

耳川水系における潜在的な魚類分布の推定

PREDICTING POTENTIAL FRESHWATER FISH FAUNA IN THE MIMIKAWA RIVER SYSTEM

井原高志¹・齋藤剛²・鬼倉徳雄³

Takashi IHARA, Tsuyoshi SAITO and Norio ONIKURA

¹非会員 修(農) 西日本技術開発(株) 環境部(〒810-0004 福岡県福岡市中央区渡辺通1丁目1番1号)

²非会員 西日本技術開発(株) 環境部(〒810-0004 福岡県福岡市中央区渡辺通1丁目1番1号)

³非会員 博(農) 九州大学附属水産実験所(〒811-3304 福岡県福津市津屋崎4-46-24)

Kyushu Electric Power Company, which is responsible for dam installations, intend to carry out the sediment sluicing, incorporating Yamasubaru Dam, Saigou Dam, and Oouchibaru Dam. It is assumed that in response to the change in the amount of flow of sediment due to sediment sluicing at dams, there will be changes in the river environment. The purpose of this study was to use species distribution model (SDMs) developed by for each species by logistic regression analysis based on habitats and environmental variables(such as landscape and land use) to estimate the fish species that are likely to be potentially distributed downstream of the dam.

Key Words : Species Distribution Model:SDMs, sediment sluicing, GIS, GLM, ROC analysis,

1. はじめに

耳川水系では、上流からダムに流れ込む土砂をダム下流に通過させる3ダム(山須原ダム:河口から46.0km地点/西郷ダム:河口から36.2km地点/大内原ダム:河口から23.6km地点)連携のダム通砂運用が計画され¹⁾、一部運用が始まっている。ダム通砂による土砂流下の促進により、生物生息環境の再生などの様々な効果が期待されている²⁾が、河川の土砂動態が大きく変化するため、ダム下流の河川環境への影響等にも配慮が必要となる。ダム通砂運用を実施した場合の河川環境の主要な変化の一つとしては、ダム下流の河道形状や河床材料の粒度組成が変化することが想定されている。これらの変化は、魚類等の生物の生息環境の変化につながる可能性がある³⁾。

ダム通砂による魚類への効果・影響を、通砂前後の比較・評価(BA評価)⁴⁾で把握するためには、通砂実施前の魚類の生息状況や潜在的な分布状況を把握することが重要である。耳川水系では、大内原ダム下流の一部区間で、現況及びダム通砂による将来的な魚類の生息環境の変化を予測した事例が報告されている⁵⁾が、ダム下流河道全域で予測した事例はない。既往事例⁶⁾に従い河道全域で予測するためには、河道全域の河床材料の詳細変化についても予測する必要があり、膨大な検討コストがかかる。

上記の課題に対して、近年では、地理情報システム(GIS)データを活用して、災害被災地周辺河川広域の潜

在的な魚類相を推定した事例⁷⁾等が報告されている。

したがって本研究では、ダム通砂運用が行われている耳川水系を対象とし、地理情報システム(GIS)データを活用して魚類分布予測モデルを構築し、ダム下流に潜在的に分布する可能性が高い魚種を推定することを目的とした。

2. 方法

(1) 推定の手順

推定の手順は、現地調査で取得した魚類の在/不在データと国土数値情報から取得した環境情報(地形GISデータ)を用いて、魚種毎の分布予測モデル(GLM)を構築し、耳川水系広域の地形GISデータをモデルに外挿することで、水系内の潜在的な魚類分布を推定した。

(2) 研究対象地・現地調査

研究対象地は、ダム通砂運用が行われており、地形GISデータが公開されている耳川水系を対象とした。

魚類の在/不在データは、2018年9月10日~11日・9月18日~22日及び2019年9月26日~30日に、図-1に示す耳川水系84地点で現地調査を実施し取得した。なお、上記データは、潜水目視観察(1地点あたりの努力量:2名×1時間)により同定できた魚種に限り在/不在のデータを取得した。

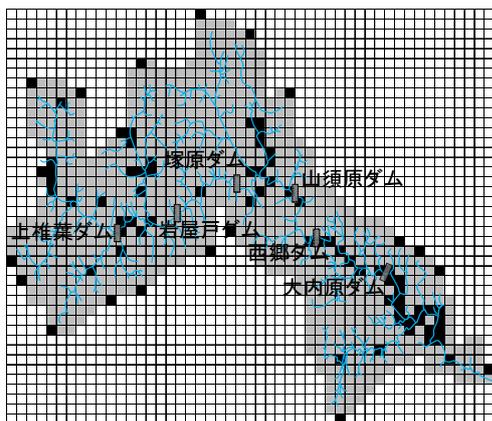


図-1 現地調査地点(—:河川 ■:調査地点)。

(3) 地形GISデータ

環境情報は、国土数値情報ダウンロードサービス (<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>) から入手した3次メッシュ(約1km×1km)のデータから地形GISデータ(3次メッシュ全854メッシュ)を抽出した。

地形GISデータは、鬼倉・中島(2020)⁹⁾で魚類の縦断分布に影響すると想定された平均標高(ELE)及び平均傾斜度(SLO)、横断分布に関連性を示すとされた土地利用3次メッシュの都市用地面積(URB)及び水田面積(RICE)、淡水域の規模を表す水面面積(AREA)、水域の長さや複雑さの指標となる総河川長(LINE)、河川の幅を表現した水面積/総河川長(AREA/LINE)、河川の合流数を表現した河川合流点(POINT)の8項目を抽出した。

(4) 解析

分布予測モデルは、各種の在/不在(1/0変数)を独立変数、地形GISデータを説明変数として、一般化線形モデル(GLM)を構築した。独立変数は二項分布に従うと仮定した。なお、予測モデルの応答曲線が凸状を描く可能性を考慮し、土地利用及び河川合流点を除く5変数(ELE, SLO, AREA, LINE, AREA/LINE)については、二乗項も加えて解析した。また、応答曲線が凹状を描いた場合や二乗項のみの単独の選択があった場合は、その二乗項を除外して再解析した。

また、モデル構築にあたっては、説明変数の総当たり全ての組み合わせのモデルを構築し、赤池情報量規準(AIC, Akaike1974)及びROC分析によるAUC(曲線下面積, Area Under the ROC Curve)の算出も行い、AUCが最も高いモデルを分布予測モデルに選定した。AUCは二項分布型のモデルの精度検証に利用でき⁴⁾、その値が0.7を超えると適正な精度、0.9を超えると高い精度と判断される¹⁰⁾。なお、これらの解析には「R ver.3.4.1(<https://www.r-project.org/>)」を用いた。

(5) 潜在的な魚類分布の推定

耳川水系で公開されている地形GISデータ(3次メッシュ全854メッシュ)を、AUCが0.7以上の適正な予測精

表-1 魚類の出現状況及びモデル構築対象種。

No.	目名	科名	和名	出現メッシュ数(全84メッシュ中)	予測モデル構築対象(●)
1	ウナギ目	ウナギ科	ニホンウナギ	15	●
2	コイ目	コイ科	コイ	22	●
3			ゲンゴロウブナ	5	
4			ギンブナ	18	●
5			オイカワ	53	●
6			カワムツ	56	●
7			タカハヤ	34	●
8			ウグイ	58	●
9			ゼゼラ	2	
10			カマツカ	44	●
11		ドジョウ科	ヤマシマドジョウ	1	
12	サケ目	アユ科	アユ	30	●
13		サケ科	ヤマメ	17	●
14	ボラ目	ボラ科	ボラ	2	
15	ダツ目	メダカ科	ミナミメダカ	2	
16	スズキ目	ユゴイ科	ユゴイ	5	
17		カマキリ科	カマキリ	14	●
18		ハゼ科	ボウズハゼ	38	●
19			ヌマチチブ	38	●
20			シマヨシノボリ	32	●
21			ルリヨシノボリ	3	
22			オオヨシノボリ	36	●
23			ゴクラクハゼ	28	●
24			スミウギゴリ	17	●
25			ウキゴリ	8	●

度を持つモデルに外挿し、メッシュごとの各魚種の分布の可能性を算出した。

なお、各魚種の潜在的な分布の可能性(予測値)に対する在/不在間の閾値も、ROC分析によるAUC算出結果を使用した。ROC分析において最適の判別を意味するAUC=1.0に最も近い点を独立変数のカットオフ値とし、カットオフ値以上で在、未満で不在と判断した。

3. 結果

現地調査では、25種の魚類が確認された(表-1)。出現メッシュ数が8地点未満のゲンゴロウブナ、ゼゼラ、ヤマシマドジョウ、ミナミメダカ、ユゴイ、ルリヨシノボリ及び汽水・海水魚のボラの計7種は、在データが少なく予測精度が確保できない可能性があったため、モデル構築の対象外とした。

上記7種を除いた計18種の魚類について、分布予測モデルを構築した結果、いずれも予測精度が適正または高い(AUC≥0.7)分布予測モデルが構築された(表-2)。ELEやSLOなどは、半数を超える魚種の分布予測モデルで説明変数に選択された。また、AREA等を説明変数に含む魚種は半数以下であった。

これらの分布予測モデルを用い、水系内の3次メッシュの潜在的な分布を推定した。ダム下流河道の推定結果を表-3に示す。山須原ダム下流河道(42.2~46.0km/8メッシュ)で、在と推定されたメッシュ数が多かった上位3種は、ウグイ、カワムツ、タカハヤ、西郷ダム下流河道(30.8~36.2km/6メッシュ)での上位3種は、ウグイ、カマツカ、オイカワ、大内原ダム下流河道(4.8~23.6km/24メッシュ)では、ウグイ、オイカワ、アユ、ボウズハゼであった。全てのダムの下流河道で在と推定された種は、ウグイ、カワムツ、タカハヤ、オイカワ、カマツカの5種であり、山須原ダム下流河道ではコイやギンブナ等の12種が、西郷ダム下流河道ではヤマメやギンブナ等の6種が不在と推定された。

表-2 各魚種のモデルに選択された説明変数の係数.

No. 魚種	AUC	切片 (Intercept)	平均標高 (ELE)	平均傾斜度 (SLO)	都市用地面積 (URB)	水田面積 (RICE)	水面面積 (AREA)	総河川長 (LINE)	水面積/ 総河川長 (AREA/LINE)	河川合流点 (POINT)
1 ニホンウナギ	0.873	-0.070	-0.025*	0.133						0.263
2 コイ	0.791	-2.444***					0.00002***		-0.003	
3 ギンブナ	0.750	-2.655***					0.00002*		0.005	
4 オイカワ	0.888	2.574	-0.008	-0.053			0.000005*			
5 カワムツ	0.843	-1.292	凸 0.001	0.131				0.001*		
6 タカハヤ	0.797	-4.213***		0.151*				0.002***		
7 ウグイ	0.803	1.473	-0.004***	0.018			0.000004			
8 カマツカ	0.817	0.722	-0.004***				0.00002*		-0.021*	
9 アユ	0.907	1.820*	-0.026***	0.123						
10 カマキリ	0.870	0.585	-0.023	0.060						
11 ボウズハゼ	0.979	6.512***	-0.046***							
12 スミウキゴリ	0.854	0.186	-0.015*				0.000006			
13 ウキゴリ	0.836	-0.737	-0.015				0.000004			
14 シマヨシノボリ	0.909	2.132	-0.035	0.208						
15 オオヨシノボリ	0.958	0.672	凸 0.014	0.261						
16 ゴクラクハゼ	0.921	1.668*	-0.034***	0.210						
17 スマチチブ	0.850	4.124***	-0.027***							
18 ヤマメ	0.951	-11.13*		0.500*				0.003*	-0.063	

係数の信頼性:***p<0.01, *p<0.05/凸:一乗項が正かつ二乗項が負となった変数

表-3 ダム下流河道の在メッシュ数.

No. 魚種	山須原ダム下流河道(8メッシュ) のうちの在メッシュ数	No. 魚種	西郷ダム下流河道(6メッシュ) のうちの在メッシュ数	No. 魚種	大内原ダム下流河道(24メッシュ) のうちの在メッシュ数
1 ウグイ	6	1 ウグイ	6	1 ウグイ	24
1 カワムツ	6	1 カマツカ	6	1 オイカワ	24
3 タカハヤ	4	1 オイカワ	6	3 アユ	23
4 オイカワ	3	4 カワムツ	4	3 ボウズハゼ	23
5 ヤマメ	2	5 アユ	3	5 ゴクラクハゼ	22
5 カマツカ	2	5 ボウズハゼ	3	6 オオヨシノボリ	21
7 ニホンウナギ	0	5 タカハヤ	3	6 スマチチブ	21
7 アユ	0	5 オオヨシノボリ	3	8 カマツカ	18
7 ボウズハゼ	0	5 ゴクラクハゼ	3	8 スミウキゴリ	18
7 カマキリ	0	5 スマチチブ	3	10 カマキリ	16
7 スミウキゴリ	0	11 スミウキゴリ	2	11 ニホンウナギ	15
7 ウキゴリ	0	12 コイ	1	11 ウキゴリ	15
7 コイ	0	13 ニホンウナギ	0	11 カワムツ	15
7 ギンブナ	0	13 ヤマメ	0	11 シマヨシノボリ	15
7 シマヨシノボリ	0	13 カマキリ	0	15 コイ	11
7 オオヨシノボリ	0	13 ウキゴリ	0	16 タカハヤ	10
7 ゴクラクハゼ	0	13 ギンブナ	0	17 ギンブナ	6
7 スマチチブ	0	13 シマヨシノボリ	0	18 ヤマメ	1

赤字:各ダムの下流河道で在と予測された種/黒:不在と予測された種

4. 考察と今後の展望

(1) 考察

一般に淡水魚類の種数は、下流ほど種数が多いことが報告されている⁶⁾。本研究においても、多くの魚種で、ELEが低いほど潜在的な分布の可能性が高いと推定された(表-2)。魚種毎にみると、同一河川内では中流から下流側にオイカワが、中流から上流側にカワムツが分布することが報告されており⁷⁾、本研究においても、オイカワはELEが低いほど、カワムツはELEが中程度で潜在的な分布の可能性が高いと推定された。また、淵やダム貯水池等規模が大きな止水環境に生息するコイやギンブナは、淡水域の規模を表すAREAが大きいほど潜在的な分布の可能性が高いと推定された。これらの結果から、本研究で構築した分布予測モデルは、統計的な予測精度が適正で、かつ既往文献や魚類の生態的な知見とも一致しており、水系内の潜在的な分布は概ね予測可能であると考えられる。

また、推定の結果から、ダム下流河道において、潜在的な魚類分布状況が、区間によって異なることが明らかとなった。ウグイ、カワムツ、タカハヤ、オイカワ、カマツカの5種は、各ダムの下流河道に潜在的に分布すると推定されており、モニタリングの視点でダム通砂後の影響や効果を評価する指標種となりうる。また、最も下流の大内原ダム下流河道では、回遊性魚類のアユやボウ

ズハゼが河道全域に分布すると推定されており、これらの種も指標種となりうるだろう。

これらの種のうち、カマツカやボウズハゼは、河床粒度との関係性が高い²⁾底生魚で、カマツカ：砂底のところが多い/ボウズハゼ：珪藻類がよく付着する大きな河床材料を好む可能性がある²⁾といった生態的な知見も一般的に知られている。ダム通砂による河川環境の主要な変化の一つは、ダム下流の河床材料の粒度組成が変化することであり、これらを考慮すると、カマツカやボウズハゼは、ダム通砂後の影響や効果を特に受けやすい指標種と考えられる。そして、今回のモデル推定から、前者は3ダム全てにおいて、後者は下流の2ダム(西郷、大内原ダム)において、潜在的な在が確認(ただし、両側回遊魚であるボウズハゼは、大内原ダムで分布が制限される²⁾)されており、ダム通砂の影響の指標生物として特に優れると判断できる。

さて、本研究の推定結果は、河川生態系の階層構造の下位の条件(ハビタットスケール以下)が予測に含まれておらず、予測は在であっても実際には不在となるような箇所は、ハビタットスケールの物理環境がその種に適した条件を満たしていないことを意味している⁴⁾。

カマツカの場合、既往事例や生態的な知見²⁾を考慮すると、予測は在であっても砂分含有率が低ければ実際には不在になると考えられる。このような箇所は、ダム通砂による砂分の供給でカマツカの生息環境が改善される可能性があり、河川本来の潜在的な魚類生息状況に近づ

くという観点で、ダム通砂による効果が期待される。

一方ボウズハゼの場合、石分含有率が低ければ実際には不在となる可能性が高い。しかし、ダム通砂により河床全面が砂化し石分含有率が著しく低下する可能性は低く²⁾、ダム通砂によりボウズハゼの生息環境が悪化する等の可能性は、潜在的な分布の推定からも低いものと考えられる。

本研究ではモデルの精度をより高めるため、現地調査で収集した全ての魚類相データをモデル構築に使用した。その結果、統計的な精度の検証を行えなかったことは課題のひとつであろう。ただし、本研究以前に行った魚類相調査結果(2015年11月、大内原ダム下流18.8~23.6km区間の21地点、6メッシュが該当)²⁾と今回の予測結果を比べると、ウグイ、カワムツ、タカハヤ、オイカワ、カマツカ等の出現上位種で概ね70%以上の的中率を示していた。九州の淡水魚類において、別途、検証用データを使ってモデルの精度を評価した研究として、九州北西部でモデルを構築し、北東部で精度を評価したタナゴ類の事例⁹⁾があるが、評価先でのAUCは低下している。鬼倉・乾(2011)⁷⁾は、類似した環境構造を持つ地域や水系への当てはめでない限り、モデルの汎用性は期待できないことを示唆しており、耳川水系内のデータで構築した本モデルは、同水系内での使用に限定することが望ましいと考えている。また、今後、継続的に実施されるダム通砂事業のモニタリング調査で得られたデータを蓄積し、それを活用し精度の検証とモデルの再構築を繰り返すことで、予測の質的向上が図れるものと考えている。

(2) 今後の展望

既存の生物分布データ及び広域で公開されている地形GISデータを活用し、生物の分布状況を推定する手法は、大災害発生直後の潜在的な魚類相の推定などへ応用を試みる研究⁸⁾や、国土交通省九州地方整備局による「多自然川づくり支援システム」の開発⁹⁾等が報告されている。

本研究成果についても、今後の活用・実装を想定し、本成果を比較的容易に閲覧するため、「地理院地図」及び「Leaflet」(Copyright (c) 2010-2018, Vladimir Agafonkin, Copyright (c) 2010-2011, CloudMade)を利用したWebGISシステム「魚類分布ポテンシャル予測システム」を開発(図-2)したので、今後の展望として、以下に報告する。ダム通砂指標生物の一次選定手法として、また河川整備時に環境配慮事項を検討する際の支援ツールとして、本研究が少しでも寄与することを期待する。

■魚類分布ポテンシャル予測システムの主な機能

本研究成果から、耳川水系全域の分布ポテンシャルマップ(分布確率が4段階表示)を作成し、魚種ごとに閲覧が可能なシステムを構築した。また、メッシュ内の物理環境条件が大きく変わった際に、在/不在の変化を再計算するシミュレーションを構築した。なお、本シミュ

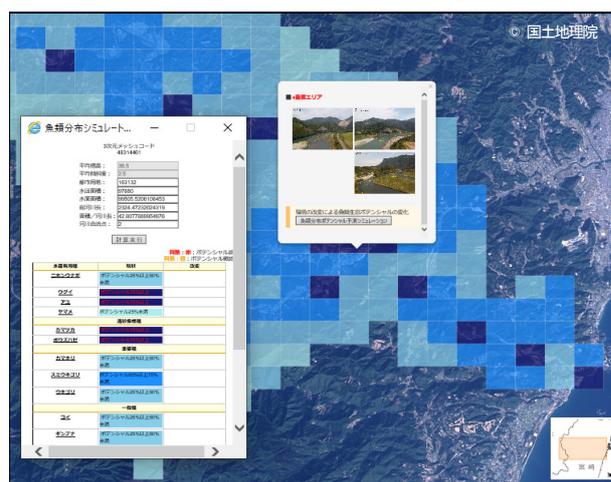


図-2 魚類分布ポテンシャル予測システムの構築例。

レーションは、ダム建設等の直接的な影響を加味した予測ではないことに留意が必要である。

謝辞: 現地調査の実施及びデータ分析等にあたり、ご指導・ご協力を頂いた流域関係漁協、九州電力(株)の関係各位に深く感謝の意を表します。本研究は、2018~2019年度西日本技術開発(株)研究開発費の助成を受け行った。

参考文献

- 1) 川上馨詞, 吉村健, 新屋裕生: 耳川水系ダム通砂に向けた河川環境調査結果に基づくモニタリング計画の概要, 河川技術論文集, 第22巻, pp.115-118, 2016.
- 2) 井原高志, 川上馨詞, 坂田賢亮, 鬼倉徳雄: 耳川水系ダム通砂実施計画の策定に向けたダム通砂による魚類への影響予測, 河川技術論文集, 第23巻, pp.663-668, 2017.
- 3) 国土技術政策総合研究所; 土木研究所: ダムと下流河川の物理環境との関係についての捉え方, 2009.
- 4) 鬼倉徳雄, 中島淳: 平成29年7月九州北部豪雨被災地域の潜在的な淡水魚類相の推定, 応用生態工学, 第23巻, pp.171-183, 2020.
- 5) Akobeng A. K. : Understanding diagnostic tests 3: Receiver operating characteristic curves, Acta Paediatrica, No.96, pp.644-647, 2007.
- 6) Petty, A. C. and Schulz, U. H.: Longitudinal changes and indicator species of the fish fauna in the subtropical Sinos River, Brazil, Journal of fish biology, 69(1), pp.272-290, 2006.
- 7) 鬼倉徳雄, 乾隆帝: 河川生態系保全のための淡水魚類の分布予測の試み, 環境管理, 第40巻, pp.20-28, 2011.
- 8) Norio, O. Jun, N. Takuya, M. Kouichi, K. and Shinji, F. : Predicting distributions of seven bitterling fishes in northern Kyushu, Japan, Ichthyological Research, No.59, pp.124-133, 2012.
- 9) 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, 第25巻, pp.363-368, 2019.

(2021. 4. 2受付)