

11 治水と環境が両立した持続可能な河道管理技術の開発

研究期間：平成 28 年度～令和 3 年度

プログラムリーダー：水環境研究グループ長 萱場 祐一

研究担当グループ：水環境研究グループ（河川生態チーム、自然共生研究センター）、
寒地水圏研究グループ（水環境保全チーム）

1. 研究の必要性

河川、湖沼などの水域は生物多様性の重要な基盤であり損失が続いている。今後は具体的な河川環境の管理目標を設定し、生物多様性の損失の回復と良好な状態の維持が急務となっている。一方で、地球規模の気候変動により水害の頻発化・激甚化が懸念されている。整備対象とする河道計画流量の増加に伴い、河道掘削の必要性も増加している。そこで、管理目標を明確にしながら、防災・減災と自然環境を一体不可分なものとして捉え、河道管理を推進することが必要となる。

2. 目標とする研究開発成果

本研究開発プログラムでは、河川環境の保全・形成地区の設定に基づく河道計画・設計・維持管理技術の開発を目的とし、以下の達成目標を設定した。

- (1) 河川景観・生物の生育・生息場等に着目した空間管理技術の開発
- (2) 河道掘削等の人為的改変に対する植生・魚類等の応答予測技術の開発
- (3) 治水と環境の両立を図る河道掘削技術・維持管理技術の開発

3. 研究の成果・取組

「2. 目標とする研究開発成果」に示した達成目標に関して、平成 30 年度までに実施した研究の成果・取組について要約すると以下のとおりである。

(1) 河川景観・生物の生育・生息場等に着目した空間管理技術の開発

本研究は、河川景観、生物の生育・生息場の観点から環境の質が高い区間・箇所を保全すべき拠点と位置づけ、拠点抽出技術を開発するとともに、生物については保全対象となる生物が持続的に生育・生息できるための面積や配置方法についての研究を行うものである。平成 28～30 年度は、保全すべき拠点を抽出する技術の開発を行った。

河川の景観・利用の観点からは、人々の利用の可能性が高い「水辺拠点」を設定し、既存文献分析及び事例調査から、水辺拠点を抽出するための評価軸（案）を検討した。また、評価軸の指標化について検討を行った。

検討結果から、「拠点整備に必要な空間スペース」、「良好な景観・自然環境がある」、「地域の社会環境から利用可能性が高い」に関する 11 の評価軸が得られた。また、評価軸の指標化について検討を行った。

生物に関しては、植物について、保全すべき植物群落が持続的に成立する箇所を保全優先地区（ホットスポット）とし、これらの分布と成立条件を明らかにした。沈水植物群落は、成立後の年数が新しく土砂が堆積せず、さらに湧水が流入するたまりに持続的に成立することが分かった。抽水植物群落（ヨシ群落）では、地形変化のないところで持続的に成立し、堆積により他の群落へ遷移することから、地形が堆積傾向にない箇所を保全優先地区として抽出した。鳥類については、全国の一級水系を対象とした出現傾向を精査し、河川環境における鳥類の現状を把握した。その結果、シギ類等多くの種が多数の水系で姿を消していることが判明した。また、鳥類種の分布と植生および河川の物理環境との関係性について解析を行った。利根川水系河川で砂礫性鳥類と河川環境基図データの関連性を解析した結果、1-2 ha 程度の自然裸地が存在するスポットに対象種が出現することが分かった。

(2) 河道掘削等の人為的改変に対する植生・魚類等の応答予測技術の開発

直轄河川については、河道掘削等の人為的インパクトを最小化し、河道掘削後の水域・陸域環境の生物多様性の向上、維持管理の簡素化に資する河道掘削方法を開発する。

陸域においては、平成 28 年度は、河道掘削による砂礫河原再生、樹林化抑制を低コストで行うために、旧流路部を活用し洪水流を陸域へ導水する水路掘削と平面掘削の併用による砂礫河原再生を国土交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所と共同で検討した。その結果、洪水流の陸域への導流・越流に成功し、砂礫河原再生、樹林化抑制に成功した。また、掘削コストは 1/3 に圧縮することに成功した。同時に、近年、開発・普及が進む UAV の画像を、人工知能を用いて分析し、植物群落境界の自動検出・表層土壌材料の自動判読の可能性を確認した。平成 29 年度は、UAV 画像と AI (Artificial Intelligence : AI) を用いた植生図の自動作成の可能性の検証、中小面積の植物群落動態 (出現・消失) を再現できない PCC 植生動態モデルの改良、近年、建築・土木の三次元化・情報化で注目される CIM (Constriction Information Modeling/Management) の有用性を検討した。その結果、UAV 画像と AI を用いた植生図の自動作成の可能性の確認、PCC 植生動態モデルの中小面積の植物群落動態の再現の成功、CIM 技術の適用による河道内地形・植生動態の再現の可能性を確認した。平成 30 年度は、①平成 29 年度に提案した PCC 植生動態モデルの改良方法、及び、UAV 画像と AI (Artificial Intelligence : AI) を用いた植生図の自動作成手法の一般性の検証、以上の 2 点を実施した。その結果、梯川において、PCC 植生動態モデルの改良、UAV 画像と AI を用いた植生図の自動作成、2 つの有効性と一般性を確認した。

水域では、現在は魚類等の生息環境を考慮するなどのため、主に平水位以上での河道掘削が実施されているが、今後は魚類の生息・産卵環境に重要な河床を含む低水路河道掘削が増大することが想定される。そのため、河川整備に伴う低水路掘削に際し、魚類生息環境の保全を図るため、魚類生息・産卵環境とリーチスケールでの河床地形・底質との関連性を評価・把握することを目的として研究を実施している。平成 28 年度は、ウグイを対象に、河川水辺の国勢調査結果と、PHABSIM による平均合成適性値及び交互砂州の形成領域区分パラメータ $BI^{0.2}/H$ との関係を検討した。平成 29 年度は、魚類生息場などの河川環境上重要な河床地形の alcove の内、底質が悪化しサケ産卵床数が減少していた alcove の産卵環境を改善のため、主流路から導水するための小規模掘削を実施し、その有効性について検討した。その結果、サケの産卵環境改善としての掘削路造成の有効性について確認した。また、別の河川において、低水路掘削後の河床変動により形成された分流地形と砂州前縁部において河床間隙水温を計測、分流地形が水温環境としてはサケ卵の発眼生育環境に適していることを確認した。平成 30 年度は、平成 29 年度に引き続き、豊平川において小規模掘削路造成箇所の追跡調査を行った。この試験地は平成 29 年に試験掘削を実施した後にサケ産卵床数の増加がみられたものの、平成 30 年のサケ遡上期前に増水により掘削路が閉塞した。閉塞後の平成 30 年度の産卵床数は、掘削以前の水準に戻った。閉塞後も alcove 内に一定の流速があったが平成 29 年と比較すると遅くなり、河床表面粒径には大きな変化が見られなかった。alcove 上流部付近の水深は浅くなった。以上から、産卵床の減少は流速、水深の変化も要因の一つにあると想定され、小規模河道掘削の必要性が示唆された。

中小河川においては、河道計画・設計時に、河川環境やこれに付随する河道設計技術に関して、定量的に判断できる支援ツールを開発し、新たな設計プロセスを構築することを目指している。平成 28 年度は、シミュレーション上で複数の河道地形案を検討する際に地形形状の変更を容易にするため、河道の 3 次元地形を迅速に処理可能な河道地形編集特化型ツールのプロトタイプを開発した。また、洪水による植物流出指標、魚類の総合的な生息場の良否を判定するツールを開発、実装を行った。平成 29 年度は、シミュレーション上で複数の河道地形案を検討する際に地形形状の変更を容易にするため、河道の 3 次元地形を迅速に処理可能な河道地形編集特化型ツールのプロトタイプを改良した。また、洪水による植物流出指標、魚類の総合的な生息場の良否を判定するツールを改良、実装を行った。平成 30 年度は、iRIC ソフトウェアをベースに河川横断面図による河道地形編集ツール (RiTER Xsec) の開発を行った。

(3) 治水と環境の両立を図る河道掘削技術・維持管理技術の開発

本研究は、維持管理上有利な河道掘削技術の開発を目指して、低水路掘削河道の河床変動応答特性の把握を目

的に実施している。平成 29 年度は、単列砂州発生領域における河道を部分拡幅した際に生じる砂州地形の形成状況を調べる移動床実験を実施した。実験は河道幅に対し拡幅後の幅を 1.8 倍とし、拡幅延長を河道幅の 5 倍から 30 倍までの 4 ケースで行った。今回の実験条件下では、自由砂州（単列砂州）が拡幅によって形成された強制砂州の影響を受けずに一定速度で移動するケースが観察された。また、平面二次元流況計算により、流量低下後の水深流速を把握した結果、側壁と自由砂州に挟まれた部分に深掘れ箇所が見られ、流速がほとんどみられない部分の形成が見られた。これは、水生生物の生息場や産卵場として重要な機能を有している alcove 地形が形成される可能性が示唆された。平成 30 年度は、低水路河道内で底泥が堆積した水裏部 (alcove) の底質改善および流況改善のために実施した小規模河道掘削の効果を検証するため、平面二次元河床変動計算を行い河床粒径の変化などを計測した。その結果、小規模河道掘削を行わない場合では底泥の洪水時のフラッシュと再堆積を繰り返すこと、小規模河道掘削を実施した場合は比較的小規模な洪水でも底泥をフラッシュさせることが分かり、河道掘削の優位性が認められた。

陸域においては、平成 30 年度は、河道内植生の維持管理技術に重点を置き、ネットワーク解析を用いた植物群落遷移において中心的役割を果たし植物群落遷移の状態を監視できる河川景観・植物群落の抽出、河道内植物群落遷移の予測手法に関する基礎的検討、CIM 技術 (VR) の有効性の検証を、梯川水系梯川において行った。その結果、ネットワーク解析の結果、河道内植生管理の基準となる河川景観・植物群落として「ススキ群落」の可能性、アンサンブル予測の植物群落遷移予測における有効性、CIM 技術 (VR) の有効性を確認した。

中小河川の抜本的な川づくりは災害復旧時にも行われ、この場面でどれだけ充実した計画を立案できるかが重要である。しかし、事業は時間的制約の中で行われるため、環境や利用にまで配慮を払うことは難しい。そのため、きめ細やかな配慮とその評価を迅速に行うことができる多自然川づくり支援ツールが求められている。現在、3次元測量技術や CIM も浸透しつつあるが、これらの持つ利点を川づくりの場面で活かせる河道計画のプロセスが確立できているとは言えない。この課題に対し、我々は、事業規模に応じた効果的・効率的な河道計画・設計プロセスの提案とこれに対応できる多自然川づくり支援ツールの開発を並行して行った。

DEVELOPMENT OF SUSTAINABLE RIVER MANAGEMENT TECHNOLOGY CONSIDERING BOTH FLOOD CONTROL AND ENVIRONMENT

Research Period : FY2016-2021

Program Leader : Director of Water Environment Research Group
Yuichi KAYABA

Research Group : Water Environment Research Group, Cold-Region Hydraulic and Aquatic
Environment Engineering Research Group

Abstract :

We developed a technology to extract bases to be conserved in rivers. From the viewpoint of river landscape and people's use, To reasonably develop a riverfront, it is desirable to select a section that is highly available to people and to carry out development and maintenance intensively. In this study, we investigated ten study sites that were actively used after the development and examined the evaluation axes contributing to extraction of high need sections. In addition to the previous studies, “enough space for activity,” we obtained two evaluation axes, “good landscape/natural environment,” “high availability from social environment around the river.” Moreover, we performed a case study to materialize the evaluation axes. On studying seven waterfront areas, which were developed on one river, the evaluation index was found to correspond to that of the riverfront usage form. For example, areas for playing sports were located more than 1 km away from other parks, such that the functions of the sports ground do not conflict with those of the other parks. From the viewpoint of living things, the conservation priority area was set as the conservation priority area where the communities are sustainably targeted for the plant communities to be preserved, and the distribution and formation conditions of these were clarified. In the case study of the Kinugawa river, it was found that the areas of dry grasslands, wet grasslands, and gravel grounds are important for the biodiversity of waterfowl.

To restore sand and gravel riverbed through river channel excavation and to control of woods over growth in low cost, we assessed effectivity of both channel excavation and plan excavation, which introduce the flood flow into the river terrace on sand and gravel riverbed restoration, corroborating with the Chikuma river management office. In the results, the excavation method success to restore the sand and gravel riverbed and control the woods over growth. The excavation method also success to reduce the cost of excavation was reduced to 1/3. Concurrently, application of AI (Artificial Intelligence) on UAV (Unmanned Aerial Vehicle) image, we succeed in automatically recognition of vegetation community boundary and surface bed material. PCC Vegetation dynamics model, (2)validation on automatically method of vegetation community map using UAV and AI(Artificial Intelligence), (3)network analysis using national census on river environment for extracting river landscape and vegetation community as criteria management of results, (4) evaluations on effectivity of an ensemble method for the vegetation community prediction methods (5)evaluation on effectiveness of CIM (Constriction Information Modeling/Management) in outreach activities of river management.

In the results, we validated the effectiveness and generality on improvement of PCC vegetation dynamics model and the automatically method of vegetation community map using in the Kakehashi river. Results of network analysis indicated the possibility of Japanese pampas grass community as management criteria of river landscapes and vegetation community. The Ensemble method indicated the effectivity on vegetation community succession estimation and practical river vegetation managements. Evaluation of CIM could visually express the vegetation community condition in the river, and enhanced for general people to understand the vegetation community condition such as overgrowth woodland.

And we showed validity to channelize to connect sandbar with main stream as rehabilitation of the salmon spawning habitat. In addition, we surveyed hyporheic temperature at the river after removed sand bar. It was confirmed that side channel is warmer than sandbar front. it means suitable for the salmon egg growth as the water temperature environment.

Also, we improved the prototype of the river channel topography editing model tool which can process the three-dimensional topography of the river channel. This tool will be able to facilitate the change of the topography shape on simulation and examine quickly some river channel topography plans. In addition, we improved the tool which can judge the external force carried away plant communities using the Washing Out Index (WOI) and the environmental evaluation of the habitat about general fish.

In this study, in the river channel of the hydraulic environment belonging to the formation area of double-row bar for meso-scale bed configurations, movable bed experiments aimed at investigating the formation of sediment accumulation caused by partial widening to form alcove was carried out. As a result, it became clear that the shape of the sandbar is different depending on the length of the widened part. In the case of the length of the widened part about 5 times the width of the channel, it was confirmed that even if free bar entered the forced bar, it did not affect the flowing down of the free bar. On the other hand, in the case of the length of the widened part about 10 times, the possibility that the al-cove topography is formed along the river bank after the flow rate reduction was suggested.

Key words : *river channel excavation, control of woods over growth*, restoration of gravel riverbed, unmanned aerial vehicle, artificial intelligence, National Survey on River Environment, alcove, Plant Community Cluster, Vegetation Dynamics Model, Civil engineering Information Management

11.1 河川景観・生物の生育・生息場に着目した空間管理技術の開発

11.1.1 河川環境の保全・形成に資する拠点抽出・配置技術に関する研究

担当チーム：水環境研究グループ（河川生態）

研究担当者：中村圭吾、鶴田舞、田和康太

【要旨】

平成 28-30 年度は、保全すべき拠点を抽出する技術の開発を行った。

河川の景観・利用の観点からは、人々の利用の可能性が高い「水辺拠点」を設定し、既存文献分析及び事例調査から、水辺拠点を抽出するための評価軸（案）を検討した。また、評価軸の指標化について検討を行った。

生物に関しては、保全対象とする植物群落を対象に、群落が持続的に成立する箇所を保全優先地区とし、これらの分布と成立条件を明らかにした。また、鳥類を対象とした抽出に着手した。全国の一級水系を対象とした鳥類の出現傾向を精査し、河川環境における鳥類の現状を把握した。また、鳥類種の分布と植生および河川の物理環境との関係性について解析を行った。

キーワード：河川水辺の国勢調査、ホットスポット、鳥類、植生基本分類、河川景観、水辺利用

1. はじめに

陸水域における生物多様性の損失は、現在もその傾向が続いており、深刻な課題となっている¹⁾。レッドデータブックの RL 掲載種（1002 種）のうち 50%以上は、生活の全てもしくは一部を淡水域に依存するものである。現状では、洪水等の自然現象や河川の管理に伴い河川環境がどのように変化するか科学的に十分解明されていないが、河川環境の評価手法を確立させ、河川環境の管理目標を具体的に設定することが急務となっている²⁾。

目標設定していくうえで、環境の質が高い区間等は保全を前提とする必要があるが、自然環境、河川景観、人の利用の観点からこうした拠点的な区間を抽出する技術は確立されていない。例えば、平成 26 年 3 月に改訂された「美しい山河を守る災害復旧基本方針」において自然環境、河川景観の観点から重点的に保全を図る区間・箇所（重点区間・箇所）が位置付けられ、これらの区間・箇所ではグレードを上げた災害復旧を行う道筋が示されたが、その具体的な抽出手法は未確立となっている。

以上の背景を踏まえ、本研究では、①河川景観、人の利用から見た水辺拠点の抽出技術の開発、②生物の成育・生息場の視点から見た保全優先地区の抽出技術の開発、③生物の適正な生息・生息場配置技術の開発、の 3 つの達成目標を設定し、河川景観、生物の生育・生息場の観点から環境の質が高い区間・箇所を保全すべき拠点と位置づけ、拠点抽出手法を開発する。また、生物については保全対象種が持続的に生育・生息するための生育・生息場の面積、配

置に関する研究を行う。

本報告では、平成 30 年度までに実施した達成目標①（2 章）及び②（3 章：植物・植生、4 章：鳥類）に関する研究内容・成果について述べる。

2. 河川景観、人の利用から見た水辺拠点の抽出技術に関する研究

下記に示す手順で検討を行う。

- 1) 水辺拠点の評価軸の設定
- 2) 水辺拠点の評価指標の検討
- 3) 水辺拠点の抽出技術の開発

平成 28 年度は 1) について、水辺空間整備事例及び既存文献等の調査・分析を行い、人々の利用の可能性が高い区間（以下、「水辺拠点」という）を抽出するための評価軸を検討した。平成 29 年度は 2) のうち、水辺拠点の整備に必要な河岸空間の利用ポテンシャルを評価する指標について検討を行った。平成 30 年度は、残りの評価軸の指標化を検討した。

2.1 水辺拠点の評価軸の設定

2.1.1 方法

以下の手順で検討を行った³⁾。

- a) 事例調査

周辺の景観や地域整備と一体となった河川改修を行い、良好な水辺空間の形成が行われた事例の事業箇所における河川整備・事業計画や都市計画、景観関連法令の適用状

況、景観資源等に関するデータを収集し、美山河の重点区間等の判断基準と比較した。

b) 既往文献調査

既往の水辺空間整備計画に関わる指針^{4)~6)}を参照し、水辺拠点として重点的に整備すべき場所として参考となる事項を整理した。

加えて、景観に係る環境影響評価のガイドライン^{7)~8)}も参照した。環境影響評価では、評価対象事業の影響を人と自然との豊かなふれあいの観点から評価するために必要な調査事項等が示されている。評価対象となる事業は予め決まっており、整備箇所の抽出に用いられるものではないが、水辺拠点の評価軸を漏れなく設定しているか確認する上で参考とした。

文献調査の結果と a) の結果を比較し、水辺拠点の評価軸 (案) を作成した。

2.1.2 事例調査結果

各事例の事業実施箇所に関する事項を表 2-1 にまとめ

た。

美山河の重点区間の判定基準に該当する事例は一乗谷川のみであった (表 2-1 参照)。景観法の制定 (2004 年) 以前の整備事例が多いことも影響していると思われるが、重点区間の条件のみでは、利用ポテンシャルの高い場所の抽出には不十分と言える。そこで、評価軸の検討に資するため、各事例における特徴的な景観・自然環境についてもまとめた。

重点箇所の判定基準は、表 2-1 中「①または②のいずれかに該当し、かつ特別な配慮が必要と判断される箇所」であり、多くの人の目に触れる可能性が高い場所等が想定されている。全ての事例が①または②に該当しており、重点箇所の判定基準は利用ポテンシャルの高い場所の抽出に寄与していると言える。②のうち、実際に拠点整備時に考慮されたものについて、表 2-1 中に下線を引いてある。

また、著者らの既往調査⁹⁾では、水辺拠点の整備方針の検討過程において、川と地域の状況及び人々と川との関係

表2-1 水辺空間整備事業の実施箇所に関する事項

対象河川	茂滝川	横手川	子吉川	阿武隈川	和泉川	一乗谷川	糸貫川	太田川	津和野川	白川
事業名称 (事業期間)	ふるさとの川モデル事業 (1990-1997)	ふるさとの川モデル事業 (1988-2001)	癒しの川整備事業 (1998-2002)	渡利水辺の楽校整備事業 (1995-2000)	ふるさとの川整備事業 (1990-1997)	ふるさとの川整備事業 (1995-1999)	北方町まちづくり (2014-2015)	基町環境護岸整備事業 (1976-1983)	ふるさとの川モデル事業 (1991-1996)	緑の区間河川整備事業 (2006~)
重点区間	景観関連法令における景観重要地域	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	自然環境関連法令の重要地域	×	×	×	×	○ (特別名勝)	×	×	×	×
その他特徴的な景観・自然環境	旧河道の河畔林が市街地内に残存 湧水が水源で水質が良い 在来の動植物による良好な自然環境を形成	城下町の風情 (家屋敷) 鳥海山、横手城址を眺望 市内を大きく蛇行しながら流れる	右岸背後に河岸段丘の斜面 水際のヤナギ、ヨシ群落が自然土塁を形成 かつて柔らかな印象	アシが生い茂る河原 信夫山、弁天山を眺望 かつて福島河岸があり、隣接する蔵に米を運んでいた	台地を刻んだ谷戸 台地崖線の斜面林 農地、農家の佇まい (農村的景観)	山間に囲まれた細長い谷地形 高度成長期前は笹が乱舞していた 一乗谷城の外堀として利用していたと思われる石垣の出土	清流の水質 伊弉山を眺望	山並みが河川に映える 良好な河岸緑地 原爆被災した石積み水制 干満により干涸が出現、消失している 雁木 (船着場) 原爆ドームを眺望	城下町の面影を残す武家屋敷 史跡、名勝等に田山) は「森の都」を象徴する 石州瓦が用いられている 堀割の水路や川	大甲橋からの眺望 (川面に映る橋の緑と遠景の立木) 熊本城の外堀として機能していた 石積み護岸 火山灰が流下
重点箇所	①市街地 (人口集中地区; DID 地区)	○	○	△ (一部区間)	○	△ (一部区間)	×	×	○	○
	①市街地周辺部 (市街地から 5km 以内)	○	○	○	○	○	×	○	○	○
	②学校・公園・病院等の公共施設が存在 (1km 以内)	○ (小学校、公園等)	○ (小学校、病院、市役所等)	○ (病院、市役所、駅等)	○ (小学校、県庁等)	○ (小学校、公園等)	○ (小学校等)	○ (小学校、公園等)	○ (公園等)	○ (小学校、病院、駅等)
②史跡・歴史的記念物等が存在 (1km 以内)	×	○ (県有形文化財、城址等)	○ (県有形文化財)	○ (城址、御倉邸)	×	○ (国特別史跡等)	×	○ (世界遺産、国史跡等)	○ (国史跡等)	○ (市有形文化財)
川と地域の関わり	河道改修により直線化・コンクリート化 柵があり近寄りづらい 急速な市街地から旧河道の自然を保全 (市まちづくり計画)	送り盆祭り、カマクラ等観光客が集まる 施設整備されておらず日常生活から旧河道の自然を保全 (市まちづくり計画)	ボートや釣り等市民と川のつながりが容易 隣接する医療施設がリハビリ等で河川利用 川とふれあうまっすぐな市街地活性化計画	県庁前の福島市の顔となる場所 植生に阻まれ利用が困難 堤防天端にサイクリングロード	河道改修により矢張り直線化 水際に近づけず日常生活に少な 斜面林保全制度 (市) 川を軸としたまちづくり計画	地域住民の生活との関わりが容易 川の整備と並行して史跡の発掘及び復元 (県)、公園化事業 (市)	土地区画整理事業、公園整備構想 (町)	震災復興の区画整理による緑地 (公園) 整備計画 河岸緑地も位置づけ (市) シジミ獲り等市民に親しまれる場所	灯籠流し 川沿いに点在する観光施設をつなぐ動線が、水際に近づけず日常生活に少な いを歩く人々の伝統的文化的都市景観保存地区に指定 (町条例)	花見の場所 水際に近づけず日常生活に少な いを歩く人々の伝統的文化的都市景観保存地区に指定 (町条例)
ポテンシャル	河岸に利用可能なスペースがある		○ (高水敷: 祭り等で利用)	○ (高水敷)	○ (鏡川原、高水敷)			○ (高水敷)	○ (高水敷)	
	沿川に取り込める敷地 (公園、緑地等) がある	○ (旧河道、河畔林)				○ (斜面林)	○ (史跡公園)	○ (公園整備予定箇所)		○ (観光施設)

を、過去から将来への時間軸で把握・予測することが重要であることを示している。そこで、各事例における“川と地域の関わり”（日常・イベント利用、アクセス性、整備課題、まちづくり関連計画等における川の位置づけ等）についても整理した。さらに、“河岸空間の利用ポテンシャル”についても記載した。

2.1.3 既往文献調査結果及び評価軸（案）の作成

既往の水辺空間整備計画に関わる指針において、水辺拠点として重点的に整備すべき場所として挙げられていた事項を図 2-1 内に●印で示す。●印の事項と 2.1.2 の事例調査の結果は対応関係が見られたことから、評価軸（案）とした。

2.1.2 の事例には見られたものの、指針^{4)~6)}では言及されていなかった事項は、

- ・ 「その他特徴的な景観・自然環境」における地域を象徴する眺めや眺望点（代表的な眺望点の一つである橋・橋詰については指針 6）に記載あり）
- ・ 重点箇所の判定基準²⁾に関するもの
- ・ 「川と地域の関わり」における川周辺の動線
- ・ 「河岸空間の利用ポテンシャル」における、河岸の利用可能スペース

であった。4点目はそのまま評価軸に設定した。他の3項目については、景観に係る環境影響評価のガイドラインに書かれている調査事項を参照し、「地域を特徴付ける眺め」、「不特定多数の人が集まる場所」、「利便性・利用性が高い場所」と名付けて評価軸（案）とした。図 2-1 内に下線を引いて示す。なお、「地域を特徴付ける眺め」は、評価軸（案）「自然風景として質の高い場所」の中にまとめ

た。

2.1.4 評価軸（案）の取りまとめ

2.1.3 で得られた 11 の評価軸（案）を 3 つに区分した（図 2-1）。まず、拠点整備に必要な空間スペースがあることが重要であり、これを評価軸群【1】として「河岸空間の利用ポテンシャル」の 2 つの評価軸を当てはめた。

次に、川と地域の利用ポテンシャルを景観・自然環境（評価軸群【2】）と社会環境（同【3】）に分け、該当する評価軸を振り分けた。前者は、景観と自然環境に細区分した。評価軸群【2】のうち、法令等で保全が指定されているものが美山河の重点区間に該当する。後者は【3-1】背後地の利用可能性、【3-2】川と地域の関わりに細区分した。重点箇所に関連するものは、【3-1】及び【2】b)の「歴史的な街並みや構造物」である。

2.1.2 の事例は全て評価軸群【2】・【3】の双方に該当していたが、【3】については【3-1】【3-2】のいずれにしか該当しないものもあった。例えば阿武隈川の事業箇所は、県庁前の福島市の顔とも言える場所だが、高水敷に植生が繁茂しており人々の利用が困難であった（【3-2】に該当しない）。この課題を改善すべく整備方針が策定された。

なお、各評価軸は必ずしも独立ではないが（例えば、干潟は“自然風景として質の高い場所”、“自然環境が良好な場所”の両方に記載がある。太田川では干潟でシジミ獲りが行われており、“まちづくりと一体的な文化的景観の創出を図る場所”とも言える）、利用ポテンシャルの高い場所をできるだけ漏れなく抽出することに重点をおいて取りまとめた。

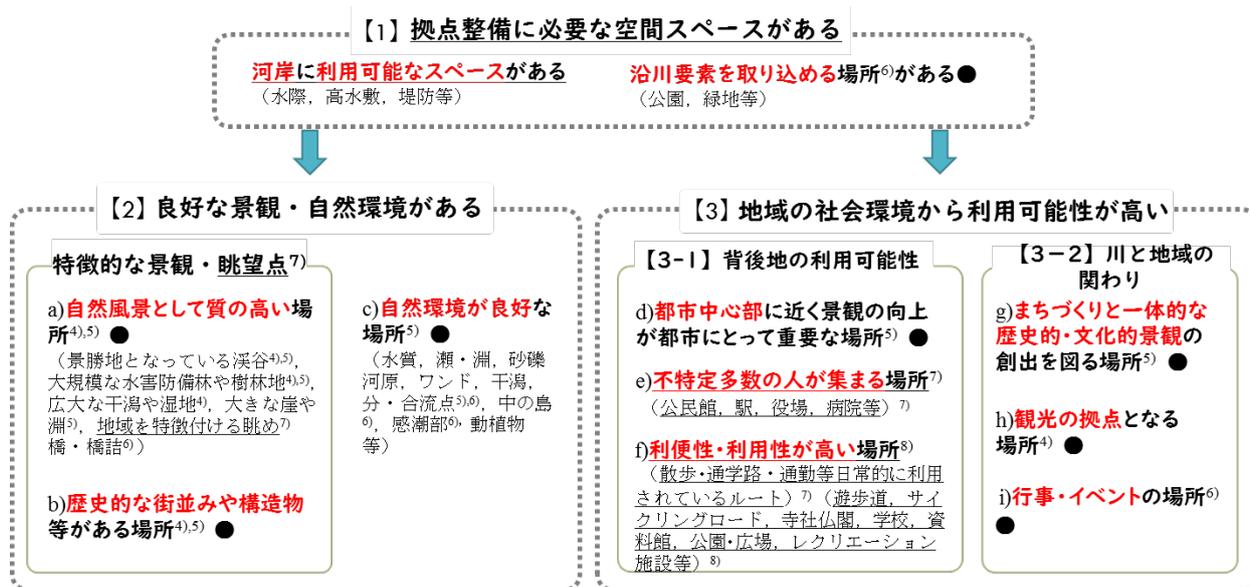


図 2-1 水辺拠点の抽出に資する評価軸（案）

2.2 水辺拠点の評価指標の検討

2.2.1 整備に必要な空間スペースに係る評価指標

3次元的な広がりを持つ空間のうち、河岸横断面形状に着目し、整備に必要な河岸空間の広がりやを簡易に評価する指標について検討した¹⁰⁾。

(1) 方法

河川区域のうち平水時に水に浸からない範囲を“河岸空間”と呼び、検討の対象とした(図2-2)。土木学会デザイン賞を受賞する等評価の高い水辺空間整備事例のうち、水制など水際部のみを整備事例は除いて事例を選定した(2.1と同様の事例を対象)。対象事例の概要を表2-2に示す。

各事例から河道横断面を1箇所選定して、河岸空間の広がりやを表す指標を検討した。水平方向の広がりや、河岸空間を構成する高水敷、護岸、堤防、管理用通路等の水平幅の合計値Wを、鉛直方向には平水位面から河岸空間の最高高さ(堤防天端高または堤内地盤高)の比高Dを設定し、W/Dを算定した。

比較対象として、各事例の河川改修計画において、計画高水流量を流しうる標準的な横断面(以降、「標準断面」という)(勾配1:0.3~1:2の単断面または複断面)が設定されていた場合(茂漁川、和泉川、一乗谷川、津和野川)には、同様にW/Dを算定した。一乗谷川の横断面の例を図2-3に示す。

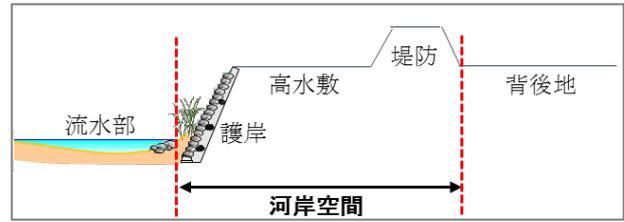


図2-2 “河岸空間” の対象範囲

(2) 結果

各事例におけるW/D関係を図2-4に示す。図中の数字はW/Dの算定値である。整備後のW/Dの範囲は6.0~19.3であった。一方、河岸幅が広がられた事例(茂漁川、和泉川、一乗谷川、津和野川)における標準断面のW/Dは1.5~3.2であり、両者の間に河岸空間の利用ポテンシャルを分ける境界があるものと考えられる。図中に記載したW/D=5のラインは、河岸空間が全て緩勾配斜面で形成されていると仮定した時の勾配1:5に相当する。利用率と利用形態が増加する地形勾配は1:5より緩い場合と言われており¹¹⁾、利用ポテンシャルの境界位置と相応する。

表2-2 対象事例とその概要

調査対象 (区間)		評価			事業期間 (年)	流程	河川規模 (対象区間の川幅)	横断形状
		(a)	(b)	(c)				
石狩川水系 茂漁川 (北海道恵庭市)	ふるさとの川モデル事業 (2.8km)	○			1990-1997	中流域	中小河川 (16~50m)	堀込
雄物川水系 横手川 (秋田県横手市)	ふるさとの川モデル事業 (1.3km)			○	1988-2001	上流域	中小河川 (65~135m)	堀込 (一部築堤)
子吉川水系 子吉川 (秋田県由利本荘市)	癒しの川整備事業 (800m)			○	1998-2002	下流域 (感潮域)	直轄河川 (90~150m)	築堤
阿武隈川水系 阿武隈川 (福島県福島市)	渡利水辺の楽校 (2.0km)	○	○		1995-2000	中流域	直轄河川 (190~220m)	築堤
境川水系 和泉川 (神奈川県横浜市)	ふるさとの川整備事業 (全体区間のうち約800m)	○	○	○	1990-1997	中流域	中小河川 (15~40m)	堀込
九頭竜川水系 一乗谷川 (福井県福井市)	ふるさとの川整備事業 (全体区間のうち約800m)	○			1995-1999	上流域	中小河川 (10~12m)	堀込
木曾川水系 糸貫川 (岐阜県北方町)	北方町かわまちづくり (380m)	○			2014-2015	中流域	中小河川 (23~90m)	堀込
太田川水系 太田川 (広島県広島市)	基町環境護岸整備事業 (約880m)	○	○	○	1976-1983	下流域 (感潮域)	直轄河川 (130~160m)	築堤
高津川水系 津和野川 (島根県津和野町)	ふるさとの川モデル事業 (全体区間のうち720m)	○	○	○	1991-1996	上流域	中小河川 (30~40m)	堀込 (一部特殊堤)
白川水系 白川 (熊本県熊本市)	緑の区間河川整備事業 (約600m)	○			2006~	下流域	直轄河川 (75~80m)	特殊堤

(a)土木学会デザイン賞/グッドデザイン賞事例、(b)景観デザイン規範事例集⁶⁾選定事例、(c)まちづくり効果発現事業⁷⁾選定事例

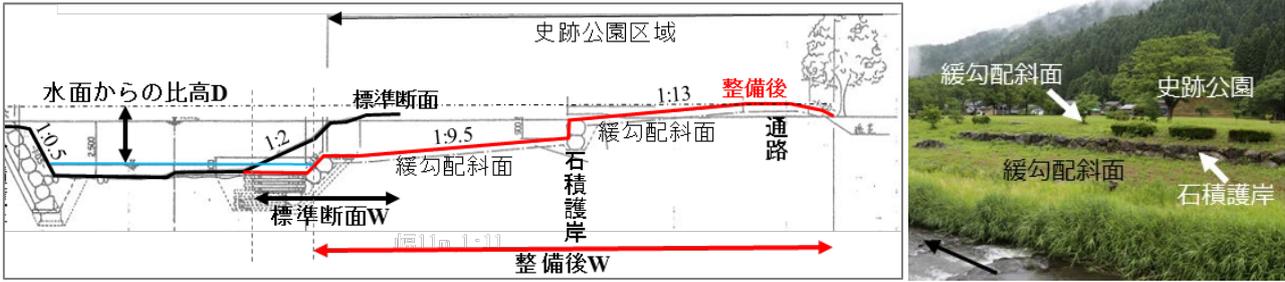


図2-3 一乗谷川整備箇所代表的な横断面及び写真

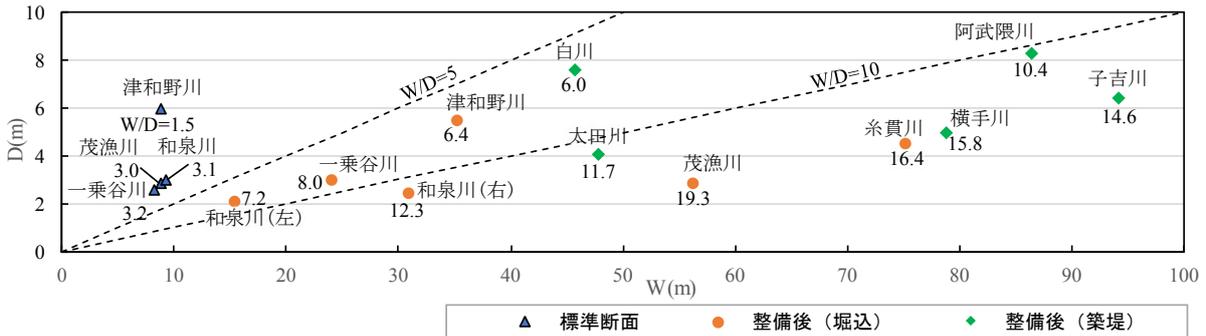


図2-4 代表横断面のW-D関係及びW/Dの算定結果

表 2-3 には、事例調査を通じて得られた、利用ポテンシャルと設計の自由度及び利用形態の対応を整理した。W/D が小さい場合、堤内地と一体的な整備（沿川要素を取り込む）を検討する（W を増大させる）ことで、利用ポテンシャルが増大し、様々な利用形態に対応する空間の形成が可能になると言える。一方、水面との比高 D が大きいと、利用ポテンシャルは減少する。D が大きい要因は主に河川規模と河川改修による河道掘削であり、D を減少させることは現実的ではない。白川のように、勾配を立てた断面を設定する等によりできるだけ狭い幅で高低差を付け、利用ポテンシャルを変化させずに平場や緩勾配斜面の設置スペースを生み出すことが考えられる。なお、護岸の設計基準や人間工学の観点（見えの面積や仰角の大きさが圧迫感を与える¹²⁾）から、高低差の付け方には限度がある。

2.2.2 景観・自然環境及び社会環境に係る評価指標

図 2-1 に示す評価軸群【2】及び【3】について、残る 9 つの評価軸の指標化を検討した。

(1) 方法

一河川を対象にケーススタディを行った。評価軸群【2】及び【3】について指標候補を設定し、対象河川に整備されている水辺拠点の条件との適合性を分析した。

1) 対象河川の選定

熊本県・緑川を対象とした。緑川は熊本県のほぼ中央に位置し、有明海に注ぐ幹川流路延長 76km、流域面積

表2-3 利用ポテンシャルと設計・利用形態の対応整理

利用ポテンシャル	設計の自由度	利用形態
W/D ≤ 5	<ul style="list-style-type: none"> ①管理用通路（天端）＋1:2勾配斜面 【一乗谷川・茂漁川標準断面】 ②管理用通路（天端）＋積み護岸＋散策路（水際） 【和泉川・津和野川標準断面】 	管理用通路・散策路： ・拠点の利用（風景鑑賞、釣り等） ・線的使用（散策、ジョギング、サイクリング）
5 < W/D ≤ 10	<ul style="list-style-type: none"> ③上記①の斜面勾配を緩くする（1:5～1:10勾配） 【和泉川(左)】 ③に加えて平場（1:10勾配より緩い）（天端または水際） 【津和野川・一乗谷川】 上記②に加えて平場（天端または水際）【白川】 	上記に加えて、 斜面（1:5～1:10勾配）： ・拠点の利用（座る、寝転がる、休む） ・線的使用（歩いて上り下りする） 平場（1:10勾配より緩い）： ・線的使用、拠点の利用（レクリエーション、イベント等） ・河岸空間を全体的に利用（複合的活動）
10 < W/D	上記に加えて、 ・平場や緩傾斜斜面、散策路（高水敷） 【茂漁川・横手川・子吉川・阿武隈川・糸貫川・太田川】	上記に加えて、 ・線的使用（自由な動線での移動、散策） ・拠点の利用（ピクニック、野草摘み、スポーツ等）

1,100km² の一級河川である。緑川では、「緑川水辺空間計画（案）」¹³⁾が策定されており、地域の歴史や自然環境、利用、景観等の基礎情報が「緑川水辺空間マップ」（以下、

表 2-4 水辺拠点の概要 (緑川本川) ¹⁵⁾

拠点名称	距離標	所在地	管理者	面積	区間延長	利用者数	主な利用形態	設備等
A.天明地区河川広場	0.0	熊本市	国土交通省	2,000m ²	約 50m	48 人	釣り, 散歩	—
B.中無田開門地区	6.7	熊本市	国土交通省	1,000m ²	約 200m	97 人	釣り, 散策, 環境学習・体験学習(船,カヌー, 水遊び)	駐車場, 施設・トイレ, 広場, ベンチ, 開門
C.富合運動公園 (緑川総合運動公園)	7.6	熊本市	熊本市	4,000m ²	約 300m	458 人	スポーツ (サッカー), 散策, 釣り	駐車場, 簡易トイレ, 広場, 水辺階段
D.高田地区河川広場 (高田みんなのひろば公園)	13.4	嘉島町	嘉島町	70,000m ²	約 400m	691 人	グランドゴルフ (有料), ジョギング, 釣り, 散策, ピクニック	駐車場, 管理棟・トイレ, 広場, ゴルフ場, 水辺階段
E.甲佐町河川公園 (津志田河川自然公園)	20.4	甲佐町	甲佐町	4,000m ²	約 600m	2,793 人	キャンプ, 水遊び, 釣り, カヤック, バーベキュー	駐車場, トイレ, 広場, 河原
F.グリーンパル甲佐	24.4	甲佐町	甲佐町	4,000m ²	約 250m	416 人	グランドゴルフ (有料), 釣り, 防災用ヘリポート	駐車場, 管理棟・トイレ, ゴルフ場, 環境護岸
G.中甲橋グリーンパーク	27.2	甲佐町	甲佐町	4,000m ²	約 250m	687 人	アユ釣り, 水遊び, キャンプ, バーベキュー, 休憩, 祭り・花火	駐車場, 簡易トイレ, 広場, 水辺階段

「マップ」という、計 14 枚) にまとめられている。マップに掲載されている情報の出典は、河川整備計画、河川水辺の国勢調査、水系の歴史調査業務報告書等である。

【利用】に関するマップには、水辺拠点 (広場、公園、イベント、スポーツ等に利用されている場所) が示されている。このうち、緑川本川 (国管理区間延長約 30km) に整備済の水辺拠点で、「川の通信簿」¹⁴⁾実施箇所 (7 地点) を検討対象とした。

2) 水辺拠点の概要

分析対象とした水辺拠点の概要を表 2-4 に示す。各拠点は、釣り、水遊び等の親水活動、美しい河川景観を体感できる散策、ピクニック、キャンプ等、広々とした水辺空間を活用したスポーツ等に利用されている。また、駐車場、トイレ、水辺階段等が整備されている箇所が多い。

平成 26 年度の水辺空間利用実態調査¹⁵⁾ (以下、「水国調査」という) によると、利用者が一番多かったのは拠点 E で、約 2,800 人 (調査日 7 日間の合計。本川の利用者は計 8,993 人) であった。緑川随一の親水スポットとして賑わっている。1km 区間毎の平均利用者数は 145 人で、拠点 A,B は平均を下回っている。対象水辺拠点以外に平均を上回った区間は 8 箇所あり、グラウンド、釣り、散策、農作業等に利用されていた。

川の通信簿¹⁴⁾の評価結果は、「相当良い」が 4 カ所 (拠点 B、D、E、G)、残り 3 カ所は「普通」と、全体的に良い評価が得られている。

なお、各拠点の距離標から最も近い横断面データを用いて W/D を算定したところ、全て 5 以上 (9.1~30.3) であり拠点に必要な空間スペースを有していた。

3) 評価指標候補の設定及び水辺拠点での適合分析

【2】 良好な景観・自然環境

a) 自然風景として質の高い場所

- ・特徴的な景観
- ・地域に親しまれている樹木・並木
- ・橋からの眺め

b) 歴史的な街並みや構造物等がある場所

- ・治水・利水の歴史的施設
- ・史跡
- ・文化財

c) 自然環境が良好な場所

- ・BOD75%値・感覚的な水質指標¹³⁾
- ・瀬淵・干潟・湛水区間・感潮区間等河道特性
- ・鳥類の生息地
- ・漁港・漁場区域
- ・釣りに利用されている場所¹²⁾

【3-1】 背後地の利用可能性

d) 都市中心部

- ・ DID 地区
- ・ DID 地区から 5km 以内

e) 不特定多数の人が集まる場所

- ・ 公民館・駅・役場からの距離

f) 利便性・利用性が高い場所

- ・ 主なアクセス方法¹²⁾
- ・ 周辺道路からのアクセス性
- ・ 高速道路 IC からの距離
- ・ 校区小学校・公園からの距離

【3-2】 川と地域の関わり

g) まちづくりと一体的な歴史的・文化的景観の創出を図る場所

- ・ 都市計画マスタープラン, 景観計画, 緑の基本計画等への記載

h) 観光の拠点となる場所

- ・ 観光地からの距離
- ・ 観光ルート

i) 行事・イベントの場所

- ・ イベント利用

※下線を引いた項目はマップを参照したもの

図 2-5 水辺拠点の評価指標候補

評価指標候補は、現場での適用を想定し、データ取得の容易性等を勘案して設定した。参照したデータはマップの他、水国調査¹⁵⁾、水質調査¹⁶⁾、国土数値情報、地方公共団体等の公表資料とした。評価指標候補を図 2-5 に示す。

また、2) の水辺拠点について、指標候補の該当状況の確認、あるいは距離の算定 (GIS 上で実施) を行った。

(2) 指標候補の適合整理結果

各水辺拠点における指標候補の適合状況を表 2-5 に示す。紙面の都合上、該当が多かった指標候補等を抜粋して掲載してある。

評価軸群【2】に関しては、重点区間の判定基準に該当

表2-5 評価指標候補の適合状況

評価軸群	【2】						【3-1】						【3-2】
	評価軸	a)	b)	c)			d)	e)	f)				i)
指標候補 拠点	橋からの眺め	歴史的 景観	水質	河道特性	釣魚	DID地区 から5km	公民館	アクセス 方法	アクセス 道路	IC	小学校	公園	イベント
A	×	×	1.0,-	河口,干潟	○(海)	○	<1km	バス停 徒歩24分	△(分離帯 なし)	(駐車場な し)	1km<	1km<	×
B	×	○	1.0,-	背割堤	○	○	1km<	橋から 徒歩8分	△(分離帯 なし)	<20km	1km<	<1km	○
C	△	×	1.0,-	高水敷	○	○	<1km	橋から 徒歩3分	△(分離帯 なし)	<20km	1km<	1km<	×
D	△	×	0.8,-	高水敷	○	○	<500m	橋から 徒歩1分	○(二車 線)	<10km	<1km	1km<	×
E	△	×	0.8,B	瀬淵 砂礫 河原	○	×	<1km	橋から 徒歩3分	△(分離帯 なし)	<10km	1km<	1km<	×
F	△	×	0.8,-	高水敷	○	×	1km<	橋から 徒歩2分	○(二車 線)	<10km	1km<	1km<	○
G	△	×	0.7,B	瀬淵 砂礫 河原	○ (アユ)	×	<500m	橋から 徒歩2分	△(分離帯 なし)	<20km	<500m	1km<	○

※c) 水質における“B”は新しい水質指標（人と河川との豊かなふれあいの確保）による評価結果（B：水の中に入って遊びやすい）

する拠点はなかったが、いずれの拠点も自然環境が良好であり、評価軸c)の指標候補に該当した。評価軸a)の指標候補では、橋の上から視認できる拠点多かったが、2.1の事例のように水辺拠点等を眺望する場として用いられている箇所は見られなかった。

評価軸群【3-1】に関しては、拠点Fを除き重点箇所の判定基準（評価軸d), e)の指標候補及びf)の“小学校”・“公園”）に適合していた。また、いずれの拠点も周辺道路からのアクセス性が高い一方で、公共交通機関の利便性は高くなかった。【3-2】では、祭り等に利用されている拠点があつたが（評価軸i)に関する指標候補）、水辺拠点の整備前からイベントが行われているか確認できなかつたため、指標検討の対象外とした。

(3) 評価指標（案）の検討及び考察

1) 重点箇所の判定基準との対応

重点箇所の判定基準に該当しなかつた拠点 F は、郊外部に位置し公共交通機関の利便性は高くないものの、高速道路 IC から 15 分程度でアクセスでき、町内外からグランドゴルフ利用者が集まっている¹⁷⁾。評価軸 f)の指標として「車によるアクセス可能性が高い（IC から近い、アクセス道路がある、駐車場整備スペースがある等）」も有効と考えられる。

また拠点 A は、都市中心部に近く不特定多数の人が集まる場所（公民館）からも近いが、公共交通機関・車の利便性は低く、他の拠点と比べて利用者数も少ない。近隣住民以外の利用は少ないものと思われる。利便性の向上は水辺拠点の整備に不可欠であると言える。

2) 利用形態との対応

評価軸 c)の指標候補及び f)の“公園”は、拠点の利用形態と関連が見られた。既往文献¹⁸⁾を参照し、表 2-6 に示す

表2-6 親水活動の分類

活動タイプ	活動内容	水辺拠点との対応
身近な自然志向型	水遊び, 魚・虫捕り, 釣り, 身近な自然の観察など	A, B, C, D, E, F, G
水面利用型	ボート, カヤック, カヌー, 水上スキーなど	B, E,
散策型	歩く, 座る, 犬の散歩等	A, B, C, D, G
自然観賞型	バードウォッチング, 写真撮影, 写生など	
イベント型	祭り, 灯籠流し, やな, 流し雛たこ揚げ大会, 花火大会, 芋煮, 花見など	B, F, G
レジャー・スポーツ型	球技, たこ揚げ, ラジコン, サイクリング, ジョギング, バーベキュー, キャンプなど	C, D, E, F, G

ように親水活動のタイプを分類した。同表には、拠点 A～G との対応関係も示してある。いずれの拠点も、複数の活動タイプに該当していた。

緑川はほぼ全域が漁場または漁港区域であり、全拠点で釣り利用が行われている。また、感覚的な水質指標の評価が高く、水際から水中にアクセスしやすい砂礫河原がある拠点 E,G では、水遊びが行われている（「身近な自然志向型」と対応）。

「レジャー・スポーツ型」の活動が行われている拠点 C～G では、他の公園（都市公園種別において地区公園以上の広さを有するもの）から 1km 以上離れているという特徴が見られた。地区公園は「主として徒歩圏内に居住する者の利用に供することを目的とする公園で誘致距離 1km の範囲内で、面積 4ha を標準として配置する」と定義されている。拠点 C～G の面積はおおよそ地区公園に相当する。運動施設としての機能が競合しないような配置されていることが考えられる。

以上より、漁港・漁場区域、感覚的な水質指標、砂礫河

原、公園からの距離 (1km 以上) は、評価指標に適していると考えられる。

その他の利用タイプについて、散策型は必ずしも拠点整備を行わなくとも散策路等があれば実施可能である。緑川では年間を通じて高水敷や堤防の散策利用が多く見られている¹⁵⁾。また、水面利用型、自然観賞型、イベント型は該当する拠点が少なく、特徴の分析には至らなかった。例えば水面利用型では、活動を安全に行うために必要な河道特性 (流速・水深・川幅) が提示されており¹⁹⁾、今後これらを指標として検討する必要がある。

2.3 まとめ

これまでに得られた主要な成果を以下に示す。

- 水辺拠点の抽出に資する評価軸として、「拠点整備に必要な空間スペースがある」、「良好な景観・自然環境がある」、「地域の社会環境から利用可能性が高い」に関する 11 の評価軸が得られた。
- 「拠点整備に必要な空間スペース」に関する評価指標として W/D を提案した。河岸空間の広がりを表現した W/D は、利用ポテンシャルとの良好な対応関係が見られ、河岸空間の利用ポテンシャル評価指標になると考えられる。また、この指標は河川規模によらず一律に適用することが可能であり、汎用性が高いものと思われる。
- 「良好な景観・自然環境がある」、「地域の社会環境から利用可能性が高い」に関する評価軸の指標化についてケーススタディを行った結果、美山河の重点箇所の判定基準に加え、「車によるアクセス可能性が高い」、「漁港・漁場区域」、「感覚的な水質指標の評価が高い」、「砂礫河原」、「公園からの距離 (1km 以上)」が評価指標に適していることが分かった。
- 拠点の利用形態との対応が見られる評価指標があった。水質評価が高く、水中に入りやすい砂礫河原がある拠点では、水遊びが行われていた。また、レジャー・スポーツ型の活動が行われている拠点は、他の公園から 1km 以上離れており、運動施設としての機能が競合しない配置となっていた。

評価指標 (案) の検討は、一河川でのケーススタディにとどまっているため、他河川でのケーススタディの実施により、評価指標の数値化や指標間の重みづけ等を検討する必要がある。令和 1 年度以降、検討を進める予定である。

3. 河川水辺の国勢調査データを用いた保全優先地区の抽出技術に関する研究 (植物・植生)

植物群落を希少性、典型性、特殊性、外来性の観点から評価した研究 (前中期プロジェクト研究) では、千曲川では沈水植物群落および抽水植物群落、揖斐川では沈水植物群落がそれぞれ保全優先度の高い群落として抽出された^{20)、21)}。これらはいずれも氾濫原に特有の植物群落であるが、近年の河床低下にともなう冠水頻度の低下などにより、近年、急激に縮小している種群である。

平成 28 年度は、これらの植物群落が持続的に成立する箇所を保全優先地区 (ホットスポット) とし、群落の分布を決定する環境条件について、土砂堆積などの地形変化や成立後の年数に着目して明らかにした。以下に、千曲川の抽水植物群落と、揖斐川の沈水植物群落を対象として保全優先地区を抽出した事例を示す。

3.1 抽水植物群落を対象とした保全優先地区の抽出 (千曲川での事例)

3.1.1 調査地

千曲川の直轄管理区間 (KP52~108km) の約 56km を調査地とした (図 3-1)。河道内に、湿地や大小さまざまなワンド、たまりなどの氾濫原水域が形成されている。本調査地では、1981 年頃より河道の局所的な洗掘が進行し、流路と高水敷の比高差が拡大していることが報告されている。地区を抽出した事例を示す。

3.1.2 資料調査

河川水辺の国勢調査 (以下、「水辺の国調」という。) の 1994 年、1999 年、2004 年、2008 年の植生面積データを用いて、ヨシ群落と沈水植物群落の分布の変遷を把握した。また群落ごとに 1km を 1 区間として区間単位で各群落

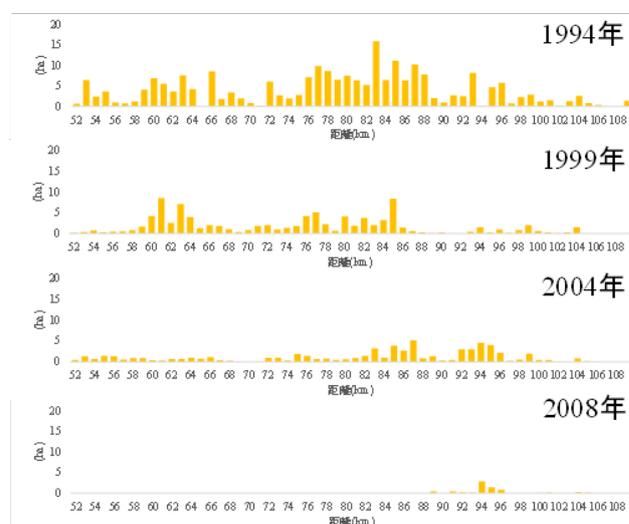


図 3-1 千曲川(KP52-108km)におけるヨシ群落の変遷

パッチの面積を集計した。千曲川のヨシ群落については、1994年にヨシ群落として認識された各群落パッチが2008年に何の群落に遷移したかについて、水辺の国調の植生図を用いて把握した。

3.1.3 統計解析

ヨシ群落からの遷移後の植生間で、地形変化（堆積・侵食）を比較した。比較にあたっては、すべての変数の分布に正規性が確認されなかったため、ノンパラメトリックな分散分析法である Kruskal-wallis test と Steel dwass の全群比較を採用した。全群比較については、R version 3.0.2 を使用した。

3.1.4 結果と考察

水辺の国調の植生調査結果から、調査地（52-108km）のヨシ群落は、最近15年間で約230haから約7haへと大幅に減少したことが示された（図3-1）。千曲川では、1998年8月と1999年8月に2000 m/sを超える大きな洪水が発生し、調査範囲内の植生の大部分が流失したことが報告されている²⁾。このため、1994年から1999年にかけてのヨシ群落の大幅な減少は、これらの大洪水によって引き起こされたと考えられる。ヨシ群落が消失した箇所は、その後、流路や裸地へと変化していたほか、オギ群落やカナムグラ

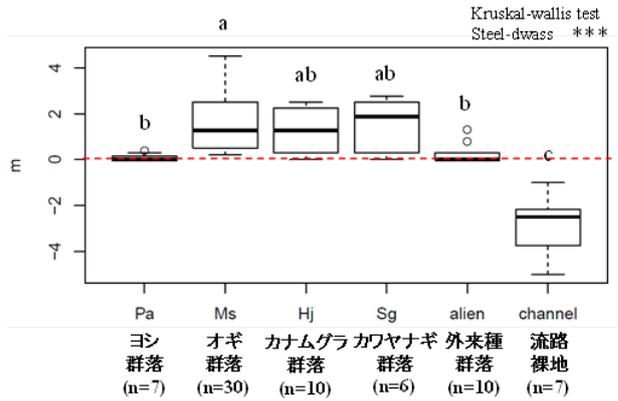


図3-2 植生遷移後の地形変化
(ヨシ群落からの遷移, 1994年→2008年)

群落などの他群落や、ハリエンジュなどの外来種群落へと遷移した（図3-2）。ヨシ群落が維持された箇所は、全パッチのわずか10%程度であった。

ヨシ群落が流路や裸地へと変化したところでは、侵食により2.5m程度（中央値）の地盤の低下が起こった（図3-2）。一方、他の植物群落へと遷移したところでは、外来種群落を除きいずれも土砂が堆積した。ヨシ群落からの遷移の頻度が最も高かったのはオギ群落であり、全体の30%近くを占めた。ここでは、1994年から2008年の14年間

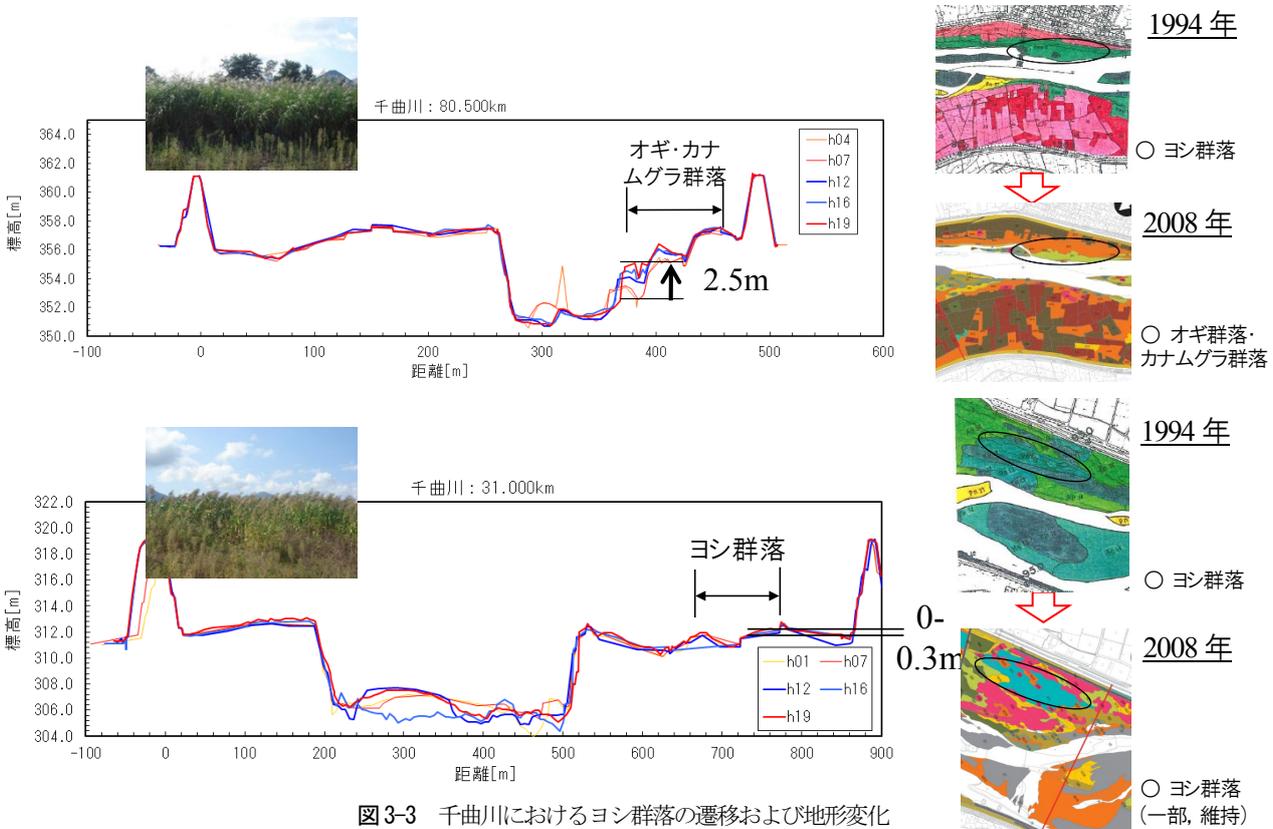


図3-3 千曲川におけるヨシ群落の遷移および地形変化

(水辺の国調の植生図および定期横断測量図を使用,

上: KP80.5km(オギ群落, カナムグラ群落に遷移), 下: KP31.0km(ヨシ群落が一部維持)

で、1.3m 程度（中央値）の土砂の堆積がみられた（図 3-2、図 3-3）。オギは砂礫による埋没を受けても、幹の節から新しい根やシュートを出すことですばやく群落を回復させる²³⁾。また千曲川において、植生と表層細粒土層厚との関係を調べた既往研究によれば、オギ群落の成立条件として、厚く堆積した表層細粒土層の存在をあげている²²⁾。各群落の構成種を示した群落組成表から、ヨシ群落内には、もともと多くの箇所でおギが生育していたことが示されている。このため 1998 年から 1999 年の大洪水によってヨシ群落が出たのち、高水敷上に土砂が堆積したところでは、土砂による埋没に耐性を持ち、地下茎によって拡大するオギが優占し、洪水前のヨシ群落からオギ群落への遷移が起こったと考えられる。

これに対し、ヨシ群落が維持されたところでは顕著な地形変化は起こらなかった（図 3-2、図 3-3）。ここでは、地下茎を発達させながら、土砂が厚く堆積した条件のもとで広がるオギが拡大できず、もともと高い被度で生育していたヨシが再生できたものと考えられる。

ヨシ群落は、日本の氾濫原湿地にみられる代表的な植物群落のひとつである。しかしヨシ群落では、近年、河川改修などの開発や、侵略的外来植物の侵入などによる消失や変質が進行していることが報告されている²⁴⁾。千曲川のヨシ群落内では、最近になって外来種の割合が増えてきており、とくに 2004 年以降、特定外来生物のアレチウリもみられるようになった。これはアレチウリが千曲川で急増し始めた時期と一致している。また 2004 年以降、ヨシ群落がハリエンジュ群落をはじめとする外来種群落へと遷移した。ハリエンジュは河川の増水によって植物体の一部や種子が運ばれ、これらが漂着したところでいち早く発芽し、空間を占有することで拡大する²⁵⁾。ヨシ群落がハリエンジュ群落へと遷移したところでは、ヨシ群落が維持されたところと同様、顕著な地形変化はみられなかった（図 3-2）。ハリエンジュの種子は、洪水時に高水敷上の広範囲に分散し定着することが知られている²⁵⁾。種子定着後、短期間に土砂が厚く堆積したところでは、発芽したハリエンジュの実生は埋没によって枯死すると考えられるため、土砂が堆積しなかったところで群落が成立したのであろう。

以上のように、全国的な傾向と同様、千曲川でもヨシ群落の大幅な縮小と、オギやハリエンジュなど他群落への遷移が確認され、この要因のひとつに土砂の堆積が影響している可能性が示唆された。一方、ヨシ群落が持続的に成立したところでは、地形変化はおこっておらず、現在、ヨシ群落がみられる箇所のうち、地形変化がおこっていない箇

所では、今後もヨシ群落が持続的に成立する可能性があり、これらを保全優先地区として抽出した。

3.2 沈水植物群落を対象とした保全優占地区の抽出（揖斐川における事例）

3.2.1 調査地

揖斐川では、後背湿地が形成され自然堤防が発達する河口からの距離 31～50km の区間を調査地とした。調査地の河道内には大小さまざまなワンドやたまりが形成されている。このうち 32～39km では、2000 年から 2007 年にかけて河積拡大のための高水敷掘削が実施されている。

3.2.2 資料調査

水辺の国勢調査(揖斐川)の 1997 年、2002 年、2007 年、2012 年の植生面積データを用いて、沈水植物群落の分布位置を把握した。また群落ごとに 1km を 1 区間として区間単位で群落パッチの面積を集計した。沈水植物群落は、角野²⁶⁾に掲載される沈水植物が優占する群落とした。

3.2.3 現地調査

2014 年の航空写真を判読し、長さ 20m 以上のワンド、たまりを抽出した。抽出されたワンド・たまりのうち、河川の縦断方向に 200m 間隔で取得された定期横断測量ラインが水域を跨ぐものを調査対象とした。その結果、19 箇所のたまり、7 箇所のワンドが調査対象となった。ワンド、たまりの区別として、1977 年、1981 年、1987 年、1993 年、2002 年、2006 年、2014 年の航空写真から本川と常時接続していると判断されたものをワンド、それ以外をたまりとした。

調査対象とした 26 箇所の調査方形区では、すべての高等植物の被度(%)を 5%刻みで記録した。同じ調査方形区内で水深、泥厚、水温、透視度、流速、pH、電気伝導度(以下、EC)、溶存酸素量(以下、DO)、全窒素(以下、T-N)、全リン(以下、T-P)を計測した。

上記に加え、1977 年、1981 年、1987 年、1993 年、2002 年、2006 年、2014 年の航空写真を用いて、26 箇所のワンド、たまりの成立年代を把握した。また 26 箇所の地形変化(堆積・浸食)状況について、各ワンド、たまりを横断する定期横断測量ラインのうち、2011 年と 2002 年のデータを用いて最近 9 年間の最深部の標高値の差を算出した。

3.2.4 統計解析

26 の調査方形区で得た植生データ(すべての植物の被度)をもちいて氾濫原水域の植生分類をおこなった。植生の分類に用いたプログラムは TWINSPAN(Two-way Indicator Species analysis)である。分類された植生タイプ間

で、13 の環境因子(水深、泥厚、水温、透視度、流速、pH、電気伝導度(EC)、溶存酸素量(DO)、全窒素(T-N)、全リン(T-P)、地形の変化(堆積/侵食)、ワンド・たまり成立後の年数、高等植物の種数を比較した。次に植生のある調査区を対象に、ワンド・たまり(在来種優占/外来種優占)間で、これらの13 因子と在来種の割合、外来種の割合を比較した。比較にあたっては、すべての変数の分布に正規性が確認されなかったため、ノンパラメトリックな分散分析法である Kruskal-wallis test と Steel dwass の全群比較を採用した。

3.2.5 結果と考察

①沈水植物群落の分布状況の変遷

河川水辺の国勢調査の調査結果から、在来の沈水植物群落は5~10 年間という極めて短期間のうちに、ジャヤナギーアカメヤナギ群落やオオフサモ群落などの他群落へと遷移するか、開放水面(無植生)へと変化したことを示した。放棄されたため池では10~20 年間で植生が消滅するか他の群落へと遷移したことが報告されているため、河川の氾濫原水域における沈水植物群落の遷移は、近年の放棄されたため池を上回る速度で進行している可能性がある。

②沈水植物群落の成立条件

TWINSpan により、揖斐川の氾濫原水域に成立する沈水植物群落は、種組成データから5 つの群落に分類された(図3-4)。

無植生、在来種群落、外来種群落の3 つの植生タイプ間で、13 の環境因子を比較した結果、植生のない氾濫原水域は、成立後の年数が古く、地形が堆積傾向にあることが示された(図3-5)。2002 年から2011 年にかけての地形変化をみると、無植生の調査地では堆積が確認され、逆に侵食がみられた在来種群落および外来種群落と有意に異なった(図3-5)。定期横断測定の結果から、無植生の水域では、最近9 年間で50cm、年平均では5.5cm 程度の堆積(中央値)が起こった(図3-5)。

これは揖斐川高水敷の掘削箇所において掘削後の土砂堆積速度を推定した値である年間5~12cm²⁷⁾に当てはまる。この数値を濃尾平野北部における原生的な氾濫原の後背湿地堆積物の堆積速度とされている年間0.12-0.2cm²⁸⁾と比較すると、27.5~45 倍程度となり極めて大きいことがわかる。このように短期間で集中的に起こる土砂供給によって埋土種子や植物体が埋没し、種子の発芽阻害や植物体の枯死が起こった可能性がある。

本研究では、各水域の洪水攪乱の程度は把握しなかったが、本川と常時接続するワンドは、流速が速く透視度が高いといった物理的条件によって特徴づけられていた(図3-6)。これは本川との接続頻度が高いために、本川の環境が

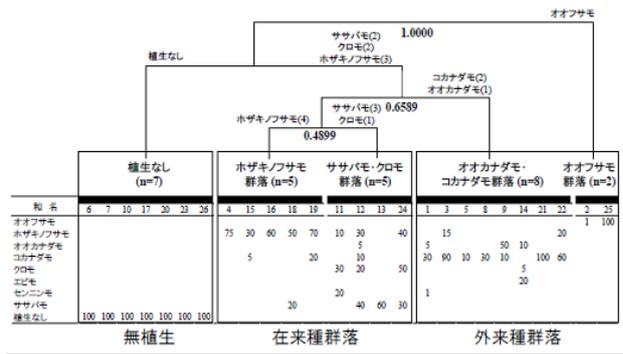


図3-4 TWINSpan による沈水植物群落の区分 (デンドログラム中の数字は固有値、種名は指標種を示す)

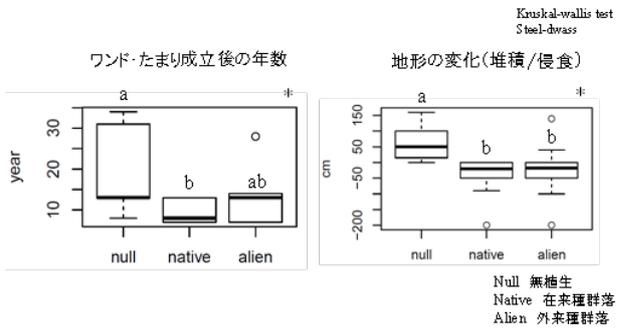


図3-5 植生タイプ間の環境条件の比較 (有意な項目のみ表示)

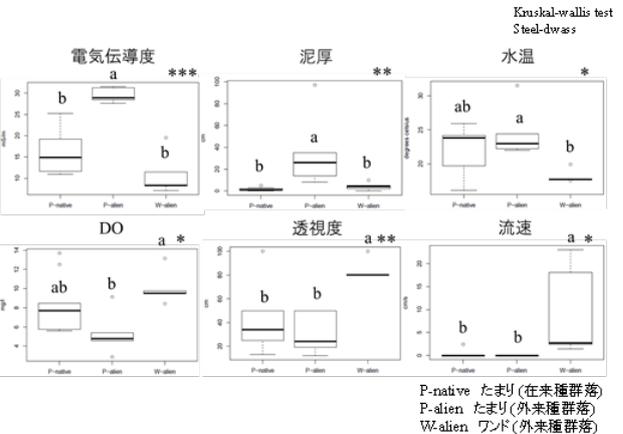


図3-6 ワンドとたまりにおける環境条件の比較 (ワンドには外来種群落のみが成立)

反映されたものであるといえる。また現地調査時、揖斐川ではオオカナダモなど大量の外来種の切れ藻が本川の流路内を流下していた。とくに本川と常時接続しているワンドでは、こうした切れ藻が供給される機会が多く、発生した不定根により水底に定着する²⁹⁾ことで短期間のうちに外来種群落が発立したと考えられる。一方、本川から切り離され孤立したたまりでは、年数の経過とともに、易分解性有機物の堆積による嫌気過程の進行³⁰⁾が起こっている

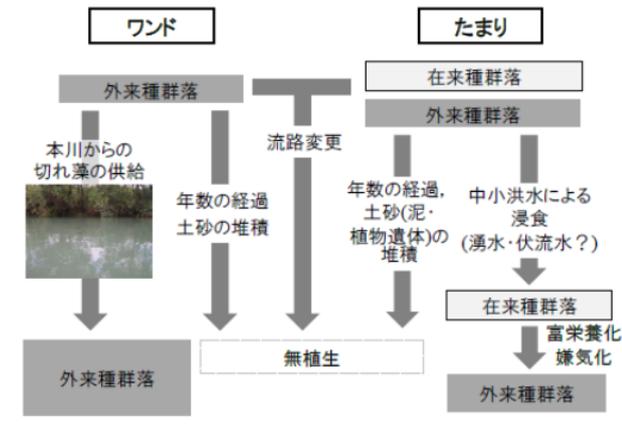


図3-7 揖斐川の氾濫原水域における沈水植物群落の変遷 (模式図)

と考えられる。外来種が優占するたまりは、低DO、高泥厚、高ECによって特徴づけられており(図3-6)、外来種群落は、ワンドだけでなく、孤立し嫌気的な環境となったたまりにも適応した植物群落であるといえる。

ササバモ、ホザキノフサモなどの在来種群落は、たまりのみに成立したが、これらは、泥厚とECが低いことで特徴づけられた。原田ほか²⁷⁾は、揖斐川のたまりのなかに湧水に依存しているものがあることを指摘している。たまりの在来種群落は、伏流した流路の水や湧水の流入による小規模な攪乱を受けることで維持されている群落かもしれない。しかしこうしたたまりも、易分解性有機物の堆積による嫌気過程が進行することで、外来種群落へと遷移していくことが想定される(図3-7)。

③保全優先地区(ホットスポット)の抽出

在来の沈水植物群落は、成立後の年数が新しく土砂が堆積せず、湧水が流入するたまりにおいて経年的に成立していた。全26のワンド、たまりのうち7つがこれらに該当し、これらを保全優先地区として抽出した(図3-8)。このように、保全対象群落と地形・環境条件との対応関係を解析することで、保全対象群落の成立条件を把握し、保全優先地区(ホットスポット)が抽出可能であることが確認された。

4. 鳥類を対象とした保全優先地区の抽出

河川環境は多種の鳥類種の生息場所となっており³¹⁾、鳥類群集の多様性保全の場として重要な役割を果たしている。しかし、近年の河川環境の改変によって、鳥類の生息域が限定され、多種の鳥類が激減の一途を辿っている。これに加えて、国内では河川域において鳥類群集を対象とした保全生態学的研究例が少なく、近年の出現傾向や具体的な鳥類のホットスポット等は明らかにされていない。そ



図3-8 揖斐川におけるワンド・たまりの分布と保全優先地区

こで、本研究では、既存の河川水辺の国勢調査における鳥類データを用い、近年の各水系における鳥類の出現傾向を精査し、さらに、河川の植生や水域、自然裸地等の物理環境と、そこに出現する鳥類との関係性を明らかにするため、解析を試みた。

4.1 河川性鳥類の定義・抽出

河川を利用する鳥類は、その生活型により、3つの分類群に大別することができる。その3つとは、発達した水かきを持ち、水面に浮かぶことのできる「水禽類」、水辺を長い脚で歩行しながら採餌する「渉禽類」、そして生活の中心は陸上だが、採餌場所や営巣場所に水域を利用する「水辺の陸鳥」である^{32,33)}。本研究では、まず、これらの3分類群の鳥類を「河川性鳥類」と定義し、国内の鳥類生態が詳細に記述されている既存の文献³⁴⁾⁻³⁸⁾を踏まえ、国内に生息する河川性鳥類の抽出を行った。抽出の手順として、図4-1のフローに従った。



図4-1 河川性鳥類の選定手順とその分類群

その結果、51 種の水禽類、92 種の渉禽類、49 種の水辺の陸鳥がそれぞれ抽出された。

4. 2 河川性鳥類の地域別出現種数の比較

河川性鳥類の地域ごとの出現傾向を把握するため、河川水辺の国勢調査（以下、水国）の鳥類調査結果 1-4 巡目のデータを利用した。なお、水国の鳥類調査では、2006 年からの 4 巡目調査を契機に、それまでのラインセンサス調査から、スポットセンサス調査へと、調査方法が大きく見直されている。そのため、鳥類の個体数データは使用せず、鳥類種の出現データのみを使用することとした。水系ごとに 1-4 巡目調査で出現した鳥類の累積種数を集計し、比較した。河川性鳥類のうち、河川への依存度が特に高いと考えられる水禽類と渉禽類を対象とした。

河川水辺の国勢調査において出現した水禽類は 4 科 48 種、渉禽類は 11 科 81 種であった。水禽類では、カモ科が 33 種と最も多く、それに次いでカモメ科が 9 種となった。渉禽類では、シギ科が 38 種と最も多く、それに次いで、サギ科 15 種、チドリ科 10 種となった。水禽類の累積種数は東北地方に多く、渉禽類の累積種数は九州地方に多い傾向があった（図 4-2）。水禽類について、東北地方には、ガン類の一大越冬地が集中していること³⁹⁾などを反映しているものと推察される。また、渉禽類については、九州地方が全国の中で干潟の面積が多く、東アジア・オーストラリアフライウェイにおいて、シギ・チドリ類の渡りの際の重要中継点となっていることを示していると考えられる⁴⁰⁾。

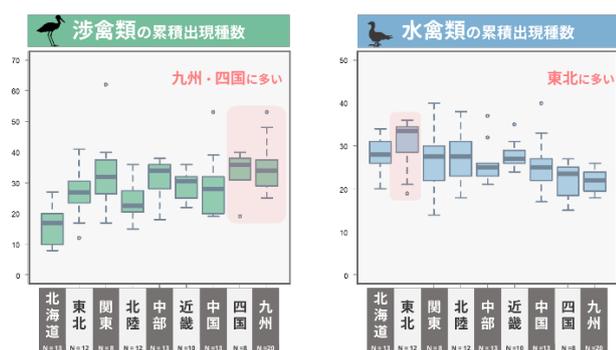


図 4-2 全国の一般水系における渉禽類と水禽類の地域別出現傾向

4. 3 河川性鳥類の近年における出現傾向の把握

河川性鳥類の近年における出現傾向を把握するため、水国の鳥類調査結果 1-4 巡目のデータを利用した。鳥類の個体数データは使用せず、鳥類種の出現・非出現データのみ

を使用することとした。

まず、各水系の巡目ごとの出現種数を集計した。これらを用い、4 巡目の出現種数を以下の 4 つに分けて評価した。①最大値；4 巡目における出現種数が、過去の出現種数と比較して最も多い、②増加；最大値ではないが、3 巡目の結果よりも出現種数が増加している、③減少；3 巡目に比べて出現種数が減少している、④最低値；4 巡目における出現種数が、過去の出現種数と比較して最も少ない。

渉禽類と水禽類の 4 巡目での各水系の出現傾向を、地域ごとに図 4-3 に示した。渉禽類は北海道と中国以外の地域では、60%以上の水系で減少もしくは最低値となっていた。渉禽類の種が多様な九州でも、例外でなかった。その一方で、水禽類については、どの地域においても、50%以上の水系で増加もしくは最大値となっていた。このように、4 巡目の出現傾向から、特に河川域における渉禽類の危機的な生息状況が示された。

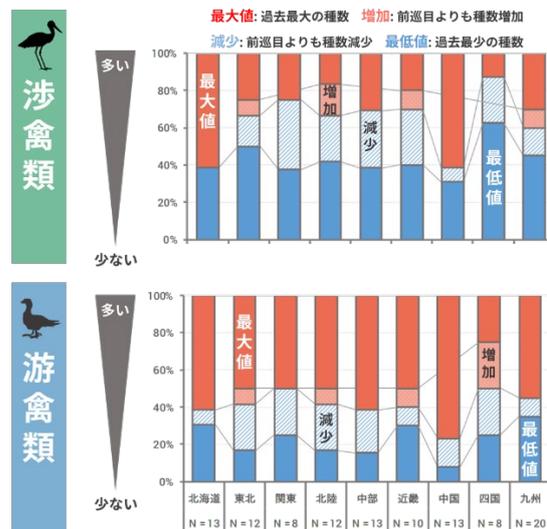


図 4-3 全国の一般水系における渉禽類と水禽類の種数に関する 4 巡目の出現傾向

4. 4 各渉禽類種における近年の出現傾向の把握

次に、各渉禽類種について、近年の出現傾向を把握するため、最新巡目である 4 巡目の出現傾向を以下の 3 つに分類して評価した。① 過去にも確認されており、4 巡目でも確認されている、② 4 巡目で初めて確認されている、③ 過去の 1-3 巡目の中で確認されていたが、4 巡目で確認されていない。また、これらの結果から、減少率 (③/①+②+③) を算出した。

表 4-1 にチドリ類の結果を示す。チドリ類では、タゲリ、ケリ、ムナグロ、ダイゼン、シロチドリ、メダイチドリの減少率が高かった。これらのチドリ類のうち、メダイチド

リやダイゼンは主に干潟を利用する種であるが⁴¹⁾、その一方でタゲリやケリは主に内陸の淡水湿地を利用する⁴²⁾。また、シロチドリは河川下流の砂礫地や海岸で繁殖する生態を有している³⁵⁾。

チドリ類と同様に、シギ類についても減少率を算出した結果、チドリ類の結果と同様に、干潟利用種に加え、オオジシギ、タシギ、タカブシギなどの内陸湿地を主に利用する種の減少率が非常に高かった。一例として、タカブシギの全国における出現傾向をみると、どの地域でも、非常に高い割合で近年出現していないことがわかる(図4-4)。チドリ類やシギ類の結果を踏まえ、これまでに指摘されている干潟の減少・劣化に加え⁴⁰⁾、全国的に急激な河川域の湿地環境の減少・劣化、砂礫地の減少が起こっている可能性がある。

表4-1 全国一級水系におけるチドリ類の減少率の状況

赤色は30%以上の水系で出現かつ減少率0.25以上の種
◎: 4巡目初出、○: 過去にも出現し、4巡目も出現、×: 過去のいずれかに出現したが4巡目で消失、-: 不在

種名	◎	○	×	-	減少率
タゲリ	9	32	36	32	0.47
ケリ	2	28	17	62	0.36
ムナグロ	11	15	37	46	0.59
ダイゼン	7	17	25	60	0.51
ハジロコチドリ	1	0	2	106	0.67
イカルチドリ	2	92	11	4	0.10
コチドリ	0	104	4	1	0.04
シロチドリ	5	56	28	20	0.31
メダイチドリ	4	21	35	49	0.58
オオメダイチドリ	3	0	5	101	0.63
ミヤコドリ	2	3	8	96	0.62
セイタカシギ	9	8	13	79	0.43



図4-4 全国の一級水系におけるタカブシギの4巡目出現傾向

4.5 河川における渉禽類の保全優先地区抽出方法の検討

渉禽類の全国的な減少傾向が明らかになったことを踏

まえ、渉禽類の保全優先地区の抽出方法を検討した。ここでは、対象種として、砂礫地を繁殖場所として利用するイカルチドリ、内陸湿地を主に利用する冬鳥のタゲリ、干潟と内陸湿地を利用する旅鳥のムナグロといった、生活史の異なる3種のチドリ類を選んだ。対象河川として、イカルチドリについては利根川水系鬼怒川(5-101 kp)および渡良瀬川(13-55 kp)を、タゲリおよびムナグロについては利根川(0-129 kp)を選んだ。2007年春期から2008年冬期にかけて実施された水国における鳥類スポットセンサスデータ(1 kmピッチで河川側の半径200 m範囲内にある鳥類データ)から、各地点の対象鳥類の在不在を抽出した。なお、この調査では、鳥類の春渡り期、繁殖期、秋渡り期、および越冬期の計4期に分けて調査が実施されていた。今回、イカルチドリについては繁殖期を、タゲリについては越冬期を、ムナグロについては春渡り期および秋渡り期を対象に解析を行った。鳥類スポットセンサスデータでは、右左岸ごとに1 kmスパンでデータが取得されているため、鬼怒川、渡良瀬川、利根川のスポット数はそれぞれ、194、86、260となった。各スポットと周辺の植生および物理環境との関係性を明らかにするため、水国の2006年の秋期に行われた河川環境基図データを利用した。

イカルチドリは大河川の中流域や扇状地などの砂礫地に多く、特に営巣地には植生の疎らな砂礫地に営巣するとされる³⁵⁾。それらを踏まえ、河川環境基図データから、自然裸地、人工裸地、グラウンドなどの造成地、湿生草地(鬼怒川); ヨシ群落、オギ群落、ツルヨシ群集、カワラヨモギ・カワラハハコ群落、渡良瀬川; ヨシ群落、オギ群落、ツルヨシ群集、イシミカワ群落、セリ・クサヨシ群集、ヤナギタデ群落)それぞれの片岸1 kmごとの面積[ha]を抽出した。イカルチドリの在・不在を目的変数、各河川環境および植生面積を説明変数に設定した。

タゲリは湿地や川岸に、ムナグロは干潟や水田、畑地、草地、河原に多いとされる⁴²⁾。それらを踏まえ、河川環境基図データから、自然裸地、堤外地水田、堤外地畑地、堤外地湿地、湿生草地(ヨシ群落、オギ群落、ウキヤガラ・マコモ群集、ヒメガマ群落、オオイヌタデ・オオクサキビ群落、カサスケ群落、コゴメイ群落、セイタカヨシ群落、セリ・クサヨシ群集)それぞれの片岸1 kmごとの面積[ha]を抽出した。タゲリおよびムナグロの在・不在を目的変数、各河川環境および植生面積を説明変数に設定した。

これらのチドリ類について、ランダムフォレスト法⁴³⁾による解析を実施した。ランダムフォレスト法では、目的変数に対する説明変数の相対変数重要が算出されるため、どの環境要因がイカルチドリの在不在に影響しているかを

理解しやすい。この解析方法は保全生態学における既往研究でもしばしば用いられている^{44,45)}。ランダムフォレスト法については、10,000本のCART樹木を構成し、解析した。相対変数重要度より、イカルチドリの在不在と関係性の強い要因に着目し、変数従属性を図示した。これらの解析には、R version 3.4.3のrandomForestパッケージを用いた。

イカルチドリの解析の結果、鬼怒川、渡良瀬川ともに相対変数重要度の最も高い要因は自然裸地の面積だった(図4-5)。鬼怒川では、自然裸地の面積が増加するにつれて、変数従属性が正の方向に増加しており、特に1-1.5[ha]程度の面積になると、変数従属性が急増した。同様に渡良瀬川でも、自然裸地の面積が増加するにつれて、変数従属性が正の方向に増加しており、0.5-0.7[ha]程度の面積になると、変数従属性が急増した(図4-5)。つまり、両河川でこれらの域値以上の自然裸地がある地点では、イカルチドリが出現する可能性が高いことを示している。

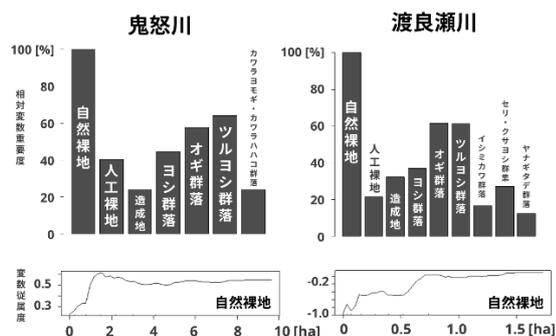


図4-5 鬼怒川と渡良瀬川の繁殖期におけるイカルチドリ出現と植生および物理環境とのランダムフォレスト解析の結果

上段が相対変数重要度を示す。下段は相対変数重要度の最も高かった自然裸地面積の変数従属性の推移を示す。

利根川におけるタゲリの解析の結果、オギ群落面積の相対変数重要度が最も高かった(図4-6)。オギ群落面積の変数従属性は7[ha]程度まで増減を繰り返したが、8[ha]程度から急激に上昇し、その後、頭打ちとなった(図4-6)。タゲリは開けて見通しのよい平坦地を好むとされているため⁹⁾、冬期の枯れたオギ原が、良好な生息地となっている可能性がある。

利根川におけるムナグロの解析の結果、ヨシ群落およびオギ群落の面積の相対変数重要度が非常に高かった(図4-6)。ヨシ群落面積の変数従属性は1[ha]程度までになると急激に増加し、その後、2[ha]程度から緩やかに低下した。5~15[ha]程度の間には変数従属性が安定したが、再び、約15[ha]から急激な増加を示した(図4-6)。オギ群

落面積の変数従属性は、0~1[ha]程度で急激に減少した。その後、約3[ha]から急激に増加し、約10[ha]で頭打ちとなった(図4-6)。ムナグロは干潟に加えて、作付期前や稲刈り後の水田を好むとされており⁴⁶⁾、ヨシ群落やオギ群落に生息する例は知られていない。例えば、ムナグロの飛来時期である4月では、ヨシやオギは十分に成長していないため、草丈の低いヨシ帯、オギ帯を利用している可能性がある。

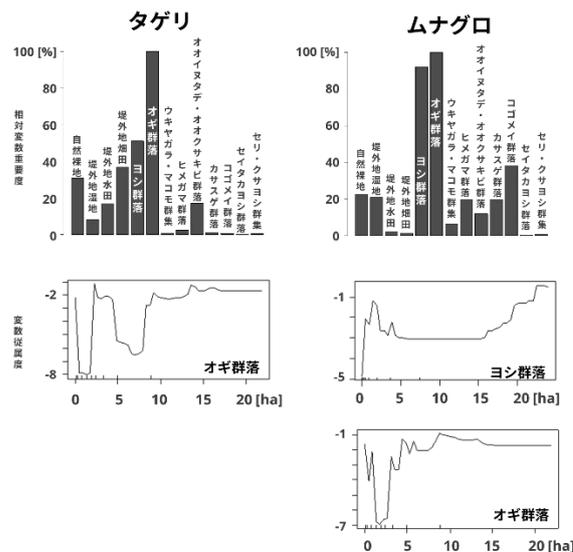


図4-6 利根川におけるタゲリ(越冬期)およびムナグロ(春・秋渡り期)の出現と植生および物理環境とのランダムフォレスト解析の結果

上段棒グラフが相対変数重要度を示す。下段折れ線グラフは相対変数重要度の高かったオギ群落とヨシ群落の変数従属性の推移を示す。

4.6 今後の展開

河川性鳥類の全国規模での出現傾向について、特に渉禽類を対象とした検討を行ったが、水禽類についても、同様の解析を実施する予定である。

イカルチドリのランダムフォレスト解析における鬼怒川と渡良瀬川の分類正確率はそれぞれ、64.4[%]、67.4[%]であった。利根川におけるタゲリの分類正答率は95.4[%]、ムナグロの分類正答率は94.2[%]と、よい精度が得られた。鬼怒川の結果では、分類正答率が高くないものの、水国の基図データと鳥類データの組み合わせで、対象鳥類の保全優先箇所や生息に必要な植生、物理環境の面積を見当付けることができる可能性が示された。しかしながら、鳥類のスポットセンサス実施箇所と、河川環境基図データの位置は、完全には一致していない。また、今回対象としたチドリ類3種に代表されるように、その生息環境を考える上で、堤外地だけでなく、堤内地の農耕地なども重要となる。

そのため、環境省の自然環境保全基礎調査植生調査を利用するなど、堤内外地の植生および物理環境との関係性を解析し、より詳細な保全優先地区の配置を検討していく必要があるだろう。

5. まとめ

景観、人の利用からみた重点区間の抽出技術に関しては、「水辺拠点」を設定し、既存文献分析及び事例調査から、拠点を抽出するための評価軸（案）を検討した。また、評価軸の指標化について検討を行った。今後、水辺拠点の抽出技術の検討を行う予定である。

生物に関しては、沈水植物・抽水植物を対象に、保全すべき植物群落が持続的に成立する箇所を保全優先地区とし、これらの分布と成立条件を明らかにした。また、鳥類について、渉禽類の出現傾向解析、利根川、鬼怒川、渡良瀬川を対象としたチドリ類 3 種の分布と植生および物理環境との関係性の解析を実施した。今後、保全優先度の高い動植物種が生息する群落や景観要素を抽出し、地形や水理量等の環境条件との対応関係を把握する。

参考文献

- 1) 生物多様性国家戦略2012-2020～豊かな自然共生社会の実現に向けたロードマップ～, 2012.9 閣議決定
- 2) 社会資本整備審議会:安全を持続的に確保するための今後の河川管理のあり方について [答申], 2013.4.
- 3) 鶴田舞、中村圭吾、萱場祐一:利用ポテンシャルが高い水辺拠点の評価手法の検討、河川技術論文集 25、2019.
- 4) 「河川景観の形成と保全の考え方」検討委員会編:河川景観デザイナー「河川景観の形成と保全の考え方」の解説と実践、財団法人リバーフロント整備センター、2008.
- 5) 島谷幸宏:河川風景デザイン、山海堂、1994.
- 6) 土木学会編:水辺の景観設計、技報堂出版、1988.
- 7) 環境省総合環境政策局環境影響評価課:環境影響評価技術ガイド 景観、2008.
- 8) 自然とのふれあい分野の環境影響評価技術検討会編:環境アセスメント技術ガイド 自然とのふれあい、財団法人自然環境研究センター、2002.
- 9) 鶴田舞、星野裕司、坂本貴啓、中村圭吾:地域の個性を反映した水辺空間の整備方針検討過程に関する調査、景観・デザイン研究講演集、No.14, pp.238-246, 2018.
- 10) 鶴田舞、萱場祐一:河岸の横断面形状に着目した空間利用ポテンシャル評価指標の提案、河川技術論文集 23、2017.
- 11) 北村信正:造園実務集成 公共造園篇 1 計画と設計の実際、技報堂出版、1972.
- 12) 小柳武和:土木施設景観の計量心理的評価手法に関する研究、土木学会第 31 回年次学術講演会、第 4 部門、pp.98-99、1976.
- 13) 国土交通省熊本河川国道事務所:緑川水辺空間計画(案)～まもろう!つなごう!緑川～、2018.
- 14) 国土交通省河川環境課:「川の通信簿」実施マニュアル(案)、2003.
- 15) 国土交通省熊本河川国道事務所:緑川河川水辺環境調査(底生動物・空間利用実態)業務報告書、2015.
- 16) 国土交通省九州地方整備局:九州地方一級河川の水質現況、2017.
- 17) (一社)九州観光推進機構:グリーンパル甲佐、<https://www.welcomekyushu.jp/event/?mode=top> (閲覧日:2019.2.5)
- 18) (財)リバーフロント整備センター:川の親水プランとデザイン、山海堂、pp.24-31、1995.
- 19) 建設省土木研究所河川部都市河川研究室:通常時の河川における人間活動(親水活動)と河川構造調査報告書、土木研究所資料第2206号、1985.
- 20) 片桐浩司、池田茂、傳田正利、萱場祐一:河道内氾濫原における水生植物群落の劣化要因の解明とその再生にむけて、河川技術論文集 22、2016.
- 21) 片桐浩司、池田茂、大石哲也、萱場祐一:揖斐川の氾濫原水域における沈水植物群落の分布と成立条件、応用生態工学 19、pp.55-65、2016.
- 22) 末次忠司、藤田光一、服部敦、瀬崎智之、伊藤正彦、榎本真二:礫床河川に繁茂する植生の洪水攪乱に対する応答、遷移および群落拡大の特性—多摩川と千曲川の礫河原を対象として—、国土技術政策総合研究所資料 161、2004.
- 23) 石川慎吾:河川植物の特性、「河川環境と水辺植物—植生の保全と管理」(奥田重俊・佐々木寧編)、pp.71-92、ソフトサイエンス社、東京、1996.
- 24) 小幡智子、石井潤、角谷拓、鷲谷いづみ:渡良瀬遊水地における過去の掘削履歴が絶滅危惧植物の現在の分布に及ぼす影響と影響評価地図、保全生態学研究 17、pp.221-233、2012.
- 25) 外来種影響・対策研究会編:河川における外来種対策の考え方とその事例、リバーフロント整備センター、2008.
- 26) 角野康郎:日本水草図鑑、文一総合出版、東京、1994.
- 27) 原田守啓、永山滋也、大石哲也、萱場祐一:揖斐川高水数掘削後の微地形形成過程、水工学論文集 59、pp.1171-1176、2015.
- 28) 堀和明、田辺晋:濃尾平野北部の氾濫原の発達過程と輪中形成、第四紀研究 51、pp.93-102、2012.
- 29) 外来種影響対策委員会:河川における外来種対策の考え方とその事例、「改訂版—主な侵略的外来種の影響と対策—」、財団法人リバーフロント整備センター、東京、2008.

- 30) Ponnamperuma F.N.: The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy* 24, pp.29-96, 1972.
- 31) 村上正志: 鳥類、「河川生態学」(中村太土編)、pp.150-154、サイエンティフィック、東京、2013.
- 32) 江崎保男: 河川の鳥類群集、「水辺環境の保全—生物群集の視点から—」(江崎保男・田中哲夫編)、pp.152-176、朝倉書店、東京、1998.
- 33) 中村登流: 野鳥の図鑑—水の鳥①、保育社、大阪、1986.
- 34) 中村登流・中村雅彦: 原色日本野鳥生態図鑑<陸鳥編>、保育社、大阪、1995.
- 35) 中村登流・中村雅彦: 原色日本野鳥生態図鑑<水鳥編>、保育社、大阪、1995.
- 36) 高木清和: フィールドのための野鳥図鑑—野山の鳥、山と溪谷社、東京、2000.
- 37) 高木清和: フィールドのための野鳥図鑑—水辺の鳥、山と溪谷社、東京、2002.
- 38) 高川晋一、植田睦之、天野達也、岡久雄二、上沖正欣、高木憲太郎、高橋雅雄、葉山政治、平野敏明、三上修、森さやか、森本元、山浦悠一: 日本に生息する鳥類の生活史・生態・形態的特性に関するデータベース「JAVIAN Database」、*Bird Research* 7, pp.9-12, 2011.
- 39) 横田義雄・呉地正行・大津真理子: 日本のガンの分布、羽数および生息状況、*鳥* 30, pp.149-161, 1982.
- 40) JR Conklin, YI Verkuil, BR Smith: Prioritizing migratory shorebirds for conservation action on the East Asian-Australasian Flyway, WWF-Hong Kong, Hong Kong, 2014.
- 41) 石川勉・桑原和之: 谷津干潟におけるチドリ類の個体数の変化、*Strix* 2, pp.19-32, 1983.
- 42) 浜口哲一・森岡照明・叶内拓哉・蒲谷鶴彦: 日本の野鳥、山と溪谷社、東京、1985.
- 43) 下川敏雄、杉本知之、後藤昌司: 樹木構造接近法、共立出版、2013.
- 44) Herrick K A, Huettmann F, & Lindgren MA: A global model of avian influenza prediction in wild birds: the importance of northern regions, *Veterinary research* 44: 42, 2013.
- 45) 上原匡人・今井秀行・岩本健輔・太田格・海老沢明彦・吉野哲夫・立原一憲: ドロクイ属 2 種の分布および生息環境: 近年の沿岸域の改変と交雑個体の出現の関係、*魚類学雑誌* 62, pp.13-28, 2015.
- 46) 渡辺朝一: 春期の水田におけるムナグロの採食地選択、*Strix* 19, pp.181-185, 2001.

11.2 河道掘削等の人為的改変に対する植生・魚類等の応答予測技術の開発

11.2.1 陸域における河道掘削を念頭においた河道内植生の管理技術に関する研究

担当チーム：水環境研究グループ（河川生態）

研究担当者：中村圭吾、傳田正利

【要旨】

平成 30 年度は、①平成 29 年度に提案した PCC 植生動態モデルの改良方法、及び、UAV 画像と AI (Artificial Intelligence : AI) を用いた植生図の自動作成手法の一般性の検証、以上の 2 点を実施した。

その結果、梯川において、PCC 植生動態モデルの改良、UAV 画像と AI を用いた植生図の自動作成、2 つの有効性と一般性を確認した。

キーワード：UAV（ドローン）、人工知能（AI）、植物群落クラスタ（PCC）、植生動態モデル

1. はじめに

近年、河川では草本や樹木群といった「安定植生域」が増加してきている。安定植生域の増加は、外来種の侵入・拡大、生物多様性の劣化、流下能力の低下、維持管理費の増大等、様々な問題を招いている。土木研究所の既往研究において、安定植生域増加の要因となる樹種の行き過ぎた生育を抑制する工法の開発に成功したが、樹林化後の対応法を提案した側面が強い。戦略的な河道管理を行うためには、安定植生域が生じない河道管理が必要となる。

河道管理の研究・実務においては、「河道掘削」は、洪水攪乱を促し、氾濫原的環境の創出を通し環境復元すること、安定植生域への遷移²⁾³⁾を遅らせることが報告されている。今後は、これらの知見を活用し、「河道掘削」が持つ環境復元、安定植生域抑制の機能に着目し、治水・環境の二つの目的を適切なコストで両立させる河川管理技術が求められる。上記の目的達成には、河川の物理環境と植生遷移の因果関係の解明、これらの因果関係に基づく植生動態の将来予測を行う技術が必要となるが、その開発は遅れている。

この様な背景から本研究では、達成目標 1：「植生域の拡大に着目した遷移プロセスの解明」、達成目標 2：「植物群落の遷移・更新を考慮した植生動態モデルの開発」を第一の目的としている。その後、達成目標 3：「治水・環境の視点から見た最適な河道掘削手法の提案」、達成目標 4：「治水・環境・維持管理の視点から見た最適な河道内植生の管理手法の提案」の流れで、達成目標を設定した。上述の検討を通して、治水・環境・維持管理の視点から見た最適な河道内植生の管理

手法の提案することを最終目的としている。

平成 28 年度は、研究全体の流れを俯瞰する目的で、実際の河道掘削の事業計画・評価に参加し、各達成目標の主要部を部分的に実施した。平成 29 年度は、具体的には、国土交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所と共に検討した信濃川水系千曲川冠着地区における旧流路部を活用した水路掘削と平面掘削の併用による砂礫河原再生事業による砂礫河原再生効果の検証と効果発生機構の報告、土木研究所と民間 4 社（国際航業（株）、（株）建設技術研究所、パシフィックコンサルタンツ（株）、（株）国土開発センター）との共同研究において実施した植生動態の監視技術として、近年、技術革新と普及が著しい無人航空機（UAV : Unmanned Aerial Vehicle）、人工知能（AI : Artificial Intelligence）を植生の初期侵入に大きな影響を与える表層土壌材料把握等に適用した事例を報告した。

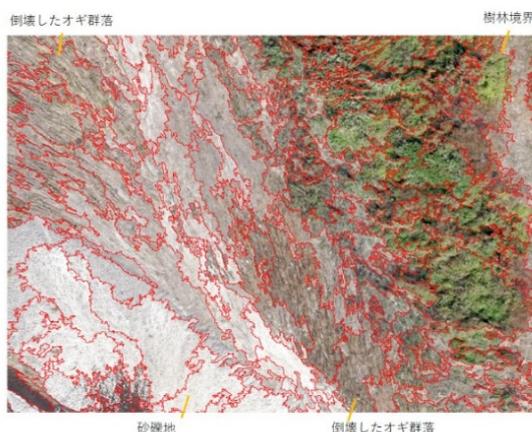


図-1 平成 29 年度における UAV・AI を用いた植生図の自動作成結果

その結果、UAV 画像と AI を用いた植生図の自動作成の可能性の確認、PCC 植生動態モデルの中小面積の植物群落動態の再現の成功、CIM 技術の適用による河道内地形・植生動態の再現の可能性を確認した。

平成 30 年度は、平成 29 年度までに概成した PCC 動態モデルを梯川水系梯川の河川改修計画に適用し、提案・概成した PCC 植生動態モデル、無人航空機

(UAV : Unmanned Aerial Vehicle)、人工知能 (AI : Artificial Intelligence) を用いた植生図の一般性の検証を行った。本報告書では、梯川の概要をとりまとめた後、PCC 植生動態モデル、UAV・AI を用いた植生図の作成の結果を報告する。

2. 梯川の概要

梯川は、その源を石川県小松市の鈴ヶ岳 (標高 1,175m) に発し、山間部を北流して手取川と梯川とによって形成された扇状地を西に蛇行し、小松市街地を貫流し、前川を合流した後、日本海へ注ぐ、幹川流路延長 42km、流域面積 271km²の一級河川である (図-1)。

梯川は、明治期までは小松市や能美市付近を蛇行して流れ水害が頻発していたため、明治期以降、捷水路の開削などの事業が行われ、現在では、引き堤による流下能力の改善が行われている。引き堤事業後には、堤外地に現在の高水敷よりも広い高水敷の形成が予測される。流量特性は、秋期に台風起因する出水があり既往最大流量で約 667m³/s である。

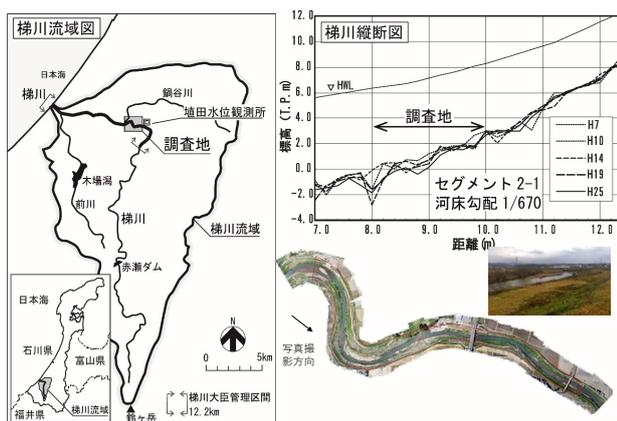


図-2 梯川の概要

しかし、平水は約 15 m³/s であるため、広がる高水敷上には定期的な攪乱が期待できず、樹林化の進展が懸念される河川である。引き堤という全国でも珍しい

事業により流下能力を改善し、植生管理にも取り組む点で、PCC 動態モデル、UAV・AI を用いた植生図の作成等の新たな試みを行うのに適していると考え、平成 30 年度に研究を実施した。

本研究では、梯川の中流部、佐々木・荒木田地区 (以下、「調査地」と記述する。) を対象とした。調査地は、梯川中流部 (直轄区間 8.1 km~10.5km) の縦断勾配変化地点に位置する蛇行区間である。捷水路の開削等による単調な河道が続く下流区間と比較して、低水路の水域には明瞭な瀬・淵が、低水路の河岸域には砂礫帯が形成される。河岸域は主にツルヨシ群集が生育する。高水敷には、広大なススキ群落形成される等、生物生息空間が良好な区間である。近年、ススキ群落内に樹林の侵入・形成が進み、河川管理上の問題となっている。梯川流域で進む引き堤事業後は、現在よりも広い高水敷が形成され、ススキ群落の定着が期待される反面、樹林化の進展が懸念されている区間である。

調査地を含む梯川においては、1993 年 (H5 年)、1998 年 (H10)、2002 年 (H14)、2008 年 (H20)、2013 年 (H25) (以下、前述の期間を、「水国作成期間」と記述する。) に植生調査行われ、景観・植物群落遷移の時系列的な把握が可能な区間となっている。

3. 梯川水系梯川の河川改修計画における PCC 動態モデルの適用を通じた一般性の検証

3.1 はじめに

平成 28 年度までの検討で、PCC 動態モデルの開発・改良を行った。PCC 動態モデルの初期モデルは、対象区間で支配的な PCC の空間分布再現は可能であるが、小規模な PCC の再現ができない問題点があった。小規模な PCC を構成する植物群落の一部には、近年減少傾向にあり、その内部に重要種を内在する湿性植物群落等が含まれる。PCC 動態モデルが小規模な植物群落を再現することは、植物群落の保全・再生計画を立案する上で欠かすことができない機能である。

平成 29 年度までの検討では、PCC 動態モデルが小規模な植物群落を再現できない点の改良を行った。PCC 動態モデルは、平水位からの比高、水際からの距離、出水時の掃流力から、植物群落を類型化した後、平水位からの比高、水際からの距離、出水時の掃流力と植生遷移経路の頻度から、平水位からの比高、水際からの距離、出水時の掃流力の個別の遷移確率を算定する。さらに、評価関数により、最も遷移確率が高い PCC を選定する手順で遷移確率を特定する。しかし、この評

係関数は、物理環境特性への適応幅が広い PCC が支配的な PCC に遷移するという誤りを生む。

この対策として、平成 29 年度においては、遷移確率の高い群落を評価対象から外し、評価を行うことにより、吉野川、那珂川において小規模群落の再現性が向上した。この結果を受け、平成 30 年度は、実際の河川改修計画に本手法を適用し実用性を検証するとともに、PCC 遷移二段階評価手法の一般性を検証した。

3. 2 PCC 遷移二段階評価手法の評価と一般性の検証

3.2.1 対象データと方法

調査地における水国作成期間の内、2008 年 (H20)、2013 年 (H25) の河川環境基図の内植物群落を解析対象とした。地理情報システム (ESRI 社、ArcMap10.6) を用いて、2 時期 {2008 年 (H20)、2013 年 (H25)} の植物群落、水際からの距離、平水位からの比高、掃流力の 3 因子を関連付けた。その後、各時期における植物群落を分類し、PCC を作成した。更に、2 時期における PCC の変化と 3 因子の関係性の確率密度関数を作成した。その後、以下の、評価関数で総合遷移確率を算出した。

$$E_s = \frac{P_{wd} + P_{ew} + P_{\tau}}{3} \quad (1)$$

ここに、

E_s : 総合遷移確率

P_{wd} : 水際からの距離に基づく遷移確率

P_{ew} : 平水位からの比高に基づく遷移確率

P_{τ} : 掃流力からの距離に基づく遷移確率

総合遷移確率を用いて評価する場合、梯川におけるススキ群落のように、生育面積が大きく 3 因子に広い嗜好性を持つ植物の場合、他の植物群落よりも総合遷移確率が著しく高くなる。そのため、総合遷移確率の算出、遷移する植物群落の特定を複数回に分け実施した。

具体的には、総合遷移確率が著しく高く数値でススキ群落への植物群落遷移が推定された場合は対象グリッドの植物群落遷移を確定する。遷移を確定した対象グリッドを除去した後、再度、総合遷移確率を算出し、植物群落遷移を確定する方式とした (以下、「PCC 遷移二段階評価手法」と記述する。)

3.2.2 PCC 遷移二段階評価手法の有効性の検証

PCC 遷移二段階評価手法の有効性を確認するため、

一段階の評価で行った場合、PCC 遷移二段階評価手法を用いた場合で評価を行った。

3.2.3 植生動態モデルの評と PCC 遷移二段階評価手法の有効性と一般性の検証

図-3 に H25 植生図の観測データ、PCC 遷移二段階評価手法適用前 (モデル補正前)、PCC 遷移二段階評価手法適用後 (モデル補正後) の順でデータを示す。

モデル適合率は、モデル補正前 75% だったものが、モデル補正後 85% に向上した。本手法は、吉野川水系吉野川、那珂川水系那珂川、信濃川水系千曲川でもモデルの再現性が向上しており、一般性があると考えられる。今後は、他の河川においても検証を行い、一般性の確認を行う必要があると考えられる。

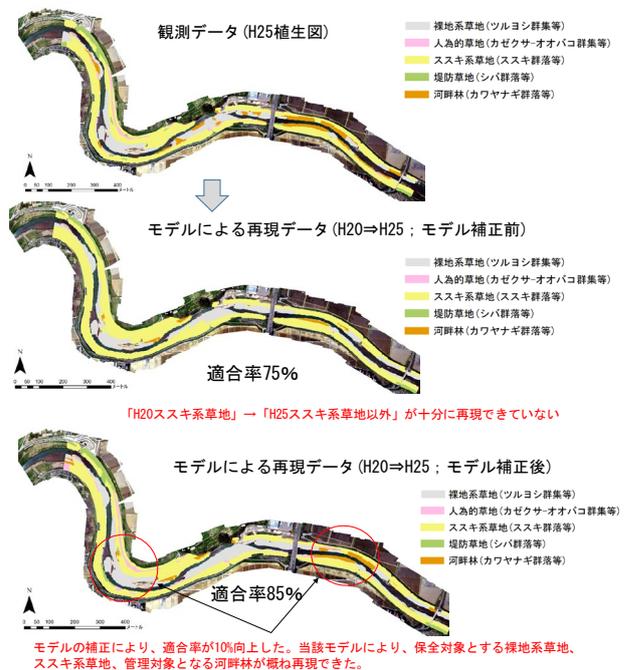


図-3 PCC 遷移二段階評価手法の有効性の検証

4. UAV 画像と AI を用いた植生図の自動作成の一般化への取り組み

4.1 UAV 画像と AI を用いた植生図の自動作成の一般化への取り組み

平成 29 年度までの研究により、UAV 画を対象に水域・植物群落等の境界を識別した後、画素・標高値等の情報に基づき、画像をと AI を用いた植生図の自動作成が可能となった。しかし、平成 29 年度までの UAV 画像と AI を用いた植生図の自動作成方法は、高額な画像解析ソフトウェアによる境界抽出、SfM、GIS、AI ツールに関するソフトウェア、解析経験がない場合には実

施が難しい。

特に、UAV 画像と AI を用いた植生図の自動作成における境界抽出においては、市販ソフトのオリジナルアルゴリズムである教師無し分類手法を適用した。このオリジナルアルゴリズムは独自のセグメンテーション法（UAV 画像を構成する画素特性に基づき、画素特性が類似する画素をオブジェクト化したもの）が用いられている。本市販ソフトは、一般の民間企業が導入するには高額なソフトウェアである。

以上のような背景から平成 30 年度は、一般的に普及する画像解析手法とその手法を実装するソフトウェアを用いて簡易に植生図の自動作成を行えるかを検討した。その初期段階として既往の画像解析技術で汎用的に普及する ISODATA 法の水域・植物群落の境界を識別できるかの試行を行った。2 節に ISODATA 法の概要、3 節に ISODATA 法の結果を示す。

4. 2 ISODATA 法の概要と一般的な教師無し分類手法である k-means 法との違い

ISODATA 法は、画像解析における教師無し分類手法（教師データを必要とせず、画素等の属性情報の類似性に基づく分類手法）の一つである。教師無し分類手法で頻繁に用いられる手法としては k-means 法があげられるが、k-means 法とは分類クラスの可変性において異なっている。

k-means 法は、あらかじめ指定したクラスに画素を分類するのに対し、ISODATA 法は設定したピクセル数に満たないクラスを他のクラスと結合させる、または、消去する点、クラス間の統計的距離が設定した距離よりも短い（類似している）場合にはクラスを結合させる点において、k-means 法と異なる。ISODATA 法は、個々の画素の値への変化を緩和させ、人間の認識に近いクラス数に落ち着かせ特性がある。そのため、H30 年度は、ISODATA 法を選択し、試行的に、UAV 画像と AI を用いた植生図の自動作成を行った。

4. 3 ISODATA 法適用の結果と UAV 画像と AI を用いた植生図の自動作成への適用可能性

図-4 に ISODATA 法画像分類結果の検証を上から、H25 植生図の観測データ、植生図の自動作成結果の順に示す。

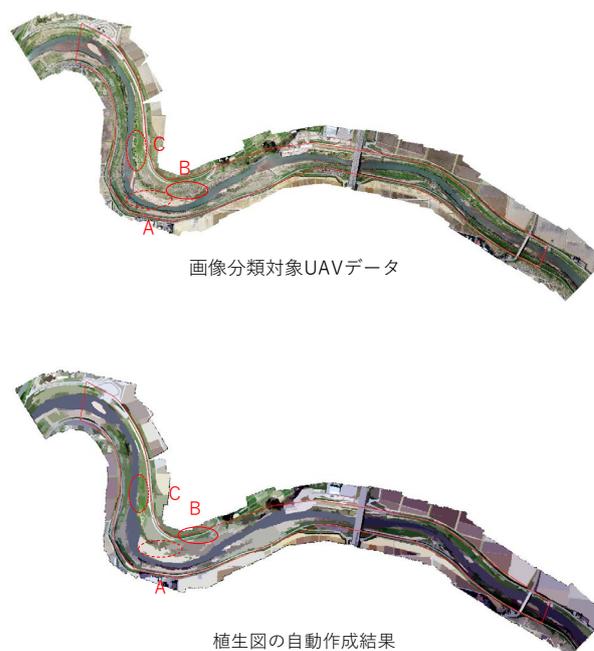


図-4 ISODATA 法画像分類結果の検証

ISODATA 法は、砂礫河原部（A 部）、ススキ群落部（B 部）、河岸植生部（主としてヤナギ類、C 部）の位置、面積、境界を良好に抽出した。本手法は、市販の GIS ソフトウェアに実装されているアルゴリズムであるため、特別なソフトウェアの購入等が必要ない。

今後、これらの手法の一般性の検証が進み、植生図の自動作成を可能とするモデルモジュールの配布が可能となれば、UAV を用いた空中写真測量データの更なる活用が可能となる。

参考文献

- 1) 田屋祐樹・榎島みどり・赤松史一・中西哲・三輪準二・萱場祐一: 河道内樹林の効率的な管理に向けた 伐採後の萌芽再生抑制方法の検証、河川技術論文集、第19巻、pp. 459-464、2013
- 2) 松田浩一・内堀寿美男・清水義彦・石原正義・藤堂正樹: 固定化砂州での掘削路開削による洪水攪乱の誘発と樹林化抑制対策に関する研究、河川技術論文集、第16巻、pp.235-240、2010.
- 3) 山口里実・渡邊康玄・武田淳史・住友慶三: 流路の固定化が進行した河道における効率的な旧流路回復手法に関する検討、河川技術論文集、第21巻、pp.217-222、2015.

11.2.2 魚類生息・産卵環境及び河道維持管理を考慮した低水路の河道掘削技術に関する研究

担当チーム：寒地水圏研究グループ（水環境保全チーム）

研究担当者：村山雅昭、谷瀬敦、片岡朋子、布川雅典

【要旨】

本研究は、魚類生息・産卵環境と河床地形・底質との関連性を評価・把握すると共に、維持管理上有利な河道掘削技術の開発を目指して低水路掘削河道の河床変動応答特性の把握を目的に実施している。平成30年度(2018年度)は、平成29年度(2017年度)に引き続き、豊平川において小規模掘削路造成によりサケの産卵環境改善を図った試験地において追跡調査を行った。この試験地は2017年に試験掘削を実施後にサケ産卵床数の増加がみられたものの、2018年のサケ遡上期前に増水により掘削路が閉塞したため、2018年は閉塞後の河川環境とサケ産卵床の関係について調査を行った。本稿ではこの結果について報告する。

キーワード：サケ、産卵床、分流、河道掘削

1. はじめに

近年、砂州の固定化やそれに伴うみお筋の固定化による河床低下の進行が問題視されている¹⁾。これらは治水、河川維持管理上の問題だけではない。河床底質の変化や氾濫原の減少から、魚類の生息場や産卵場にも影響を及ぼしている。

これまで流下能力向上を目的として、全国的に河道掘削が行われてきた。最近では、固定砂州内に掘削路を設けることで、中小規模洪水でも洪水攪乱を促す取り組みもある²⁾。攪乱効果によって樹林化抑制や、掘削路内に魚類の生息場が創出できると言われている²⁾。また、河道拡幅により、砂礫の堆積を促して河床低下を解消する取り組みもある^{3,4)}。しかし、掘削の方法によっては、土砂が再堆積することで、期待した結果が持続しない場合もある⁵⁾。このように、河道掘削の手法と期待する結果、その河道応答は様々である。しかし、これまで治水と魚類の生息環境および産卵環境が両立できる河道維持管理を考慮した掘削手法に関する知見は少ない。

この様な背景から本研究では、達成目標②「河道掘削等の人為的改変に対する魚類の応答予測技術の開発」について検討し、魚類の生息産卵環境に配慮し、河道維持管理に有利となる河道掘削手法の提案を最終目的としている。

平成29年度(2017年度)に、石狩川支川豊平川中流部における小規模掘削によるサケ産卵環境改善の試験を行い、産卵床数が前年の2倍以上に増加した結果が得られた。その後、2018年7月に、出水により掘削路に土砂が堆積することで掘削路は閉塞した。堆積傾向の砂州に掘削路を造成し、産卵場環境を改善していく上で、このような現象は十分に想定されることだと考えられる。し

かし、この現象によって閉塞後すぐに底質の改善効果が見られなくなるかはよくわかっていない。今後このような産卵環境改善を行う上で、閉塞後に河床の変化がどの程度生じるかを明らかにしておくことは重要である。また、閉塞後のサケ産卵床の分布状況などについても調査を行い、小規模河道掘削の有効性と持続性を確認することとする。

2. 概要

2.1 小規模掘削試験施工

豊平川では、毎年の中流部の流程約10kmの範囲でサケ(*Oncorhynchus keta*)の産卵が見られる⁶⁾。豊平川で9月から11月に産卵するサケは前期群、12月から1月に産卵するサケは後期群⁷⁾とされており、前期群は産卵範囲の全域に、後期群は産卵範囲の下流側に集中している⁷⁾。上流側の産卵域では、河床低下により⁸⁾岩盤の露出が進むことでサケの産卵に適した礫の減少が懸念されている⁷⁾。また後期群の産卵範囲の最下流部は、湧水に鉄分が含まれることでサケが忌避している可能性が指摘されている⁹⁾。このように、豊平川のサケを取り巻く河川環境は厳しい現状にある。このような中、前述の後期群の産卵床の分布が多い産卵範囲の内、産卵床数が減少しているところがある。寄り州の下流部にくぼ地となって形成された水裏部(以降alcove¹⁰⁾と呼ぶ)において、礫の上に細粒分が堆積しており、産卵床の減少の原因は、この細粒分の堆積によるものである可能性があった。

これまで、サケの生息環境に配慮するため、魚道整備をはじめとする遡上阻害の解消を行ってきた。しかし、産卵環境改善を目的とした取り組みはこれまで殆ど行われていない。これらを踏まえ、2017年9月に豊平川の



図-1 石狩川支流豊平川中流部に位置する調査地
(地理院地図 (提供 国土地理院) に加筆)

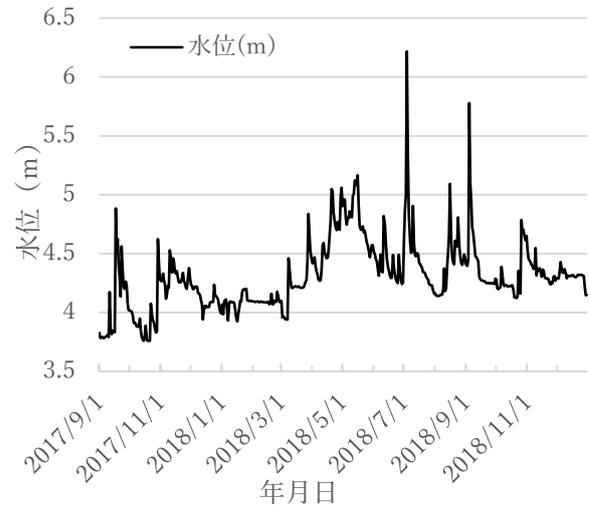


図-3 雁来水位観測所日平均水位

alcove において、サケ産卵環境改善に向けた取り組みとして、主流路から導水するための掘削路を造成した。

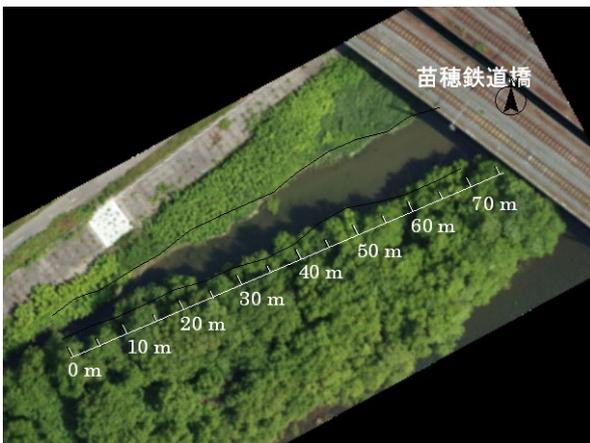


図-2 苗穂鉄道橋上流左岸の水裏部 (alcove)

2.2 調査地概要

調査地は、札幌市中心部を流れる石狩川支流豊平川中流部である (図-1)。石狩川との合流点から上流 12.2 km (豊平川 KP.12.2) 左岸側の alcove (図-2) で、主流路からの背水と、砂州からの浸み出しが目視で確認でき、平水時は流れが停滞した状態の水域である。

Alcove の縦断延長は約 80 m である。上流端は、水面幅約 2.5 m あり、下流方向に沿って徐々に水面幅が広がりながら、上流端から約 25 m の地点で水面幅が大きく拡幅して約 9 m となる。上流端から下流 80 m 付近の右岸にみられる砂州の最下流端地点で豊平川と接続する。

2017 年 9 月 25 日から 26 日にかけて alcove 上流部を掘削し本川につなぐ水路を造成した。掘削水路は、延長 120 m、河床勾配 200 分の 1、水路下幅 1 m から 2 m 程度、床堀勾配は 1:1 程度とした (写真-1)。

2.3 2017 年度及び 2018 年度の流況

調査地近傍の雁来水位観測所 (豊平川 KP.11.1) の 2017 年 9 月から 2018 年 12 月までの水位の状況を図-3 に示す。

掘削水路を造成した 2017 年 9 月 26 日以降、サケ遡上期の水位は過去 5 年の雁来水位観測所の平均平水位の 4.13m を下回る日が多く、年平均水位も過去 5 年で最も低い年であった。

2018 年の融雪期以降は比較的高い水位が続き、その後の 7 月 5 日に大雨による増水で雁来水位観測所地点において過去 10 ヶ年で第 2 位の水位となる 7.63m を記録した¹⁾。この出水により、2017 年に造成した水路が砂礫で堆積し閉塞した。



写真-1 alcove 上流端へ続く掘削水路 (2017 年 9 月 26 日撮影)

水路閉塞後の2018年度のサケ遡上期の水位は2017年度と比較して高く、水位が高い日には閉塞した水路も冠水し alcove 内にも速い水流が生じていた。

3. 調査方法

3.1 産卵床調査

調査区間におけるサケ産卵床数は札幌市さけ科学館が実施している産卵床調査の結果を利用した。調査は毎年9月からサケの遡上が終了するまでの期間行われており、複数人で徒歩により河床を確認する方法で産卵床数を計数している。ここでは2013年9月から2019年3月までのデータを使用した。これらのデータの位置情報をもとに alcove 内における産卵床の分布を明らかにした。また、9月から11月までに確認された産卵床を前期群、12月から1月までに確認された産卵床を後期群とした⁸⁾。

3.2 水深、流速、河床表面粒径および細粒分堆積厚の計測

水深、流速および河床表面粒径の計測は、閉塞前の2017年10月27日と、閉塞から3ヶ月経過した2018年10月20日に実施した。掘削路が alcove へ接続する部分を alcove の上流端 (0 m 地点) とした (図-2)。

閉塞前の2017年10月の調査は、上流端から10 mの地点から30 m 地点までの区間と、75 m 地点を計測対象区間および地点とした。計測は、この区間に5 m 間隔でトランセクトを設け、トランセクト上に等間隔に4点の計測点を設定して行った。30 m 地点から75 m 地点までは細粒土砂が堆積しており、産卵床には適さないと調査前に判断し調査地点から除外した。

閉塞後の2018年の10月の調査は、0 m 地点から70 m 地点までの区間を計測対象とした。0 m から40 m 地点までは5 m 間隔で、40 m 地点以降は10 m 間隔でトランセクトを設定し、トランセクト上に50 cm 間隔に計測点を取り、各点における水深、流速、河床表面粒径を計測した。

2017年の流速は水深の60%の深さと河床付近で電磁流向流速計を用いて計測した。2018年は50%の深さの位置で電磁流向流速計を用いて計測した。

河床表面粒径の計測は Inoue & Nunokawa (2002)¹²⁾ の示す格子枠を使用した手法 (以下、INU グリッド法とする) により計測をした。INU グリッド法は0.5 m 四方の格子の内部を0.1 m 四方の計25の小格子枠に分割し、その各小格子内に優占する河床材料の表面粒径を、目視により段階別に分類する方法である。本研究では次の通り1から6の粒径階に分類した。1; 岩盤あるいはコンクリートブロック、2; 砂もしくはそれより細かいシルトなど (2 mm 未満)、3; 小礫 (2 mm 以上 16 mm 未満)、4; 中礫 (16 mm 以上 64 mm 未満)、5; 大礫 (64 mm 以上 128 mm 未満)、6; 巨礫 (128 mm 以上)。

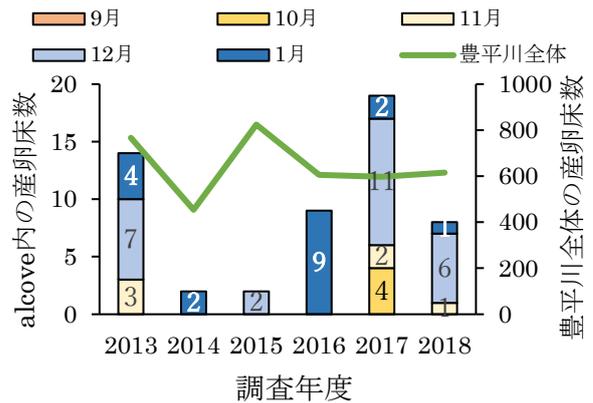


図-4 年度毎の産卵床確認数

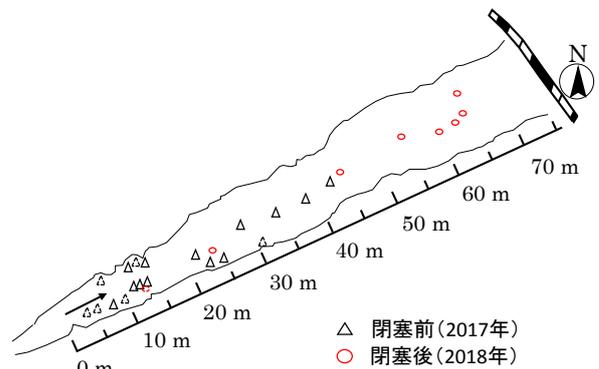


図-5 苗穂鉄道橋上流左岸の alcove 内の2017年度と2018年度の産卵床位置

細粒分堆積厚の計測は、掘削水路造成前の2017年9月6日 (1 m から24 m まで) と9月12日 (26 m から40 m まで)、掘削水路造成後は2017年10月20日に、水路閉塞後は2018年11月14日、15日、20日および12月6日の4日間行った。細粒土砂の堆積厚は細粒土砂上面から水面までの距離と細粒土砂堆積底面から水面までの距離をそれぞれスタッフにより計測し、その差を細粒土砂の厚さとした。

4. 結果

4.1 産卵床調査結果

図-4 に alcove 内と豊平川全体の産卵床数の調査結果を示す。掘削水路造成後の2017年度は造成前の4ヵ年と比較して最も多い19箇所の産卵床が確認された。特に、掘削路造成前の過去4ヵ年では2013年度に3箇所のみであった前期群の産卵床が6カ所確認された。掘削路閉塞後の2018年度は8カ所の確認に留まり、掘削路造成前の水準に戻った。この間の豊平川全体の産卵床確認数は500~800箇所の間で変動していた。

図-5 に2017年度と2018年度の alcove 内の産卵床の位置を示す。両年の産卵床位置には特徴的な違いがあり、

閉塞前の 2017 年度の産卵床は alcove 上流端の 0m から下流の 45m 地点の間に集中し、閉塞後の 2018 年度の産卵床は主に 45m~65m 地点の間に分布していた。

4. 2 水深、流速、河床表面粒径および細粒分堆積厚の計測結果

alcove 内の水深の測定結果を図-6 に、流速の測定結果を図-7 に示す。掘削水路造成後の 2017 年の各断面の最大水深は上流端から 35 m 地点までは 50~80 cm 程度であり、下流部の 75 m 地点では 30 cm 程度であったが、閉塞後の 2018 年の水深は 25 m 地点より下流で 2017 年と比較して減少し、10~40 cm 程度であった。

2017 年の流速は上流 20 m 地点までは各断面最大で 20cm/s を超え、25 m 地点より下流では 10 cm/s 程度であった。閉塞後の 2018 年の流速は上流部では 2017 年と比較して遅くなり、上流部では同程度であった。その値は上流から下流までほぼ一定で、各断面の最大流速は 12~13cm/s 程度であった。掘削水路が閉塞後も一定以上の流速が認められた要因は、閉塞した部分に堆積した土砂の粒径が粗く、本川から常時河川水が浸透してきたためと思われる。

図-8 に 2017 年の掘削水路造成前後の細粒分堆積厚を、図-9 に 2017 年の掘削水路造成後と 2018 年の掘削路閉塞後の細粒土砂堆積範囲図を示す。掘削水路造成前の細粒分の堆積厚はほとんどの地点で 5 cm 以上あり、下流に向けて堆積厚が増加する傾向を示し、26 m 地点では最大の 32 cm となっていた。この細粒分はシルト、粘土であったが、堆積土砂の下は礫が分布していた。掘削路造成後は、細粒分が流出したことにより、堆積厚が減少しどの地点においても 5 cm 以下となった。細粒土砂の堆積範囲は、掘削水路造成前は河床底面全体に広がっていたが、2017 年の掘削路造成後は alcove の右岸側と左岸の一部に縮小し、2018 年の閉塞後の調査ではさらに縮小していた (図-9)。

図-10 に河床表面粒径の調査結果を INU グリッド法の階級値を用いて箱ひげ図により示す。alcove 内の河床表面粒径は一様ではなく、トランセクトごとに異なっている。閉塞前の 2017 年の調査では 25m と 30m 地点で階級値 2 に集中し、ほとんどが粒径 2 mm 未満であった。細粒分が一面に堆積していたため調査を行わなかった 30m 地点より下流部も、粒径が 2 mm であったと推察される。

閉塞後の 2018 年の 10m 地点を除いて、上流から下流に向かって徐々に粒径階級値が小さくなっている傾向が伺える。一地点を除いて調査区間の最大の階級値は 5 であり、その粒径は 64 mm 以上 128 mm 未満であった。

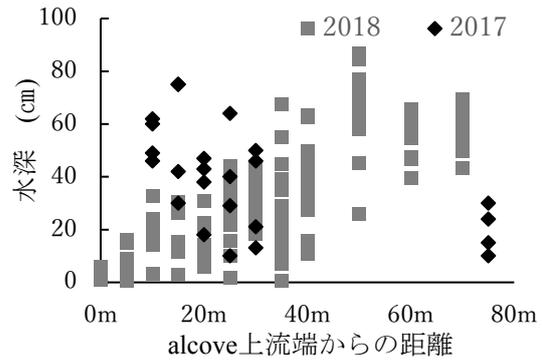


図-6 alcove 内の水深測定結果

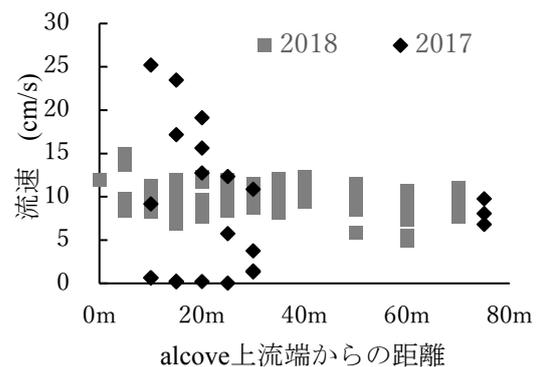


図-7 alcove 内の流速測定結果

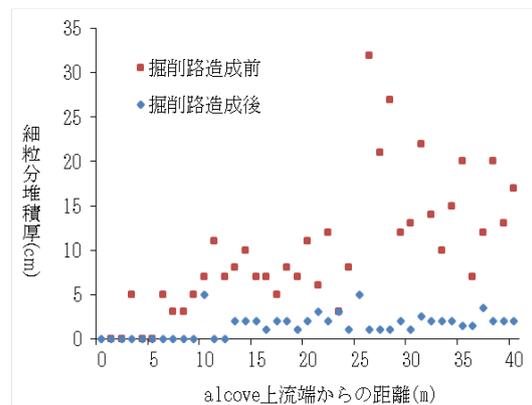


図-8 alcove 内の 2017 年の細粒分堆積厚

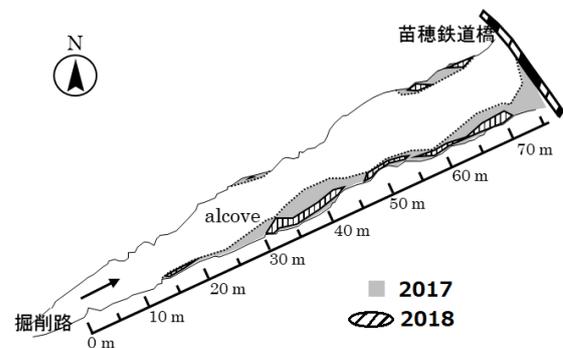


図-9 alcove 内の細粒土砂堆積範囲

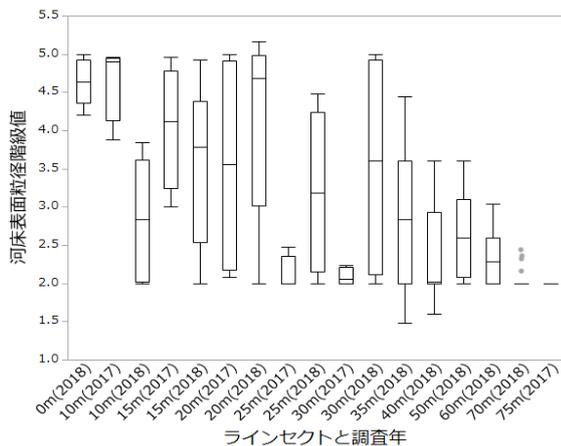


図-10 河床表面粒径の階級値計測結果

5. 考察

本試験地は豊平川扇状地の先端部付近の浮州の河岸際にある alcove である。本試験地付近は豊平川扇状地の扇端部に位置しており、滞留時間の長い湧水が豊富な場所である。Alcove 形成以前は上下流が本川とつながる分流構造であり、多数のサケ産卵床が見られた箇所である。その後、土砂の堆積により上流側が閉塞し alcove となり、サケ産卵床数も減少した。この箇所の産卵床数の回復を図るため、2017年9月に掘削水路を造成した。水流が生じたことにより alcove 内の細粒分が減少し、産卵に適した流れと河床材料に改善され、産卵床数が増加したと思われる。掘削水路造成前は主に後期群のサケの産卵箇所として利用されていたが、造成後には前期群の産卵床も多く確認された。前期群の産卵床が増加した理由については、既往の研究による⁶⁾と、前期群の産卵床内水温は河川水温とほぼ等しく変動したという調査結果を得たことにより、前期群の産卵床は河川水が伏流する場所に形成されること、および後期群は地下水が湧出する場所を選んで繁殖していることを示唆しているとされており、本試験地においても同様のことがあったとの想定がされる。

掘削水路閉塞後の2018年の産卵床数は、掘削以前の水準に戻った。閉塞後も alcove 内に一定の流速があったが2017年と比較すると遅くなっている。河床表面粒径には大きな変化が見られなかった。上流部付近の水深は浅くなった。このことから、産卵床の減少は流速、水深の変化も要因の一つにあると想定される。

6. おわりに

掘削水路造成により alcove 内の河床に堆積した細粒分が大幅に減少し産卵床が増加したものの、わずか1年後には増水により閉塞し、産卵床数は以前の水準に戻った。寒冷地の河川では融雪期の高い水位の時に河床が動き、流路変動なども生じやすいとされている。掘削水路造成

11 治水と環境が両立した持続可能な河道管理技術の開発後に、融雪期を一度経験したものの掘削水路の河床は安定し維持されていた。7月の増水が無ければ掘削水路の効果は持続していたと推察されるものの、洪水は自然現象により発生し、人為的に制御することには限りがあるため、再閉塞することも考慮した維持管理を考えていく必要がある。

本試験地での掘削は、国土交通省の札幌河川事務所が発注した河川工事の実施に際して、受注会社が社会貢献活動の一環として行ったものである。このような産卵環境改善の取り組みを継続していくためには、受注業者の協力を頼るばかりではなく、河川管理者が主体的に実施する工事として採用される様、掘削効果の検証や最適な維持管理サイクルを検討していく必要があると思われる。今後は、治水と環境の両立を図る河道掘削・維持管理技術の開発に発展させていく予定である。

参考文献

- 1)北海道開発局、国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所：北海道の急流河川における河川整備に関する研究(その2)、第59回北海道開発技術研究発表会、治水、2015。
- 2)松田浩一、須藤達美、内堀寿美男、大島秀則、清水義彦、藤堂正樹：固定化砂州での掘削路開削による洪水攪乱の誘発と樹林化抑制対策に関する研究(その2)、河川技術論文集、vol.17、pp.233-238、2011。
- 3)原田守啓、高岡広樹、大石哲也、萱場祐一：扇状地の中小河川における部分拡幅工法の有効性、河川技術論文集、Vol.21、pp.253-258、2015。
- 4)山口昌志、柿沼考治、井上卓也、清家拓哉、加藤一夫：軟岩洗堀を考慮した大型模型実験を用いた河床低下対策手法の評価について、土木学会論文集 B1(水工学)、Vol.73、No.4、pp.I_853-I_858、2017。
- 5)永山滋也、原田守啓、佐川志朗、萱場祐一：揖斐川の高水敷掘削地におけるイシガイ類生息環境—掘削高さおよび経過年数との関係—、応用生態工学、vol. 19、no. 2、pp. 131-142、2017。
- 6)鈴木俊哉：自然再生産を利用したサケ資源保全への取り組み、SALMON 情報、no.2、pp.3-5、2008。
- 7)有賀望、森田健太郎、鈴木敏哉、佐藤信洋、岡本康寿、大熊一正：大都市を流れる豊平川におけるサケ(*Oncorhynchus keta*)野生個体群の存続可能性の評価、日本水産学会誌、vol.80、no.6、pp.946-955、2014。
- 8)北海道開発局札幌開発建設部：石狩川水系河川整備計画豊平川河川整備計画、https://www.hkd.mlit.go.jp/sp/kasen_keikaku/kluhh400000hckw.htm(令和元年9月13日確認)
- 9)岡本康寿、小原聡、佐藤信洋、高山肇：豊平川におけるシロザケ産卵床の分布と湧水の関係(1996年度)、札幌市豊平川さけ科学館館報、第9号(1995年度)、1997。
- 10)柳井清治、長坂有、佐藤弘和、安藤大成：都市近郊溪流における木製構造物による流路とサクラマス生息環境の改善、

応用生態工学、vol.7、no.1、pp.13-24、2004.

- 11) 国土交通省：水文水質データベース、
<http://www1.river.go.jp/>(令和元年9月13日確認)
- 12) Inoue M., and Nunokawa M. : Effects of longitudinal variations in

- 11 治水と環境が両立した持続可能な河道管理技術の開発
stream habitat structure on fish abundance: an analysis based on
subunit-scale habitat classification, *Freshwater Biology*. No. 47, pp.
1594-1607, 2002.

11.2.3 中小河川における環境の保全に資する河道計画・設計手法に関する研究

担当チーム：水環境研究グループ（自然共生研究センター）

研究担当者：中村圭吾、林田寿文、大槻順朗

【要旨】

本研究は、河川計画・設計において、河川環境やこれに付随する河道設計技術に関して、定量的に判断できる支援ツールを開発し、新たな設計プロセスを構築することにある。平成 28 年度は、シミュレーション上で複数の河道地形案を検討する際に地形形状の変更を容易にするため、河道の 3 次元地形を迅速に処理可能な河道地形編集特化型ツールのプロトタイプを開発した。また、洪水による植物流出指標、魚類の総合的な生息場の良否を判定するツールを開発、実装を行った。平成 29 年度は、河道地形編集特化型ツールのプロトタイプの改良および環境評価ツールである植物流出評価ツールや魚類生息場評価ツールの改良・実装を行った。平成 30 年度は、iRIC ソフトウェアをベースに河川横断面図による河道地形編集ツール（RiTER Xsec）の開発を行った。

キーワード：河道計画、環境評価、中小河川、シミュレーション、iRIC、ソルバー、EvaTRiP、RiTER

1. はじめに

河道計画の策定では、限られた時間の中で治水や環境にとって最適な計画とすることが求められている。その際、生物生息場に配慮した河道計画では、複数の河道形状（2次元や3次元地形）を比較検討したうえで、治水要件を満たし、かつ、地域の生物の生育・生息に最適な案を選択することが重要である。しかしながら、現状の災害復旧プロセスにおいては、検討時間が足りない、予算がない、という理由で定規断面、一定勾配の単調な河道となり、流下能力のチェックを行い、そのまま設計断面を決めるとするのが一般的な流れである。そのため、河川環境の配慮が後付になってしまうことが少なくない（図-1）。そのため、河道計画・設計を支援するツールが必要と考えている。この検討にあたっては、水工学・生態学をベースに河川改修時に生じる生物生息場の応答を定量的かつ迅速に予測することが欠かせない。ツールの開発目標としては、河道設計をスピードアップしつつ高度化すること治水と環境を同時かつ定量的に評価できること設計（地形）を柔軟に変更、直ちに計算できることを念頭においている。

そこで平成 28 年度は、河道計画から設計までを一体的に行うための支援ツールの開発を目的として、まず、複数の河道形状の比較検討を行うため、①地形を 3 次元的に作成・処理できるツールを開発し、②生物生息場に配慮した河道計画を支援するため、生物生息場を定量的に評価できるツールを開発した。平成 29 年度は、上記①で開発したツールの改良および上記②で開発した植物流出評価ツールおよび魚類生息場定量的評価ツールの改良を行った。平成 30 年度は、汎用性が高く

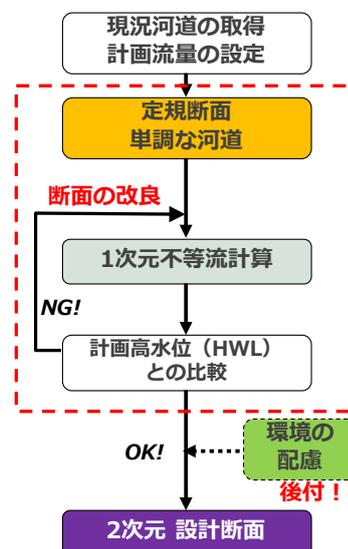


図-1 河道計画の考え方

無償で配布されている iRIC ソフトウェアをベースに、河川技術者が容易に河川計画・河道設計を行うことが出来るよう横断面図による河川地形編集ツール（RiTER Xsec）の開発を行った。

2. 河道地形処理ツール（RiTER Xsec）の開発

RiTER（River Terrain EditoR）とは、多自然川づくりをレベルアップするための河川地形の柔軟な処理を実現するためのツール群である。当センターでは、iRIC ソフトウェアをベースに横断面図による河道地形編集が可能となる RiTER Xsec の開発を行った。iRIC ソフトウェアは 2 次元河床変動解析などが可能であり機能的ではあるが、あくまでも水理計算ソフトウェアであり、河道計画・河道設計ソフトウェアではない。そのため、

iRIC ソフトウェアが河道計画・河道設計ソフトウェアとして使用できるよう、かつ、多自然川づくり支援ツールとなるよう開発を実施した。RiTER Xsecを活用することで、河川を俯瞰しながら河道断面の幅や法勾配の設定ができ、直ちに計算に利用可能となる。また、EvaTRiPなどと組み合わせることで、環境にも配慮した細やかなデザインに役立つとともに、効率アップ・コスト縮減にも貢献する。RiTER Xsecの開発内容は、以下の通りである。

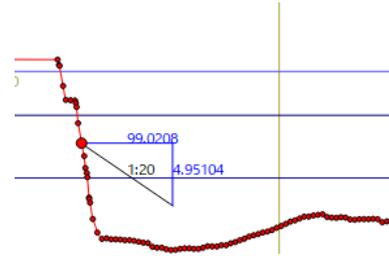


図-2 マウス操作による編集操作中の画面表示例

2.1 横断面図上での断面編集機能追加

河道設計で頻繁に行う作業を簡便に iRIC ソフトウェアで実現できるよう、横断面ウィンドウに勾配と距離の指定による編集機能を追加した (図-2、図-3)。

ダイアログによる編集とマウス操作による編集の二種類の操作を実装した。また、より簡便で頻繁に行う操作はマウス操作による編集と想定されたため、マウス操作による編集機能をより簡便に呼び出せるようにした。横断面図上での断面編集機能を呼び出すには、以下の手順で操作する。

1. 編集の起点となる点をマウスにより選択
2. 右クリックメニューから、「選択した点を起点に編集」を選択
3. マウス操作による編集操作モードが開始されます。マウス操作での編集中の表示例を 図-2 に示す。リターンキーを押すかマウスをダブルクリックすると、編集機能を終了
4. マウス操作による編集中に右クリックメニューを表示すると、「ダイアログから編集」というメニューが表示される。このメニューを選択すると、図-3 に示すダイアログが表示され、勾配や距離を数値で指定しての編集が可能

マウス操作で断面形状を編集する際は、傾きの法勾配は予め定義しておいたものから選択される。法勾配の選択肢は、オプション→設定 から表示される設定ダイアログ上で、「河川測量データ」タブから指定できるようにした。

2.2 ポリラインの作成・編集機能追加

ポリラインの作成・編集機能を追加した。既に実装されているポリゴンと同様の操作で、作成・編集機能を行えるようにした (図-4)。

現時点では、ポリラインを格子点・格子セルの属性にマッピングする機能はないため、ポリラインは「参考情報」地理情報グループに対してのみ追加できるように

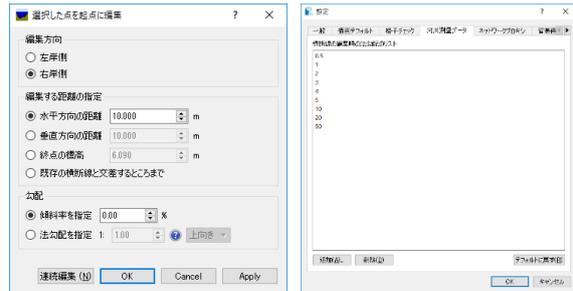


図-3 断面編集ダイアログ・法勾配リスト編集タブ

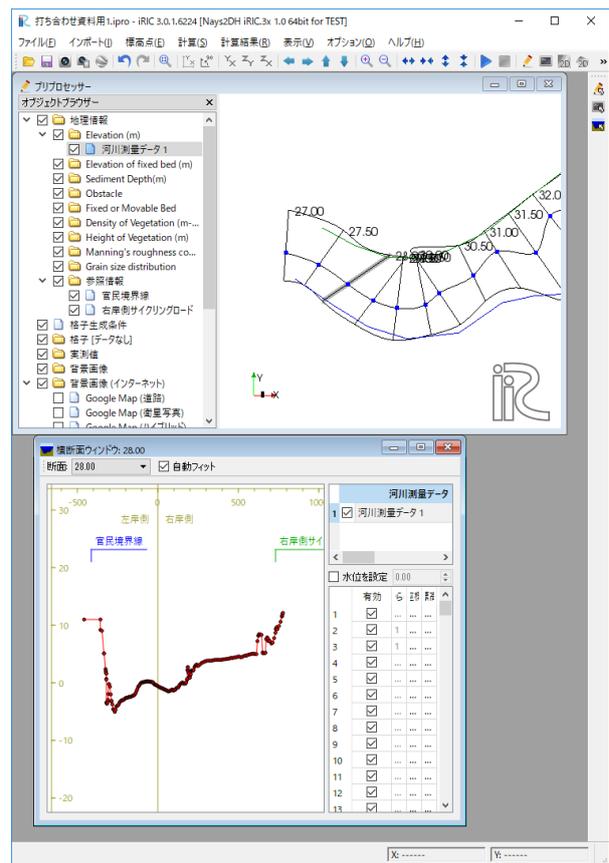


図-4 ポリラインの表示例 (上図) と交点の表示例 (下図)

した。また、平面図上に作成したポリラインと河川測量データの横断線との交点を、横断面図上に表示する機能を追加した。交点の表示・非表示の切り替えは、プリプロセッサーでのチェックの ON/OFF の状態に連動して

行うようにした。また交点の表示色は、プリプロセッサーでの表示色に合わせて変更されるようにした。

2.3 「水位ファイル」表示機能追加

「水位ファイル」のインポート機能の改良を行い、以下の拡張を行った。

- 1) 複数の水位データのインポートに対応
- 2) 水位データに名前を設定する機能を実装

水位データの名前は、インポート時はファイルのヘッダから読み込まれるようにした。水位ファイルの例を図-5に示す。1行目のヘッダ内で、2列目以降がインポートする水位データの名前になる。「Normal」、「H27」、「H29」が水位の名前になる。

インポート機能の改良によりインポートした水位データを、横断面ウィンドウに表示する機能を追加した。水位データについては、表示・非表示の切り替えおよび表示色の変更を可能にした。描画領域において、水位データは、名前とともに水位の値も表示する。水位データは、右クリックメニューから並べ替えや削除も行え、表から水位名の変更、値の変更および色の変更を行うことが可能である。

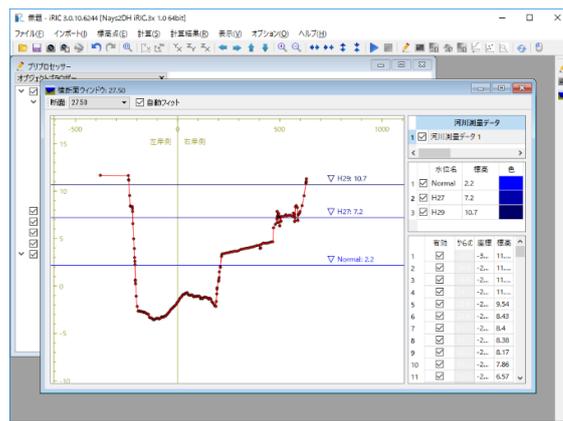


図-5 水位データの表示例

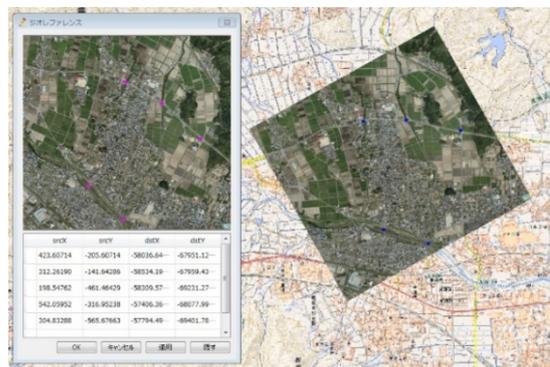


図-6 ジオレファレンス機能の表示例

2.4 背景画像のジオレファレンス機能の拡充

対応点の指定による位置合わせの機能（ジオレファレンス機能）を追加した（図-6）。この機能により、航空写真や工事図面同士の正確な重ね合わせが行えるようになる。ジオレファレンス機能を利用するには、位置合わせを行いたい画像をオブジェクトブラウザー上で選択し、右クリックメニューから「ジオレファレンス」を選択する。メニューを選択すると、示すジオレファレンスダイアログが開く。なお、メニュー名は「対応点の指定による位置合わせ」から「ジオレファレンス」に変更し、マウスのドラッグ操作や表のクリックにより、追加した点の選択を行うことができる。選択した点は、マウス操作による移動や、右クリックメニューからの削除が可能であり、表のセルをクリックして座標の直接編集も可能である。

3. まとめ

今後も引き続き、河川技術者の利便性向上を図るため、多自然川づくり支援ツール(RiTER Xsec)の開発を行う。また、3次元で河川地形を作成後に、それが実際にどのように見えるのかの確認を可能にすることや、多自然川づくりを住民などに説明する際に使用することを目的にバーチャルリアリティ (VR) の活用について

も検討中である。自然環境を考えた場合、川の中だけではなく、生活環境との調和も考える必要があり、たとえば公園と水辺の緑などの関係についても景観などで評価することVRを使うことで出来るようになる。

加えて、EvaTriPやRiTERの普及に向けた講演会、講習会などの開催などの積極的な取り組みを今まで同様に行う。

参考文献

- 1) iRIC ホームページ : <http://i-ric.org/ja/>
- 2) 大槻順朗、林田寿文、中村圭吾、萱場祐一：中小河川研究と多自然川づくりの深化、土木技術資料、60-11、2018、pp. 8-13
- 3) 林田寿文、大槻順朗、中村圭吾、萱場祐一：新しい河道計画プロセスを念頭に置いた多自然川づくり支援ツールの開発、第74回年次学術講演会講演概要集、(公社)土木学会、2019.9
- 4) 中村圭吾：河川 CIM で進化する多自然川づくり、RIVER FRONT vol. 88、2019
- 5) 自然共生研究センター：簡易河川環境評価ツールEvaTriPを用いた治水と環境を両立させる川づくり、土木研究所WEBマガジン、Vol. 53

11.3 治水と環境の両立を図る河道掘削技術・維持管理技術の開発

11.3.1 陸域における河道掘削を念頭においた河道内植生の管理技術に関する研究

担当チーム：水環境研究グループ（河川生態）

研究担当者：中村圭吾、傳田正利

【要旨】

平成 30 年度は、河道内植生の維持管理技術に重点を置き、ネットワーク解析を用いた植物群落遷移において中心的役割を果たし植物群落遷移の状態を監視できる河川景観・植物群落の抽出、河道内植物群落遷移の予測手法に関する基礎的検討、CIM 技術（VR）の有効性の検証を、梯川水系梯川において行った。その結果、ネットワーク解析の結果、河道内植生管理の基準となる河川景観・植物群落として「ススキ群落」の可能性、アンサンブル予測の植物群落遷移予測における有効性、CIM 技術（VR）の有効性を確認した。

キーワード：ネットワーク分析、植物群落遷移予測、アンサンブル予測、CIM

1. はじめに

近年、河川では草本や樹木群といった「安定植生域」が増加してきている。安定植生域の増加は、外来種の侵入・拡大、生物多様性の劣化、流下能力の低下、維持管理費の増大等、様々な問題を招いている。土木研究所の既往研究において、安定植生域増加の要因となる樹種の行き過ぎた生育を抑制する工法の開発に成功したが、樹林化後の対応法を提案した側面が強い。戦略的な河道管理を行うためには、安定植生域が生じない河道管理が必要となる。

河道管理の研究・実務においては、「河道掘削」は、洪水攪乱を促し、氾濫原的環境の創出を通し環境復元すること、安定植生域への遷移²⁾³⁾を遅らせることが報告されている。今後は、これらの知見を活用し、「河道掘削」が持つ環境復元、安定植生域抑制の機能に着目し、治水・環境の二つの目的を適切なコストで両立させる河川管理技術が求められる。上記の目的達成には、河川の物理環境と植生遷移の因果関係の解明、これらの因果関係に基づく植生動態の将来予測を行う技術が必要となるが、その開発は遅れている。

このような背景から本研究では、達成目標 1：「植生域の拡大に着目した遷移プロセスの解明」、達成目標 2：「植物群落の遷移・更新を考慮した植生動態モデルの開発」を第一の目的としている。その後、達成目標 3：「治水・環境の視点から見た最適な河道掘削手法の提案」、達成目標 4：「治水・環境・維持管理の視点から見た最適な河道内植生の管理手法の提案」の流れで、達成目標を設定した。上述の検討を通して、治水・環

境・維持管理の視点から見た最適な河道内植生の管理手法の提案することを最終目的としている。

平成 28 年度は、研究全体の流れを俯瞰する目的で、実際の河道掘削の事業計画・評価に参加し、各達成目標の主要部を部分的に実施した。平成 29 年度は、具体的には、国土交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所（以下、「千曲川河川事務所」と記述する。）と共に検討した信濃川水系千曲川冠着地区における旧流路部を活用した水路掘削と平面掘削の併用による砂礫河原再生事業による砂礫河原再生効果の検証と効果発生機構の報告、土木研究所と民間 4 社（国際航業（株）、（株）建設技術研究所、パシフィックコンサルタンツ（株）、（株）国土開発センター）との共同研究において実施した植生動態の監視技術として、近年、技術革新と普及が著しい無人航空機（UAV：Unmanned Aerial Vehicle）、人工知能（AI：Artificial Intelligence）を植生の初期侵入に大きな影響を与える表層土壌材料把握等に適用した事例を報告した。

平成 28 年度から取り組む水路掘削と平面掘削の併用による砂礫河原再生事業（河道掘削手法）は、出水という自然攪乱を活用し、砂礫地から草地・1 年生草本等に遷移した河道掘削区域を砂礫河原に戻す作用が確認され、河川中流域における治水と環境の両立を目指す河道掘削手法として提案することができることを確認し、河道掘削手法については一定の成果を得たと判断した。このような状況から、千曲川河川事務所と維持管理に関する研究の方向性も合わせて議論し、植物群落遷移をひとつのネットワーク問題として捉え

(図-1)、群落遷移が不可逆的な樹林化に入る前に、植物群落遷移を予測し、河道の再掘削等の維持管理行為を行う必要があると考えた。

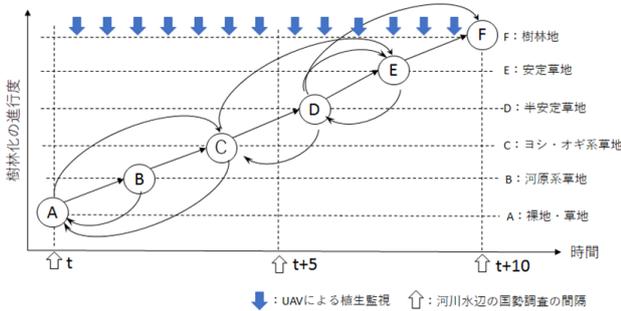


図-1 植物群落遷移をネットワークとして考えた場合の管理手法の基礎概念

平成 30 年度は、国土交通省北陸地方整備局と共同し、上記の考えが実現可能かを検討するフィージビリティスタディを行った。フィージビリティスタディ(以下、は、まず、①植物群落遷移をネットワークとして扱うことが可能か、また、ネットワークの中心的役割を果たす植物群落の抽出が可能か等を検討した。次に、②植物群落を予測する際の基礎的な考え方の整理を行った。①については、約 25 年間、蓄積された河川水辺の国勢調査データをネットワーク分析し、植物群落遷移の中心となる植物群落・河川景観の抽出を行う試行的な研究を行った。②については、気象分野で行われる集団予測(アンサンブル予測)の方法を河道内植生動態予測に適用する場合の技術的な流れを、試行的解析を通して整理した。最後に、③CIM 技術の有効性を検証するため、千曲川河川改修百周年記念事業における VR 技術を用いた一般市民へのアウトリーチ活動等を報告する。

以下、梯川の河川諸元と選定理由を整理した後、①～③の研究成果の概要を示す。

2. 梯川の概要

梯川は、その源を石川県小松市の鈴ヶ岳(標高 1,175m)に発し、山間部を北流して手取川と梯川とによって形成された扇状地を西に蛇行し、小松市街地を貫流し、前川を合流した後、日本海へ注ぐ、幹川流路延長 42km、流域面積 271km²の一級河川である(図-2)。

梯川は、明治期までは小松市や能美市付近を蛇行して流れ水害が頻発していたため、明治期以降、捷水路

の開削などの事業が行われ、現在では、引き堤による流下能力の改善が行われている。引き堤事業後には、堤外地に現在の高水敷よりも広い高水敷の形成が予測される。流量特性は、秋期に台風に起因する出水があり既往最大流量で約 667m³/s である。

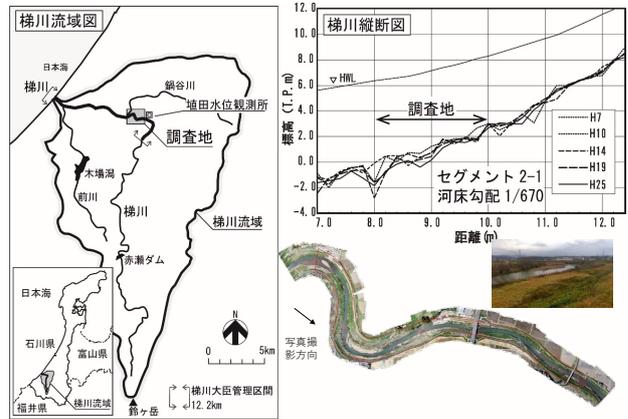


図-2 梯川の概要

しかし、平水は約 15 m³/s であるため、広がる高水敷上には定期的な攪乱が期待できず、樹林化の進展が懸念される河川である。引き堤という全国でも珍しい事業により流下能力を改善し、植生管理にも取り組む点で、PCC 動態モデル、UAV・AI を用いた植生図の作成等の新たな試みを行うのに適していると考え、平成 30 年度に研究を実施した。

本研究では、梯川の中流部、佐々木・荒木田地区(以下、「調査地」と記述する。)を対象とした。調査地は、梯川中流部(直轄区間 8.1km~10.5km)の縦断勾配変化地点に位置する蛇行区間である。捷水路の開削等による単調な河道が続く下流区間と比較して、低水路の水域には明瞭な瀬・淵が、低水路の河岸域には砂礫帯が形成される。河岸域は主にツルヨシ群集が生育する。高水敷には、広大なススキ群落形成される等、生物生息空間が良好な区間である。近年、ススキ群落内に樹木の侵入・形成が進み、河川管理上の問題となっている。梯川流域で進む引き堤事業後は、現在よりも広い高水敷が形成され、ススキ群落の定着が期待される反面、樹林化の進展が懸念されている区間である。調査地を含む梯川においては、1993 年(H5 年)、1998 年(H10)、2002 年(H14)、2008 年(H20)、2013 年(H25)(以下、前述の期間を、「水国作成期間」と記述する。)に植生調査が行われ、景観・植物群落遷移の時系列的な把握が可能な区間となっている。

3. ネットワーク中心性分析を用いた景観・植物群落の遷移とその遷移に関する研究

3.1 はじめに

本課題を通して指摘しているが、全国の河道管理においては、河道が樹林化した後に、河道掘削や伐採等の樹林化対策をする場合が多い。効果的かつ効率的な樹林化対策を行うには、不可逆的な樹林化に向かう前の河川景観を特定し、その景観の変化の監視を行い、樹林化が著しく進行する前に、掘削・伐採などを始める必要がある。

この有効な手法としては、河川水辺の国政調査の活用が挙げられる。河川水辺の国政調査（以下、「水国」と記述する。）は、景観・植物群落の遷移を5年ごと、合計25年間記録している貴重なデータである。本章は、梯川における水国を対象にネットワーク解析を行い、樹林化前景観の抽出とその有効性を検証した。

3.2 研究の方法

3.2.1 対象データと方法

水国作成期間の景観・植物群落変化、河川の物理環境特性（河道特性、流況及び河床変動傾向）を分析するため、iRIC 3.0、Nays2DHを用いて、河床変動計算を行った。初期河床は、1993年（H5）の横断測量結果を与えた。植物群落に影響を与える粒径は植物により異なるため、55 mm、110 mm、220 mm、440 mm、880 mmの5ケースを行った。上流端流量条件は、水国作成期間前の1989年（H1）から2017年（H29）までの年最大時間流量を与え、計算を行った。河床変動計算の精度検証を、横断測量結果と比較し精度検証を行った。本報告では、河床変動計算の結果が植生動態に与える影響には触れないが、興味のある方は参考文献⁴⁾を参照されたい。

水国作成期間の景観・植物群落の遷移データを格納するため、iRICの計算格子（横断方向：約2m、縦断方向：約5m、格子数：20451、以下、「計算格子」と記述する。）を出力した。GIS（ESRI社：ArcGIS proVer2.4）を用いて、計算格子をインポートし、計算格子の格子点内に、水国作成期間の景観・植物群落の遷移データを格納した。その後、各格子点に格納される景観・植物群落の時系列変化をエクスポートした。

3.2.2 ネットワーク図の作成と景観・植物群落遷移経路の概観

景観・植物群落ネットワーク分析には、R（ver3.4.4、

統計パッケージ i-graph）を用いた。

ネットワーク分析においては、ネットワークのリンク構造を点（Node：ノード）と線（Edge：エッジ）によって抽象化されるグラフ（graph）として捉える。エッジは、接続の有無に留まらず、方向、重みを付けて表現される。エッジに方向性がない場合を「無向グラフ」、エッジに方向性がある場合を「有向グラフ」とし、景観・植物群落ネットワークは、時間軸方向の有向グラフとみることができる。ネットワーク分析を行うことで経験的に知られている景観・植物群落のネットワーク遷移を定量化できる。

前項においてエクスポートした景観・植物群落遷移経路のデータを自作ソフトウェアにより整理し、i-graphの機能で水国の調査時期の景観・植物群落遷移の有向グラフ図（以下、「ネットワーク図」と記述する。）を作成した。その後、ネットワーク図と流量時系列データを対比し、出水履歴と景観・植物群落遷移の傾向を分析した。同時に、水国の5時期における各景観・植物群落の面積割合の時系列変化を整理し、調査区域の景観・植物群落遷移の過程における中で各景観・植物群落の位置づけを把握した。

3.3 結果と考察

図-3の景観・植物群落遷移のネットワーク図と流量時系列の関係は、興味深い結果を示す。600 m³/s以上の出水が生じた1993年（H5）から1998年（H10）の遷移においては、線（Edge）が交錯する複雑なネットワーク構造であるが、一定期間大きな出水が生じない2002年（H14）から2008年（H20）の遷移においては、コンクリート構造物等への植物群落の拡大、多年生草本から樹林群落への遷移を明示している。

既往研究の多くは、樹林化の進展を示すデータとしては、特定区間の景観・植物面積比の時系列変化を提示しているが、樹林群落との対応関係までは示せない点で、十分な情報とはいえない。本研究で適用したネットワーク分析は、流量時系列の違いに応じた景観・植物群落と樹林群落の対応関係を示している点に有効性がある。

また、ネットワーク中心性分析は、樹林化前景観の抽出を可能とし、樹林化前景観は、樹林群落への指標として十分な機能を持つと考えられる。詳しくは参考文献⁴⁾に譲るが、梯川においては樹林化前景観として、ススキ群落、開放水面、ツルヨシ群集の順に選定された。ススキ群落、ツルヨシ群集は、5時期ともに確認

されるが、調査地の景観・植物群落における面積比は著しく大きくはなく、面積が大きいだけでなく景観・植物群落の遷移機構において中心となりうる特殊な性質を持つと考えられる。樹林化前景観は、樹林化の予兆を把握するうえで良好な指標になると考えられる。

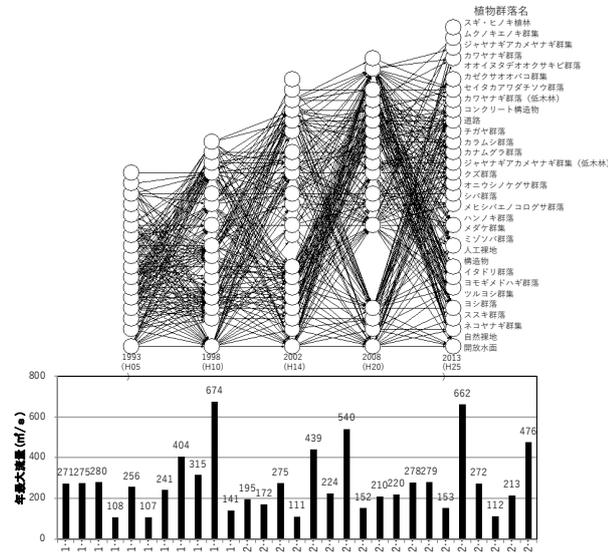


図-3 河川景観・植物群落遷移のネットワーク図と流量時系列の関係

これらの結果は、ネットワーク分析は、既往研究よりも、景観・植物群落遷移から樹林化への遷移経路を定量化する、有効性があると考えられる。

4. 植物群落を予測する際の基礎的な考え方の整理

4.1 植物群落を予測する際の基礎的な考え方の整理

河川生態系の特徴の一つに、出水による攪乱の不確実性（将来起こりうるべき事象に関して人間がもつ情報の正確さについての一区分）が挙げられる。季節的な周期性はあるものの、発生が予測できない出水による攪乱は、植物群落遷移に影響を与える大きな現象であるが、予測へは技術的な検討が必要となる。

不確実性への対応として最も有効と考えるのは、気象学、水文学等で用いられるアンサンブル予測手法（集団予測手法）である。

アンサンブル予測技術とは、「わずかに異なる複数の数値予報を行ってその結果を統計的に処理することで、不確定さを考慮した確率的な予測を可能にするもの」である。天気予報に代表される数値予報は、解析初期条件をわずかに変化させた複数ケースの計算を

行った後、空間統計処理を行い、雲量等を予測する。アンサンブル予測技術を植生動態モデルに適用する際に考慮しなければならないのは、まず、出水流量である。

表-1 設定した計算ケース

Case	地形（横断）	流量
1	設計河道	H25年洪水 (662m³/s)
2		H26年洪水 (272m³/s)
3		H27年洪水 (112m³/s)
4		H28年洪水 (213m³/s)
5		H29年洪水 (476m³/s)
6		平水流量 (15m³/s)

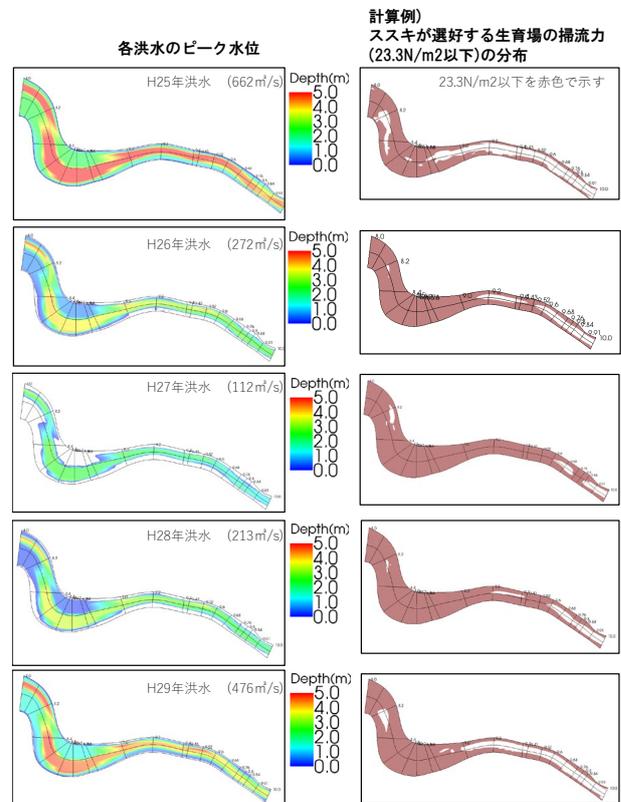


図-4 植物群落動態モデルに与える水理計算結果と植物群落予測結果（ススキ群落の例）

本試行においては、植生動態モデルに与える流量を平水流量と出水流量を過去5年分とした6ケースを植生動態モデルに与える計算を行った（表-1、図-4）。その後、植生動態予測結果を空間統計し、最も遷移する確率の高い植物群落に遷移する形で将来の植物群落を予測した（図-5）。

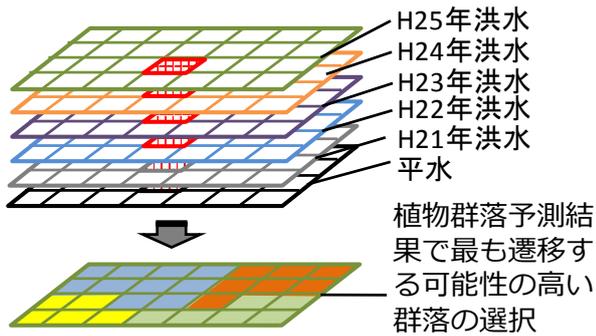


図-5 アンサンブル予測結果の空間統計例

予測計算後、梯川の管理主体である金沢河川国道事務所に示し、河道内植生管理に有用であるかを議論する形で試行を進めた。

4.2 植物群落予測の出力結果と河道内植生管理への展望

図-6 に植物群落予測の出力結果を示す。梯川河道改修計画に植物群落予測モデルを適用した結果、大部分は梯川において減少傾向にあるススキ群落やツルヨシ群落等の群落に遷移する結果となった。

図-6 の結果は、金沢河川国道事務所の河川計画担当者にも好意的に受け止められ、河川改修計画時に本手法が活用できる技術支援体制の整備が求められた。

5. 千曲川河川改修百周年記念事業における VR 技術を用いた一般市民へのアウトリーチ活動の試み

5.1 VR 技術を用いた一般市民へのアウトリーチ活動の必要性と試行の概要

平成 29 年度は、CIM 技術の可能性に言及した。CIM 技術の適用範囲としては、インフラマネジメント、一般市民へのアウトリーチ活動の分野が考えられる。一般市民へのアウトリーチ活動の試行として、「千曲川・犀川直轄改修事業 100 周年記念シンポジウム」において、VR (Virtual Reality: 仮想現実) を用いた樹林化した河川高水敷の疑似体験、明治期から現在までの河川の出水状況の疑似体験を試行した。なお、シンポジウム会場という人の入出が頻繁な会場であったため、アンケート調査等の調査は行わなかった。

5.2 VR 技術を用いた一般市民へのアウトリーチ活動の結果

VR を用いた樹林化した河川高水敷の疑似体験、明治期から現在までの河川の出水状況の疑似体験への反応は、概ね良好な反応であった。特に、若年層（主に、小学生）は、出水時の河川面上のフライスルーや水中への視点の移動（出水の水中体験）は、好意的に受け止められた。一方、高齢者は、VR 機器への対応（立体表示の体験等）が難しい面もあった。アウトリーチ活動を行う場合、若年層～中年層には VR 機器、高齢者層

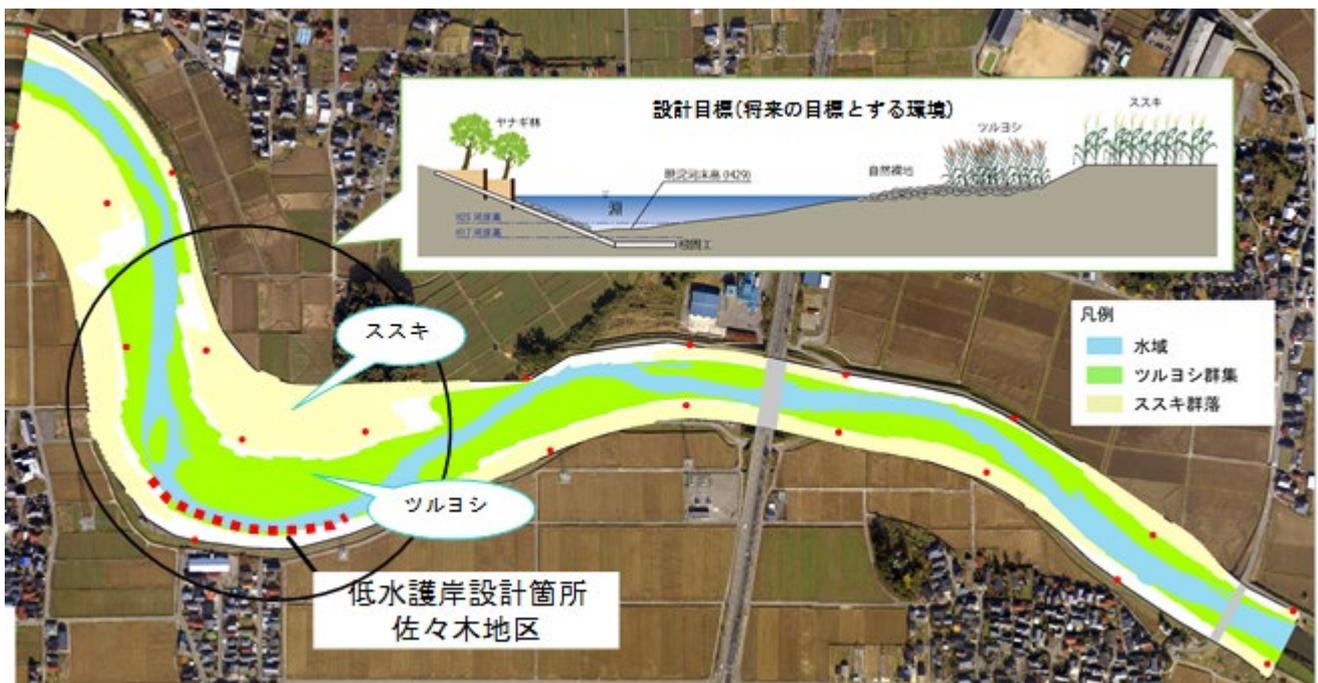


図-6 設計河道における比高、掃流力、水際からの距離から見たツルヨシ、ススキの分布可能範囲

には模型等の従来方法が適切であるという仮説が得られた。

6. まとめ

平成 30 年度は、平成 29 年度に提案した PCC 植生動態モデルの改良方法、及び、UAV 画像と AI (Artificial Intelligence : AI) を用いた植生図の自動作成の一般性を検証するため、梯川水系梯川 (石川県小松市) への適用研究を行った。次に、河道内植生管理の基準となる河川景観・植物群落の抽出のため、河川水辺の国勢調査データを用いたネットワーク解析を行った。最後に、CIM (Constriction Information Modeling/Management) の有用性を検証するため、河川管理のアウトリーチ活動時、VR を用いた河道内植生の可視化の有効性を検証した。その結果、梯川において、PCC 植生動態モデルの改良、UAV 画像と AI を用いた植生図の自動作成、2つの有効性を確認した。また、ネットワーク解析を用いて、河道内植生管理の基準となる河川景観・植物群落として「ススキ群落」の可能性を指摘した。CIM 技術に関しては、VR によ

る河道内植生状況をわかりやすく伝達できる可能性を確認した。

参考文献

- 1) 田屋祐樹・榎島みどり・赤松史一・中西哲・三輪準二・萱場祐一:河道内樹林の効率的な管理に向けた 伐採後の萌芽再生抑制方法の検証、河川技術論文集、第19巻、pp. 459-464、2013
- 2) 松田浩一・内堀寿美男・清水義彦・石原正義・藤堂正樹: 固定化砂州での掘削路開削による洪水攪乱の誘発と樹林化抑制対策に関する研究、河川技術論文集、第16巻、pp.235-240、2010.
- 3) 山口里実・渡邊康玄・武田淳史・住友慶三: 流路の固定化が進行した河道における効率的な旧流路回復手法に関する検討、河川技術論文集、第21巻、pp.217-222、2015.
- 4) 傳田正利・田屋祐樹・田頭直樹・中村圭吾: 梯川におけるネットワーク中心性分析を用いた景観・植物群落の遷移とその遷移に影響を与える物理環境特性に関する研究、河川技術論文集、第25巻、2019.

11.3.2 魚類生息・産卵環境及び河道維持管理を考慮した低水路の河道掘削技術に関する研究

担当チーム：寒地水圏研究グループ（水環境保全チーム）

研究担当者：村山雅昭、谷瀬敦、片岡朋子、布川雅典

【要旨】

本研究は、魚類生息・産卵環境と河床地形・底質との関連性を評価・把握すると共に、維持管理上有利な河道掘削技術の開発を目指して、低水路掘削河道の河床変動応答特性の把握を目的に実施している。平成 30 年度は、低水路河道内で底泥が堆積した水裏部(alcove)の底質改善および流況改善のために実施した小規模河道掘削の効果を検証するため、平面二次元河床変動計算を行い河床粒径の変化などを計測した。その結果、小規模河道掘削を行わない場合では底泥の洪水時のフラッシュと再堆積を繰返すこと、小規模河道掘削を実施した場合は比較的小規模な洪水でも底泥をフラッシュさせることが分かった。このことより、サケの産卵場として適した環境を保全・創出するための方策として、小規模河道掘削が有効である可能性が示唆された。

キーワード：小規模河道掘削、サケ産卵床、alcove、平面二次元河床変動計算

1. はじめに

河川の氾濫原には Off-channel habitat¹⁾といわれる主流路以外の河床地形が多く存在し、河川生態系保全の観点で重要である。しかし、貯水池をともなうダム建設や河川整備とともにこれらの河床地形を含む氾濫原は減少してきた²⁾。アメリカコロラド州を流れるコロラド川では、河道内の主流路以外の水表面積がダム建設前に比べて 25-30%も減少した²⁾。

Off-channel habitatには side channelの他に backwater や alcove^{1,4)}、我が国ではたまりやワンドと呼ばれる河床地形が含まれる。これらの河床地形は、砂州や河川構造物等により隔てられ、一般に流速がないか、わずかに間隙水により涵養された流水が認められるような場所¹⁾であり、水生生物の生息場あるいは産卵場として重要な場所である。Off-channel habitatの中でも alcove と呼ばれる主流路と砂州により隔てられているたまり状の地形は、例えば、冬季の潜在的なギンザケ稚魚(*Oncorhynchus kisutch*)の生息場となっていること⁴⁾や止水域を好む魚類の生息場や産卵場として重要な機能を有していることが知られている。

一方、サケの産卵場として好適な環境の一つに主流路から分岐した河岸際の分流があげられる。石狩川水系豊平川における札幌サケ科学館によるサケ産卵床分布調査の結果では、河岸際の分流個所に多数の産卵床が存在することが示されている。豊平川の分流は増水による河床変動によりその位置を変えたり、消長しながら維持されてきたが、近年、砂州の樹林化などによる砂州の固定化や分流の閉塞が進み、分流からたまりへの移行、たまりの縮小が見られるようになった。

たまり状の地形は止水域を好む水生生物等の生息場所として重要であるものの、豊平川においてはサケの産卵

域の拡大に貢献する場としてのポテンシャルを有している。そのため 2017 年に当研究所と北海道開発局、市民団体の札幌ワイルドサーモンプロジェクトおよび地元建設業者との協働により、豊平川中流部のたまり状地形の砂州上流箇所の小規模河道掘削を実施し、サケ産卵環境創出の現地試験を行った。その結果、底泥厚、底泥分布域の減少と水流の創出などにより、前年度までと比較してその年のサケ産卵床数は大幅に増加し、小規模河道掘削の効果が認められた。しかし、2018 年 7 月に増水により掘削した水路が閉塞し、2017 年の掘削前の河床地形に近い状態に戻ったことにより、2018 年度の産卵床数は掘削前の水準まで減少した。

2018 年度は、平面二次元河床変動計算を行い小規模掘削効果の持続性と底泥堆積の過程を推察したので、その結果を本報告に示す。

2. 調査対象箇所の概要

調査地は、札幌市中心部を流れる石狩川支流豊平川中流部である(図-1)。石狩川との合流点から上流 12.2 km(豊平川 KP.12.2)左岸側の alcove(図-2)で、主流路からの背水と、砂州からの浸み出しが目視で確認でき、平水時は流れが停滞した状態の水域である。

alcove の縦断延長は約 80 m である。上流端は、水面幅約 2.5 m あり、下流方向に沿って徐々に水面幅が広がりながら、上流端から約 25 m の地点で水面幅が大きく拡幅して約 9 m となる。上流端から下流 80 m 付近の右岸にみられる砂州の最下流端地点で豊平川と接続する。

2017 年 9 月 25 日から 26 日にかけてこの alcove 上流部を掘削し本川につなぐ水路を造成した。掘削水路は、延長 120 m、河床勾配 200 分の 1、水路下幅 1 m から 2 m 程度、床掘勾配は 1:1 程度とした(写真-1)。水路造



図-1 石狩川支流豊平川中流部に位置する調査地
(地理院地図 (提供 国土地理院) に加筆)

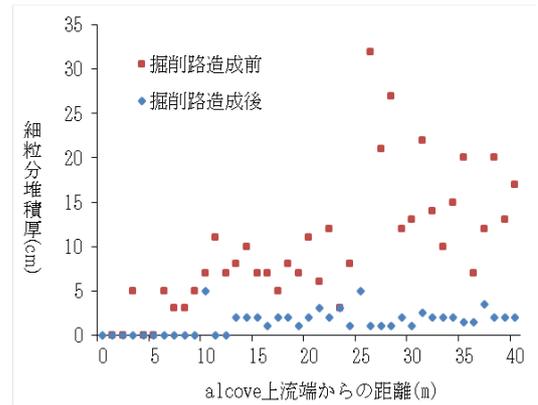


図-3 alcove内の2017年の細粒土砂堆積厚

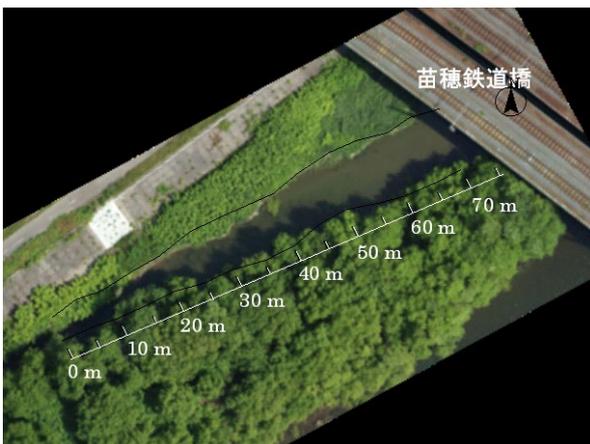


図-2 苗穂鉄道橋上流左岸の水裏部 (alcove)

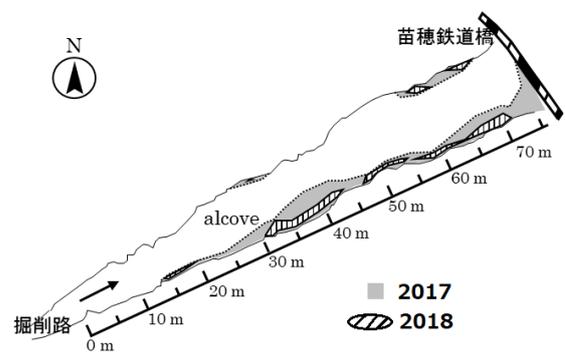


図-4 alcove内の細粒土砂堆積範囲

成後の翌年 2018 年の 7 月 5 日に大雨による増水で雁来水位観測所地点において過去 10 ヶ年で第 2 位の水位となる 7.63m を記録した。この出水により、2017 年 9 月に造成した水路が砂礫で堆積し閉塞した。

図-3 に 2017 年の掘削水路造成前後の細粒分堆積厚を、図-4 に 2017 年の掘削水路造成後と 2018 年の掘削路閉塞後の細粒土砂堆積範囲図を示す。掘削水路造成前の細粒分の堆積厚はほとんどの地点で 5 cm 以上あり、下流に向けて堆積厚が増加する傾向を示し、26 m 地点では最大の 32 cm となっていた。この細粒分はシルト、粘土であったが、堆積土砂の下は礫が分布していた。掘削路造成後は、細粒分が流出したことにより、堆積厚が減少しどの地点においても 5 cm 以下となった。細粒土砂の堆積範囲は、掘削水路造成前は河床底面全体に広がっていたが、2017 年の掘削路造成後は alcove の右岸側と左岸の一部に縮小し、2018 年の閉塞後の調査ではさらに縮小していた (図-4)。



写真-1 alcove 上流端へ続く掘削水路 (2017 年 9 月 26 日撮影)

3. 平面二次元河床変動計算

本研究における平面二次元河床変動計算は iRIC ソフトウェアの Nays2DH ソルバー⁵⁾により行った。計算区間は豊平川 KP12.0~KP12.4 とし、河道形状は 2018 年測量の点群データを用いて浮遊砂を対象とした河床変動計算

表-1 計算条件

項目	設定内容
計算区間	豊平川 KP12.0~KP12.4
河道形状	河床高：H30 点群データ 砂州高：H30 点群データ
平面形状	流下方向：201 測線（約2m 間隔） 横断方向：43 測線（約2m 間隔）
粗度係数	低水路粗度係数：0.034
樹木	投影面積密度 $aw=0.020\sim0.021$ 抗力係数 $cd=1.2$
計算流量	小規模ハイドロ(250m ³ /s)×2
起算水位	等流水位
河床材料	単一粒径：d=0.075mm
浮遊砂 上流端境界	動的平衡×0.01%
初期堆砂	17cm

表-2 河床変動計算実施ケース一覧表

Case1	掘削水路無し・初期堆砂無し
Case2	掘削水路有り・初期堆砂無し
Case3	掘削水路無し・初期堆砂有り
Case4	掘削水路有り・初期堆砂有り

を行った。本研究の河床変動計算は底泥のフラッシュと堆積の過程を検証する目的で行っているため、固定河床の上に移動計算が可能な底泥堆砂を設定し、浮遊砂のみの河床変動計算とした。alcove 内の初期堆砂は、alcove 上流端からの距離 25~40 m 区間内に堆積厚 0.17m に設定した。粒径は現地調査結果から単一の 0.075 mm とした。

浮遊土砂量は動的平衡の、雁来地点の実測データと比較して浮遊土砂量が課題となるため、動的平衡の 0.01% の割合として計算を行った (図-5)。

計算に用いた流量は、連続した小規模出水を想定し、2018 年 8 月 16 日~18 日の洪水(ピーク流量 250m³/s)を 2 回連続させたハイドロを図-6 の通り作成して用いた。なお、豊平川雁来地点の融雪期の平均最大流量は 200m³/s 程度であり、図-7 に 2018 年の雁来地点の年間の時刻流量を示す。

計算に用いた条件を表-1 に、計算を実施したケースの一覧を表-2 に示す。

4. 結果と考察

計算結果の内、各ケースの河床高変化をコンターで表したものを図-8 に示す。初期堆砂が無いと仮定して計算を行った Case1 と Case2 の結果では、どちらのケースもピーク流量から減水期にかけて alcove 内に堆積しており、現地の堆積傾向と一致する。掘削水路有無の比較では、堆積量に大きな差は見られないものの、わずかに掘削水路有りの方が多い傾向にある。これは、ピーク流量時に alcove 内に流入する流量が増加することに伴い、流入する浮遊土砂量も増加しているためである。また、2 回目のピーク流量時には堆積土砂がフラッシュし、その後再度堆積する。出水が 2 回連続することで最終的な堆砂量がやや増加する傾向が見られるが、この洪水波形ではほぼ定常状態に達しているとも考えられる。

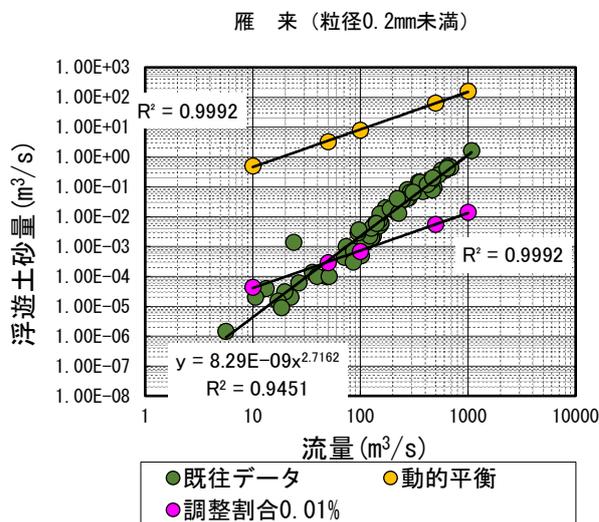


図-5 流量と浮遊土砂量の関係

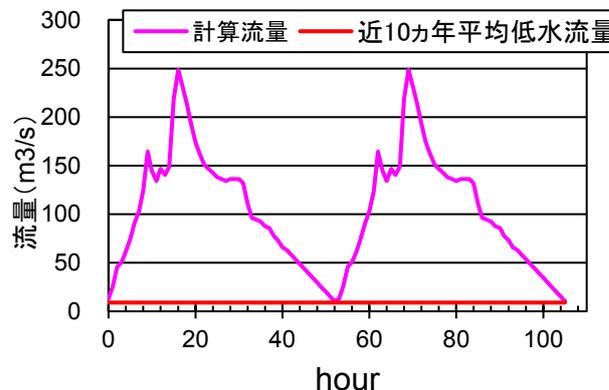


図-6 計算対象流量のハイドログラフ

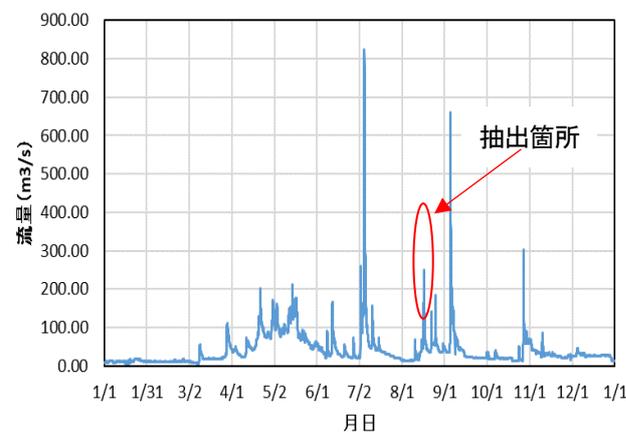
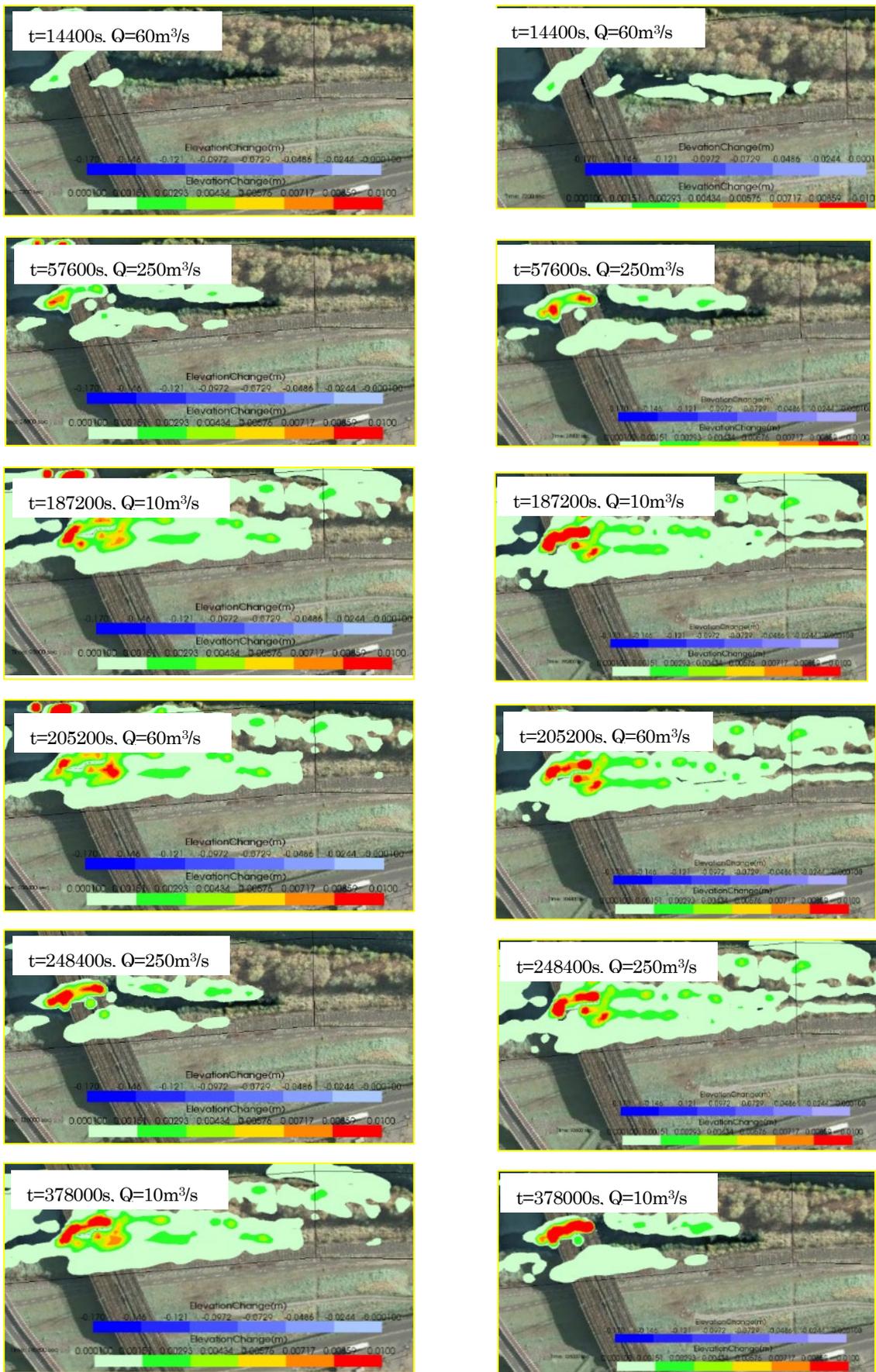


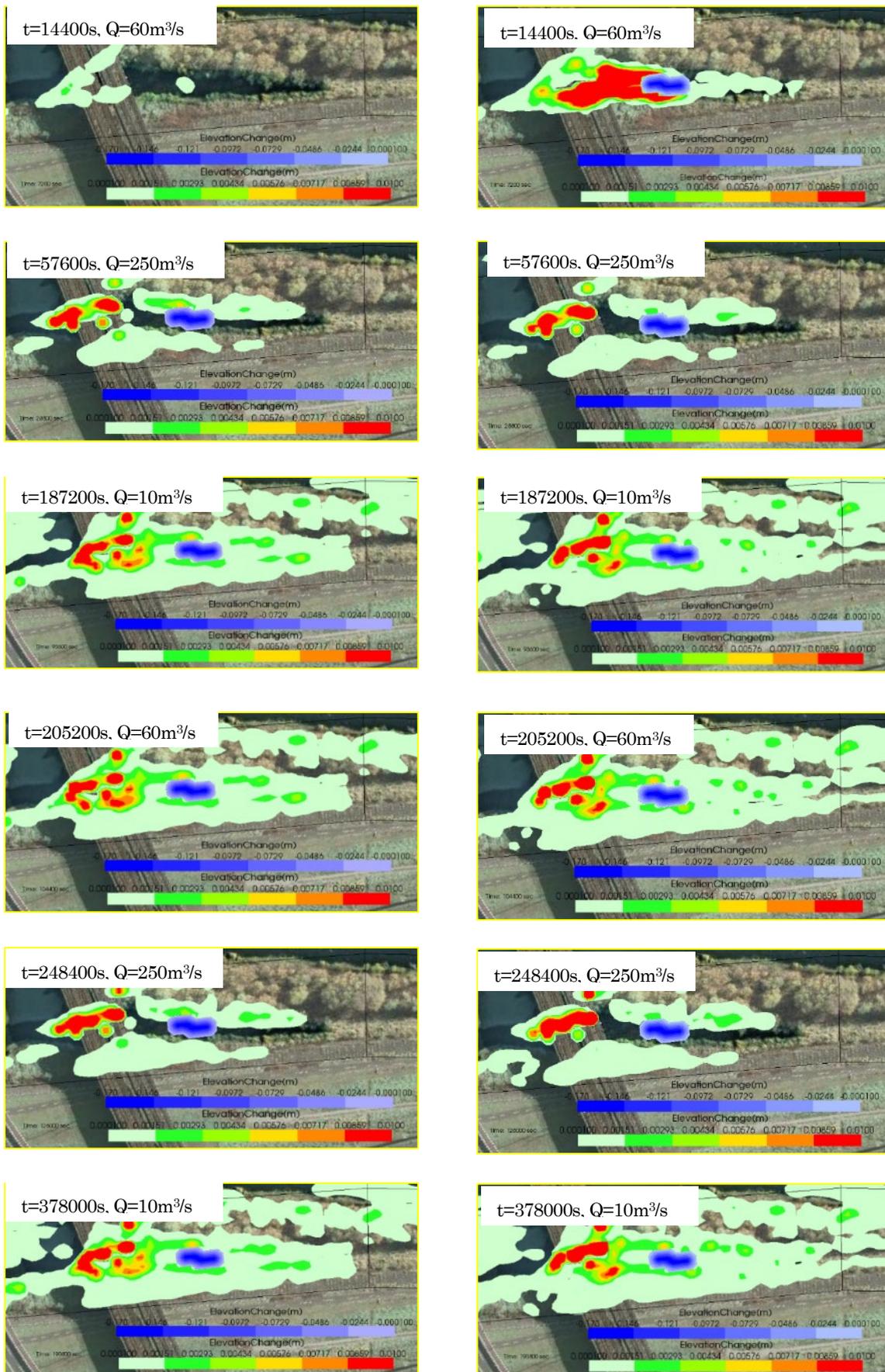
図-7 2018 年雁来地点年間時刻流量



Case1 掘削水路無し・初期堆砂無し

Case2 掘削水路有り・初期堆砂無し

図-8-1 河床変化高コンター図



Case3 掘削水路無し・初期堆砂有り

Case4 掘削水路有り・初期堆砂有り

図-8-2 河床変化高コンター図

初期堆砂有りの Case3 と Case4 の結果では、計算初期の $Q=60\text{m}^3/\text{s}$ の時点では、掘削水路なしの Case3 で設定した初期堆砂がほとんど流出していないのに対し、掘削水路ありの Case4 では、設定した初期堆砂の大半が流出した。水路掘削による導水効果により底泥のフラッシュに効果があることが確認された。また、ピーク流量時にはどちらも同様に初期堆砂が流出していることから、掘削水路はかなり小規模な増水 ($50\sim 100\text{m}^3/\text{s}$ 程度) で効果を発揮するといえる。

以上から、alcove 内への土砂堆積は、洪水時よりも平常時のほぼ死水域となっている状況で浮遊砂が堆積し、出水時には、一度フラッシュした後再堆積を繰り返しているもの推測する。水路掘削により $50\sim 100\text{m}^3/\text{s}$ 程度のかなり小規模な増水時に堆積土砂を流出させることができるため、alcove 内の土砂堆積防止に有効な対策といえる。

5. おわりに

本研究は、小規模河道掘削の効果を検証するため、平面二次元河床変動計算を行い河床粒径の変化などを計測した。その結果、小規模河道掘削を行わない場合では底泥のフラッシュと再堆積を繰り返すこと、小規模河道掘削を実施した場合は小規模な洪水でも底泥をフラッシュさせることが分かった。このことより、サケの産卵場として適した環境を保全・創出するための方策として、小規

模河道掘削が有効である可能性が示唆された。

参考文献

- 1) Landers, D., Fernald, A. and Andrus, C.: Off-channel habitats In The Pacific Northwest Ecosystem Research Consortium (David Hulse, D., Gregory, S. and Baker, J. Edit), pp. 26-27, Oregon State University Libraries and Press, 2002.
- 2) Van Steeter, M. M. and Pitlick, J.: Geomorphology and endangered fish habitats of the upper Colorado River 1. Historic changes in streamflow, sediment load, and channel morphology, Water Resources Research, Vol. 34, No. 2, 1998.
- 3) 永山滋也, 原田守啓, 萱場祐一: 高水敷掘削による氾濫原の再生は可能か? 自然堤防帯を例として, 応用生態工学, Vol.17, No.2, pp.67-77, 2015.
- 4) Nickelson, T. E., Rodgers, J. D., Johnson, S. L. and Solazzi, M. F. : Seasonal Changes in Habitat Use by Ju-venile Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutch*) in Oregon Coastal Streams, Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, Vol.49, pp.783-789, 1992.
- 5) iRIC ホームページ: <https://i-ric.org/ja/>

11.3.3 中小河川における環境の保全に資する河道計画・設計手法に関する研究

担当チーム：水環境研究グループ（自然共生研究センター）
 研究担当者：中村圭吾、林田寿文、大槻順朗

【要旨】

中小河川の抜本的な川づくりは災害復旧時にも行われ、この場面でどれだけ充実した計画を立案できるかが重要である。しかし、事業は時間的制約の中で行われるため、環境や利用にまで配慮を払うことは難しい。そのため、きめ細やかな配慮とその評価を迅速に行うことができる多自然川づくり支援ツールが求められている。現在、3次元測量技術やCIMも浸透しつつあるが、これらの持つ利点を川づくりの場面で活かせる河道計画のプロセスが確立できているとは言えない。この課題に対し、我々は、事業規模に応じた効果的・効率的な河道計画・設計プロセスの提案とこれに対応できる多自然川づくり支援ツールの開発を並行して行っている。本報告ではそれらの概略について説明する。

キーワード：多自然川づくり支援ツール、環境評価、中小河川、シミュレーション、iRIC、EvaTRiP

1. はじめに

中小河川での抜本的な川づくりは災害復旧時にも行われ、この場面でどれだけ充実した計画を立案できるかが重要である。しかし、災害復旧事業は厳しい時間的制約の中で行われるため、環境や人の利用にまで配慮を行き届かせることは難しい。そのため、きめ細やかな配慮とその評価を迅速に行うことができるような、多自然川づくり支援ツールが求められている。特に、多自然川づくりでは、操作性の良い地形編集機能や環境評価機能が重要であるが、現在使用されている様々な水理計算ソフトウェアにはこのような機能を有するものがない。また現在では、3次元測量技術の高度化やその成果をそのまま用いるCIM (Construction Information Modeling / Management) も浸透しつつあるものの、これらの持つ利点を川づくりの場面で活かせるような河道計画のプロセスが確立できているとは言えない。

このような課題に対し、自然共生研究センターでは、災害復旧事業での活用も念頭に置き、今後の3次元測量やCIM、VR (Virtual Reality)への適用も踏まえた事業規模に応じた効果的・効率的な河道計画・設計プロセスの提案と、これに対応できる多自然川づくり支援ツールの開発を並行して行っている。本報告ではそれらの概略について説明する。

2. 新しい河道設計のプロセス

図-1は河道設計プロセスの概念図であり、左側が現行、右側が現在検討中の新しいプロセスを示している。大まかな流れは、1)河道の取得(測量)・計画流量の算定→2)一次検討断面の設定→3)水理計算による検討

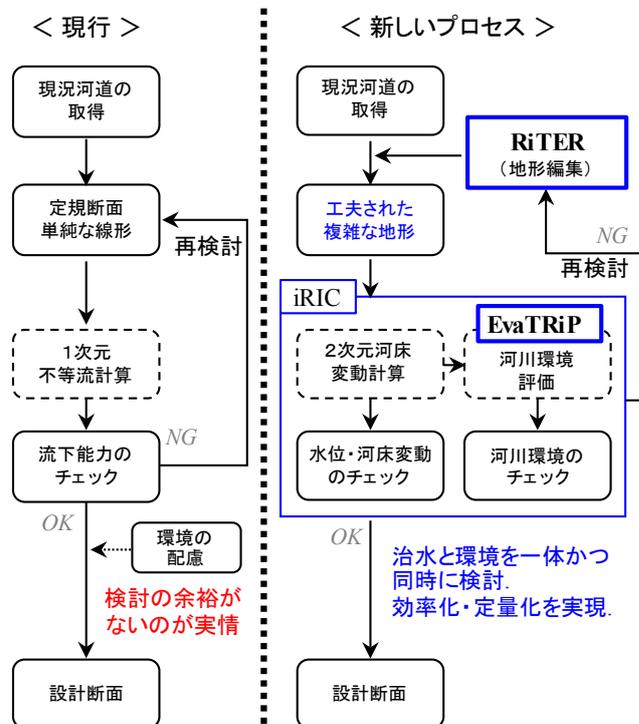


図-1 川づくりにおける横断面の検討方法
 (効果的・効率的な河道計画・設計プロセスの提案)

→ 4)HWL による安全性評価→ 5)設計断面という流れである。現況では、

- ・1次元計算の検討に留まり瀬淵などは評価できない。
- ・流下能力を決めた後に環境の配慮を行うため、環境面を川の基本構造に反映できない(複雑な地形の検討が困難)。
- ・時間がないという理由で、2)で設定する単純な断面がそのまま設計断面になってしまうことがある。

といった多自然川づくりを達成する上での課題が存在する。また、前述のような3次元測量の成果を活かせるようにはなっていない。これを乗り越えるためには、プロセスの見直しが必要となる。具体的には、①2次元河床変動計算を導入すること、②①の計算と同時に環境評価を実装すること、③計画地形の見直しやきめ細やかな配慮を実装するための地形編集を行えることが重要である。ただし、現行のフローから逸脱するのは制度の破綻や業務の混乱を招くことが想定されることから、現行制度に則しながらも上記の新たな内容が自然と織り込まれる形が望ましいと考えている。

3. 3次元の多自然川づくり支援ツール

3.1 iRIC ソフトウェアをベースとしたツール開発

技術は日進月歩で進化している。かつては限られた研究者・技術者のみが取り扱うことのできた河床変動計算は、特に本邦においては iRIC ソフトウェア²⁾の登場により広く普及し、業務でも数多く利用されている。iRIC は無料であるだけでなく、非常に扱い易い設計となっていることも大きな特徴である。そこで、このソフトウェアをベースとし、前述の①～③を強化・追加することで、3次元の多自然川づくり支援ツールとして高度化することを進めている。

3.2 地形編集ツール (RiTER)

RiTER (River Terrain Editor) は、計算に用いる河道地形を柔軟に編集するために開発しているツール群である。その中から、横断面ベースで地形編集を行う RiTER Xsec (cross-section の意) について示す。この機能は、現行では iRIC の GUI (Graphic User Interface) として実装されている。模範的な川づくり³⁾では、必要な流下能力 (河積) や用地制約を踏まえつつ、環境や人の利用に配慮した法面や空間づくりが求められる。例えば、図-2 のように、平面図で河川空間として利用可能な場所を確認し、官民境界を確認しながら断面を整え、治水・環境上、維持管理上の評価を繰り返し検討、望ましい地形を探る作業が必要である^{4),5)}。RiTER Xsec ではこうした作業を念頭に、①平面図に線情報 (官民境界、道路など) をセットすると横断面でも表示する機能、②横断面上で法勾配を確認しながら法面編集する機能を追加した。iRIC に備わる横断面からの計算格子生成機能と合わせることで、編集した地形をもとにすぐに水理計算が実施できるようになっている。横断面ベースの河道地形編集は2次元であるが、iRIC ソフトウェアの機能により自動で3次元設計とし

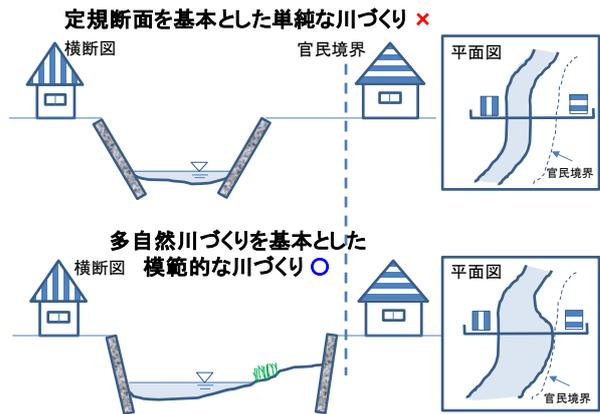


図-2 川づくりにおける横断面の検討方法

て出力される。ドローン (UAV) やグリーンレーザ (ALB)⁶⁾、DEM の地形 (標高) データなどが直接編集が可能である。

3.3 3次元河道による河川環境評価

EvaTRiP (Evaluation Tools for River environmental Planning) は、河川環境評価を行うためのソルバ (個別機能を iRIC ではソルバと呼ぶ) であり、iRIC の水理計算ソルバで実施した解析から得られた時々刻々の水深・流速をもとに、生息場評価や植生繁茂、護岸設置の必要性など、環境に関わる評価値を算出することができる⁷⁾。例えば図-3 は、瀬・淵・早瀬の環境条件を事前に定義し、計算結果からその分布を表したものである。iRIC ソフトウェア上で3次元の河道地形が構築され、そこに水を流すことで水深や流速が判定でき、瀬や淵の分布を3次元的に表すことが出来る。この結果を現況と計画で比較することで、設計の環境影響評価が簡易に実行できる。

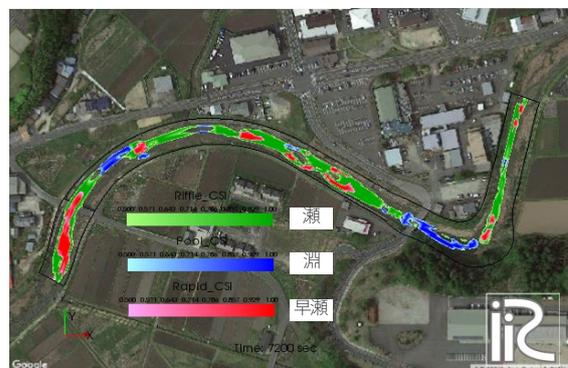


図-3 EvaTRiP の機能の一例 (瀬淵の抽出)

4. 事業規模に応じた効果的・効率的な河道計画・設計プロセスの提案

国土交通省が進めている河川 CIM は、建設事業の各段階において 3 次元モデルの活用を促しており、航空レーザ測深（以下、ALB）による地形調査から、3 次元設計、ICT 建設機械を使った 3 次元施工、そして 3 次元モデルを活用した河川維持管理とつながることにより大幅な生産性向上が期待されている。しかしながら、現行では 3 次元データを 2 次元図面に落とし、2 次元ベースで設計した後、再度 3 次元モデルを構築するなど、特に設計部分で非効率な方法が行われている。そのため、一連での 3 次元モデルを用いた河川設計法の確立が喫緊の課題である^{8),9)}。

そこで、自然共生研究センターでは、図-4 に示す、3 次元による設計プロセスを提案するものである。被災後には、痕跡水位などの現状把握、測量（通常測量やドローンなどによる数値標高モデル（DEM）取得）が行われる。災害復旧など抜本的な川づくりが行われる場合、このデータを基に平面形状の作成（勾配、川幅、水深、HWL の設定など）、法線形・横断形状の検討、治水評価・環境評価が行われる。この一連の作業がすべて iRIC ソフトウェア上で実施が可能になるよう、自然共生研究センターでは RiTER Xsec、EvaTRiP などの開発作業を進めている。その後、完成した河道地形の修景や住民や関係機関との合意形成を行うために、仮想空間（VR）を使った開発を進めている。完成した河道地形データはシームレスに ICT 建機へ送られ工事が開始される。維持管理についても CIM に基づき行われる。

一方で、たとえば維持掘削、測量側線ごとの断面では設定しづらいワンドの生成、高水敷に縦断的な水路の設置などに関しては、3 次元地形そのものの編集することが可能となる。この機能についても平成 28、29 年度に自然共生研究センターで開発を進め、平成 30 年度には別機関と研究協定を結び共同で開発にあっている。

以上の事から、一連での 3 次元モデルによる河川 CIM の実現が可能となる。そのため、河川 CIM を活用する上での調査、設計、施工、維持管理に至る一連の過程に対し、大幅な生産性向上、コスト削減、品質確保などが期待できるものである。特に、河川マネジメントにおける 3 次元モデル化は、複雑な地形を有する河川・河川環境の特性に合っていると考えられ、かつ、3 次元データの必要性増加も相まって、本河川設計プロセスは積極的に活用されることが見込まれる。また、3 次元モデルを活用する際、環境評価を付加させることも可能となる。その結果、周辺環境に配慮したきめ細やかな地形編集

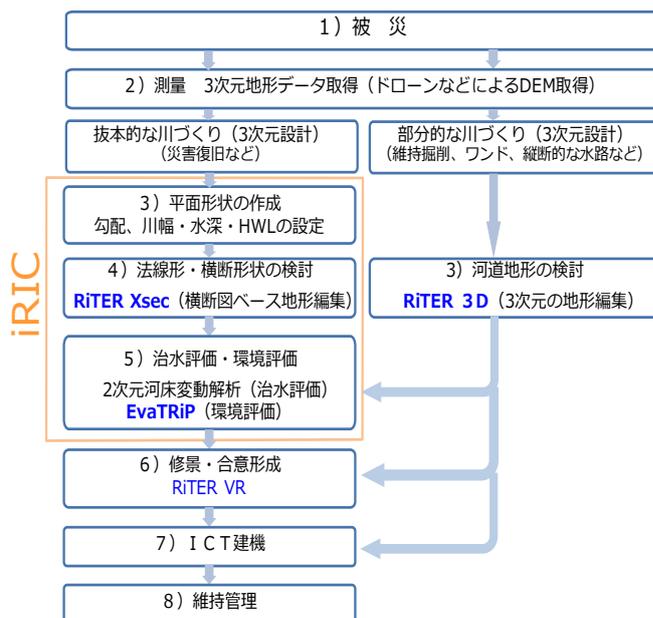


図-4 事業規模に応じた効果的・効率的な河道計画・設計プロセス

に基づいた河川工事、工事前後での影響評価を行った上での深化した多自然川づくり、VR 技術による景観評価などが可能となり、質の高い社会資本整備の創出へ大きく貢献することが期待できる。

参考文献

- 1) 林田寿文、大槻順朗、中村圭吾、萱場祐一：新しい河道計画プロセスを念頭に置いた多自然川づくり支援ツールの開発、第 74 回年次学術講演会講演概要集、(公社) 土木学会、2019. 9
- 2) iRIC ホームページ： <http://i-ric.org/ja/>
- 3) 大槻順朗、林田寿文、中村圭吾、萱場祐一：中小河川研究と多自然川づくりの深化、土木技術資料、60-11、2018、pp. 8-13
- 4) 多自然川づくりポイントブックⅢ、日本河川協会、2011
- 5) 美しい山河を守る災害復旧基本方針、国土交通省 水管理・国土保全局、2018. 6
- 6) 中村圭吾：グリーンレーザ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、水環境学会誌 Vol. 42(A), No. 5, pp. 174-178, 2019
- 7) 自然共生研究センター：簡易河川環境評価ツール EvaTRiP を用いた治水と環境を両立させる川づくり、土木研究所 WEB マガジン、Vol. 53
- 8) 中村圭吾：河川 CIM で進化する多自然川づくり、RIVER FRONT vol. 88、2019
- 9) 河川管理用 3 次元データ活用マニュアル（暫定版）、国土交通省 水管理・国土保全局、2019. 6