

河川基金助成事業

「マルチビームソナーを用いた 魚道の魚類遡上数観測システムの開発」

助成番号：2024 - 5211 - 018

国立研究開発法人 土木研究所
流域水環境研究グループ 自然共生研究センター
主任研究員 林田 寿文

2024 年度

目 次

1. はじめに.....	3
1.1 研究背景と目的	3
1.2 マルチビームソナー（MBES）の導入.....	4
1.3 本研究によって期待される効果	5
2. マルチビームソナー技術の原理	7
2.1 技術的原理.....	7
2.2 応用分野	7
2.3 利点と課題.....	8
2.4 マルチビームソナーのまとめ.....	8
3. マルチビームソナーを用いた魚類の遡上調査.....	9
3.1 千歳川におけるシロザケの遡上動態観測の試行.....	9
3.1.1 機器の設置.....	9
3.1.2 調査方法	10
3.1.3 結果	11
3.2 球磨川瀬戸石ダムの魚道上流端における魚類の遡上動態観測の試行.....	13
3.2.1 機器の設置.....	13
3.2.2 調査方法	14
3.2.3 結果.....	14
4. 考察.....	16
4.1 本機器を千歳川で使用する際の課題.....	16
4.2 夜間におけるマルチビームソナーを用いた調査の優位性（球磨川）	16
4.3 河川調査での MBES の有効性について	17
4.3.1 送受信部の設置向きについて.....	17
4.3.2 記録されたデータの自動計測について	18
5. 本成果の学会発表.....	20
5.1 令和 6 年度土木学会全国大会第 79 回年次学術講演会.....	20

5.2 AFAS2024（第17回アジア水産音響学会）	20
6. おわりに.....	21
6.1 今後の可能性	21
6.2 課題と今後の展望	21
6.3 まとめ	22
7. 謝 辞.....	22
8. 引用文献.....	23

1. はじめに

1.1 研究背景と目的

国土交通省によると、我が国には一級、二級、準用河川を合わせて3万以上の河川があり、それらの数に比例して、ダム（河川法第44条より堤体の高さが15m以上のものを指す）や堰堤といった河川横断工作物（以下、横断工作物）が設置されている。設置目的は用水の取水や下流側への土砂流出を防ぐ砂防、橋脚を保護するための洗掘防止など、多岐にわたる。「治水」「利水」面から国民生活に深く関与する一方で、河川横断工作物の設置は水域の連続性を分断する可能性がある。特に、生活史の中で海と河川とを回遊するサケ科などの魚類（通し回遊魚）にとって連続性の確保は最重要であり、連続性の分断が甚だしい場合には個体群の絶滅につながる恐れがある¹⁾³⁾。これまで、1級河川などの大河川における横断工作物では、国民生活の安全面に加え、環境保全を行うために魚道の設置が進められてきた。その一例としては、国土交通省では平成2年度より「魚がのぼりやすい川づくり事業」を積極的に推進してきた経緯などがあげられる。

このように平成に入ってから、横断工作物に“魚道”の設置数は増加することとなった。代表的な形式として、階段式（アイスハーバー型等）やバーチカルスロット型などの後付型のコンクリート製魚道が考案されており、大河川ではこれらを複数組み合わせ設置している場所もある。例えば、利根川にある利根大堰では既存の魚道を改良して新たに3本の魚道を整備しており、整備前には遡上するサケが21尾だったものが、整備後には1万尾以上になった。その一方で、中小河川では財政的な問題や関心の低さなどから、魚道設置が積極的に進まない状況や魚道の適切な維持管理が行われていない複数の事例が確認できている⁴⁾⁵⁾。

加えて、全国的に見ても横断工作物に設置された魚道の維持管理について、マニュアルなどを完備して実施する河川は多くない。しかしながら、岐阜県では県内にある全魚道の維持管理活動が幅広く展開されている⁶⁾。魚道の維持管理の内容として、岐阜県では魚道の維持管理を行うため「魚道カルテ」⁴⁾を作成し、24項目に基づいて定期的なモニタリングが実施されている（表-1）。このモニタリング項目では、土砂や流木の堆積の有無、破損、異常状況などに関しては、誰が点検をしても結果がほぼ変わらないと言える。一方で、「魚道内の遡上状況」は最も重要な項目であるにも関わらず、点検をした人の魚道の調査経験や魚類の行動が理解できているかの違いによって調査結果に影響されるという課題があると

考えられる。つまり、魚道機能の適切な評価が行われないと、魚道の維持補修や改修が行われず、魚類の遡上はその横断工作物地点で止まってしまうおそれもある。その影響は、横断工作物が河口に近づくほど大きくなる。

また、魚道評価を行う上での大きな課題として、河川内にどのくらいの魚がいて、その内のどのくらいの魚が魚道を活用（遡上や降下）しているかが不明な点が挙げられる。

そこで本研究では、魚道評価を行う上での様々な課題がある中で、河川にどのくらいの魚がいるのかを解明するための1つのツールとして、マルチビームソナー「以下、MBES とする」に着目した⁷⁾。ただし、MBES は河川内での活用事例がほとんどなく、魚類調査手法としては、確立されていなかった。

本報告書は、河川内で MBES の試行を行い、MBES を適用する上での有効性の確認、課題・留意点を抽出することを目的とした。

1.2 マルチビームソナー（MBES）の導入

河川における魚類の生息環境の評価をする上で、個体数などの生息量の把握はその一助となる。

これまで潜水や水中カメラなどにより魚類の生息量に関する調査が行われてきたが、照度や濁度にも大きく影響を受けるため調査範囲は限られていた。そこで河川内のより広範囲、かつ様々な条件下での調査を可能にするため、音響ソナーとして広帯域マルチビームソナー（MBES）に着目した。

表-1 魚道カルテの評価項目⁴⁾

大項目	中項目	細分類
(1)	横断施設 上流	①魚道出入口付近の滞筋の有無
		②土砂、流木等の堆積の有無
		③河床の洗掘状況
	横断施設 下流	④魚道出入口付近の滞筋の有無
		⑤土砂、流木等の堆積の有無
		⑥河床の洗掘状況
	横断施設 全体	⑦横断施設の越流状況
		⑧横断施設の魚の移動経路
		⑨河川構造物の破損および魚道の異常状況
(2)	魚道内 流況	⑩魚道内の水量
		⑪魚道内の流況
		⑫プール間落差／魚道の勾配
		⑬越流水の状況
(3)	魚道施設 上流	⑭土砂、流木等の堆積の有無
		⑮魚道への過剰な水量の流入の有無
		⑯魚道の破損箇所の有無
	魚道本体	⑰土砂、流木等の堆積の有無
		⑱魚道の破損箇所の有無
	魚道施設 下流	⑲土砂、流木等の堆積の有無
(4)	魚類・鳥類 の確認	⑳魚道出入口の落差の有無
		㉑魚道の破損箇所の有無
		㉒魚道周辺の集魚状況
		㉓魚道内の遡上状況
		㉔鳥類の確認状況

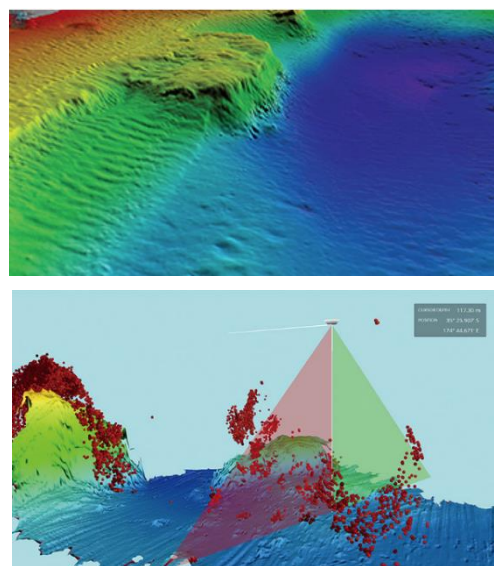


図-1 広域マルチビームによる海底地形の測量（上図）および魚群の探知（下図）
（古野電気㈱ホームページより）

MBES は超音波を送受信することで、主に海域において海底地形や魚群（図-1）の調査が可能な機器である⁸⁾。しかしながら、MBES を用いた調査は、海域と比較して水深が小さく（海域と比較して水面と底の距離が近い）、複雑な構造物が存在する河川ではあまり用いられておらず、魚類調査手法として確立されていなかった。

超音波とは、人間が聞こえる音（可聴音）を超える高い振動数の弾性振動波（音波）のことである。超音波は指向性が高く、反射した音波の情報をもとに、自然界ではイルカや鯨が海中の障害物や餌となる魚の探知に利用しており、動物のこのような能力を「エコーロケーション（echolocation：反響定位）」と呼んでいる⁹⁾。この能力を音響ソナー機器に応用し魚群探知などで利用している¹⁰⁾⁻¹³⁾。本報文では、河川内で MBES の試行を行い、MBES を適用する上での有効性の確認、課題・留意点を抽出することを目的とした。

1.3 本研究によって期待される効果

本研究によって期待される効果は、既存魚道のより正確な機能評価方法の確立を簡易的に行うことである。そして、周辺の生物種などの状況に応じて、適切に魚道の維持補修や改修を行うことである。これらを実現することにより、魚道周辺の周辺水域の生物多様性の向上が可能となる。生物多様性は、生態系の多様性・種の多様性・遺伝的多様性の三要素から構成されるが、適切に機能する魚道によって、これら全てが達成されると考えられる。ある種の魚類は採餌や産卵、越夏、越冬、避難などのために本川と支川を広く行き来するため、水域の連続性の確保が不可欠である¹⁾。加えて、サケ・マス類やハヤの仲間は発育段階に応じて、瀬や淵、増水による岸辺の洗掘部、浮石の巻き込み部など生息場所を変えるが、こうした生息場所は連続性の確保による絶え間ない水流によって創出される。そのため、水域の連続性を補う魚道は生態系の多様性の向上に寄与し得る。また、魚道による水域の連続性の確保は、遡上魚種が増えることによる種の多様性・遺伝的多様性の向上にも関連する¹⁴⁾。機能する魚道により、魚類が遡上したいとき降下したいときの負荷のない移動が達成される。

本研究は、今後の魚道評価を見直す重要な鍵になる。そして、本研究で述べる河川内の魚類の現存量の把握評価方法は、調査を行う人員も少なく実施できるため低コストとなり、かつ、河川管理者がこれまで抱えてきた財政問題を根本的に解消することが可能となる。本研究を通して、魚道機能の重要性を

再確認できれば、魚道の存在をより盤石なものとし、我が国が展開する“魚がのぼりやすい川づくり事業”の推進につながることが期待される。

キーワード：生物多様性、効率化、マルチビームソナー、魚類調査、超音波

2. マルチビームソナー技術の原理

この章では、マルチビームソナーの技術について概略を述べる。

マルチビームソナー（Multibeam Sonar）は、水中音響技術の一種であり、複数の音波ビームを同時に発信・受信することで、海底地形や水中構造物の詳細な情報を取得するシステムである。本技術は、従来のシングルビームソナーと比較して広範囲かつ高精度な測深が可能であり、海洋調査、海底地形図作成、航路維持、構造物点検、さらには水中考古学や生態学的研究にも広く応用されている。

2.1 技術的原理

マルチビームソナーは、送信トランスデューサ（送信機）から音波を発信し、海底や水中構造物に反射したエコーを受信トランスデューサ（受信機）で検出することで、測深データを取得する。最大の特徴は、ファン状に広がる多数のビームを同時に送信・受信することであり、これにより一度のスキャンで広範囲の水中情報を取得することができる。

マルチビームソナーの主要な構成要素は以下の通りである。

- 1) 送信トランスデューサ：音波を発信し、海底や水中構造物へと伝播させる。
- 2) 受信トランスデューサアレイ：反射して戻ってきた音波を受信し、位相差や到達時間の違いを解析する。
- 3) ビームフォーミング技術：多数の受信データを合成し、高精度な角度分解能を持つ測定データを生成する。
- 4) 姿勢補正装置（IMU、GNSS 等）：船舶の動揺や位置変化を補正し、正確な測深データを得る。
- 5) データ処理ソフトウェア：取得したエコーデータを解析し、3次元の地形データや点群データを生成する。

2.2 応用分野

マルチビームソナーは、その高精度かつ広範囲な測定能力により、以下の分野で活用されている。

- 1) 海洋地形調査：海底地形の詳細なマッピングを行い、海洋資源探査や地形変化のモニタリングに貢献する。

- 2) 水路測量・航路維持：港湾や航路の水深測定を行い、安全な航行のための情報を提供する。
- 3) 海洋環境研究：サンゴ礁、海底火山、深海生態系などの調査に用いられる。
- 4) 構造物点検・インフラ監視：ダム、橋脚、海底ケーブル、パイプラインなどの水中構造物の状態を把握する。
- 5) 水中考古学：沈没船（戦艦大和など）や歴史的遺物の発見・調査に利用される。

2.3 利点と課題

【利点】

- 1) 広範囲測定：一度のスキャンで広範囲をカバーできるため、測量効率が低い。
- 2) 高精度データ取得：角度分解能が高く、海底地形の微細な変化も捉えられる。
- 3) リアルタイムデータ処理：即座に 3D データを生成し、迅速な意思決定が可能。

【課題】

- 1) 高コスト：シングルビームソナーに比べて装置価格が高く、運用コストもかかる。
- 2) データ解析の複雑さ：大量のデータ処理が必要であり、高度な解析技術が求められる。
- 3) 環境条件の影響：水温、塩分濃度、海流などの影響を受けるため、補正が必要。

2.4 マルチビームソナーのまとめ

マルチビームソナーは、精度・効率ともに優れた水中音響測定技術であり、海洋調査やインフラ点検など多岐にわたる分野で不可欠なツールとなっている。今後、データ処理技術の発展や AI・機械学習の導入により、さらなる高精度化・自動化が進むことが期待される。

3. マルチビームソナーを用いた魚類の遡上調査

ここからは、実際の河川でマルチビームソナーを試行した調査について述べる。調査地点は熊本県一級河川球磨川の瀬戸石ダム上流部と、北海道一級河川千歳川である。まず本章では千歳川での調査について述べる。

3.1 千歳川におけるシロザケの遡上動態観測の試行

3.1.1 機器の設置

MBES (WMB-1320F, FURUNO 社製) は、シロザケ (*Oncorhynchus keta*、図-3.1) などの大型魚が確認できる千歳川の KP0.8 付近 (水面幅約 70m, 水深約 2m) 右岸に設置した (図-3.2, 3.3, 3.5)。本研究は新しい機器の試行であるため、河川内なるべく大きい魚類を対象に、より多くの個体数を確認できるという条件を勘案して千歳川を選択した。調査を行った 10 月には毎日約 5 ～6,000 尾のシロザケが千歳川の調査地点を通過し、調査地点の約 40km 上流に設置されているインディアン水車 (千歳市) で捕獲されている。MBES の設置にあたり、陸上部に単管パイプ製のヤグラを構築 (図-3.3) し、測定部 (送受信部) のみを水中に設置した。MBES の超音波送受信部は、千歳川の水深約 2.0m の中間点である水深 1.0m の位置に設置し、対岸に向かって水平方向に超音波を送受信した (図-3.5)。平面方向に 120° 、垂直方向に 4° の範囲に対して、超音波を発射している。



図-3.1 千歳川を遡上するシロザケ
(体長約 60～70cm)



図-3.2 調査位置図



図-3.3 マルチビームソナー設置状況 (千歳川)

3.1.2 調査方法

MBESによる測定は、10月12日12:19-15:59に実施した。音響の測定にはダイナミックレンジを用いるが、これは得られた音響データの最小値と最大値の比率を表す数値である。ダイナミックレンジの数値が小さいほど狭い範囲での測定を意味し、単位はデシベル(dB)で示される。

本解析では、主に強反射を測定するダイナミックレンジとして8dBを使用した。これは魚であった場合に確実にデータとして観測されるダイナミックレンジということで設定を行った。また補助としてノイズを含むが微弱な反射を測定する32dBも使用した。こちらは8dBよりもノイズは多くなるが、移動している個体も確認できるレンジとして設定した。データは約8分間毎に出力し、8dBで確認されたものの計測と、そのデータを32dBで補助的な確認をPC上で行った。何も反応がなかった箇所超音波の反射強度が一時的に大きくなったものを魚類と推定し、その内同一の対象が連続で反応しているものは移動を確認できるとして回数を算出した。ただし、MBESは個体識別を行う分解能がなく同一個体が何回も反応する場合があることから、本報告では延べ回数として整理した。

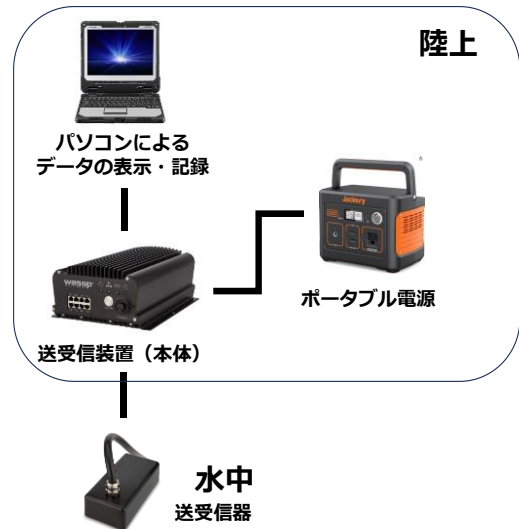
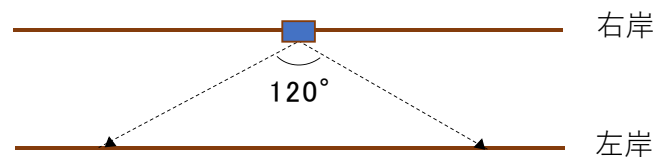


図-3.4 広帯域マルチビームソナー機器構成

平面



断面

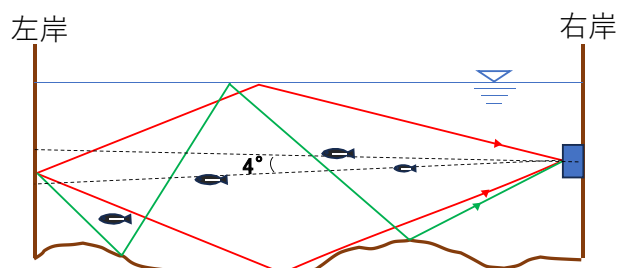


図-3.5 マルチビームソナーの超音波送受信イメージ

上図：平面方向への送信超音波は120度の角度で広がる（点線）

下図：断面方向への送信超音波は4度の角度で広がる（点線）。赤と緑の線は水面や河床における超音波の反射イメージ

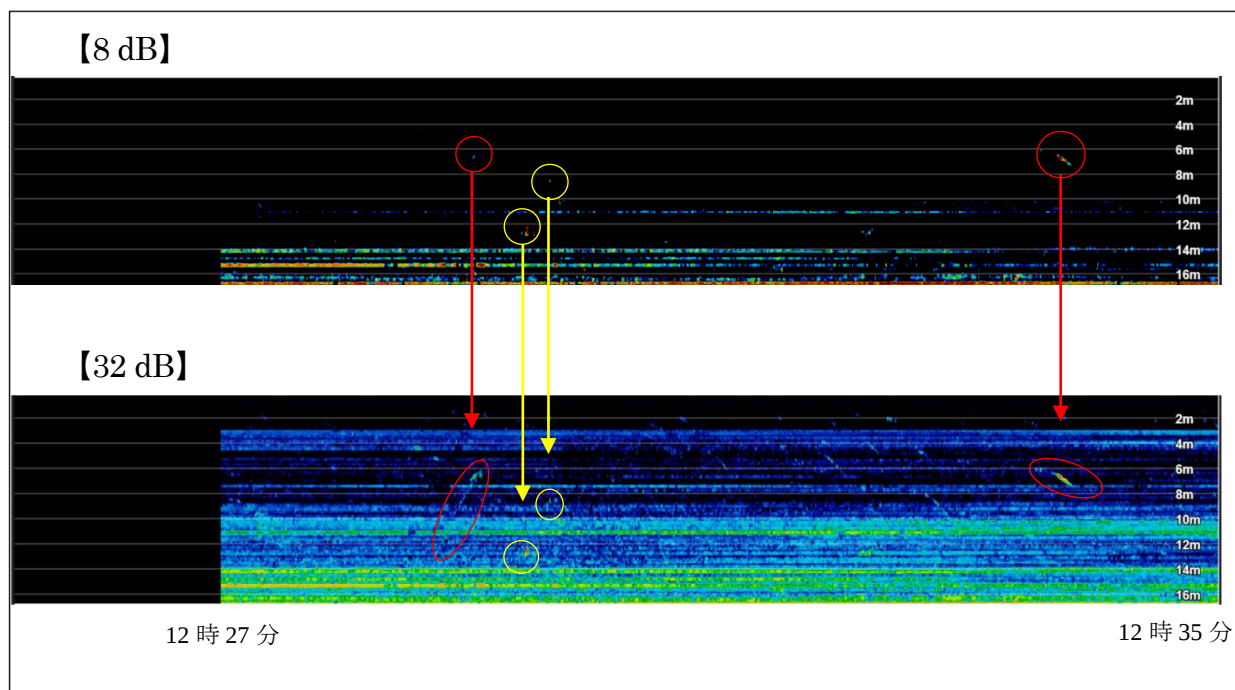


図-3.6 マルチビームソナーにおける距離別エコー強度の時系列変化の一例（12:27 ～ 12:35）

→ 確認 4 回，その内移動を確認できるものは 2 回（左の赤丸は徐々に近づいており，右の赤丸は遠ざかっている）

→ 上図は 8dB，下図は 32dB

→ ○：確認された対象物，○：移動している対象物

→ 矢印で結んだ丸印は同一の対象物である

3.1.3 結果

図-3.6 は、結果の一例として距離別のエコー強度の平均値を時系列で並べたものを示す。12:27 から 12:35 の 8 分間において全確認回数は 4 回、その内移動も観測できた回数が 2 回であるということが把握できた。また、図-3.7 は、12 時台から 15 時台までの各確認个体数を示している。延べ確認として 12 時台から 66 回、112

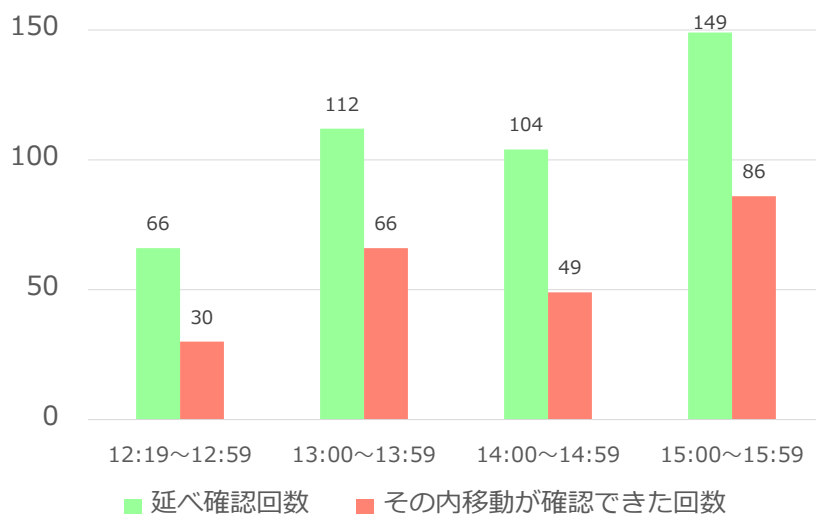


図-3.7 千歳川における観測データ

(10 月 12 日 : 3 時間 40 分)

回、104 回、149 回の順であった。またその内移動が確認できた回数は、12 時台から 30 回、66 回、449 回、86 回の順で会った。傾向として夕方に向かって確認回数が増加する傾向にあることが確認できた。3 時間 40 分間における調査の合計では、魚類と推定したものは 431 回、その内移動も伴って観測できたものは 231 回であった。調査範囲内に存在する時間が長い場合、移動がしていると判断できる。このデータを用いると遊泳速度の推定に活用できる可能性もある。調査当日は、水面には目視で確認できた流下物がほぼなかったことから、同様に水深 1m 付近にも流下物はないと判断し、本データはほとんどが魚類だと推察している。

3.2 球磨川瀬戸石ダムの魚道上流端における魚類の遡上動態観測の試行

本章では、熊本県球磨川にある瀬戸石ダムの魚道を通過する魚類を対象とした、マルチビームソナーの試行を述べる。ここでの調査は、魚道の出口側（上流端）にマルチビームソナーを設置することで、魚道を出入りする魚類数を把握することを目的としている。なお、球磨川での予備調査として水中カメラによる撮影を行ったが、カメラから 50 cm 程しか撮影できず、視認距離は小さいことを確認している。

3.2.1 機器の設置

マルチビームソナーの超音波送受信器の設置方法や機器構成は、前章の千歳川と同じである。球磨川では、図-4.1 の通り、魚道の上流端に超音波送受信器を設置した。



図-4.1 マルチビームソナーの設置状況（球磨川）

3.2.2 調査方法

調査は2024年10月16日11時から翌17日10時までの24時間にわたり連続して実施した。マルチビームソナー（MBES）の送受信部は、瀬戸石ダム湖の水面近くに設置し、水平方向ではなく鉛直方向（真下）に向けて超音波を送受信した（図-4.1）。この配置は、ちょうど魚道の上流出口に「超音波のカーテン」をかけたような状態となる。魚の通過数のカウントは、毎時0分からの8分間に得られたデータをもとに行った。

3.3.3 結果

図-4.2 には、調査結果の一例として、観測距離ごとのエコー強度の平均値を時系列に並べたグラフを示す。2024年10月17日0時00分から8分間のデータにおいては、魚類の通過が62回確認された。

また、図-4.3 には、毎時8分間の測定を24時間分実施した結果をもとに、時間ごとの魚類通過数を整理して示している。延べ確認数としては、照度が高かった10月16日11時00分～16時00分の時間帯には通過数は十数回程度であったが、日没（八代市の日没時刻は17時43分）に近づく17時以降は、若干の増減はあるものの通過数は明確に増加する傾向を示した。その後、翌17日8時以降には再び減少傾向が見られた。

なお、球磨川における観測では、千歳川と比較して通過个体数が多く、魚の移動判定が困難であったため、本調査では移動行動の評価は行わず、个体数のみをカウント対象とした。

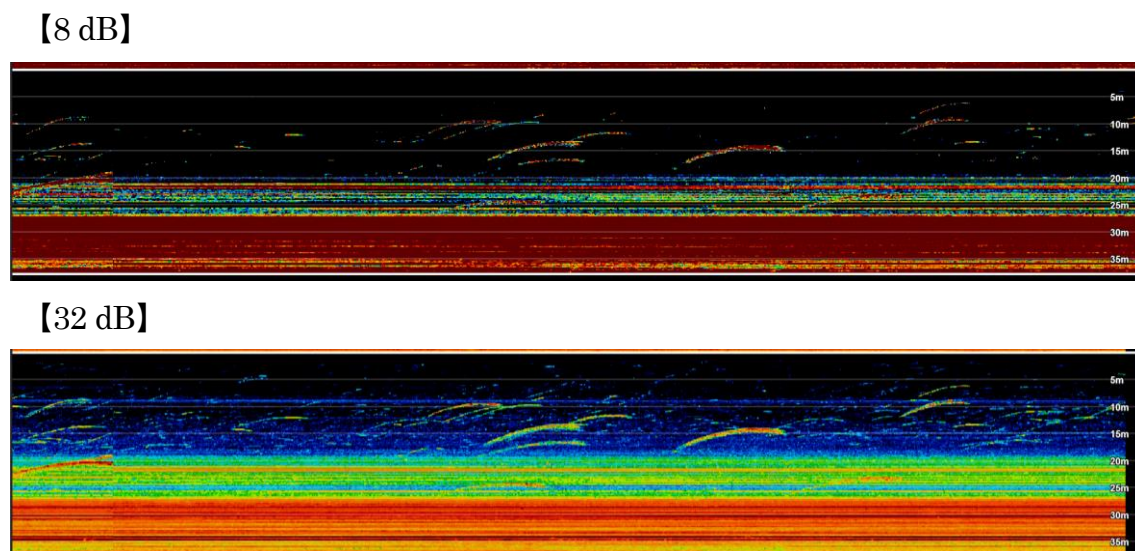


図-4.2 マルチビームソナーにおける距離別エコー強度の時系列変化の一例（17日0:00～0:08）

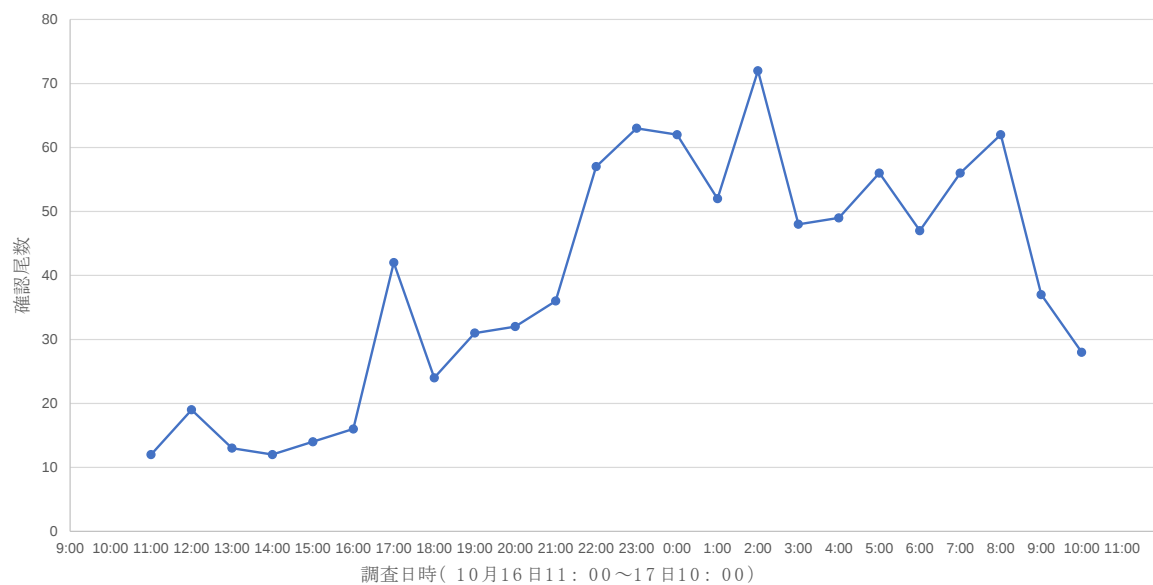


図-4.3 1時間毎の確認魚数

4. 考察

4.1 本機器を千歳川で使用する際の課題

本調査では2回以上の乱反射により10m以遠のノイズが大きく、場所によって魚反応の確認が困難になった(図-3.5,3.6)。図-3.6に示した32dBの結果を見ると、10mより以深のエリアの色が濃くなっていることが確認できる。つまり、設置箇所から遠くなるにつれ水面と河床の反射が多くなり、ノイズが増加していることを示していると推察される。色が濃くなるほど、魚の反応かが分かりづらくなるので、ノイズの発生状況が調査の大きなポイントだということが分かった。

4.2 夜間におけるマルチビームソナーを用いた調査の優位性(球磨川)

球磨川の調査では、24時間連続の調査で安定的にデータを取得することができた。ここでは、マルチビームソナーを用いた特に夜間における調査の優位性について述べる。

1) 視界に依存しない測定が可能

通常的水中調査では、光学カメラやダイバーによる観察が用いられるが、夜間や濁った水域では視認性が大きく低下する¹⁵⁾。マルチビームソナーは音波を用いて対象を測定するため、昼夜を問わず一定の精度でデータを取得できる。

2) 安全性の向上

夜間の水上・水中作業は、視認性の低下により事故のリスクが高まる。特にダイバーによる夜間作業は危険が伴うが¹⁶⁾、マルチビームソナーを用いることで、人的な潜水調査を最小限に抑えることが可能となり、安全性が向上する。

3) 精度の高いデータ取得が可能

夜間の光学カメラ調査では、人工光源の影響により陰影が生じ、対象の形状認識が困難になることがある。一方、マルチビームソナーは広範囲に均一な音波を照射するため、光の影響を受けずに一貫したデータ取得が可能となる。

4) 自律型水中ドローン(AUV)との連携による高効率化

近年では、自律型水中ドローン(AUV: Autonomous Underwater Vehicle)にマルチビームソナーを搭載し、夜間に無人で調査を行う技術が発展する可能性がある。これにより、人員を配置せずとも夜間の長時間調査が可能となり、調査の効率が向上する。

5) 生態系調査や違法行為の監視にも有用

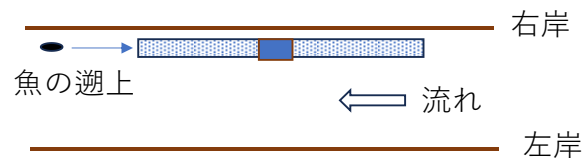
夜間は多くの水中生物が活発に活動する時間帯であり、マルチビームソナーを用いた調査は、生態系の動態解析にも有効である。また、違法操業や密漁の監視にも応用できるため、漁業資源の保護にも貢献する可能性がある。

4.3 河川調査での MBES の有効性について

4.3.1 送受信部の設置向きについて

千歳川では、河川の対岸に向かって水平に超音波を送受信する調査を実施した。これは、河川内の出来る限り広いエリアを調査するという試行を実施した。一方で、MBES の送受信部の向きを変えて測定する調査範囲を変えることも可能である。図-5.1 は、河川の水面付近から鉛直下向きに超音波を発射することで観測できるエリアのイメージを示している。上図は平面図を示すが、下流から上流へ遡上数する魚は、青点内を通過した場合、計測される。図-5.2 は、その結果の一部を示す。図中の白枠が 1 匹の魚だと推定している。遡上魚は基本的に河川の中で流速が小さい岸よりを選択して遡上することもあり。そのため、このような測定方法も有効だと考えられる。

平面



断面

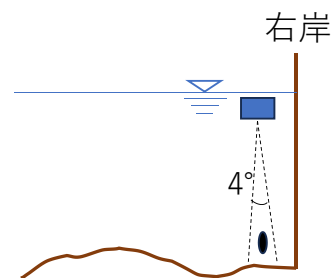


図-5.1 送受信部を河床に向けた場合の調査範囲イメージ

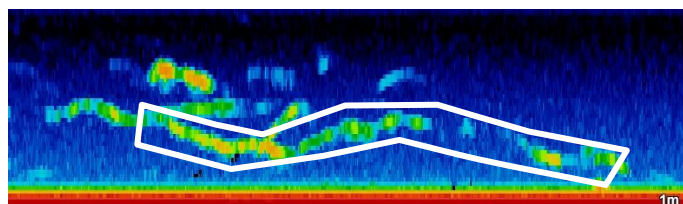


図-5.2 鉛直下向きで得られた結果

4.3.2 記録されたデータの自動計測について

両河川のデータ解析は、8 分間ごとのデータを PC 上に表示させ、そのデータを目視で魚かを判断して数えている。その作業は調査時間が長くなるほど解析にも時間がかかり非効率である。そこで我々は、現在、自動で魚の数をカウントするプログラムを作成中であり、並行して、市販ソフトウェアで解析が可能かも試している。このいずれかの方法での解析が可能になると長時間のデータを効率よく解析することができる。

図-5.3～5.6 は、市販ソフトウェアにより解析を行った結果の図である。このデータは、echoview 社 (<https://echoview.com/>) に千歳川で測定したサンプルデータを提供し、解析をしていただいた結果である。

Raw data echogram – zoomed to 11.5 m range

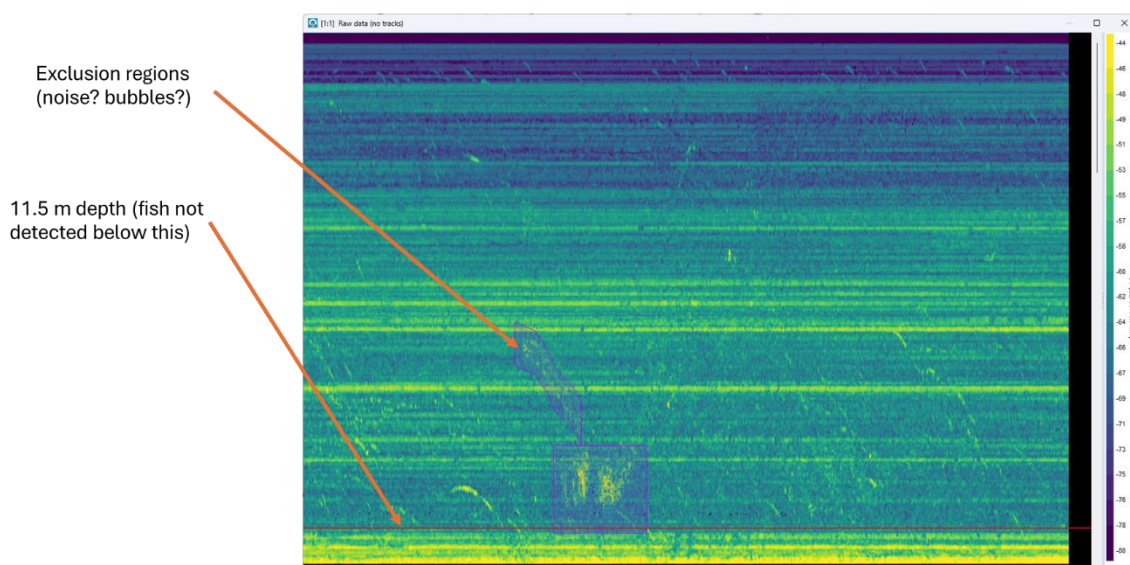


図-5.3 データの解析範囲の決定

図-5.3 では、まずデータ範囲の決定を行った。その結果、振動子面（超音波発射面）から 11.5m よりも遠いとノイズが多くなり、魚が確認できなかった。また、魚の個体ではないと思われる散乱を含むエコーグラムのある領域（図中の紫枠内）を除外した。

Cleaned echogram

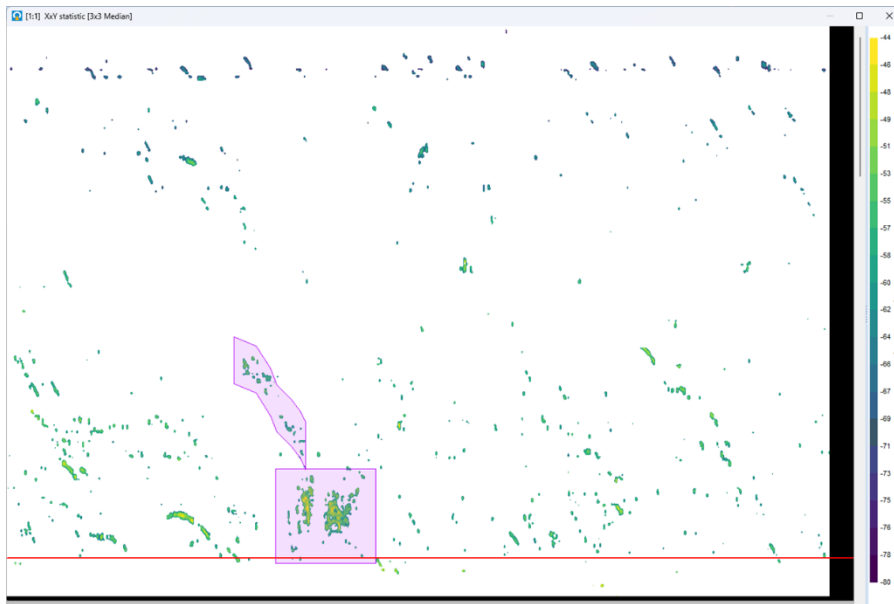


図-5.4 ノイズデータの除去

Detected fish tracks overlaid on single target echogram

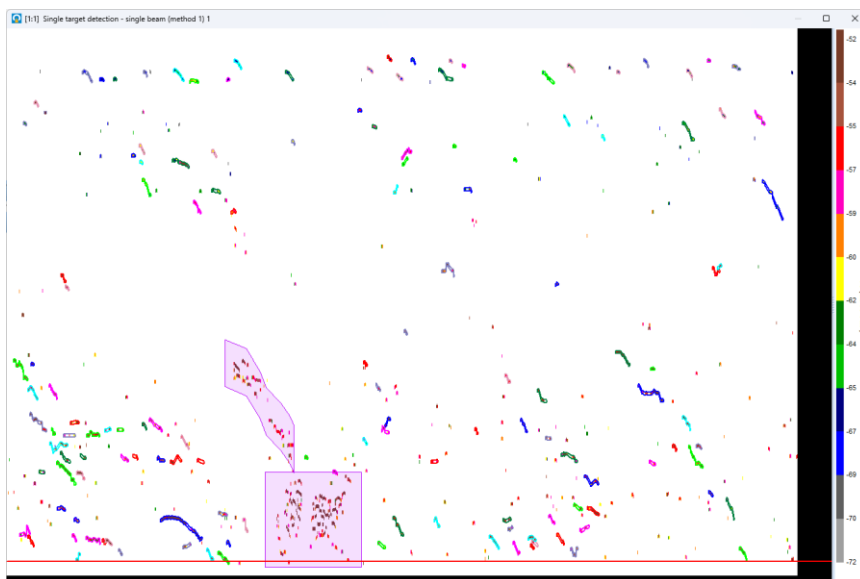


図-5.5 個体数のカウント

図-5.4 では、図 5.3 からノイズの除去を行った。図 5.3 と同様に紫色の部分はカウント除外エリアである。図-5.5 では、上記のような処理をした後、図内の魚の数をソフトウェアの機能によりカウントした。その結果、140 尾の魚の存在が確認できた。

このようにマルチビームソナーと親和性が高いソフトウェアを活用することで、効率よく魚数が把握できる可能性がある。ソフトウェアの活用については、今後の課題である。

5. 本成果の学会発表

本研究では、以下に示す 2 件のアウトリーチ活動として学会発表を実施し、本成果の普及に努めた。

5.1 令和 6 年度土木学会全国大会第 79 回年次学術講演会

本全国大会は、9 月 2 日（月）から 6 日（金）にかけて、宮城県仙台市の東北大学川内北キャンパスおよび川内南キャンパスで開催された。この大会は、全国の土木技術者や研究者が一堂に会し、最新の研究成果や技術情報を共有する場として、土木学会が毎年開催する最大規模のイベントとなっている。令和 6 年度の大会では、年次学術講演会や研究討論会が実施され、延べ 2 万人が参加し、活発な議論と交流が行われた。私は、「マルチビームソナーを用いた河川内魚類行動観測システムの試行」ということで口頭発表を行った。聴講者は、主に河川管理者、大学関係者、建設コンサルタントなどであり、幅広い職種の方々に本研究の成果を周知することが出来た。

5.2 AFAS2024（第 17 回アジア水産音響学会）

AFAS2024 は、2024 年 11 月 4 日から 4 日間、長崎市出島メッセで開催された。この学会は、2007 年に中国・大連で設立されて以来、アジア地域における水産音響分野の発展と知識交換を促進するために毎年開催されている。AFAS2024 では、音響技術、理論とターゲットストレンジス、音響応用、洋上風力発電と次世代養殖の 4 つの特別テーマが設定され、口頭およびポスター発表が行われた。これらのセッションでは、参加者間の活発な議論と知識の共有を促進し、水産音響学の最新の研究成果や技術革新が紹介された。私は

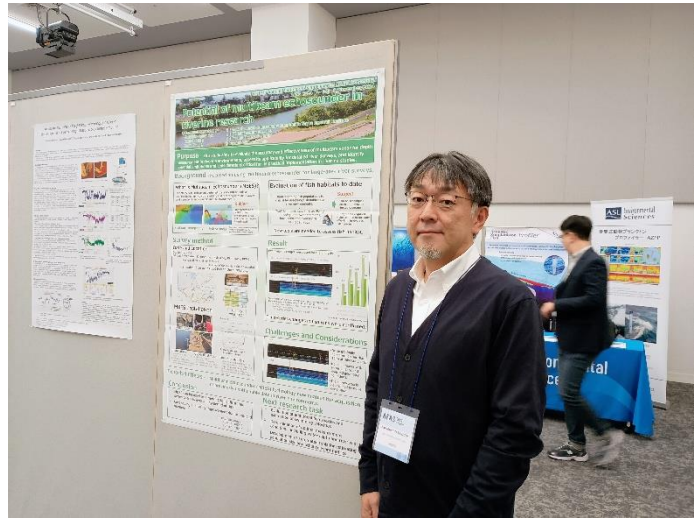


図-6.1 ポスター発表の様子

「Potential of multibeam echosounder in riverine research」と題したポスター発表を英語で行った（図-6.1）。河川におけるマルチビームソナーの可能性について、国内外の研究者を議論することができた。

6. おわりに

マルチビームソナーは視界に依存せず、安全かつ高精度な水中調査を夜間でも可能にする技術である。特に、ダイバーによる調査の代替、AUV との組み合わせによる無人化、夜間の生態調査や監視活動への応用など、多くの利点がある。今後もその利活用が進み、海洋・河川調査における新たなスタンダードとしての地位を確立していくと考えられる。

6.1 今後の可能性

(1) 高精度な河床地形・堆積物のモニタリング

マルチビームソナーは広範囲の河床地形を高精度に測定できるため、土砂移動や堆積状況の長期モニタリングに有効である。これにより、河川の浚渫計画や洪水対策の精度向上が期待される。

(2) 水中生態系の調査への応用

従来の魚類調査は投網や電気ショッカーによる手法が主流だが、マルチビームソナーは非接触で魚群の分布や移動を解析可能である。特に、流れの変化による魚類の行動変化や生息環境の変遷を定量的に把握できる点が注目される。

(3) 橋梁や護岸などインフラ点検の高度化

河川には多くの橋梁や護岸、堰などの構造物が存在する。マルチビームソナーを活用することで、これらの水中部分の劣化状況や洗掘による影響を可視化し、点検の効率化が可能になる。

(4) AI との連携による自動解析の発展

AI や機械学習技術の進化により、マルチビームソナーで得られたデータの自動解析が進展すると期待されている。例えば、水中の異常地形の自動検出や、生物の群れの識別などが可能になれば、河川環境の変化をリアルタイムで監視することができるようになる。

6.2 課題と今後の展望

(1) 浅瀬や流速が速い場所での測定の難しさ

河川は海と異なり、水深が浅く、流速が速い場所も多いため、船舶搭載型のマルチビームソナーではデータ取得が難しいケースがある。このため、無人ボート（USV : Unmanned Surface Vehicle）やドローンを活用した新たな測定方法の確立が求められている。

(2) 水中の濁度の影響

マルチビームソナーは音波を使用するため光の影響は受けないが、浮遊物が多い河川では音波の減衰や散乱が発生し、測定精度が低下することがある。これを補うため、周波数特性の最適化や、異なる計測手法との統合解析が必要となる。

(3) データ解析の専門性とコストの問題

マルチビームソナーで得られるデータは高精度だが、解析には高度な専門知識が必要であり、導入・運用コストも高いのが現状である。今後、自動解析技術の発展やコスト削減のための技術革新が求められる。

6.3 まとめ

マルチビームソナーは、河川の地形変化や水中生態系、インフラの点検において有望な技術ではあるが、導入には浅瀬での測定、データ解析の負担、コスト、長期的な運用体制などの課題がある。今後、AIや無人ボートとの組み合わせ、低コスト化、継続的なモニタリング体制の確立が進めば、河川環境調査におけるマルチビームソナーの活用はさらに広がると考えられる。

本事業は、これまで主に海洋でしか用いられてこなかったマルチビームソナーを河川内で活用できることを示すことができた。特に河川環境の調査として、魚数を調査することができた取り組みといえる。今後は、本事業の成果の普及活動を進めるとともに、新しい機能の把握にも努める必要がある。

7. 謝 辞

現地調査を行う際、北海道開発局江別河川事務所、九州地方整備局八代河川事務所には調査の許可をいただいた。また、古野電気（株）のみなさまには、機器の操作方法、現地での設置方法、解析方法の相談など様々相談に乗っていただいた。また、田中三次郎商店 田中智一郎氏や自然共生研究センターの職員に現地調査を手伝っていただいた。

本研究は、河川基金の助成金交付により遂行することが出来た。ここに記して深甚なる謝意を申し上げます。

8. 引用文献

- 1) Morita K., Yamamoto S.: Effects of habitat fragmentation by damming on the persistence of stream-dwelling charr populations., *Conserv Biol.* Oct;16(5):1318-23., 2002.
- 2) Fukushima M, Kameyama S, et al.: Steel EA. Modelling the effects of dams on freshwater fish distributions in Hokkaido, Japan. *Fresh water Biol.* Aug;52 (8):1511-24., 2007.
- 3) Morita K, Morita SH, Yamamoto S.: Effects of habitat fragmentation by damming on salmonid fishes: lessons from white-spotted charr in Japan. *Ecol Res.* Jul; 24 (4): 711-22., 2009
- 4) 中村俊六：魚道のはなし、リバーフロント整備センター、山海堂、p225, 1995.
- 5) 国土交通省河川局：魚局：魚がのぼりやすい川づくりの手引き、p155、2005.
- 6) 和田清、森 誠一、遠藤協一、藤井孝文：岐阜県魚道カルテの評価軸の分析と既設魚道の改善策、河川技術論文集、第 22 巻、2016
- 7) Tuğba Kılıç, Onur Akyol , Reha Metin Alkan: Comparison of UAV-based digital elevation model with multi beam bathymetry for shallow water, *International Journal of Engineering and Geosciences*, Vol.10 Issue: 3, 303 - 312, 2025
- 8) Matthew M. Holland, Alistair Becker, James A. Smith, Jason D. Everett, Iain M.: Suthers Characterizing the three-dimensional distribution of schooling reef fish with a portable multi-beam echosounder, *Limnology and Oceanography: Methods*, vol.19, 5, pp340-355, 2021.
- 9) Au, W. W. L. : *The Sonar of Dolphins.*, Springer-Verlag, 1993.
- 10) 海洋音響学会：海洋音響の基礎と応用、成山堂書店,2022.
- 11) 飯田浩二、古澤昌彦、稲田博史編：音響資源調査の新技术—軽量ソナー研究の現状と展望、恒星社厚生閣, 2007.
- 12) Robert J. Urick 訳 三好章夫：改訂 水中音響学、京都通信社、2013.
- 13) 青木直史：ゼロからはじめる音響学、講談社、2014.
- 14) Yamamoto S, Morita K, Koizumi I, Maekawa K.: Genetic differentiation of white-spotted charr (*Salvelinus leucomaenis*) populations after habitat fragmentation: Spatial-temporal changes in gene frequencies. *Conserv Genet.* Aug;5 (4):529-38., 2004

- 15) 水産庁：溪流魚の資源調査をやってみよう！ーイワナ、ヤマメ、アマゴの調査マニュアルー、2013
- 16) 岡本峰雄：海中計測技術に関する研究、日本水産学会誌、2005

・助成事業者紹介

氏名：林田 寿文

研究当時：国立研究開発法人 土木研究所 自然共生研究センター 主任研究員

現職：国土交通省 北海道開発局 札幌開発建設部 流域治水対策専門官