

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

EXPECTED IMPACT OF SEDIMENT SLUICING AT DAMS ON THE FISH FOR MANAGEMENT PLAN OF SEDIMENT SLUICING AT DAMS IN THE MIMIKAWA RIVER BASIN

井原高志¹・川上馨詞²・坂田賢亮²・鬼倉徳雄³

Takashi IHARA, Keiji KAWAKAMI, Kensuke SAKADA, Norio ONIKURA

¹農修 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会員 工修 九州電力(株) 耳川水力整備事務所(〒883-8533 宮崎県日向市北町1-112)

³農博 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)

“Mimikawa River Basin Integrated Sediment Flow Management Plan” was compiled in 2011 by the Miyazaki Prefecture, as triggered by the huge sediment disaster due to the Typhoon Nabi, in 2005. 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. We tried to expect the impact of sediment sluicing at dams on the fish for management plan of sediment sluicing at dams in the mimikawa river basin.

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

1. はじめに

九州南東部に位置する宮崎県耳川水系では、平成17年の台風14号により、河川やダム貯水池に大量の土砂が流れ込み、流域市町村で甚大な浸水被害が発生した。この台風14号による未曾有の災害を契機に、河川管理者である宮崎県は、耳川水系総合土砂管理計画を平成23年10月に策定した¹⁾。

耳川水系内に8つのダムと発電所を有する九州電力(株)は、耳川水系総合土砂管理計画の中核的な事業として、ダム改造及びダム運用変更を行い、山須原、西郷及び大内原ダムによる3ダム連携のダム通砂を計画している。

耳川水系でのダム通砂とは、台風による大規模出水時に貯水池の水位を低下させ、河川状態をつくりだすことにより、上流からダムに流れ込む土砂をダム下流に通過させるものである²⁾。ダム通砂により、洪水時の土砂がダム下流に自然流下されることで、洪水時の貯水池への土砂堆積とそれに伴う水位上昇から発生する洪水被害の軽減が図られる。耳川水系では、治水面からの運用方法の検討結果より、山須原、西郷ダムについては、洪水の

減水期のみ自然流下状態とする運用、大内原ダムについては、事前に水位を低下させる運用(ダム通砂基本操作)が最適であることがわかっている³⁾。また、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が、河川の土砂動態が大きく変化するため、ダム下流の環境への影響等に配慮したダム通砂を計画する必要がある。

ダム通砂基本操作を実施した場合の河川環境の主要な変化の一つとして、ダム下流の河床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⁴⁾。河床形状や河床材料などの物理環境の変化は、生物の生息・生育場の変化につながる可能性がある⁵⁾。また、これまで、ダム通砂による生物の生息・生育場の変化を予測した事例等はほとんどない。本研究では、ダム通砂による将来的な魚類の生息・生育場の変化を予測・評価し、ダム下流の環境への影響等に配慮したダム通砂実施計画の策定に資することを目的とした。

2. 方法

(1) 予測手法の手順

予測手法の手順を図-1に示す。現地調査で取得した魚類相データを用いて、調査箇所ごとの魚類相の類似性を調べるとともに、魚類相区分ごとに河床粒度との関係性が深い2魚種を選定し、それらを予測対象種とした。次に各予測対象種の出現予測モデルを構築し、平面二次元河床変動計算モデルでの物理環境の予測値を挿入することで、大内原ダム下流区間での各種の出現ポテンシャルを予測し、その評価を行った。

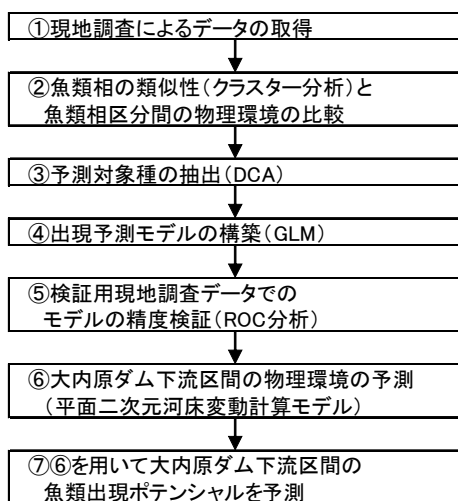


図-1 予測手法のフロー。

(2) 研究対象地

現地調査実施箇所は、ダム通砂運用を行う山須原ダム上流から河口までを対象とし、代表的な支川であるセツ山川及び坪谷川も対象とした。

予測範囲は、既往の検討⁹⁾により河床粒度の変化が最も大きく現れると予測された大内原ダム下流(河口からの距離：18k800-23k600/区間7⁹⁾)を対象とした。なお予測範囲を、河川横断方向約5m、縦断方向約20mの4158メッシュ(縦断方向231区分×横断方向18区分)で区分し、各メッシュについてダム現行操作時及びダム通砂運用時の物理環境及び魚類出現ポテンシャルを予測した。

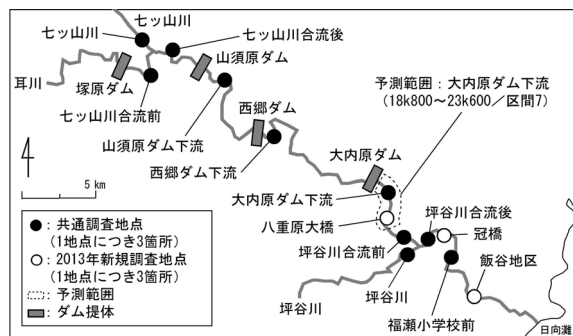


図-2 調査地点(各地点3箇所)と予測範囲。

(3) 現地調査

生物生息データ及び物理環境データは、2012年11月5日～9日に10地点×3箇所の計30箇所、2013年11月6日～12日に2012年と同様の30箇所と新規3地点×9箇所の計39箇所の合計69箇所で現地調査を実施し取得した。

生物生息データは、上記69箇所で、投網(目合い12mm/1箇所あたりの努力量：10投)、タモ網またはサデ網(目合い2mm/1箇所あたりの努力量：15分)を用いた定量的な採集を行い、魚類の在/不在を取得した。

物理環境データは、上記69箇所で、代表的な流速・水深(それぞれ上流中流下流の3ライン上の各3ポイントを計測し、その計9データの平均値)及び面積格子法(日本河川協会, 1997)による粒度分布(代表粒径値・砂分含有率・均等係数)を現地計測によって取得した。

(4) 魚類相の類似性(クラスター分析)と物理環境

現地調査で確認された魚類相の特徴を把握するために、出現箇所6以上の12種の魚類の在/不在データを用いて、魚類が確認されなかった箇所を除く62箇所についてJaccardの類似度を算出し、クラスター分析(群平均法)を行った。また、魚類相区分ごとの物理環境を把握するために、クラスター分析で分類された調査箇所のグループ間の物理環境について、Mann-WhitneyのU検定を用いて比較した。なおクラスター分析には「PC-ORD(Version 4 for Windows)」を、Mann-WhitneyのU検定には「エクセル統計2010」を用いた。

(5) 予測対象種の抽出(除歪対応分析：DCA)

現地調査で確認された魚類のうち、河床粒度等の物理環境との関係性が深い予測対象種を抽出するため、12種の魚類の在/不在データ(出現箇所6以上の種、魚類が確認されなかった箇所を除く62箇所)と平均流速(CV)、平均水深(WD)、中央粒径値(MPS)、代表粒径値(PS)、砂分含有率(S)、レキ分含有率(R)、石分含有率(I)、均等係数(UC)、曲率係数(UCC)、標高(H)、ダムからの距離(DL)の11の物理環境データを用いて、Jaccardの類似度に基づいた除歪対応分析(DCA)を行った。なお除歪対応分析には「PC-ORD(Version 4 for Windows)」を用いた。

(6) 出現予測モデルの構築(一般化線形モデル：GLM)

出現予測モデルは、予測対象種の在/不在を1/0変数に置き換えて目的変数に、取得した物理環境データを説明変数とした一般化線形モデル(GLM)の構築を行った。また目的変数は二項分布に従うと仮定した。なおモデル構築にあたっては、説明変数の総当たり全てのモデルを構築し、赤池情報量規準(AIC, Akaike 1974)及びROC分析によるAUC(曲線下面積, Area Under the ROC Curve)の算出も行った。

なおこれらの解析には、「R ver.2.15.3(<https://www.r-project.org/>)」を用いた。

(7) 出現予測モデルの精度検証(ROC分析)

構築した出現予測モデルの精度検証のために、2015年11月11日～13日に大内原ダム下流の21箇所で現地調査を実施し、生物生息データ及び物理環境データを取得した。

生物データの取得は、モデル構築時と努力量を合わせ、適宜捕獲努力量を補正し採集を行い、魚類の在／不在を取得した。

物理環境データの取得は、モデル構築時と同様の項目・方法で流速・水深及び面積格子法による粒度分布(代表粒径値・砂分含有率・均等係数)を現地計測によって取得した。

現地調査で取得した物理環境データを用いて、(6)で構築した出現予測モデルにより、各調査箇所(21箇所)の出現ポテンシャルを予測した。

これらの予測結果及び現地調査で取得した予測対象種の在／不在の実測データを用いて、ROC分析⁶⁾、⁷⁾により、出現予測モデルの精度を検証した。ここでは、各調査箇所の予測値を連続変数、予測対象種の在／不在の実測値を二値変数として、ROC分析を行い精度を検証した。

(8) ダム現行操作時及びダム通砂運用時における出現ポテンシャルの予測

既往の検討²⁾により構築された平面二次元河床変動計算モデルを用いて、予測範囲(大内原ダム下流(河口からの距離：18k800-23k600/区間⁷⁾))のダム現行操作時及びダム通砂運用時の物理環境を予測した。

なお、予測範囲の河床形状及び河床粒度への影響が最も大きく現れる通砂条件(ピーク流量：1/5確率流量；大内原ダム地点2,100m³/s、ダム通砂時間：実績波形のうち最緩波形；ダム通砂時間が長い条件)での予測値をダム通砂運用時の物理環境値、上記通砂条件と同様の流量設定でダム通砂を行わない現行操作条件での予測値をダム現行操作時の物理環境値とした。

これらの物理環境の予測結果を用いて、構築した出現予測モデルにより、予測範囲内の魚類出現ポテンシャルを予測した。

3. 結果

(1) 出現魚種と魚類相区分

69箇所で現地調査を実施した結果、21種の魚類が確認された。また、5箇所で魚類が採集されなかった。出現箇所が6以上の種は、オイカワ・カワムツ・タカハヤ・ウグイ・カマツカ・アユ・ボウズハゼ・ゴクラクハゼ・シマヨシノボリ・オオヨシノボリ・トウヨシノボリ・ヌマチチブの12種であった。

これらの魚類の在・不在データを用いてクラスター分析を行ったところ、調査箇所は4グループに分類された(図-3)。そのうち、グループA とD は単独の調査箇所

構成されており、大きくはグループB とCの概ね2つに分類された。

グループB の代表的な出現種は、タカハヤ(本グループのみで確認)・カマツカ(22箇所のうち21箇所が本グループで確認)であり、グループC の代表的な出現種は、ボウズハゼ(19箇所のうち18箇所が本グループで確認)・シマヨシノボリ(13箇所のうち12箇所が本グループで確認)・オオヨシノボリ(本グループのみで確認)であった。

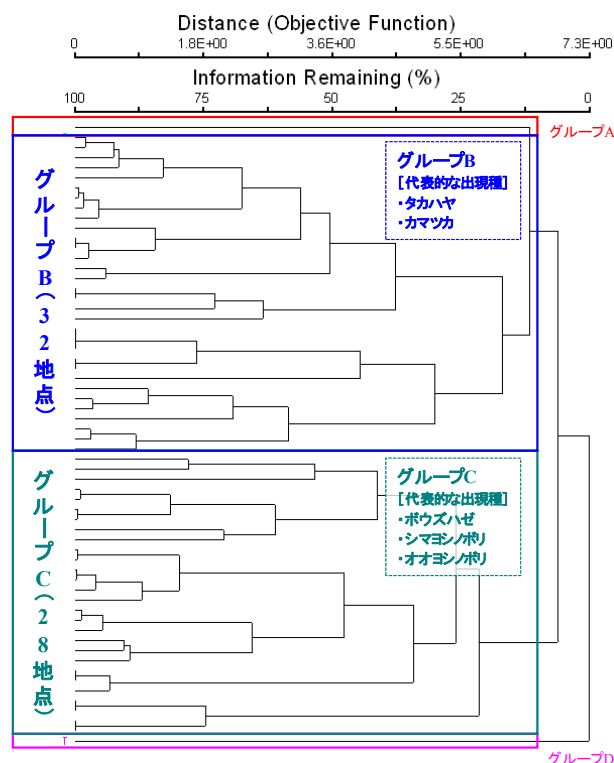


図-3 クラスター分析に基づく魚類相の類似性。

グループB とC の物理環境を比較したところ(図-4及び5)、曲率係数を除く7項目について、有意な差がみられた。グループB は、平均流速が遅く、平均水深が深く、粒径が小さく、砂分含有率が高い環境であるのに対し、グループC は、平均流速が速く、平均水深が浅く、粒径が大きく、石分含有率が高い環境であった。

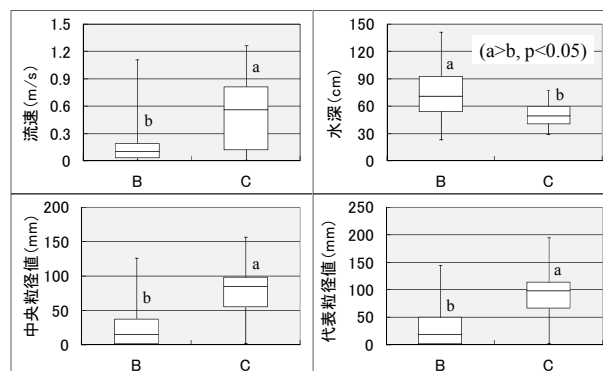


図-4 魚類相区分B、C間の物理環境の比較その1。

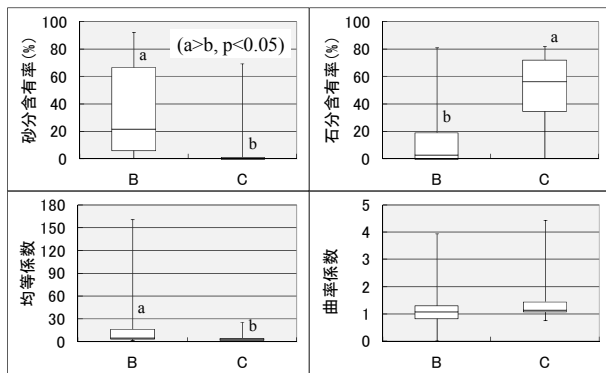


図-5 魚類相区分B、C間の物理環境の比較その2.

(2) 予測対象種の抽出(除歪対応分析 : DCA)

DCAプロットを図-6に示す。クラスター分析によって区分されたグループB とグループCは、DCAにおいても第1軸(Axis 1)で分けられた。

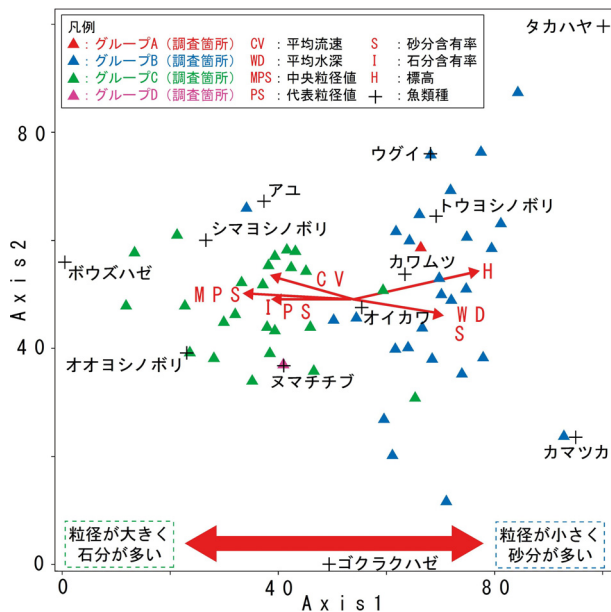


図-6 除歪対応分析(DCA)の結果.

DCA の第1軸および第2軸と上記の物理環境について、スピアマンの順位相関係数を算出した結果、第1軸では平均流速(CV)、平均水深(WD)、中央粒径値(MPS)、代表粒径値(PS)、砂分含有率(S)、石分含有率(I)、標高(H)について相関関係がみられ、第2軸では相関関係がみられなかった。

第1軸との関係性を項目別にみると、平均水深(WD)、

砂分含有率(S)、標高(H)が第1軸と正の関係性を示しており、平均流速(CV)、中央粒径値(MPS)、代表粒径値(PS)、石分含有率(I)が第1軸と負の関係性を示していた。

これらの結果より、第1軸の正方向にプロットされた生物種(第1軸の生物スコアが高い種)は、流速が遅く、粒径が小さく、砂分が多い環境に生息する種であり、第1軸の負方向にプロットされた生物種(第1軸の生物スコアが低い種)は、流速が速く、粒径が大きく、石分が多い環境に生息する種と判断できる。

DCA第1軸の生物スコアが他に比べ著しく高い種はタカハヤとカマツカであった。このうち、カマツカは河床粒度との関係性が高い底生魚類であり、砂底ないし砂礫底のところに多い⁶⁾といった生態的な知見と一致した。

DCA第1軸の生物スコアが他に比べ著しく低い種はボウズハゼであった。ボウズハゼもまた、河床粒度との関係性が高い底生魚類であり、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⁶⁾といった生態的な知見と一致していた。

これらの結果より、ダム通砂により変化が想定されている河床材料との関係性が高い種として、予測対象種は底生魚類であるカマツカ及びボウズハゼとした。

(3) 出現予測モデルの構築

予測対象種のうち、淡水性魚のカマツカは大内原ダムより上流でも確認されたため、全調査箇所のデータを用いた。在／不在を1／0変数に置き換えて目的変数に、DCAの結果及び既知の生態情報より関係性が高いと考えられる説明変数として、平均流速・平均水深・代表粒径値・砂分含有率・均等係数・砂分含有率2乗項の6項目を選び、出現予測モデルを構築した。その結果(表-1)、AICが最も低かったモデルに選択された変数は、平均流速、代表粒径値であった。上位5モデル中の4モデルで砂分含有率及び砂分含有率の二乗項が、3モデルで平均流速及び代表粒径値が選択された。平均水深及び均等係数は、上位5モデルでは選択されなかった。上位5モデルのAUCはいずれも0.9を超えており、モデル構築を行った地点での当てはまりは精度が高いと判断された。

両側回遊性魚であるボウズハゼは大内原ダムで分布が制限される。そのため、本解析では大内原ダムより下流の39箇所のデータを取り扱った。カマツカと同様に、在／不在を1／0変数に、DCAプロットと既知の生態情報を加味して、平均流速・平均水深・石分含有率・石分含

表-1 カマツカの出現予測モデルに関する統計値.

Model	AIC	ΔAIC	wi	AUC	Intercept (切片)			CV (平均流速)			WD (平均水深)			PS (代表粒径値)			S (砂分含有率)			UC (均等係数)			(S) ² (砂分含有率二乗項)		
					CE	SE	CE/SE	CE	SE	CE/SE	CE	SE	CE/SE	CE	SE	CE/SE	CE	SE	CE/SE	CE	SE	CE/SE	CE	SE	CE/SE
1	51.78	0.00	0.063	0.920	1.906	0.611	3.119***	-2.792	1.579	1.769				-0.043	0.013	3.197***									
2	51.82	0.04	0.061	0.933	-0.991	1.266	0.783							-0.023	0.017	1.369	0.136	0.065	2.097*				-0.001	0.001	1.876
3	52.07	0.30	0.054	0.937	-2.774	0.600	4.620***										0.204	0.056	3.666***				-0.002	0.001	2.921***
4	52.09	0.32	0.053	0.938	-0.243	1.377	0.176	-2.016	1.649	1.223				-0.022	0.017	1.298	0.115	0.066	1.745				-0.001	0.001	1.607
5	52.21	0.44	0.050	0.930	-1.942	0.789	2.463*	-2.003	1.595	1.255							0.176	0.057	3.07***				-0.002	0.001	2.496*
Null	88.39	36.61	0.000	0.500				-0.759	0.258	2.939*															

CE:係数推定値
SE:係数推定値の標準誤差
|CE/SE|標準化係数
Significance levels of coefficients (係数の信頼性): ***p<0.01, *p<0.05

出現ポテンシャルの予測に用いるモデル

表-2 ボウズハゼの出現予測モデルに関する統計値.

Model	AIC	ΔAIC	wi	AUC	Intercept (切片)			CV (平均流速)			WD (平均水深)			I (石分含有率)			(I) ² (石分含有率二乗項)		
					CE	SE	(CE/SE)	CE	SE	(CE/SE)	CE	SE	(CE/SE)	CE	SE	(CE/SE)	CE	SE	(CE/SE)
1	17.08	0.00	0.507	0.992	-15.971	7.784	2.052***	10.737	4.971	2.160***				0.705	0.340	2.071***	-0.008	0.004	2.114***
2	17.14	0.06	0.491	0.992	-57.618	74.926	0.769***	56.664	75.610	0.749***	-0.868	1.256	0.691	4.822	6.564	0.735***	-0.054	0.072	0.739***
3	28.99	11.91	0.001	0.947	-2.633	4.058	0.649**				-0.088	0.054	1.627	0.443	0.159	2.779***	-0.005	0.002	2.832***
4	30.32	13.24	0.001	0.942	-7.712	3.154	2.445***							0.428	0.147	2.917***	-0.004	0.001	2.957***
5	32.19	15.11	0.000	0.916	-2.555	0.792	3.225***	6.531	1.906	3.426**									
Null	56.04	38.96	0.000	0.500	-0.051	0.320	0.159***												

CE:係数推定値
SE:係数推定値の標準誤差
|CE/SE|:標準化係数
Significance levels of coefficients (係数の信頼性):***p<0.01, **p<0.05

出現ポテンシャルの予測に用いるモデル候補

表-3 ボウズハゼの出現予測モデル再構築に関する統計値.

reModel	AIC	ΔAIC	wi	AUC	Intercept (切片)			CV (平均流速)			WD (平均水深)			I (石分含有率)			(I) ² (石分含有率二乗項)		
					CE	SE	(CE/SE)	CE	SE	(CE/SE)	CE	SE	(CE/SE)	CE	SE	(CE/SE)	CE	SE	(CE/SE)
1	44.34	0.00	0.722	0.939	-8.097	2.971	2.725***	5.618	1.694	3.316***				0.316	0.119	2.649***	-0.003	0.001	2.789***
2	46.29	1.94	0.274	0.845	-8.569	3.568	2.401*	5.869	2.012	2.917***	0.005	0.021	0.245	0.319	0.120	2.670***	-0.003	0.001	2.800***
3	57.65	13.30	0.001	0.887	-2.056	0.518	3.972***	4.881	1.190	4.101***									
4	58.17	13.83	0.001	0.874	-2.748	2.282	1.204				-0.041	0.019	2.184***	0.240	0.090	2.650***	-0.002	0.001	2.632***
5	58.39	14.04	0.001	0.877	-0.952	1.209	0.787	4.145	1.319	3.142***	-0.013	0.015	0.914						
Null	83.50	39.16	0.000	0.500	-0.336	0.262	1.285												

CE:係数推定値
SE:係数推定値の標準誤差
|CE/SE|:標準化係数
Significance levels of coefficients (係数の信頼性):***p<0.01, **p<0.05

出現ポテンシャルの予測に用いるモデル

有率2乗項の4項目を説明変数とし、出現予測モデルを構築した。その結果(表-2)、最も低いAICを示したモデルの説明変数は、平均流速、石分含有率、石分含有率の二乗項であった。上位5モデル中の4モデルで石分含有率及び石分含有率の二乗項が、3モデルで平均流速が選択され、平均水深は2モデルで選択された。上位5モデルのAUCはいずれも0.9を超えており、モデル構築を行った地点での当てはまりは精度が高いと判断された。

河床材料との関係性をみると、両種とも上位5モデルにおいて河床材料に関わる変数が選択されており、予測対象種の在／不在と河床材料との関係性が深いことが判断された。両種とも上位5モデルの精度が高いことから、出現ポテンシャルの予測に用いるモデルは、ダム通砂の影響を大きく受ける河床材料に関わる変数(砂分含有率や石分含有率など)が選択されたモデルを候補とした。なお、候補モデルは、選択された全説明変数の係数の信頼性が高い(p<0.05)ものを選択した。カマツカではModel 3(表-1参照)、ボウズハゼではModel 1(表-2参照)を出現ポテンシャルの予測に用いるモデル候補とした。

(4) 出現予測モデルの精度検証

精度検証用の各調査箇所について、対象種の実測値(1/0変数)と予測値(連続変数)間でROC分析を行ったところ、カマツカではAUCが0.900、ボウズハゼではAUCが0.706であった。一般に、AUCが0.9を超えると極めて高い予測精度、0.7を超えると適度な精度といわれており⁷⁾、少なくとも、カマツカについてはその出現を予測可能な高い精度のモデルが構築できたと判断できた。

ボウズハゼについては、カマツカに比べてその精度がやや低かったため、先のモデル構築時に使った39箇所のデータに加えて、精度検証用の21箇所を追加し、モデルの再構築を行った。その結果、最も低いAICを示したモデルに選択された変数は、平均流速、石分含有率、石分含有率の二乗項であった(表-3)。上位5モデル中の4モデルで平均流速が、3モデルで平均水深及び石分含有率、

石分含有率の二乗項が選択された。上位5モデルのうちreModel 1のAUCは0.9を超え、各説明変数の係数の信頼性が高く(p<0.05を満たす)、精度が高いと判断された。したがって、本種については、再構築によって得られたreModel 1(表-3参照)を出現予測モデルとした。

(5) ダム現行操作時及びダム通砂運用時における出現ポテンシャルの予測

河床形状及び河床粒度への影響が最も大きく現れる条件でのダム現行操作時及び通砂運用時の物理環境予測値を用いて、カマツカ及びボウズハゼの出現ポテンシャルを予測した。両種の予測結果について、ダム通砂運用時とダム現行操作時の出現ポテンシャルの差分(通砂運用時 - 現行運用時)の結果を図-7及び図-8に示す。なお、ダム通砂運用時とダム現行操作時の出現ポテンシャルの差分(通砂運用時 - 現行運用時)が正の場合、各メッシュは黄色から赤色となり、通砂運用により出現ポテンシャルが高まった箇所と判断され、差分が負の場合、各メッシュは青色から濃い青色となり、通砂運用により出現ポテンシャルが低下した箇所と判断される。

カマツカでは、測線No.115付近、測線No.112付近、測線No.110付近、測線No.104付近、測線No.100付近の5箇所で開催ポテンシャルの差分が正となり、スポット的に出現ポテンシャルが上昇した。その他の箇所では、出現ポテンシャルの差分はほぼ0であり、大部分で出現ポテンシャルに変化はなかった。

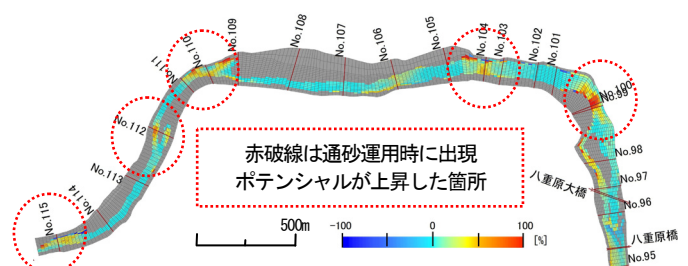


図-7 カマツカの区間7における予測結果.

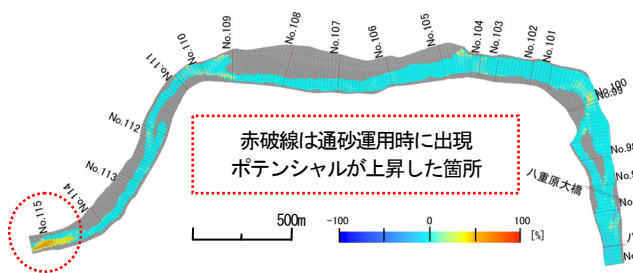


図-8 ボウズハゼの区間7における予測結果。

ボウズハゼでは、ダム直下の測線No.115付近の1箇所では出現ポテンシャルの差分が正となり、出現ポテンシャルが上昇した。その他の箇所では、出現ポテンシャルの差分はほぼ0であり、ダム直下を除くほぼ全域において出現ポテンシャルに変化はなかった。

4. 考察と今後の展望

予測結果より、ダム通砂運用を実施することで、予測範囲(大内原ダム下流(河口からの距離：18k800-23k600/区間7⁴⁾)のカマツカの出現ポテンシャルはスポット的に上昇し、ボウズハゼの出現ポテンシャルはダム直下でのみ上昇し、その他は変化がないと想定された。

現段階の想定では、予測範囲(大内原ダム下流(河口からの距離：18k800-23k600/区間7⁴⁾)において、河床全面の砂化、細粒化やそれに伴うカマツカの生息域の増加など、ダム通砂が河川環境へ悪影響を及ぼす可能性は低いと考えられる。予測範囲の大内原ダム下流は、河床粒度の変化が最も大きく現れると予測されており⁴⁾、予測範囲より下流域についても、ダム通砂が河川環境へ影響を及ぼす可能性は低いものと考えられる。

また、予測範囲の大内原ダム下流は現在、砂分などの細粒分が少なく粗粒化が進行(アーマールコート化)しており、本来カマツカの生息環境は少ない区間である。ダム通砂により砂分が供給され、スポット的にカマツカの出現ポテンシャルが上昇することは、大内原ダム下流の生物生息環境が多様化するという観点では、ダム通砂による効果が期待される。

本研究では、ダム通砂による河床材料の変化に着目し、複数ある生物分類群の中から魚類を選定して出現ポテンシャルの予測を行い、想定される様々な河川環境面の変化のうちの一条件(予測範囲の河床形状及び河床粒度への影響が最も大きく現れる通砂条件)から、ダム通砂に

よる影響や効果を評価している。耳川のダム通砂は平成29年度以降に予定されており、ボウズハゼ reModel 1の精度検証(外挿計算)や予測結果の検証等は今後の課題である。

これらの課題はあるものの、ダム通砂による生物の影響予測評価手法のモデルケースとして、また河川整備や河川管理における評価手法・保全目標の設定等に本研究が少しでも寄与することを期待する。

謝辞：現地調査の実施及びデータ分析にあたり、ご指導・ご協力を頂いた流域関係漁協、電力中央研究所、(株)ベントス、(株)プラントビオの関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 耳川流域における総合土砂管理について。宮崎県HP(<http://www.pref.miyazaki.lg.jp/kasen/shakaikiban/kasen/page00135.html>). 2017. 1月閲覧。
- 2) 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, 2016.6月。
- 3) 吉武宏晃, 吉村健, 新屋裕生：耳川水系ダム通砂に向けた土砂動態計算モデルの構築と活用, 電力土木, No.376, pp.43-47, 2015.3月。
- 4) 川上馨詞, 吉村健, 新屋裕生：耳川水系ダム通砂基本操作策定に係る河川環境面からの検討アプローチ, 電力土木, No.381, pp.31-35, 2016.1月。
- 5) 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. 2月。
- 6) Metz C. E. : Basic principle of ROC analysis, Seminars in Nuclear Medicine, No.8(4), pp.283-298, 1978.10月。
- 7) Akobeng A. K. : Understanding diagnostic tests 3: Receiver operating characteristic curves, Acta Paediatrica, No.96, pp.644-647, 2007.5月。
- 8) 河川生態学術研究会五ヶ瀬川水系研究グループ：五ヶ瀬川水系の総合研究-河川環境の維持・管理・再生について-, pp.3-36 - 3-44, 2014.3月。

(2017. 4. 3受付)