

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 大槻 英治

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・生息場等に着眼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 2 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・生息場等に着眼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 2 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。河岸空間の広がりや表現した 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。令和2年度は利根川水系における各渉禽類の季節性を加味し、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再解析を実施した。その結果、秋渡り期に多種のサギ類の出現地点数が明確に増加するなど、各渉禽類種によって河川の利用頻度が季節的に変化することが明らかになった。また、各季節によって渉禽類の出現に必要な環境は変化しており、河川域における渉禽類の保全には、季節性を踏まえて検討することの重要性が示唆された。さらに実河川（那珂川水系那珂川）における水鳥類を対象とした現地調査に着手し、ワンド、砂礫地といった河川環境と周辺の水田において水鳥類の利用状況を季節的な比較を進めた。

(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。

陸域では、令和2年度は、航空レーザ測量等から取得することが可能な、3次元点群データ等を用いた樹木体積の推定技術の開発を、国土交通省中国地方整備局浜田河川国道事務所と連携し、日本海に面する高津川水系高津川（直轄管理区間）において実施した。この技術開発は、維持管理の視点からみた最適な河道内の植生管理に不可欠となる植生（特に、樹木）繁茂状況のモニタリング技術であり、また、効率的な河道管理を実現するための中核的な技術でもある。現地調査と、試験伐採から取得した現地データを用いて、航空レーザ測量等による樹木体積の推定法を構築した上で、その実装性を確認した。当該手法は、適用例が限られるため、さらなる検証は必要であるものの、その有用性が認められた。

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。令和 2 年度は、産卵床における生卵率と産卵環境との関係について分析するとともに、サケ産卵床として重要な砂州微地形の形成過程を明らかにするために、数値実験による単列砂州地形の変化過程を把握確認し、実際の河道微地形との類似点などについて、考察を行った。

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。令和 2 年度は、新たな河川環境評価ツール (EvaTRiP Pro) 開発とともに本研究成果のとりまとめを行った。

(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。

陸域においては、前年度までに、河川中流域 (扇状地河川、セグメント 1) の砂礫河原において、洪水営力を活用することで砂礫地から草地等への植生遷移の緩和が期待できる河道掘削法を提案した。これに加えて、河川中下流域 (自然堤防帯河川、セグメント 2) の高水敷における樹林化についても、同様に、治水、環境上の大きな課題であり、植生遷移の緩和に資する河道掘削法が求められている。そこで、令和 2 年度においては、河川中下流域 (セグメント 2) を対象に、先行研究と施工事例に基づき、掘削方法ごとの土砂堆積と植物繁茂の特徴を

明確化するとともに、掘削断面の持続性が期待できる河道掘削の実現に向けた断面設計フローを整理した。

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。令和元年度は、事業規模に応じた効果的・効率的な河道計画・設計プロセスについて概説した。令和2年度は、仮想空間（VR）を用いた景観評価手法の構築に向けた取り組みを行った。

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

Research Period : FY2016-2021

Program Leader : Director of Water Environment Research Group
OTSUKI Eiji

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. In “good landscape/natural environment,” “high availability from social environment around the river.” evaluation axes, We did a case study to become the index at one river and a good model to distinguish a waterside base of the present situation was provided. 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. As a result, the environment required for the occurrence of waders changed with each season, and the importance of the surrounding environment such as rice paddies was significant for many species. This suggests the necessity of considering the seasonality and the arrangement of the surrounding environment for the conservation of wading birds in river areas.

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 Tedoru 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. In FY2020, we developed a method for estimating tree volume using 3D point cloud that can be obtained from airborne laser profiling in the Takatsu River facing the Sea of Japan.

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. By FY2020, We organized characteristics of sediment accumulation and plant growth in the middle and lower reaches of the river (Segment 2) based on previous studies and excavation projects, and compiled a design procedure of a cross-section that can be expected to sustain the excavated form for a long time.

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 2 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、利根川水系における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その季節性を考慮し、解析を行った。さらに実河川の野外調査に基づき堤内外の環境を踏まえた水鳥類の生息場評価を行った。

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 2 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。令和 2 年度は、評価指標の絞り込みを行った。

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-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-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-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-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	× (事業後に一部区間で指定)	×	×	×	×	×	×	×	×
	自然環境関連法令の重要地域	×	×	×	×	○ (特別名勝)	×	×	×	×
その他特徴的な景観・自然環境	旧河道の河畔林が市街地内に残存 湧水が水源で水質が良い 在来の動植物による良好な自然環境を形成	城下町の風情 (商家屋敷) 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樹林 水際のヤナギ、ヨシ群落が自然土壌を形成 かつて柔らかな印象	アシが生い茂る河原 信夫山、弁天山を眺望 かつて福島河岸があり、隣接する蔵に米を運んでいた	台地を刻んだ谷戸 台地崖線の斜面林 農地、農家の門 (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	清冽な水質 伊弉山を眺望	山並みが河川に映える 良好な河岸緑地 原爆被災した石積み水割 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 堀割の水路や石積み護岸 青野山を眺望	大甲橋からの眺望 (川面に映る橋) 木の緑と遠景の立木 「森の都」とを象徴する本城の外堀として機能していた 石積み護岸 火山灰が流下
重点箇所	①市街地 (人口集中地区; DID 地区)	○	○	△ (一部区間)	○	△ (一部区間)	×	×	○	○
	①市街地周辺部 (市街地から 5km 以内)	○	○	○	○	○	×	○	○	○
	②学校・公園・病院等の公共施設が存在 (1km 以内)	○ (小学校、公園等)	○ (小学校、病院、市役所等)	○ (病院、市役所、駅等)	○ (小学校、県庁等)	○ (小学校、公園等)	○ (小学校等)	○ (小学校、公園等)	○ (公園等)	○ (小学校、病院、駅等)
②史跡・歴史的記念物等が存在 (1km 以内)	×	○ (県有形文化財、城址等)	○ (県有形文化財)	○ (城址、御倉邸)	×	○ (国特別史跡等)	×	○ (世界遺産、国史跡等)	○ (国史跡等)	○ (市有形文化財)
川と地域の関わり	河道改修により直線化・コンクリート化 柵があり近寄りづらい 急速な市街地から旧河道の自然を保全 (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から旧河道の自然を保全 (まちづくり計画)	ボートや釣り等市民と川のつながりが容易 隣接する医療施設がリハビリ等で河川利用 川とふれあう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づく利用が困難	河道改修により矢張り護岸の直線化 水際に近づかず日常生活に少な 斜面林保全制度 (市) 川を軸としたまちづくり計画	地域住民の生活との関わりが容易 川の整備と並行して史跡の発掘及び復元 (県)、公園化事業 (市)	土地区画整理事業、公園整備構想 (町)	戦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広い 近づくにつれて歩道を歩く人少ない 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 水際に近づかず日常生活に少ない 川幅が狭く治水上のネック箇所 市街地に親しまれる 都市景観保存地区に指定 (町条例)
ポテンシャル	河岸に利用可能なスペースがある	○ (高水敷: 祭り等で利用)	○ (高水敷)	○ (鏡川原、高水敷)				○ (高水敷)	○ (高水敷)	
	沿川に取り込める敷地 (公園、緑地等) がある	○ (旧河道、河畔林)			○ (斜面林)	○ (史跡公園)		○ (公園整備予定箇所)		○ (観光施設)

慮されたものについて、表-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-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-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-1）。まず、拠点整備に必要な空間スペースがあること（図-1）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りまとめた。

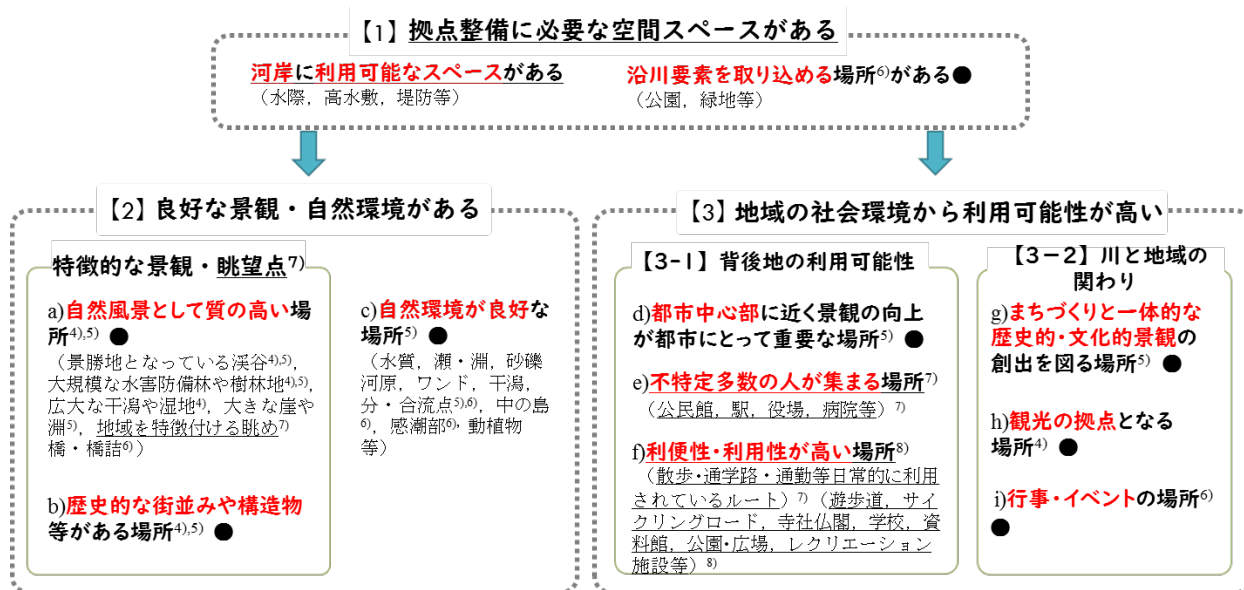


図-1 水辺拠点の抽出に資する評価軸（案）

2.2 水辺拠点の評価指標の検討

2.2.1 整備に必要な空間スペースに係る評価指標

3次元的な広がりを持つ空間のうち、河岸横断面形状に着目し、整備に必要な河岸空間の広がり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-)。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-3に示す。

(2) 結果

各事例におけるW-D関係を図-4に示す。図中の数字はW/Dの算定値である。整備後のW/Dの範囲は6.0~19.3であった。一方、河岸幅が広がられた事例(茂漁川、和泉川、一乗谷川、津和野川)における標準断面のW/Dは1.5~3.2であり、両者の間に河岸空間の利用ポテンシャルを分ける境界があるものと考えられる(図中に記載したW/D=5のライン辺り)。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-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)の対応を整理した。W/Dが大きくなると、管理用通路・散策路に加え緩勾

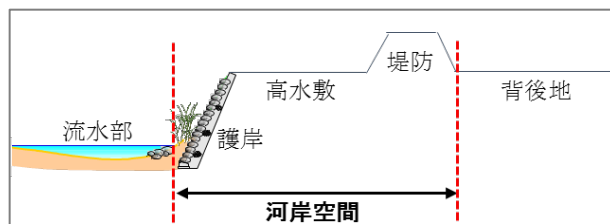


図-2 “河岸空間”の対象範囲

表-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

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。

なお、W/Dが小さい場合、堤内地と一体的な整備(沿川

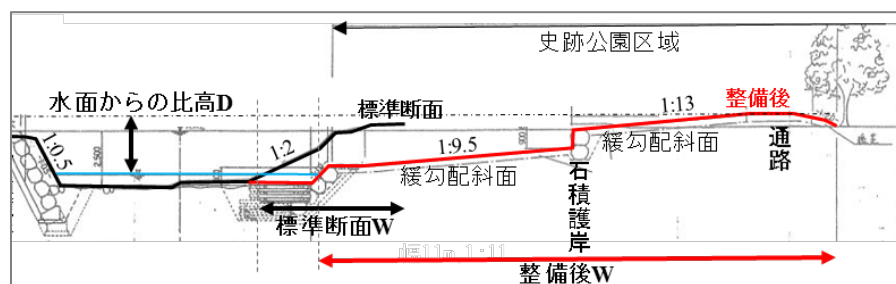


図-3 一乗谷川整備箇所での代表的な横断面図及び写真



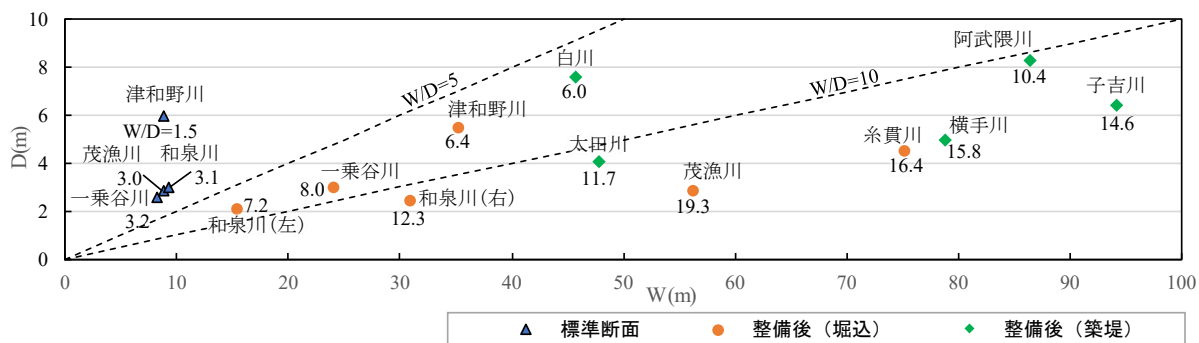


図-4 代表横断面のW-D関係及びW/Dの算定結果

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が大きいう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、データ取得の容易性等を勘案して設定した(図-5)。参照したデータは

表-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: ・ 拠点利用 (風景鑑賞、釣り等) ・ 線利用 (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): ・ 拠点利用 (座る、寝転がる、休む) ・ 線利用 (歩いて上り下りする) 平場(1:10勾配より緩い): ・ 線利用、拠点利用 (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、 ・ 線利用 (自由な動線での移動、散策) ・ 拠点利用 (ピクニック、野草摘み、スポーツ等)

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ったため、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-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WDI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、水辺拠点を含む圏域には該当せず、代表点でのみ該当した。すなわ

【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	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
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)	
【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・市街区区域面積 ・土地利用種別面積	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)
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	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)
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	

図-5 景観・自然環境及び生活環境に係る評価指標候補



図-6 水辺拠点・代表点の位置及び徒歩10分圏

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、「人口総数」、「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。「人口総数」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。

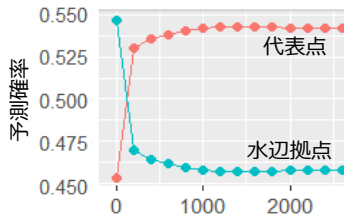


図-7 部分従属プロットの例 (橋からの距離)

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-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-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他河川での適用性を確認する等さらなる検討が必要である。

2.2.3 評価指標の絞り込み

前節で提示した評価指標(案)について、実務への適用を目指し、指標数の絞り込みを行った。

(1) 方法

1) 指標間の相関分析

緑川に加え、那珂川(栃木県・茨城県内を流下する一級河川)を対象河川とした。2.2.2(1)2)と同様にデータセットを作成し、緑川のデータセットも用いて、各指標間の相関性を分析した。

2) 評価指標の適用性検討

1) で相関係数の大きい指標ペアについては、いずれか一方を除外することで指標数を削減した。その上で、那珂川のデータセットを対象に2.2.2(1)3)と同様に解析を行い、評価指標の適用性を検討した。

(2) 結果

1) 指標候補の絞り込み

相関係数が0.7以上(あるいは-0.7以下)を目安として、指標候補の絞り込みを行った。その結果、指標候補の数は88から59となった。相関性が高かった指標ペアは、例えば人口総数-DID 地区面積(緑川:0.76, 那珂川:0.95。DID 地区面積を指標候補から除外)等であった。

2) 評価指標の適用性

59の指標候補を説明変数として、那珂川に整備されている水辺拠点(「川の通信簿」実施箇所8地点を対象)と、レファレンスとして設定した1km毎の距離標地点(代表点:143地点)を、ランダムフォレストにより判別した。その結果、緑川と同様に良好な判別結果が得られた(誤判別率1.3%、AUCは0.980)。

判別への寄与度が大きかった指標については、「橋からの距離」、「公共施設からの距離」、「観光施設からの距離」、「利用者数」、「河川利用施設」、「W/D」等は緑川と共通であった。一方で、「BOD75%値」、「特徴的な鳥類生息場」、「史跡・文化財」等の指標は、那珂川では判別への寄与度は大きくなかった。また、那珂川においてのみ判別への寄与度が大きかった指標は「農用地面積」であった。河川及び地域特性に応じて、判別への寄与度が異なるものと推測される。今後、より多くの河川で適用性を確認し、評価指標-河川・地域特性の対応についても分析する必要がある。

2.3 まとめ

これまでに得られた主要な成果を以下に示す。

- 水辺拠点の抽出に資する評価軸として、「拠点整備に必要な空間スペースがある」、「良好な景観・自然環境がある」、「地域の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。河岸空間の広がりを変現した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緑川・那珂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」、「利用者数」、「公共施設からの距離」、「観光施設からの距離」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。

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-8)。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-8)。千曲川では、1998 年

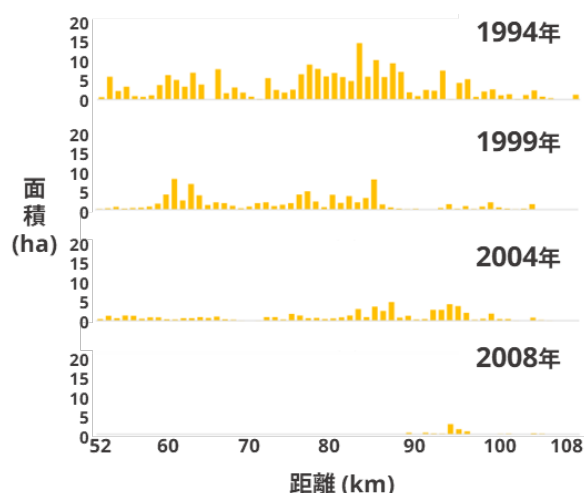


図-8 千曲川(KP52-108km)におけるヨシ群落の変遷

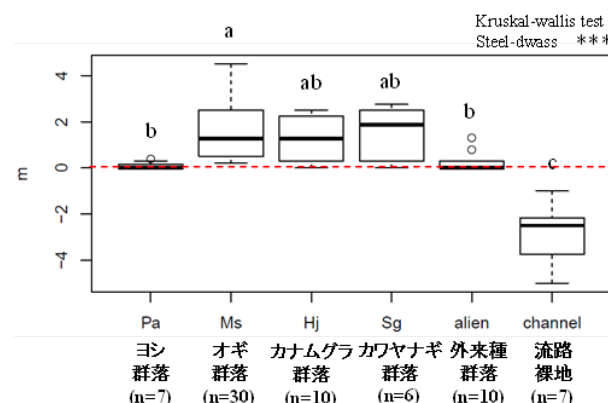


図-9 植生遷移後の地形変化 (ヨシ群落からの遷移、1994年→2008年)

8 月と 1999 年 8 月に 2000 m/s を超える大きな洪水が発生し、調査範囲内の植生の大部分が流失したことが報告されている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-9)。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-9)。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、

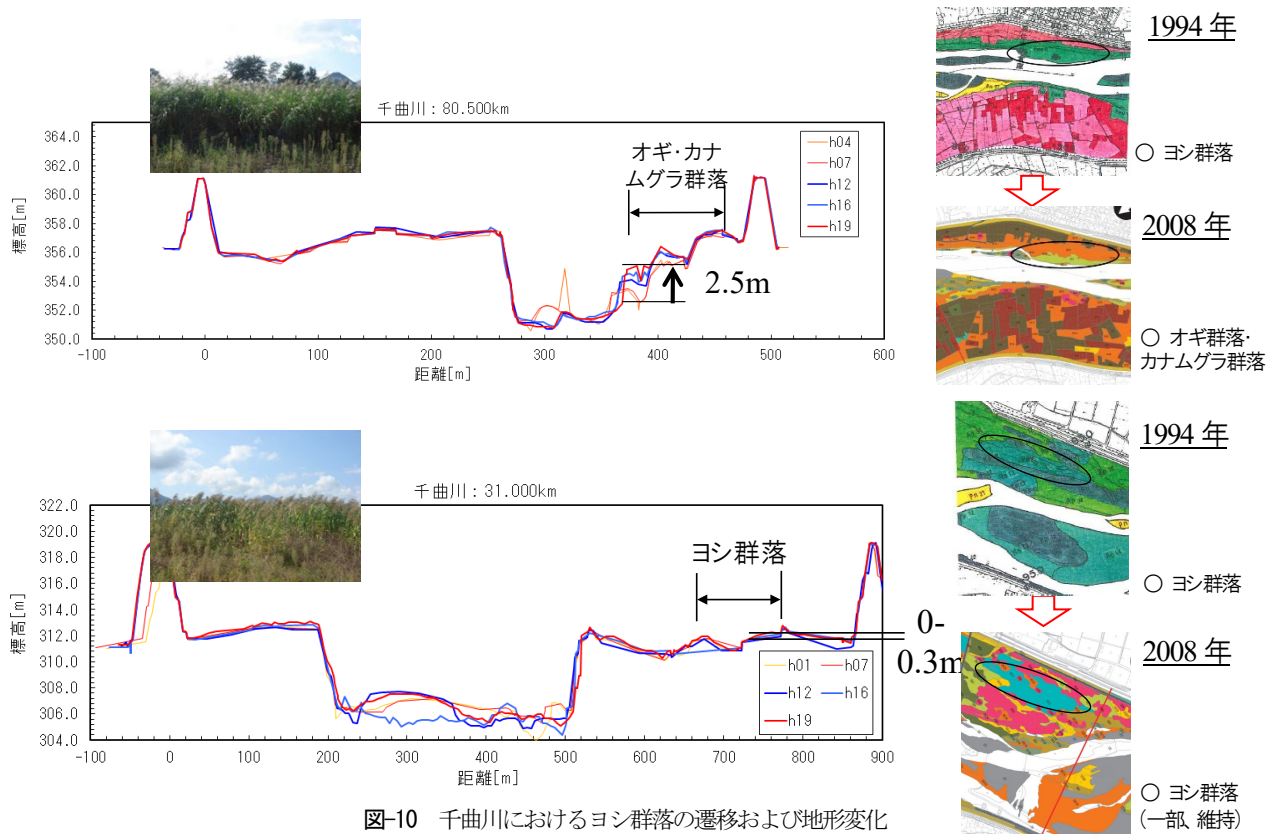


図-10 千曲川におけるヨシ群落の遷移および地形変化

(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)

1.3m程度(中央値)の土砂の堆積がみられた(図-9、図3-10)。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おギが生育していたことが示されている。このため1998年から1999年の大洪水によってヨシ群落が出たのち、高水敷上に土砂が堆積したところでは、土砂による埋没に耐性を持ち、地下茎によって拡大するオギが優占し、洪水前のヨシ群落からお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-9、図-10)。ここでは、地下茎を発達させながら、土砂が厚く堆積した条件のもとで広がるオギが拡大できず、もともと高い被度で生育していたヨシが再生できたものと考えられる。

ヨシ群落は、日本の氾濫原湿地にみられる代表的な植物群落のひとつである。しかしヨシ群落では、近年、河川改

修などの開発や、侵略的外来植物の侵入などによる消失や変質が進行していることが報告されている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の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-9)。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、ヨシ群落を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、今後もヨシ群落を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²⁾に掲載される沈水植物が優占する群落とした。

3.2.3 現地調査

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

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

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

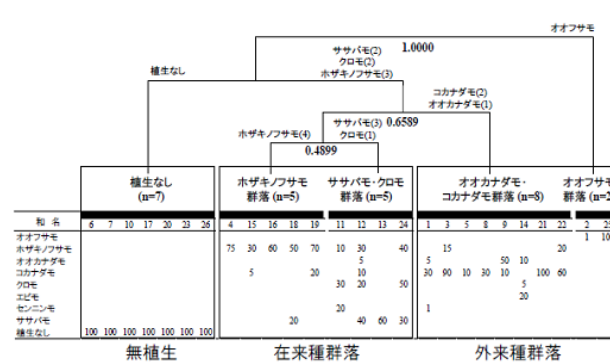


図-11 TWINSpan による沈水植物群落の区分
(デンドログラム中の数字は固有値、種名は指標種を示す)

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-11)。

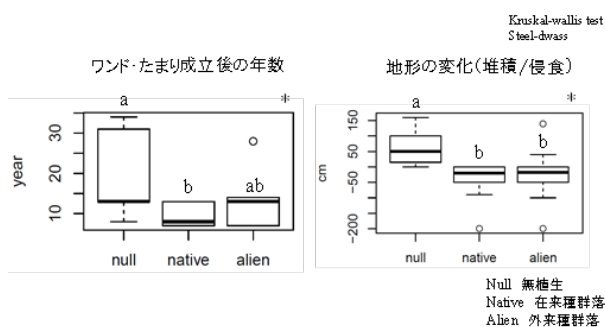


図-12 植生タイプ間の環境条件の比較 (有意な項目のみ表示)

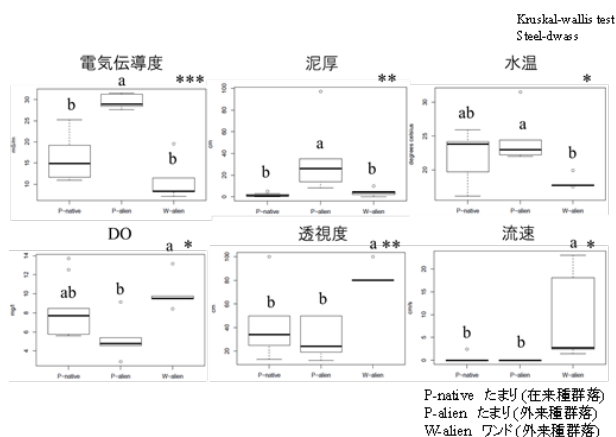


図-13 ワンドとたまりにおける環境条件の比較
(ワンドには外来種群落のみが成立)

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-12)。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-12)。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-12)。

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-

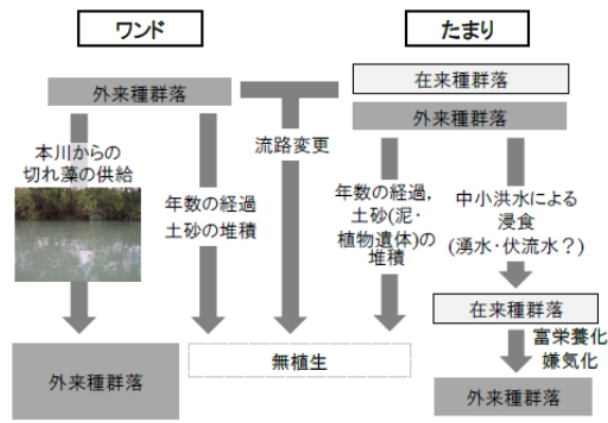


図-14 揖斐川の氾濫原水域における沈水植物群落の変遷 (模式図)

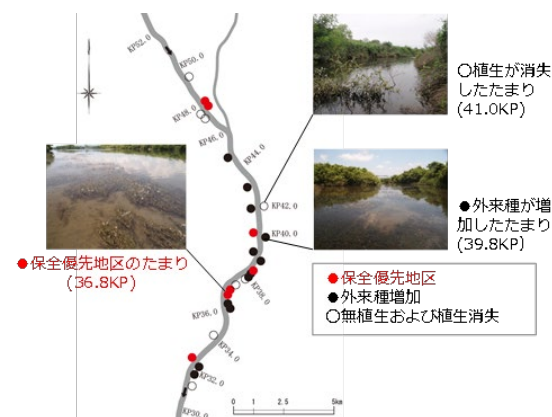


図-15 揖斐川におけるワンド・たまりの分布と保全優先地区

13)。これは本川との接続頻度が高いために、本川の影響が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生したと考えられる。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-13)、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²⁶⁾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-14)。

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-15)。このように、保全対象群落と地形・環境条件との対応関係を解析することで、保全対象群落の成立条件を把握し、保全優先地区(ホットスポット)が抽出可能であることが確認された。

4. 鳥類を対象とした保全優先地区の抽出

河川環境は多種の鳥類種の生息場所となっており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-16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。

- ① 参考文献において以下の記述がある種を抜粋
 - ① 河川・湖沼・湿地に生息
 - ② 河口域に生息
 - ③ 溪流に生息
- ※1 海岸の崖・沖合や海洋に生息する種は除外
- ※2 迷鳥(複数の参考文献で分類されている者)および外来種は除外

② ①で抜粋された種をリスト化
このうち、複数文献で出現した種を抽出⇒「河川性鳥類」と暫定

類型	水禽類	渉禽類	水辺の陸鳥
代表種			
主な利用場所	発達した水かきを持ち、水面に浮いて採餌する	水際(移行帯)や浅瀬を長い脚で歩いて採餌する	基本となる生活の中心は陸域だが、河畔林、ヨシ原、河原等の河川環境も利用する
主な鳥類	カモ科、カモメ科、カイツブリ科、ウ科など	シギ科、チドリ科、サギ科、コウノトリ科、トキ科、クイナ科など	オオタカ、トビなどの猛禽類やオオヨシキリ、セキレイ類など

図-16 河川性鳥類の定義と種類

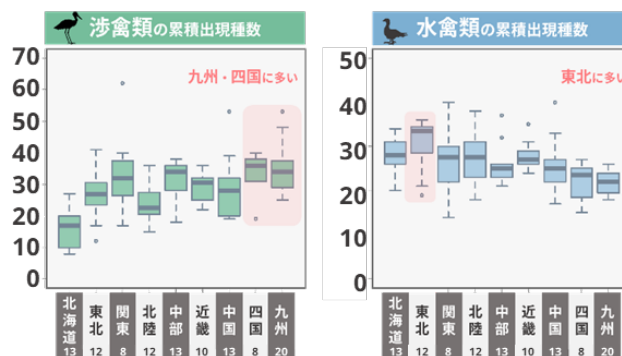


図-17 全国の一級水系における渉禽類と水禽類の地域別出現傾向(各地域下の数字は対象水系数を示す)

4.2 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

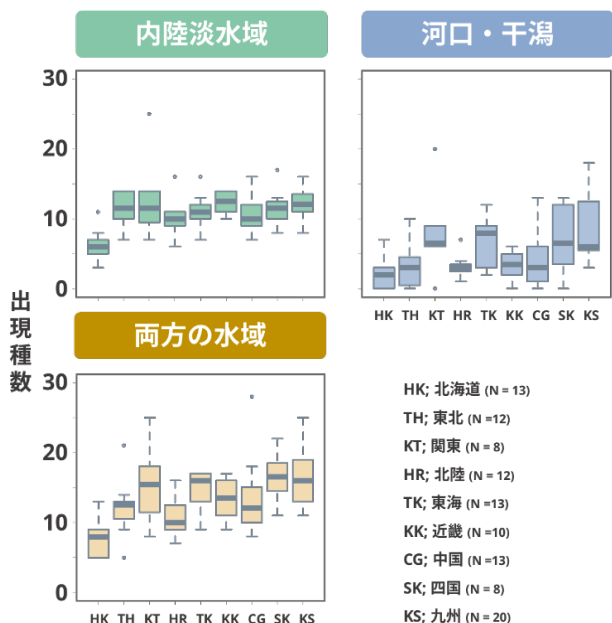


図-18 生息地タイプごとにみた渉禽類の各地域における出現状況

傾向があった(図-17)。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⁾。

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-18)。

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-19)。

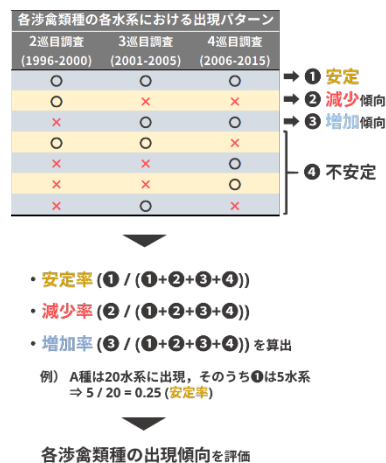


図-19 各渉禽類の出現パターンの類型化と各割合の求め方

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、その危機的な状況

表-4 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	-			○

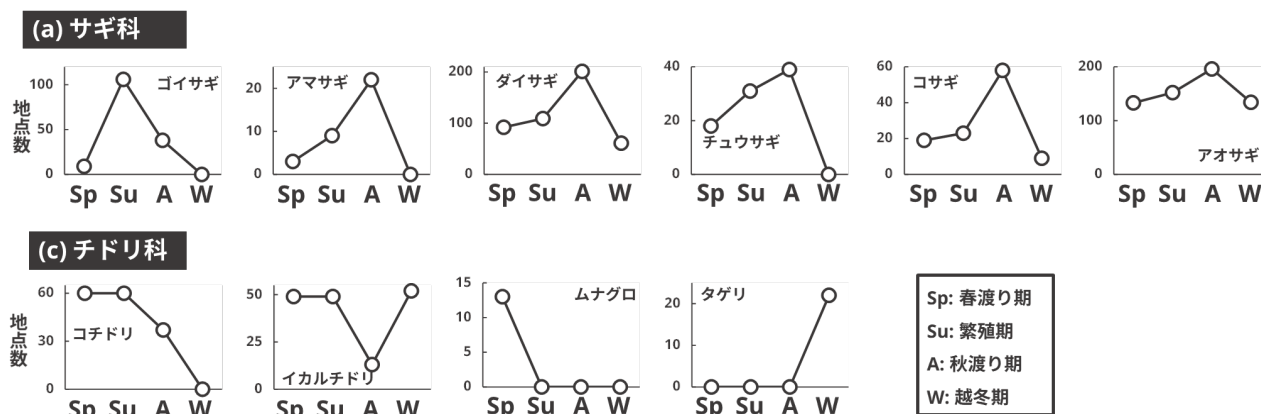


図-20 サギ科とチドリ科の季節ごと出現地点数。

が示唆される (表-4)。

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範囲内にいる鳥類データ) から、各地点の対象種の在不在を抽出した。なお、この調査では、鳥類の春渡り期、繁殖期、秋渡り期、および越冬期の計4期に分けて調査が実施されているため、季節ごとの解析を実施した。

まず、各渉禽類が季節ごとに河川をどのように利用しているか明らかにするため、4期ごとに出現地点数をまとめ、季節変化を調べた。季節ごとに10地点以上で記録された渉禽類に加え、全調査期間で10地点以上記録された渉禽類を含む4科21種を解析対象とした。

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、2.5km (サギ類のみ) 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。4科21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が算出されるため、どの環境要因が渉禽類の在不在に影響しているかを理解しやすい。この解析方法は保全生態学における既往研究でも頻りに用いられている^{45)、46)}。ランダムフォレスト法については500本のCART樹木を構成し、解析した。相対変数重要度により、各渉禽類の在不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 利根川水系における渉禽類の出現地点数の季節変化

調査地では、7科42種の渉禽類が記録されていた。分類群別では、シギ科の19種が最も多く、サギ科8種、チドリ科8種と続いた。その他、クイナ科やミヤコドリ科、セイタカシギ科、ツバメチドリ科が出現した。

解析対象となった渉禽類のうち、本稿ではサギ科とチドリ科の結果に着目する。サギ科とチドリ科の出現地点数の季節変化を示した (図-20)。

ゴイサギを除く5種の出現地点数のピークは、いずれも秋渡り期であった。先行研究では、農閑期に水田よりも河川においてサギ類の個体数が増加し、農繁期でも8月になると水稲の伸長のよってサギ類は田面で採餌しなくなることが観察されている⁴⁷⁾。5種のサギ類 (アマサギ、ダイサギ、チュウサギ、コサギ、アオサギ) にとって、水田の餌場としての価値が低下する時期に、その採餌場所を河川域に依存するようになったことが考えられる。ゴイサギのみ繁殖期にピークがみられた理由については、本種が非繁殖期には夜行性だが、繁殖期になると日中の採餌時間が増大するため⁴⁸⁾、日中の出現地点数が繁殖期に増加したものと考えられる。

チドリ科について、コチドリでは春渡り期と繁殖期に地

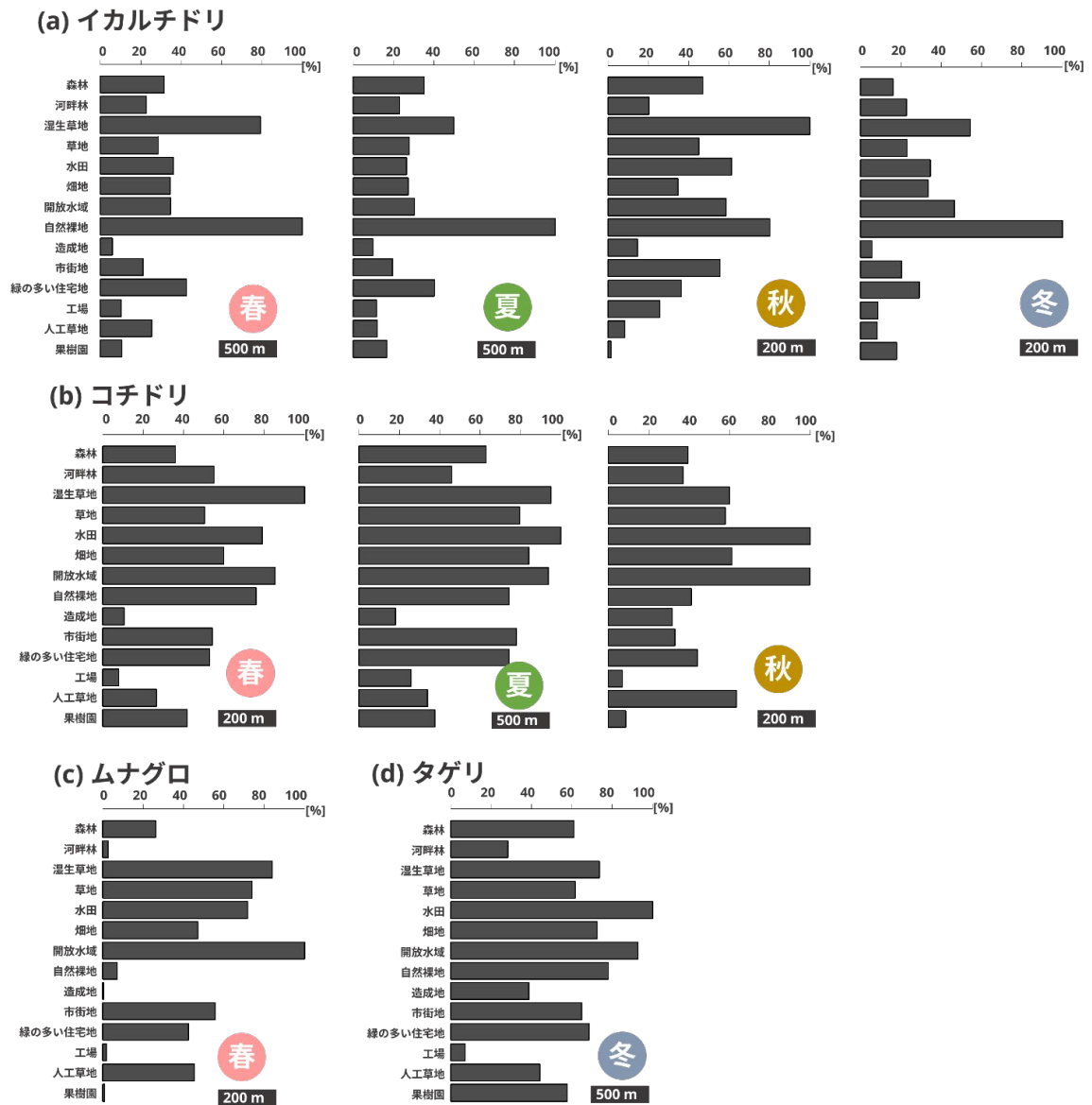


図-21 ランダムフォレストの結果に基づいた利根川水系における季節を考慮したチドリ科各種の出現に重要な堤内外環境。棒グラフは相対変数重要度 [%] を示す。各棒グラフで示されたバッファにおける解析が最も精度が高かった。

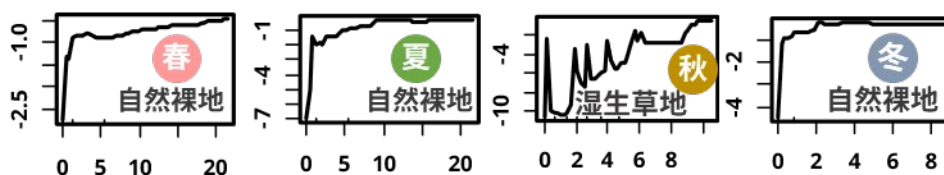
点数が多く、秋渡り期に地点数が半減し、越冬期には観察されなかった。イカルチドリでは秋渡り期に地点数が激減したが、その他の季節はほぼ同程度の地点数であった。ムナグロは春渡り期のみ、タゲリは越冬期のみ出現した。これら4種のチドリ科について、コチドリは夏鳥、イカルチドリは留鳥、ムナグロとタゲリはそれぞれ旅鳥と冬鳥とされる³⁷⁾。留鳥であるイカルチドリは一年の多くの季節において河川をよく利用していることがうかがえる。

4.7 利根川水系における渉禽類の出現に重要な環境

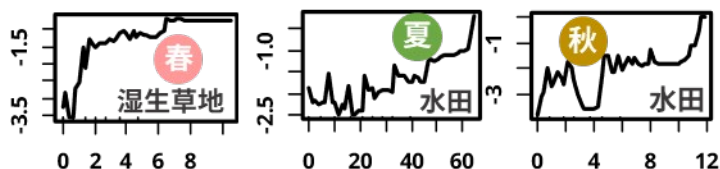
大半の種の出現に関して、周辺農地、特に水田の面積が寄与した（水田依存型）。水田の場合、各種の出現に対して正の寄与を示すことが多かった。その一方で、自然裸地や開放水域、湿生草地といった河川内に形成される環境のみが生息に寄与している種（河川依存型）も存在した。

図-21 はチドリ科4種の季節ごとに実施したランダムフォレストの結果である。各種のバッファについては、最も解析精度の高かった結果を示している。イカルチドリで

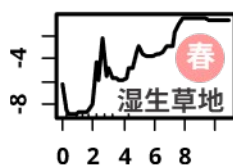
(a) イカルチドリ



(b) コチドリ



(c) ムナグロ



(d) タゲリ

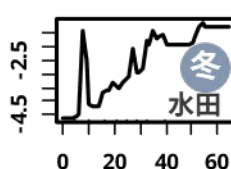


図-22 ランダムフォレストにより最も相対変数重要度が高かった特徴量における各渉禽類種の出現に対する変数従属度の推移。横軸は各特徴量の面積 [ha] を示す。

はどの季節を通じても自然裸地の重要度が高かった。また、秋渡り期には湿生草地の重要度が最も高かった。これらの変数はいずれもイカルチドリの出現に対し正に寄与した。特に春渡り期、繁殖期、冬期について、いずれも自然裸地の面積が 0.5~1.0 ha 程度になると急激に従属度が上昇した (図-22)。その一方でコチドリでは自然裸地の相対変数重要度よりもいずれの時期も開放水域や水田のほうが高かった。これに加え、春渡り期には湿生草地、繁殖期には湿生草地、草地、畑地の重要度も高かった。春渡り期の湿生草地、繁殖期の水田、秋渡り期の水田はコチドリの出現に対し正の寄与を示した (図-22)。春渡り期のムナグロでは、開放水域の相対変数重要度が最も高く、ムナグロの出現に対し正に寄与した (図-22)。越冬期のタゲリでは水田の相対変数重要度が最も高く、タゲリの出現に対し正に寄与した (図-22)。このように各渉禽類種の生息に寄与する環境は種ごとに大きく異なることが示された。コチドリとイカルチドリはどちらも砂礫地に営巣するが、コチドリは水田や畑地といった堤外環境にも大きく依存して分布するのに対し、イカルチドリでは自然裸地の他に秋期に湿生草地の重要度が高い程度であった。そのため、対象河川で

は、イカルチドリがより河川に形成される環境に依存した分布を示すと考えられる。イカルチドリの選択されたバッファは 200 m から 500 m の範囲であった。つまり 12.6 ha から 78.5 ha の面積内に 0.5~1.0 ha 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。またタゲリについても、周辺 (堤内) に水田の存在する地点を好んで分布する可能性が高いと考えられる。

4.8 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

ランダムフォレストによる解析で示されたように、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。チドリ科を例にとると、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-23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



図-23 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。

利根川下流域のように、河川周辺にハス田や湿田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。

4.9 那珂川水系那珂川における堤内外地を踏まえた水鳥類の生息状況調査

水国データの解析結果を踏まえ、2020年の夏期（6月）、秋期（10月）、2021年の冬期（2月）に那珂川水系那珂川の河道内砂礫地および周辺水田において水鳥類（水禽類+渉禽類）を対象とした生息状況調査を実施した。この調査では、那珂川の砂礫地およびワンドと周辺にある水田を対象とし、各調査地で出現した水鳥類を記録した。その結果、水鳥類の出現種数は水田では6月から10月、2月にかけて顕著な減少傾向を示した一方で、砂礫地では6月から10月、2月にかけて増加傾向を示した。調査地の水田地帯では、6月にはサギ類を主とした渉禽類が採餌場所としてよく利用している一方で、乾田化が進行しているため、秋期や冬期の水鳥類にとっての餌場としてのポテンシャル

は低下すると考えられる。その一方で、那珂川の砂礫地は、水田の農閑期における重要な採餌環境として水鳥類の採餌環境となっていることが示唆された。しかしながら、調査地点のワンドではどの季節を通して水鳥がほとんど記録されず、採餌環境として十分に機能していないことが推察された。調査地のワンドの大きな特徴として、陸域から水域の移行帯が少ないこと、またその傾斜も急峻であることが挙げられる。前項で提案した河川における湿地創出に関して、ただ単に湿地を造成するだけでなく、緩やかな移行帯を維持することでより多くの水鳥類（特に渉禽類）の採餌環境を確保できる可能性が高い。本調査については令和3年度も継続して実施する予定である。

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4科21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、季節性を考慮して実施した。さらに、那珂川水系那珂川を検討箇所として、渉禽類をはじめとする水鳥類の生息状況を、堤内外の環境を踏まえ調査した。今後は、那珂川を事例とした継続的な水鳥調査を実施し、その成果を現場に還元することを目指す。また、これまでの研究結果をまとめることで河川域における鳥類保全の指針となるプロトコルを完成させる予定である。

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。

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

- 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) 中島拓、江崎保男、中上喜史、大迫義人: 水田と河川、コウノトリ野生復帰地での餌場の相対的価値: 豊岡盆地に生息するサギ類を指標として、*保全生態学研究* 11、pp.35-42、2006.
- 48) 遠藤菜緒子、佐原雄二: ゴイサギ (*Nycticorax nycticorax*) の繁殖期の日周活動と採餌場の利用、*日本鳥学会誌* 48、pp.183-196、2000.

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2年度は、航空レーザ測量等から取得することが可能な、3次元点群データ等を用いた樹木体積の推定技術の開発を、国土交通省中国地方整備局浜田河川国道事務所と連携し、日本海に面する高津川水系高津川（直轄管理区間）において実施した。この技術開発は、維持管理の視点から見た最適な河道内の植生管理に不可欠となる植生（特に、樹木）繁茂状況のモニタリング技術であり、また、効率的な河道管理を実現するための中核的な技術でもある。現地調査と、試験伐採から取得した現地データを用いて、航空レーザ測量等による樹木体積の推定法を構築した上で、その実装性を確認した。当該手法は、適用例が限られるため、さらなる検証は必要であるものの、その有用性が認められた。

キーワード：航空レーザ測量、航空レーザ測深、LP、ALB、森林資源解析

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

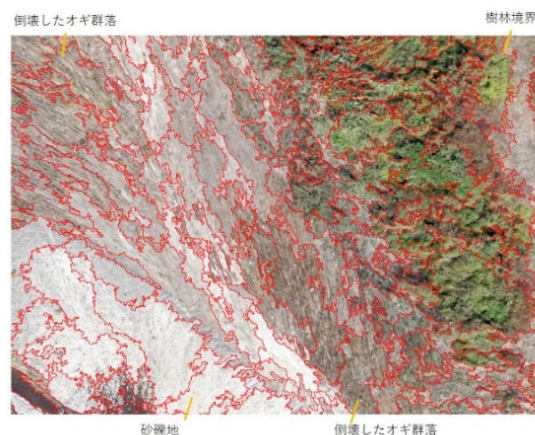


図-1 平成29年度における UAV・AI を用いた植生図の自動作成結果

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。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、人工知能を用いた植生図の一般性の検証を行った。また、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。従来モデルでは河岸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。

令和2年度は、航空レーザ測量等から取得することが可能な、3次元点群データ等を用いた樹木体積の推定技術の開発を、国土交通省中国地方整備局浜田河川国道事務所と連携し、日本海に面する高津川水系高津川（直轄管理区間）において実施した。この技術開発は、維持管理の視点からみた最適な河道内の植生管理に不可欠となる植生（特に、樹木）繁茂状況のモニタリング技術であり、また、効率的な河道管理を実現するための中核的な技術でもある。現地調査と、試験伐採から取得した現地データを用いて、航空レーザ測量等による樹木体積の推定法を構築した上で、その実装性を確認した。当該手法は、適用例に限られるため、さらなる検証は必要であるものの、その有用性が認められた。本報告書では、梯川におけるPCC植生動態モデルの適用事例、また、手取川における改良したPCC植生動態モデルの事例および、UAV・AIを用いた植生図の作成に関する研究結果を示し、その後、令和2年度の成果である3次元点群データ等を用いた樹木体積の推定技術を報告する。

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）。

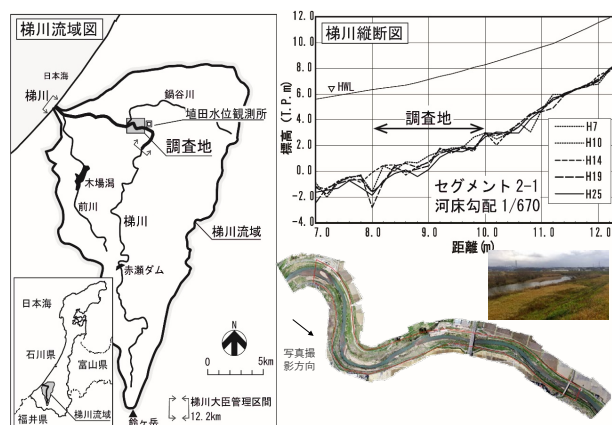


図-2 梯川の概要

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8.1km～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. 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 : 掃流力に基づく遷移確率である。

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 因子に広い選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。

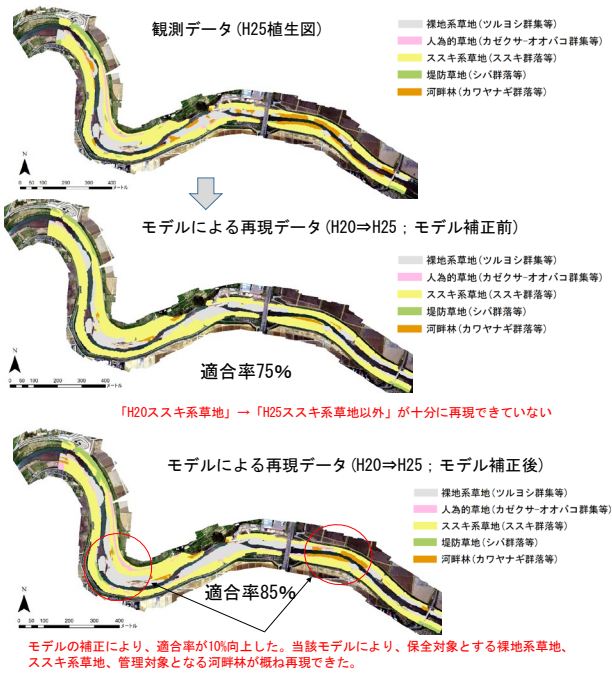


図-3 PCC 遷移二段階評価手法の有効性の検証

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國町付近に至り、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 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

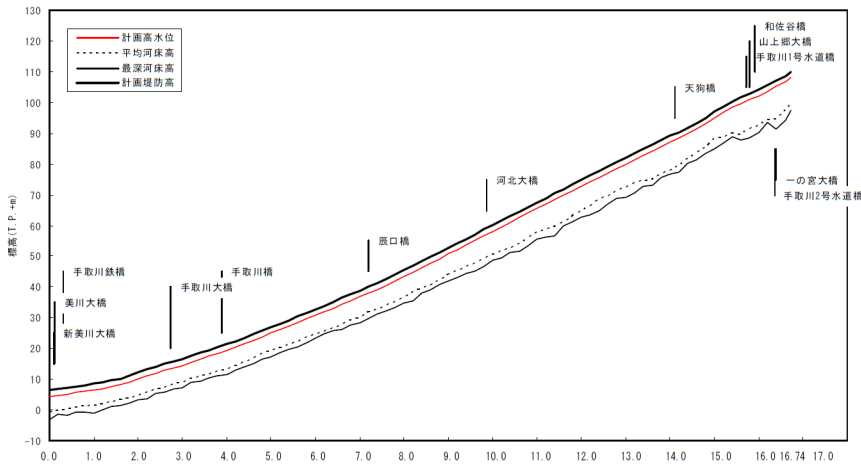


図-4 手取川の縦断面図

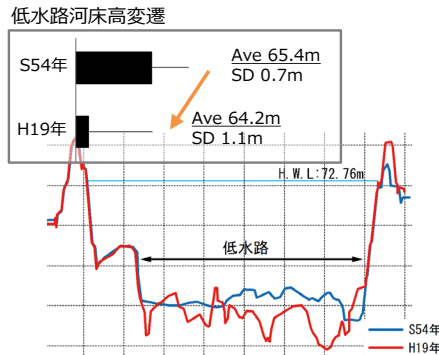


図-5 低水路河床高の経年変化

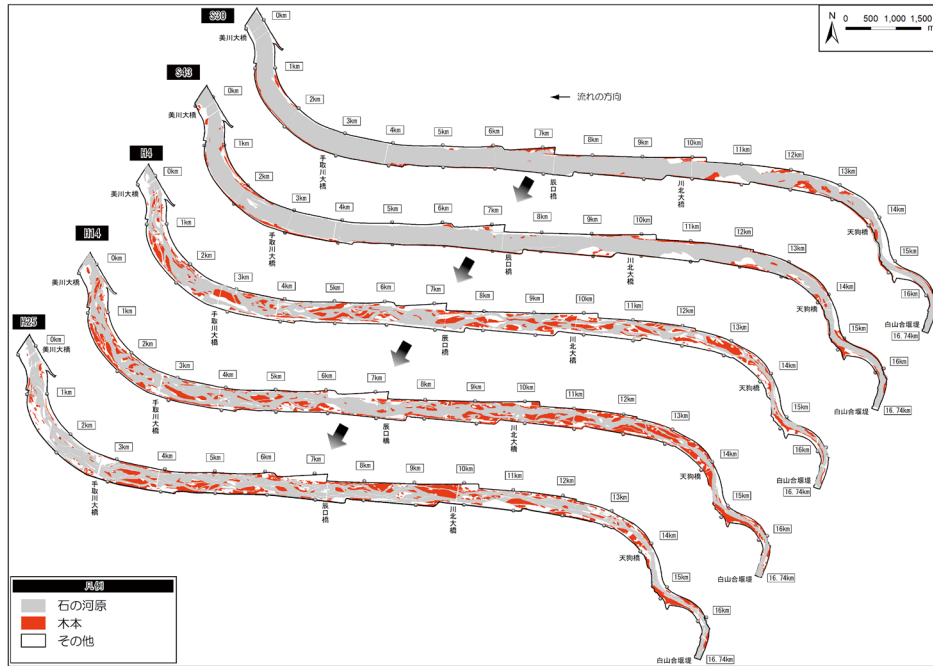


図-6 直轄区間における樹木の繁茂域の変遷

年 (S30)、1968年 (S43)、1992年 (H4)、2002年 (H14)、2013年 (H25) であり、これら5ヵ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地在、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性草地在、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、攪乱性草地、ススキ系草地の混在を表現することができた。

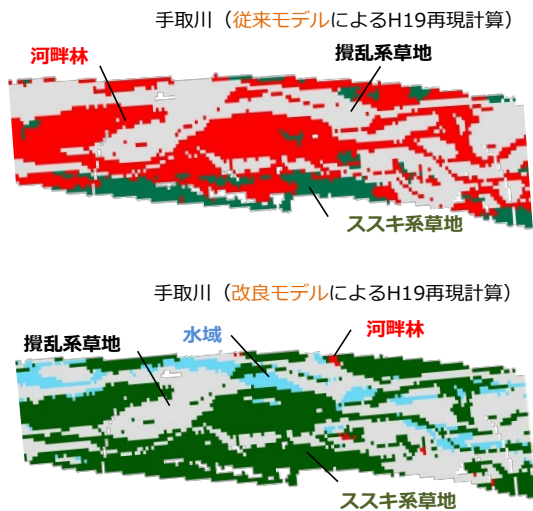


図-7 手取川における植生動態モデルの適用

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。

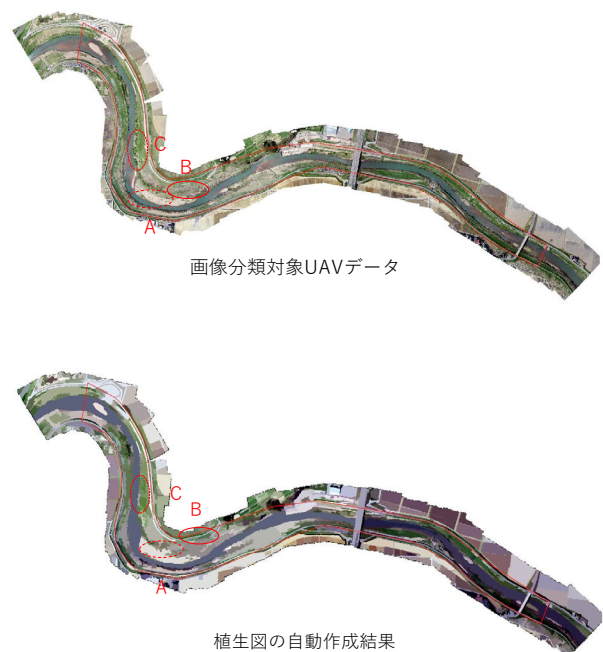


図-8 ISODATA 法画像分類結果の検証

ISODATA 法は、砂礫河原部 (A 部)、ススキ群落部 (B

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

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

7. 航空レーザ測量等から取得される3次元点群データ等を用いた河道内樹木の資源量解析

令和元年度には、原則として点群測量により河川定期縦横断測量を実施することが、事務連絡(国土交通省水管理・国土保全局河川環境課河川保全企画室)として通達された。したがって、今後一層、航空レーザ測量等によって取得される3次元点群データが、全国各地の河川において蓄積されることが期待できる。そもそも、このレーザ測量は、河川地形の把握を本質的な目的としており、計測される陸域一水域を含む地面の標高(DEM: Digital Elevation Model)が河川管理における基礎情報として利用される。他方、そのプロセスにおいて、樹木の高さや、その形状などを捉えることができるデータが生成(例えば、DSM [Digital Surface Model]など)されるものの、その活用が十分に進んでいるとは言い難い。

冒頭に記したように、河川における植生管理は、治水、環境、維持管理において欠かすことのできない重要なテーマである。とりわけ、樹木の繁茂(樹林化)は、河積の阻害による治水機能の低下や、河川性の植物、鳥類、昆虫類の生息適地(例えば、砂礫河原など)の減少にともなう環境機能の低下を引き起こすため、モニタリング技術を確立することは急務と言える。これまでの航空写真の情報に基づく、水域、裸地、草地、樹林地など、それぞれの景観要素の平面的な把握に留まるが、3次元点群データを用いることで、鉛直構造を持つ樹木を立体的に捉え、その体積を求めることが可能なモニタリング技術につながる可能性がある。そこで本研究では、3次元点群データを活用することで樹木体積を推定し、将来的には、伐採にともない拡大する河積や、その費用(運搬費)を概算するための一連の技術の体系化を図る基礎を構築した。

樹木体積の推定技術の開発は、国土交通省中国地方整備局浜田河川国道事務所と連携して実施し、対象地は日本海に面する高津川水系高津川(直轄管理区間)



航空写真



樹木資源量

図-9 高津川における河道内樹木の資源量解析の例

とした。本研究では、航空レーザ測量、現地調査および試験伐採をほぼ同時期に実施し、設定された3区画においてそれらの関係性を分析した。具体的には、航空レーザ測量から計算される空間情報と、現地調査と試験伐採から求まる単位面積あたりの樹木体積(樹木1本ごとの体積から積算)との整理に基づき、それらに良好な関係があることを確認した上で、空間情報から樹木の実体積を推定するための相関式の作成を試みた。また、それを高津川の直轄管理区間に拡張することで、図-9に例示するように実装性が認められた。当該手法は、適用例に限られるため、さらなる検証が必要であるものの、河道内樹木の資源量を推定するスキームとして有用であることを確認した。

参考文献

- 1) 田屋祐樹・榎島みどり・赤松史一・中西哲・三輪準二・萱場祐一: 河道内樹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

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

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：巖倉啓子、野上毅、布川雅典、川村里実

【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2（2020）年度は、令和元年度に引き続き、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分析するとともに、サケ産卵床として重要な砂州微地形の形成過程を明らかにするために、数値実験による単列砂州地形の変化過程を把握確認し、実際の河道微地形との類似点などについて、考察を行った。

キーワード：サケ、豊平川、産卵床、生卵率、間隙水、砂州前縁部、分流路、河床変動計算

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1000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⁾。

一方で、豊平川における産卵床の全体箇所数はサケの遡上数でほぼ決まってくるものであり、副流路での産卵床数の増加は、主流路での産卵床の相対的な減少につながる。豊平川のサケ遡上数はここ数年1000尾程度で一定であり、豊平川における野生魚の数を一層増やすためには産卵した卵の生残率や回帰率を上げることが必要である。

河床材料と浸透流、生残率の関係として、Yamada and Nakamura⁶⁾はサクラムス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。

令和2年度は、令和元年度に引き続き、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考察を行った。またサケ産卵床として重要な砂州微地形の形成過程を明らかにするために、数値実験による単列砂州地形の変化過程を把握確認し、実際の河道微地形との類似点などについて、考察を行った。

2. 産卵床調査

2.1 調査方法

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。

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。

なお調査方法の詳細は、R1(2019)年度に報告しており、ここでは割愛する。

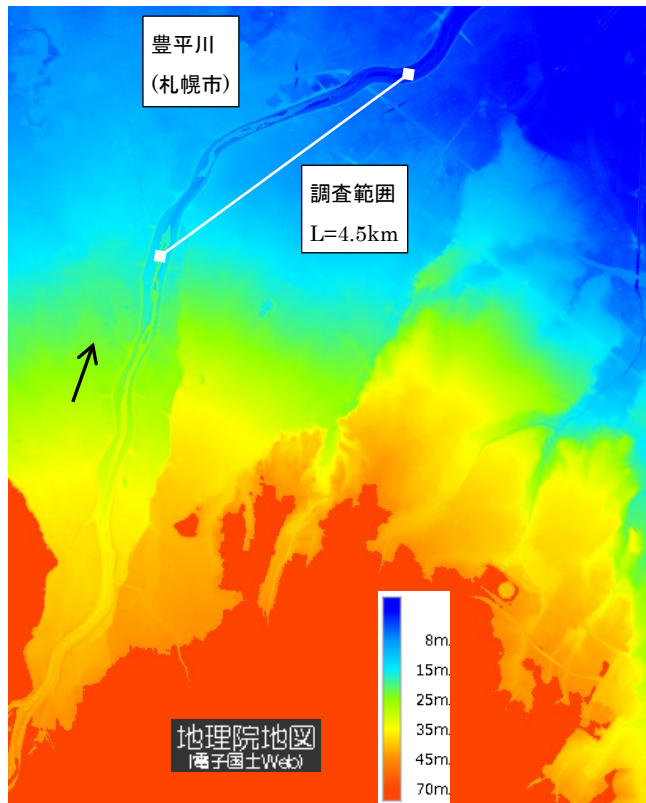


図-1 札幌の扇状地形と調査箇所図

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%

2.2 調査結果

R1(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箇所が生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。

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。

表-2に産卵床地点の水深、流速と産室内の水溫、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31cmで最大が66cm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10cm程度深くなっていた。流速は11月下旬の調査時は最低が0.07m/s最大で0.54m/sであり、調査地点による流速差が0.4m/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。

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

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 であった。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場合が得られた。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。

2.3 生卵率と環境条件

生卵率と環境変量との関係については、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ことを R1 年度に報告している。また浸透流の質と産卵床数との関連については、石狩川上流を対象に前中長期の研究課題で H27 に報告されている⁹⁾。

R2 年度は、それらの考察を踏まえた上で、代表的な環境変量およびハビタット毎の条件別の特徴を補足するものである。

前述した表-1, 2 のデータを用いて間隙水温とサケの生卵数、死卵数の頻度分布について図-2 に示した。水温については産室近傍に設置したロガーで計測した連続データの内 12 月の平均値を用いた。表流水の平均水温は 2.7 度であった。表流水の水温より 0~2 度高い地点での調査標本が標本全体の 8 割だった。間隙水温で、5 度つまり表流水より 2 度程度高い地点で生卵数が若干低めであったものの明確な傾向はみられないことがわかる。

溶存酸素量(DO)とサケの生卵数、死卵数について図-3 に示した。DO が 7 mg/l 以上の調査標本が標本全体の 9 割だった。残り 1 割は DO が 6 mg/l 未満で生卵

率が 12%と低かった。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）基準値が 5 mg/l とその値に近いことと整合する。

浸透路長が長く、滞留時間の長い浸透流ほど、河床間隙の代謝活動による消費で溶存酸素は少なくなり、また水温は地温に近くなる^{9,10}。それゆえ、各調査地点の表流水、浸透流（伏流水、地下水）が混ざりあった割合によって水質成分は異なり、水文条件の変動にも左右されるなど、複雑な条件下の環境条件によって生卵率が左右されると考えられる。特に豊平川の本調査地は扇状地の扇端部であるため、様々な浸透路長の浸透流が混在している可能性がある。

次にハビタット区分毎に間隙水温、溶存酸素量

(DO)とサケの生卵率について図-4 に示した。元データは図-2,3 と同一である。横軸に間隙水温、縦軸にDOを示し、また円の大きさは卵数（生卵数(左)、死卵数(右)）を、円の色は、ハビタット区分別としている。区分として、たまりは JR 橋上流の alcove、分流は水穂大橋下流の分流である。また、本流（前縁）は、砂州前縁線に沿う前縁部であり、例えば図-5,6 で示すように平水時に対岸へと向かう流れがぶつかる淵頭を指している（以下、同様）。

ハビタット別の生卵率を比較すると、分流部>前縁部>本川>たまりの順で生卵率が高かった。また、たまりのうち DO の低い地点で産卵期の生卵率が低い地点がみられた。

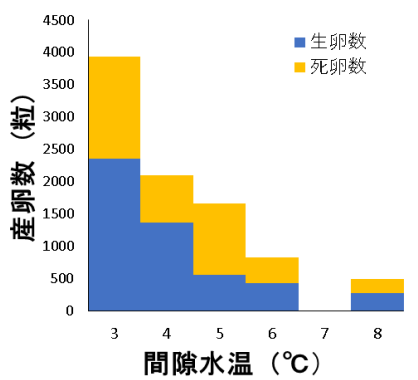


図-2 間隙水温とサケの生卵率
河川表流水の水温 2.7 度 (12 月平均)

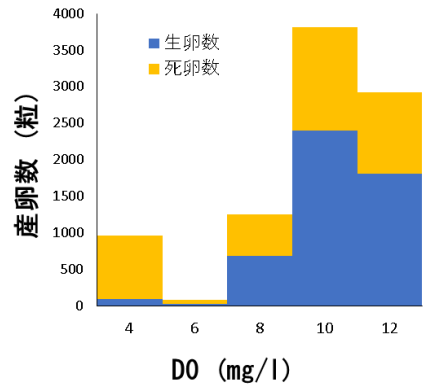


図-3 溶存酸素量(DO)とサケの生卵率
河川表流水の DO 12.3 mg/l (12 月平均)

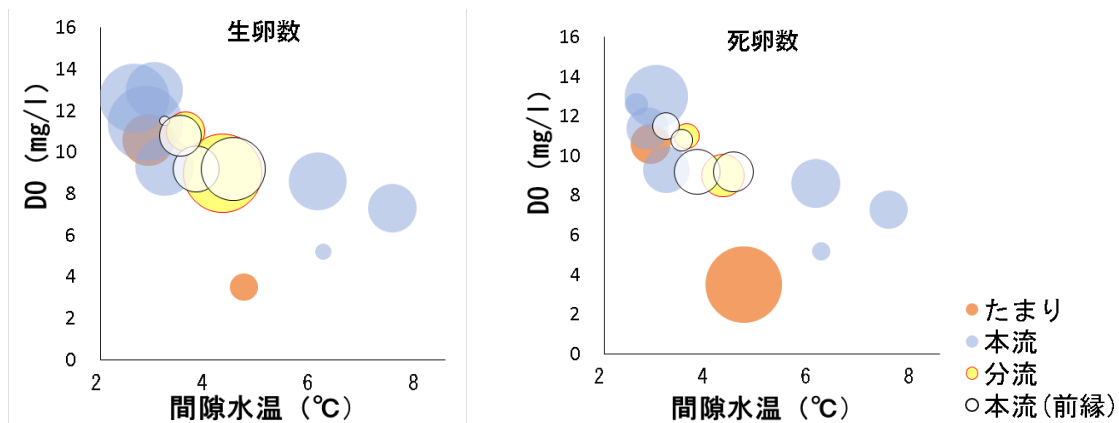


図-4 溶存酸素量(DO)とサケの生卵率
河川表流水の水温 2.7 度 (12 月平均)

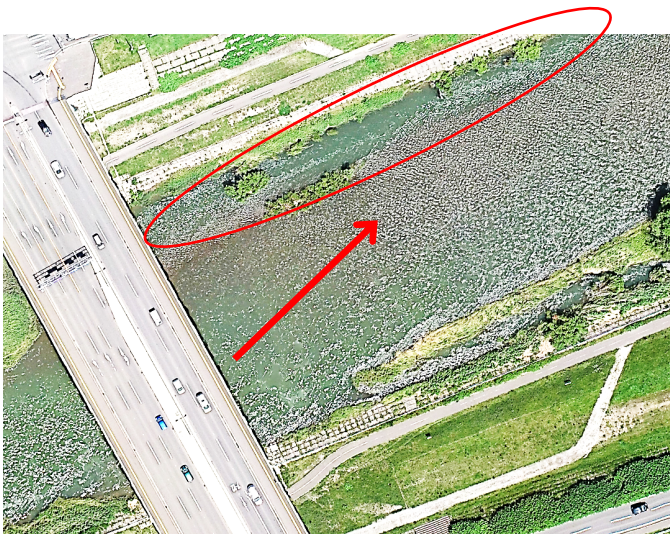


図-5 砂州前縁部（豊平川東橋下流、2018年）

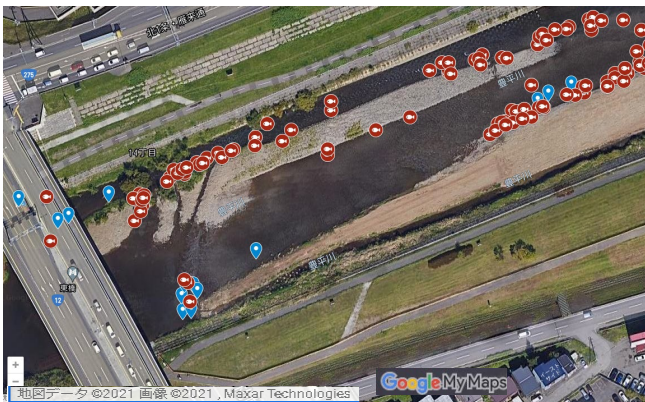


図-6 2020年度産卵床箇所（サケ科学館HP）東橋
（赤はサケ産卵床、青はサクラマス産卵床）

3. 数値計算による河道微地形変化の把握

3.1 計算条件

サケ産卵床として重要な砂州微地形の特徴的な場として、alcove 状地形や砂州前縁部（淵頭）など、河床の高低差が見られ、伏流水の多い場所などがあげられる⁹⁾。河道微地形の形成過程を明らかにするために数値実験による変化過程を把握確認し、実際の河道微地形との類似点などについて、対比考察を行った。

数値実験の初期条件は、H28(2016)年度報告と同じ計算条件(表-1)を用い、200h まで流量ハイドロも同

一である。

実験では、単列砂州を形成させ、その後、小流量へと減水したときの河床の変化を確認した。

表-1 計算条件一覧表

項目	設定内容
解析モデル	iRIC Ver3.0
計算区間	75m×5000m 直線水路
勾配	1/200
計算格子	5m×5m
粗度係数	0.030
樹木	樹木なし
起算水位	等流水位
河床材料	均一粒径(50mm)
上流端境界	動的平衡
初期流量	568m ³ /s
初期形成形状	単列砂州

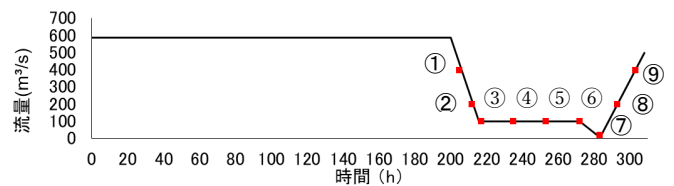


図-7 計算流量（実験その1）

3.2 数値実験

流量ハイドロは図-7 に示すが、まず単列砂州形状を形成させ、減水、小流量による河床の変化過程の確認を行った。

図-8 は、図-7 の①～⑨に対応する流速分布を示す。また図-9 は、その時の河床高の変化過程である。

586m³/sの流量を200h流すことで形成された単列砂州の河床から、減水する過程で200m³/s時(①→②)には流速の大きい主流部が蛇行した流れとなっている。100m³/s時の初期(③)に砂州前縁部に向かい扇状の流れだったものが徐々に2列の谷に挟まれる斜め方向の尾根が水面下に形成され2つに分流される(図-7、図-8の③→⑥)。20m³/s時(⑦)には主流部だった流れの部分が蛇行した滞筋となり、水面下に形成された斜め方向の尾根の起伏が、水面上の浮州となる。また100 m³/s時に見られた側壁に沿う形の分流とそれに伴う浮州は見られなくなる。

次に流量を $20\text{m}^3/\text{s}$ から $500\text{m}^3/\text{s}$ へと増加させる過程では、 $300\text{m}^3/\text{s}$ 前後(⑧→⑨)から下流方向への交互砂州の移動が始まり $400\text{m}^3/\text{s}$ 時(⑨)には浮州部分が縮小

し、初期(①)の単列砂州の形状に戻ることが確認できた。

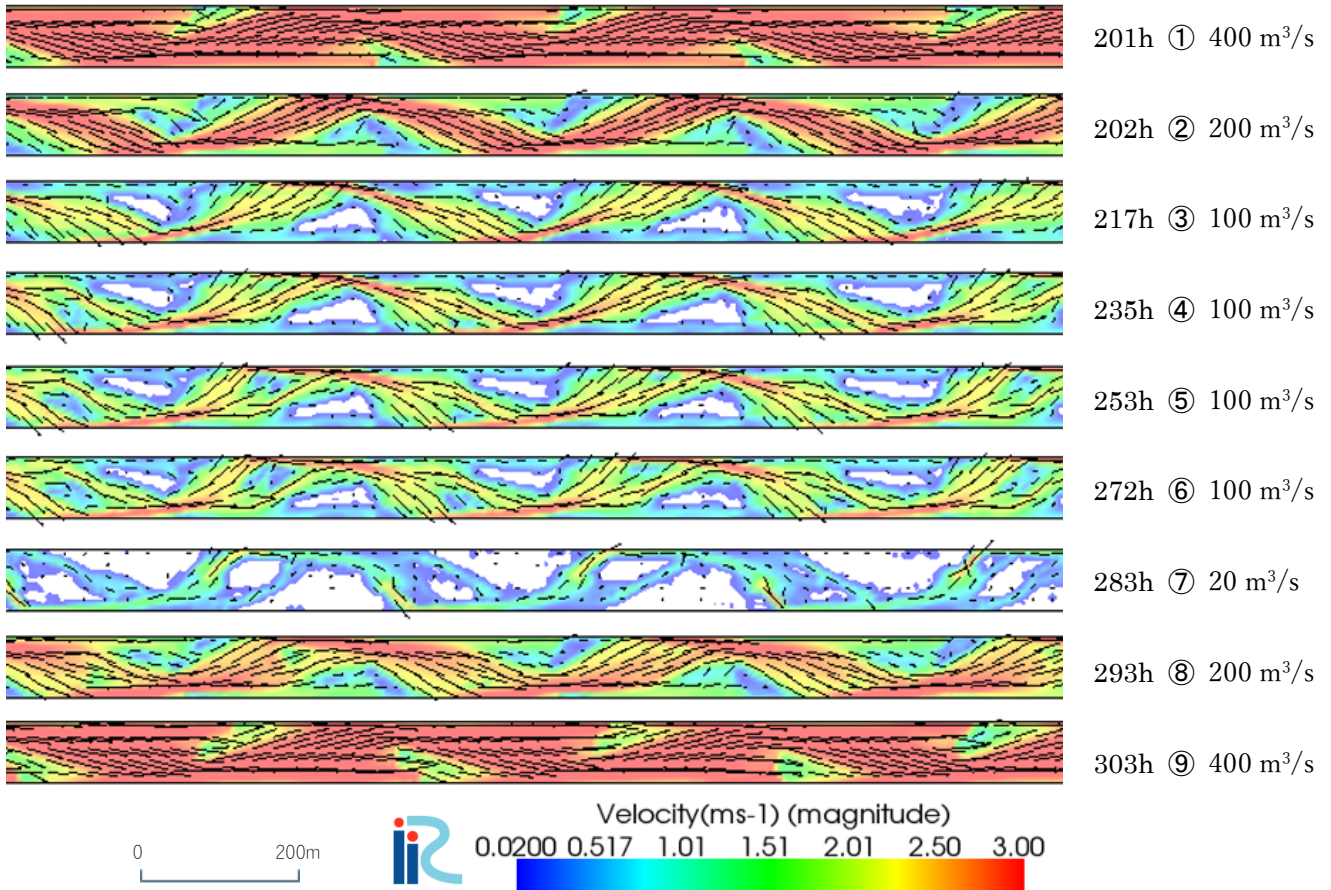


図-8 計算結果(流速、流速ベクトル)

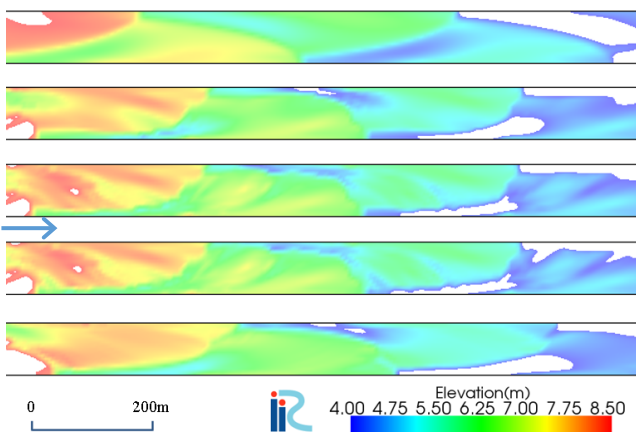


図-9 計算結果(河床高)

3.3 ハビタットとの関連について

- ① かつては複列砂州形状を呈していた豊平川は、現在、典型的な単列砂州形状が卓越する急流河川である。
- ③ 前述したように砂州の前縁線に沿う深掘部(淵)の淵頭に、サケ産卵床が多く見られる。図-10は2011年の豊平川の砂州前縁部の地形とサケ産卵床の位置を示す図(文献11)より引用)であるが、直上流側の砂州頂部(瀬)などで伏流し、前縁部で浸透流が湧出するため、河床高の比高差が大きい砂州前縁部などは、サケ産卵環境として好適な生息場の1つである。図-11は前述した数値計算による流速分布であるが、図-10右図と対比した時、砂州前縁部の特徴が類似していることがわかる。また、図-10で確認できる砂州前縁部の浮州は、図-5、図-12でも観察できる。
- ⑥ また283h時の砂州前縁部の分流形状において、上流側の分流が閉塞した場合を想定すると、alcove状

地形の形成が想定され、流量変動に伴う河道変化、河床変化の特徴を観察することは動的なハビタットの保全を考える上で重要と考える。なお H28(2016)年度に報告している数値計算上で水路幅を変化させた場合の alcove 形成の特徴については、複列砂州河川なども含めた知見であり、今回、単列砂州河川においても減水時における変化過程を数値計算から確認することにより、類似したハビタットの形成を確認したものである。

豊平川をはじめとする実河川は、様々な流量パ

ターンの履歴によって河床形態や砂州形状が複雑な変化をしていると考えられている。ゆえに、流量などを変化させた条件下における応答の知見の積み重ねは、形成条件解明および動的なハビタットの維持条件のポイントなどを整理していく上での一助となると考える。

引き続き、サケ産卵床等の保全維持における砂州微地形 (alcove、瀬淵、砂州前縁部・・・) 毎の特徴や維持保全について、現地調査等の結果とも比較しながら、河道掘削技術について検討する。

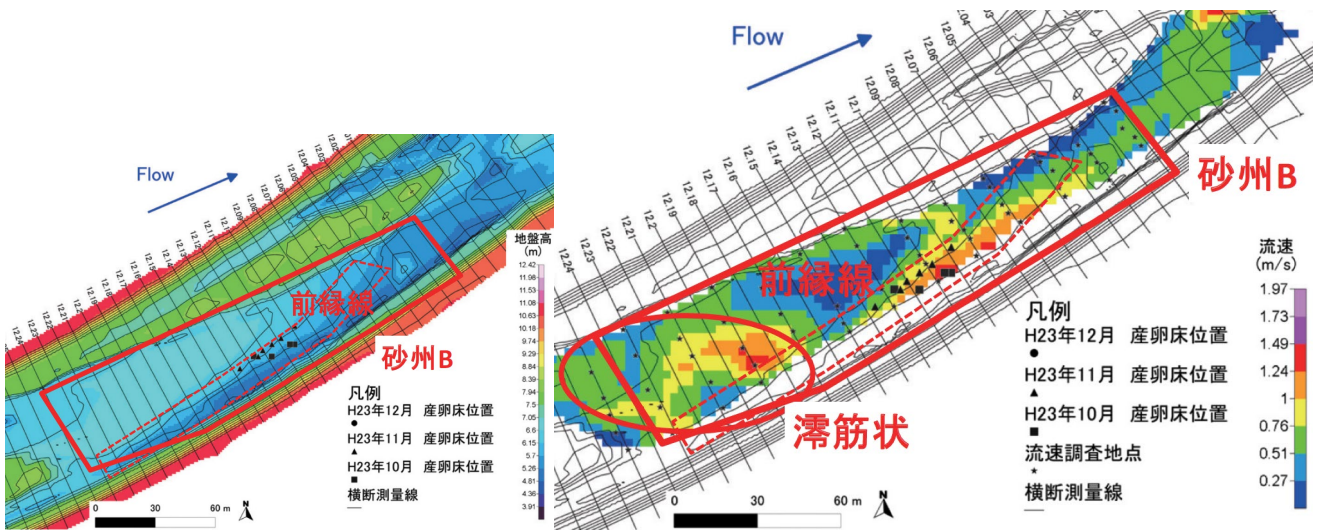


図-10 砂州前縁部における地形、流速分布と産卵床 (矢野ら¹¹⁾より引用) 平和大橋下流

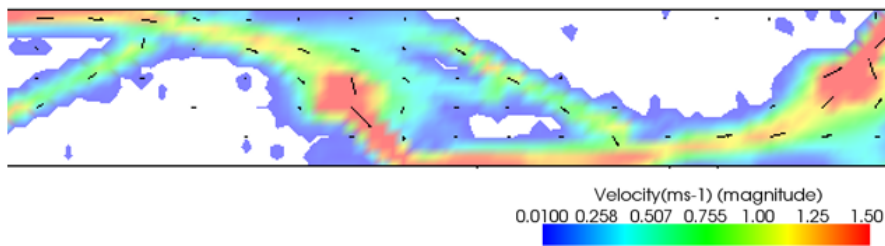


図-11 計算結果(図-8)から 283h 時の拡大(流速、流速ベクトル)

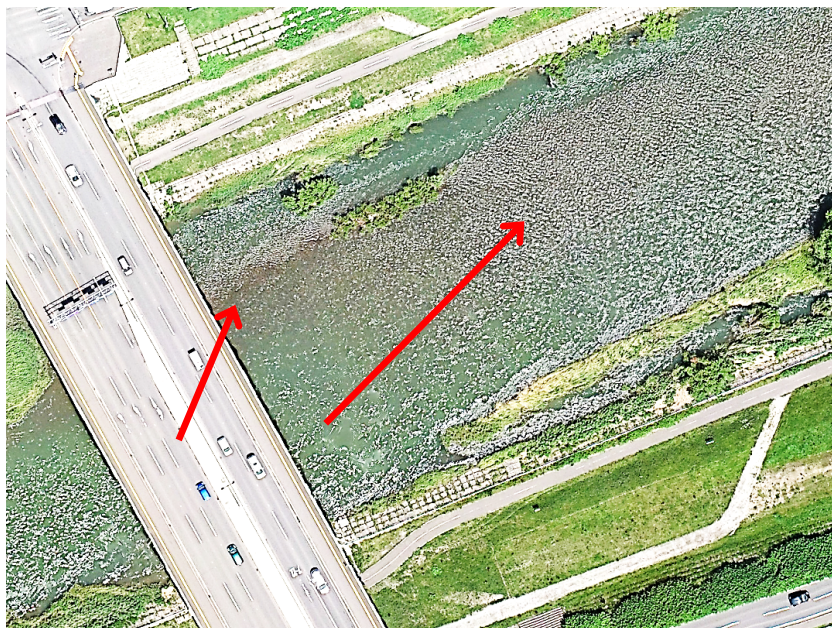


図-12 砂州前縁部（淵頭）に形成された島（直下に多くの産卵床） 豊平川東橋下流
赤矢印は島の両側に分流する流向

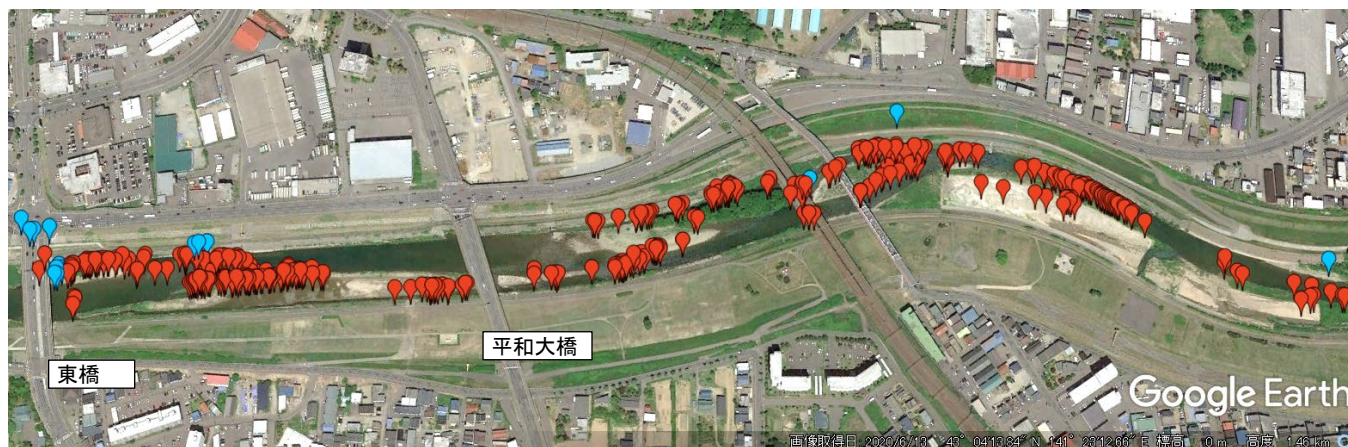


図-13 2020 年度産卵床箇所（サケ科学館 HP より） 東橋下流（赤はサケ産卵床、青はサクラマス産卵床）

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、森田健太郎、鈴木俊哉、佐藤信洋、岡本康寿、大熊一正：大都市を流れる豊平川におけるさけ *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)帰山雅秀、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、布川雅典、田代優秋、谷瀬敦、村山雅昭：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)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、
<https://www.pwri.go.jp/jpn/results/report/report-project/2015/pdf/pro-8-3.pdf>
- 10)Brunke M. and Gonser T. : The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater、Freshwater Biology、Vol.37、pp.1-33、1997
- 11)矢野雅昭、矢部浩規、林田寿文：砂州地形とシロサケの産卵環境について、寒地土木研究所月報、No710、p23-27、2012
- 12)寒地土木研究所水環境保全チーム：冷水性魚類の自然再生産のための良好な河道設計技術の開発、平成 22 年度プロジェクト研究、土木研究所 HP、
<https://www.pwri.go.jp/jpn/results/report/report-project/2010/pdf/pro-15-2.pdf>

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、河野誉仁

【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。令和 2 年度は、新たな河川環境評価ツール（EvaTRiP Pro）開発とともに本研究成果のとりまとめを行った。

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、EvaTRiP、RiTER、EvaTRiP Pro

1. 多自然川づくり支援ツールの全体像と開発の経緯

中小河川において河道の形を大幅に変更する機会は限られている。例えば災害復旧はその一つであるが、非常に短い期間で河道計画を立案する必要があることから、治水検討優先で環境への配慮が後手に回りがちである。そのため、治水上の評価とともに、自然環境保全に対する評価を迅速かつ負担なく行うことができる支援ツールが求められている。自然環境や水辺利用などを念頭に置いた川づくりを行う上では、操作性の良い地形編集機能と自然環境評価機能が重要である。また現在、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、さらに無料で使える水理シミュレーションソフトウェアなども浸透しつつあり¹⁾、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の確立が必要である。

こうしたことから、土木研究所自然共生研究センターでは、災害復旧事業での活用と 3 次元測量や CIM、VR (Virtual Reality) の適用を念頭とした新しい河道計画プロセスと、これに対応できる「多自然川づくり支援ツール」の研究開発を行っている。図-1 は、多自然川づくり支援ツールの全体像である。大きく分けて川づくりを行う上で重要な 3 つの機能を支えるツールがある。中心となるのは、洪水時の安全性を評価するツールとなる無料の水理シミュレーションソフトウェア、iRIC ソフトウェア（以下、iRIC）²⁾である。これ

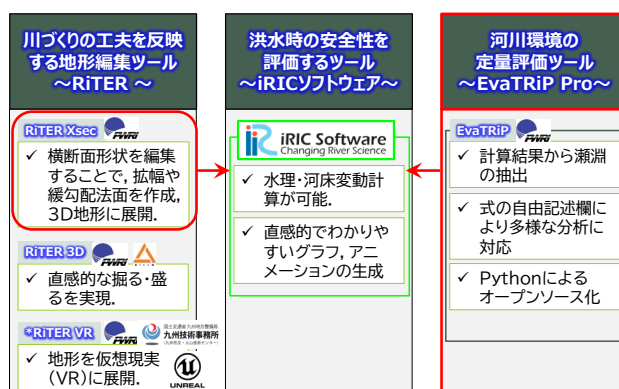


図-1 川づくりに重要な3つの機能を支えるツール群
(赤枠：土木研究所が開発し iRIC に追加した機能)

に 3 次元地形モデルを編集する機能 RiTER Xsec (River Terrain Editor X(Cross)-section、ライタークロスセクション) および河川環境の定量評価ツール EvaTRiP (Evaluation Tools for River environmental Planning、エヴァトリップ) と呼ぶ 2 つの機能を iRIC へ追加した。

2. 地形編集ツール RiTER Xsec の機能

RiTER Xsec は、河道地形を柔軟に編集するためのツールである（図-1 左）。RiTER Xsec の最大の特徴は、横断面ベースでの地形編集でありながら、3 次元地形モデルの編集を行うことができる点である。横断

表-1 RiTER Xsec のねらいと具体的な機能

ねらい	機能
① 横断面図と平面図の連動した旗揚げ機能	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 平面図に官民境界や道路などの線情報を記入し、横断面図上でその位置に旗揚げされる機能 ✓ 横断面図上で法勾配を確認しながら法面編集する機能
② 横断面編集機能の強化	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 横断面の編集機能強化として背景格子・スケール、参照用断面の表示機能 (図 4-2-5)
③ 平面図と航空写真の活用	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 平面図や航空写真の重ね合わせ機能 ✓ 数値標高モデル (DEM) データから河道に沿って一連の横断面図を抽出する機能 (図 4-2-6)
④ 3次元川づくりと i-Construction との連携	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 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

面をベースに考えることは従来の河川計画に馴染んだ方法であり、技術者が高い障壁を感じることなく、河川の三次元設計へ移行できることを狙っている。主な機能は表-1 のとおりである。

RiTER Xsec の基本構造は、iRIC の平面 2 次元の計算格子を構築する機能である。図-2 にその概念図を示す。基本となるデータは、河川横断面データである。同図①のように、横断面の位置データとともに読み込むと、これをもとに②のように計算格子 (青) が半自動的に設定できる。ここで、赤色で示すように格子点に横断面データから標高値を抽出して与えると (これをマッピングと呼ぶ)、格子点の接続性から三次元の河道地形モデルを生成することができる。横断面を変更した場合は、③のように計算格子の再設定および再マッピングを行えば、編集された 3 次元モデルを生成できるという仕組みである。

RiTER Xsec には、現実の整備に則して検討を行いやすくするための工夫が施されている。その一つが、

表-1 の①横断面図と平面図の連動した旗揚げ機能である。実際の川づくりの現場では、必要な流下能力 (河積) や用地制約を踏まえつつ、自然環境や水辺利用に配慮した法面や空間づくりを行う、といった場面によく出くわす。本来は、被災状況や官民境界を踏まえて十分にスペースを活用した設計が望ましいのであるが、図-3 のように河積ベースの流下能力を重視した直線的な形状に陥りがちである。スペースを最大限活用した設計のためには、平面上での境界と横断面上の境界が連動し、平面的な位置関係と法勾配とを相互に確認しながら、工夫を入れ込んでいくことが求められる。RiTER Xsec では、図-4 のように、平面図ビュー上で官民境界などの目安となるラインを入力すると、横断面図にも反映されるようになっている。イメージとしては、同図右のように、周囲の土地も活用して使いやすく心地よい空間の設計に役立てて欲しいという思いである。その他に、使い勝手の便宜を考え、横断面図上で法勾配を確認しながら法面編集する機能、横断面の編

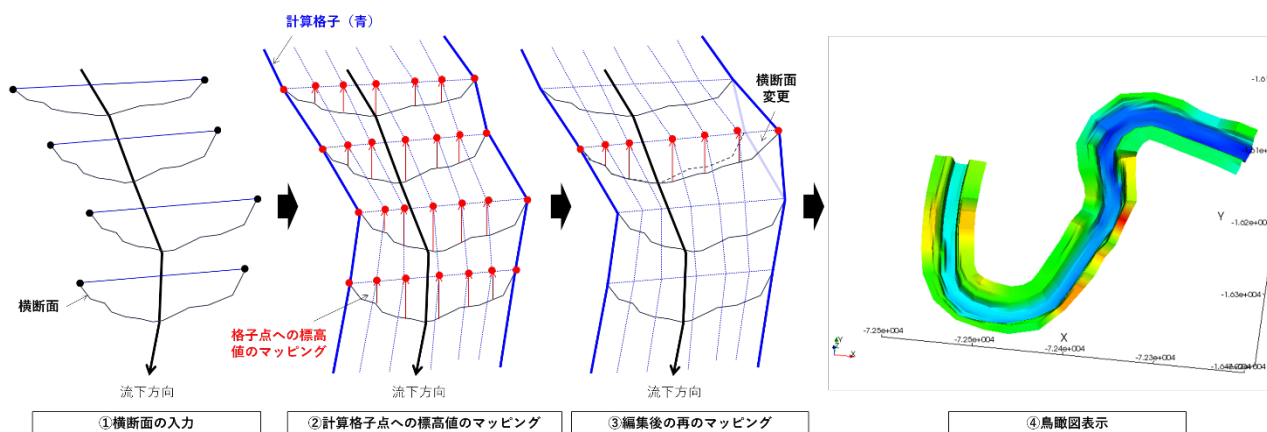


図-2 RiTER Xsec による 3 次元地形編集の考え方

集機能強化として背景格子・スケール、参照用断面の表示機能(図-5)、平面図や航空写真の重ね合わせ(ジオレファレンス)機能を追加している。

また、3次元元川づくりとi-Constructionとの連携も考慮しており、表-1の④に示す2つの機能を開発した。1つ目は、数値標高モデル(DEM)データから河道に沿って一連の横断面図を抽出する機能である(図-6)。従来は、横断その位置からなるデータ(rivファイルと呼ぶ)を別途作成して読み込ませる必要があったが、この機能によって、UAVや航空LP、ALBなどの面的な測量成果を利用しやすくなった。さらに、編集した地形(計算格子を三角形に分割したTIN)をi-Constructionの標準であるLandXML形式で出力する機能も追加している。

3. 河川環境評価ツール(EvaTRiP、EvaTRiP Pro)の機能

3.1 EvaTRiPの機能

自然共生研究センターでは、2014年度から河川環境評価を行うためのツール、EvaTRiPの開発を行っている³⁾。EvaTRiPは、iRIC上で動作するソルバーと呼ばれる個別機能として動作する。コンセプトは、図-7に示すように、iRICでNays2DH等を用いて平面2次元水理・河床変動計算を実施した水深や流速の計算結果を入力値として、半自動的に評価する、というものである。従来のEvaTRiPでは現場での利用が見込まれた①護岸要否の評価(流速に対して護岸の要否箇所の評価)、②移動限界粒径の評価(砂礫が移動を開始する限界の単一粒径の評価)、③陸生植物生育可否の評価(河道内の陸生植物の生育の有無についての評価)、④魚類生息場の評価(PHABSIM法)といった自然環境に関わる評価値を算出する機能が備わっている⁴⁾。

図-8は、EvaTRiPの機能④を利用して、瀬・淵・早瀬の環境条件を事前に定義(ここでは、Pool 淵:流速30 cm/s以下、水深30 cm以上、Riffle 瀬:流速30~60 cm/s、水深30 cm以下、Rapid 早瀬:流速60 cm/s以上、水深30 cm以下とした)し、計算結果からその分布を表した例である。図-8上図は水制工なし、図-8下図は水制工ありの場合の出水後の流況に対する瀬淵分布である。結果を比較することで、水制工の有無の効果を明らかにすることができ、現場での工夫や判断に役立つ。

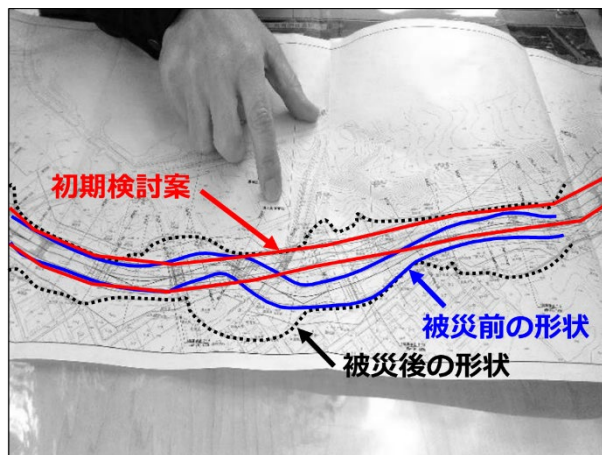


図-3 直線的な河川設計になってしまう場合

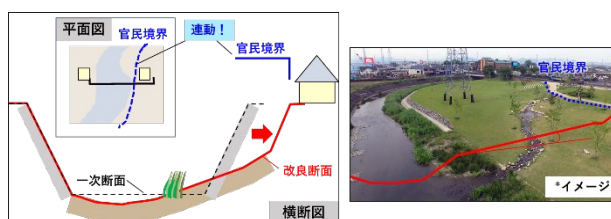


図-4 川づくりにおける横断面の検討方法

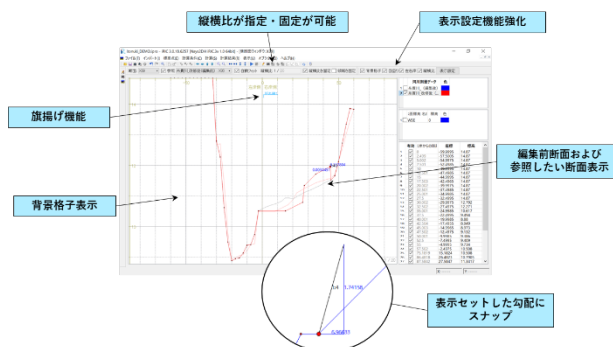


図-5 RiTER Xsecによる横断面編集機能の強化

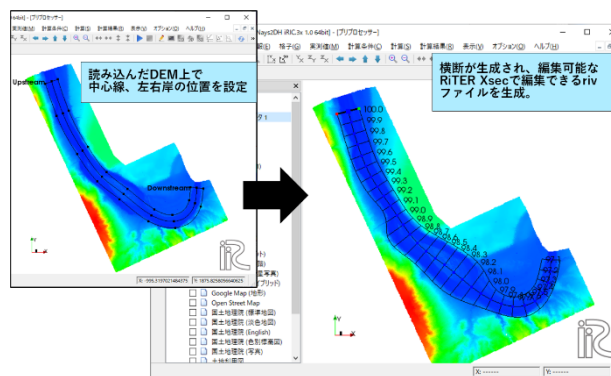


図-6 DEMデータからの河道断面(rivファイル)の抽出・作成機能

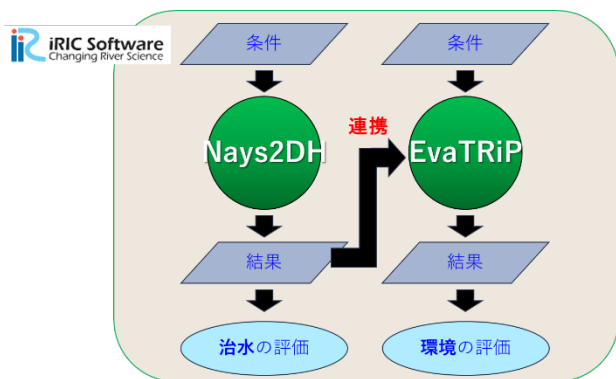


図-7 環境評価ソルバーEvaTRiP のコンセプト

3. 2 EvaTRiP Pro の機能

EvaTRiP Pro は、既存の EvaTRiP の機能をより広い目的で活用できるように機能を一般化した河川流況計算結果の分析用ツールである。EvaTRiP と同様 Nays2DH をはじめ、任意の河川流況計算ソルバーの計算結果の分析に使用することが可能である。

災害復旧では非常に短期間で立案する必要があるため環境への配慮が後手に回るおそれがある。また、計画案の定量的な検討は実際上治水的の評価にとどまり、生息場の良否などの環境面の評価に及んでいない。改良復旧を行う際にも多自然川づくりを推進するためには、迅速かつ定量的に治水と環境両面での評価ができ、河道計画立案を補助するツールが必要である。土木研究所自然共生研究センターでは河川環境評価ツール EvaTRiP の開発を行ってきた。EvaTRiP は、無料の河床変動計算ソフトウェアである iRIC ソフトウェア (以下、iRIC) の機能の一部 (ソルバー) として動作し、河床変動計算で得られた時々刻々の水深・流速の計算結果を取り込んで評価値を算出するもので、治水評価と環境評価を同時に実行し、治水と環境の両立を目指すことが狙いである。

EvaTRiP Pro は、専門家から管理者まで様々なレベルのユーザーのニーズを満たす高度な河川環境評価を可能とするソルバーである。従来の EvaTRiP はあらかじめ評価法を限定していたが、EvaTRiP Pro は柔軟に評価方法を設定できるようになっているほか、実用的な環境評価を充実させている。以下に特徴を紹介する。

瀬淵評価機能：

河川管理者の河川環境評価としてニーズの高かった瀬淵評価機能 (図-10) を充実させた。フルード数をを用いた簡易的な分類方法の他、河川のサイズや状況に応じて水深・流速の閾値をマニュアルで設定すること



図-8 水制工なし (上図) と水制工あり (下図) の瀬淵分布の判別例

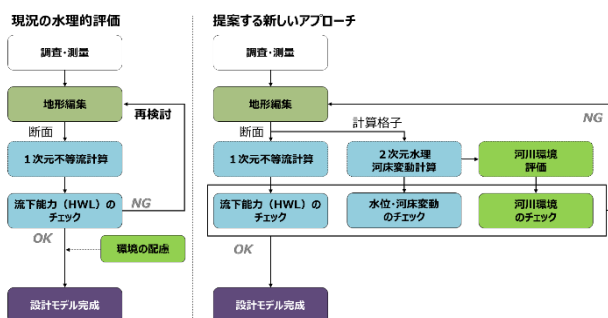


図-9 今までの河道設計プロセスと新たに提案したい河道設計プロセス

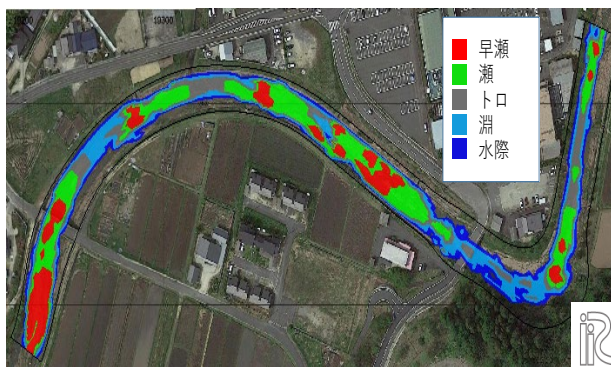


図-10 EvaTRiP Pro による河川瀬淵環境の判別

も可能である。

Python によるオープンソースソルバー：

EvaTRiP Pro は Python で動作する初めての iRIC ソ

ルバーである。ソースコードは公開されており、ソルバーの導入に際しては iRIC 上での Python 動作環境を合わせて整備した。これにより、EvaTRiPPro を改良するなどして、様々な iRIC の Python ソルバーを独自に開発できるようになっている。AI や深層学習といった新しい解析技術の多くは Python を言語としている。環境のみならず水理計算と深層学習を組み合わせた新しい河川評価技術のプラットフォームとして幅広い活用が期待される。

4. 河川環境整備のタイミングとアプローチ（一案）

2. で述べたように、河川環境のための地形変更の機会は、予算上の問題もあり非常に限られている。一方で、戦後の治水偏重の河川整備を施された河川は津々浦々まで浸透しており、少しずつでもこれを転遷していく機会を増やすことが必要である。すでに、河川計画のプロセスにも課題があるという指摘もある。技術の進展によって克服される課題は解決していかねばならない。ここでは、多自然川づくり支援ツールを念頭とした新しい河川環境整備のコンセプトについて、一案を述べたい。

まず、いつ整備を実施するかという問題がある。災害復旧は確かに極めて貴重な機会と言えるが、それ自体は災いであり期待すべきものではない。そこで注

目したいのが、維持管理行為である(表-2)。維持管理による土工は、どの河川でも毎年どこかで実施されるものである。また、災害と異なりいつでもどこで実施するかが、ある程度分かっており時間的余裕もある。事業範囲の延長は概ね 1~2km におさまっており、平面 2 次元の水理計算を実施するには適当である。維持掘削は、河川計画を担う部署が直接発注等行うわけではないため、実際に多自然川づくり支援ツール等を用いた環境考慮型の維持管理土工を行うには課題も多いと思われる。

また、災害復旧のような抜本的かつ広範囲の河道改変行為についても、1 次元計算にとどまり、面的な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といった課題があり、図-9 に示すような、2 次元河床変動計算の導入、環境評価の実装といった 3 次元空間として河川を捉えるためのプロセスの見直しが必要である。技術の進歩はまさに日進月歩であり、こうした変化を現行のフローから逸脱させずに軟着陸させられるかが今後大きな課題になるだろう。

5. 多自然川づくり支援ツールの普及

自然共生研究センターでは、iRIC を活用した多自然

表-2 事業ごとの河川への働きかけに係る予算、頻度、範囲、時間的余裕および自由度

	災害復旧（改良）	災害復旧（単災）	（通常の）改修	維持管理
予算	大	中	中	小
頻度, 件数	少	中	少	多
範囲	広い（～数キロ）	せまい	広い（～数キロ）	せまい（～1,2k）
時間的余裕	切迫	切迫	余裕あり	比較的余裕あり
自由度	大	ほとんどなし	大	ある程度あり

表-3 講習会資料の概要

① iRIC の概要	✓	iRIC 使用のメリットである河川（事業）の実態、予測、効果をより分かりやすく見る・示すことができる点なども理解する。
② Nays2DH の概要と演習	✓	Nays2DH は、iRIC のソルバーの 1 つであり、平面二次元計算により、河川における流れ、河床変動、河岸侵食などの計算が出来る。 RiTER Xsec を使用した地形編集を行い、地盤高や粗度係数、流量や水位、計算方法などを与え、計算格子を作成し、流れの計算を行う水理解析と流砂の計算を行う河床変動解析を行うところまでを扱う。
③ EvaTRiP の概要と演習	✓	上述の Nays2DH の水理計算結果から、「護岸の必要性」、「植物の生育可能性」、「瀬・淵の抽出」の評価を行う。 EvaTRiP に水理計算結果をインポートし、計算パラメータを設定し、計算実行、計算結果を表示させ、環境評価が NG の場合は、再度 RiTER Xsec により地形の見直しを行う。

川づくり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¹⁾。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 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いる(図-11)。講習会は、都道府県職員などを対象に定期的に開催しており、PC に iRIC をインストールするところから始めて、これらのツールを体験し、5 時間で一連の流れを体験できる内容となっている。また、独学でも進められるよう、講習会で用いた資料やデータは共生センターのホームページ²⁾で令和2年5月から公開した。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できる。公開している資料の概要を表-3 に示す。

6. まとめ

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



図-11 講習会の様子

VR を使うことで出来るようになる。

参考文献

- 1) 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.
- 2) iRIC ホームページ：<http://i-ric.org/ja/>
- 3) 大石哲也ら：中小河川における河川環境に配慮した河道設計支援ツールの開発、河川技術論文集、第21巻、2015.
- 4) 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、第60巻、第11号、pp.8~13、2018.
- 5) 自然共生研究センターホームページ：<https://www.pwri.go.jp/team/kyousei/jpn/index.htm>.

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】

令和元年度までに、河川中流域（扇状地河川、セグメント 1）の砂礫河原において、洪水営力を活用することで砂礫地から草地等への植生遷移の緩和が期待できる河道掘削法を提案した。これに加えて、河川中下流域（自然堤防帯河川、セグメント 2）の高水敷における樹林化についても、同様に、治水、環境上の大きな課題であり、植生遷移の緩和に資する河道掘削法が求められている。そこで、令和 2 年度においては、河川中下流域（セグメント 2）を対象に、先行研究と施工事例に基づき、掘削方法ごとの土砂堆積と植物繁茂の特徴を明確化するとともに、掘削断面の持続性が期待できる河道掘削の実現に向けた断面設計フローを整理した。

キーワード：河道掘削、土砂堆積、植物繁茂、河川中下流域、自然堤防帯河川、セグメント 2-1

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（扇状地河川、セグメント 1）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)。

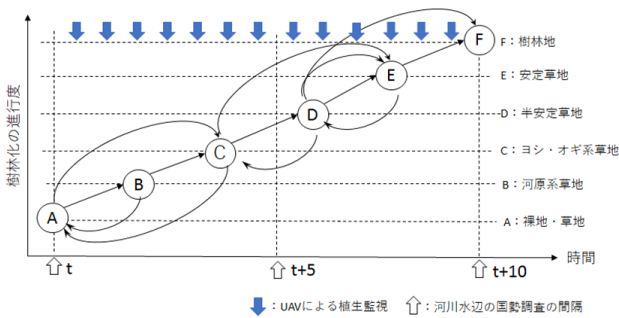


図-1 植物群落遷移をネットワークとして考えた場合の管理手法の基礎概念

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、北陸地方に位置する梯川において実施した(3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(4章)。

このように、河川中流域(扇状地河川、セグメント1)の砂礫河原において、洪水営力を活用することで砂礫地から草地等への植生遷移の緩和が期待できる河道掘削法を提案した。これに加えて、河川中下流域(自然堤防帯河川、セグメント2)の高水敷における樹林化についても、同様に、治水、環境上の大きな課題であり、植生遷移の緩和に資する河道掘削法が求められている。そこで、令和2年度においては、河川中下流域(セグメント2)を対象に、先行研究と施工事例に基づき、掘削方法ごとの土砂堆積と植物繁茂の特徴を明確化するとともに、掘削断面の持続性が期待できる河道掘削の実現に向けた断面設計フローを整理した

(5章)。

さらに、これらの検討に基づき、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(6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した(7章)。

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)。

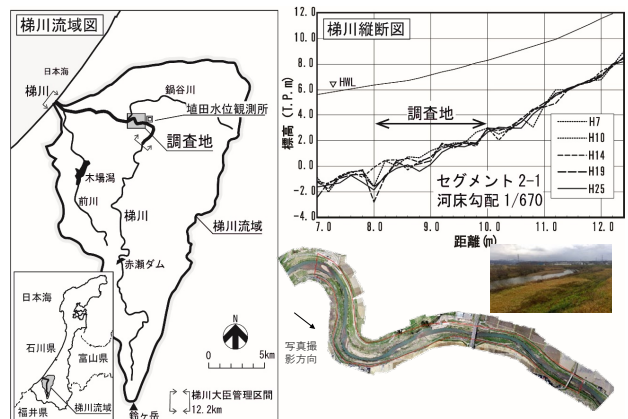


図-2 梯川の概要

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、ススキ群落内に樹木の侵入・形成が進み、河川管理上の問題となっている。梯川流域で進む引き堤事業後は、現在よりも広い高水敷が形成され、ススキ群落の定着が期待される反面、樹林化の進展が懸念されている区間である。調査地を含む梯川においては、1993 年（H5 年）、1998 年（H10）、2002 年（H14）、2008 年（H20）、2013 年（H25）（以下、前述の期間を、「水国作成期間」と記述する。）に植生調査行われ、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、特定区間の景観・植物面積の時系列変化から樹林化の程度を定量化しており、そこに生育する植物群落レベルでの詳細な検討が十分に行われてきたとは言いがたい。本研究で適用したネットワーク分析は、流量時系列の違いに応じた景観・植物群落と樹林群落の対応関係を示している点に有効性がある。

また、ネットワーク中心性分析は、樹林化前景観の抽出を可能とし、樹林化前景観は、樹林群落への指標として十分な機能を持つと考えられる。詳しくは、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、面積が大きいためだけでなく景観・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。

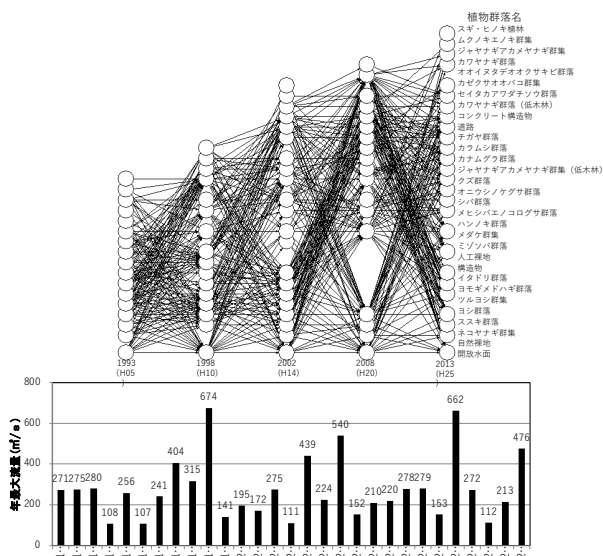


図-4 河川景観・植物群落遷移のネットワーク図と流量時系列の関係

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情報の正確さについての一区分)が挙げられる。季節的な周期性はあるものの、発生が予測できない出水による攪乱は、植物群落遷移に影響を与える大きな現象であるが、予測へは技術的な検討が必要となる。

不確実性への対応として最も有効と考えるのは、気象学、水文学等で用いられるアンサンブル予測手法(集団予測手法)である。アンサンブル予測技術とは、「わずかに異なる複数の数値予報を行ってその結果を統計的に処理することで、不確定さを考慮した確率的な予測を可能にするもの」である。天気予報に代表される数値予報は、解析初期条件をわずかに変化させた複数ケースの計算を行った後、空間統計処理を行い、雲量等を予測する。アンサンブル予測技術を植生動態モデルに適用する際に考慮しなければならないのは、まず、出水流量である。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。

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)

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

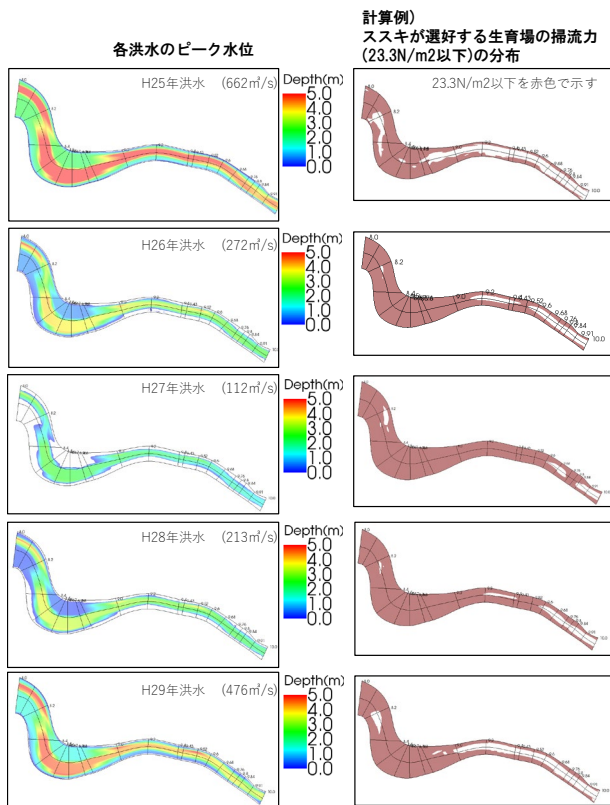


図-5 植物群落動態モデルに与える水理計算結果と植物群落予測結果（ススキ群落の例）

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.河道掘削後の土砂堆積・植物繁茂に関する特性

5.1 河道掘削プロセスの概略

令和元年度までに、河川中流域（扇状地河川、セグメント 1）の砂礫河原において、洪水営力を活用することで砂礫地から草地等への植生遷移の緩和が期待できる河道掘削法を提案した。これに加えて、河川中下流域（自然堤防帯河川、セグメント 2-1）の高水敷における樹林化の抑制に資する河道掘削法が求められている。ここでは、セグメント 2-1（低平な自然堤防帯区間を流れる河川であり、一般に勾配は 1/400～

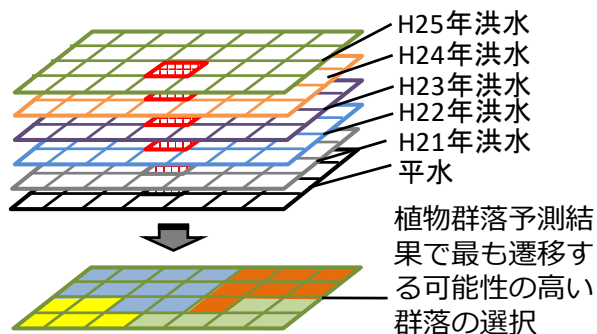


図-6 アンサンブル予測結果の空間統計例

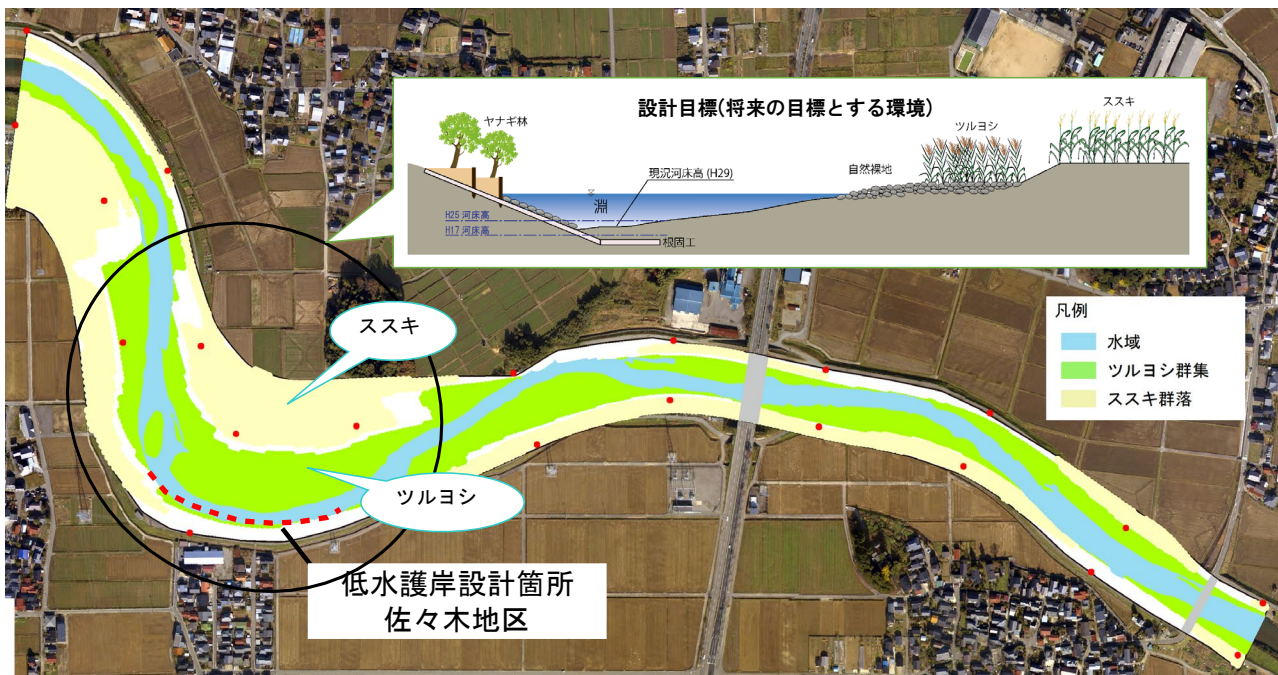


図-7 設計河道における比高、掃流力、水際からの距離から見たツルヨシ、ススキの分布可能範囲

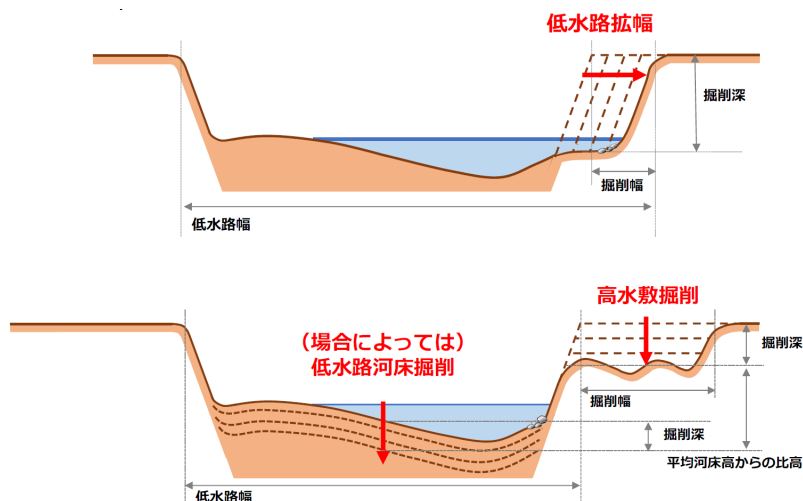


図-8 河道掘削法のうち水中掘削（低水路拡幅）と陸上（高水敷）掘削の例

1/5000、河床材料の代表粒径は3 cm～1cm)を対象に、河道掘削後の地盤高と土砂堆積や植物繁茂との関係を整理した⁵⁾。

河道掘削は、河道地形を改変し、河道内に生育・生息する動植物の一時的な消失を引き起こすため、重要な植物などは保全することが求められる。また、治水上の問題となる樹木であっても、生態的な観点から存置することが好ましい場合もある。他方、河道掘削後には裸地面が整正されるが、そこにはヤナギ類や外来植物が侵入しやすく、また、生育環境の変化もともなうて、掘削前とは異なる植生が形成される可能性が高いことに留意する必要がある。

5. 2 掘削断面と土砂堆積および植物繁茂との関係

5. 2. 1 土砂堆積と植物繁茂の特徴

現地河川には、さまざまな制約条件があるものの、掘削断面を計画、設計する上での選択肢は多い。ここでは、掘削地盤高の設定に際しての参考となるように、セグメント2-1での土砂堆積と植物繁茂に関する基本的な特徴をまとめ、次項以降には、それらと掘削地盤高との関係を整理する。

セグメント2-1は、一般的に、河道断面に占める高水敷の割合が大きく、そこでの樹林化の要因はヤナギ類、タケ・ササ類であることが多い⁶⁾⁷⁾。これらの植物は生育範囲を急激に拡大させる特徴を持つため、河道植生を管理する上で、特に注意を要する植物である。また、高水敷に堆積する土砂は、低水路の河床材料よりも1オーダー程度小さい粘土から微細砂であり、これらは洪水時にウォッシュロードもしくは、それに近

い物理的な振る舞いをするため、山間地の供給源から堆積域まで一気に輸送されると考えられている⁸⁾⁹⁾。したがって、河道掘削によって地形が改変され、土砂が堆積しやすい環境が整うと、その輸送量の多さも相まって急激な地形変化が起こり、掘削された断面が短い期間で縮小する可能性がある⁸⁾。また、粒径成分が1オーダー程度の差がある低水路と高水敷での土砂堆積プロセスは、わけて考えることができる。そのため、次項では、図-8に示すように、平水位より掘削地盤高が低い場合（水中掘削）と、それよりも高い場合（陸上掘削）にわけて説明する。この他、堆積域に供給される土砂量や、その質は、流域の地形および地質によって大きく異なる。土砂堆積に関する一般的な知見の他に、それぞれの流域の特徴を理解することが不可欠である。

5. 2. 2 掘削高さとの関係

水中掘削では、低水路部の掘削面が水面以下となるため、高水敷の表層にみられる粒径成分は堆積しにくい⁸⁾⁹⁾。一方、それよりも1オーダー程度大きい、主に低水路の河床を構成する粒径成分が洪水時に掃流状態で移動し、地形変化が起こる⁸⁾。掘削面が深い（標高が低い）ほど堆積速度が小さい傾向⁹⁾がみられ、濁水位相当に切り下げることの有用性が示唆されている。ただし、低水路幅を広げすぎると、急激な断面縮小が起きる可能性があるため留意が必要である⁸⁾。

陸上掘削後の堆積速度については、比高が1～6mの範囲では、それが大きいほど堆積速度は小さくなる傾向¹⁰⁾を示した。また、高水敷の冠水深が大きいほど土

砂が厚く堆積する傾向が報告¹¹⁾されており、陸上掘削後の土砂堆積速度は、洪水にともなう冠水頻度が高く、冠水深が大きいと想定される掘削高さが低い場合に、高まると考えられる。

5. 2. 3 掘削高さと植物繁茂との関係

水中掘削により掘削面を濁水位程度に設定すると掘削面が年間を通じて水没するため植物は繁茂しにくい。一方、陸上掘削の場合は、掘削高さを低くすると平水位（掘削域での地下水位に相当する）との比高が小さくなり、掘削地盤面での湿潤状態は高まることから、これを好む植物が繁茂しやすくなる¹²⁾。

河川管理の対象となりやすいヤナギ類やタケ・ササ類に注目すると、セグメント 2-1 では、比高（平水位と高水敷の差）が 4m 以下でヤナギ林（ヤナギ類が主体の樹林）の出現率が高く、比高が 6m 以上では竹林の出現率が高いことが示されている¹³⁾。そのため、陸上掘削により比高が低下することを考えると、掘削後により注意すべきはヤナギ類ということになる。揖斐川を対象に掘削高さの異なる裸地面での植物動態のモニタリング¹⁴⁾では、掘削高さが濁水位相当であれば、5 年程度が経過しても大部分が開放水面として維持されるが、より標高の高い掘削面ではヤナギ類の繁茂が確認されている。とりわけ、平水位相当の掘削高さにおいて、ヤナギ類の繁茂が顕著であることが示された。なお、5.1 節、5.2 節の詳細は、引用文献⁹⁾を参照されたい。

5. 3 掘削後の持続性が期待できる掘削断面

前節では、典型的な掘削断面である水中掘削と陸上掘削にわけ、それぞれの土砂堆積、植物繁茂の特徴をまとめた。本節では、それらを踏まえた上で、どのような掘削断面を設計することが、とりわけ、土砂堆積の側面から掘削断面の経年変化が少なく、その持続性を高めることができるのかを考察する。セグメント 2-1 では、洪水により高水敷（陸域）が冠水するたびに、その大小に差はあるが確実に土砂は堆積することになる。また、冠水頻度が高く、冠水深が大きいほど、掘削地盤面の土砂堆積速度は大きくなると考えられ、陸上掘削による掘削深が大きいほど、土砂の堆積ポテンシャルは高まると想定できる。その一方で、拡幅する量には細心の注意は必要だが、その量を間違えなければ、水中掘削を実施した地盤面には、河道断面を大きく変化させる粘土から微細砂は堆積しにくいいため、陸域掘削に比べると掘削断面の経年変化は少なくなる可能性が高い。したがって、この両者を比較すると、水

中掘削を設計の基本とした方が、掘削断面の持続性を確保できる河川が多いものと期待できる。しかし、先に述べたように、拡幅する量には注意が必要であること、また、平水時の水面幅が広がることから魚類に代表される河川の生き物に影響が及ぶことが懸念される。他方、水中掘削を断面設計の基本とした場合には、著しい土砂堆積が生じない低水路幅が、最大の拡幅量であるため、それだけでは治水上、求められる河積（流下能力）を確保できないケースが考えられる。したがって、必要な河積を満足するように、水中掘削に加えて、陸上掘削を適切に組み合わせることで、河積を確保することが賢明である。そうすることで、陸上掘削における掘削地盤面の比高を、陸上掘削だけの断面設計と比べて高く設定でき、高水敷における土砂堆積速度の抑制に貢献するものと考えられる。

6. 河道内植生の維持管理手法の提案

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ととした（図-9）。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¹⁵⁾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

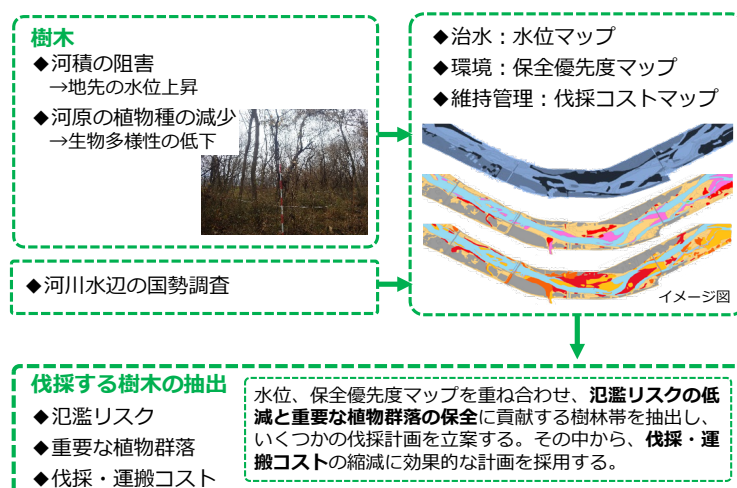


図-9 治水・環境の両立を実現するための河道内植生の維持管理手法の提案

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。

7. 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

7. 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。

7. 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。

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。
- 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215、pp.217-222、2019。
- 5) 溝口裕太・森 照貴・中村圭吾・萱場祐一：河道掘削後の土砂堆積・植物繁茂に関する特性と樹林化抑制に資する草地化工法の提案、土木技術資料、62、8、pp.24-29、2020。
- 6) 内藤太輔・金縄健一・福永和久・今村史子・萱場祐一：全国の河川を対象とした河道内植生の分布特性と成立要因

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

- および河道掘削後の変化、河川技術論文集、22、pp.469～474、2016.
- 7)佐貫方城・大石哲也・三輪準二：全国一級河川における河道内樹林化と樹木管理の現状に関する考察、河川技術論文集、16、pp.241～246、2010.
- 8)藤田光一・MOODY, J. A.・宇多高明・藤井政人：ウォッシュロードの堆積による高水敷の形成と川幅縮小、土木学会論文集、551、pp.47～62、1996.
- 9)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、土木学会論文集B1(水工学)、71、pp.I_1171～I_1176、2015.
- 10)武内慶了・服部敦・藤田光一・佐藤慶太：細粒土砂堆積による高水敷形成現象を1次元河床変動計算に組み込んだ河積変化予測手法、河川技術論文集、17、pp.161～166、2011.
- 11)末次忠司・服部敦・瀬崎智之：洪水攪乱に伴う植生の変化、水利科学、pp.33～47、2001.
- 12)応用生態工学会：河道内氾濫原の保全と再生、198p、技報堂出版、2019.
- 13)内藤太輔・金縄健一・福永和久・今村史子・萱場祐一：全国の河川を対象とした河道内植生の分布特性と成立要因および河道掘削後の変化、河川技術論文集、22、pp.469～474、2016.
- 14)大石哲也・萱場祐一：河川敷切り下げに伴う初期条件の違いが植生変化に及ぼす影響に関する一考察、環境システム研究論文発表会講演集、41、pp.351～356、2013.
- 15)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：巖倉啓子、野上毅、布川雅典、川村里実

【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 2(2020)年度は、令和元年度に引き続き、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。令和 2 年度は、特に砂州の変化に着目して、河床変動計算による河道掘削後の河道変化などについて考察を行った。

キーワード：河道掘削、サケ産卵床、河道変化、物理環境評価

1. はじめに

近年、河道内の樹林化などに伴い、流下能力の維持・向上のための対策が待ったなしの課題となっている¹⁾。また、砂州上の樹林化の進行などから、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^{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、長期的に維持可能で適切な掘削断面の設定が求められる。また、同時に再樹林化の抑制も維持管理上の重要な観点となる。

2. 対象河川の特徴

豊平川は、流域面積 902km²、流路長 72.5km の 190 万都市・札幌の中心部を流れる河川であり、普段は市民の貴重な憩いの場であるとともに、鳥や魚の生息場所として重要な連続性を持つ空間である。一方、大都市を流れる急勾配な河川であり、昭和 25 年から昭和 48 年にかけては、河道の安定のために床止工の設置、

昭和 40 年代から 50 年代にかけて、堤防の保護などを目的に、高水敷の造成、低水護岸工が行われた。

図-1 は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。市内中心部の KP10~11 付近(合流点より 10km 地点)に河床勾配の変化点を持ち、その前後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。

本検討で対象とした区間 KP12.0~KP13.6 の航空写真を写真-1 に示す。当該区間の平均河床勾配は 1/500 前後である。また扇状地上の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^{5),6)}からも、中長期的な土砂堆積傾向のある区間である。また写真-1 より低水路内の砂州上において樹林の繁茂が読み取れる。

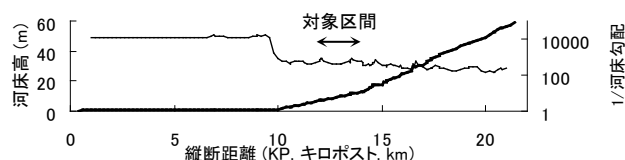


図-1 豊平川の河床縦断面図



写真-1 解析対象区間（豊平川 KP11.8~KP14.1、2018年撮影）

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

写真-1 に示した 4 箇所掘削箇所において図-2 に示す断面で河道掘削を行った。まず、掘削による低水路内の拡幅にあたり、拡幅後の再堆積ができる限り抑制されるような安定な川幅⁴⁾を検討した。ここでは、1/2 年確率の出水規模 370m³/s で堆積が生じない川幅を河床変動計算で検討し、その結果として、掘削後の川幅を 50m と設定した。この範囲を図-2 中に【設定①】として示す。この【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・産卵を妨げない高さを検討した。ここでは、サケ遡上期間中（9月～12月）の平均流量時にサケの産卵床となり、かつ最低水位時に現況水深が確保されるべく、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-2 中の【設定②】は、河畔林伐採と併せて、平均年最大流量 ($Q=480\text{m}^3/\text{s}$) 流下時に樹林化抑制可能な摩擦速度の値³⁾が確保できる敷高まで砂州の切り下げを行った。

このように【設定①】と【設定②】に分けてそれぞれ設定することによって、拡幅した低水路幅を維持し、かつ、サケ産卵床の保全と再樹林化抑制を図ることが可能になるものと期待される。

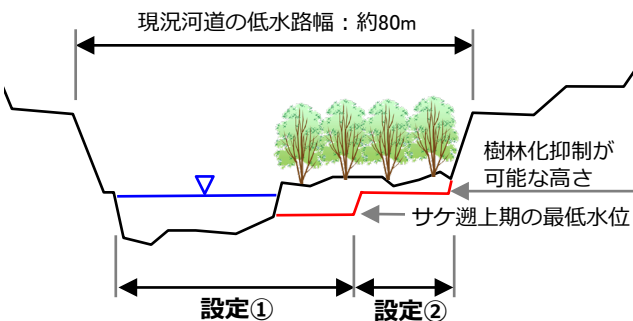


図-2 河道掘削断面模式図

3.2 河道変化の予測計算

現況河道 (Case0) と図-2 の断面で掘削した河道 (Case1) 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規模だった 2012 年 5 月 4 日出水（ピーク 469m³/s）の流量ハイドロを適用し、6 回繰り返して 6 年間の計算とした。なお、土砂が移動しない流量（ここでは 320m³/s）以下は計算時間短縮のため除外している（図-3）。ただし、後述するようなサケ産卵に関する環境評価を実施するために、1 つの出水ハイドロ前後にサケ遡上期の平均流量 17.6m³/s を一定時間設定している。

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（設定①を 50m）
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 樹木なし）
流量	H24/5/4 の実績流量 × 6 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

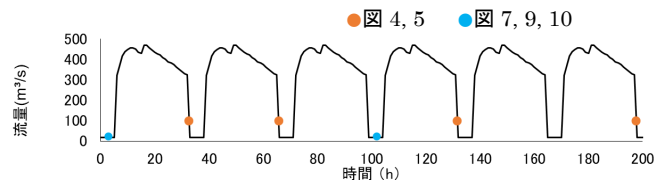


図-3 計算流量（6 年分）

初期河床を現況河道（掘削なし）とした Case0、および初期河床を掘削河道とした Case1 について、それぞれの 1、2、4、6 年後 ($Q=350\text{m}^3/\text{s}$ 時、減水時) の計算

結果（水深分布）を図-4と図-5に示す。

図-4の薄青で囲んだエリア（掘削箇所2）に着目すると現況河道では、砂州の移動がみられず、固定砂州(Point Bars)と化している。一方でCase1(図-5)では掘削箇所2から掘削箇所3の範囲で湾曲が緩やかな河道における交互砂州(Alternate Bars)の特徴の1つ、下流への移動が見られる。特に図-5の矢印で示した掘削箇所2の上流側にできた深掘部（淵）が下流側に移動することで、掘削箇所2の多くが水域へと変化すると予測が確認できる。

一方で河道湾曲部に位置している掘削箇所1および掘削箇所4は、Case0、Case1とも、固定砂州から大きな変化が見られなかったものの、掘削箇所4で、増水時には、内岸側に副流路が形成され、Case0よりもCase1の方がより水面幅の広い副流路が形成されており、掘削の影響と考える。

また掘削箇所1(KP11.8)と掘削箇所4(KP13.8)の間の砂州は、6年後までCase1では、掘削前と同じ5個($L=2\lambda=2\times 2000/(5+1)=667\text{m}$)である一方で、Case0の4年目以降では、薄青の掘削箇所3付近で3個の砂州が1つに変化することで調査区間内の平均砂州波長が

$L=2\times 2000/(3+1)=1000\text{m}$ と伸張する傾向が確認できる。このようにCase0では、砂州の固定化および砂州波長の伸張が進み、一層の2極化（陸域と水域の比高の増加）につながり、河道管理上、および魚類等の生息環境や産卵環境として、Case1と比べて劣化傾向（微地形環境の単調化）を予測できる。

流路内に形成される単列交互砂州の波長を示す理論式（交互砂州の線形不安定性理論⁷⁾）

$$L_c = 5v \sqrt{\frac{B}{gi}} = \frac{5Q}{h\sqrt{Bgi}} = \frac{5B^{1/10}}{n^{3/5}\sqrt{g}} \left(\frac{Q^2}{i}\right)^{1/5} \quad (1)$$

を用いて、 $B=80\text{m}$ で一定とした場合の砂州波長 $L=2\lambda$ と形成流量との関係を図-6に示す。計算に用いたハイドロのピーク流量 $469\text{m}^3/\text{s}$ の時、式(1)で求めた波長は 751m となる。

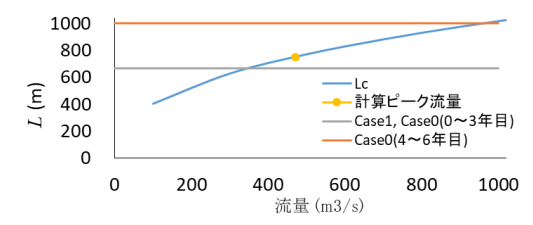


図-6 形成流量と砂州波長理論値(式1)

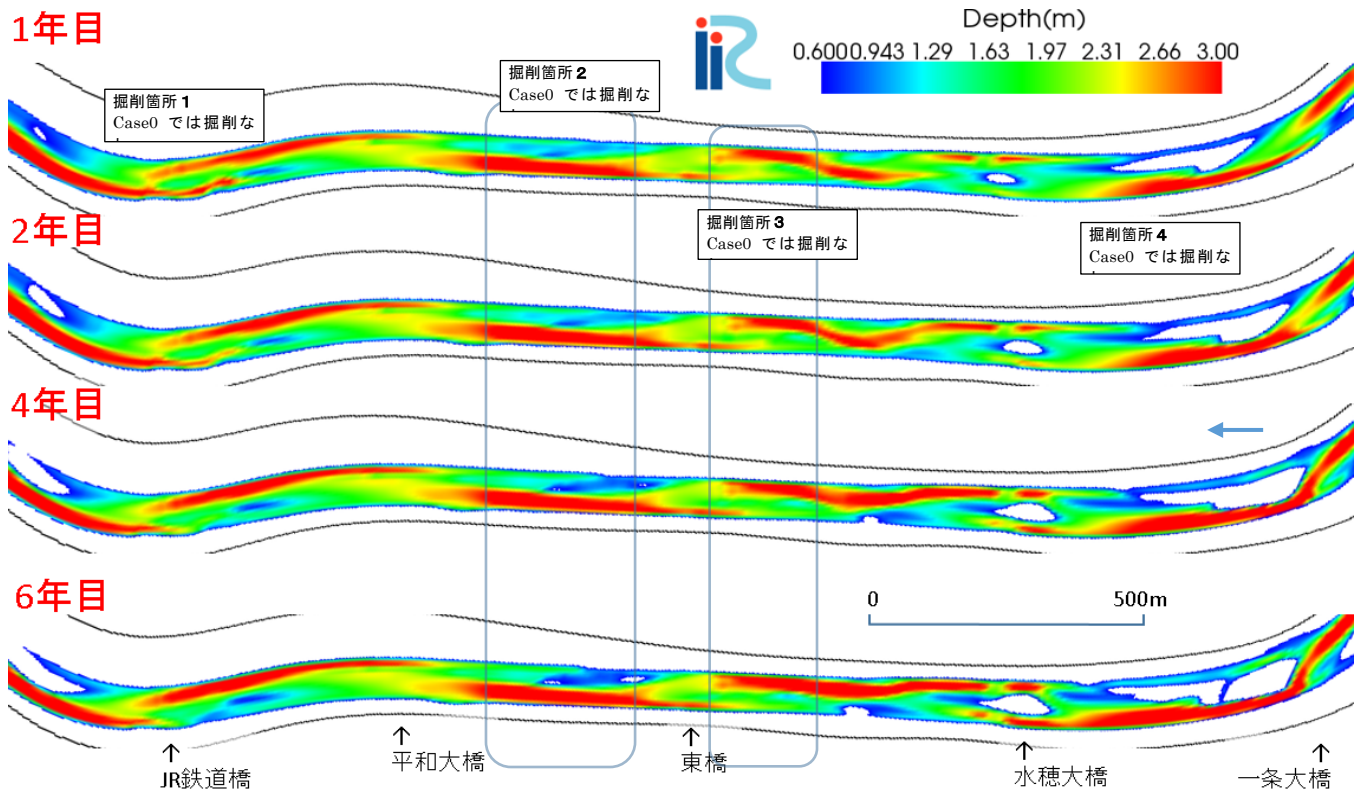


図-4 数値計算結果(Case0、掘削なし)

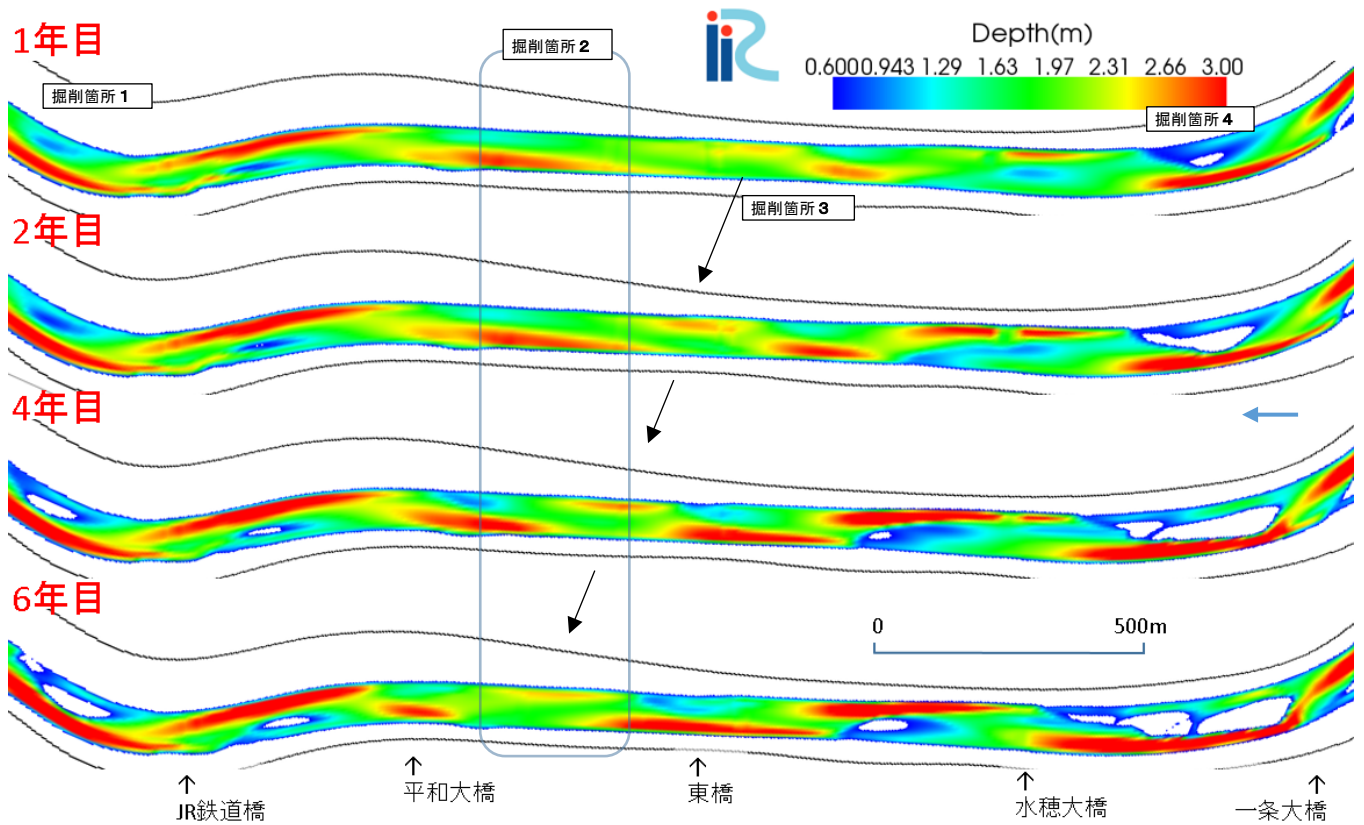


図-5 数値計算結果(Case1、掘削河道)

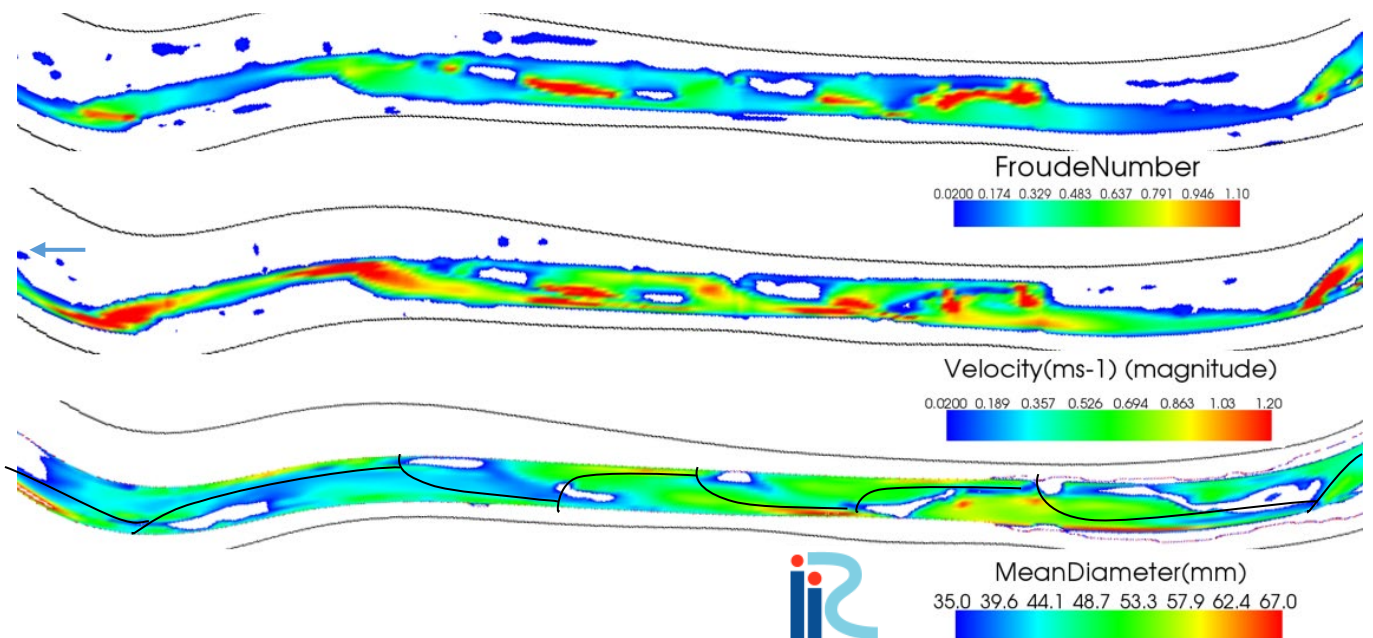


図-7 数値計算結果(Case1、掘削河道、3年目、 $Q = 17\text{m}^3/\text{s}$)

また、調査区間内の平均砂州波長 $L=667\text{m}$ の場合の形成流量は $Q=350\text{m}^3/\text{s}$ となり、概ね一致することがわかる。Case0の4年目以降の伸張した砂州波長 $L=1000\text{m}$ の場合の形成流量は $950\text{m}^3/\text{s}$ と大きめの値であること

がわかる。

図-7に、掘削河道 Case1 の3年後($Q = 17.6\text{m}^3/\text{s}$ 時)の計算結果(フルード数、流速分布、平均粒径)をそれぞれ示す。フルード数などからハビタットの区分を

試みている調査事例⁸⁾同様に、**図-7**上図でも例えばフルード数の大きな値である赤～黄の部分が早瀬と推定でき平水時の生息場の水理環境そして瀬や淵、副流路などハビタット毎の水理的特徴が読み取れる。**図-7**下図からは、計算により分級が進んだ平均粒径分布からは砂州前縁線に沿う深掘部（淵）の粒径が大きいことがわかる。この内上流側の淵頭は河床高の比高差ゆえに伏流水が多く、産卵床として好適な生息場でもある。

また**図-7**下図で、平均粒径が35mm以下と細かい粒径の分布箇所を見ると、主に砂州の下流側に分布していることがわかる。

以上、河床変動計算結果から確認できた掘削箇所2と掘削箇所3における河道掘削の影響としては、Case0で固定砂州のまま2極化が進む一方で、掘削したCase1で、交互砂州として下流への移動が起き、平水時に陸域だった個所の一部が、水域に変化することなどについて確認できた。

4. サケ産卵環境の評価手法

4.1 PHABSIMによる評価

PHABSIM (Physical HABitat SIMulation system)は、多項目の物理環境要素から環境を評価する手法であり、SI値(適性基準値)は、魚類が産卵床として選好し利用する割合を示す値である⁹⁾。

図-8に産卵床位置における物理量(水深、流速)の頻度分布を示す。ここで物理量は、現況河道におけるサケ遡上期の平均流量 $17.6\text{m}^3/\text{s}$ 時の計算結果(前章)を利用している。これを基に、既往知見^{10,11)}を踏まえた上で補正し、選好曲線を作成した(**図-8**)。なおここで用いた産卵床位置情報は、豊平川さけ科学館¹²⁾のH30産卵床位置データを用いた。

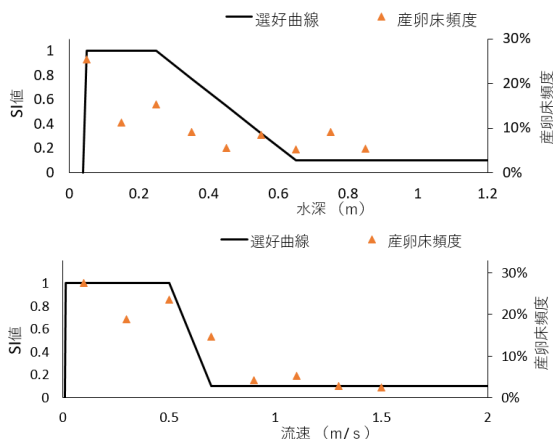


図-8 平面二次元河床変動計算に基づく適正基準SI値

4.2 CSI(合成適性値)の予測結果とサケ産卵環境の評価

JR鉄道橋から水穂大橋までの現況河道および3年後の予測河道における $Q = 17.6\text{m}^3/\text{s}$ 時(サケ遡上時平均)の計算水理量から**図-8**の選好曲線に対応する水深と流速のSI値を掛け合わせて求めたCSI(合成適性値)の平面分布を**図-9**および**図-10**に示す。

分布予測結果の内、**図-9**中央の掘削箇所2(薄青で囲んだエリア)に着目すると、掘削なしの河道では3年後も陸域のままであり、産卵床としての利用は出来ない。一方、掘削河道におけるサケ遡上時期の産卵環境は、陸域化しつつあった河畔林部分の砂州を切り下げることにより前章で示した河床変動を促し、水域が拡大したことが読み取れる。

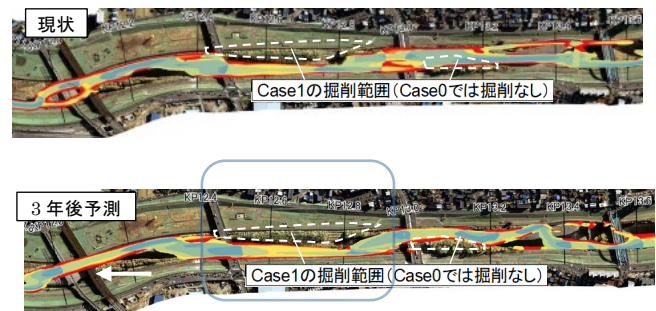


図-9 現況河道のCSI分布 (Case0)

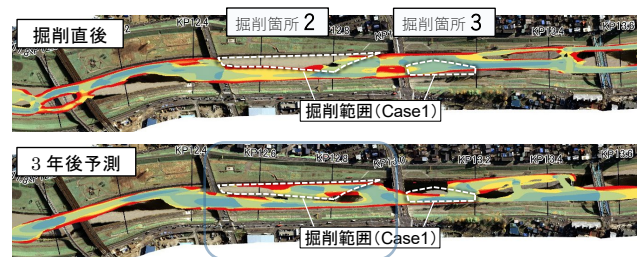


図-10 掘削河道のCSI分布 (Case1)

CSIの合計値がWUA(利用可能生息場面積)であるので、CSIの断面合計値つまり単位流路長あたりのWUAから掘削箇所における産卵環境としての評価を行った結果を、**図-11**に示す。掘削箇所2と掘削箇所3では、Case0よりも掘削したCase1で産卵環境としての評価が高い結果となった。掘削箇所3では、Case0の掘削なしの場合、固定砂州が拡大し、2極化が顕著となる結

果、流路長あたりWUAが減少したと推測される。

以上から掘削箇所2と掘削箇所3において、掘削による産卵適地が広がり、数年後まで維持されることがPHABSIMによる評価から確認できた。

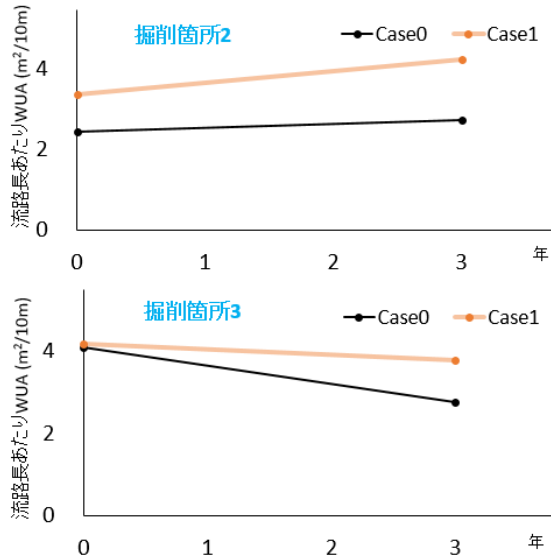


図-11 流路長あたりWUAの経年変化予測

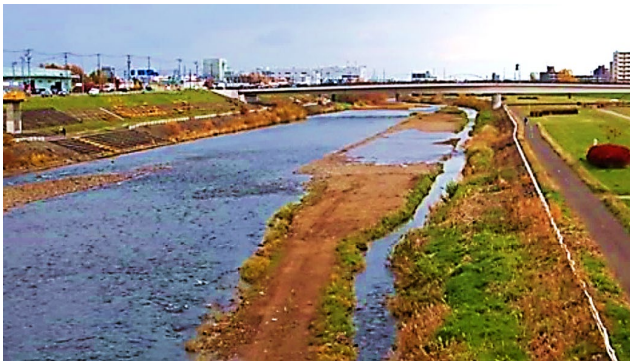


写真-2 掘削直後の河道(東橋から下流側を望む, R2年11月)

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において、掘削後の川幅が維持され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産卵環境の保全が図れるように掘削敷高を設定した。

河床変動計算結果からは、計4箇所の掘削箇所の内、2つの砂州掘削箇所において、掘削の効果により、固定化していた砂州が、交互砂州として下流へと移動することが予測できた。予測計算からは、砂州の移動に伴い、掘削砂州の一部は、平水時に水面へと変化することが確認できた。その結果をもとにPHABSIMを用いて物理環境評価を行った結果、産卵可能面積(WUA)の改善、つまりサケの産卵環境として好適な環境が創出されることが予測でき、その効果は少なくとも数年後までは維持されることが確認された。

一方で掘削しない場合、砂州の移動はみられず、固定したままで、数年後に、より2極化が進み、産卵環境として劣化傾向であることがPHABSIMから予測できた。

本稿で対象とした区間では、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、掘削工事が実施された(写真-2)。河道掘削が必要とされる多くの河川では、同様の課題を抱えており、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、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。今回検討した掘削断面の設定方法についても、現地のモニタリングを継続し、検討手法の妥当性を検証し、予測技術の向上を図りたい。

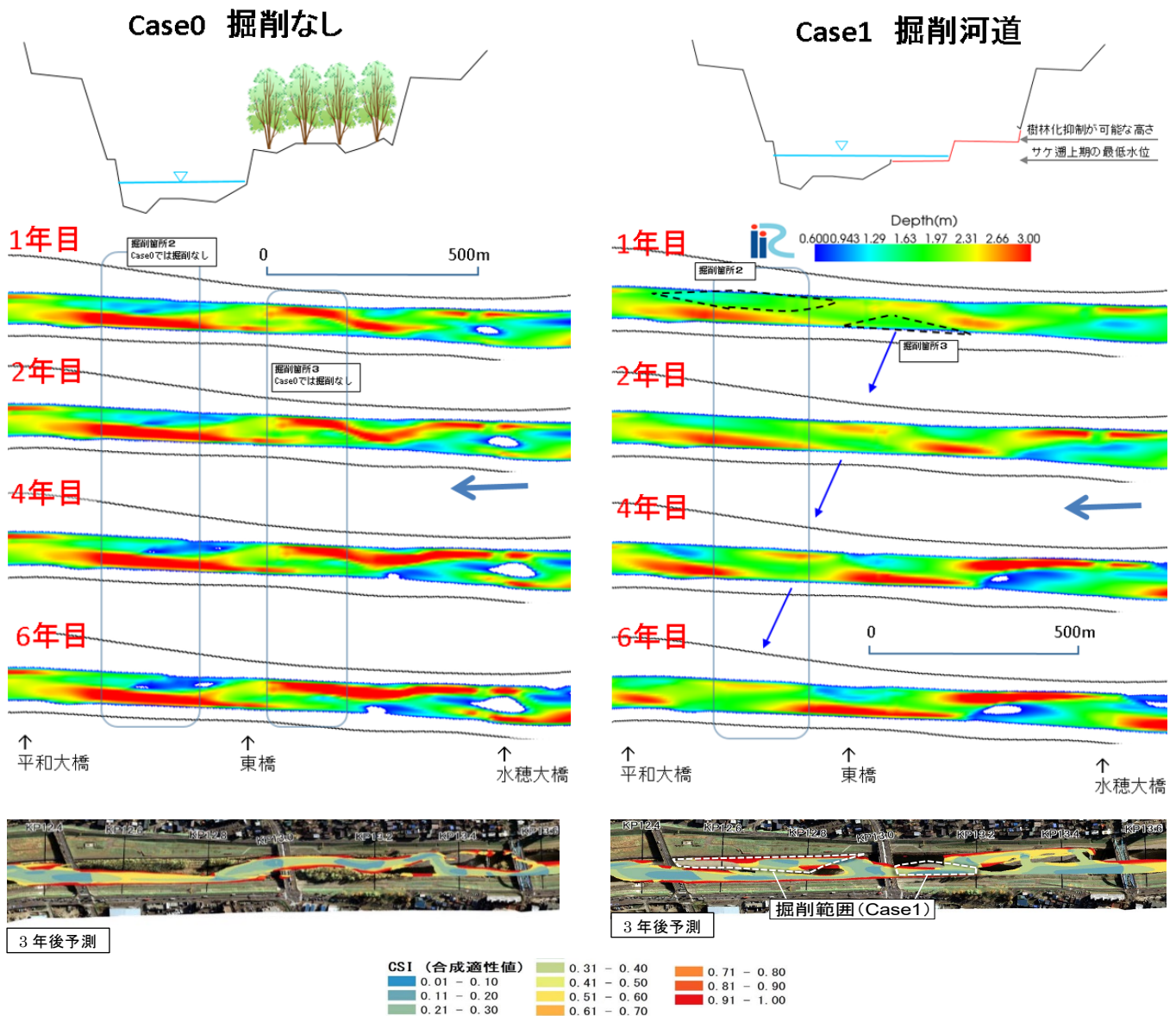


図-11 掘削の有無による河道変化予測と物理環境評価 (まとめ)

参考文献

- 1) 北海道開発局, (国研) 土木研究所寒地土木研究所: 北海道の急流河川における河川整備に関する研究, 平成 27 年度北海道開発技術研究発表会, 2016.
- 2) 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, <https://www.pwri.go.jp/jpn/results/report/report-project/2015/pdf/pro-8-3.pdf>
- 3) 国土交通省北海道開発局・(国研) 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), p51, 2011.
- 4) (財) 国土技術研究センター: 河道計画検討の手引き, 山海堂, p64, 2002.
- 5) 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 年度北海道開発技術研究発表会, 2016.
- 6) 濱木道大, 田代隆志, 白戸暢彦, 清水康行, 木村一郎: iRIC(Nays2DH)による豊平川昭和56年8月洪水の河床変動再現計算, 土木学会第 71 回年次学術講演会, II-074, 147-148, 2016.
- 7) 池田駿介, GaryParker, 澤井健二: 河川の蛇行に関する統一見解, 土木学会, 水理講演会論文集, 第 24 巻, pp. 339-

349, Feb, 1980.

- 8) 野上毅, 渡邊康玄: 急流河川におけるハビタットの定量的区分, 第46回北海道開発技術研究発表会, 2003.
- 9) 玉井信行, 奥田重俊, 中村俊六: 河川生態環境評価法, 東大出版会, 2000.
- 10) 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, No746, p17-24, 2015.
- 11) 鈴木俊哉: 遊楽部川におけるサケの自然産卵環境調査, さけ・ます資源管理センターニュース, No. 4, 1999. 9
- 12) 豊平川さけ科学館: <https://salmon-museum.jp/>
- 13) 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年度北海道開発技術研究発表会, 2019.

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、河野誉仁

【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。令和元年度は、事業規模に応じた効果的・効率的な河道計画・設計プロセスについて概説した。令和2年度は、仮想空間を用いた景観評価手法の構築に向けた取り組みを行ったので、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

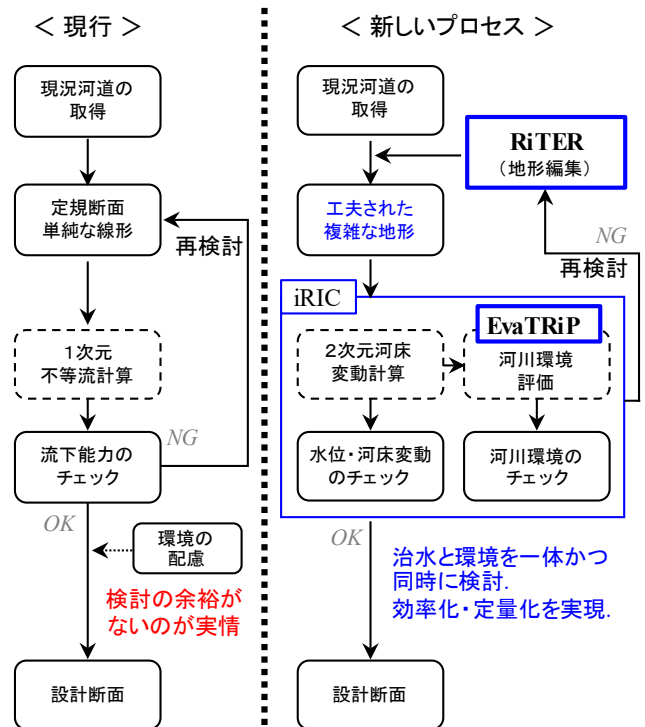


図-1 川づくりにおける横断面の検討方法
 (効果的・効率的な河道計画・設計プロセスの提案)

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。

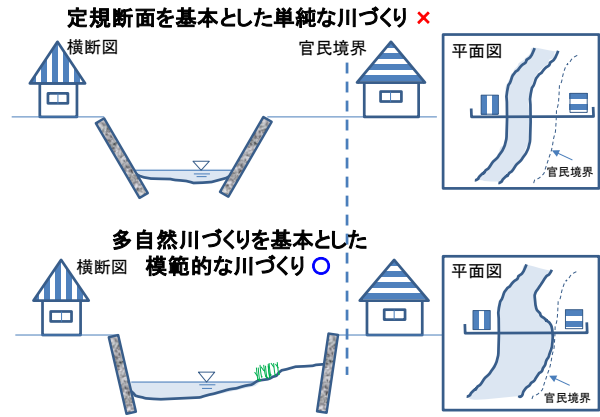


図-2 川づくりにおける横断面の検討方法

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図でも表示する機能、②横断面図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。横断面図ベースの河道地形編集は2次元であるが、iRICソフ

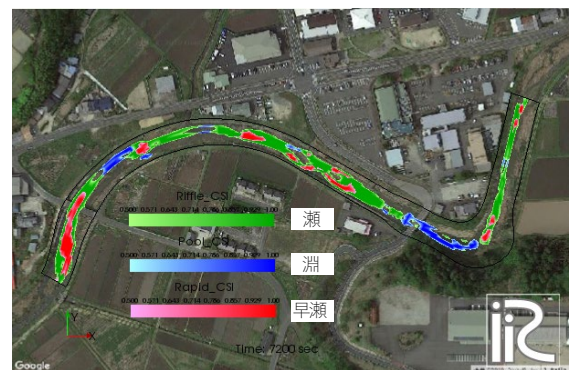


図-3 EvaTRiPの機能の一例 (瀬淵の抽出)

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 (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

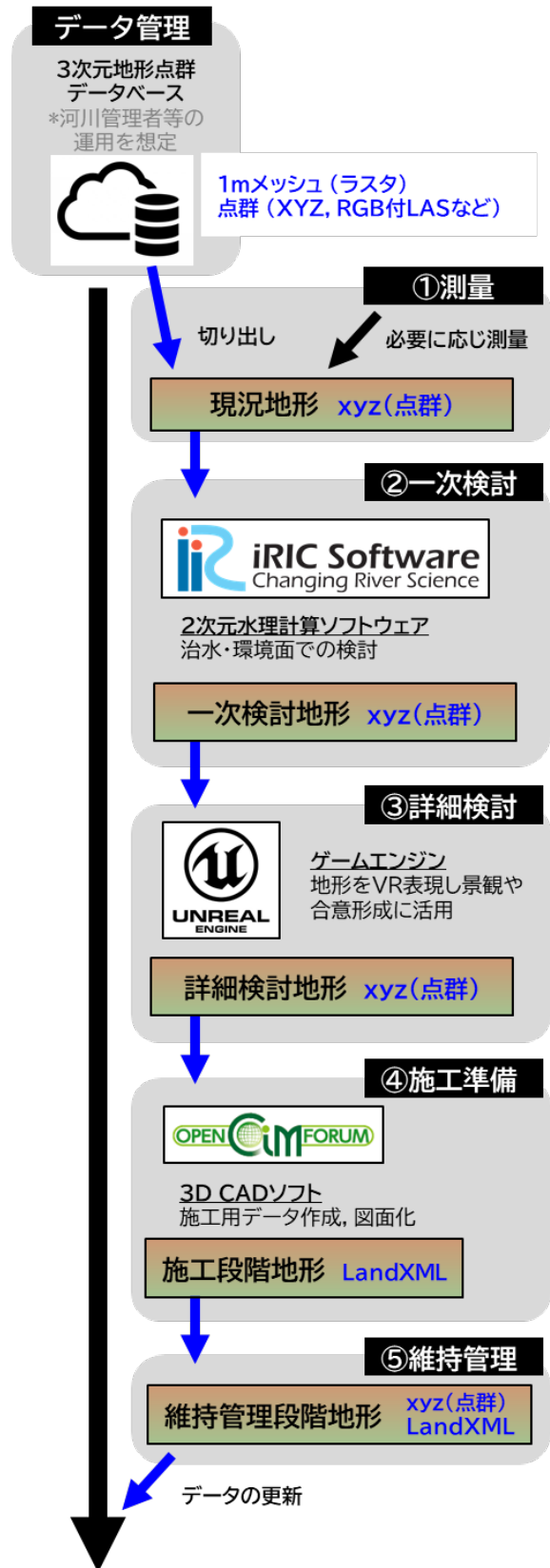


図-4 事業規模に応じた効果的・効率的な河道計画・設計プロセス

ウェアの活用など、汎用性の高いものとなるよう検討を進めている。

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、横断面作成の操作性の改善、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

見ながら地形を変えて合意形成といったことも可能である。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。

5. 仮想空間をもちいた景観評価の導入

近年活用の幅を広げている「ゲームエンジン」(Unreal Engine ほか) は、その大きな利点として、直感的な操作で簡単に定めらる自然な地形形状を作ることができることである。また、ゲームエンジンでの作業では3D バーチャル空間上で俯瞰やアイレベルでの景観を確認しながら作業でき、アイデアをすぐさまモデルに反映させることができる。なお、Unreal Engine については非ゲーム利用に関しては商用利用を含めて無料であるという特徴もある。そこで実際のかわまちづくりの現場において、Unreal Engine を用いて仮想空間化することを試みた。

5.1 ゲームエンジンを用いたかわまちづくりのケーススタディ

1) 作成の目的

自然共生研究センター周辺において計画されている「各務原市かわまちづくり」の場所(面積 約35ha)を合意形成等に用いるために仮想空間化するものである。

表-1 作業に用いた PC の諸元

項目	内容
CPU	Intel Core i7-8550U(1.8GHz) 4コア8スレッド
ストレージ	M.2 SSD 500GB 等 ※データ転送速度が作業性に影響するため HDD よりも SSD を推奨
メモリ	16GB
GPU	NVIDIA Geforce GTX1070 ※ノート PC の外付け GPU として使用しているため GTX1060 相当の動作
OS	Windows10Pro 64bit
ソフト	EPIC GAMES 社 Unreal Engine 4.25.3
備考	HP ELITEBOOK830G5

2) 作業環境

使用したゲームエンジンは、EPIC GAMES 社の UnrealEngine4.25.4 である。作業に用いた PC は、BIM/CIM ソフトが動作するスペックの PC を用いた。PC の諸元を表-1 に示す。なお、VR 等を行う場合には、使用する VR 機器が動作する PC スペック (特に描画用の GPU) が求められる。

3) ベースモデル作成

既設構造物や基本形状モデルの作成を行った。

- ・ 園路、植生、池等の基盤的な設備
- ・ 現地に既にある地域資産 (山の神等)
- ・ 対象地外側の周辺環境 (再現度の低いもの)

ワークショップ等で検討する各拠点のランドマーク設備のモデル化を行う。また、ベースモデルに関して園路や柵等の細部の仕上げを行った。

- ・ ランドマーク作成: ツリーハウス、竹のデッキ、

表-2 使用した資料

項目	内容
地形データ	国土地理院 5mDEM データを用いて、地形の平滑化のため 1m メッシュに内挿補間を実施した。
航空写真データ	(c)NTT 空間情報の GEOSPACE CDS を用いた。
建物データ	国土地理院 基盤地図情報基本項目の「建築物の外周線」を基礎データとして、AUTODESK Infravorks で 3D モデル (FBX) に変換して用いた。
遊具他データ (SEM モデル)	現地にてビデオ撮影を行い、SEM ソフトにてゲームエンジン向けの 3D モデル作成及び変換を行った。

竹のやぐら、竹のオブジェとステージ、高床式の建物、竹の案内板、竹の橋

- ・ ベースモデルに関する細部仕上げ(園路、柵等)

4) 使用した資料

地形データ、航空写真データ、建物データ、遊具などデータについて、詳細な内容については表-2 に示す。

5) 仮想空間構築の手順

仮想空間構築の手順は以下のとおりとする。

- ・ 地形データを QGIS でゲームエンジンに取り込むためのクリップと変換を実施
- ・ ゲームエンジン (Unreal Engine) で地形データの取り込みと各種モデルの配置、質感付与を実施
- ・ ゲームエンジンのテンプレートは、合意形成を目的としたため、仮想空間共有 VR 設定テンプレート (Collab viewer テンプレート) を用いた

※プロジェクト当初は Unreal Engine4.25.4 を使用し、プロジェクト納品前に Collab viewer で音声チャットがサポートされたため Unreal Engine4.26.1 にアップデートした。

6) 地形データの入出力

地形データ及び航空写真の起点位置を図-5 に示す。なお、地形データは国土地理院 5m DEM をもとに、地形の平滑化処理として 1m メッシュにしている。変換は単純平均を用いた (図-6)。地形データは PNG ファイルで生成されるものである。

上記の手順で作成した PNG ファイルをゲームエンジンの地形データとして読み込む。地形データの読み込みの際に、ゲームエンジン内で実際のスケールで扱えるように位置、高さを換算する。

7) 地形編集・空間デザイン作業

地形編集作業は、ゲームエンジンの地形編集機能を用いた。基本操作としては、ブラシを使用して、ペイントするイメージで掘削や盛土、段差を均したりする作業となる。実際の出来上がりを想像できるように、植生モデルや水面などを配置する。植生モデルは、一般的な植生については市販のパーツが販売や配布されているものの、重要種等の特殊な植生は植生作成ソフト等で作成する必要がある。

8) 地表面などの素材づくりのポイント

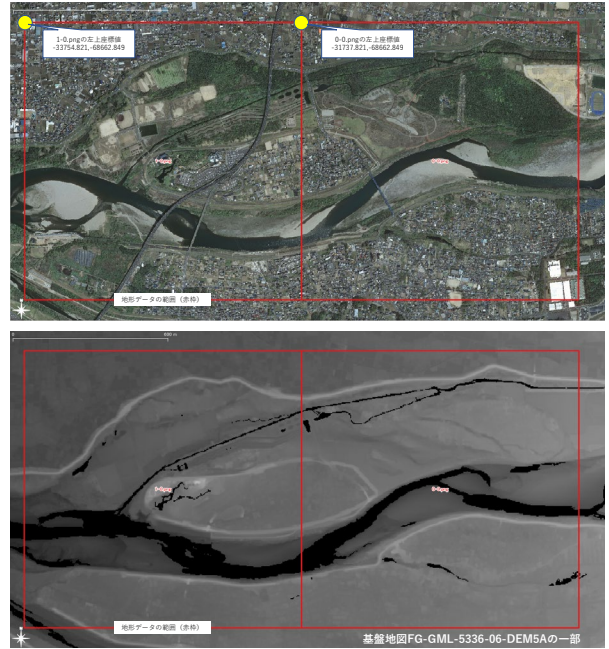


図-5 地形データの範囲 (上図)、作成した地形データ (下図)

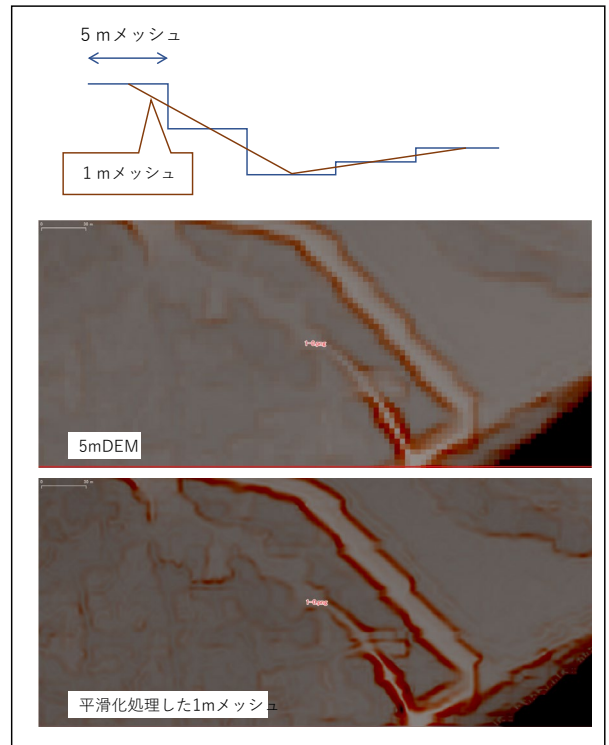


図-6 地形の標準化処理について

河床材料などは広い面積に張り付けることから繰り返しのパターンが目立ちやすく、出力がパースやCG と異なり違和感を覚える場合がある。

テクスチャを航空写真のように現地の写真を反映して作成すれば、繰り返しの違和感をなくすることができるものの、画像サイズが巨大になり、ソフトウェアの動

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

作が重くなるなどあまり現実的ではない。そこで、動作を軽くしながら繰り返しの違和感を軽減することが河床材料のテクスチャの基本となる。

9) 確認及び仮想空間共有

確認は編集画面上で行うほか、コンテンツとして出力（ソフトによってはビルドやパッケージ化など）すると、他の PC 等との空間共有やヘッドセットを活用した VR 空間での確認ができる。ゲームエンジンの利点として、編集画面でのリアルタイム描画が可能であることから、合意形成の初期段階では、編集画面で実際に地形を編集しながら出来上がりを確認するような使い方も適している。また、コンテンツとして出力した場合、VR ヘッドセット等を用いて仮想空間内で体験することが可能となるため、使い勝手や危険箇所などを確認する利用方法も適している。

10) かさだ広場における仮想空間

かさだ広場の仮想空間を作成するにあたり、図-9 の示す地図を用意し、それぞれに区域における説明書きを加えた。次に上記(1)～(9)を実行することで、かさだ広場における仮想空間を作成することが出来た(図-9)。この仮想空間をかわまちづくりの計画作成時、工事を行う住民説明会などにおいて使用することで整備後の情報の共通理解が進むものである。この説明会においても仮想空間の操作を行うことで、地盤の掘削や盛土、建物の配置を行うことができる。そのため、景観の評価を行うことが可能となる。

今後、実際に河川改修が行われる箇所において仮想

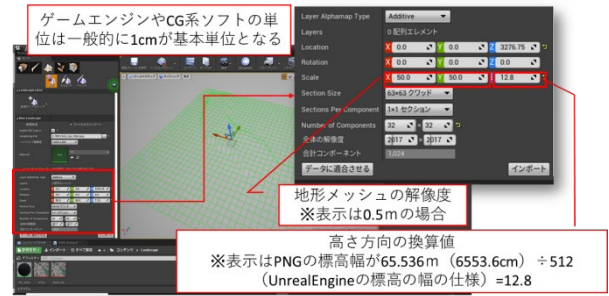


図-7 ゲームエンジンでの地形データの調整



図-8 コンテンツとしての出力例
複数 PC で同時に確認が可能

空間を構築することと、河川改修前後における景観評価も可能となる(図-9)。

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/

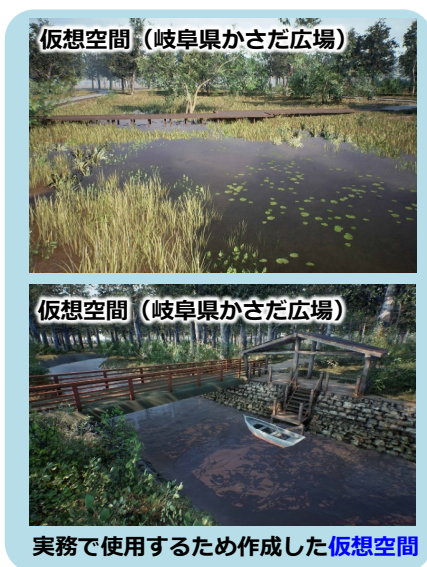
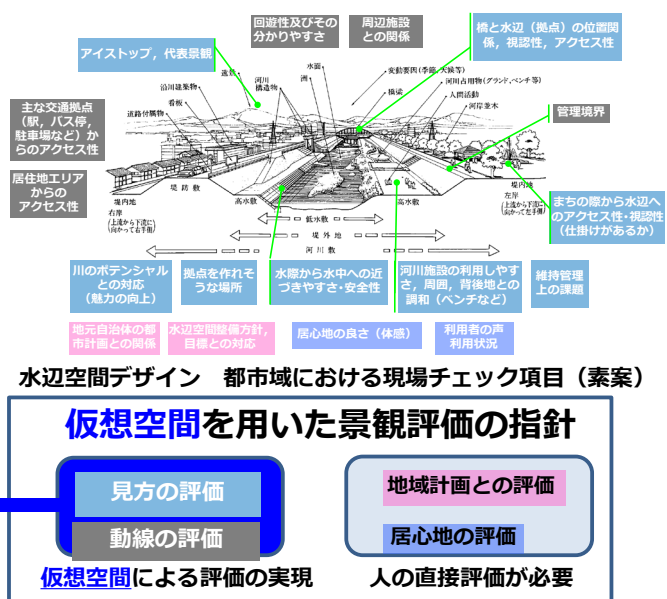


図-9 VR 技術（仮想空間）を用いた水辺空間デザインへの活用（背後地も含めた景観評価）の実用化



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

- 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>