

DHABSIMを用いた島田川における河川浚渫が 魚類生息場に与える影響予測評価

PREDICTION OF DREDGING EFFECTS ON FISH HABITAT IN SHIMATA RIVER BY USING DHABSIM

松永晋平¹・関根雅彦²・加藤琢己³

Shimpei MATSUNAGA, Masahiko SEKINE and Takumi KATO

¹非会員 修（工）（株）建設技術研究所 九州支社水工部（〒813-0041 福岡県福岡市中央区大名2-4-12）

²正会員 博（環境） 山口大学大学院教授 創成科学研究科（〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1）

³学生会員（工） 山口大学 工学部社会建設工学科（〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1）

For a low-cost habitat prediction of river fish community, we have proposed Eco-Environmental Diversity (EED) and DHABSIM solver on the river flow simulation platform iRIC. In this research, by using DHABSIM, we evaluated EED before and after renovation in the three Shimata river branches where dredging projects were scheduled. Although predicted EED and species richness showed good accordance with a survey result conducted after dredging before the flood season, the prediction accuracy for another survey conducted after the flood season was significantly reduced due to topographical changes and vegetation overgrowth. The prediction accuracy was improved by incorporating the riverbed fluctuation calculation using two-year probable rainfall intensity by using Nays2DH on iRIC.

Key Words : fish habitat evaluation, EED, DHABSIM, Shimata river, dredging

1. はじめに

平成2年の旧建設省による「多自然型川づくりの推進について」の通達、平成18年の「多自然川づくり基本指針」など、我が国において「河川全体の自然の営みを視野に入れ、地域の暮らしや歴史・文化との調和にも配慮し、河川が本来保有している生物の生息・生育・繁殖環境及び多様な河川景観を保全・創出」する魚類などの生息環境に配慮した河川管理が目指されている¹⁾。しかし、その趣旨を踏まえた川づくりが実施されている一方で、画一的な標準断面での計画や、河床や水際を単調にすることで、かえって河川環境の劣化が懸念されるような課題が残る川づくりもまだみられている。その理由の一つとして、魚類の生息環境の簡易な予測手法がないことがあげられる。既存の有力な魚類の生息環境評価手法の一つである物理生息場シミュレーションソフトウェア PHABSIM (Physical Habitat Simulation Model) では、対象区間の水深、流速、河床材料などの環境要素と魚種ごとに定められた生息場適性指数 (Habitat Suitability Index; HSI) を組み合わせることで種毎に評価する。しかし、個々の魚種や成長段階に対するHSIが必要であるため、

HSIが整備されていない魚種ではまずHSIを定める研究が必要であることや、複数の魚種に対する評価が簡単ではない等の問題があり、日本の河川管理ではあまり実用されていない。以上の課題に対して、簡易な魚類生息場評価手法として伊藤ら²⁾により生物環境多様性指数: Eco-Environmental Diversity (以下EEDと記す) が提案された。EEDとは既存の複数魚種のHSIを収集し、水深 d 、流速 v 、底質 s をそれぞれ3領域 ($d \leq 0.2\text{m}$, $0.2\text{m} < d \leq 0.6\text{m}$, $0.6\text{m} < d$, $v \leq 0.2\text{m/s}$, $0.2\text{m/s} < v \leq 0.6\text{m/s}$, $0.6\text{m/s} < v \leq 1.0\text{m/s}$, $s \leq \text{砂礫}$, $\text{砂礫} < s \leq \text{礫}$, $\text{礫} < s \leq \text{岩盤}$) に区分することで、個々の魚種にとっていずれかの領域が摂餌や休息などの行動モードに対する最適生息域となると考え、この領域区分に植生の有無を合わせた水深3領域×流速3領域×底質3領域×植生2領域 = 54環境型の魚の行動圏内でのSimpsonの多様度を魚類生息場の指標としたものである。EEDの算出には生物調査が不要であり、西日本の中小河川で一般的な複数魚種に対する生息場の好悪を判定できるため、評価コストを抑えられる。同一支川など、水質や魚類以外の生物などのEEDでは評価されていない条件が類似すると考えられる範囲では、EEDと魚種数は正の相関関係にあることが示されている。後に、EEDの2次元分布を計算する手段として、無償で利

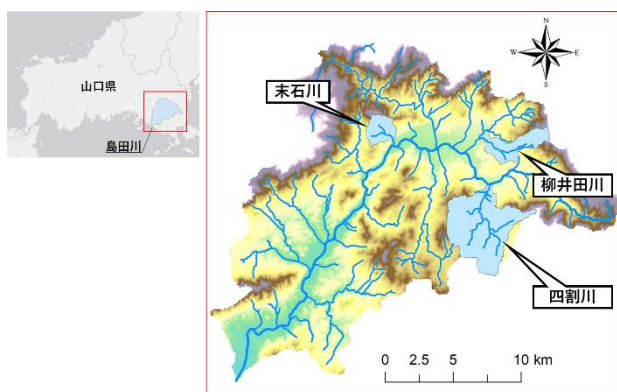


図-1 島田川流域図および調査対象河川

用できる河川の流れ・河床変動解析ソフトウェアであるiRIC(International River Interface Cooperative)³⁾上で動作するDHABSIM (Diversity based HABitat SIMulation)ソルバーが開発された。DHABSIMは、河川改修前後の流況をiRICの流況計算ソルバーを使って予測し、河川改修によるEEDの変化を改修前に予測することで、中小河川において少しでも生息場の価値を高めるような河川改修を簡易に行うことを目的として開発されたものである。しかし、地方自治体の河川改修事業の減少もあり、DHABSIMの本来の目的である改修によるEEDの変化を予測評価した事例はほとんどない。

本研究では、浚渫事業が計画されていた山口県の島田川支川を対象に、DHABSIMで浚渫が魚類生息場に与える影響を予測し、浚渫後の魚類調査結果とEEDを比較し、計画段階におけるDHABSIMによる魚類生息場予測の精度を検証する。また、河床変動解析を評価に導入し、浚渫後の出水等による地形改変を予測することで、改修終了後の河道地形変化も考慮した魚類生息場評価を可能にする。

2. 研究方法

(1) 調査対象河川の概要

島田川は大小23の支流があり、幹川流路延長は34.5km、流域面積は269.5km²である(図-1)。島田川流域では、2018年7月西日本豪雨で堤防の決壊などにより民家や田畑が甚大な浸水被害を受けた。その為、比較的大規模な河川改修が複数箇所に分けて行われている。具体的な事業として、川幅の拡幅と掘削に加えて、護岸の設置や河床の敷均が行われおり、図-2に示すような(a)河床を平坦な単断面地形とする、(b)流水部には手を加えず、平水時の水面から10cm程度の高さで水平に洲を除去するといった浚渫方法が各河川で実施されている。本研究では浚渫が予定されていた山口県岩国市玖珂町の島田川水系の末石川、柳井田川、四割川を研究対象域とした。

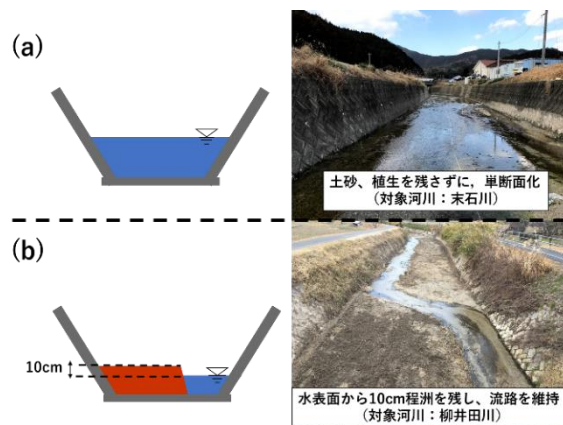


図-2 島田川における浚渫方法

(2) 現地調査

本研究では、浚渫前(2018年10月下旬)、浚渫後1回目(2019年6月下旬)、浚渫後2回目(2019年10月下旬)の計3回実施した。

魚類調査に関しては、各河川に体長16cmの魚の行動圏にほぼ一致する採捕区間20mを定め、上下流端に仕切り網を河川横断方向に沈設し、30分以上放置後一気に網を立て、魚類を採捕および魚種数、体長測定を行った。採捕の際には、エレクトロフィッシャー(Smith-Root Inc. LR-24型200V2Aパルス波60Hz)を用いて採捕区間内の魚類を気絶させ、タモ網にて捕獲した。

また魚類調査と同時に物理環境調査を行った。採捕区間内を左岸、中央、右岸に分割し、縦断方向に1辺が5m以下となるように等分したセルを設定し、プロペラ流速計と竹尺を用いてセル内の水深、流速、底質の状態、植生の有無を記録した。

また、流況計算には地理情報が、河床変動解析には底質情報が必要になる。そのため、採捕区間および上下10m以上の範囲のVRS方式RTK-GNSSによる縦横断測量と、採捕区間内の河床材料のふるい分け試験を行った。

(3) EEDの算出

式(1)に示すSimpsonの多様度指数の式を用いてEEDを算出した。

$$EED = 1 - \sum_{i=1}^S \left(\frac{n_i}{N} \right)^2 \quad (1)$$

ここに、 EED ：生態環境多様性の値、 S ：行動圏内にある環境型数、 N ：行動圏内の全ての測点数、 n_i ：環境型 i に属する測点の数である。現地での物理環境調査に基づいてEEDを算出する場合、 N は調査での測点数となる。行動圏とは、魚が1日の間に行動する範囲であり、体長の関数である。本研究では伊藤ら²⁾と同様優占魚種であるオイカワやカワムツ属成魚の行動圏200m²を設定した。魚類採捕区間の大きさはほぼ対象魚の行動圏と一致するよう定めたため、現地調査で得られるEEDは採捕

区間中央の値となる。DHABSIMによってEEDを算出する場合、iRICに同梱される任意の構造格子または非構造格子を用いた2次元流況ソルバーで得られた水深、流速の2次元分布を、DHABSIM内で生成される正方格子上の値として内挿し、対象格子点を中心とした行動圏内に含まれる格子点の環境型を用いてEEDを計算するため、EEDの2次元分布が得られる。対象区間上下流端部までEED分布を正しく計算するためには、対象区間の上下に行動圏半径分を加えた範囲の流況が正しく計算されている必要がある。前節で地形測量を採捕区間の上下に延長しているのはそのためである。正方格子の間隔は、DHABSIMの規定値では行動圏を表す円の直径を10で割った値、約1.6mとなる。本研究の対象河川の低水路幅は狭いところでは1.6mを下回るため、本研究では格子間隔を0.1mに設定した。植生と底質の分布は、現地調査の再現計算では現地の植生・底質状況を与え、浚渫後の予測計算では植生はなし、底質は浚渫方法(a)では現地調査と同じ、浚渫方法(b)ではD60を均一に与えた。EED計算後、対象区間内の格子点のEEDの平均値を区間を代表するEED値とした。以下、水深流速測定値から求めたEEDを「EED実測値」、現地調査時の地形モデルを用いてDHABSIMで計算されたEEDを「EED計算値」、事前予測段階で県の浚渫計画図面を用いてDHABSIMで計算されたEEDを「EED予測値」と記す。

(4) 平面2次元流況計算

DHABSIMによるEED計算で使用する水深、流速の計算には、上述のように任意の2次元流況ソルバーを使用することができるが、筆者らはこれまで複雑な河床地形に柔軟に対応できる2次元非構造格子流況計算ソルバーRiver2Dを用いており、本研究でもそれを踏襲した。地形モデルは前述した測量結果を用いて作成した。また浚渫後の影響を予測する為に用いた地形モデルには山口県から提供を受けた浚渫計画図面を参考に、対象区間ごとに計画された浚渫パターンの地形モデルを作成した。現地調査を再現する計算では、境界条件として上流端に魚類調査時の実測流量、下流端には実測水面高を与えた。解析格子のメッシュサイズは0.1m²とし、粗度高さは代表粒径(D60)を与えた。水深、流速の計測地点の1/2以上で実測値とシミュレーションの解析値の差が水深(m)及び流速(m/s)ともに0.1以内に収まるように、主に粗度高さを調整し、必要に応じて地形と下流端水深を変化させて、キャリブレーションを行い、魚類採捕時の流れ場を再現した。浚渫後の予測計算では、上流端に魚類調査時の実測流量、下流端は浚渫方法(a)では調査区間の10m程度下流の断面全幅に流水が見られた位置の実測水深、浚渫方法(b)では調査区間下流端の実測水深を与えた。

表-1 河床変動計算条件

設定項目	河川名		
	末石川	柳井田川	四割川
格子サイズ	0.4m×0.4m		
マンニングの粗度係数	低水路：0.03 高水敷：0.04		
河床材料 (D60)	20mm	4mm	10mm
流砂量式	芦田・道上式		
下流端水位	等流水深		
出水流量 (m ³ /s)	7.53	9.14	32.9

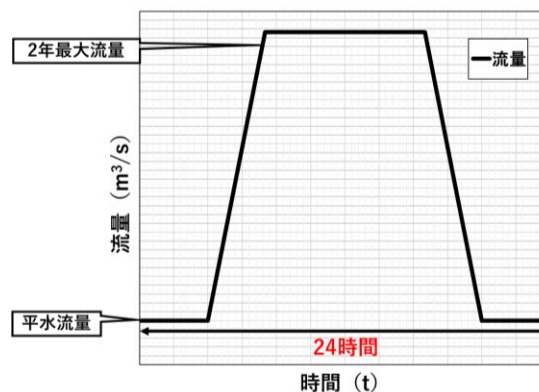


図-3 流量ハイドロ作成パターン

(5) 河床変動解析による浚渫後の地形予測

本解析では浚渫工事竣工から出水期を経て比較的安定した後の河道地形を予測した上でEEDの算出を行い、魚類生息場評価の精度向上に資する提案を行う。手順としては、まず県の浚渫計画図面を用いて浚渫後の地形モデルを作成し、河床変動解析を行う。River2Dは河床変動計算を行えないため、本解析における河床変動計算には、iRICのNays2DHソルバーを用いた。河床変動計算条件を表-1に示す。本研究の対象河川は流量観測がされておらず、出水時の流量を入手することは困難であった。その為、式(2)に示す合理式で算出した流量を採用した。大石ら⁴⁾は河道景観は1年確率ピーク流量で規定されるとしているが、山口県では2年確率降雨強度式より短期のものは整理されていない。そのため、本研究の調査対象エリアである山口県岩国市玖珂町に該当する式(3)に示す2年確率降雨強度式を採用し、出水時の流量を算出した。平水時の流量には浚渫前の現地調査時の実測流量を使用し、4時間の平水の後、3時間かけて出水時流量に達し、それが10時間継続した後3時間で平水に戻る単純なハイドログラフを作成し、境界条件として与えた(図-3)。この1洪水による地形変化をもって出水期を経た後の河床状態と仮定した。また、流量算出過程で必要な流域面積、流出係数、継続時間は、大石ら⁴⁾の方法を参考に、国土地理院が提供する10mDEM⁹⁾や国土交通省が提供する土地利用GISデータ⁶⁾からArcGIS10.6 (ESRI) のspatial analystの水文解析ツール等を用いて算出した。

表-2 魚類採捕結果

標準名	末石川			柳井田川			四割川		
	2018.10	2019.6	2019.10	2018.10	2019.6	2019.10	2018.10	2019.6	2019.10
アカザ							8	5	11
ウナギ						1	2	1	1
オイカワ	2		120	14		22	8	14	28
オヤニラミ				3	5	6	2	1	3
カマツカ	29		3	10	9	134	20	5	23
カワムツ	7		12	20	7	81	34	6	31
シマドジョウ				3	4	3			
ギギ							2	1	1
タカハヤ					1				
ナマズ			1						
ドンコ	3		3	7	5	6	6	2	1
ムギツク				2	1	18	7	3	6
ヨシノボリ	18	43	90	4	23	2	1	10	20
遊泳魚型稚魚	82	1	4	56		50	9	1	7
総魚種数	6	2	7	9	8	10	11	11	11
総個体数	141	44	233	119	55	323	99	49	132

表-3 物理環境調査結果およびEED実測値

(水深と流速は平均値±標準偏差)

河川名	測点数	水深(m)	流速(m/s)	流量(m³/s)	EED実測値	調査年月
末石川	30	0.122±0.044	0.301±0.136	0.054	0.742	2018.10
	22	0.034±0.013	0.120±0.089	0.013	0.221	2019.6
	33	0.126±0.049	0.288±0.155	0.067	0.647	2019.10
柳井田川	30	0.138±0.051	0.449±0.190	0.066	0.782	2018.10
	18	0.057±0.018	0.163±0.071	0.008	0.722	2019.6
	33	0.180±0.047	0.200±0.162	0.069	0.846	2019.10
四割川	30	0.258±0.080	0.591±0.172	0.170	0.784	2018.10
	18	0.190±0.077	0.377±0.338	0.193	0.907	2019.6
	41	0.194±0.094	0.409±0.260	0.228	0.855	2019.10

$$Q_2 = \frac{1}{3.6} f r_2 A \quad (2)$$

ここに、 Q_2 ：2年確率高水流量、 f ：流出係数、 r_2 ：2年確率降雨強度式、 A ：流域面積である。

$$r_2 = \frac{909}{\frac{2}{t^3} + 0.504} \quad (3)$$

ここに、 r_2 ：2年確率の t 継続時間確率降雨量(mm/h)、 t ：継続時間(h)である。

3. 結果及び考察

(1) 現地調査結果

a) 魚類採捕調査

表-2に、調査時期別の魚類採捕結果を示す。末石川と柳井田川では、浚渫の竣工にともない魚種数は低下し、特に末石川では減少が最も多かった。四割川では、魚種

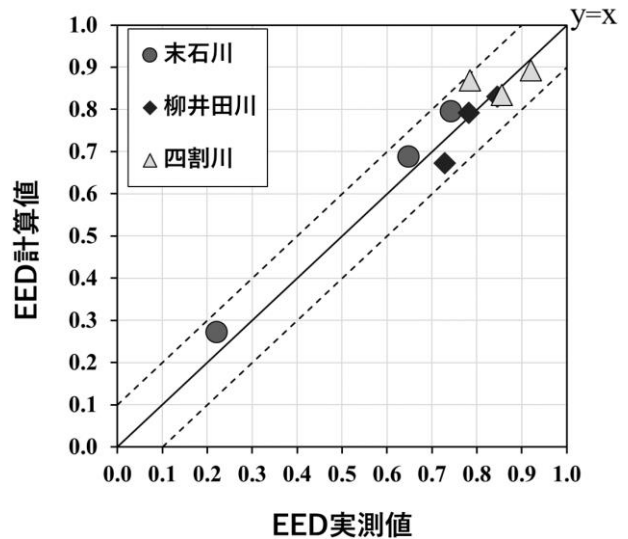


図-4 EED計算値とEED実測値の比較

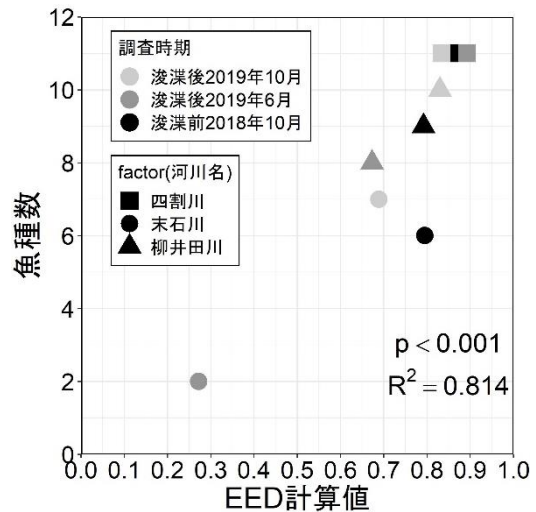


図-5 EED計算値と魚種数の比較

数および構成種は期間全体を通して変化は見られず、全河川の中で最も魚種数が多い結果となった。どの調査河川においても植生カバーや巨礫下で魚類が多く確認された。

b) 物理環境調査

表-3に、調査時期別の物理環境調査結果およびEED実測値を示す。時期的な流況変化をみると、末石川と柳井田川では、浚渫工事や季節の違い、2019年6月の流量の低下等により、調査毎の水深・流速の平均値及び標準偏差は変化した。四割川では流量変化は小さく、調査区間直上で浚渫工事が終了したこともあり、浚渫前後で流況にあまり変化が見られなかった。以上の流れ場の変化に伴い、四割川ではEEDがあまり変化しておらず、末石川で顕著な変化が見られた。

(2) EED実測値とEED計算値の比較

図-4にEED実測値とEED計算値の関係を示す。原理的には、より測点数が多いEED計算値の方が正しいと考え

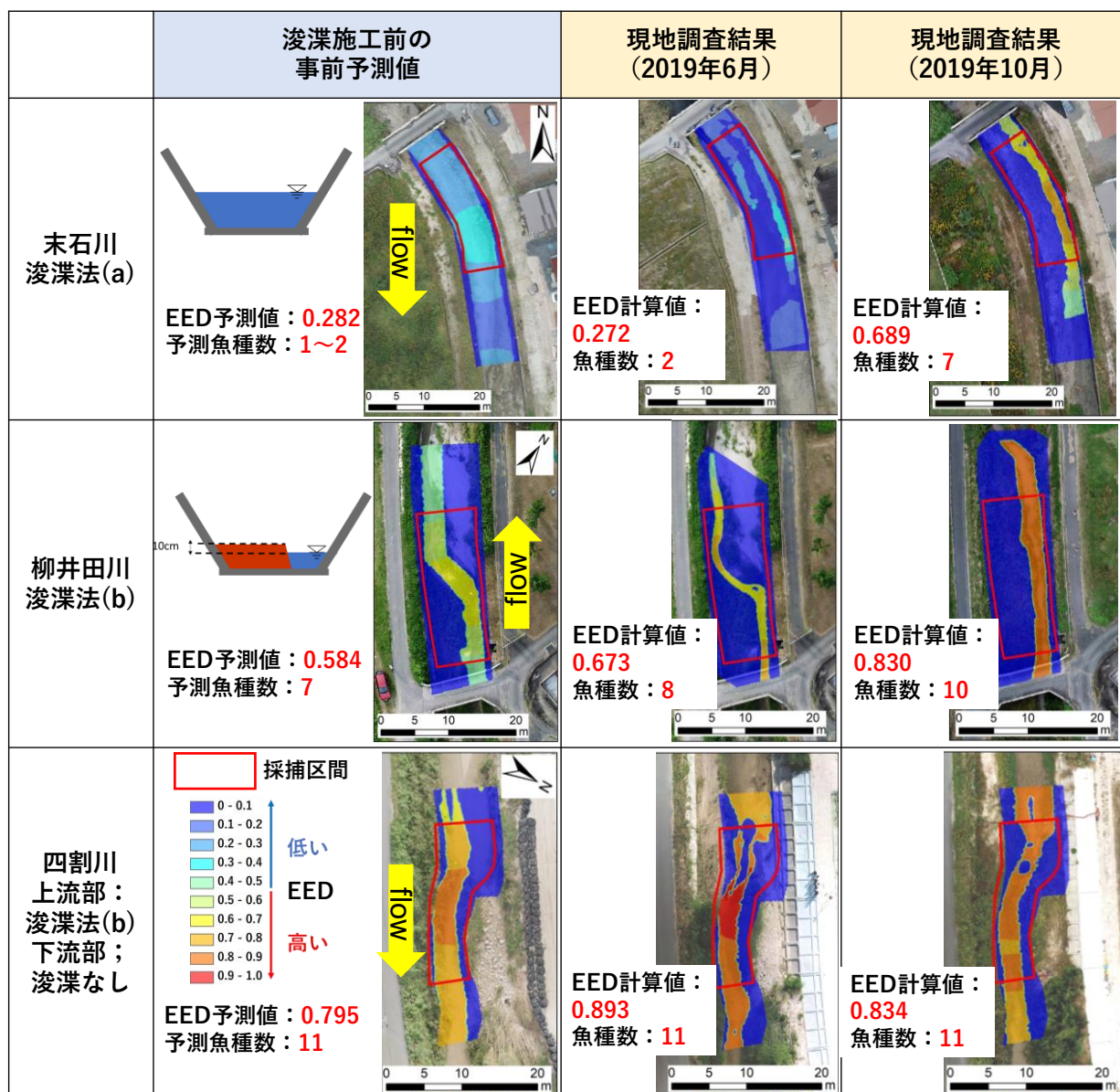


図-6 EEDと魚種数の事前予測結果と現地調査結果の比較

られるが、流況計算の再現性が低ければそう言えなくなる。本研究ではすべてのプロットが誤差0.1の破線内に収まっており、いずれのEEDも適切に計算されていると言える。

(3) EED算出結果及び魚種数との関係性

図-5にEED計算値と魚種数の比較を示す。既往研究²⁾では、同じ河川ではEEDが増加したときに魚種数が低下した事例はなかったが、図-5の末石川では低下がみられた。既往研究では1つの河川は同年度の1か月以内に調査されており、年度や季節が異なる今回の調査ではばらつきが大きくなったと考えられる。それでも全体的には既往の研究と同様EEDが0.1増加すると魚種が約1種類増加する傾向を示し、EEDと魚種数には強い正の相関($R^2=0.814$, $p<0.001$)が見られる結果となった。

(4) 浚渫工事施工前の予測結果と調査結果の比較

図-6に、浚渫後の河床地形に対するEED予測値とそれに基づく予測魚種数と、浚渫後の調査で得られた魚種数およびEED計算値を示す。図中の予測魚種数は、EEDが0.1増減すると魚種が1種増減するとして推定したものである。

事前予測値を浚渫後出水期前の2019年6月の現地調査結果と比較すると、末石川ではほぼ予測通りの結果が得られた。柳井田川では予想に反して6月には水際に植生が回復しており、このためにEEDは予測より約0.1大きく、魚種数も1種多くなった。一方四割川では同様の理由でEEDは約0.1大きい魚種数は変化していない。このように若干の不整合はあるものの、季節が違っても変わらず魚種数の予測誤差はいずれの河川でも1種以内であり、簡易予測法としては十分な精度を示した。

事前予測結果と浚渫後出水期後の2019年10月の現地調



図-7 末石川および柳井田川の河道変遷状況

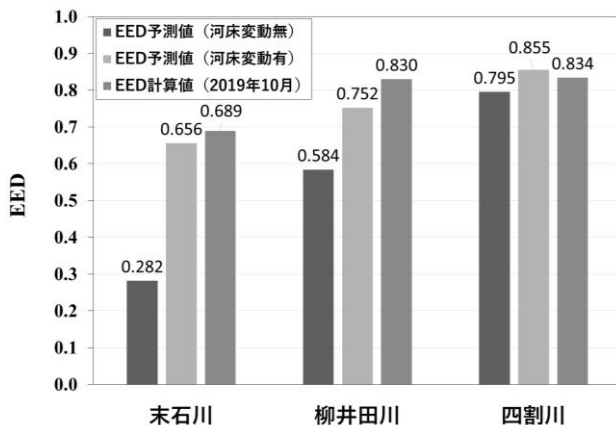


図-8 河床変動計算有無のEED計算値と浚渫後2019年10月調査段階時のEED計算値の比較

査結果と比較すると、四割川ではEEDおよび魚種数ともに精度良く予測出来ているが、他の2河川はEEDと魚種数ともに事前予測と現地調査結果に乖離がみられた。四割川では2019年6月から2019年10月の間の河床地形の変化は少なかったが、図-7のように末石川では河道の湾曲部に土砂が堆積し、柳井田川では流路の直線化と過剰な植生繁茂が生じたことが乖離の原因である。

(5) 河床変動計算結果を用いたEED予測

前節の結果を踏まえ、河床変動計算を含めた評価を行った。図-8に河床変動計算を用いて算出されたEED予測値と2019年10月調査時のEED計算値の比較を示す。全調査河川において、河床変動計算を組み入れることによりEEDの予測精度が向上した。柳井田川においては予測値と計算値になお若干の乖離が見られるが、前節と同様

予測値の計算では植生の繁茂を考慮していないことが原因と考えられる。

4. 結論

DHABSIMを用いて山口県の島田川3支川で浚渫が魚類の生息状況に与える影響を予測し、その精度を検証した。また、河床変動解析を評価に導入し、浚渫後の出水等による地形改変をも考慮した魚類生息場予測を試みた。得られた知見は以下のとおりである。

- EEDは季節や年度が異なっても対象河川の魚種数をおおむね説明できる。
- 土砂堆積や植生繁茂を考慮しなくて良い状況では、旧来のRiver2DとDHABSIMを組み合わせた魚類生息場予測法で浚渫工事後の魚種数をおおむね予測できる。
- 2年確率降雨に基づく洪水流量を与えた24時間分のNays2DHによる河床変動シミュレーションとDHABSIMを組み合わせることで、植生繁茂を考慮しなくて良い状況では工事竣工後出水期を経た後の魚種数をおおむね予測できる。

以上の結論の普遍性については、今後適用事例を増やして確認していく必要がある。また、植生繁茂の予測が残された課題である。

参考文献

- 1) 国土交通省河川局：多自然川づくり基本指針，2006
- 2) 伊藤浩文，関根雅彦，中村好希，神野有生，山本浩一，樋口隆哉，今井剛：中小河川における魚類生息場評価のための生態環境多様性指数の提案，土木学会論文集G（環境），Vol.72, No. 1, pp. 1-11, 2016.
- 3) 河川シミュレーションソフトiRIC：https://i-ric.org/
- 4) 大石哲也，高岡広樹，原田守啓，萱場祐一：中小河川改修時の川幅設定が河道の景観に与える影響，Vol. 70, No. 4, pp. I_997-I_1002, 2014.
- 5) 国土地理院HP：http://www.gsi.go.jp/kiban/
- 6) 国土数値情報ダウンロードサービス：http://nlftp.milt.go.jp/ksj/

(2020. 4. 2受付)