

# ADCP を用いた回遊性カジカ属稚魚の 遡上時利用環境の評価

EVALUATION OF USAGE ENVIRONMENT FOR MIGRATORY JUVENILE OF  
AMPHIDROMOUS SCULPIN WITH ADCP MEASUREMENTS

菅野一輝<sup>1</sup>・篠原隆佑<sup>2</sup>・村岡敬子<sup>3</sup>・溝口裕太<sup>4</sup>・北川哲郎<sup>5</sup>・中村圭吾<sup>6</sup>  
Kazuki KANNO<sup>1</sup>, Ryusuke SHINOHARA<sup>2</sup>, Keiko MURAOKA<sup>3</sup>, Yuta MIZOGUCHI<sup>4</sup>,  
Tetsuro KITAGAWA<sup>5</sup> and Keigo NAKAMURA<sup>6</sup>

<sup>1</sup>非会員 博(農) 国立研究開発法人 土木研究所 流域水環境研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)

<sup>2</sup>非会員 修(生資) 国立研究開発法人 土木研究所 流域水環境研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)

<sup>3</sup>正会員 国立研究開発法人 土木研究所 流域水環境研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)

<sup>4</sup>正会員 博(工) 国立研究開発法人 土木研究所 流域水環境研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)

<sup>5</sup>非会員 博(農) 株式会社建設環境研究所 環境 1 部・環境 DNA 室 (〒170-0013 東京都豊島区東池袋 2-23-2)  
(現: 神戸動植物環境専門学校)

<sup>6</sup>正会員 博(工) 国立研究開発法人 土木研究所 水環境研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)  
(現: 公益財団法人 リバーフロント研究所)

河川 CIM の推進で整備が進むことが期待される 3 次元点群データの活用を想定し、河川下流域を遡上していく回遊性魚類の利用環境を可視化・評価することを目的とした。本研究では、北海道函館湾に流入する大野川の、河口から約 1.2km までの感潮区間を対象として、ADCP 計測から 5m メッシュの地形・流速に関する物理環境(河床高、傾斜度、底層流速、表層流速と底層流速の差)を整理した。この物理環境とカジカ属の遡上稚魚の位置情報を合わせて、Maxent によるモデリングで、ハビタットスケールの分布予測モデルを作成した。作成したモデルは、傾斜度と底層流速の寄与度が高く、変数の応答から緩流域と瀬の環境を表現し、カジカ属稚魚の遡上時利用環境をよく示していると考えられた。利用環境を可視化したポテンシャルマップからは、利用環境の連続性が十分保たれていると評価された。従来可視化が困難であった回遊魚の利用環境について、ADCP 計測のみによる水深・流速等のデータと簡易な生物調査を組み合わせることにより、個別箇所の施工時の評価に必要な詳細スケールで面的な連続性を把握することが可能となった。

**Key Words:** species distribution modeling, Maxent, habitat scale, ADCP, amphidromous, Cottus

## 1. はじめに

多自然川づくりは、「河川全体の自然の営みを視野にいれて、地域の暮らしや歴史・文化との調和にも配慮し、河川が本来有している生物の生息・生育・繁殖飼育、並びに多様な河川風景を保全創出するために、河川の管理を行うこと」と定義され、すべての川づくりの基本として位置づけられている<sup>1)</sup>。国土交通省が進めている河川 CIM (Construction Information Modeling / Management) は、3 次元モデルをデータマネジメントの中心に据え、ICT 建設機械による施工技術を最大限活用することで、川づくりの大幅な高度化を図り、河川管理の考え方の抜本的な転換をもたらすもの<sup>2)</sup>とされ<sup>3)</sup>、音響測量や航空レーザ測量(ALB)の活用が急速に進みつつある。これらの新技術で得られる河川の 3 次元データを活用した河川管理の 3 次元化は、本来複雑な形状を有する河川環境の特性を詳細に把握できることから、多自然川づくりと相性が良い<sup>4)</sup>。多自然川づ

くりの 3 次元化においては、3 次元モデルや点群データを用いた、生態的な解析・評価手法の開発が課題とされる<sup>3)</sup>。

生態的な解析・評価手法の一つに、生物の利用環境を定量的に把握する分布予測モデルが挙げられる。1 km<sup>2</sup>前後のスケールで作成される分布予測モデルから把握される流域の潜在的な生息適地は、外来種の効率的な防除計画策定<sup>5)</sup>、保全対象種の設定や配慮すべき事項の検討等<sup>6)</sup>、流域全体の環境管理で有用と考えられる。一方、個別箇所の河川管理で想定される 4 段階(調査、設計、施工、維持管理)<sup>3)</sup>においては、ハビタットレベルでの評価が可能で、より詳細なスケールのモデルに基づく評価が必要と考えられるが、現在まで河川環境を対象とした評価手法の検討例は少ない。

汽水域は、陸水域と海水域の移行帯で、とりわけ河川と海洋とを往来する通し回遊魚に対して、摂餌場や産卵場等の生息環境を提供している。一方で、汽水域が広がる低平地は、しばしば人口の集中する都市部や工業地帯として利

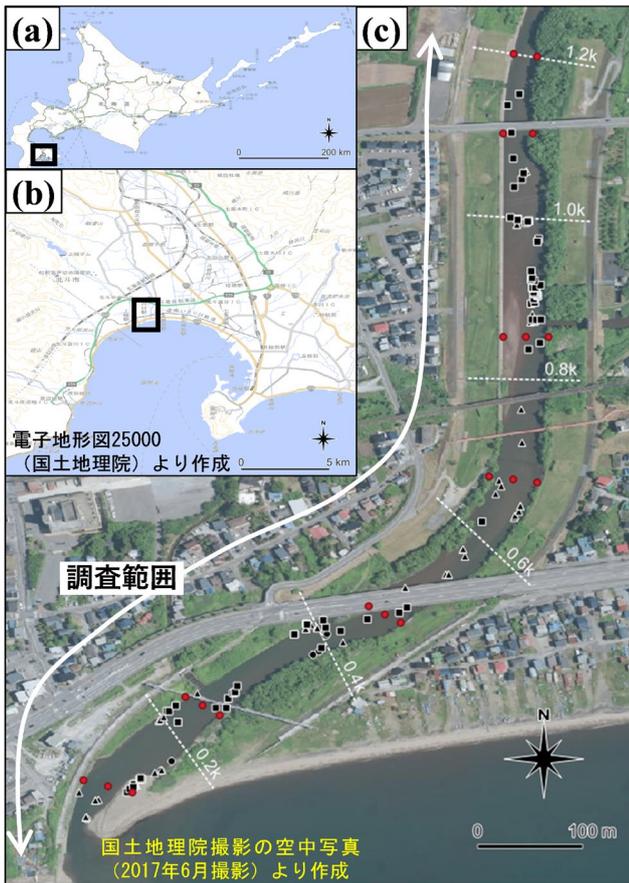


図-1 (a)(b) 対象地と(c) 大野川下流域の調査範囲. 黒点は遡上稚魚 (エゾハナカジカまたはカンキョウカジカ) の確認地点を示す (● : 2019/6/4, ▲ : 2019/6/18, ■ : 2019/7/4). 赤点は流速の測定位置を示す.

用され、自然河岸の護岸化や河口堰による分断等、人為的環境変化の影響を受けやすく、生物多様性を育む場としての機能低下が懸念されている<sup>7)</sup>. また、人為的な環境変化に伴う護岸化や生息適地の減少は、一見すると連続性が保たれている水域において目に見えない分断を引き起こしている恐れがあるが、具体的な評価を試みた事例は少ない.

そこで本研究では、今後河川 CIM が進展することで多くの河川において取得が進むと期待される 3 次元点群データの活用を想定し、詳細スケールの分布予測モデルを構築することで河川下流域における回遊性魚類の遡上時利用環境を可視化し、回遊魚にとって重要な連続性を評価することを目的とした.

## 2. 材料・方法

### (1) 調査地と手法の選定

北海道函館湾に流入する大野川 (流路延長 : 28.6 km) の河口より約 1.2 km までの区間を調査範囲とした (図-1). 本河川では、カジカ属稚魚 (エゾハナカジカ *Cottus amblystomopsis* またはカンキョウカジカ *C. hangiongensis*) の遡上時利用環境が研究されており<sup>8)</sup>, 可視化した利用環



図-2 使用機器. (a) ADCP: SonTek River Surveyor M9, (b) RTK-GPS 型 PCM モジュール, (c) 計測状況.

境の妥当性確認に適すると考えられる. 川幅約 50 m の本河川下流域で、横断的な違いを把握するために、総務省統計局が指定する標準地域 5 次メッシュ (250 m × 250 m) を縦横に 50 等分して作成した 5 m メッシュを解析ユニットと設定した. 面的に計測可能な物理環境であることを考慮して、超音波ドップラー式流向流速プロファイラー (Acoustic Doppler Current Profiler: ADCP) で取得可能な河床高と流速に関する情報から、カジカ属魚類の遡上稚魚に重要な環境要素とされる緩流域<sup>8)</sup>の評価を試みた. 一般に ADCP は横断的または面的な流速・水深の把握に用いられるが、ADCP 本体の位置情報 (GNSS, 動揺, 方位等) から、河床の 3 次元座標および流速が取得できるため<sup>9)10)</sup>, 本研究では 3 次元点群データの一つとして利用した. 本種の出現に影響を与える環境情報として河床高・流速の他に河床材料・護岸形状等も想定されるが、本研究では現場導入時の利便性を考慮して ADCP で得られる環境情報のみによる評価を行った.

### (2) 物理環境情報

ADCP による水深・流速に関わる環境情報の計測は、2021 年 7 月 5~6 日に、SonTek River Surveyor M9 (Xylem 社) を用いて実施した. 計測にあたっては、対象区間内に約 10 m 間隔で約 120 本の横断側線を設定し、陸上に RTK-GPS 型 PCM モジュールを設置した上で、ADCP を搭載した小型艇を作業員が両岸から交互に曳航することで (図-2), 河床高 (ELE), 10%水深の表層流速 (vSUR), 90%水深の底層流速 (vBOT) を取得した. なお、ADCP により

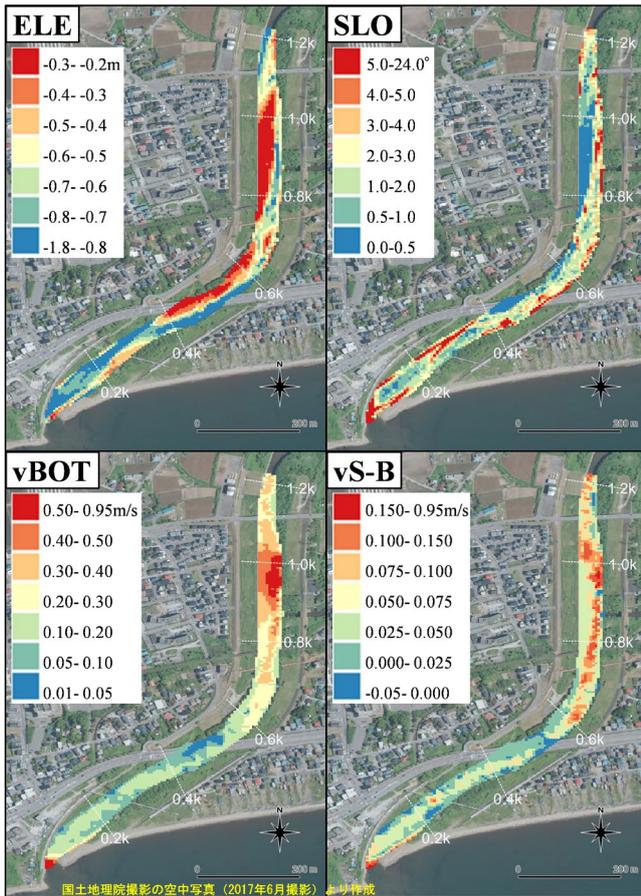


図-3 ADCP 測量から算出された物理環境 (ELE : 河床高 (m), SLO : 傾斜度, vBOT : 底層流速, vS-B : 表層流速-底層流速)

表-1 物理環境間の相関.

	ELE	SLO	vSUR	vBOT	vS-B
ELE	1.000	-0.474	0.219	0.251	0.033
SLO	-0.474	1.000	-0.009	-0.004	-0.027
vSUR	0.219	-0.009	1.000	0.989	0.803
vBOT	0.251	-0.004	0.989	1.000	0.708
vS-B	0.033	-0.027	0.803	0.708	1.000

直接的に計測されるのは水深であるが、計測時に RTK-GPS により取得される 3 次元座標から、間接的に河床高が取得可能である。ここでいう河床高とは、東京湾の平均海面を基準 (0m) とする標高と同義である。作業は最干潮時に下流側から開始し、河川が順流であることを確認し、上流方向へ向かって移動しながら実施した。河床高 (ELE) は、QGIS 3.4.4 を用いて TIN 内挿を行い、5m メッシュとした。傾斜度 (SLO) は、河床高を元にラスター地形解析プラグインをより算出した。表層流速、底層流速は、M9 の付属ソフトウェア HydroSurveyor (Xylem 社) を用いて内挿し、5m メッシュとして、底層流速を vBOT、表層流速を vSUR、表層流速から底層流速を減したものを vS-B とした。

算出した 5 変数間の相関を計算すると、vSUR と vBOT 間のピアソンの積率相関係数  $r$  は 0.989 で非常に高い相関



図-4 2019年(a)と2021年(b)の1.0k 中央より下流側の現地状況。(a) 2019/6/18 15:14 撮影, (b) 2021/7/6 14:07 撮影.

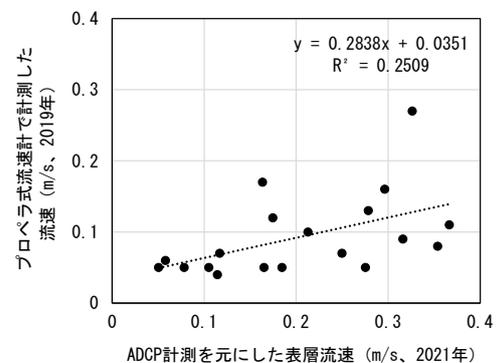


図-5 2019年と2021年の調査時の流速の比較.

がみられた (表-1). 相関係数  $r$  が 0.989 のときの分散拡大係数 (VIF: Variance Inflation Factor) は 45.7 と計算され、多重共線性の指標される 10<sup>11)</sup> を超えた。エゾハナカジカおよびカンキョウカジカは底生魚<sup>12)</sup>であることから、流速の変数として底層流速 vBOT を選択した。なお、表層流速 vSUR を除く 4 変数間の VIF は最大で vBOT と vS-B の間の 2.0 ( $r=0.708$ ) であり、多重共線性の可能性は低いと判断された。こうして、地形に関する 2 変数 (ELE, SLO) と流速に関する 2 変数 (vBOT, vS-B) の計 4 種の環境情報を解析に供した (図-3)。

### (3) 生物情報

生物情報は、北川ほか (2021)<sup>8)</sup>による2019年6~7月(6/4, 6/18, 7/4)のカジカ属魚類(カンキョウカジカまたはエゾハナカジカ)の遡上稚魚の確認位置情報(146地点、**図-1**)を利用した。両種は両側回遊性の生活史を持つ底生魚で、4~5月に河川で産卵を行い、河川で孵化した仔魚は海域まで流下した後、約1ヶ月の浮遊期を経て着底し、稚魚として河川を遡上することが知られている<sup>12)</sup>。本調査を実施した6~7月は、カンキョウカジカまたはエゾハナカジカの稚魚が河川に遡上する時期である。

### (4) 分布予測モデルの構築

本研究では、Maximum entropy modeling (Maxent)<sup>13)</sup>を用いて分布予測モデルを作成した。Maxentは在データと環境情報を元に0から1の範囲の推定値が計算され、生物の分布予測できるモデルである<sup>13)</sup>。モデルの精度はAUC (Area Under Curve)により評価され、物理環境情報との関係性は、寄与率と応答曲線によって示される。AUCはROC曲線(Receiver Operating Characteristic Curve)の下側の面積であり、ROC曲線は推定値の閾値を変えながら、縦軸に感度(在データのうち正しく在とされた率)、横軸に偽陽性率(不在データのうち間違っ在と率)をプロットして得られる曲線である。Maxentは、一般化線形モデル等とは異なり、モデルの構築の際に不在データが不要であるため、均一な不在データの取得に大きな労力が必要な詳細スケールのモデリングとの親和性が高い。146地点の生物情報と4項目の環境情報(ELE, SLO, vBOT, vS-B)から、Maxent 3.4.4<sup>13)</sup>を用いて、3つの分布予測モデル(全変数モデル、地形モデル、流速モデル)を作成した。

なお、生物情報は2019年取得、物理環境は2021年取得であるが、調査範囲の岸際の大部分は、矢板や法面工による護岸や植生の繁茂により侵食されにくく、Google Earth航空写真(2019年8月、2020年6月、Google社)と調査時の現地状況からは、0.8~1.0k右岸の寄洲や瀬の形状、流心・水衝部の位置等、流況に大きな違いが見られなかった。2021年調査時の0.8k右岸の寄洲(**図-4(b)**)は、2019年調査時と比較しておよそ500m<sup>2</sup>の範囲に植生の繁茂がみられたことから、植生を掃くような出水による大きな流況変化はなかったと考えられた。また、2021年の流速は、最干潮時から上げ潮のタイミングで反転流が発生していないことを確認しながら取得し、2019年と同様の流況で計測するように努めた。2019年の調査時にプロペラ式流速計(SAT-200-10+SA1111, 東京計測社)により計測した19点(**図-1**)の流速と、2021年にADCPで計測した同一点の表層流速vSURを比較すると弱い相関がみられた(**図-5**)。以上を総合して、2021年の物理環境で2019年の流況が概ね評価可能であると仮定して、本研究を進めた。

表-2 Maxentの結果。各モデルのAUCと変数の寄与率。

モデル	AUC	寄与率 (%)			
		ELE	SLO	vBOT	vS-B
地形のみ	0.632	8.2	91.8	—	—
流速のみ	0.642	—	—	95.0	5.0
全変数	0.712	2.5	61.4	32.9	3.2

## 3. 結果と考察

### (1) 分布予測モデルの結果

構築したモデルのAUCは、全変数モデルが0.712、地形モデルが0.632、流速モデルが0.642であった(**表-2**)。全変数モデルは、AUCが正確さの基準となる0.7を超えたため、カジカの遡上稚魚の潜在的な出現箇所を説明可能で、遡上適地を表現できていると考えられた。変数の寄与率は、降順にSLO(61.4%)、vBOT(32.9%)、vS-B(3.2%)、ELE(2.5%)で、傾斜度SLOと底層流速vBOTを合わせて9割以上を占めた(**表-2**)。

全変数モデルにおいて、遡上稚魚の出現確率を示すポテンシャルマップを**図-6**に、各物理環境情報と出現確率の関係を**図-7**に示す。寄与率が最も高いSLOは、大きくなるほど遡上稚魚の出現確率が高まる正の応答を示し、15~20度に最適な傾斜度がみられた。次に寄与率が高いvBOTは、0.1m/sと0.5~0.8m/sで出現確率が高まり、0m/sと0.2m/sで出現確率が低くなる変則的な応答を示した。寄与率の低いELEは、正の応答、vS-Bは負の値になると出現確率が低くなった。

カンキョウカジカとエゾハナカジカの選好環境として、函館湾周辺の両種の稚魚が砂礫底を好み、遡上個体が岸際の浅瀬に頻出することが報告されている<sup>14)15)</sup>。本研究の結果からは、傾斜度SLOが高いほど出現確率は高くなり、SLOは基本的に流心より岸際で高くなる傾向があることから(**図-3**, SLO)、遡上時利用環境として岸際を示し、既往の知見を支持すると考えられた。岸際であっても0.4~0.5k左岸にはSLOが低い区間が存在し、当該箇所は矢板護岸で水衝部のため深掘れしていた。このようにSLOが低い箇所では、平坦で泥~砂底で環境が単調になっていると考えられる。一方で、瀬に代表されるようなSLOが高い環境では、遡上稚魚の潜在的な隠れ場となりうる礫等、複雑な環境が形成されやすいことが想定される。また、両種の流速に対する選好性は、カンキョウカジカの成魚が早瀬、エゾハナカジカの成魚が平瀬を選好<sup>15)</sup>することが知られているが、稚魚については明確な知見はない。本研究で計測したvBOTの平面分布からは、底層流速が約0.6kを境に変化し、0.6kより下流で低く、0.6kより上流で高くなる傾向がみられ、特に1.0kの瀬で最も高くなった(vBOT, **図-3**)。これにvBOTに対する出現確率の変則的な応答(**図-7**)を合わせると、約0.1m/sの出現確率のピークは0.0~0.6kの緩流域、0.5~0.8m/sに見られる正の応答は1.0k付

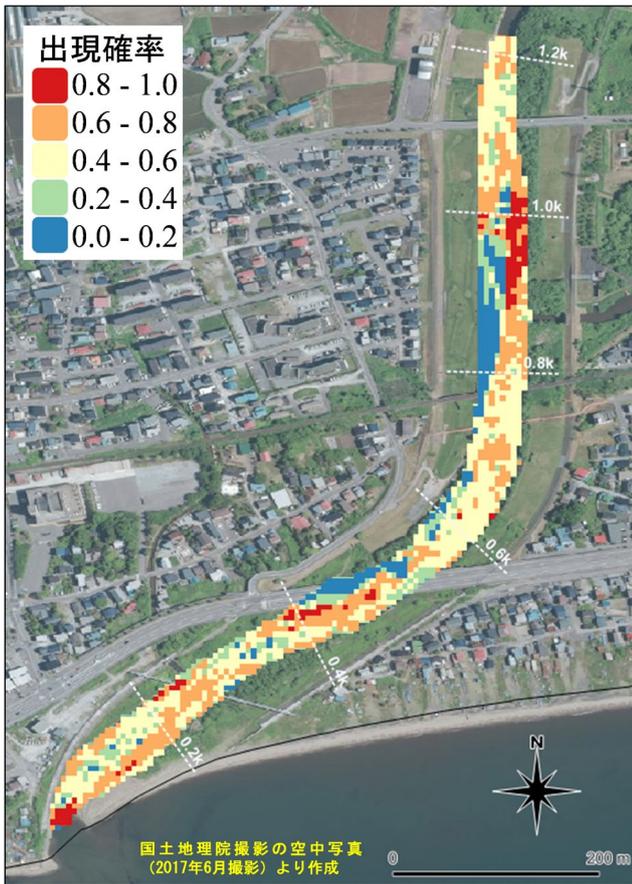


図-6 全変数モデルによる回遊性カジカ属稚魚のポテンシャルマップ。

近の流速が早い瀬を遡上時に利用していると示唆された。

総じて、今回 Maxent により作成したモデルは、カジカ属魚類稚魚の遡上時利用環境として、岸際の緩流部を追認し、瀬の重要性を新たに示唆し、これらを平面的に可視化できたと考えられた。

## (2) 連続性の評価

調査地区の0.0k(河口部)から1.2kまでを200m間隔で区切り、出現確率ごとの面積を集計した結果、出現確率が0.6以上となる面積は、0.6~0.8kで約2,000m<sup>2</sup>となり、全区間中で最も低くなった(図-8)。また、ポテンシャルマップからは、0.6k付近で連続性が低くなっていることが分かった(図-6)。しかし、遡上稚魚採捕時の状況から、本研究の遡上時利用環境は、夜行性である両種の日中の休憩箇所としての意味合いが強いこと<sup>8)</sup>、より上流の1.0k付近の瀬で多くの個体が確認できていることから、遡上稚魚にとっての利用環境の連続性が十分保たれていると考えられた。また、本種の遡上適地が0.0~0.5kで岸際に位置する傾向が強い中、流心付近に遡上適地がみられる0.2~0.3kの区間は、本種に左右岸の遡上経路の選択を可能とするため、重要な環境であることが想定される。

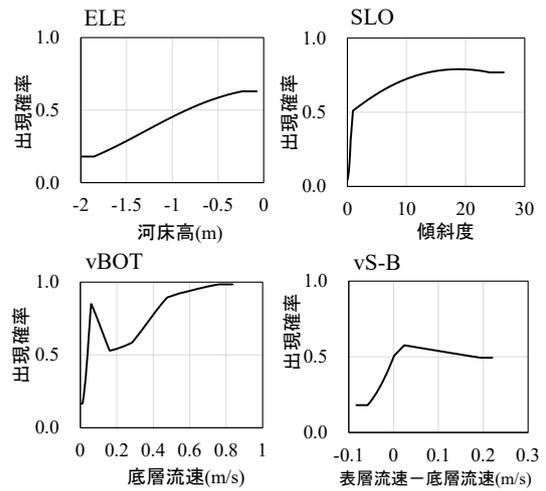


図-7 全変数モデルにおける遡上稚魚の出現確率と物理環境の関係。

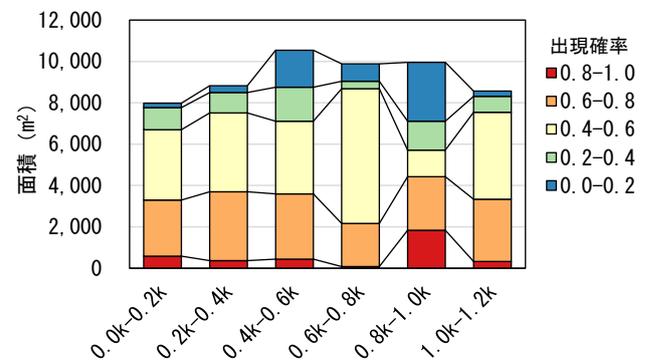


図-8 大野川下流域における区間別の遡上適地面積。

## (3) 本手法の導入性と発展性

本研究では、ADCPを搭載した小型艇を人力で曳航し、3名2日(1日あたり3-4時間)で、およそ50,000m<sup>2</sup>(河川長1km、流路幅約50m)の3次元点群データと流速を得た。また、生物情報は、たも網で特定の魚種を対象とした採捕を1名1日(約5時間)の努力量の調査を、同一区間で3回実施したものを利用した。ADCPは高額な機器であるため導入へのハードルは高いが、一度導入すればランニングコストは低く、短時間で多くの重要な環境情報が取得できる利点がある。

なお、地形情報を主とする3次元点群データは、河川CIMの進展に伴って一級水系を中心に整備が期待できるデータであり、対象魚種が確認された座標情報を一定数用意することで(本研究では、50,000m<sup>2</sup>内に対して約150地点)、他魚種や生活環のうちで利用される異なる生活場(i.e. 繁殖場、索餌場、運動場)への展開も可能と考えられる。しかし、地形情報のみでは十分な精度のモデルが作成できない可能性が想定されるため(表-2)、本手法の適応には、対象魚種の生態と密接に結びつく追加の環境情報取得が課題になると想定される。そこで、地形情報との結び付けが容易で効率的な環境調査の手法として、地形情報から数

値計算<sup>16)</sup>で流速や水深を補うこと、航空写真撮影から砂被度<sup>17)</sup>等の河床材料の面的な情報を得ることが、有効な手法になり得ると考えられる。

一方で、航空レーザ測量は、一度に広い範囲の3次元点群データが取得できるが、大規模な調査であるため個別箇所の評価のために逐一測量をすることは現実的でない。ADCPは広い範囲のデータは取得できないが、個別箇所を適宜計測し、評価することに適している。また、河床高だけでなく、水深や流速を実測するため数値計算は不要で技術的なハードルが低く、確実性の高い環境情報が取得できる。全体を航空レーザ測量で把握し、個別の評価箇所は、ADCPで随時計測し、生態的に解析・評価を実施し、地形データの更新を行うというように、お互いの弱点を補完することが可能と考えられる。

#### 4. 結論

本研究では、函館湾に流入する中規模河川（大野川）において、ADCP計測で得られた地形と流速に関する4種の環境情報と簡易な生物調査より、回遊魚の遡上環境を面的に可視化した。Maxentで作成したモデルは、本種の採捕箇所とよく整合しており、岸際の緩流部と瀬を表現していると考えられた。また、地図上に可視化した生息適地からは、連続性の低い場所を特定できたが、全体として連続性は良好であると評価された。さらに、左右岸の移動経路の推定に繋がる情報も得られた。

これらの成果は、3次元点群データ等の活用において積み上げるべき生物情報の方向性を提案しており、特定範囲における対象生物の確認位置を集積することで、従来作成に多大な労力が必要であった詳細なスケールのモデルが比較的容易に構築できることを示している。詳細なスケールのモデルは、河川管理の実務において、個別の施工内容が環境に与える変化を可視化する際に有効な評価手法だと考えられる。また、地形情報と合わせてモデル作成に使える面的な環境情報（数値計算による流速や航空写真から判別する河床材料等）の整備や、ADCPによる実測を合わせることで、より精度が高く適切な環境評価が可能なモデルの構築が可能となる。特にADCPは、一度導入すれば、狭い範囲を比較的安価で速やかに測定できるため、広範囲を計測できるが高額である航空レーザ測量（ALB）の弱点を補完でき、併用することで3次元点群データの有効利用に繋がると思われる。

**謝辞：**本研究の遂行にあたり、東京農工大学の福田信二博士には、多大なる協力を頂いた。ここに記して謝意を表す。

#### 参考文献

1) 多自然川づくり研究会:多自然川づくりポイントブック III 川の営みを生かした川づくり～河道計画の基本から水際部の設計まで

～,公益社団法人 日本河川協会 発行, 2011.

- 2) CIM 技術検討会: CIM 技術検討会平成 24 年度報告, [http://www.cals.jacic.or.jp/CIM/Contents/CIM\\_Report130430.pdf](http://www.cals.jacic.or.jp/CIM/Contents/CIM_Report130430.pdf), p.3-1, 2013.
- 3) 河川 CIM 標準化検討小委員会:河川 CIM 標準化検討小委員会 成果報告書, <https://www.pwri.go.jp/team/kyousei/jpn/downloads/houkoku20210630.pdf>, 2021.
- 4) 中村圭吾:グリーンレーザーを用いた航空レーザ測深 (ALB) による河川調査の現状と可能性 (特集 水環境研究におけるドローン・リモートセンシング技術活用の最前線). 水環境学会誌, Vol.42(5), pp.174-178, 2019.
- 5) 赤松良久, 後藤益滋, 乾隆帝, 山中裕樹, 小室隆, 河野誉仁: 環境 DNA を用いた山口県内 2 級河川におけるヌートリアの侵入状況と生息適地の把握, 応用生態工学, Vol.21, pp.1-8, 2018.
- 6) 遠山貴之・鬼倉徳雄・光益慎也・齋藤康宏:一級水系流域における魚類分布予測モデルの構築と多自然川づくり支援システムの開発, 河川技術論文集, Vol.25, pp.363-368, 2019.
- 7) 楠田哲也, 山本晃一: 河川汽水域—その環境特性と生態系の保全・再生, 技法堂出版, 2008.
- 8) 北川哲郎, 村岡敬子, 中村圭吾, 後藤晃: 河川汽水域における両側回遊型カジカ属魚類の稚魚に見られた環境選好性. 応用生態工学, Vol.24, pp.27-38, 2021.
- 9) 原田守啓, 荒川貴都, 大井照隆, 鈴木英夫, 沢田和秀: UAV と水域可視化処理による河川地形計測手法の検討. 河川技術論文集, 22, pp.67-72, 2016.
- 10) Fukuda, S., Hiramatsu, K., & Harada, M.: Assessment of depth measurement using an acoustic doppler current profiler and a CTD profiler in a small river in Japan. In International Conference on Intelligent Robotics and Applications (pp. 308-316). Springer, Cham, 2016.
- 11) Neter, J., Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Wasserman, W., Applied linear statistical models, 1996.
- 12) 細谷和海:山溪ハンディ図鑑 増補改訂 日本の淡水魚, 山と溪谷社, 東京, 2019.
- 13) Phillips, S. J., Dudík, M.: Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation, Ecography, Vol.31(2), pp.161-175, 2008.
- 14) 後藤晃: ハナカジカ *Cottus nozawae* Snyder の生態的・形態的分岐 - I.: 産卵習性及び初期発育過程. 北海道大学水産学部研究彙報, 26(1), 31-37, 1975.
- 15) 後藤晃:カンキョウカジカ *Cottus hangiongensis* の生活史と分布. 北海道大学水産学部研究彙報, 32(1), 10-21, 1981.
- 16) Nelson, J. M., Shimizu, Y., Abe, T., Asahi, K., Gamou, M., Inoue, T., Watanabe, Y.: The international river interface cooperative: Public domain flow and morphodynamics software for education and applications. Advances in Water Resources, Vol.93, pp.62-74, 2016.
- 17) 溝口裕太, 宇佐美将平, 小野田幸生, 田代喬, 宮川幸雄, 中村圭吾: UAV による低水路河床の砂被度把握とそれを用いたアユの生息場適性評価モデルの精緻化. 河川技術論文集, Vol.27, pp.305-310, 2021.

(2022. 3. 25 受付)