

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、令和元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～令和 1 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。さらに、評価軸の指標化およびしきい値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。「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。「良好な景観・自然環境がある」、「地域の生活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一河川を対象にケーススタディを行った結果、現況の水辺拠点を判別する良好なモデルが得られた。判別への寄与度が高かった評価指標は、「橋からの距離」、「史跡・文化財」、「特徴的な鳥類生息場」、「BOD75%値」、「人口密度」、「水田面積」、「公共施設からの距離」、「バス停からの距離」、「学校からの距離」等であった。これらの項目は評価指標とできる可能性が高い。

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に、河川・湿地生態系の指標となりやすい渉禽類の出現傾向を精査し、河川環境における近年の現状を把握した。その結果、内陸淡水域を利用する種が多く水系で近年見られなくなっていることが示唆された。また、利根川水系をケーススタディとして、渉禽類の分布と堤内外地を含めた環境要因との関係性について解析を行った。その結果、種によって、堤内の水田がその分布に大きく寄与しており、堤内地・堤外地を含めた横断的な視点が保全において重要となることが示唆された。

(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。

令和元年度は、平成 30 年度までに開発してきた PCC 動態モデルを急流河川に適用するために、植生遷移の判別関数の改良を行い、手取川を対象に再現計算を実施した。その結果、従来モデルでは河畔林を過大に推定していたが、改良モデルでは、攪乱系草地とススキ系草地の混在を表現することができた。

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。令和元年度は、豊平川のサケ産卵床における生卵率と水質等の関連について調査した。産室の DO が低い産卵床の生卵率は低く、DO が生卵率の低下に影響を与えた可能性が高く、また産室の電気伝導度が高いことが生卵率の低下につながった可能性がないとは否定できない結果が確認された。このように豊平川でサケが多数産卵する区間内でも、主流路や副流路など、大きく区分したエリア毎に地下水の影響などで河床間隙水の水質・水温の特徴が異なることが明らかになった。

中小河川における河道計画や設計を行う際に、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。令和元年度は、河道地形編集ツール (RiTER Xsec) の横断面編集の機

能強化、i-construction への対応などの開発を行った。

(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。令和元年度は、効率的な維持管理の観点からも、中長期的に維持可能で適切な河道断面の設定について、国土交通省北海道開発局札幌開発建設部札幌河川事務所と共同で検討した。その結果、流下断面の拡大を図る必要があった豊平川を対象に、長期的に安定し得る川幅を検討した上でサケ産卵可能な敷高と樹林化抑制を図るための敷高をそれぞれ設定して掘削した。その際、掘削しない場合と掘削した場合とを河床変動計算及び PHABISIM により比較して、サケ産卵可能域の維持が図られる事について、予測確認した。

陸域においては、令和元年度は、平成 30 年度までに梯川を対象に研究が進められた、治水と環境の両立を図る河道掘削技術・維持管理技術の一般化に取り組んだ。ここでは、河道内樹木の伐採に焦点をあて、それを合理的に計画するための治水、環境に関する指標の設定を行った。さらに、治水・環境面での機能を満足しつつ、樹木の伐採・運搬コストの縮減に貢献する樹林帯を抽出するための検討方法を提案した。

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。また、新たに河川 CIM におけるデータ運用を、データをアーカイブし管理する部分と、実際の施工現場での運用である部分とに分け、相互のやり取りを想定した取り決めを提案した。

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 recreational 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. We obtained three evaluation axes, “enough space for activity,” “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 ten 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. We studied the occurrence tendency and habitat types for wading birds in both river and landside environments in Japan. As a result, the wader species, which inhabit inland freshwater bodies, have recently decreased in Japanese rivers. In addition, it was clear that wide paddy fields contributed significantly to the appearance of these waders.

The PCC Vegetation dynamics model was developed by FY2018, and was improved its discriminant function for applying to rivers which are steep slope in FY2019. As a result applying to the Tedori river, the conventional model overestimated riparian forest areas, on the other hand, the improved model explained distribution of plant community clusters defined as that its main plant was *Miscanthus sinensis* or the it had a tolerance to flood disturbances.

And we showed validity to channelize to connect sandbar with mainstream 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. To effectively promote the conservation and regeneration measures of the spawning bed environment, it is critical to analyze the survival rate of hatching salmon eggs towing to the differences in river environments. Herein, to clarify the relation between the survival rate of hatching and environment in the spawning bed, the relation between the survival rate of salmon eggs up to the eyed-egg stage and water quality was investigated. Consequently, results showed that the low dissolved oxygen concentration likely decreased the survival rate up to the eyed-egg stage.

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. Radical river development

of small and medium-sized rivers is also carried out during disaster recovery, and how well the plan is planned in this situation It is important to be able to do so. However, it is difficult to pay attention to the environment and the use of the river because the project is carried out within a time constraint. Therefore, it is important to have a tool to support the creation of a multi-natural river that can give careful consideration to the environment and evaluate the project in a timely manner. It is required. Nowadays, 3D surveying technology and BIM are becoming more and more widespread, and the advantages of these technologies are being utilized in river development. It can not be said that the process of channel planning has been established. In response to this issue, we are proposing an effective and efficient river channel planning and design process that is appropriate to the scale of the project, as well as a new process that can be applied to the project. At the same time, we developed a tool to support the development of multiple natural rivers. In addition, we developed a new data management system for river BIM that combines the data archiving and management part with the actual The proposal was divided into two parts: the part that is operational at the construction site and the part that is operational at the construction site, and an arrangement that envisages mutual interaction.

The channel excavation and management technologies in terms of both flood control and environment were developed on the river terrace in the Kakehashi river by FY2018, and generalization of these technologies has been promoted in FY2019. Here, focusing on management of trees in rivers, indexes regarding flood control and environment were suggested to make plans for reasonable deforestation. Furthermore, a method was proposed for prioritizing forest areas that contribute to reduction of deforestation and transportation costs, while satisfying flood control and environmental functions.

Radical river development of small and medium-sized rivers is also carried out during disaster recovery, and it is important to know how well we can plan for this situation. However, it is difficult to pay attention to the environment and the use of the river because the project is carried out within a time constraint. Therefore, it is necessary to have a tool to support the creation of multiple natural rivers that can take into account the details and evaluate them quickly. At present, 3D surveying technology and BIM are becoming more and more widespread, but we have not been able to establish a river channel planning process that allows us to utilize the advantages of these technologies in river development. In response to this problem, we proposed an effective and efficient river channel planning and design process based on the scale of the project, and in parallel, developed a multi-natural river planning support tool for this process. In addition, we proposed a new data management system for riverine BIM, which is divided into two parts: one for archiving and managing data and the other for operation at the actual construction site.

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~令和 1 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、評価軸の指標化におよびしきい値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。鳥類を対象とした保全優先地区の抽出技術の開発では、全国の一級水系を対象とした鳥類の出現傾向を精査し、特に河川環境における渉禽類の生息地タイプ別の現状を把握した。また、利根川水系をケーススタディとして、渉禽類の分布と堤内外地を含めた環境要因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生物の生育・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、令和 1 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空間スペースを評価する指標について検討を行った。平成 30・令和 1 年度は、残りの評価軸の指標化及び評価指標のしきい値について検討した。

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

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	茂流川	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	×	×	×	×	○	×	×	×	×
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(旧家屋敷) 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 大淵、小淵、ケヤキ等の河岸樹木	右岸背後に河岸段丘の斜面 水際のヤナギ、ヨシ群落が自然土壌を形成 城下町	アシが生い茂る河原 信夫山、弁天山を眺望 城下町 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、農家の宅前(農村的景観)	山間に囲まれた細長い谷地形 高度成長期前は崖が乱舞していた 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 伊弉丸を眺望	山並みが川面に映える 良好な河岸緑地 原爆被災した石積み水制 干満により干涸が処理、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、名勝等に観光客が集まる 町並みの屋根に石州瓦が用いられている 堀割の水路や川に鯉が泳ぐ 青野山を眺望	大甲橋からの眺望(川面に映る橋木の緑と遠景の立田山)は「森の都くまもと」を象徴 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 柵があり近寄りやすい 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、カマクラ等で観光客が集まる 施設整備されておらず日常生活に欠かせない 川とふれあうまちづくり(市中心市街地活性化計画)	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活用 河川利用 堤防天端にサイクリングロード	県庁前の福島市の顔となる場所 植生に阻まれ水際近くに近づけず利用が困難	河道改修により矢張り直線水路化 水際に近づけず日常生活に欠かせない 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 に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よい 際近くに近づけず歩く人にとってのネック箇所 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欠かせない 川幅が狭く治水上のネック箇所 歩いて歩くと人混み 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)	○(磯原、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)

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。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

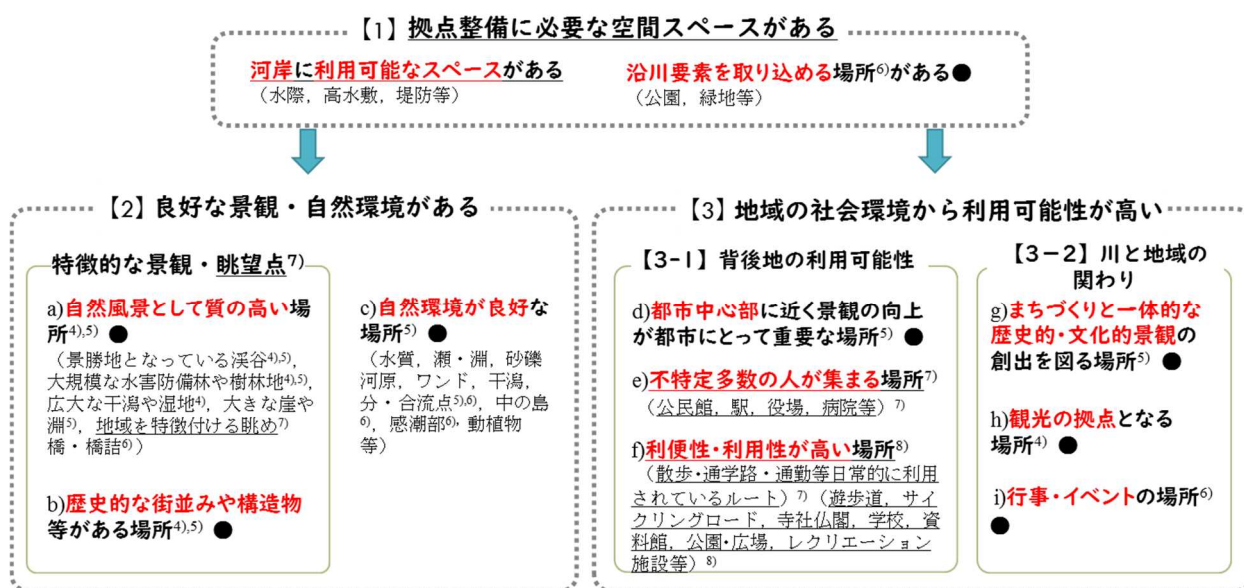


図2-1 水辺拠点の抽出に資する評価軸（案）

りまとめた。

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をも簡単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)。水平方向の広がりWは、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、水面からの比高Dは平水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)と設定した。2.1と同様の事例を対象とし、各事例から横断面を1箇所選定して、W、D及びW/Dを算定した。対象事例の概要を表2-2に示す。

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。一乗谷川の横断面図の例を図2-3に示す。

(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、河岸幅が広げられた事例(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のライン辺り)。W/D=5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。勾配が1:5より緩くなると、利用率と利用形態(人の活動種類)が増加すると言われており¹¹⁾、利用ポテンシャルの境界位置と相応する。

表2-3には、事例調査を通じて得られた設計の自由度及び利用形態と、利用ポテンシャル(W/D)の対応を整理し

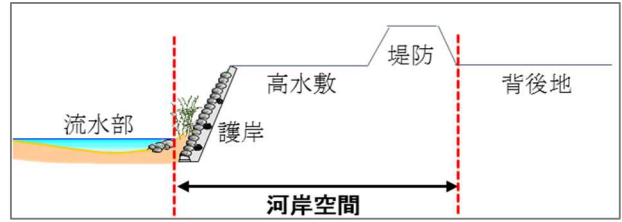


図2-2 “河岸空間”の対象範囲

表2-2 対象事例とその概要

調査対象	流程	河川規模(川幅)	横断形状
石狩川水系 茂漁川 (北海道恵庭市)	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)	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)	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)	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)	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)	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)	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)	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)	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)	下流域	直轄河川 (75~80m)	特殊堤

た。W/Dが大きくなると、管理用通路・散策路に加え緩勾配斜面や平場の形成が可能となり(設計自由度の向上)、それに伴って利用形態が増加している。以上より、河岸空間の広がりを実証したW/Dは、水辺拠点整備の目安となる空間スペースを評価する指標(評価軸a、b共通)として適用性があると考えられる。

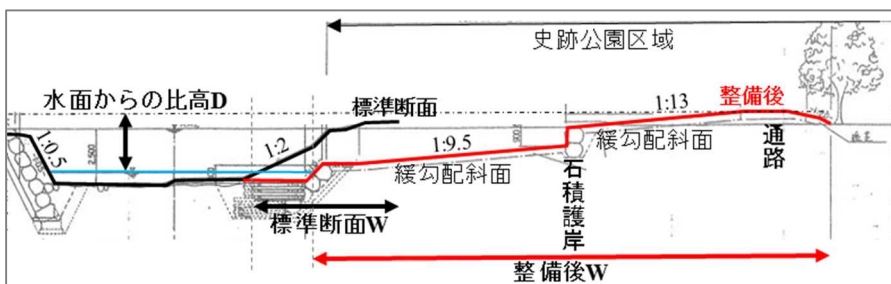


図2-3 一乗谷川整備箇所の代表的な横断面図及び写真

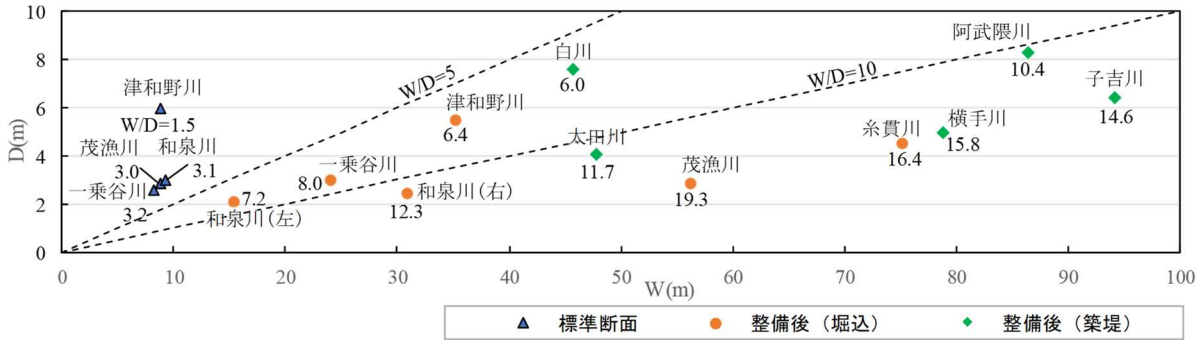


図2-4 代表横断面のW-D関係及びW/Dの算定結果

なお、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・自然環境及び生活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

実河川のデータを用いた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を判別しうる評価指標及びそのしきい値を分析した。

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1,100km²の一級河川である。このうち、国管理区間（緑川；延長約30.8km、御船川；延長6.4km、加勢川；延長11.5km）を検討対象とした。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、「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。

2) 水辺及び生活環境データセットの作成

評価指標候補は、現場での適用を想定し、データ取得の

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)

容易性等を勘案して設定した(図2-5)。参照したデータはマップの他、水国調査¹⁴⁾、水質調査¹⁵⁾、国土数値情報、国勢調査、全国道路・街路交通情勢調査、地方公共団体等の公表資料とした。

緑川に整備されている水辺拠点(「川の通信簿」¹⁶⁾実施箇所(10地点)を対象としたと、レファレンスとして1km毎の距離標地点(以下、「代表点」と呼ぶ)を設定した。距離に関する指標は、水辺拠点または代表点までの距離をGIS上で計測した。面積や有無・個数に関する指標は、水辺拠点または代表点を中心とする圏域を設定し、圏域に含まれる評価指標候補の値を集計した。なお、圏域は指標候補の性質に応じて以下のように設定した。

- ・河川区域内のみ存在するもの(評価軸cに該当するも

の) : 半径500m圏

・河川区域内外に存在するもの : 徒歩10分圏

代表点の中には水辺拠点に近接し、水辺拠点の圏域と重なるものがあつたため、3) の分析に際しこれらの代表点を検討から除外した。その結果、当初設定した代表点 (98地点) から50地点が抽出された。図2-6に抽出された代表点と水辺拠点及び徒歩10分圏域を示す。

2.2.1で提案した、整備に必要な空間スペースに係る評価指標W/Dについても算出した。

3) 水辺拠点の立地選定に寄与する指標の分析

多変量解析により、水辺拠点とレファレンスを判別可能な指標項目及びそのしきい値について分析した。分析手法は、ランダムフォレスト (R 3.6.2 (R Core Team, 2019) のランダムフォレストのパッケージ) を用いた。説明変数は2) で作成したデータセット (計88)、目的変数は水辺拠点 (n=10) と代表点 (n=50) の区分とした。水辺拠点と代表点の地点数の差を考慮して、決定木の生成にあたっては、代表点から10地点をランダムにサンプリングした。決定木の生成数は500とした。

(2) 分析結果

1) 判別精度

ランダムフォレストにより水辺拠点と代表点を判別した結果、水辺拠点10地点のうち9地点が正しく水辺拠点と判別され、代表点50地点のうち49地点が正しく代表点と判別された。誤判別率 (OOB error) は3.3%、また判別モデルの評価指標として用いられるAUC (Area Under the Curve) は0.938 (0.8を超えるとexcellent、0.9を超えるとoutstandingと評価される) であり、両者を良好に判別できるモデルが得られたと言える。

水辺拠点のうち代表点と誤判別された1地点は、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、公共交通機関及び車の利便性は低く、他の水辺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よう。また、代表点のうち水辺拠点と誤判別された1地点は、景観・自然環境及び生活環境の観点から、新たな水辺拠点候補となりうる可能性が考えられる。

2) 評価指標 (案)

判別モデルに対する説明変数の寄与度を、Mean Decrease Gini (ジニ係数の減少度。値の大きい変数ほど寄与度が高い) を用いて評価する。評価軸群【2】に関して、判別への寄与度が大きかった指標は、「橋からの距離」、「史跡・文化財」、「特徴的な鳥類生息場」、「BOD75%値」等であった。このうち、「特徴的な鳥類生息場」は、水辺拠点

【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 (有無) ・地域に親しまれている樹木・良好な景観の形成に寄与している樹木 (有無) ・橋からの距離 ・自然公園の面積 b) 歴史的な街並みや構造物等 ・治水・利水の歴史的施設 (有無) ・史跡・文化財 (個数)	c) 自然環境が良好な場所 ・瀬淵・干潟・湛水区間・感潮区間等河道特性 (有無・面積) ・特徴的な鳥類生息場 (有無) ・重要種 (有無) ・アユ産卵場 (有無) ・湧水地・水源地 (有無) ・BOD75%値
---	--

【3】 ①背後地の利用可能性 【3】 ②川と地域の関わり

d) 都市中心部に近い ・人口総数・密度 ・DID地区・市街化区域面積 ・土地利用種別面積 e) 不特定多数の人が集まる場所 ・公共施設 (役場・病院・公民館・図書館等) からの距離 f) 利便性・利用性が高い場所 ・周辺道路からのアクセス性 ・バス停・鉄道駅・ICからの距離 ・学校・都市公園からの距離 ・隣接道路の交通量	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 (有無) ・利用者数 (河川利用実態調査時) h) 観光の拠点となる場所 ・観光施設からの距離 ・観光ルート (有無)
--	---

図2-5 景観・自然環境及び生活環境に係る評価指標候補



図2-6 水辺拠点・代表点の位置及び徒歩10分圏

を含む圏域には該当せず、代表点でのみ該当した。すなわち、鳥類の生息場と水辺拠点は競合しないという結果であった。

評価軸群【3】のうち、①背後地の利用可能性に関しては、「人口密度」、「水田面積」、「公共施設からの距離」、「バス停からの距離」、「学校からの距離」等であった。「人口密度」以外の項目は、値の増加に呼応して水辺拠点が該当する確率が減少した。②川と地域の関わりでは、「観光施設からの距離」、「利用者数」、「河川利用施設」等であった。「観光施設からの距離」は、値の増加に呼応して水辺拠点の確率が減少した。一河川のケーススタディの結果ではあるものの、上記の項目は評価指標とできる可能性が高い。

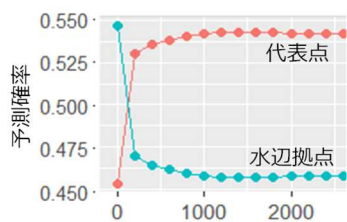


図2-7 部分従属プロットの例（橋からの距離）

3) 評価指標のしきい値

水辺拠点と代表点を判別する指標のしきい値については、各説明変数の部分従属プロットを用いて把握した。このグラフは、他の説明変数の作用を平均化してその影響を除去することで、判別に対する当該変数の効果を可視化したものである。図2-7に一例を示す。説明変数の値の変化に対し、水辺拠点と代表点の予測確率がどのように変化するかを表している。図2-7は、変数の値が増加するほど水辺拠点の確率が減少することを示しており、水辺拠点と代表点の予測確率が逆転する辺りが水辺拠点と代表点の判別のしきい値となっていることがうかがえる。「橋からの距離」は200m付近にしきい値があった。人の動作を視認できる距離は約135mと言われており¹⁷⁾、日常生活の中で川と接する可能性が高い橋（川をまたぐ橋）から、人の動作が見えるか否かというのは、水辺拠点の利用可能性の目安になると思われる。また「学校からの距離」では、700m付近にしきい値があった。大きな負荷もなく歩いて行ける距離は約500mと言われており¹⁸⁾、学校への通学圏内に住む子供達が利用しやすい距離であるとの解釈が可能である。なお、これらの値は一河川で得られた結果であり、しきい値の設定については今後他河川での適用性を見る等さらなる検討が必要と考えている。

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」、「地域の生活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」、「地域の生活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

て一河川を対象にケーススタディを行った結果、現況の水辺拠点を判別する良好なモデルが得られた。判別への寄与度が高かった評価指標は、「橋からの距離」、「史跡・文化財」、「特徴的な鳥類生息場」、「BOD75%値」、「人口密度」、「水田面積」、「公共施設からの距離」、「バス停からの距離」、「学校からの距離」等であった。これらの項目は評価指標とできる可能性が高い。

評価指標及びそのしきい値の検討は、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、評価指標の適用性を検討する。また、水辺拠点の抽出手順について検討する。令和2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が、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^{19), 20)}。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 m³/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²¹⁾。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²²⁾。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²¹⁾。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オ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流出したのち、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、

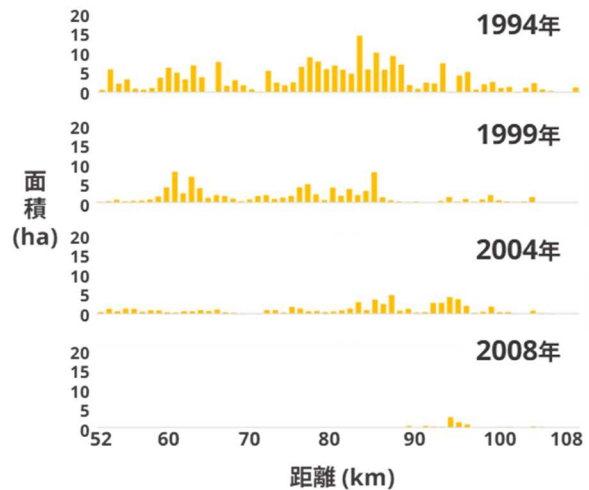


図3-1 千曲川(KP52-108km)におけるヨシ群落の変遷

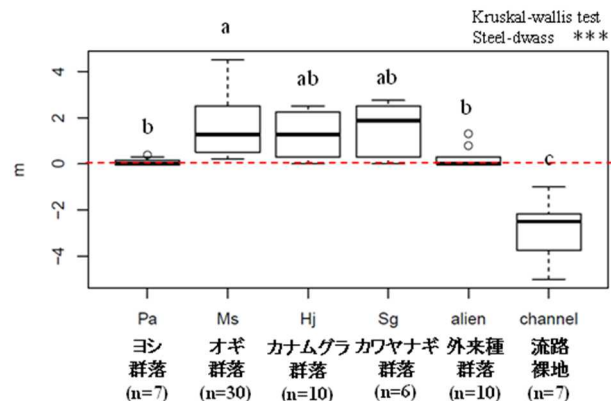


図3-2 植生遷移後の地形変化 (ヨシ群落からの遷移、1994年→2008年)

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、もともと高い坡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²³⁾。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²⁴⁾。ヨシ群落がハリエン

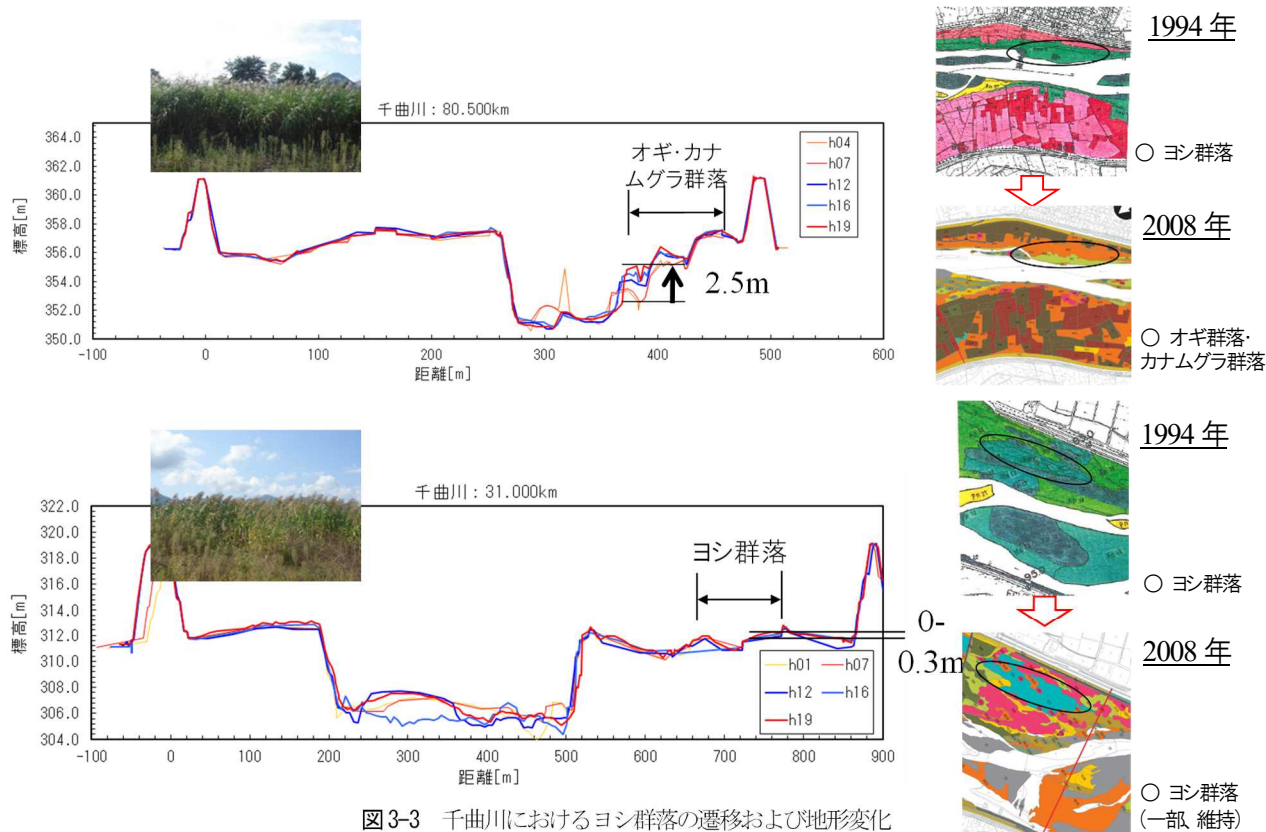


図3-3 千曲川におけるヨシ群落の遷移および地形変化

(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)

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²⁴⁾。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、地形変化は起こっておらず、現在、ヨシ群落がみられる箇所のうち、地形変化が起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先地区の抽出(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²⁵⁾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

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)。

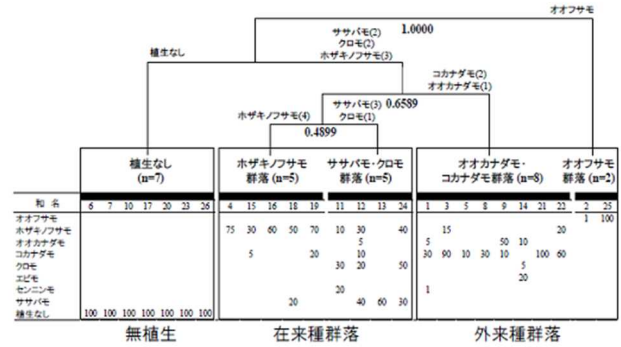


図3-4 TWINSPANによる沈水植物群落の区分 (デンドログラム中の数字は固有値、種名は指標種を示す)

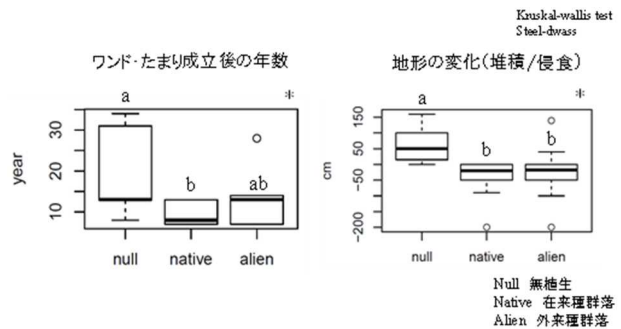


図3-5 植生タイプ間の環境条件の比較 (有意な項目のみ表示)

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)。定期横断測量の結果から、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5~12cm²⁶⁾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0.12-0.2cm²⁷⁾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

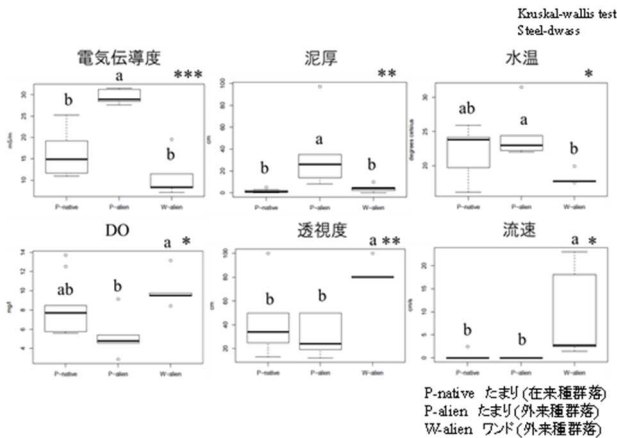


図3-6 ワンドとたまりにおける環境条件の比較
(ワンドには外来種群落のみが成立)

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²⁸⁾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²⁹⁾が起こっていると考えられる。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²⁰⁾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。

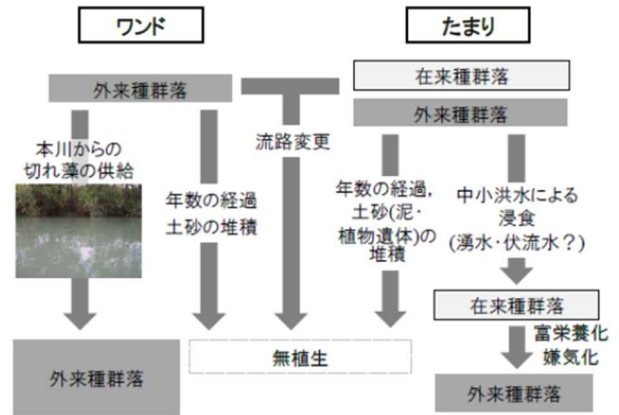


図3-7 揖斐川の氾濫原水域における沈水植物群落の変遷(模式図)



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

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³⁰⁾、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たどっている。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、出現する鳥類との関係性を明らかにするため、解析した。

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^{31, 32)}。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^{33)~37)}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。

その結果、51種の水禽類、95種の渉禽類、49種の水辺の陸鳥がそれぞれ抽出された。



図 4-1 河川性鳥類の選定手順とその分類群

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³⁸⁾、渉禽類については、九州や四国に干潟が多いことを反映していると推察される³⁹⁾。

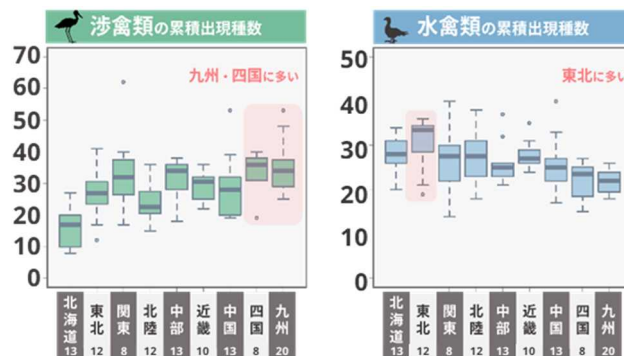


図 4-2 全国の一級水系における渉禽類と水禽類の地域別出現傾向（各地域下の数字は対象水系数を示す）

4.3 各地域の河川における渉禽類の生息タイプ別出現状況

渉禽類は、雑食性や動物食性を示すことが知られており、湿地や干潟、浅瀬で魚類や両生類、爬虫類、甲殻類、昆虫類、貝類、環形動物類など、様々な動物群を採餌する³⁷⁾。

また、渉禽類には、大陸間を季節的に移動する種が多い。このように渉禽類には頂点捕食者かつ高い移動能力を有している種が多いため、湿地生態系や河川生態系の指標となりやすい⁴⁰⁾。そのため、水国で出現した渉禽類の生息地タイプについて、①主に河川や、湖沼、水田などの内陸淡水域を利用する種、②主に河口や干潟を利用する種、そして③内陸淡水域と河口・干潟のどちらも利用する種に分類し、地域ごとの出現状況を調べた。

1~4巡目の全国（109水系）の水国調査において出現した、対象となる渉禽類は11科81種であった。最多はシギ科の37種であり、それに続いてサギ科15種、チドリ科11種、クイナ科7種となった。内陸淡水域利用種には、北海道以外の地域では大きな差がみられない一方で、河口・干潟利用種や両方の水域を利用する種は、関東や東海、四国、九州といった地域に多かった。これらの地域は、東アジア・オーストラリア地域フライウェイの中で重要拠点となる干潟を多く含む地域となっている³⁹⁾。また、内陸淡水域利用種については、各地域内でもばらつきが小さく、河川が内陸淡水域利用種にとって、重要な生息環境となっている、つまり内陸淡水域を利用する渉禽類の多くが、どの地域でも記録されていることがわかる（図4-3）。

4.4 渉禽類の近年の河川域における出現傾向の把握

水国において、2巡目調査から4巡目調査まで同じ調査期間で継続的に鳥類調査が実施されていた57水系分のデータを抽出し、各渉禽類の近年の出現傾向を精査した。なお、先述の通り、水国の鳥類調査は4巡目以降大きく変更されているため、本解析では、渉禽類の在不在データのみを扱った。57水系のうち、便宜的に10水系以上で出現

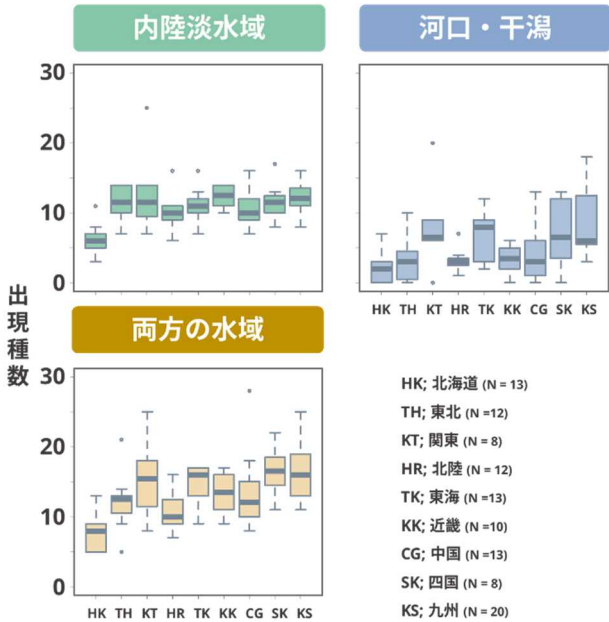


図4-3 生息地タイプごとにみた渉禽類の各地域における出現状況

した渉禽類を対象に、①安定、②減少傾向、③増加傾向といった出現傾向のパターン化を試みた。各渉禽類について、①～③の各パターンが全出現水系数に占める割合をそれぞれ、安定率、減少率、増加率として算出した(図4-4)。

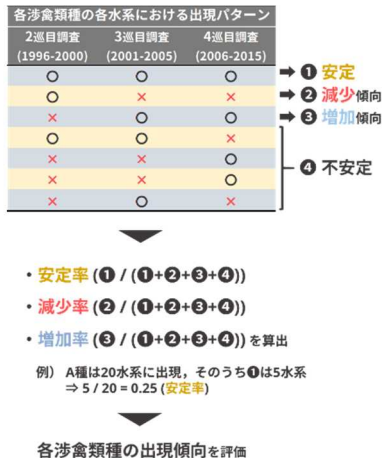


図4-4 各渉禽類の出現パターンの類型化と各割合の求め方

57水系のうち、44種の渉禽類が10水系以上で記録されていた。しかしながら、そのうちの10種(23%)については、減少率が0.20以上であった。これらの種には、内陸淡水域を利用し、湿生草地で国内繁殖する種が含まれていた。今回扱ったデータからは、各種の繁殖状況まで分からなかったが、全国的に河川域で湿地環境が減少している可能性がある。また、これらの渉禽類の多くが、希少種に指定されており⁴¹⁾⁴³⁾、河川域においても、その危惧的な状況が示唆される(表4-1)。

表4-1 減少率が0.20以上(20%以上)の渉禽類の一覧

IUCN⁴¹⁾・環境省⁴²⁾:各レッドリストで準絶滅危惧以上に指定の種、国際希少⁴³⁾:国際希少野生動物種に指定の種。

渉禽類種	出現水系数	安定率	減少率	増加率	生息地	国内での繁殖場所	希少種指定		
							IUCN	環境省	国際希少
クイナ	25	0.08	0.40	0.16	内陸淡水	湿生草地			
オグロシギ	14	0.07	0.36	0.00	両方	—	○		
ミヤコドリ	10	0.10	0.30	0.00	河口干潟	—	○		
タマシギ	14	0.00	0.29	0.07	内陸淡水	湿生草地		○	
クロサギ	14	0.00	0.29	0.00	河口干潟	樹上・岩壁			
ムナグロ	30	0.10	0.27	0.07	両方	—			
ヨシゴイ	20	0.15	0.25	0.10	内陸淡水	湿生草地		○	
タカブシギ	18	0.00	0.22	0.11	両方	—		○	
キョウジョシギ	25	0.04	0.20	0.12	河口干潟	—			
メダイチドリ	35	0.17	0.20	0.09	両方	—			○

4.5 利根川水系における堤内外地の環境を踏まえた渉禽類の保全優先地区抽出方法の検討

河川域における鳥類の保全優先地区を検討するには、その行動範囲などを踏まえると、河川内だけでなく、堤内地の環境も合わせて検討する必要がある。ここでは、国内有数の渉禽類の生息環境である利根川水系における検討例を報告する。今回、対象河川として、利根川水系利根川下流、江戸川、小貝川、鬼怒川、渡良瀬川とした。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(1kmピッチで河川側の半径200m範囲内にある鳥類データ)から、各地点の対象種の存在を抽出した。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。これら5河川において解析可能だったスポットは計611地点となった。出現した渉禽類は42種であった。

各地点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、第6回・第7回自然環境保全基礎調査植生調査で整備された1/25,000植生図のGISデータを用いた⁴⁴⁾。各調査地点を中心に半径200m、500m、1km、5kmのバッファを発生させ、その中に含まれる植生および物理環境を抽出した。これらを14の環境要因(森林、河畔林、湿生草地、乾生草地、水田、畑地、開放水域、自然裸地、造成地、市街地、緑の多い住宅地、工場、人工草地、果樹園)に分類した。10地点以上で記録された24種の渉禽類について、調査地点ごとの在・不在を目的変数、14の環境要因の面積を説明変数に設定し、ランダムフォレスト法により解析した。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度が算出されるため、どの環境要因がイカルチドリの存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⁴⁵⁾⁴⁶⁾。ランダムフォレスト法については、対象によって500-2,000本のCART樹木を構成し、解析した。相対変数重要度により、各渉禽類の存在と関係性の強い要因に着目し、変数従属度を図示した。これら

の解析には、R version 3.4.3 の randomForest パッケージを用いた。

4.6 利根川水系での渉禽類にとって重要な環境

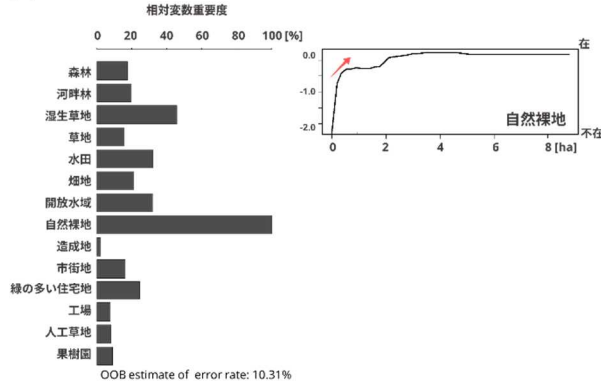
鳥類を解析する際には、その行動圏を種ごとに考慮する必要があるが、ここでは、半径 200 m バッファ (約 12.6 ha) の結果に着目する。

24 種の渉禽類のうち、10 種で開放水域の面積が、7 種で水田面積が最も重要な変数として選択された。開放水域の 1 例を除き、これらの面積は各渉禽類の出現に対して正の方向に作用していた。このことから、渉禽類の河川における生息には、堤内地の水田も寄与していることが伺える。

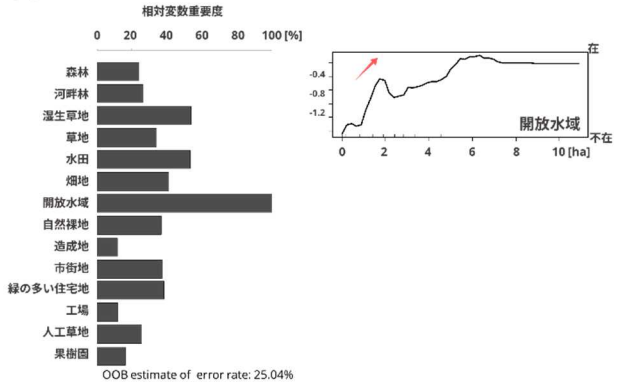
砂礫地を繁殖場所とするイカルチドリでは、相対変数重要度が顕著に高い要因は自然裸地の面積だった (図 4-5a)。自然裸地面積が増加するにつれて、変数従属性が正の方向に増加しており、特に 0.5-1.0 [ha] 程度の面積になると、変数従属性が急激に上昇し、その後、頭打ちとなった。つまり、堤内地を含めてもイカルチドリの出現には、河道内の砂礫地の存在が最も重要であり、利根川水系の対象河川では、約 12.6 ha の面積内にこれらの閾値以上の砂礫地がある地点で、イカルチドリが出現する可能性が高いことを示している。

イカルチドリと同様の砂礫地や河川敷の低草地に営巢

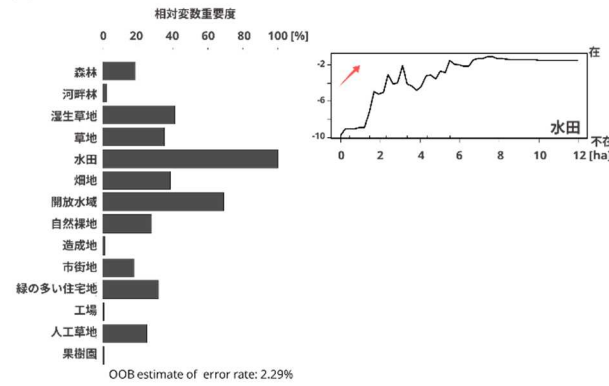
(a) イカルチドリ



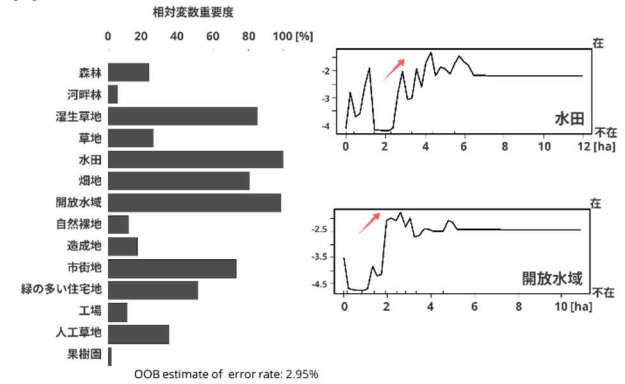
(b) イソシギ



(c) クイナ



(d) ムナグロ



(e) タゲリ

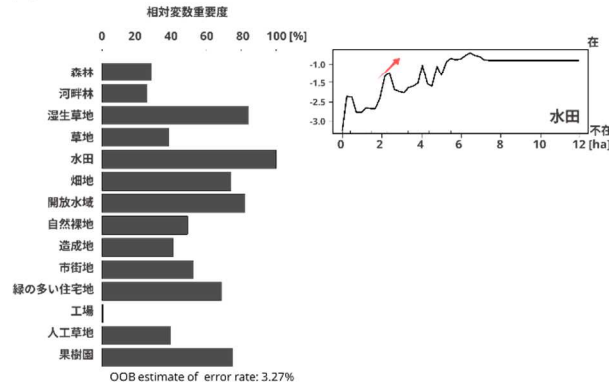


図 4-5 利根川水系における (a) イカルチドリ、(b) イソシギ、(c) クイナ、(d) ムナグロ、(e) タゲリの出現と各環境要因とのランダムフォレスト解析の結果。棒グラフが相対変数重要度を、折れ線グラフが相対変数重要度の最も高かった変数の従属性の推移を示す。

するイソシギでは、相対変数重要度が顕著に高い要因は開放水域の面積だった（図 4-5b）。開放水域面積が増加するにつれて、変数従属度が正の方向に増加しており、特に 6.0 ha 程度の面積になると、頭打ちとなった。本解析での開放水域面積は、大半のスポットにおいて河川で占められている。つまり、堤内地を含めても、イソシギの出現には、河川の存在が最も重要であり、利根川水系の対象河川では、約 12.6 ha の面積内にこれらの閾値以上の開放水域面積がある地点で、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。今回の解析では、開放水域の深さや陸域から水域への移行帯を指標化していないが、水際を利用する本種の生態特性から考えると、開放水域かつ、浅い水際であることが重要だと考えられる。

内陸淡水域を主に利用するクイナでは、相対変数重要度が高いのは、水田面積であった（図 4-5c）。水田面積が増加するにつれて、変数従属度が正の方向に増加しており、特に 8 ha 程度の面積になると、変数従属度が安定した。つまり、クイナの出現には、堤内地水田の存在が最も重要であり、利根川水系の対象河川では、約 12.6 ha の中に、これらの域値以上の水田がある地点で、クイナが出現する可能性が高いことを示している。

内陸淡水域と河口・干潟を利用し、旅鳥であるムナグロでは、水田面積や開放水域面積の相対変数重要度が非常に高かった（図 4-5d）。水田面積の変数従属度は 1 ha 程度にまで、急激に増加し、その後、2 ha 程度にかけて急激に低下した。その後、再び変数従属度が増加し、約 4 ha で頭打ちとなった（図 4-5d）。開放水域面積の変数従属度は、急激に増加し、2 ha 程度で頭打ちとなった。ムナグロは河口・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⁴⁷⁾、これらの要因が重要な変数として選択されたものと考えられる。

内陸淡水域を利用し、日本には主に越冬のために飛来するタゲリでは、水田面積の相対変数重要度が最も高かった（図 4-5e）。水田面積の変数従属度は 2 ha 程度まで増加し、その後、頭打ちとなった（図 4-5e）。タゲリは開けて見通しのよい湿地を好むとされている³⁴⁾。タゲリの出現には、堤内地水田の存在が最も重要であり、利根川水系の対象河川では、河川周辺の約 12.6 ha の中に、これらの域値以上の水田がある地点で、クイナが出現する可能性が高いことを示している。

4.7 堤内地環境も踏まえた河川における渉禽類の保全優先地区の考え方

イカルチドリ、イソシギ、クイナ、ムナグロ、タゲリの解析結果のように、各鳥類の生態的特性によって、堤内外

地に必要な環境やその面積は異なるため、種によって堤内地を含めた横断的な視点で保全優先地区を検討・配置していく必要がある。表 4-2 はチドリ科の 8 種について、堤内地の利用状況から、パターン分けしたものである。例えば、コチドリやイカルチドリは河川砂礫地の他に、堤内の造成地などにも営巣することがあるものの、こうした環境は改変される可能性が著しく高い。そのため、「堤外・繁殖」パターンに分類し、河川域で重点的に砂礫地を確保していく必要がある。一方で、ケリなどの主に水田で営巣する「堤内繁殖」パターンは、河川域で営巣環境を積極的に保全していくよりは、堤内地に重点を置いた環境整備により、保全を進めていく必要がある。

表 4-2 河川域に出現したチドリ科 8 種の堤内地の利用環境とそのパターン。F：主に採餌・休息、B：繁殖・採餌・休息。引用文献 34、37 を参考に作成。

鳥類種	渡り性	堤内地の利用環境				堤内外の利用パターン
		水田	畑地	湖沼等	造成地	
コチドリ	留鳥・夏鳥	F			B	堤外・繁殖
イカルチドリ	留鳥	F		F	B	堤外・繁殖
シロチドリ	留鳥・夏鳥	F		F		堤外・繁殖
メダイチドリ	旅鳥	F		F		堤内外・採餌
ムナグロ	旅鳥	F	F	F		堤内外・採餌
ダイゼン	旅鳥					堤外・採餌
ケリ	留鳥	B	F			堤内・繁殖
タゲリ	冬鳥	F	F			堤内外・採餌

また、メダイチドリやムナグロ、タゲリのような、旅鳥や冬鳥の「堤内外採餌」パターンには、採餌場所となる湿地環境の確保が重要となる。図 4-6 は主にセグメント 2 区間（自然堤防帯）での湿地確保の考え方をまとめたものである。堤内地にも水田やため池などの湿地があり、河川域にも湿地がある場合は、堤内・堤外を合わせて必要な湿地面積を確保することとなる（パターン①）。例えば利根川下流域のように、河川周辺にハス田や湿地が存在する河川では、周年、採餌可能な湿地が堤内地にも確保される。しかしながら、こうした堤内地の水田環境では、急速に開発や耕作放棄等による土地改変が進められる可能性があるため、その動向を注視しつつ、現存する堤外の湿地を保全していくべきである。またハス田等が存在せず、乾田化の進む水田地帯では、基本的に水稻の作付期以外、水田を利用することができない。その場合、季節的に河道内湿地の重要性が増してくる（パターン②）。さらに、堤内地に水田などの湿地が存在しない場合、河道内の湿地が特に重要となり（パターン③）、堤内・堤外どちらにも湿地が存在しない場合は（パターン④）、河道内でより多くのコストをかけて自然再生や維持管理を含めた湿地環境の整備を図

る必要があるだろう。



図4-6 堤外地（河川域）と堤内地の状況を踏まえた湿地面積確保の考え方。セグメント2（自然堤防帯）を想定。

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、利根川水系を対象とした渉禽類24種の分布と堤内外地を含めた周辺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。
- 15) 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。
- 16) 国土交通省河川環境課：「川の通信簿」実施マニュアル（案）、2003。
- 17) 篠原修編：景観用語辞典、彰国社、1998。
- 18) 星野裕司：空間のスケール、風景のとらえ方・つくり方九州実践編、共立出版、2008。
- 19) 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。
- 20) 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。
- 21) 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。
- 22) 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。
- 23) 小幡智子、石井潤、角谷拓、鷺谷いづみ：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。
- 24) 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。

- 25) 角野康郎：日本水草図鑑、文一総合出版、東京、1994.
- 26) 原田守啓、永山滋也、大石哲也、萱場祐一：揖斐川高水敷掘削後の微地形形成過程、水工学論文集 59、pp.1171-1176、2015.
- 27) 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.
- 28) 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.
- 29) Ponnampetuma F.N.: The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy* 24、pp.29-96、1972.
- 30) 村上正志：鳥類、「河川生態学」（中村太士編）、pp.150-154、サイエンティフィック、東京、2013.
- 31) 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.
- 32) 中村登流：野鳥の図鑑—水の鳥①、保育社、大阪、1986.
- 33) 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.
- 34) 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.
- 35) 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.
- 36) 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.
- 37) 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.
- 38) 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.
- 39) JR Conklin, YI Verkuil, BR Smith: Prioritizing migratory shorebirds for conservation action on the East Asian-Australasian Flyway, WWF-Hong Kong, Hong Kong, 2014.
- 40) Kushlan, J. A.: Responses of wading birds to seasonally fluctuating water levels: strategies and their limits, *Colonial Waterbirds*, Vol. 9, No. 2, pp. 155-162, 1986
- 41) IUCN 2020. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2020-1. <http://www.iucnredlist.org>. (閲覧日：2020.6.5)
- 42) 環境省【鳥類】レッドリスト 2020. <https://www.env.go.jp/press/files/jp/113667.pdf> (閲覧日：2020.6.5)
- 43) 環境省 国際希少野生動植物種一覧. https://www.env.go.jp/nature/kisho/global/beppy02_hyo1.pdf (閲覧日：2020.6.5)
- 44) 環境省自然環境局生物多様性センター自然環境 Web-GIS. 第 6 回・第 7 回自然環境保全基礎調査植生調査. <http://gis.biodic.go.jp/webgis/sc-006.html> (閲覧日：2020.6.5)
- 45) 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.
- 46) 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.
- 47) 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、溝口裕太

【要旨】

令和元年度は、平成 30 年度までに開発してきた PCC 動態モデルを急流河川に適用するために、植生遷移の判別関数の改良を行い、手取川を対象に再現計算を実施した。その結果、従来モデルでは河畔林を過大に推定していたが、改良モデルでは、攪乱系草地とススキ系草地の混在を表現することができた。

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（2016 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。

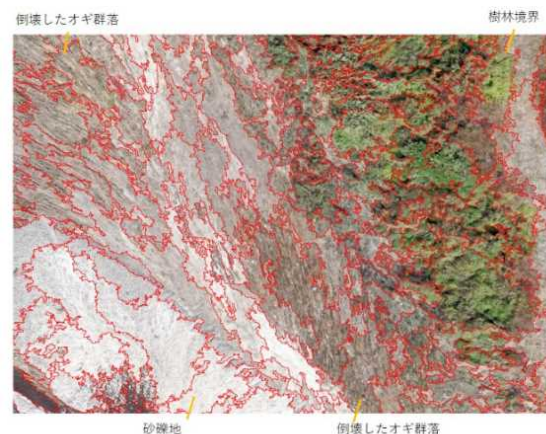


図-1 平成 29 年度における UAV・AI を用いた植生図の自動作成結果

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。さらには、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。

令和元年度は、平成 30 年度までに開発してきた PCC 動態モデルを急流河川に適用することで、当該モデルの汎用性の向上を図った。様々な検討により、妥当性が高いと判断された植生遷移の判別関数の改良を行い、手取川を対象に再現計算を実施した。その結果、従来モデルでは河畔林を過大に推定していたが、改良モデルでは、攪乱系草地とススキ系草地の混在を表現することができた。本報告書では、梯川の概要、PCC 植生動態モデルの後、令和元年度の成果である手取川の概要、PCC 植生動態モデルの改良に関する成果を示し、最後に、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-2)。

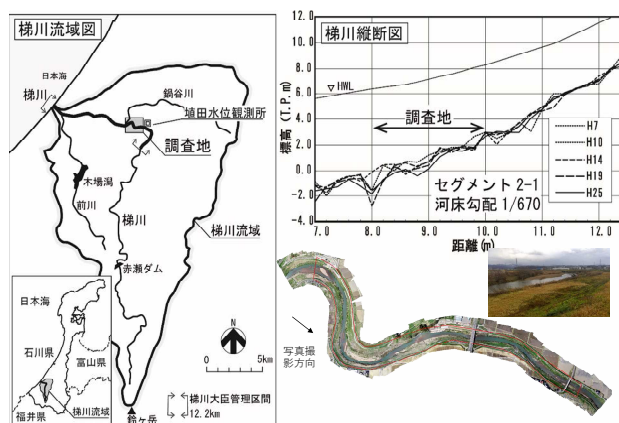


図-2 梯川の概要

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。

しかし、平水は約 15 トンであるため、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、2019 年 (H31 年) 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、この評価関数は、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。

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

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_t : 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。

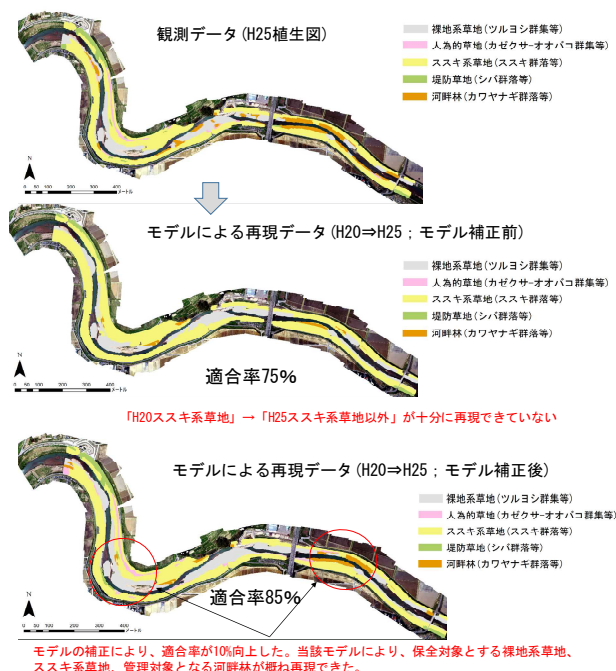


図-3 PCC 遷移二段階評価手法の有効性の検証

4. 手取川の概要

手取川は、その源を白山 (標高 2,702m) に発し、

尾添川、大日川などの支川を合流しながら白山市鶴来
 大国町付近に至り、これより山間部を離れ石川県の誇

る穀倉地帯である加賀平野を西流し、白山市湊町付近
 にて日本海に注ぐ、幹川流路延長 72km、流域面積

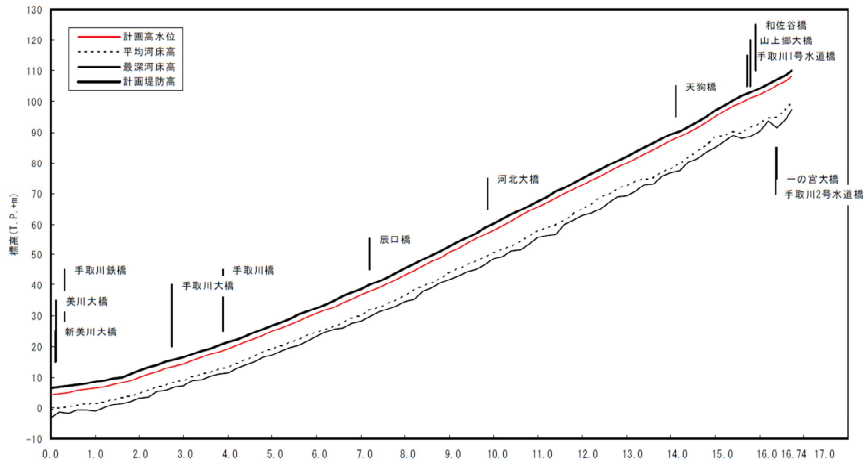


図-4 手取川の縦断面

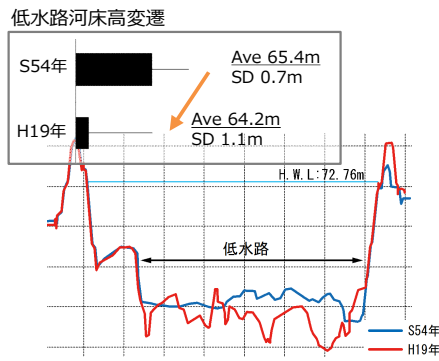


図-5 低水路河床高の経年変化

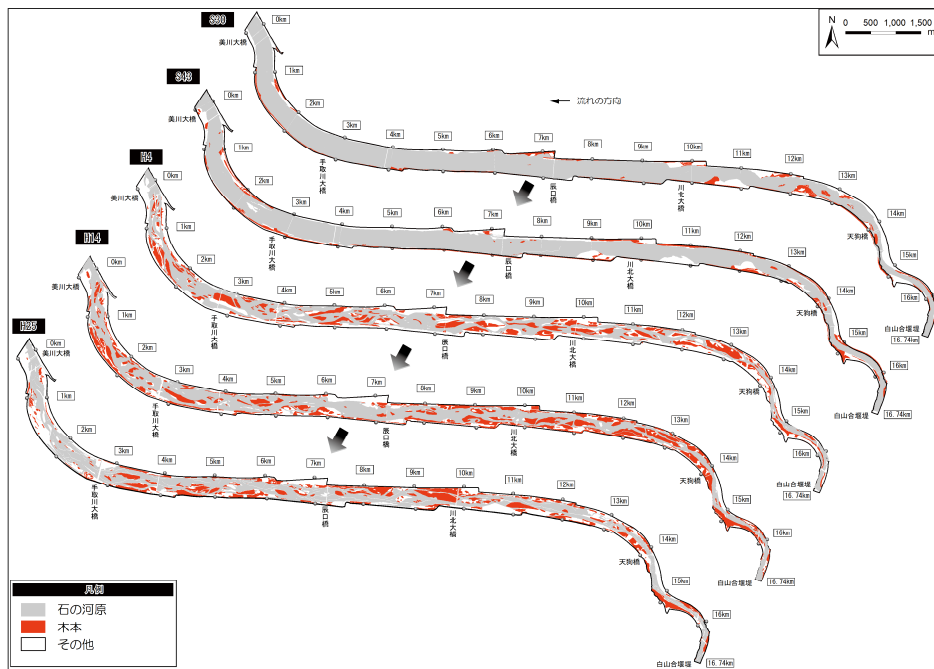


図-6 直轄区間における樹木の繁茂域の変遷

809km²の1級河川である。急流河川である手取川の河床勾配は、緩やかになる河口付近でも1/353程度である(図-4)。したがって、洪水時のエネルギーは大きく、河床材料の移動にともない滞筋は動きやすいため、護岸の基礎や、河川敷が浸食作用を受けやすい。

手取川の直轄区間では、河床低下が進んでいる。図-5に示すように、例示する断面では、1979年(S54)と2007年(H19)の低水路河床高を比較すると65.4mから64.2mに低下している。この要因としては、1979年までに竣工している手取川上流のダム群と、近年では禁止されている砂利採取などがある。

また、図-6に示すように、近年においては、河道に占める樹木の繁茂域の割合が大きい。対象年は、1955年(S30)、1968年(S43)、1992年(H4)、2002年(H14)、2013年(H25)であり、これら5カ年分の航空写真を判読することで図を作成している。ここからわかるように、1968年までは砂礫河原が広がっており、樹木の繁茂域は限定的であったが、1992年には急激に樹林化が進行し、それ以降についても広い繁茂域を保っている。

5. 手取川におけるPCC動態モデルの適用

平成30年度までに開発したPCC動態モデルは、流路の固定化が進んだ河川の比較的攪乱作用を受けにくい高水敷を想定し、開発と検証を進めてきた。梯川をはじめ、いくつかの河川に適用し、PCC動態モデルの再現性の高さを確認することができた。

令和元年度は、これまで開発を進めたPCC動態モデルを手取川に適用することとした。そもそも、対象とした手取川は、これまでの対象河川と比べて河床勾配が大きく、河床材料の移動も活発であることから、水際部が洪水攪乱を受けやすい特徴を持つ。そこで、急流河川にも適用可能なPCC動態モデルに発展させるために、植生遷移の判別関数の改良を中心に、モデルの汎用性の向上を図った。具体的には、水際近傍の攪乱卓越域と、それ以外の履歴効果卓越域にわけて判別関数を用いることとした。すなわち、攪乱卓越域では、洪水攪乱によって水際が変化し手取川の特徴に鑑みて、植生遷移の初期に裸地面へと侵入する攪乱系草が、攪乱作用により破壊されるプロセスを導入した。その一方で、履歴効果卓越域では、従来の判別関数と同様に、植生立地の支配要因(比高、水際からの距離、掃流力)から遷移確率を評価することに加えて、早期に侵入した植生の優位性を評価するために植生立

地における履歴効果を試験的に導入した。これは、ある植物にとっての好適な生育環境が、洪水攪乱などによって不適となったとしても、植生遷移が生じるまでにはタイムラグがあるという前提に基づくものである。この傾向は、植生遷移に関するネットワーク分析によって明らかになっているので、さらなる検討を踏まえることで、信頼性の高い判別関数の構築につながると考えている。

その結果を図-7に示す。ここでは、上段に従来モデル、下段に改良モデルによる再現計算の結果を示す。なお、植物群落の分類については、従前の方法にしたがって、クラスタ分析により類型化を行い、河畔林、攪乱系草地、ススキ系草地に分類した。従来モデルでは、水際部の攪乱作用が植生に与える影響を考慮できていなかったため、大部分が河畔林に遷移する結果となった。他方、改良モデルでは、水際部に主として繁茂する攪乱系草が、洪水時の攪乱作用によって破壊されるプロセスを導入したことから、攪乱系草地、ススキ系草地の混在を表現することができた。

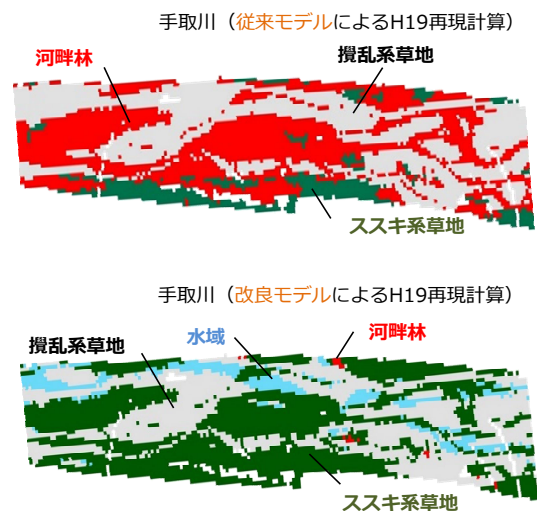


図-7 手取川における植生動態モデルの適用

6. 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

6.1 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

H29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、H29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 H30 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。

6.2 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。

6.3 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-8 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。

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。

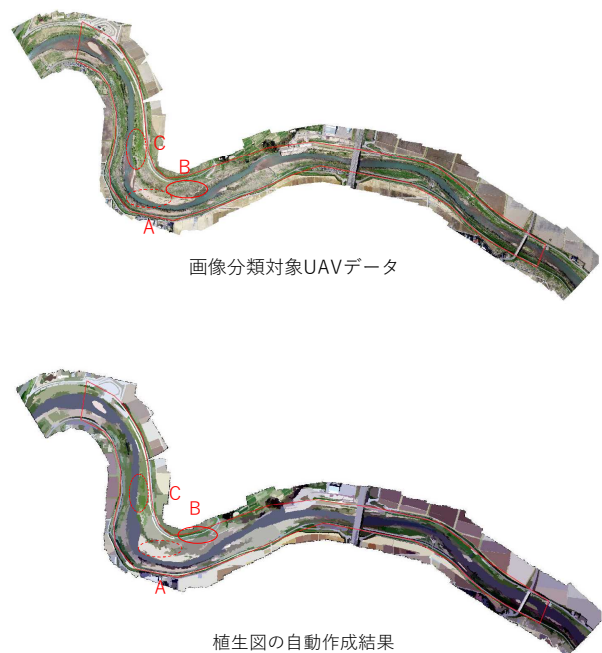


図-8 ISODATA 法画像分類結果の検証

参考文献

- 1) 田屋祐樹・槇島みどり・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、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。令和元年度(2019年度)は、平成30年度(2018年度)に小規模掘削路造成によりサケの産卵環境改善を行った試験地における追跡調査箇所も含め、より大きな範囲で、様々なエリアにおける自然産卵箇所におけるサケ卵の発眼期の生卵率を明らかにした結果について報告する。

キーワード：サケ、豊平川、産卵床、副流路、生卵率、間隙水

1. はじめに

豊平川のサケ (*Oncorhynchus keta*) は水質汚濁の影響などにより 1950 年代に一旦絶滅したと考えられるが、水質の改善や人工孵化放流活動などにより、今では毎年 1,000 尾を超えるサケが遡上するまでに回復した¹⁾。遡上したサケの自然産卵も多く、遡上するサケの約 6 割から 7 割が野生魚と見られている²⁾。近年、種の遺伝的多様性の確保やサケ資源量増加のため野生サケの存在意義が見直されてきている^{2, 3)}。そのため、野生個体群の維持増大のため、産卵環境に配慮した河川整備の必要性が指摘されている。また、豊平川においてはサケの自然産卵場所の保全・再生の取組を行う団体⁴⁾が出来るなど、保全活動が活発である。

札幌市豊平川さけ科学館で行っている豊平川のサケ産卵床箇所調査によると、産卵床は主流路だけではなく、中州の形成により河岸際に生じた副流路にも多数産卵していることが明らかになっている¹⁾。一方、一旦形成された副流路は河床変動により閉塞して、サケの産卵がみられなくなったところもある。そのため、サケの産卵可能エリアの増大を図るため、閉塞した副流路の上流部に導水路を掘削するなど再生の取組も開始されている⁵⁾。

河床材料と浸透流、生残率の関係として、Yamada and Nakamura⁶⁾ はサクラマス⁶⁾の発眼卵を用いた人工産卵床実験により、河床材料に細粒分が多いと浸透流が減少し、生残率が低下することを述べている。Greig ら⁷⁾ は産卵室内の溶存酸素量と浸透流量の積から算出される溶存酸素フラックスが卵の生存に重要であると述べている。有賀ら²⁾ が豊平川における自然産卵による卵から稚魚までの生残率を 7.5 %~22.2 %、平均 12.6 %と推定している。野生サケの再生産数を

増加するためには、産卵可能域を造成するだけでなく、生残率が高い範囲の産卵を誘導したり、生残率が高い範囲の保全や再生を行うことも有効であると考えられる。そのための基礎的な情報として、産卵環境の違いによるサケ卵の生残率の違いとその要因を分析することは重要である。

本研究では産卵床における発眼期までの生残率(以下、生卵率という)と産卵環境との関係について明らかにした。

2. 方法

調査河川は、札幌市内を流れる豊平川とした。調査区間は、豊平川の河道区間の中でもサケの産卵が多く見られる石狩川本川合流点から上流約 10.6 km から 16.6 km 地点の間の約 6 km の区間とした(図-1)。調査区間下流端は豊平川扇状地の扇端付近に位置し、区間の平均河床勾配は 1/420 程度である。

現地調査は 2018 年度と 2019 年度の 2 カ年のサケ遡上期に行った。2018 年度は調査範囲の中でも特にサケ産卵床が多く確認される範囲で、主流路、副流路と大きく流路を区分した際の、流路区分毎の産卵適地比較評価のために、水深、流速と河床間隙水水質、水温及び河床表面粒径の概略調査を行った。調査を行った時期は水深、流速、河床表面粒径についてはサケ産卵期の 10 月中旬に、水質は 10 月中旬、12 月下旬、2 月下旬の 3 回である。水温は自記水温計により 10 月中旬から 3 月中旬まで計測した。

2019 年度の調査は調査範囲内で確認されたサケ産卵床 15 箇所について、産卵床毎に生卵率と水深、流速、河床間隙水水質、水温及び浸透流調査による動水勾配と透水係数の計測を行った。生卵率の調査は 10 月 30 日から 11 月 11 日までの調査により確認された

産卵床の物理環境が異なる地点の産卵床15床を選定して実施した。産卵床から卵を掘り起こし、生卵と死卵の数を計数し全数に占める生卵数の割合から生卵率を求めた。計数後の生卵は今後の浮上率調査のために元の河床に埋め戻しを行っている。水深、流速は産卵床を確認した11月上旬と11月下旬、及びサケ卵の生卵率を調査した12月中旬の3回計測した。水質は11月の下旬、動水勾配の計測は11月下旬と12月中旬に計測した。

流速の計測は60%水深で電磁流向流速計を使用して行った。河床の間隙水の水溫計測と水質分析はサケの平均的な産室深さである⁸⁾河床から約20cmの水をくみ上げて行った。



図-1 調査箇所図

くみ上げはじめの間隙水は分析に用いず、一定時間

くみ上げて濁りが収まった水を分析した。採水した水はデジタル温度計、ポータブル溶存酸素・pH計により、水温、溶存酸素（以下D0）、pHを直ちに現地で計測したほか、室内分析も行った。動水勾配はBaxterら⁸⁾が考案したピエゾメータを用いた浸透流調査方法により求めた。透水係数は落下透水試験を実施して求めた。ピエゾメータを用いた浸透流調査方法は図-2に示す装置により、河床面から約20cm深さと河床面との水頭差を計測して、鉛直方向の動水勾配を求めるものである。

透水係数は図-2右に示す器具により水管内の水面の低下速度を計測して求める。動水勾配 i は式(1)、透水係数 k は式(2)により求める⁸⁾。

$$i = \frac{dh}{dl} \quad (1)$$

$$k = \left[\frac{(0.2501) \left(\frac{d_{\text{piezometer}}}{dt} \right)}{dt} \right] \left[\log_e \frac{h_0}{h} \right] \quad (2)$$

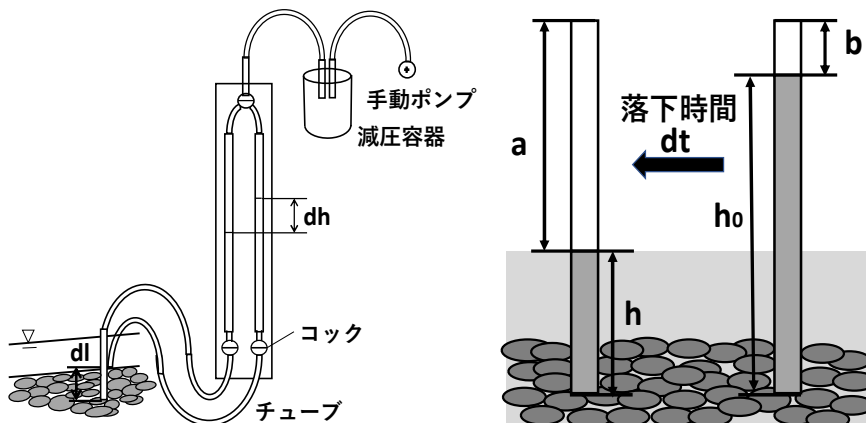
ここに、 $d_{\text{piezometer}}$ はピエゾメータの直径である。

サケ卵への溶存酸素の供給可能性を評価する指標としてGreigら⁷⁾が導入した溶存酸素フラックスは式(3)により算出した。

$$O_2(\text{flux}) = C_0 v a_{egg} \quad (3)$$

$$v = ki \quad (4)$$

ここに、 O_2 は溶存酸素フラックス(mg/h)、 C_0 は溶存酸素量(mg/l)、 v は河床近傍の伏流または湧出の



動水勾配計測用ピエゾメータ(左)と水頭落下試験(右)

図-2 計測模式図

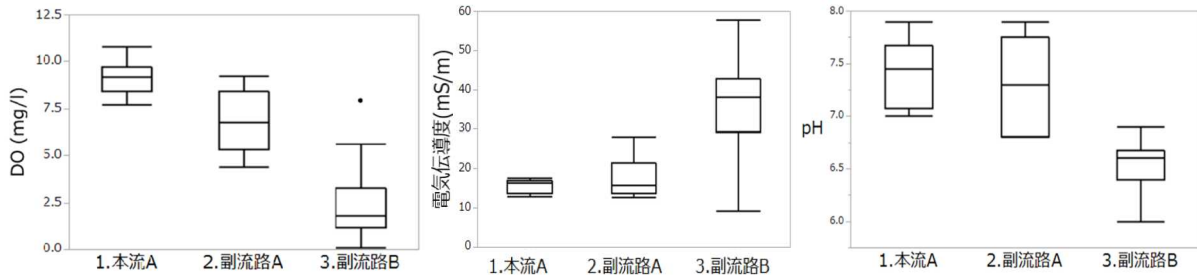


図-3 調査エリア毎の溶存酸素量

図-4 調査エリア毎の電気伝導度

図-5 調査エリア毎のpH

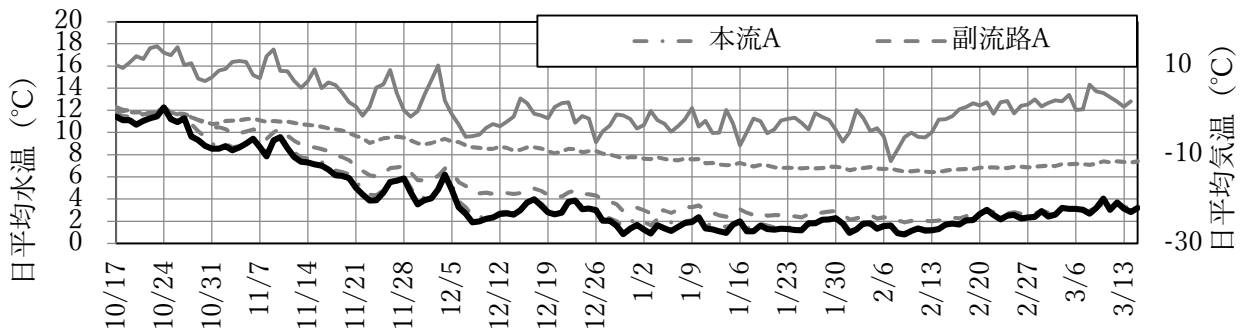


図-6 各調査エリア内の複数箇所計測した河床間隙水温の平均の日平均値と本川水温及び気温の日平均値

浸透流速、 a_{egg} はサケ卵の平均断面積である。ここではサケ卵の半径を4 mm とした。

3. 結果

3.1 2018 年度調査結果

図-3、4 および 5 に豊平川において例年サケが多数産卵する本川砂州前縁部エリア（本流 A）と、副流路エリアの 2 区間（副流路 A と副流路 B）で計測した水質の結果を示す。また、同じエリア内の複数地点において、河床から約 20 cm の深さの間隙水の水温と河川水温を連続計測した結果を図-6 に示す。図-6 には各エリア内の複数地点で計測した値の平均値を図示している。

本流 A の DO は副流路と比較して高く、電気伝導度（以下 EC）は低い。河床間隙水温の連続計測結果も河川水とほぼ同一の挙動を示している。そのため本流 A の河床の間隙水は本川から浸透した流水が多く占めていると思われる。

副流路 B は DO、pH がともに低く、EC は本流 A 副流路 A と比較して高い。特に DO は中央値で 1.83 mg/l と他の 2 エリアにくらべて著しく低い。河床間隙水温も河川水温及びその外の箇所と比較して 1 °C~4 °C 程度高く推移している。副流路 B は DO が低く水温が高いことから、地下水由来の湧水が多く占めていると思われる。

副流路 A には本川及び本流 A と比較すると、地点によっては本川水温と比較して 4 °C 以上高い水温を継続

して示し、かつ、DO が低く電気伝導度は高い箇所があり、河川水由来ではなく地下水由来の湧水の影響を受けたと思われる水温、水質を示す地点がある。

以上、2018 年度の調査により、豊平川でサケが多数産卵する区間内でも、場所により周辺の地下水の影響などで河床間隙水の水質・水温が大きく異なることが判明した。

3.2 2019 年度調査結果

2019 年度はサケが実際に産卵した産卵床の産室内の水質、水温、浸透流及び発眼期の生卵率を調査した。

表-1 に 12 月 17 日から 25 日にかけて、産卵床 15 箇所産卵率を調査した結果を示す。全 15 箇所の産卵床の生卵率調査時には、生卵は発眼していたが、卵が白濁した死卵も確認された。生卵、死卵それぞれの全数を計数して生卵率を求めた。その結果、1 産卵床当たりの総卵数は 81 個から 1002 個、平均で 601 個であった。これは、豊平川において小宮山ら⁹⁾が調査した結果の 1 産卵床当たり平均 507 個より約 100 個多く、佐野¹⁰⁾が北海道内の河川で調査した結果の平均 942 個より 341 個少ない結果であった。生卵率は最小で 9.3 %、最大で 88.3 %、平均では 55.4 % であり、同じく小宮山ら⁹⁾が調査した結果の平均 98.3 %、佐野¹⁰⁾が調査した結果の平均 92.3 % と比較すると 40 ポイント程度低い値であった。

表-2 サケ産卵床箇所の水深、流速及び産室内の水温、水質等計測結果

産卵床 No.	水深(cm)		流速(m/s)		産卵室内の水質(11月下旬)					産室内の水温(°C)		動水勾配		透水係数		溶存酸素flux (mg/h)
	11月下旬	12月中旬	11月下旬	12月中旬	pH	BOD (mg/l)	SS (mg/l)	電気伝導度 (mS/m)	DO (mg/l)	11月下旬	12月中旬	11月下旬	12月中旬	11月下旬	12月中旬	11月下旬
No.1	47	69	0.26	0.29	7.0	0.5	65	27.1	7.3	4.3	9.1	-0.017	0.005	0.036	0.041	0.013
No.2	66	77	0.16	0.32	6.7	0.7	65	42.6	3.5	7.2	8.6	0.018	0.071	0.123	0.064	0.013
No.3	55	62	0.45	0.40	7.0	0.8	11	24.4	10.6	4.7	2.9	0.037	-0.032	0.194	0.138	0.134
No.4	50	64	0.31	0.56	7.1	0.2	99	15.6	11.0	5.8	3.3	-0.031	0.053	0.158	0.016	0.099
No.5	52	55	0.07	0.16	6.8	3.7	21	24.3	8.6	7.8	6.0	-0.022	0.013	0.101	0.042	0.031
No.6	57	63	0.28	0.32	7.0	0.4	48	21.5	9.2	7.2	2.8	-0.010	-0.012	0.051	0.037	0.017
No.7	52	66	0.41	0.60	7.1	0.7	5	19.4	11.5	4.0	3.3	-0.052	0.038	0.259	0.158	0.291
No.8	38	44	0.14	0.28	6.8	0.1	5	19.0	5.2	9.1	9.0	0.007	0.031	0.169	0.029	0.009
No.9	44	55	0.54	0.47	7.0	1.5	19	16.5	9.0	4.9	3.5	0.030	0.010	0.209	0.022	0.098
No.10	48	51	0.08	0.13	7.1	0.3	11	15.6	10.8	4.6	3.6	-0.084	0.018	0.207	0.054	0.332
No.11	31	41	0.45	0.38	6.9	0.2	128	16.0	9.2	6.8	3.5	-0.042	0.029	0.070	0.262	0.050
No.12	41	41	0.26	0.34	6.7	1.0	30	15.8	9.3	7.7	3.3	-0.120	0.019	0.195	0.077	0.387
No.13	42	51	0.17	0.20	6.8	0.8	55	15.5	12.6	3.2	1.9	0.038	-0.046	0.053	0.035	0.046
No.14	44	55	0.36	0.40	6.9	0.7	80	16.5	11.4	4.5	1.5	0.025	-0.040	0.182	0.040	0.103
No.15	57	65	0.22	0.42	7.0	0.4	21	16.3	13.0	3.6	2.4	0.040	-0.018	0.016	0.111	0.024

表-1 サケ産卵床の生卵率調査結果

産卵床 No.	合流点からの大凡の距離 (km)	生卵率調査結果			
		生卵数	死卵数	総卵数	生卵率
No.1	11.81	282	217	499	56.5%
No.2	12.16	89	868	957	9.3%
No.3	12.18	321	231	552	58.2%
No.4	12.44	176	90	266	66.2%
No.5	12.76	399	351	750	53.2%
No.6	12.94	251	301	552	45.5%
No.7	12.98	11	103	114	9.6%
No.8	13.18	30	51	81	37.0%
No.9	13.30	734	268	1002	73.3%
No.10	14.28	201	72	273	73.6%
No.11	14.34	475	226	701	67.8%
No.12	14.36	410	316	726	56.5%
No.13	14.76	575	76	651	88.3%
No.14	14.78	660	267	927	71.2%
No.15	14.86	382	580	962	39.7%
平均		333	268	601	55.4%

表-2 に産卵床地点の水深、流速と産室内の水温、水質、浸透流速の測定結果の一覧を示す。水質は室内分析した結果について示す。11 月下旬の調査時の水深は最少が 31 cm で最大が 66 cm であった。12 月中旬の水深は水位の上昇などにより、11 月下旬の調査時と比較して 10 cm 程度深くなっていた。流速は 11 月下旬の調査時は最低が 0.07 m/s 最大で 0.54 m/s であり、調査地点による流速差が 0.4 m/s 以上あった。12 月中旬の調査時の流速は 11 月下旬時と比較して速かった。

産卵室内の pH の値は 6.7 から 7.1 の範囲の中性を示

し、地点間には大きな差が見られなかった。BOD は No.5 地点が 3.7 mg/l、No.9 地点が 1.5 mg/l と比較的高い値を示した以外は 1.0 mg/l 以下と低い値であった。電気伝導度は 15.5 mS/m から 42.6 mS/m と調査地点間の差が大きかった。

DO は調査地点間での差が大きく、最低では 3.5 mg/l と生活環境の保全に関する環境基準（河川）の水産 2 級（サケ科魚類及びアユ等貧腐水性水域の水産生物用）基準値である 5 mg/l を下回っていた。

SS は 5 mg/l から 128 mg/l の値であり、比較的高い地点も見られた。今回採用した採水方法では、ある程度、底質からの SS 成分が混ざってしまうことから、BOD などの水質分析結果に影響を与えることが想定されたが、SS とほかの水質項目との相関は低く影響はほとんど見られなかったと言える。産室内の水温も調査地点間での差が大きく、11 月下旬の調査では最低と最高で 6 °C 近い差があった。12 月中旬の水温は 11 月下旬と比べ、殆どの地点で低かったが、一部の地点では 11 月下旬より高い値を示した。動水勾配と透水係数は調査時期の違いにより異なる傾向を示した地点が多くあった。動水勾配の符号が正の時は河床下から河床面への上向きの湧昇流が卓越していることを示し、負の時は下向きの浸透流が卓越していることを示すが、時期によって流れの向きが逆転するなど、浸透流の状況が変化する結果が得られた。動水勾配や透水係数などから求めた各地点の溶存酸素フラックスは表-2 に示すとおりである。

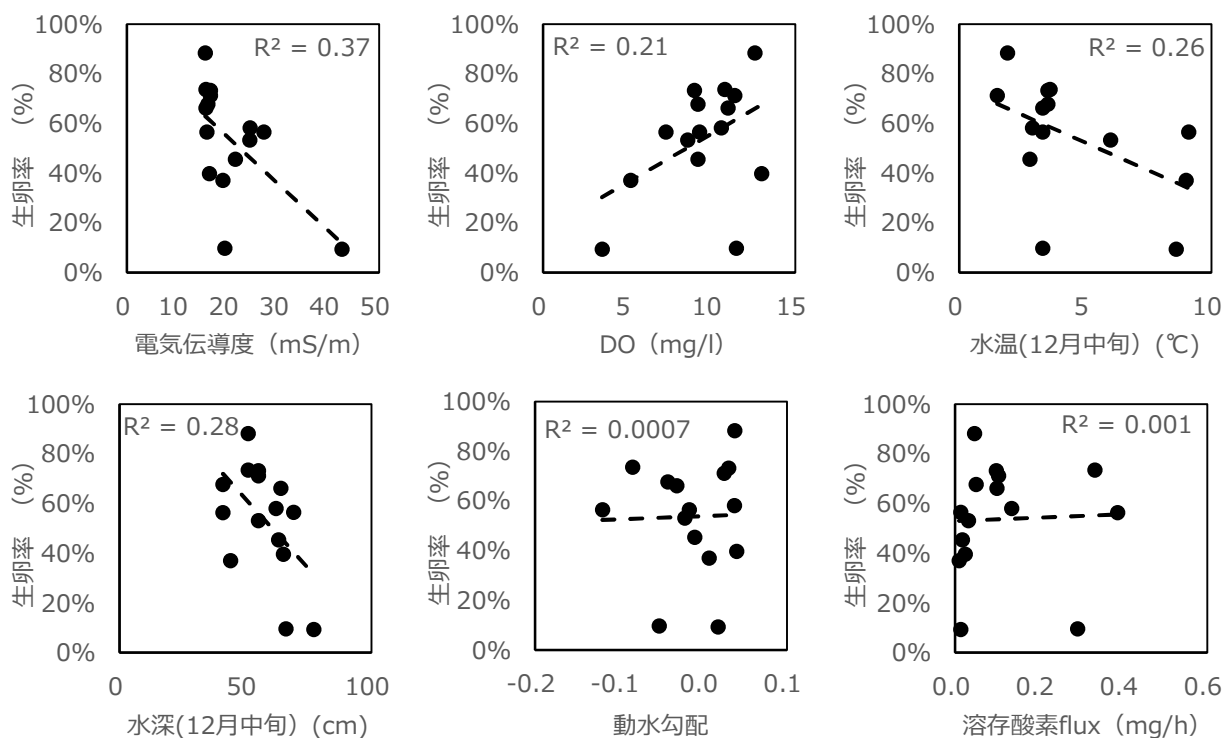


図-7 生卵率と水質、水温、水深等との散布図

表-3 生卵率との決定係数が比較的高かった項目間の相関係数

	電気伝導度	DO	水温(12月)	水深(12月)
電気伝導度	1	-0.72	0.66	0.66
DO	-0.72	1	-0.87	-0.13
水温(12月)	0.66	-0.87	1	0.23
水深(12月)	0.66	-0.13	0.23	1

4. 生卵率と環境変量との関係

2019 年度に調査した生卵率が最小で 9.3 %、最大で 88.3 %と調査地点間で差が生じた要因を明らかにするため、水質分析結果などとの関連を調べた。図-7 に電気伝導度、溶存酸素量 DO、水温、水深、動水勾配及び溶存酸素フラックスと生卵率の関係を示す。本調査で確認した死卵は、受精後に水質等の環境の影響により死卵に至ったものばかりではなく、産卵時に受精しなかった無精卵も含まれている可能性もある。また、サケの卵は発眼するまでは衝撃に弱く、一度できた産卵床を外のサケが産卵のために乱すことにより、死卵となる可能性もある。このような要因で生卵率が一定の割合で低下することもある。本研究においては無精卵と衝撃による減耗については考慮しない。

DO の値が大きいほど生卵率は高い (図-7)。河床間隙水の水温とは負の相関があり、河床間隙水温が高いほど生卵率は低い。水深との間には負の相関があり、水深が深いほど生卵率は低い。動水勾配及び溶存酸素フラックスとの間には相関が認められなかった。Greig ら⁷⁾ は産

卵室内の溶存酸素量と浸透流量の積から算出される溶存酸素フラックスが卵の生存に重要であると述べているが、本研究の調査では生卵率と溶存酸素フラックスとの間に関連性は確認できなかった。

EC は、水中に含まれる電解質の濃度が高くなれば値は大きくなり、一般に、河川水と比較して地下水の方が大きい値を示す。DO および水温の値も河川水と地下水では差が生じ、一般に冬季の水温は河川水より地下水が高く、DO は地下水が低くなる。EC と DO と水温及び水深のそれぞれの間の相関係数を示す(表-3)。EC と DO と水温はそれぞれの間の相関係数が高い。特に EC が高くなると DO は低くなり、水温は高くなっていた。これらのことから、EC が高い産卵床は地下水により涵養されている可能性が高いと考えられた。Greig ら⁷⁾ が明らかにした溶存酸素 flux の重要性や、小林¹¹⁾ により紹介されたロシアの研究によると、DO が 6 mg/l 以下では孵化には望ましくなく、正常な発育のためには 7~9 mg/l の範囲が適していることや、鈴木¹²⁾ による河床材料の通水性が低いほどサケ稚魚の浮上率が低下するとの既往研究成果などから、一定濃度以上の DO が必要であると考えられる。本研究でも生卵率と DO にも正の相関関係が見られた。

産卵床内の水温については、サケの産卵から発眼、孵化、浮上までに必要なそれぞれの積算水温はほぼ決まっている。サケは冷水性魚類のため高水温 (15℃以上) での卵の生育は避けることと通常言われているものの、低

水温下においてサケ卵を飼育したことにより、発眼期の生卵率に異なる結果が得られることは無い。

5. まとめ

本研究では豊平川のサケ産卵床における生卵率と水質等の関連を調べた。得られた結果を以下に示す。

- ・豊平川でサケが多数産卵する区間内でも、主流路や副流路など、大きく区分したエリア毎に地下水の影響などで河床間隙水の水質・水温の特徴が異なることが明らかになった。

- ・産室の DO が低い産卵床の生卵率は低く、DO が生卵率の低下に影響を与えた可能性が高い。

今後は、稚魚が孵化して浮上するまでの生残率も調査し、サケの産卵から浮上までの生残率と河川の水質や物理環境との関連を明らかにしたい。

参考文献

- 1)札幌市豊平川さけ科学館 HP : <https://salmon-museum.jp/>
- 2)有賀望ら：大都市を流れる豊平川におけるさけ *Oncorhynchus keta* 野生個体群の存続可能性の評価、日本水産学会誌 80 巻 6 号、pp.934-945、2014
- 3)埴山雅秀、眞山紘：野生産サケの復活をめざして、魚と卵 Tech.Rep.Hokkaido salmon Hatchery(165)、pp.41-52、1996
- 4)札幌ワイルドサーモンプロジェクト HP : <https://www.sapporo-wild-salmon-project.com/>
- 5)片岡朋子ら：産官学民との協働によるサケ産卵環境改善の取組、日本生態学会誌 69、pp.219-227、2019
- 6)Yamada, H.and Nakamura, F. : Effects of fine sediment accumulation on the red environment and the survival rate of masu salmon(*Oncorhynchus masou*) embryos、Landscape and Ecological Engineering、5、2009.7
- 7)Greig ST、Sear DA、Carling PA. : A field-based assessment of oxygen supply to incubating Atlantic salmon (*Salmo salar*) embryos、Hydrological Processes、Vol.21、pp.3087-3100、2007.
- 8)Baxter C.、Hauer R.F. and Woessner W.W. : Measuring groundwater-stream water exchange : new techniques for installing minipiezometers and estimating hydraulic conductivity、Transactions of the American Fisheries Society、Vol.132、pp.493-502、2003
- 9)小宮山英重、堀本宏、小原聡：豊平川におけるシロザケの河川回帰率とその自然環境、北海道の自然と生物、2、pp.1-6、1990
- 10)佐野誠三：北日本産サケ属の生態と蕃殖について、北海道さけ・ますふ化場研究報告 第 14 号、pp.21-90、1959
- 11)小林哲夫：サケとカラフトマスの産卵環境、北海道さけ・ますふ化場研究報告 第 22 号、pp. 7-13、1968
- 12)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 2008 ; 2、pp.3-5、2008.

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を目的とする。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による河道地形編集ツール（RiTER Xsec）の開発を行った。令和元年度は、河道地形編集ツール（RiTER Xsec）の横断面編集の機能強化、i-construction への対応などの開発を行った。

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案を抽出することが求められる。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いうのが一般的な流れとなっている。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）。そこで、環境への配慮と河道計画・設計を同時に支援するツールが必要であると考えている。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）を柔軟に変更し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

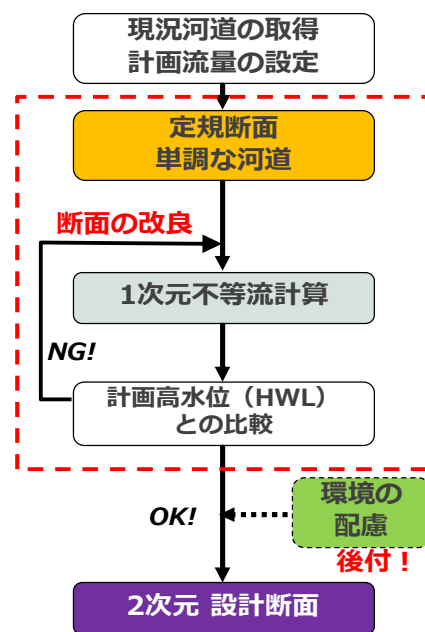


図-1 河道計画の考え方

ツール EvaTRiP 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、汎用性が高く無償で配布されている iRIC ソフトウェア¹⁾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による河川地形編集ツール（RiTER Xsec）の開発を行った²⁾ ³⁾。令和元年度は、昨年度開発を行った RiTER Xsec における横断面編集時の機能

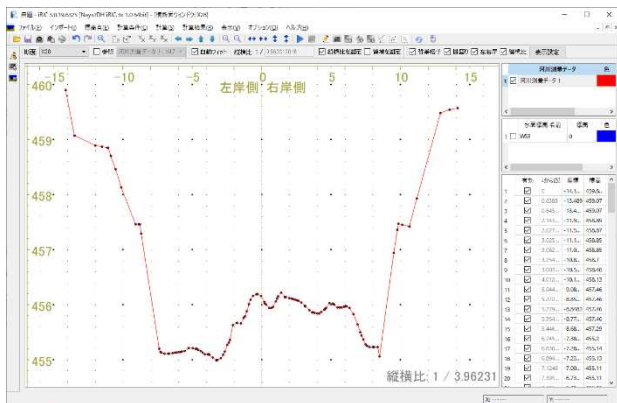


図-2 横断面ウィンドウの表示例（ドット表示）

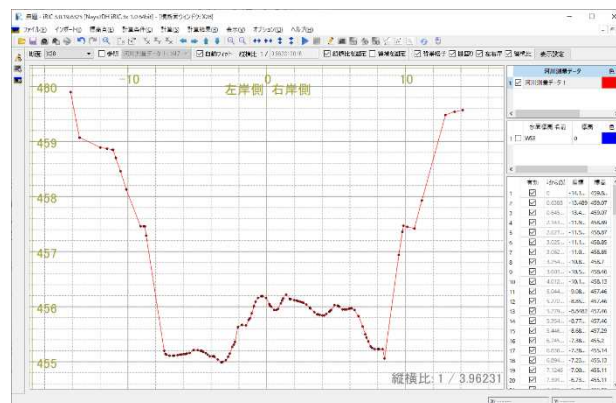


図-3 横断面ウィンドウの表示例（野線表示）

強化として、背景に格子などを表示してスケール感を把握しやすくした。また、地形編集機能 RiTER Xsec の開発を通じて 3 次元川づくりと i-construction を推進していることから、編集した地形を i-construction の標準である Land XML 形式で出力する機能を追加した。LandXML 形式に対応したことで、ICT 建機へのデータ入力が大幅に改善する。次章からは、令和元年度に開発を行った機能の概略を述べる。

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。そのツール群の内、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・河道設計を行うためには機能が不足していた。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平成 30 年度より地形編集ツール RiTER Xsec の開発に着手した。令和元年度は RiTER Xsec の利便性向上を図るため更なる機能追加を行った。RiTER Xsec を活用することで、河川を俯瞰しながら河道断面の拡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・コスト削減にも貢献する。

2. 1 横断面編集機能の強化

2.2.1 背景ドットの表示機能追加

河道設計で頻繁に行う横断面編集の作業を簡便に iRIC ソフトウェアで実現できるよう、これまで白地で

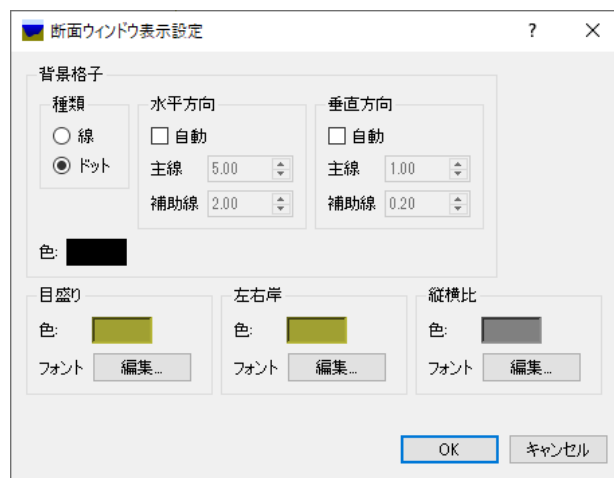


図-4 断面ウィンドウの表示設定

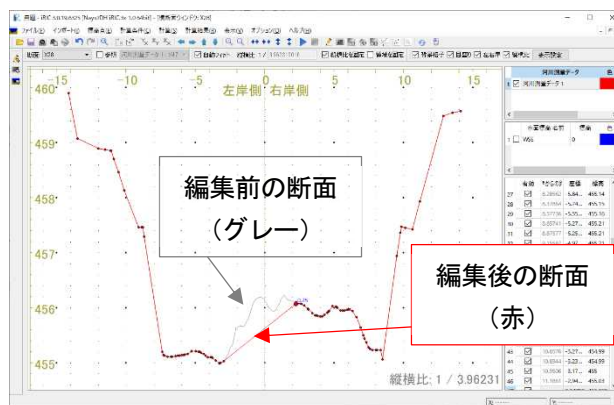


図-5 横断面形状の編集中の表示例

あった背景（横断面ウィンドウ）にドットもしくは野線を表示できる機能を追加した。図-2 はドットを表示、図-3 は野線を表示の例を示す。また、縮尺を表示することも可能にし、縮尺の指定機能と固定機能も併せて設定することが出来る。また、ドットや野線の色、フォント、大きさなどを任意で指定できる（図-4）。この機能により横断面図の編集作業の大幅な効率化が図られた。

2.2.2 断面編集機能の強化

横断面ウィンドウで横断形状を編集する際、編集前の形状を参考にしつつ編集を行うことができる機能を追加した(図-5)。編集後には、編集前の形状が消える設定とした。また、編集を行う断面と他断面の比較を可能にする機能を追加した(図-6)。参照用の断面は複数表示も可能とし、ユーザが任意の断面を選択できる。また、参照用断面は色をそれぞれ指定できる。

2. 2 DEM データからの河道断面の抽出・作成機能の追加および LandXML への対応

地形編集機能 RiTER Xsec の開発を通じて 3 次元川づくりと i-construction を推進している⁴⁾⁵⁾。そこで、以下の項目についても機能を追加した。

①DEM データから河道に沿って一連の横断図を抽出する機能(図-7)。

この機能については、以下の手順により行うことが出来る。

- 1) DEM データのインポート
- 2) 河川測量データの作成を選択
- 3) 河道中心線の作成
- 4) 左右岸線の生成と編集
- 5) 河川測量データの生成(図-8)

これまでは DEM データに別途横断データを読み込み、平面位置を合わせる作業が手間だったが、DEM データ自体からの横断図抽出機能によって、近年活用が広がる UAV や ALB などの面的な測量成果をそのまま生かして設計作業に入ることができるようになった。

②編集した地形を i-construction の標準である LandXML 形式で出力する機能

LandXML 形式に対応したことで、ICT 建機へのデータ入力が大幅に改善している。簡単な維持掘削であれば、RiTER Xsec だけで i-construction ができるレベルにまでなっている。

もちろん iRIC は水理解析ソフトウェアであることから、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を実施できる。つまり、横断面ベースで作成・編集した 2 次元地形は、iRIC の機能により 3 次元地形を構築でき、3 次元地形として水理計算を行えるということである。また、自然共生研究センターで別途開発を行っている河川環境評価ツール EvaTRiP を活用した環境解析までをシームレスに行うことも可能である。

2. 3 iRIC を使った「3 次元川づくり」の体験

自然共生研究センターでは、iRIC を活用した河川

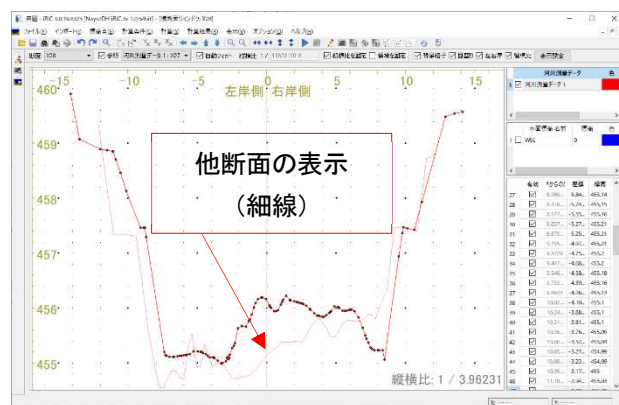


図-6 断面編集時における他断面の表示例

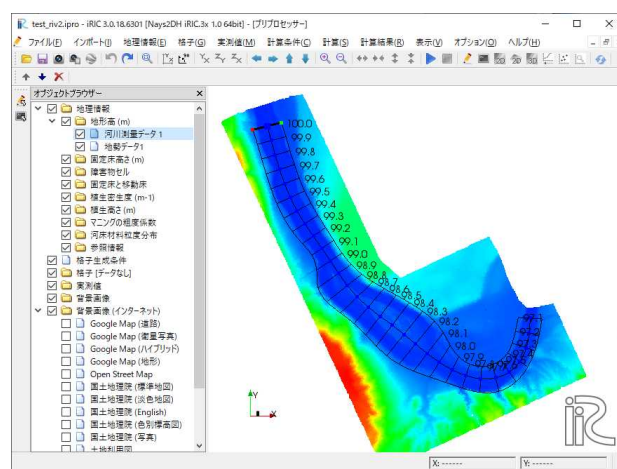


図-7 河川測量データの表示例

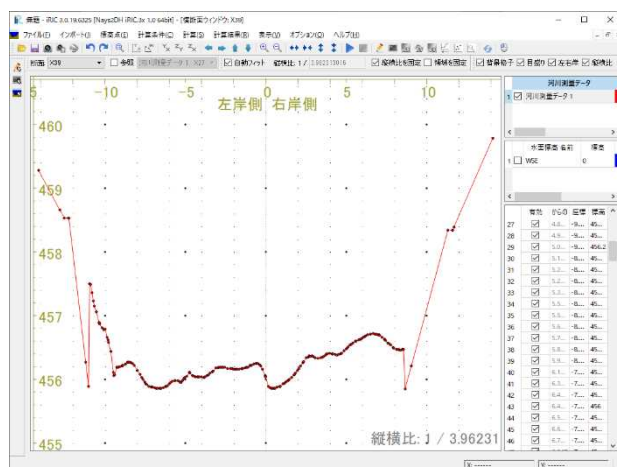


図-8 DEM から河川測量データ生成が可能

CIM 支援ツールの開発を通じ、河川空間を 3 次元のまま設計で取り扱う川づくり「3 次元川づくり」を推進している。河川 CIM 支援ツールとして開発を進める、河道地形編集ツール RiTER 及び河川環境評価ツール EvaTRiP[®]については、講習会の開催等により技術の普及を図っており、都道府県職員などを対象に、これ

らのツールを体験できる講習会を定期的に開催している。講習会で用いたデータは独学でも進められるため、それらの資料やデータは、共生センターのホームページで令和2年5月から公開している(図-9)。本資料を使用することでRiTER Xsecによる河道地形の編集の実施、iRICによる2次元流れ・河床変動計算の実施、河床変動計算で得られた水理計算結果を用いて環境評価を行うまでの一連の流れを体験することが出来る。

3. まとめ

今後も引き続き、河川技術者の設計時における利便性向上を図るため、多自然川づくり支援ツール(RiTER Xsec・EvaTRiP)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バーチャルリアリティ(VR)の活用についても作業を進めている。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

■ iRICソフトウェアを使って「3次元川づくり」を体験しよう！NEW

自然共生研究センターでは、iRICソフトウェアを活用した「多自然川づくり支援ツール」の開発を通じ、河川空間を3次元で取り扱う新しい川づくり「3次元川づくり」を推進しています。

多自然川づくり支援ツールとして開発を進める、河道地形編集ツールRiTER、および河川環境評価ツールEvaTRiPについては、講習会の開催等により技術の普及を図ってきましたが、このたび多くの方に体験していただくため講習会で用いた資料・データを公開することになりました。使用にあたっての注意事項をご確認いただき、善ってご利用ください。

【注意事項】

- ・本資料の公開主体は、土木研究所自然共生研究センターです。
- ・本資料の公開ライセンスについては、クリエイティブ・コモンズ「CC BY」に準拠していただきますので、本資料の複製、頒布、展示、実演を行うにあたっては、「土木研究所自然共生研究センター」公開の資料を利用した旨の表示をお願いします。
(参考：<https://creativecommons.jp/licenses/>)



- ・問い合わせについては、原則非対応としますが、誤りの発見や有益な助言については歓迎いたします。自然共生研究センター問い合わせ (kyousei4 (at) pwri.go.jp) よりご提議ください。
- ・本資料の利用に対するいかなる損害等においても、免責するものとします。
- ・iRICソフトウェアおよび一部情報の著作権はiRIC研究会に帰属し、本資料は許可を得て公開しているものです。したがって、本資料の内容については、iRIC利用規約 (<https://i-ric.org/help/terms/>) にも関係する箇所があるので、合わせてご確認ください。iRICを用いた解析した結果にはiRICのロゴマークなどを入れる必要があります。

資料のダウンロードはこちらから (ファイルサイズ 33.7MB) :

<https://forms.gle/TM9mzMcPWh1ZQzDC8>

(簡単なアンケート回答後にダウンロードURLが表示されます。回答時間：1～2分程度)

図-9 自然共生研究センターHP

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) 中村圭吾、林田寿文、大槻順朗、小林一郎：河川 CIM (3次元川づくり)の考え方と標準化に向けた取り組み・課題、河川、76巻第3号、No.884、2020.
- 6) 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、溝口裕太

【要旨】

令和元年度は、平成30年度までに、梯川を対象に研究が進められた、治水と環境の両立を図る河道掘削技術・維持管理技術の一般化に取り組んだ。ここでは、河道内樹木の伐採に焦点をあて、それを合理的に計画するための治水、環境に関する指標の設定を行った。さらに、治水・環境面での機能を満足しつつ、樹木の伐採・運搬コストの縮減に貢献する樹林帯を抽出するための検討方法を提案した。

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、樹木伐採

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（2016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、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。

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、国土交通省北陸地方整備局と共同で行った。フィージビリティスタディは、まず、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な役割を果たす植物群落の抽出が可能か等を検討した(図-1) (①)。次に、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(②)。①については、約25年間、蓄積された河川水辺の国政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章)。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(3章)。

令和元年度は、平成30年度までに、梯川を対象に研究が進められた、治水と環境の両立を図る河道掘削技術・維持管理技術の一般化に取り組んだ。ここでは、河道内樹木の伐採に焦点をあて、それを合理的に計画するための治水、環境に関する指標の設定を行う。さらに、治水・環境面での機能を満足しつつ、樹木の伐採・運搬コストの縮減に貢献する樹林帯を抽出するための検討方法を提案する(4章)。

他方、CIM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(5章)。

以下、梯川の河川諸元と選定理由を整理した後、研究成果の概要を示す。

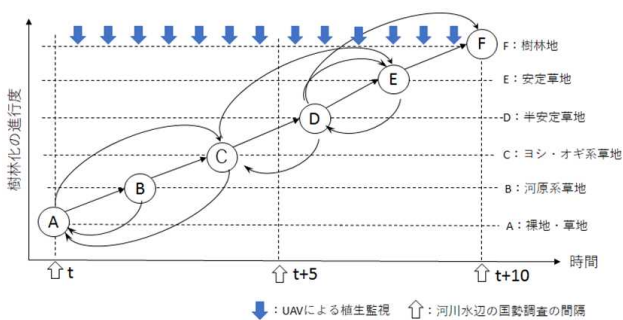


図-1 植物群落遷移をネットワークとして考えた場合の管理手法の基礎概念

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)。

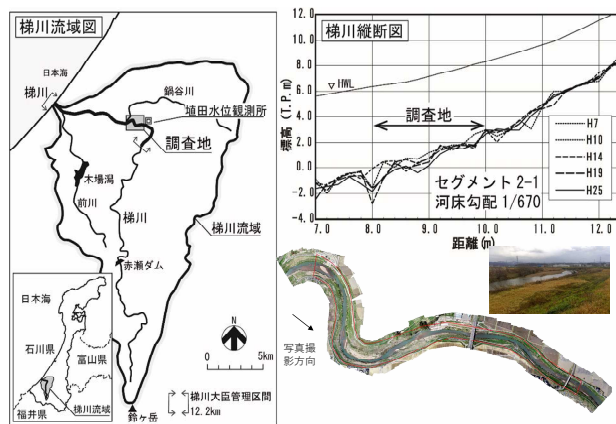


図-2 梯川の概要

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。

しかし、平水は約15トンであるため、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、2019年(H31年)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. 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、興味のある方は引用文献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-4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。600m³/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示すことが、樹林群落との対応関係までは示せない点は、十分な情報を示せていなかった。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、引

用文献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。

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。

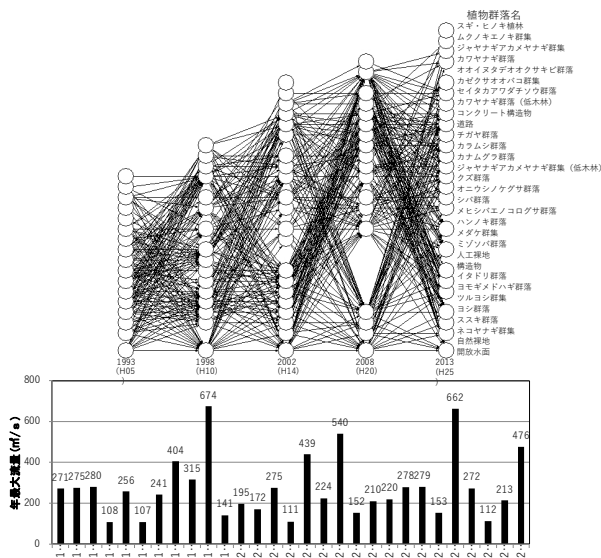


図-4 河川景観・植物群落遷移のネットワーク図と流量時系列の関係

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）

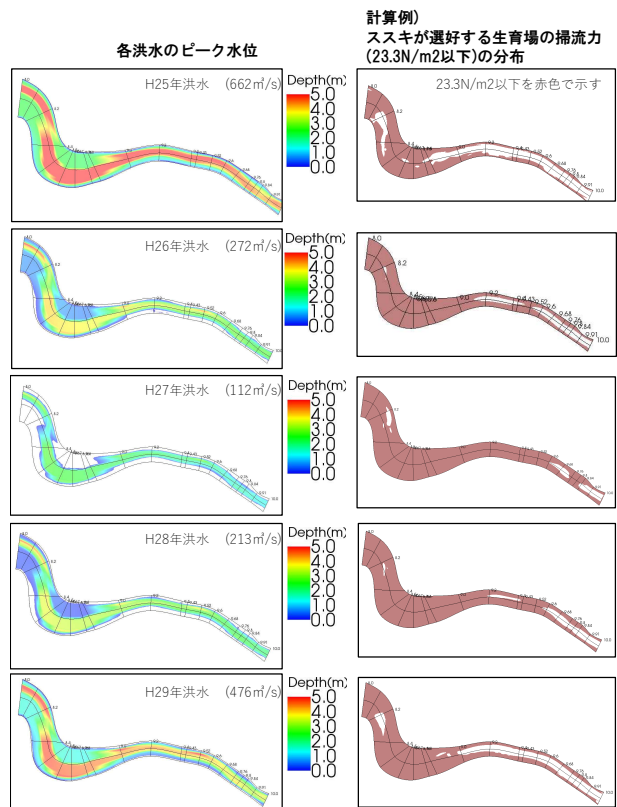


図-5 植物群落動態モデルに与える水理計算結果と植物群落予測結果（ススキ群落の例）

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-5）。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-6）。

予測計算後、梯川の管理する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。

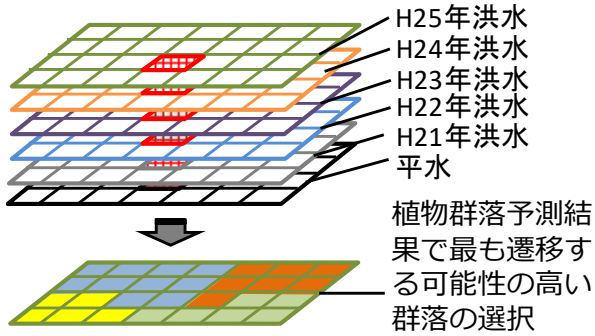


図-6 アンサンブル予測結果の空間統計例

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-7 に植物群落予測の出力結果を示す。梯川河道回収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-7 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. 河道内植生の維持管理手法の提案

平成 30 年度までは、梯川を対象河川として、河道内の植生管理を最適化する方法の検討を進めた。とりわけ、河川水辺の国勢調査の既存データを用いたネットワーク分析により、樹林化する可能性がある景観を事前に抽出する技術を開発することで、適切なタイミングでの樹木伐採の実現性が高まった。また、河道計画、設計への植生動態モデルの適用方法を模索し、河道内植生の予測技術の実装を進めた。

令和元年度は、前述のように、個別の事例を積み上げることで検討してきた治水と環境の両立を図る河道掘削技術・維持管理技術の一般化に取り組んだ。ここでは、河道内の樹林伐採を対象とした、維持管理手法に関する検討内容をまとめる。そもそも、河道内樹木は、治水面においては河積阻害による地先の水位上昇、また、環境面においては、砂礫河原に生息する河川特有の植物の生息適地を減少させる一因である。そこで、治水と環境の両立には、それらを管理するための具体的な指標を設定することが必要である。本研究での検討の結果、治水は水位マップ、環境は保全優先度マップを、それぞれを把握するための指標とし、それらのマップを重ね合わせることで、氾濫リスクの低減と、重要な植物群落の保全に貢献する樹林帯を抽出するこ

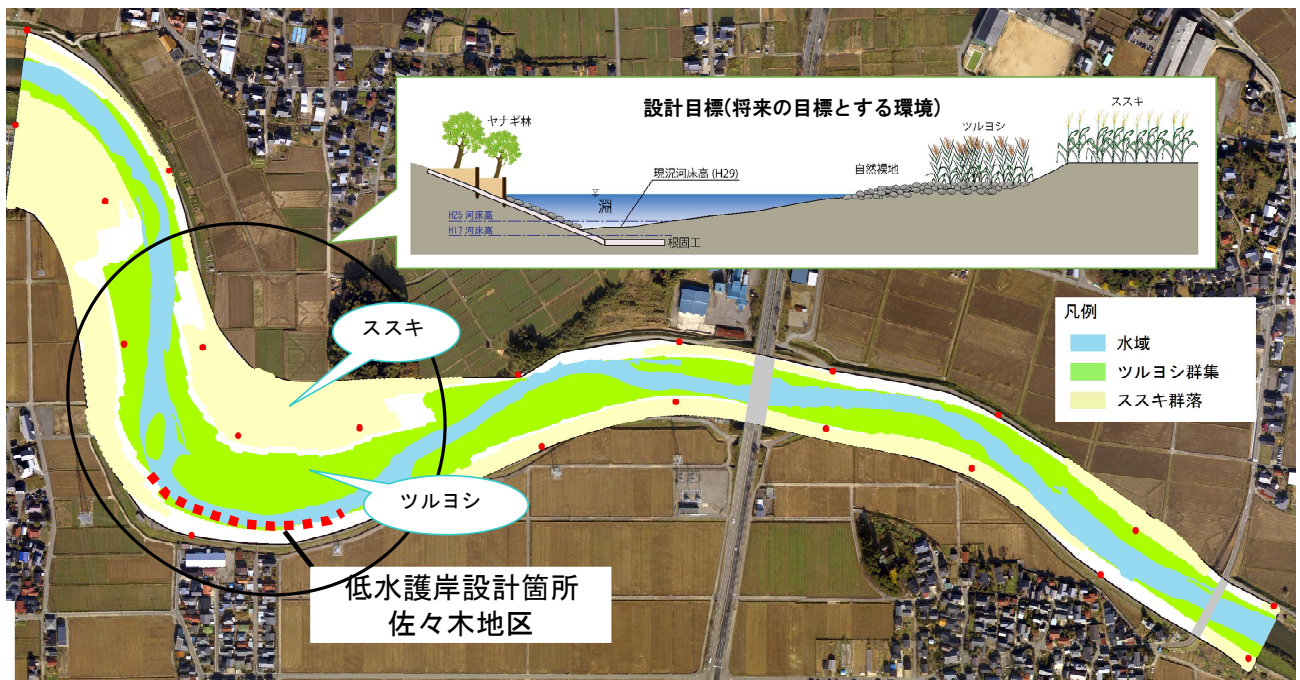


図-7 設計河道における比高、掃流力、水際からの距離から見たツルヨシ、ススキの分布可能範囲

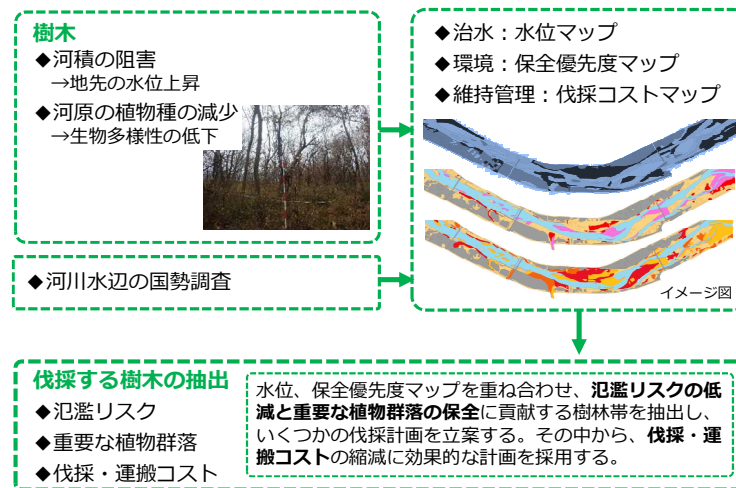


図-8 治水・環境の両立を実現するための河道内植生の維持管理手法の提案

ととした(図-8)。また、重要な植物群落を抽出し、その優先度の判断するための保全優先度マップは、保全優先度の最も高い群落(保全優先度A)、保全優先度の高い群落(保全優先度B)および、保全対象外の3つに類型化するものである。これは、河川水辺の国勢調査データを基に植物群落の経年変化を明らかにした上で、その希少性、典型性、特殊性、外来性の4つの視点から保全上の価値付けをする手法である。詳しくは、引用文献⁵⁾を参照されたい。

治水および環境上の要件を満足することは必須だが、樹木伐採とその運搬コストの縮減を図ることが維持管理上の重要なポイントである。そのために、治水・環境面での機能を満足するいくつかの樹林帯の伐採計画を立案し、それぞれの計画案の伐採・運搬コストを推定することで、維持管理コストの縮減に効果的な樹林帯の伐採を採用することになる。

6. 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

6.1 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和試行の概要

平成29年度においては、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。平成29年度は、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。

6.2 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。

7. まとめ

令和元年度は、平成30年度までに、梯川を対象に研究が進められた、治水と環境の両立を図る河道掘削技術・維持管理技術の一般化に取り組んだ。ここでは、河道内樹木の伐採に焦点をあて、それを合理的に計画するための治水、環境に関する指標の設定を行った。さらに、治水・環境面での機能を満足しつつ、樹木の伐採・運搬コストの縮減に貢献する樹林帯を抽出するための検討方法を提案した。

ここで提案された、治水、保全優先度、維持管理コストに関するそれぞれのマップを作成するには、多大な労力を要するため、河川維持管理における樹木伐採の実務に対して本検討方法を適用することは容易ではない。今後は、空間的な情報を航空レーザ測深などにより効率的に収集する方法と、各種のマップの作成に

必要な樹木解析の技術を開発する。また、本検討方法を実河川に適用し、実装する上での課題点などを整理する予定である。

参考文献

- 1) 田屋祐樹・槇島みどり・赤松史一・中西哲・三輪準二・萱場祐一：河道内樹木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木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21巻、pp.217-222、2019.
- 5) 萱場祐一・片桐浩司・傳田正利・田頭直樹・中西哲：河道掘削における環境配慮プロセスの提案、河川技術論文集、第20巻、pp.157-162、2014.

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、川村里実、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。2019（令和元）年度は、長期的に安定し得る川幅を検討した上で、河畔林の樹林化抑制とサケ産卵域保全を図ることのできる掘削断面を設定に関する研究を行った。まず、掘削後の川幅が長期的に維持できるように掘削幅を設定した上で、河畔林の樹林化抑制やサケの産卵環境の維持改善が図れるように掘削敷高を設定した。次に、設定した断面で掘削した場合の河道変化、流況変化およびサケの産卵環境の変化について予測計算を実施したところ、掘削なしの場合と比較して、掘削した場合は水域が拡大し産卵可能面積の改善につながり、その効果は少なくとも3年後までは維持されることが予測された。その結果を踏まえて、掘削断面が設定され、掘削工事が実施された。

キーワード：サケ、急流河川、都市河川、豊平川、樹林化抑制、平面二次元河床変動計算、PHABISIM

1. はじめに

近年、河道内の砂州や濤筋の固定化に伴い、砂州上の樹林化や川幅縮小などの現象が顕在化しており、流下能力の維持・向上のための対策が重要な課題となっている。また、砂州上の樹林化の進行に伴い、陸域と水域の高低差が拡大するといった現象が顕著になると、浅瀬の消失により、例えばサケの産卵環境の悪化など、魚類生息環境への影響も懸念される^{1, 2, 3)}。

流下能力向上のための対策として、樹木伐採や河道掘削の実施が挙げられる。しかしながら、掘削により河道を拡幅する場合は、その後の出水による河道変化において川幅が維持できなければ、長期的な対策の効果は期待できない。礫床河川における安定な断面形状（川幅、水深）は、流量、河床勾配や河床材料などによって規定されることが知られており⁴⁾、効率的な維持管理の観点からも、長期的に維持可能な適切な掘削断面の設定が求められる。また、同時に河畔林の樹林化抑制も維持管理上の重要な観点となる。更に、河道の改修にあたっては、魚類生息場への配慮が求められるため、魚類生息環境の維持改善を図ることも重要となる。

本稿では、豊平川を対象に実施した河道掘削の事例を紹介する。これは、長期的に安定し得る川幅を検討した上で、樹林化抑制とサケ産卵域保全・維持を図ることを目的として掘削高さを設定した事例である。算出された河床変動と産卵環境適性度との関係により河道掘削後の魚類の生息および産卵範囲変動の将来予測を実施することによって掘削の生息および産卵環境への影響についても検討している。

2. 方法

豊平川は190万人都市である札幌の中心部を流れる急流河川であり、市民の貴重な憩いの場であるとともに、魚類の生息場所として重要な空間である。一方、大都市を流れることから洪水時に莫大な被害の危険性を持つ河川である。そのため床止工の設置、高水敷の造成、護岸工による河岸や堤防の保護など様々な治水対策がとられてきた。図-1に扇状地を流れる豊平川の河床縦断面図（低水路平均河床）を示す。本川のKP10～11付近（石狩川との合流点より10 km地点）に河床勾配の変化点があり、その付近に伏流水が豊富なサケ産卵床がみられる。勾配変化点の上流側は、急流河川としての特徴を持ち、下流側は緩流河川としての特徴を持っている。

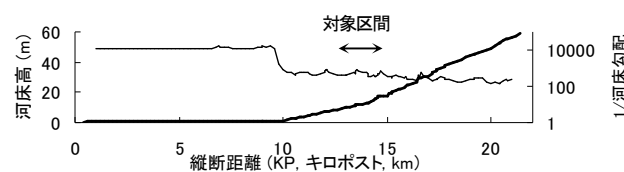


図-1 豊平川の河床縦断面図

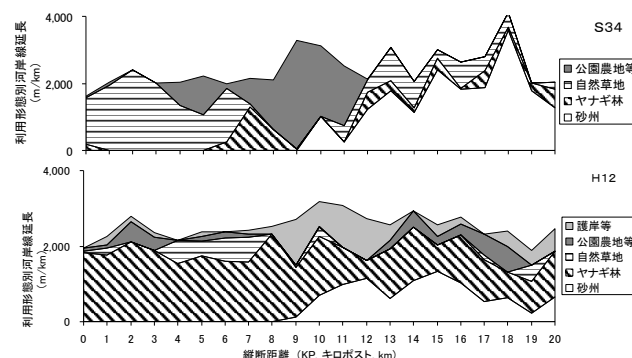


図-2 1959年と2000年の豊平川河岸線の利用形態別延長の変化⁵⁾

3.2 河道変化の予測計算

現況河道と図3の断面で掘削した河道の2つのケースについて平面二次元河床変動計算を実施し、流況および河道変化の予測を行った。計算条件を表-1に示す。計算には、ピーク流量が平均年最大流量に匹敵する規模だった2012年5月4日出水（ピーク469 m³/s）の流量データを適用し、3回繰り返して3年間の計算とした（図-4）。なお、土砂が移動しない流量（ここでは320 m³/s）以下は除外している。

図-5および6に計算結果（Q=100 m³/s時の水深分布）を示す。この図からも現況河道と比較して、掘削河道の方が水深1m前後の水深の箇所面積が大きいことが読み取れる。

図-2は、1959年と2000年の豊平川河岸線の利用形態別延長である⁵⁾。これは、水際と接する陸域の土地利用形態を示す。この図からも、1960年代までのKP10より上流区間は、複列砂州形状で河原に石礫が多い、いわゆる礫河原だったが、堤防保護、河道維持の観点より複断面化が進められ、1970年代には単列交互砂州形状を呈するようになった。また低水路内の樹林化が顕著である。

本研究で対象とした区間KP11.0~KP15.4の航空写真を写真-1に示す。対象区間の平均河床勾配は1/500前後である。また対象区間は急勾配河道区間の最下流に位置し、下流側の緩流部（河床勾配1/1,000~1/10,000）と接する区間でもある。そのため、既往の予測結果⁶⁾からも、中長期的な土砂堆積傾向のある区間である。



写真-1 解析対象区間（豊平川KP11.0~KP15.4）

3. 掘削断面の設定および河道変化の予測

3.1 河道掘削断面の設定

掘削計画断面を図-3に示す。まず、図-3中の【設定①】の設定にあたり、安定川幅⁴⁾を検討した。ここでは、1/2年確率の出水規模370 m³/sで検討し、掘削後の川幅を50mと設定した。【設定①】における掘削敷高の設定にあたっては、サケの遡上および産卵を妨げない形状を検討した。ここでは、サケ遡上期間中（9月~12月）に確実に流水が確保される高さ（この期間の最低水位）を設定することとし、2011年~2018年のサケ遡上期（9月~12月）の最低水位を掘削敷高に採用した。次に、図-3中の【設定②】にあたっては、再樹林化が抑制可能な掘削敷高を検討した。ここでは、年平均最大流量（Q=480 m³/s相当）時に生じる摩擦速度の値が樹林化抑制可能な値⁷⁾を確保できる敷高に設定した。

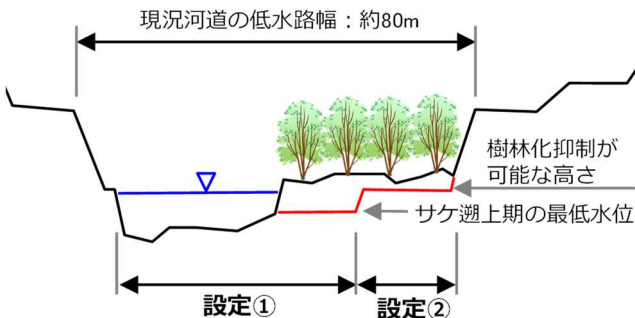


図-3 河道掘削断面模式図

表-1 計算条件一覧表

項目	設定内容
解析モデル	iRIC Ver2.3
計算区間	豊平川 KP11.0~KP15.4
計算ケース	Case0: 現況河道（掘削なし） Case1: 掘削河道
計算格子	縦横断方向の格子サイズ：5~10 m 格子数：縦断方向441、横断方向33
粗度係数	低水路粗度係数：0.034~0.035 高水敷粗度係数：0.040
樹木	現況樹木（掘削箇所は樹木なし）
流量	H24/5/4の実績流量 × 3回
起算水位	等流水位
河床材料	混合粒径（H28河床材料調査）
上流端境界	動的平衡
固定点	1号床止め（KP13.5）、 3号床止め（KP14.5）、高水敷

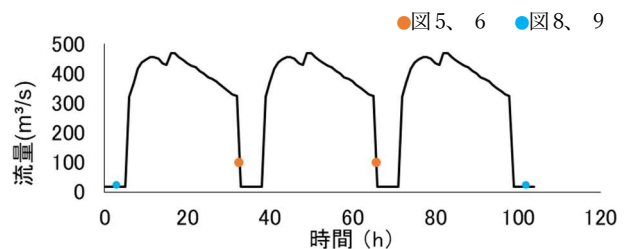


図-4 計算流量（3年分）

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

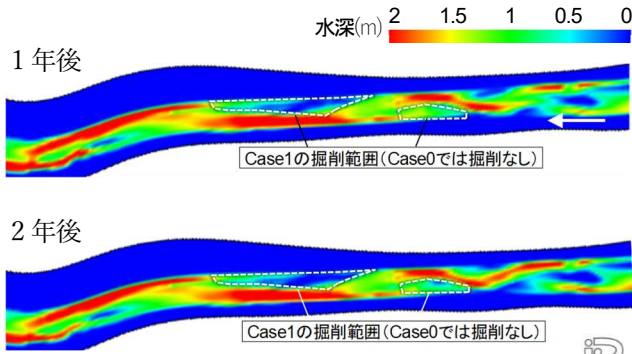


図-5 現況河道の形状予測 (Case0)

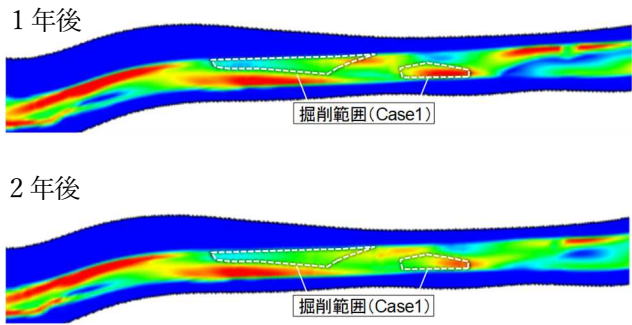


図-6 掘削河道の形状予測 (Case1)

4. サケ産卵環境の評価手法検討

4.1 PHABISIMによる評価

前章の計算結果を利用し、サケ遡上時の平均流量 17.6 m³/s 時の水深と流速から産卵環境を評価し、掘削の有無について比較する。PHABISIM は、選好曲線を描くことで、産卵環境を評価する解析を行うものである。ここで用いた産卵床位置情報は、豊平川さけ科学館⁸⁾の2018年産卵床位置データを用いた。流速、水深などの選好性を第2種適正基準値として用い、これをベースに選好曲線を作成した。

4.2 合成適正値 (CSI) の予測結果とサケ産卵環境の評価

現況河道および3年後の予測河道における $Q = 17.6$ m³/s 時(サケ遡上時平均)の計算水量から図-7の選好曲線に対応する SI 値を掛け合わせて求めた合成適正値 (CSI) の平面分布を図-8に示す。同様に、掘削河道における同流量時の CSI 分布予測を図-9に示す。

分布予測結果より、掘削河道におけるサケ遡上時期の産卵環境は、掘削なしの場合と比較して、水域が拡大し産卵可能面積の改善 (CSI 値が高いエリアが広がった) につながり、その部分が3年後まで維持されることが予測された。

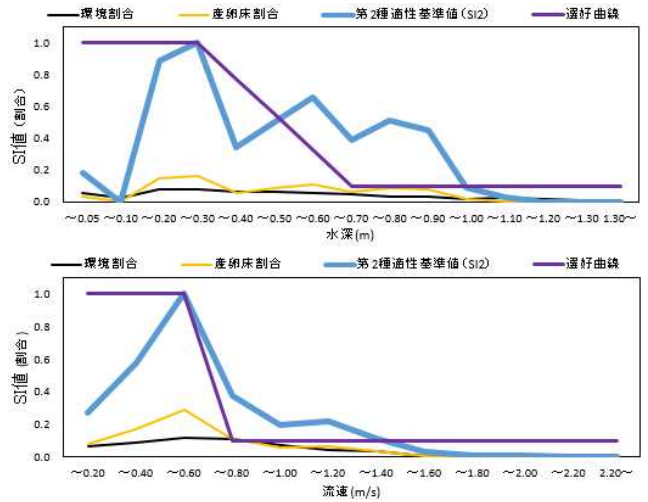


図-7 平面二次河床変動計算に基づく適正基準 SI 値

CSI (合成適正性値)		
0.01 - 0.10	0.31 - 0.40	0.71 - 0.80
0.11 - 0.20	0.41 - 0.50	0.81 - 0.90
0.21 - 0.30	0.51 - 0.60	0.91 - 1.00
	0.61 - 0.70	

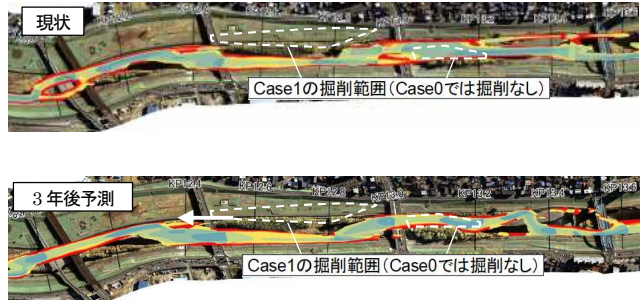


図-8 現況河道の合成適正値 (CSI) 分布 (Case0)

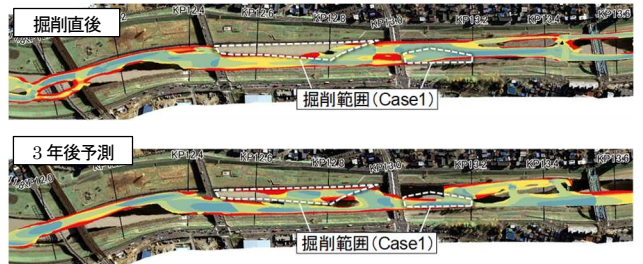


図-9 掘削河道の合成適正値 (CSI) 分布 (Case1)



写真-2 掘削後の河道(東橋から下流側を望む)

5. まとめ

本研究は国土交通省北海道開発局札幌開発建設部札幌河川事務所と共同で検討した。まず、流下能力の維持向上を目的とした河道掘削時には、掘削後の川幅が長期的に維持されるように掘削幅を設定し、河畔林の樹林化抑制やサケ産卵環境の保全が図れるように掘削敷高を設定した。また、設定した断面で掘削した場合の河道変化、流況変化およびサケの産卵環境の変化について予測計算を実施したところ、掘削なしの場合と比較して、掘削した場合は水域が拡大し産卵可能面積の改善につながり、その効果は少なくとも3年後までは維持されることが確認された。

本結果を踏まえて、札幌開発建設部札幌河川事務所により、上述のような掘削断面が設定され、写真-2のような掘削工事が実施された。

河道掘削が必要とされる多くの河川では、流下能力確保と魚類生息環境の保全が求められることが多く、そのための掘削断面を設定する有効な手段が求められている。これに加えて副流路の維持や上下流の生息環境の保全など、より細やかな配慮が求められることも多く、今後はさらに各種視点からの調査が必要と考える。対象区域の魚類数や再生産量の現地モニタリングを継続して、今回検討した掘削断面の設定方法の妥当性を検証していく必要がある。

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

参考文献

- 1) 寒地土木研究所水環境保全チーム：冷水性魚類の産卵床を考慮した自律的河道整備に関する研究、平成 27 年度プロジェクト研究、土木研究所 HP
- 2) 北海道開発局河川計画課、寒地土木研究所外：北海道の急流河川における河川整備に関する研究、平成 27 年度北海道開発局技術研究発表会、2016.2
- 3) 矢野雅昭、平井康幸、谷瀬敦：物理環境要素の計算値を用いた PHABSIM によるシロザケ産卵適地の推定、寒地土木研究所月報、2015.7
- 4) 浅野文典、福岡捷二：沖積地河川における安定な川幅・水深—治水と環境の調和を目指した河道断面形の決め方、水工学論文集、第 54 巻、2010.
- 5) 野上毅、中津川誠、小林美樹：豊平川と札内川における魚類生息環境の比較、河川技術論文集、vol.8、pp.179-184、2002.
- 6) 白戸暢彦、田代隆志、奥山昌幸：豊平川の河道変化に対する対策工の検討について、平成 27 年度北海道開発局技術研究発表会、2016.2
- 7) 国交省北海道開発局・(独)土木研究所寒地土木研究所：樹林化抑制を考慮した河岸形状設定のガイドライン(案)、pp51、2011.3
- 8) 札幌市さけ科学館：<https://salmon-museum.jp/>
- 9) 片岡朋子、布川雅典、有賀望：豊平川におけるサケ自然産卵場再生試験、平成 30 年度北海道開発局技術研究発表会、2019.2
- 10) 卜部浩一、三島啓雄、宮腰靖之：十勝川水系におけるサケ・サクラマス産卵環境評価（資料）、北水試研報 84、pp47-56、2013

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¹⁾。大まかな流れは、1)河道の取得（測量）・計画流量の算

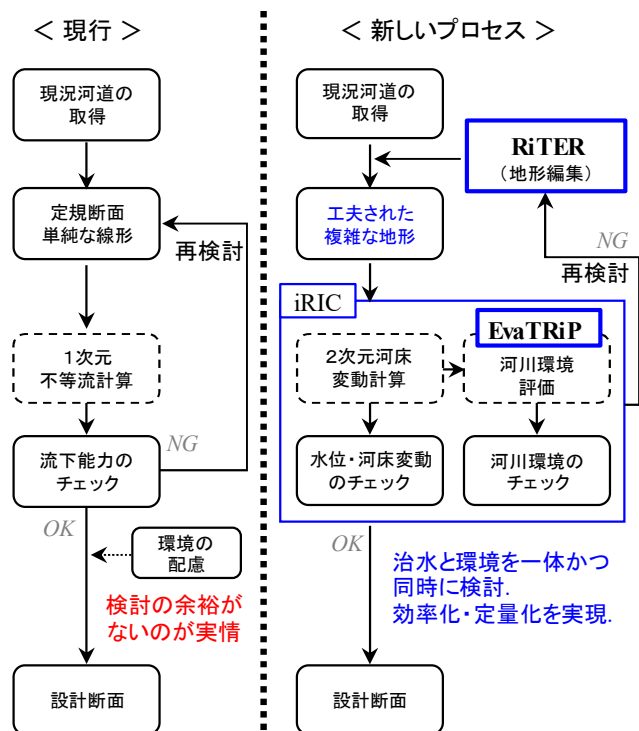


図 1 川づくりにおける横断面の検討方法
 (効果的・効率的な河道計画・設計プロセスの提案)

定→2)一次検討断面の設定→3)水理計算による検討→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。

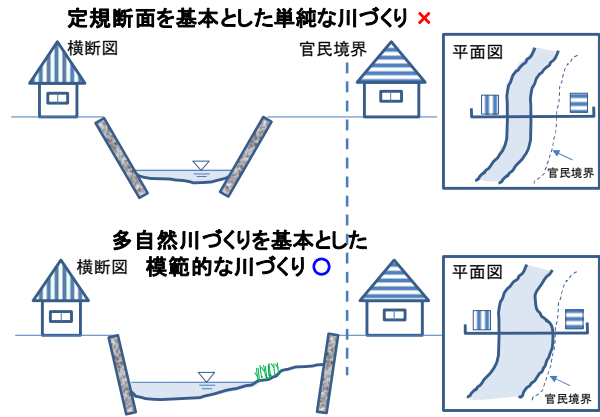


図 2 川づくりにおける横断面の検討方法

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、非常に扱いやす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^{1), 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^{1), 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

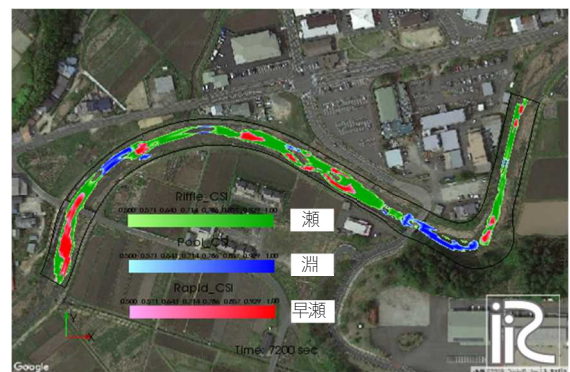


図 3 EvaTRiP の機能の一例 (瀬淵の抽出)

ウェアの機能により自動で3次元設計として出力される。ドローン (UAV)・グリーンレーザー (ALB)⁶⁾、DEMの地形 (標高) データなどの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。

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⁾。

そこで、自然共生研究センターでは、河川 CIM におけるデータ運用を、データをアーカイブし管理する部分と、実際の施工現場での運用である部分とに分け、相互のやり取りを想定した取り決めを提案している（図 4）。

4.1 データ管理

まずデータ管理については、グリーンレーザ等による広域的な点群測量と各々の現場単位で行われている測量成果について、データの範囲や解像度、種別に応じて国土地理院と河川管理者等が分担・管理し、網羅的にデータベース化されている状況となることを想定する。ここでの課題は次章で述べるが、すでに独自に点群データをアーカイブ化し、公開している自治体もある。施工現場での運用の第一段階となる①測量については、基本的には前述のデータベースから参照できることを想定するが、不足がある場合は必要に応じて測量を実施する。②一次検討では、2 次元水理計算ソフトウェア（iRIC ソフトウェア²⁾ など）を用いた治水・環境の検討を行う。③詳細検討では、ワンドや細流などの設計や、景観設計などを行う。ここではゲームエンジン（Unreal Engine 等）を活用し地形を仮想空間上に投影することで、人間の視点や感じ方を加味した設計ができるようになる。得られた詳細検討地形を 3D CAD ソフトウェア（Autodesk 社 Civil3D 等）を用いて LandXML など ICT 施工に必要なデータ形式に変換し、ICT 建機によって施工する（④施工段階）。完成した新たな地形を⑤維持管理段階でデータベースの更新を行い、3 次元管内図などにより活用する。一次検討段階の計算ソフトや景観設計、詳細設計に用いるソフトについては、ここに挙げているなかにも無料や非常に安価に利用できるものが増えている。一般的に使用できる形でデータをやり取りすることにより、多様なソフトウェアの活用など、汎用性の高いものとなるよう検

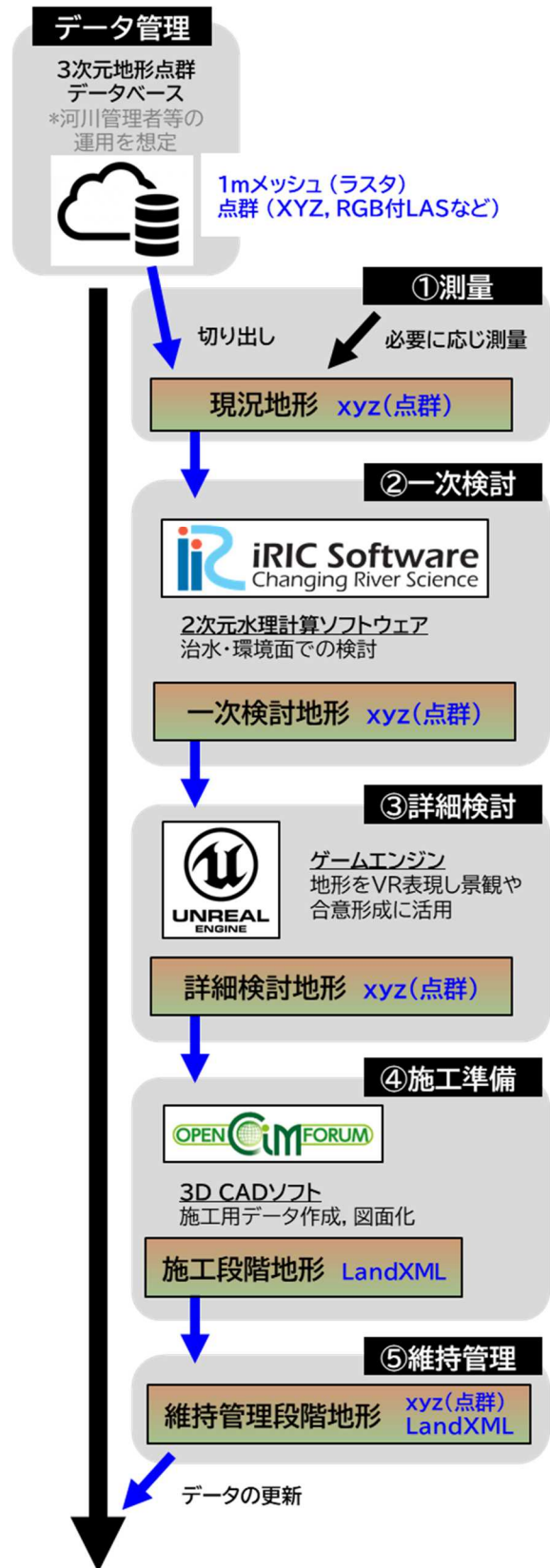


図 4 事業規模に応じた効果的・効率的な河道計画・設計プロセス

討を進めている。

4.2 現地測量

現況地形の測量は、直轄河川においてはグリーンレーザによる測量^{8),9)}が一般的となっており、透明度が高く全川にわたってグリーンレーザで測深できる場合はあまり問題がない。濁りや水深の問題などでグリーンレーザが使用できない、あるいは部分的にしか使用できない場合は、音響測深や実測による補測が必要であり、コストの上昇やデータの統合の最適化などの問題を検討する必要がある。実測の場合はそもそもデータが3次元的でない、という問題がある。運用するデータとしては、目的によって異なってくるが、1mグリッドのDEM(数値標高モデル)で整備すれば利用目的のかなりの部分をカバーできると考えており、本省のマニュアル(p.3-17)⁹⁾も1mを標準としている。活用するデータとしてはXYZの点群データが中心となる。

4.3 一次検討

一次検討は、治水事業で言えば、計画流量から一次計画断面を設定する段階となる。3次元設計の考え方としては大きく2つあり、ひとつは「従来の図面を用いた2次元設計の手法を活かし、結果として3次元設計となる手法」、もうひとつは「3次元のまま設計する手法」である。前者は、これまでの設計技術の経験が生かせる方法で、後者は新しいタイプの設計技術や経験が必要と考えられる。土研では前者としてRiTERXsec⁷⁾、後者として国総研と協力しながらRiTER 3D、九州技術と連携しながらRiTER VRの開発を行っている。ここではまずiRICソフトウェアをベースとしたRiTER Xsecを紹介する。RiTER VRについては、4.4 詳細検討の項で紹介する。iRICソフトウェア²⁾は無料で高性能な2次元水理河床変動計算ソフトウェアとして広く活用されているが、基本的に現象再現のためのソフトウェアであり、実務的に河道設計に用いるためには、いくらか改良が必要であった。そこで、土研では、iRIC研究会と連携し、本ソフトウェア上での地形編集機能(RiTER Xsec)を開発し、より実践的に河道設計に活用できるように改良した。先ほどの「従来の図面を用いた2次元設計の手法を活かし、結果として3次元設計となる手法」をコンセプトに、横断面形成の操作性の改善、官民境界の旗揚げ、既存の図面の重ね合わせ機能、データコンバート機能、DEMから任意間隔で断面図を切り出す機能などの追加を行った。横断面図の改良が平面図と連動するため分かりやすく、これまでの図面に

よる設計の感覚で川を設計することにより、結果として3次元設計を行うのがRiTERXsecの特長である。これらはすでにiRICソフトウェアに実装されており、ソフトウェアをダウンロードすることで利用可能である。河川環境への影響を一次検討段階でチェックするツールとして土研ではEvaTRiP⁷⁾をiRICソフトウェアのソルバ(解析機能)として開発している。主に改良復旧などの中小河川の災害復旧工事による影響を簡易に評価するツールであり、特定の魚種の生息場の変化や、瀬や淵の位置や面積の変化等をiRICソフトウェアの水理・河床変動計算ソルバなどと組み合わせて評価する。土研では災害復旧時には、これらの機能を活用して、図-1に示すプロセスで、3次元的に複雑な本来の河川地形をベースとして治水・環境面から問題のない川づくりが出来ることを目指している^{1),4),5)}。

4.4 詳細検討

一次検討で治水と環境の両面からチェックした河道に、さらにワンドや細流、あるいは水際などのディテールや周辺も含めた景観設計を行うのが詳細検討段階である。詳細検討段階はすべての河川設計に行うものとは考えていない。河川の重要度などによっては実施せずに、一次検討から施工段階に行く場合もあるであろう。ただし、その場合にこれまで“現場合わせ”として、実施してきたワンドや瀬淵の創出、寄せ石などの工夫を3次元の図面にどう反映させるか、完成検査はどうするかなど、実務的には制度設計上の工夫がさらに必要である。詳細検討については、九州技術事務所を中心に土研とも連携しながらRiTER VRの開発を行っている。これはゲームのソフトウェアに用いられるゲームエンジンであるUnreal engineを河川の設計に用いようとするもので、前節で作成された3次元データを読み込み、その表面に様々な素材のテクスチャーなどを張り込むことにより、比較的簡易にリアリティの有る仮想現実(VR:Virtual Reality)空間を作成できるものである。VR空間化することのメリットは、単に施工後の地形や景観が分かりやすくなるということだけではない。VRヘッドセットを用いれば、その場に立ったときの奥行き感、高さ感、景色の移り変わりといった、図面だけでは困難だった部分までも認識を共有でき、地域住民などの利害関係者や有識者等との合意形成の場面では強力なツールになりうる。このソフトウェアには、粘土模型のような直感的な操作で、盛土・掘削も行う機能が備わっており(具体イメージは参考資料¹⁰⁾の動画参照)、VRヘッドセットをつけた複数人が同時にしながら地形を変えて合意形成といったことも可能

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

である。既存データを読み込み背後の地形や画像を活用することで、さらに広域の景観設計に活用することも出来る。この詳細段階では、川づくりの設計者のニーズを満たし、施工に直接データ移行ができる VR ソフトの早急な開発が望まれる。

上述した様に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を構築しつつある。その結果、周辺環境に配慮したきめ細やかな地形編集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) 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
- 5) 多自然川づくりポイントブックⅢ、日本河川協会、2011
- 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) 河川管理用三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
- 10) YouTube : <https://youtu.be/mjr7sXTRAcw>