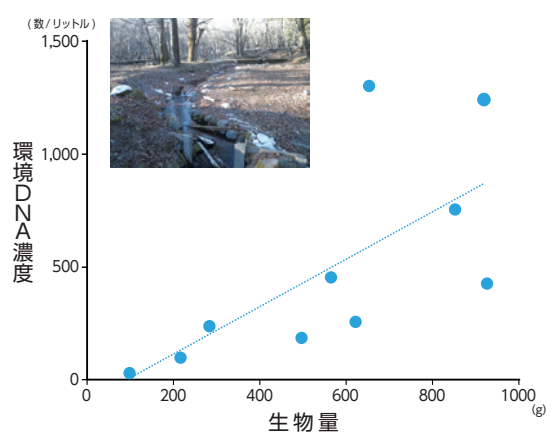


図2 人工河川(図中の写真)のウナギ生物量と環境DNA濃度との関係

<sup>\*</sup>蓄養：魚や貝などを網やカゴなどに入れて短期間飼育すること

これらの成果は、水産庁事業「平成30年～令和4年度環境収容力推定手法開発事業」によるものです

# いか釣りの漁場を環境DNAで探る

## 漁獲情報が少ないアカイカ

いか釣り漁業の漁場探索は、魚探による音響反応や衛星回線を通じて送られてくる水温情報、周辺漁場の漁獲状況といった複数の情報に、

漁労長の経験を加えて行われています。いか釣り漁業の主な対象であるスルメイカは、操業隻数も多く他船からの漁場情報が充実しています。

一方、近年不漁が続くスルメイカの代わりに漁獲対象として注目されているアカイカ（写真1）は、太平洋の日付変更線付近も含む公海の広い海域を少数の漁船が操業するため、漁獲情報が少ないという問題があります。

そこで私たちは、アカイカの漁場をできるだけ絞り込んで推定するた

め、海水中に存在するDNAを調べることによってアカイカの分布情報を得るための技術開発に取り組んでいます（図）。

## 漁場推定の有効性が示唆

実際の調査では、漁場と思しき場所（水深100メートルの場所）から採水し、これをろ過してDNAをフィルターに集め、この後に同じ場所で行って漁獲成績を記録します。環境DNAを集めたフィルターを陸上に持ち帰って定量PCR分析を行ったところ、45漁場中39漁場でアカイカのDNAが検出されました。

さらに、漁場ごとにアカイカのDNA量と漁獲成績を照合してみると、ある程度の漁獲があった場所

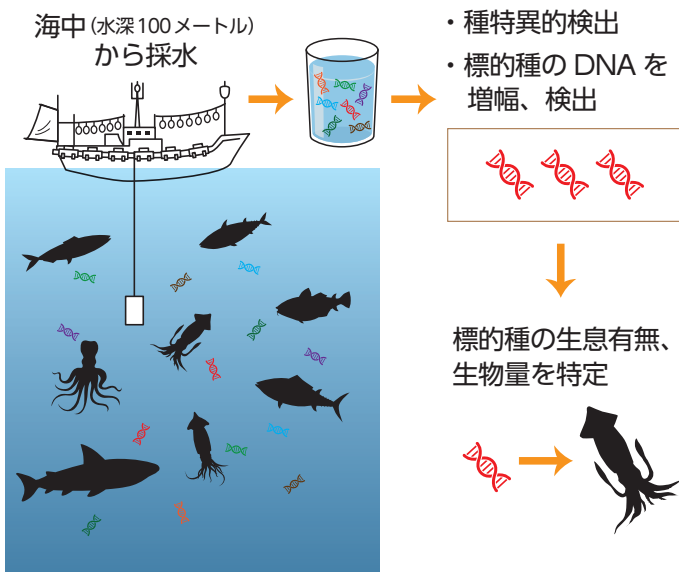


写真1 アカイカ



開発調査センター  
開発業務課  
技術調査調整役  
加藤 慶樹

図 船上で環境DNAを使ってアカイカ分布情報を得るイメージ

\* 5ページ「用語解説」参照

は、一定濃度以上のDNAが検出されました。そこで、DNA濃度を基準として漁場の有用性を判定したところ、一定濃度以上のDNAが確認された漁場の73%が有用（漁場として利用できる）と判定されました。

また、昼夜別で有用性を比較すると、昼釣りでは68%、夜釣りでは89%で、夜間の方が高感度でした。これは、アカイカが昼は水深約1000メートルまで潜り、夜は浅い水深帯にいるため、夜のほうが採水層に近く、DNAを検出しやすかったからと考えられます。

このように、環境DNAはアカイカの漁場推定に利用できる可能性が示されました。

### 漁船での混入を防ぐろ過システム

環境DNAの採集には採水した海水サンプルを漁船上でろ過する必要があるですが、これには「コンタミネーション」という問題があります。

実験室とは違い、漁船上ではアカイカのDNAが至るところに付着しているため、サンプルが汚染されないようにする必要があります。

そこで、汚染を防ぐため、使い捨ての防護服を着用して実験する区画を漁船上に設置することにしました（写真2）。まず周囲のDNAを十分にふき取ってから閉鎖区画を製作し、ろ過を実施しました。また、DNAの抽出に使うフィルター（写真3）には外部からの影響を受けにくい筒型（通常はフィルター面が大きな円盤型）を採用しました。

このような準備をして、DNAを全く含まない精製水をろ過システムに流して混入を評価した結果、90パーセント以上のサンプルでコンタミネーションがありませんでした。混入があってもごく少量で、コンタミネーションがほとんどないことが確認されました。

このように、漁船上の作業に適し

たろ過システムができましたが、現在の環境DNA分析方法では、結果が得られるまでに約4時間かかります。実用化に向けて、まずは、測定完了までの時間をどれだけ短くすることができるか、改良に取り組んでいきます。



写真2 コンタミネーションを防ぐための閉鎖区画



写真3 DNAの抽出に使うフィルター

※ コンタミネーション：分析するサンプルに周辺環境から不純物が混入し汚染されること

# 海水一杯から分かる魚の多様性

## 東京湾で環境DNAを調査

広く深い海の水からどれくらいの水産生物を特定できるのか、時期による水産生物の出現変化を捉えることができるのか。こうした疑問を解

き明かすため、環境DNAの分析技術を用いて、2018年4月から2020年3月、千葉県水産総合研究センターと神奈川県水産技術センターの協力の下、東京湾を対象に調査を行いました。

調査では、東京湾域の14点で表層・底層の採水と、フィルターろ過による環境DNAの収集を行いました。環境DNA中の魚類の検出は、<sup>\*</sup>MiFishプライマーを用いた網羅的分析によって行いました。得られたDNA配列は、<sup>\*</sup>公共データベースに

登録のある魚種の配列と照合し、魚類の特定を行いました。また、遺伝子配列の数をより正確に測ることが

できるリアルタイムPCR<sup>\*</sup>という手法で、環境DNA中のミトコンドリアDNAの数も測定しました。

## 環境DNAは漁獲を反映

3年間の調査で得られた環境DNAサンプルは合計535で、そこから約4450万の遺伝子配列が得られました。配列情報から197種の硬骨魚と16種の軟骨魚が検出され、そのうち42種が東京湾の漁獲対象種でした。最も配列数が多く検出された種は、カタクチイワシとコノシロで、全遺伝子配列数の約32%と26%をそれぞれ占めました(図1)。この2種は、時期や場所、深さに関わ

らず満遍なく検出されました。また、スズキも配列数が多く検出され(約8%)、表層水よりも底層水でよく検出されました。東京湾では底びき網漁法によるスズキの漁獲が多く、環境DNAもそれを反映した結果と推察できます。

環境DNA中からコノシロのミトコンドリアDNAの数を測定すると、2018年と2019年の4月から6月にかけてDNA数の増大がみられました。これは、コノシロの産卵期に当たり、精子や卵などの細胞を採取したためと考えられ、その活発な生命活動を環境DNAで推察することができました(図2)。

海水をくみ、その中にある環境D



水産資源研究所  
水産資源研究センター  
生命情報解析部  
分子機能グループ  
主任研究員 本郷 悠貴

<sup>\*</sup> 4ページ「どうやって調べるの」図の「網羅的分析」および5ページ「用語解説」参照

<sup>\*</sup> MiFishプライマー：魚類用のユニバーサルプライマーのこと。(3ページ「必要なもの」本文参照)

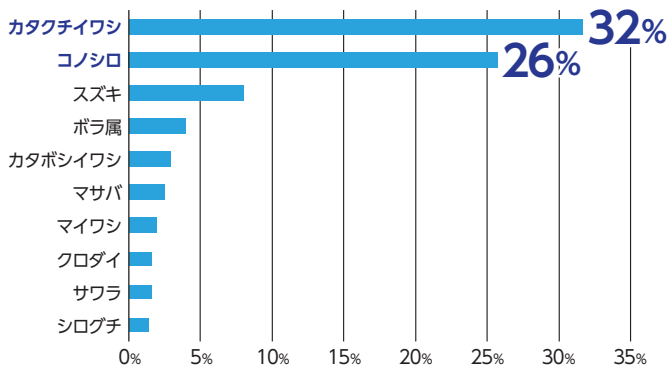


図1 遺伝子配列の検出頻度

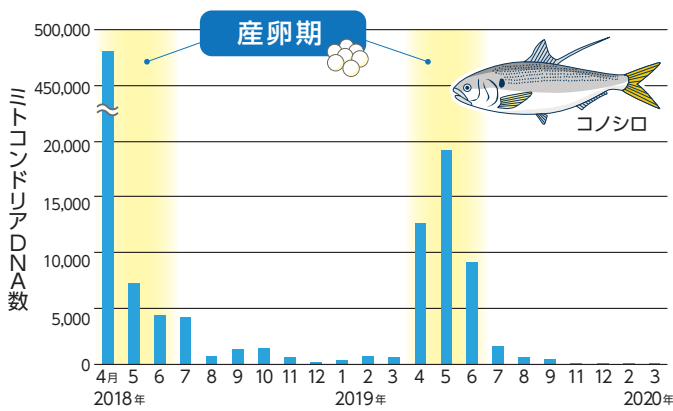


図2 コノシロのミトコンドリアDNA数

海の生物や生態を知るツールに

NAを分析するだけで、東京湾の魚種組成や季節ごとの出現の変化をとらえることができました。

環境DNAの分析技術はとても簡単で、生物の検出に優れています。この利点を活用し、調査手法や捕獲などに限りがある希少種の保全や、外来種の存在を明らかにすることができます。

しかし、検出力が高いがために、人間社会の営みが密接する環境では、本来その環境に生息しない生物や死んでしまった生物までも検出してしまいます。こうしたデメリットを回避する技術の向上が期待されます。広大な海に生息する生物の資源やその生態を理解するための重要なツールとして、環境DNA分析は今後さらに利用される技術になると考えられます。

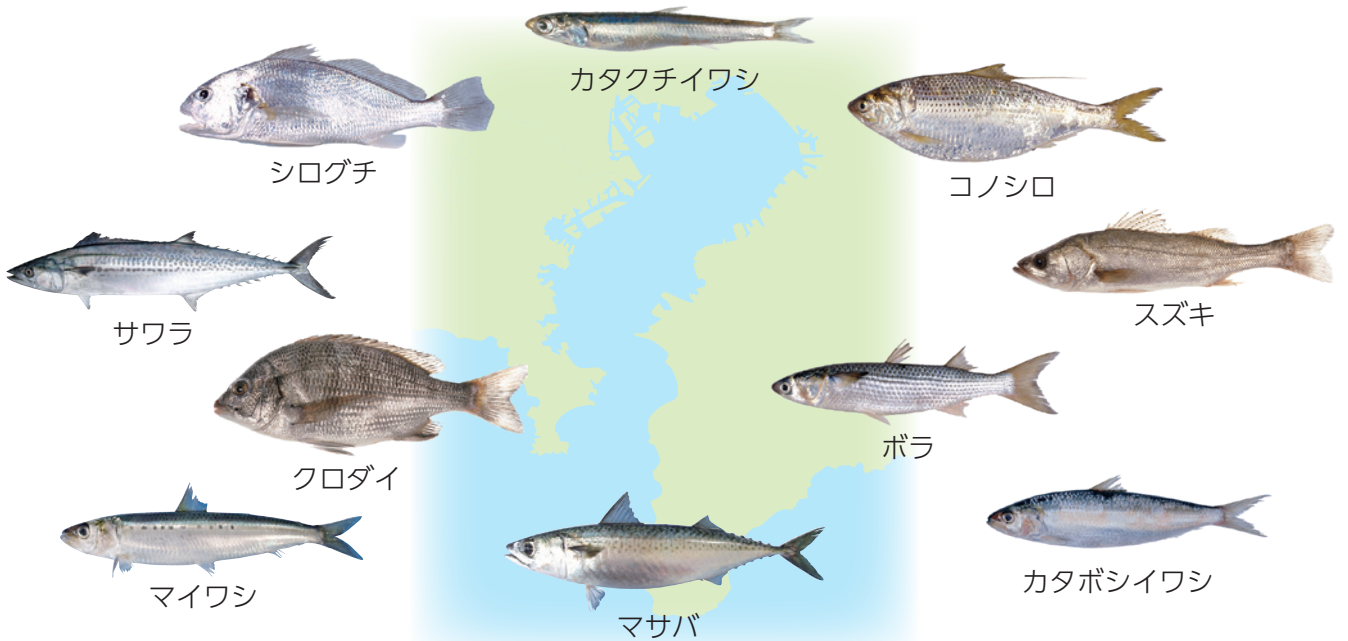


図3 環境DNAから見つかった東京湾の魚

この成果は、水産庁の資源・漁獲情報ネットワーク構築委託事業（平成30年度～令和元年度）によるものです

# 二枚貝のスペシャリスト 百均のプロペラで問題解決!?

さまざまな分野で活躍する専門家に、研究者になっただきつかけや現在取り組んでいる研究内容などについて広報課がインタビュー！  
今回は、「二枚貝のスペシャリスト」の伊藤篤さんに話を聞きました。

インタビュー：経営企画部 広報課

山口純奈・中原明紀

水産技術研究所 養殖部門

生産技術部副部長 伊藤 篤

1970年生まれ(52歳)、大学時代から貝などの海の生物を研究。2010年11月に水産研究・教育機構に入ってからは、二枚貝類を中心に研究している。好きな貝料理はアサリの酒蒸し。趣味はDIYや犬の散歩。

——伊藤さんが研究者になるきっかけは？

父が農業分野の研究者で、その影響もあって、小さなころから研究者になりたいと思っていました。大学や大学院では、アラレタマキビという岩礁域に生息する巻貝を、その後は大学の研究員としてヤドカリやアメフラシの生態を調べていました。また、水産研究・教育機構の長崎庁舎で研究等支援職員をしていた時は、黒潮によって太平洋に出たイセエビ類の浮遊幼生が、どういった経路で日本に戻ってくるのかを調べる研究プロジェクトに携わっていました。その後、民間企業に就職し、魚礁などのコンクリートブロックに海藻種苗を移植するための技術開発をしていました。

当機構に入ってから、広島県尾道市にある百島庁舎もしまで主に二枚貝類の研究に取り組む、現在はタイラギの増養殖のほかに、マダコ養殖に関する研究開発にも取り組んでいます。

——タイラギとはどんな貝ですか？

タイラギ類は内湾の砂泥域さでいじきや干潟せんさせいに生息している潜砂性の二枚貝で、大きいものは30センチ以上になります。ほぼ完全に砂





写真1 砂の中に潜るタイラギ

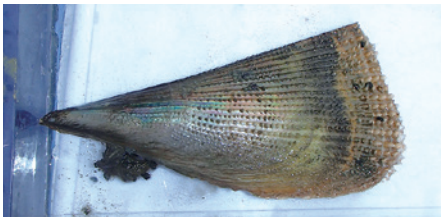


写真2 リシケタイラギ

の中に潜って生活(写真1)しており、ほかの多くの二枚貝類と同じように、植物プランクトンなど、海水中の微粒子を食べて成長します。貝殻の表面がざらざらした「リシケタイラギ」(写真2)や、ツルツルした「タイラギ」などがいますが、その中間型の殻を持つ個体もいて、殻だけでは判別が困難です。かつては有明海が国内有数の産地でしたが、近年はほとんど漁獲されていません。

—— どうやって食べるんですか？

主に貝柱を食べますが、外套膜(貝ひも)

も食べることができます。刺し身やバター焼きなどで食べられることが多く、見た目はホタテの貝柱に似ていますが、ホタテよりも歯ごたえがあり、甘さは控えめで特徴的な味わいです。貝柱は貝殻を閉じるときに使う閉殻筋(へいかくきん)という筋肉で、タイラギの栄養の貯蔵庫でもあるので、コンディションによってその大きさが変わります。

食用以外には、ヨーロッパでは足糸(タイラギが自分を固定するために分泌する繊維)で織物を作っていたそうです。

—— 流通しているサイズはどのくらいですか？

タイラギがたくさん獲れていたころは、30センチを超える大型個体がメインだったと思われませんが、最近是不漁の影響もあって、小さなタイラギも獲られているようです。韓国からの輸入も多くなっています。タイラギは成長が速く、環境条件がよければ、1年半くらいで20センチを超えるサイズになるので、新たな養殖対象種としても有望です。水温が低いと成長が遅くなるため、冬でも温かく餌になる植物プランクトンが多い海域が養殖場に向いていると考えられています。

二枚貝は人間が利用できない小さな植物プランクトンを食べて成長し、人間が食べることができない「身」を生産してくれる素晴らしい生き物です。餌を与えずに収穫できる「無給餌養殖」なので、餌のコストもかかりません。

—— どのような方法で養殖するのですか？

天然のタイラギは砂に潜っています。それと同じような環境で養殖しようとするため、体が大きい分、大量の砂が必要になります。養殖資材が重くなり作業効率も悪くなります。当機構の長崎庁舎では、「ポケット養殖」(写真3)という養殖方法を開発しています(Point)。



写真3 タイラギのポケット養殖で使うネット

——百島庁舎の研究成果( Point ② )を教え  
てください

タイラギは、卵からふ化すると数週間は浮遊幼生として水中を漂って生活し、0・6ミリぐらいになると海底に降りて底性生活に移行します(着底)。これまでは、卵から着底するまでの浮遊幼生の飼育が難しかったのですが、百島庁舎で開発した種苗生産技術により、百万個体を超える着底稚貝(写真2)を生産することができるようになりました。現在はタイラギの種苗生産に取り組む県などに、その生産技術の移転を進めています。

——着底稚貝を量産できなかったのはなぜですか？



写真2 タイラギの稚貝

タイラギの浮遊幼生には水面に張り付く性質があります。通常の二枚貝類の種苗生産では、エアレーション(金魚のブクブク)を使って飼育水をかき混ぜますが、タイラギの

浮遊幼生はエアレーションの気泡にくっついてしまい、そのまま水面に張り付いて動けなくなってしまうます。水中ポンプで飼育水をかき混ぜる方法も考案されましたが、ポンプに巻き込まれた浮遊幼生が傷付いてしまうことが問題でした。

——どのように解決したのですか？

まず、水面に張り付いたタイラギ幼生を水中に戻すために、水面にシャワーを間欠噴射する装置を設置しました。これにより、タイラギ幼生は水面への張り付きから解放されて、再び水中で浮遊することができますようになります。それと、百均で見つけた玩具のプロペラを水中で回すことで、ほどよく飼育水をかき混ぜることができました。さらに、飼育水を交換するときの物理ストレスを軽減するために、2つの水槽をホースでつなぎ、飼育水ごと浮遊幼生を新しい水槽に移すようにしたことも工夫のひとつです。

——採卵はどのような方法で？

通常タイラギはオスが放精した後、メスが放卵すると考えられています。これまで、温度調整をしたり精巢をすりつぶして海水にまぜたりして、放精と放卵を誘発し

百均のプロペラが大活躍！



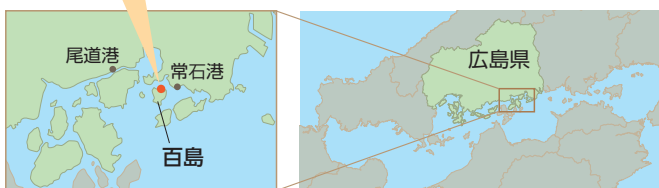
ていました。最近、タイラギにペプチドという成分を注射することで、人為的に放卵や放精を誘発する技術が開発されました。この技術により、確実に受精卵を得ることができるようになったので、種苗生産技術の改良が更に進むことを期待しています。

——今後の課題・目標は？

浮遊幼生への物理ストレスを軽減する飼育方法を開発したことで、着底稚貝の量産に成功しましたが、まだ不安定な部分があります。今後は、着底までの期間を短縮することが課題です。浮遊幼生の着底を促進することができれば、生産技術は飛躍的に向上すると思います。また、開発した技術をあちこちの現場で活用してもらうため

### 百島庁舎

〒722-0061  
尾道市百島町 1760  
☎ 0848-73-5020  
アクセスは船。「福田港(百島)」下船、徒歩5分



に、誰もが使える技術に改良したうえで、分かりやすいマニュアルにすることも大事だと考えています。技術移転先での成功は、自分の成功よりもうれしく思います。今後も水産業の発展に貢献できるように、生産現場からの要望に応える研究や技術開発を進めていきたいと思っています。

——最後に、研究者をめざす人にメッセージをお願いします！

自分の考えにこだわりを持つことが大事



### インタビューを終えて

左から インターンに来ていた東京海洋大学の奥林 璃香さん、伊藤 篤さん、中原 明紀、山口 純奈

だと思っています。人の言うことを鵜呑みにせず、自分の目でも確認することが重要です。もっとも、意固地になって人の話を聞かない頑固者も困りものですので、柔軟性や素直さをあわせ持ってください。

#### Point

1

当機構の成果の関連記事を読むことができます

[FRANEWS] vol.54 p.8-9 タイラギの人工種苗を活用して母貝団地をつくる取り組み  
<https://www.fra.go.jp/home/kenkyushokai/book/files/franews/fnews54.pdf>



#### Point

2

百島庁舎でのタイラギなど無脊椎動物の研究に関する動画を紹介します

YouTube チャンネル FRA 水産研究・教育機構 「百島での海産無脊椎動物の研究」  
0:54 からの「タイラギの生産技術開発」で、着底稚貝、メスの放卵、オスの放精のようすをご覧ください  
[https://www.youtube.com/watch?v=nw6HtZAbFRw&list=PLofHSsVWk\\_um4Yu5LlH1DANmWAJ0yOoST](https://www.youtube.com/watch?v=nw6HtZAbFRw&list=PLofHSsVWk_um4Yu5LlH1DANmWAJ0yOoST)



### CHECK

YouTube チャンネル FRA 水産研究・教育機構  
【瓦版 100 号記念】タイラギと白いけむり  
[https://www.youtube.com/watch?v=zGR6OT8tOUY&list=PLofHSsVWk\\_unYnaTyk1XUsaYuOvvh1iUD](https://www.youtube.com/watch?v=zGR6OT8tOUY&list=PLofHSsVWk_unYnaTyk1XUsaYuOvvh1iUD)

浮遊幼生をご覧ください



## 国際イワナシンポジウムを開催しました

2023年5月29日～6月2日に栃木県日光市の日光東照宮（客殿）で、水産研究・教育機構主催の「国際イワナシンポジウム（International Charr Symposium）」を開催しました（写真1）。国際イワナシンポジウムの歴史は長く、1981年カナダ・ウイニペグでの初開催に始まります。その後、研究の重要性と関心の高まりにともない数年おきに開催されるようになり、今回の日光市での開催が第10回目となります。

イワナ属魚類は、世界中の魚類の中で表現型、生態特性、生活史などの変異性が最も高い種群の1つであり、生態および進化研究の優れた対象種として扱われています。また、イワナ属魚類は淡水魚類の中で最も低水温に適応したグループと考えられており、地球温暖化など気候変動の影響を調べるモデル生物として、分布域や生態特性の変化を予測する多くの研究データが蓄積されています。さらに、イワナ属魚類は基礎研究の対象だけでなく、各国の重要な水産種としての側面もあり、遊漁の対象種としてもとても人気があります。

シンポジウムでは、日本、ロシア、アメリカ、カナダ、ヨーロッパ諸国の計11か国から90人余りの研究者が集まり、生態、進化、増養



写真1 第10回国際イワナシンポジウム・グループフォト  
（日光東照宮 客殿にて）

殖、資源管理、保全、利用など56題の口頭発表、20題のポスター発表が行われました。大会期間を通してイワナに関する熱い議論が交わされ、多くの国際的な研究ネットワークが構築されたと感じています（写真2、3）。

さらにシンポジウム後のエクスカッション（体験型見学会）では、イワナの観察や現地研究者との交流を通して、日本のイワナを取り巻く現状や保全の問題点を共有することができました。

今回のシンポジウムでは、国内外の大学院生やポストドクターなど若手研究者による研究発表が多く、イワナ研究の発展が、2026年にカナダで開催予定の第11回国際イワナシンポジウムにも繋がることを確信しました。

シンポジウムの開催にあたり、後援をいただいた企業・団体、運営に携わってくださった多くの方々への支援と助力に厚く感謝いたします。



写真2 開会式での主催者挨拶（生田理事）



写真3 懇親会（日光金谷ホテル）での主催者挨拶（中山理事長）

## うみ博2023でニホンウナギの完全養殖の研究成果を紹介

横浜市役所で8月5、6日に開催された「海洋都市横浜 うみ博2023」に出展しました。屋内アトリウムでニホンウナギの完全養殖の説明ポスターを掲示したほか、卵の標本と飼育中のニホンウナギのこども（レプトセファルス）や親を水槽で展示しました。元気に泳ぐ透明なレプトセファルスを初めて目にされた方も多く、大人気でした。

「ウナギ変人、ウナギスト現る」と題した講演では、高崎竜太郎研究員が特製ウナギメガネをかけて登壇。世界のウナギの不思議な話を熱弁しました。当機構マスコットキャラクター「あんじい」

が飛び入り参加し、場内を盛り上げました。

ワークショップでは「飛び出す魚のペーパークラフト」づくりをしました。こどもでも作りやすいペーパークラフトが好評でした。

屋外会場の「カツオー一本釣り体験」は、4キロのカツオ模型を3メートルの本物の竿で釣り上げるイベントで、こどもたちは保護者と一緒に悪戦苦闘しながらも、初めての体験を楽しんでいたようでした。カツオー一本釣りを体験したことで、高齢化で船員不足の漁師の苦勞も分かっていただけたと思います。



ウナギのレプトセファルスに興味津々



ウナギスト登場



名刺を配布してあんじいを紹介



ウナギスト、あんじいと記念撮影



ペーパークラフトづくりのようす



カツオー一本釣り体験

# 一般公開を再開しました さかなと森の観察園

7月27日(木)に栃木県日光市の「さかなと森の観察園」で一般公開が行われました。

各地が猛暑となった中での開催でしたが、自然豊かな園内は木陰が多く、非常に快適な環境だったと思います。今回6年ぶりの開催となりましたが、総勢285人の来場がありました。コロナや悪天候の影響により長年開催できていなかったため、無事開催できたことをうれしく思います。

当日は、フィッシュプール、エサやり体験、おさかな博士クイズなど、さまざまなイベントが用意されました。子どもたちがおさかな博士クイズの表彰状をめざして一生懸命クイズに取り組むよ

うすや、池の魚たちに餌を与えて楽しむ姿が印象的でした。セミナー室では、研究者による魚釣りやウナギに関する講演が行われ、真剣に耳を傾ける親子の姿が見受けられました。さらに、当機構マスコットキャラクターのあんじいも登場し、来場者から大きな人気を集めました。笑顔と楽しみにあふれた1日となりました。

今後も、各地にある当機構の施設で一般公開日が予定されており、それぞれの施設ならではの楽しみが待っています。ぜひ皆さまに足を運んでいただき、当機構の魅力を存分に味わっていただきたいと思います。

## 一般公開日の旗

6年ぶりに掲げた一般公開日の旗！みんな来てくれるかな…。職員はドキドキしながら開場時間を待ちます。



## おさかな博士



たくさんのおさかな博士が誕生しました！

## 水槽



目の前でエサを食べるニジマスは大迫力



子どもは大きなお魚に興味津々

あんじいはどこでも大人気！



## セミナー



セミナーは親子で楽しめます

## 水産研究・教育機構 さかなと森の観察園

〒321-1661  
栃木県日光市中宮祠 2482-3

開園期間・時間		冬季休園期間
3/20~10/31	9:00~17:00	12/1~3/19
11/1~11/30	9:00~16:00	
☎0288-55-0160		☎0288-55-0055



# 一般公開を再開しました 宮津庁舎

3年ぶり!!

7月28日(金)に宮津庁舎で3年ぶりの一般公開が行われました。この日は気温が35度を超える猛暑日となりましたが、多くの老若男女が訪れ、約200人の参加者が集まりました。

会場内では、イワシ、アジ、ズワイガニなどの生体が展示され、これらを研究している職員による解説が行われました。また、会場に設置されたモニターでは、ズワイガニの成長過程を映像で観察できるようになっており、多くの参加者が興味津々で立ち止まっていました。

小学生には「アサリ釣り体験」が人気で、なかなか口を開かないアサリを釣るため、粘り強く取り組む姿が見られました。「チリメン探し」のブースも人気でした。ちりめんじゃこにはさまざまな種類の生き物が含まれており、それらを分別するコーナーです。参加者たちは長時間にわたって真剣なまなざしで分別していました。

イベントを通じて、地域住民と職員が交流し、活気あふれる雰囲気の中で楽しいひととき過ごすことができました。

アサリ釣り



釣れるかな



真剣です!

水槽展示



何がいるかな?

チリメン探し



「ちりめんも真剣!」



モニター

ズワイガニの成長過程の映像をみながら研究者が解説



## 宮津庁舎

〒626-0052  
京都府宮津市小田宿野 1721 番地  
☎ 0772-25-1306



# ウェブサイトをリニューアル!

水産研究・教育機構は、2023年8月1日にウェブサイトをリニューアルしました。今回のリニューアルでは、皆さまがより使いやすいようにデザインや構成を見直し、研究や技術開発およびイベント情報などを見やすくしました。

今後も、利用しやすいウェブサイトをめざしていきますので、引き続きよろしくお願いたします。



◆例えばトップページは…



最新情報もジャンル別で見やすく!

ホームページリニューアルにともない、URLが変更になりました。「お気に入り」に登録をされている場合は、新しいURLへの登録変更をお願いいたします。

<http://www.fra.affrc.go.jp/> ➔ <https://www.fra.go.jp/>



## 刊行物

PUBLICATIONS



水産研究・教育機構 NEWS LETTER おさかな瓦版 No.115

発行時期 2023年9月

問い合わせ先 経営企画部 広報課

ウェブサイト <https://www.fra.go.jp/home/kenkyushokai/book/kawaraban.html>



### 編集後記

昔、私が関わっていた環境関連の研究部に、「この水に何が入っているのか調べてほしい」という問い合わせがありました。くんできた水を機器にかければすぐに何が入っているか分かって思っていたようです。実際、水に何が入っているかを調べることは非常に難しいことです。まず、水が真水か海水か、何を測る

か、たくさん入っているかごく微量か、によって、分析手順や測定機器が異なることを説明して、「何を測りたいのか決まらないと、分析できない」とその人に話しました。

環境DNAの分析は、「何があるのか分からなくても調べることができる」近年急速に普及し始めた夢のような手法です。生物の調査では、名前が分からないと話になりませんが、見たこともない生

物でも、DNAから名前が分かるので、調査のハードルはかなり低くなると思います。

DNAは新型コロナウイルスの検査や腫瘍マーカーを使った健康診断などで身近な検査の対象になりつつあります。近い将来、技術が進歩すると、水を調べるだけで海の資源の状況や魚がすみやすい環境かを評価するようなものができるようになるのでしょうか? (角楚彰)



YouTube新チャンネル「ふらっとらぼ」ができました!

[https://www.youtube.com/channel/UCAdoIX5vmEOZrDHSf\\_ZFa5w](https://www.youtube.com/channel/UCAdoIX5vmEOZrDHSf_ZFa5w)



Webサイト



<https://www.fra.go.jp/>



Facebook

[アカウント名]  
水産研究・教育機構

<https://www.facebook.com/fra.go.jp>



X (旧Twitter)

[アカウント名]  
FRA 水産研究・教育機構

[https://twitter.com/fra\\_go.jp](https://twitter.com/fra_go.jp)



YouTube

[アカウント名]  
FRA 水産研究・教育機構

<https://www.youtube.com/@frachannel>

