

INCORPORATING THE RIVER ENVIRONMENT MANAGEMENT SHEET CONCEPTS INTO CHANNEL DESIGN USING HYDRAULIC QUANTITIES

Reiko AKITA, Fumi MIYOSHI, Ryota NISHIGUSHI and Shunsuke TAGATA

²正會員 日本工営株式会社 基盤技術事業本部 環境部 (〒102-8539 東京都千代田区麹町5-4)

Key Words: river environment, river channel design, riverine ecosystem, riverine habitat

以上を踏まえ、本稿では、モデル河川において、河川環境区分シートの1kmブロック毎の環境評価と水理量との関係性を2つの観点から統計的に分析した。まずは、各環境要素の良否と各種水理量との単回帰分析を行い、基本的な関係性を把握した上で、生息場の多様性の評価値である総合得点と複数の水理量との多変量解析を行った。これらを踏まえ、河川環境管理シートの思想を河道設計に活用するための手法を考察したものである。

[illegible]

図-1 河川環境管理シートの概要¹⁾

2. 分析用データセットの作成

モデル河川H川は、河口から85kmまでの本川の直轄区間を対象とした。4つの河川環境区分に分けられ、一部、山付きの狭窄部をなす区間や、取水堰による湛水区間を含むが、全般には、川幅の広い急流礫床河川であり、複列的交互砂州～複列砂州が形成される。

2021年度の河川環境基図による地被区分別面積は図-2のとおり、約5割を自然裸地と開放水面が占め、樹木は約1割と少なく、今も良好な礫河原環境が維持されていることが分かる。

(1) H川の河川環境管理シート【目的変数】

目的変数のデータは、2021年度の河川環境基図をもとに作成されたH川の河川環境区分シート「基本情報2-1：生物の生息場の分布状況」を用いて作成した。

- 評価の空間ブロックは、距離標や堰等の既設構造物の位置関係を踏まえ、およそ1kmずつ（800～1,200m）に区分し、計86ブロックとした。
- 評価する項目（以降は、環境要素と称する）は、礫床河川において、生物の生息場を構成する典型的な要素である10項目と、特殊性を示す2項目を加え、計12項目とした。（表-1参照）
- 環境要素毎に、検討区間の中央値を超えて相対的に良好な場合に“○”，これを下回る場合に“△”，望ましくない環境がある場合に“×”と評価した¹⁾。
- 「陸域」「水際域」「水域」の立地区分は、標準的な分類に対して、一部、振り分けを変更した。

(2) H川の水利諸量【説明変数】

説明変数となるH川の水利諸量は、流量規模別の準二次元不等流計算によって算出した。

(a) 地形条件

H川では、縦断方向約100～200mおきに距離標を設けているため、この距離標における横断地形を与えた。途中に堰等の構造物がある場合には、任意の測線を設けた。

2019～2020年度に実施された定期縦横断測量データをもとに、2021年度までに実施された工事箇所において地形を修正することで、目的変数と同時期の地形条件を設定した。

(b) 流量条件

様々な流況に対する水理量を把握するため、①平水流量、②平均年最大流量、③整備計画目標流量の3パターンの流量規模を設定した。①と②については、観測所毎の流量観測結果（37～57年分）をもとに平均値を算出の上、支川合流位置を考慮して縦断的に割り振った。③については、河川整備計画において設定している50年確率の計画流量を与えた。

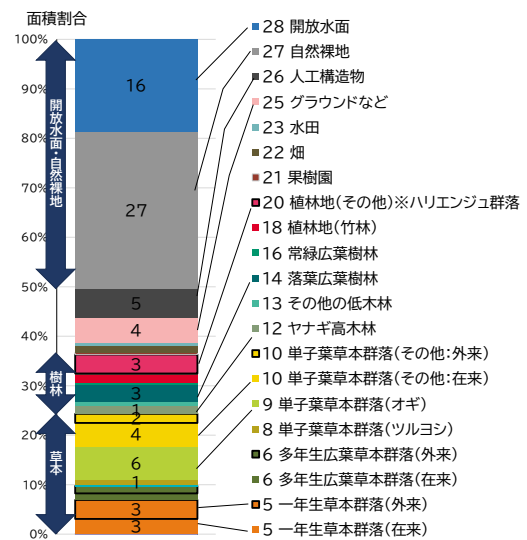


図-2 検討対象区間の地被区分

表-1 H川の河川環境管理シートで扱う環境要素（目的変数）

立地区分	環境要素	評価別 ブロック数				合計
		○	△	×		
陸域	1 低・中茎草地	20	20	46	0	86
	3 自然裸地(礫河原)	43	43	0	0	86
	4 外来植物生育地	0	42	2	42	86
	11 ★ 礫河原植生	15	0	71	0	86
水際域	2 * 河辺性の樹林・河畔林	31	30	25	0	86
	5 水生植物帯	15	15	56	0	86
	6 水際の自然度	62	24	0	0	86
	7 水際の複雑さ	43	43	0	0	86
	9 * ワンド・たまり	33	33	20	0	86
	12 * ★ 湧水	4	0	82	0	86
水域	8 連続する瀬と淵	33	41	12	0	86
	10 湛水域	0	3	79	4	86

*立地区分を、通常の分類から変更したもの ★特殊性の環境要素(それ以外は典型性)

(c) 不等流計算手法

準二次元不等流計算は、河道計画検討の手引き²⁾に則ったものとしたが、急流河川であり、たびたび射流が生じることを踏まえ、射流発生区間の水位を近似する手法をとった。式(1b)のとおり、速度水頭項にフルード数 Fr の大きさに応じた緩和係数 β (Suppression Factor) を乗じるものであり、緩和係数は Fr が1より大きいと0となるよう設定する手法である。

$$\beta = 0 \quad (Fr > 1) \quad (1a)$$

$$\beta = (1 - Fr)^2 \quad (Fr \leq 1) \quad (1b)$$

(d) その他の条件

その他の計算条件は、H川における河道計画検討で採用している条件を参考に、以下のとおりとした。

- 出発水位は、河口部で維持可能な砂州高を与えた。
- 低水路の粗度係数は、河床材料調査をもとに算定した推定粗度係数とした。
- 高水敷の粗度係数は、地被区分をもとに設定した。
- 水位上昇量については、支川合流と橋梁の影響を考慮し、②平均年最大流量時にはさらに湾曲の影響、

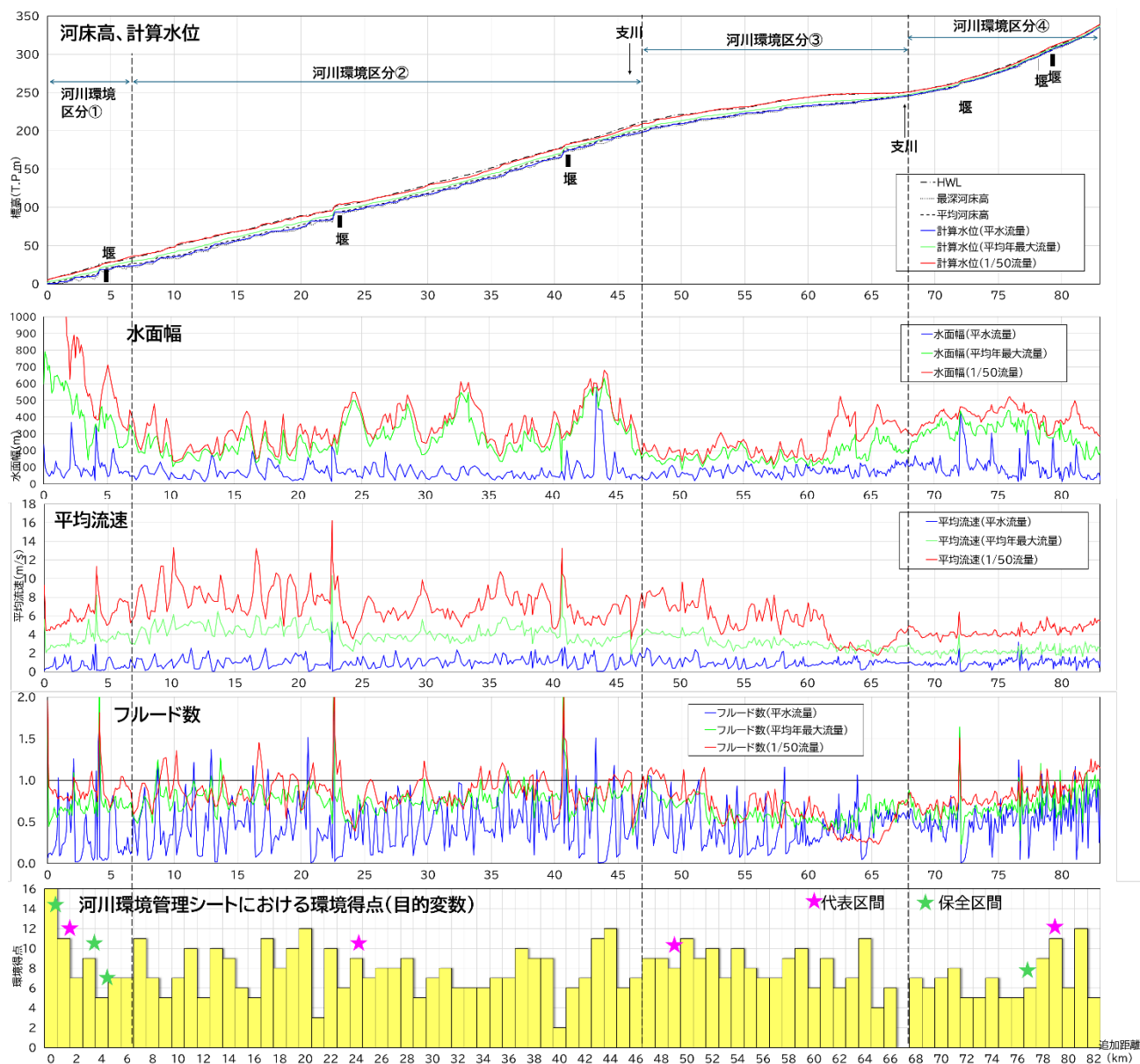


図-3 算出した水理量の縦断分布

③計画流量時には湾曲と砂州の影響を考慮した。

(e) 水理諸量の算出

不等流計算によって算出した水理諸量（水面幅，平均水深，平均流速等）と，流量規模別の水理量を比較することで算出した水理指標を加え，表-2に示す21個の水理量を検討対象とした。

代表的なものの縦断分布を図-3に示す。

(f) 水理量の集計

不等流計算では，縦断距離100～200m毎の測線における水理量が得られたが，河川環境管理シートの約1kmブロックと比較するため，同一区間内で集計を行った。1ブロックあたり，平均6.7測線（4～11測線）の水理量データを対象とした。集計にあたっては，各ブロックにおける平均値，最大値，最小値を算出した。

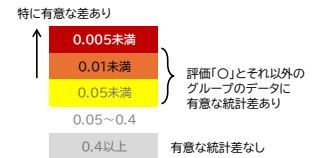
表-2 検討に用いる水理量（説明変数）

説明変数		単位	算出方法		
1	地勢・地形	河口からの距離	km	ブロック下流端の追加距離	
2		区間延長	m	ブロックの区間距離	
3		山付き有無	山付き or 築堤区間		
4	河道特性	河川環境区分	4区分(支川等で区分)		
5		セグメント	セグメント1 or 2-1		
6		平均勾配	区間の平均河床勾配		
7		代表粒径	mm	区間の代表粒径	
8	水理量	平水時水深	m		
9		平水時水面幅	m		
10		平水時フルード数			
11		Qm時摩擦速度	cm/s		
12		Qm時水面幅	m		
13		平均年最大流量時	Qm時us/wf	摩擦速度/沈降速度	
14			Qm時無次元掃流力		
15			Qm時B/H	水面幅/平均水深	
16			Qm時H/d	平均水深/代表粒径	
17		計画流量時	高水時水面幅	m	
18	上記の重ね合せ	砂州幅	m	Qm時水面幅－平水時水面幅	
19		高水数幅	m	高水時水面幅－Qm時水面幅	
20		砂州高	m	Qm時平均河床高－平水時平均河床高	
21		河岸勾配	砂州幅/砂州高		

表-3 環境要素の良否のグループにおける水量分布の有意性検定 (T検定 p値)

物理量・水量			基本諸元		平水時の水量									砂州に関する諸元								
			平均勾配	代表粒径	水深			水面幅			フルード数			砂州高			砂州の横断勾配			川幅水深比		
					平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小
陸域	1	低・中茎草地面積	0.291	0.183	0.307	0.349	0.047	0.556	0.154	0.726	0.829	0.813	0.526	0.075	0.043	0.093	0.028	0.054	0.003	0.003	0.006	0.005
	3	自然裸地面積	0.011	0.023	0.697	0.398	0.058	0.031	0.004	0.213	0.791	0.577	0.439	0.003	0.001	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
	4	外来植物群落面積	0.034	0.000	0.000	0.551	0.457	0.000	0.003	0.148	0.119	0.420	0.000	0.000	0.014	0.000	0.000	0.000	0.072	0.000	0.000	0.010
水際域	2	河辺性の樹林・河畔林	0.303	0.104	0.419	0.406	0.757	0.955	0.866	0.541	0.889	0.856	0.533	0.040	0.033	0.064	0.250	0.168	0.428	0.539	0.366	0.730
	5	水生植物群落面積	0.679	0.525	0.382	0.811	0.081	0.229	0.890	0.089	0.274	0.715	0.439	0.013	0.025	0.006	0.071	0.064	0.022	0.027	0.055	0.036
	7	水際の複雑さ	0.802	0.960	0.554	0.246	0.012	0.009	0.007	0.526	0.687	0.084	0.180	0.019	0.024	0.011	0.008	0.004	0.029	0.037	0.012	0.079
水域	9	フンド・たまり面積	0.078	0.441	0.749	0.846	0.019	0.015	0.025	0.050	0.475	0.786	0.645	0.030	0.015	0.045	0.009	0.014	0.014	0.020	0.026	0.013
	8	連続する瀬と淵	0.142	0.168	0.000	0.021	0.016	0.386	0.850	0.110	0.478	0.155	0.015	0.001	0.000	0.006	0.001	0.007	0.003	0.008	0.016	0.014

物理量・水量			平均年最大流量時の水量							大規模出水時の水量						
			水面幅			摩擦速度 (us)		us/wf	無次元 掃流力	水面幅			大規模出水時のみの冠水幅			平均
			平均	最大	最小	平均	最大			平均	最大	最小	平均	最大	最小	
陸域	1	低・中茎草地面積	0.001	0.001	0.000	0.205	0.389	0.397	0.011	0.009	0.009	0.011	0.001	0.121	0.098	0.137
	3	自然裸地面積	0.000	0.000	0.000	0.950	0.525	0.682	0.003	0.013	0.000	0.000	0.000	0.332	0.298	0.993
	4	外来植物群落面積	0.036	0.000	0.149	0.002	0.086	0.000	0.007	0.017	0.007	0.000	0.016	0.000	0.000	0.014
水際域	2	河辺性の樹林・河畔林	0.378	0.483	0.312	0.002	0.125	0.001	0.284	0.224	0.815	0.805	0.967	0.273	0.363	0.144
	5	水生植物群落面積	0.371	0.348	0.441	0.067	0.230	0.095	0.577	0.546	0.159	0.208	0.074	0.130	0.126	0.045
	7	水際の複雑さ	0.227	0.172	0.295	0.217	0.973	0.013	0.203	0.639	0.152	0.195	0.109	0.204	0.198	0.171
水域	9	フンド・たまり面積	0.024	0.051	0.009	0.983	0.911	0.874	0.186	0.180	0.147	0.238	0.062	0.685	0.825	0.953
	8	連続する瀬と淵	0.480	0.445	0.549	0.067	0.564	0.014	0.845	0.821	0.948	0.889	0.446	0.620	0.739	0.978



3. 環境要素毎の良否に関する単回帰分析

河川環境区分シート「基本情報2-1：生物の生息場の分布状況」では、環境要素毎に、全川的な中央値を超えて相対的に良好な場合に“○”，よくない場合に“△・×”等と評価している¹⁾。この良否の評価結果と水量との間に関連性があるかを個別に分析した。

(1) 環境要素の良否～水量の関連性の把握

(a) 分析手法

環境要素毎に、それぞれ21個の水量と照らし合わせ、関連性があるかを以下のとおり分析した。

- ・環境要素毎に、評価“○”の良好グループ、その他（“△・ー・×”）の通常・不良グループに分ける。
- ・2つのグループにおいて、水量の標本データを作成する。
- ・2つの標本データを対象にして有意性検定（t検定）を行い、2つのグループの間に、統計上、有意な差があるかを判定する。判定に際しては、p値が0.05を下回る場合に有意差があるとし、p値が小さいほどきわめて有意とした。

(b) 分析結果

表-3の分析結果より、立地区分毎の結果を以下に示す。

- ・「陸域」の環境要素の多くは、砂州に関する諸元のほか、平均年最大流量や大規模出水時の水面幅と強い関連性が見られ、堤間や低水路といった空間的の大きさと、砂州の高さ・勾配・できやすさといった砂州に関する事項に影響を受けることが確認された。
- ・「水域」の環境要素（「連続する瀬と淵」）は、砂州に関する事項との強い関連性が見られた。

- ・「水際域」の環境要素は、相対的には砂州に関する事項との関連性が示唆されるものの、他の水量との関係性は明確ではない。

(2) 環境要素の良否を予測する手法

以上より、H川における各環境要素の良否は、河道特性に関連した基本情報（平均勾配、代表粒径等）や、調査時の水域の状態（平水時の水深等）との関連性は比較的低いが、出水時の水量や川幅の大きさ、砂州の形状が強く関与することが分かった。これより、環境要素の良否の変化を判断する上で、普段の調査等では把握できない出水時を含む水理計算が不可欠であるといえる。

今回の分析結果を踏まえ、河川改修等のインパクトに対する環境要素の変化トレンドを判断する際は、図-4のように、水量のヒストグラムを作成し、良否を区分する閾値を目安とすることができると考える。

4. 多様性の評価得点に関する多変量分析

河川環境管理シートでは、生息場の多様性の評価値（以降、環境得点と称する）として、各環境項目における評価“○”の数で得点化している¹⁾。このような多様性を示す環境得点と、水量との関係性を分析し、どのような水量が場の多様性に寄与するかを検討した。

(1) 多様性を示す環境得点の算出

前項の検討により、立地区分によって水量との関係性が異なることが示唆されるため、通常は全立地区分の合計によって算出する環境得点に対し、本稿では、「陸域」「水際域」「水域」それぞれの環境得点を扱った。

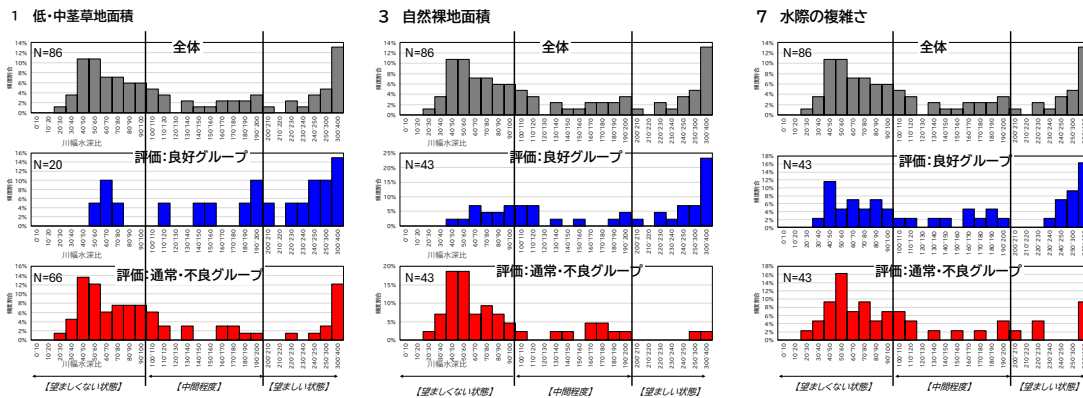


図-4 環境要素の評価グループ別 水理量 (川幅水深比) のヒストグラム

環境得点の算出は、通常は“○”を+1点，“×”を-1点とするが¹⁾、本稿では“○”を+2点，“△”を+1点，“×”を-2点とした。これは、値が二極化すると統計解析で扱いにくいので、得点にばらつきをもたせることを意図したものである。本稿において算出した環境得点のヒストグラムを図-5に示す。通常的手法による得点と比較すると、得点分布の幅が大きくなり、評価が細分されたことが確認できる。

(2) 多様性を示す環境得点～水理量の多変量解析

目的変数を環境得点、説明変数を水理量としたデータセットは、標本データが少なく、様々な種別の変数が含まれるなど非線形性を有し、また外れ値も含むことを踏まえ、これらに柔軟に対応しやすいSVR回帰 (Support Vector Regression) を用いて分析した³⁾。

未学習や過学習を抑制し、汎化性を高めるため、説明変数は相互関係性の少ないグループから選択し、最大5個までとした。また、極端に乖離するデータ (ノイズ) は除去して解析を行った。

(a) 立地区別の予測における正解率・的中率

入力データのうち、8割を学習データ、2割をテストデータとして解析を行い、正解率を算出した。目的変数は離散データのため、予測値を四捨五入して整数にした上で比較した。また、1点以内の変動は実務上、問題ないものとし、前後1点以内の的中率についても算出した。

結果を表-4及び図-6に示す。得点そのものの正解率は低いが、±1点以内の的中率は65～89%と、実用的といえる精度が得られた。また、学習データとテストデータの的中率の差は10～22%とやや大きいものの、極端な過学習ではないことを確認した。また、立地区分を行わない場合に比べると、立地区分を行うことによって正解率・的中率が向上することを把握した。

(b) 立地区別の予測における説明変数と寄与度

予測に用いた説明変数とその置換重要度 (寄与度) を表-5に示す。立地区分によって重要な説明変数が異なるが、全般に、地勢や平時の水理量よりは、出水時の水理量や砂州の形状が重要であり、これを把握する上で水理計算を介した評価が不可欠であることが把握される。

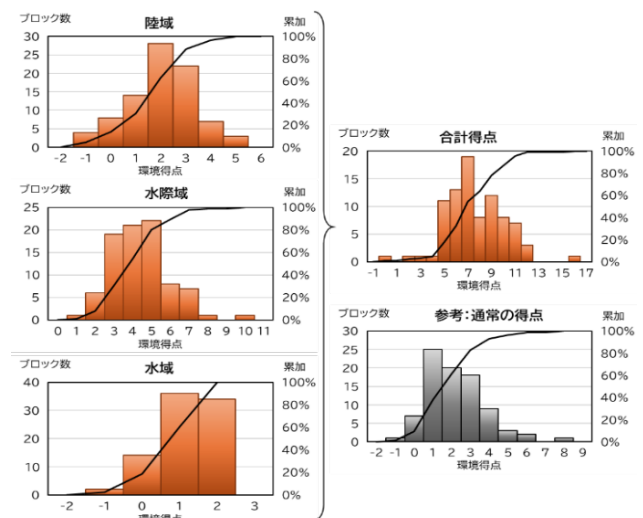


図-5 多様性を示す環境得点 (目的変数) のヒストグラム

表-4 環境得点の予測に関する正解率と的中率

立地区分	学習データ(8割)		テストデータ(2割)		的中率の差
	完全一致 正解率	±1点以内 的中率	完全一致 正解率	±1点以内 的中率	
陸域	0.6515	0.9242	0.4118	0.7059	22%
水際域	0.5970	0.8507	0.2353	0.6471	20%
水域	0.8824	0.9853	0.5000	0.8889	10%
区分なし(全体)	0.7414	0.9310	0.1333	0.4667	46%

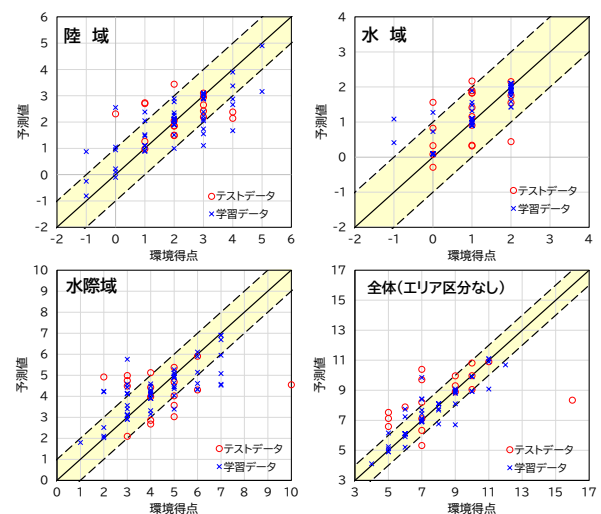


図-6 多様性を示す環境得点～予測値のプロット

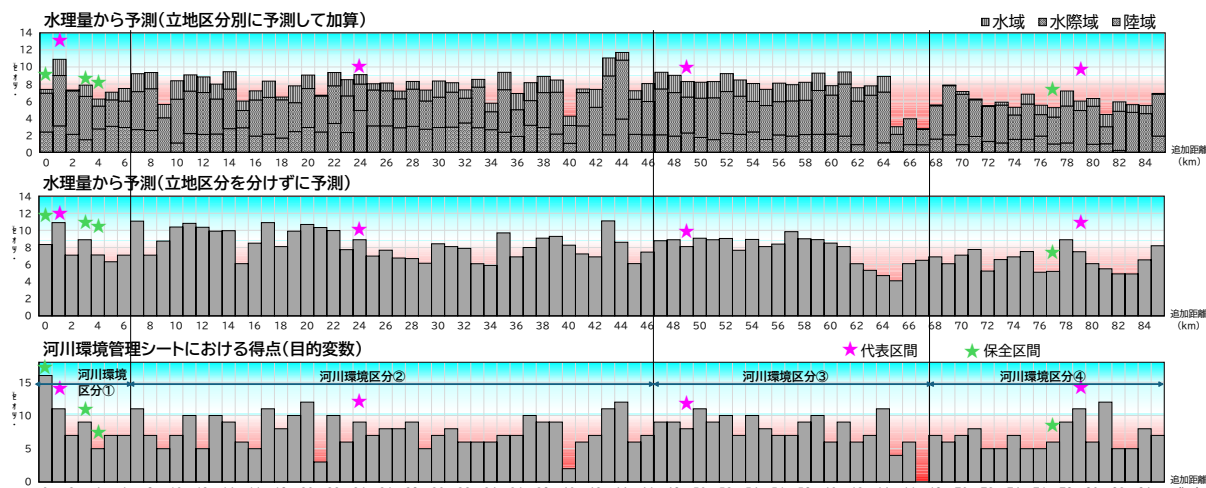


図-7 多様性を示す環境得点の縦断分布（予測結果，目的変数）

(c) 予測得点の確認

目的変数と予測値の縦断分布を図-7に示す。予測値（上段）は、目的変数（下段）の大小の傾向と概ね一致し、水理量をもとに多様性の評価を概ね再現できる。なお、合計得点のみの予測（中段）では、縦断的变化が乏しく実際の評価と乖離するため、立地区分毎の特徴を踏まえて予測することが重要であることが分かった。

(3) 多様性を示す環境得点を予測する手法

今回学習した予測モデルを使用することで、河川改修後など水理量の変化した状態に対して、生息場の多様性が良否いずれに変化するかを推定することができる。

予測モデルの構築に際しては、標本データが少ない上、様々な性質の変数を含むため、未学習あるいは過学習とならないよう留意が必要である。

- ・ 目的変数は、「陸域」「水際域」「水域」に区分し、区分方法も調整すること、点数にばらつきをもたせること、ノイズデータを除去すること等の工夫が有効であった。
- ・ 説明変数は、相互に関連性の高い変数を選ばないこと、数を絞ることが有効であった。
- ・ 解析手法は、重回帰分析やランダムフォレストでは良好な予測精度が得られなかったが、SVR回帰は小規模データ解析においても有効であった。

5. おわりに

河川環境管理シートは、河川環境の良否を得点化等によってシンプルに分かりやすく示す優れたツールであるが、相対的な評価であり、物理的解釈が難しいため、時点評価に留まることが課題であった。

本稿ではH川の河川環境管理シートの評価に対して2つの統計解析を行ったが、いずれも水理量との関係性が見出され、水理計算を介することで改変後の予測に活用できる可能性を把握した。実務では、着目する環境要素

表-5 環境得点の予測に用いた説明変数とその置換重要度

	説明変数	陸域	水際域	水域	区分なし(全体)
地勢	1 河口からの距離	0.235			
	3 山付き有無		0.086		
	8 平水時水深			0.039	
平水時の水理量	9 平水時水面幅			0.037	0.070
	10 平水時フルード数		0.035		0.001
出水時の水理量	11 Qm時摩擦速度	0.160	0.089	0.338	
	12 Qm時水面幅	0.185			
川幅の大きさ	17 高水時水面幅		0.078		0.166
	19 高水数幅		0.089		0.097
砂州の形状	18 砂州幅				
	20 砂州高	0.130		0.005	0.271
	21 河岸勾配	0.659		0.212	

大きく変化しない河道特性的な変数 現地調査等で推定可能な変数

（自然裸地面積など）に対し、単回帰分析で得た関係性によって河道を設計し、最終案に対して、多変量解析で多様性の評価値を確認するような進め方が考えられる。

今後は、環境改善を志向した河道設計手法を確立するため、以下について研究を進める。

- ・ H川とは異なる環境特性を有する河川において同様の検討を行い、本手法の適用範囲を確認する。
- ・ 河川改修後の水理量を与える上で、改修直後のみでなく、数年後に河床変動や植生遷移が終息した状態を推定する手法を導く。

謝辞：河川環境管理シートや測量データを提供いただいた国土交通省甲府河川国道事務所に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局 河川環境課：河川環境管理シートを用いた環境評価の手引き～河川環境の定量評価と改善に向けて～，2023.7
- 2) 財団法人国土技術研究センター編：河道計画検討の手引き，山海堂，2002.2
- 3) 木村延明ほか：サポートベクター回帰を用いた水位予測モデルの低平地用排水管理における精度検証，土木学会論文集B1(水工学),Vol78,No.2,I_139-144,2022

(2026. 4. 2受付)