

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～33 年度

プログラムリーダー：水環境研究グループ長 森 吉尚

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

1. 研究の必要性

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

2. 目標とする研究開発成果

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

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

3. 研究の成果・取組

「2. 目標とする研究開発成果」に示した達成目標に関して、平成 28 年度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。なお、達成目標 (3) に関する取組みにも着手したが、達成目標 (2) で実施した内容と重なる部分が多いため、達成目標 (2) でまとめて記述する。

(1) 河川景観・生物の生育・生息場等に着目した空間管理技術の開発

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

景観、人の利用の観点からは、「景観保全区間」（傑出した景観資源のある場）、「景観形成区間」（身近な景観資源、人の利用可能性が高い場）を設定し、既存文献分析及び事例調査から、これらの区間（拠点）を抽出するための評価軸を検討した。検討結果から、「川のポテンシャル」、「都市・人々との関係」等 6 つの評価軸（案）を提示した。

生物に関しては、植物について、保全すべき植物群落が持続的に成立する箇所を保全優先地区（ホットスポット）とし、これらの分布と成立条件を明らかにした。沈水植物群落は、成立後の年数が新しく土砂が堆積せず、さらに湧水が流入するたまりに持続的に成立することが分かった。抽水植物群落（ヨシ群落）では、地形変化のないところで持続的に成立し、堆積により他の群落へ遷移することから、地形が堆積傾向にない箇所を保全優先地区として抽出した。

また、鳥類について、希少性、典型性、特殊性の観点から保全対象種を抽出する手順を検討した。鬼怒川を対象として、鳥類種の分布と植生基本分類及び環境条件との関係性の解析を実施した。

(2) 河道掘削等の人為的改変に対する植生・魚類等の応答予測技術の開発

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

陸域においては、河道掘削による砂礫河原再生、樹林化抑制を低コストで行うために、旧流路部を活用し洪水流を陸域へ導水する水路掘削と平面掘削の併用による砂礫河原再生を国道交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所と共同で検討した。その結果、洪水流の陸域への導流・越流に成功し、砂礫河原再生、樹林化抑制に成功した。また、掘削コストは1/3に圧縮することに成功した。同時に、近年、開発・普及が進む UAV の画像を、人工知能を用いて分析し、植物群落境界の自動検出・表層土壌材料の自動判読の可能性を確認した。

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。その結果、調査区間の $BI^{0.2}/H$ の平均値が 15~20 付近の単列砂州発生領域と複列砂州発生領域の境界付近で、稚魚の個体数が多く、平均合成適性値も高いことが確認された。また、魚類生息場などの河川環境上重要な河床地形の alcove について河床変動計算による発現条件を抽出した。その結果、 $BI^{0.2}/H$ が単列砂州形成と複列砂州形成の境界付近の水利条件で alcove も形成が確認されることがわかった。よって、 $BI^{0.2}/H$ が単列砂州形成と複列砂州形成の境界付近の水利条件では、alcove など多様な河床形状が形成され、ウグイの生息環境に適した地形・流況も多く発現したと想定され、その結果ウグイの稚魚個体数が多かったと考えられる。

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

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

Research Period : FY2016-2021

Program Leader : Director of Water Environment Research Group
Yoshinao MORI

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

Abstract :

We developed a technology to extract bases to be conserved in rivers. From the viewpoint of river landscape and people's use, we examined the evaluation axis for extracting bases from the literature survey and the case study. From the study results, six evaluation axes were presented. 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. For the birds, conservation target species were extracted from the viewpoint of rarity, typicality, and specialty, and the relationship between species distribution, vegetation classification and environmental conditions was analyzed.

To restore sand and gravel riverbed through river channel excavation and to control of woods over growth in low cost, we assessed effectivity of both channel excavation and plan excavation, which introduce the flood flow into the river terrace on sand and gravel riverbed restoration, corroborating with the Chikuma river management office. In the results, the excavation method success to restore the sand and gravel riverbed and control the woods over growth. The excavation method also success to reduce the cost of excavation was reduced to 1/3. Concurrently, application of AI (Artificial Intelligence) on UAV (Unmanned Aerial Vehicle) image, we succeed in automatically recognition of vegetation community boundary and surface bed material.

To clarify whether the regime criteria on formation of bars and braids in alluvial channels detects fish habitat characteristics, the relationship between $BI^{0.2}/H$ and the fish population was analyzed. Our results show that the rivers which $BI^{0.2}/H$ was between 15 and 20, were suitable for juvenile fish. These results suggest that $BI^{0.2}/H$ could be useful to understand quality of the fish habitat.

Also, we developed 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 developed 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.

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*

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：萱場祐一、鶴田舞、片桐浩司

【要旨】

平成 28 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、「景観保全区間」、「景観形成区間」を設定し、既存文献分析及び事例調査から、これらの区間（拠点）を抽出するための評価軸を検討した。検討結果から、6つの評価軸（案）を提示した。

生物に関しては、保全対象とする植物群落を対象に、群落が持続的に成立する箇所を保全優先地区とし、これらの分布と成立条件を明らかにした。また、鳥類を対象とした抽出に着手した。希少性、典型性、特殊性の観点から保全対象種を抽出し、種の分布と植生基本分類および環境条件との関係性の解析を行なった。

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の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、人の利用から見た景観保全地区及び景観形成地区の抽出技術の開発、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、28 年度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、人の利用から見た景観保全地区および景観形成地区の抽出技術に関する研究

28 年度は、河川景観計画策定に係る既存文献等の分析、河川景観整備事例の調査分析を行い、「景観保全区間」（傑出した景観資源のある場）、「景観形成区間」（身近な景観資源、人の利用可能性が高い場）（以下、合わせて「重点区間」という。）を抽出するための評価軸を検討した。

2.1 方法

図-1 に示す手順で検討を行った。

- ① 河川景観計画策定に係る既往文献^{3)~5)}から、河川景観の重点区間の抽出に参考となる事項を整理した。
- ② 景観に係る環境影響評価のガイドライン⁶⁾を参照して、地域の景観特性及びふれあい活動の場の主要な要素を把握するために必要な情報を整理した。環境影響評価では、評価対象事業（河川、道路等の事業種）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らず重点区間の抽出を行うものではないが、評価軸の設定に漏れがないか確認する上で参考になると考えた。
- ③ 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（ふるさとの川整備事業等）を調査し^{8),9)}、整備区間の選定条件

を整理した。

④ ③の結果と①②の結果を比較し、河川景観重点区間の評価軸を取りまとめた。

2. 2 結果と考察

2.2.1 既往文献の整理結果

重点区間の抽出に参考となる事項について、景観の保全を目指す区間と景観の整備を目指す区間に分けて整理した。結果を表-1に示す。

前者はすでに良好な景観である区間を守るものであり、(a)~(c)の3つに分類した。(a),(b)は法令や調査で保全の必要性が明確化されている。(c)については①の文献で具体例が示されていた。

後者は整備により景観及び人の利用が向上する可能性が高い区間であり、(d),(e),(f)の3つに分類した((e')は(e)に含める)。

①と②の文献で共通する事項もあったが、川のポテンシャル(①のみ具体例の記載)、利用ルート・交通量、地域の歴史の変遷(②のみ言及)等、片方でのみ言及している事項もあった。そこで、良好な河川景観整備が行われた事例を調査し、整備区間の選定条件を整理・比較した。

2.2.2 事例分析結果及び評価軸の提案

各事例の整備区間の選定条件を表-2にまとめた。一乗谷川、津和野川は景観保全区間、その他の事例は景観形成区間に相当する。選定条件の細目は、表-1を参照しながら事例分析結果に合わせて決定した。ハッチをかけた箇所が、各事例において特に重視された選定条件である。選定条件の細目のうちハッチが1箇所以上あるものは、河川景観の重要区間の抽出条件として考えられ、評価軸に設定できる可能性が高い。特に、(e)の「沿川要素を取りこめる所」は全ての事例に当てはまっており、重要な選定条件と思われる。一方、(e')アクセス特性や利用者数の想定は少なかったが、拠点整備の検討には重要な事項と思われる。

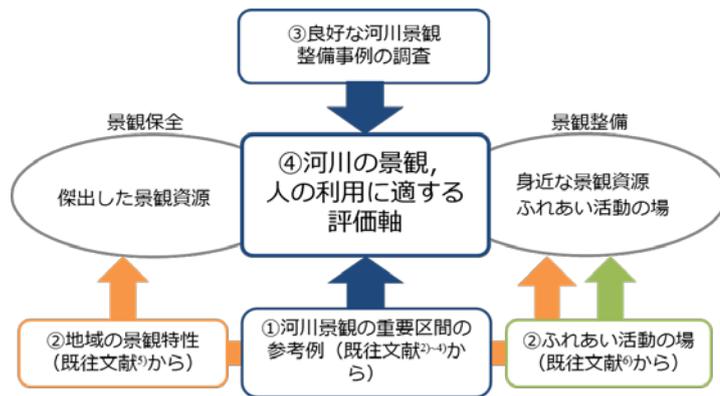


図-1 検討手順

表-1 重点区間の抽出に参考となる事項 (文献調査から)

分類		①文献から	②文献から
景観保全を目指す区間	(a)自然風景として質の高い区域	法令等で保全が指定されている 既存の公的調査等で価値判断がなされている	法指定地域地区等
	(b)歴史的街並みや構造物がある区域		
	(c)地域を特徴づける景観 (自然的, 歴史的, 文化的)	溪谷, 氾濫原 水害防備林等の樹林地 大きな崖や淵 歴史的な土木構造物	地域の空間の骨格となる要素 (自然, 歴史, 生活の営み)
景観整備を目指す区間	(d)重要景観 (歴史・文化)	歴史的な景観が優れている場所 伝統的行事の場	法指定地域地区等 地域を特徴づける歴史・文化的事項
	(e)都市・人々の暮らしとの関わり	まちづくりと一体的な文化的景観の創出を図る箇所	不特定多数の人が集まる公共性・利用性の高い場所 日常的に利用されているルート・通行量 日常的な活動及び場所 (毎日の活動, イベントなど) 人々の利用を前提に設けられた場所・施設 利用可能性がある場 (樹林, 草地, 学校等) 地域の歴史の変遷 (市街化や緑地の変容など)
	(e')主要なふれあい活動の場		自然とのふれあい活動が行える施設や整備 (利用状況, 活動の多様性, 活動を支える場の状態, アクセス特性, 利用者数, 利用者属性等)
	(f)川のポテンシャル	分・合流点, 中の島 自然環境が良好な所 感潮部 橋・橋詰	利用可能性がある場 (河川・水辺等)

表-2 整備区間の選定条件

対象河川	茂滝川	子吉川	横手川	阿武隈川	阿武隈川	坂川	和泉川	糸貫川	一乗谷川	太田川	津和野川	
事業名称	ふるさとの川モ デル事業	癒しの川整備事 業	ふるさとの川モ デル事業	渡利水辺の森校 整備事業	御倉地区河川整 備事業	ふるさとの川モ デル事業	ふるさとの川モ デル事業	北方町かわまち づくり	ふるさとの川モ デル事業	基町環境整備 事業	ふるさとの川モ デル事業	
選定条件	細目											
◎重要景観	文化財保護法、景観法等の法令で指定			△(鳥海山を眺望)						○(特別名勝)	△(原爆ドームを眺望)	○(景観条例) △(青野山を眺望)
	歴史的な景観が優れている場所					○(城下町、石積み)					△(広島城)	○(伝統的町並み)
	伝統的行事の場			○(送り盆祭りなど)								○(灯籠流し)
◎都市・人々との関係	まちづくり計画で整備・保全の位置づけ	○		○			○	○	○		○	
	観光拠点			○(祭りの開催)						○(観光振興)		○(観光地)
	市街地中心部	○	○	○	○	○	○				○	○
	沿川要素(学校、公園、史跡等)を取り込める所	○(旧河道、河畔林)	○(病院)	○(横手城址)	○(渡利小学校)	○(旧日銀支店長宅)	○(松戸神社、松龍寺、小山樋門橋)	○(斜面林)	○(公園の整備)	○(史跡公園)	○(公園)	○(観光施設)
	イベントの場									○(戦国祭り)		
	公共性・利用性の高い場所		○(病院に隣接)	○(祭りの会場)		○(散策ルート上)	○(神社)	○(遊び圏が重なる)	○(公園に隣接)		○(中央公園に隣接)	
	アクセス特性(アクセスルートの種類、移動手段、通行量、所要時間等)		△(サイクリングロード)			○(アクセスルート)	○(駅周辺部)				○	○(観光ルート)
歴史的変遷	○(市街地化から旧河道の自然を保全する)			○(河岸域が植生繁茂し利用困難)	○(幕府の米蔵、河岸を荷揚げ場として利用)	○(松戸宿、経済的地盤沈下)	○(斜面林を保全する)		○(戦国時代朝倉氏の拠点)	○(被爆の歴史を継承、戦災復興(都市緑化))		
◎川のポテンシャル	水中(水質等)	△(清冽な水質)			△(洲:水鳥の休憩場所)		○(水質汚濁の再生)		△(清冽な水質)	△(清冽な水質)		△(鯉が泳ぐ)
	利用可能スペース(河岸域、分・合流点、中の島、感潮部)	○(氾濫原、旧河道)	○(高水敷)	○(祭り等で高水敷を利用)	○(磯可原、高水敷、樹木)	○(合流部)	△(屈曲部)		○(高水敷、水際)		○(高水敷) △(感潮部)	
	橋・橋詰		△	○(眺望点、祭りの会場)	△	△			△		△	○(眺望点、観光ルート上)

△:選定条件には直接該当していない事項

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^{10,11)}。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ま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。

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

3.1 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-1)。河道内に、湿地や大小さまざまなワンド、たまりなどの氾濫原水域が形成されている。本調査地では、1981 年頃より河道の局所的な洗掘が進行し、流路と高水敷の比高差が拡大していることが報告されている。

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-1)。千曲川では、1998 年 8 月と 1999 年 8 月に 2000 m/s を超える大きな洪水が発生し、調査範囲内の植生の大部分が流失したことが報告されている¹²⁾。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-2)。ヨシ群落が維持された箇所は、全パッチのわずか 10% 程度であった。

ヨシ群落が流路や裸地へと変化したところでは、侵食により 2.5m 程度 (中央値) の地盤の低下が起こった (図-2)。一方、他の植物群落へと遷移したところでは、外来種群落を除きいずれも土砂が堆積した。ヨシ群落からの遷移の頻度が最も高かったのはオギ群落であり、全体の 30% 近くを占めた。ここでは、1994 年から 2008 年の 14 年間で、1.3m 程度 (中央値) の土砂の堆積がみられた (図-2、図-3)。オギは砂礫による埋没を受けても、幹の節から新しい根やシュートを出すことですばやく群落を回復させる

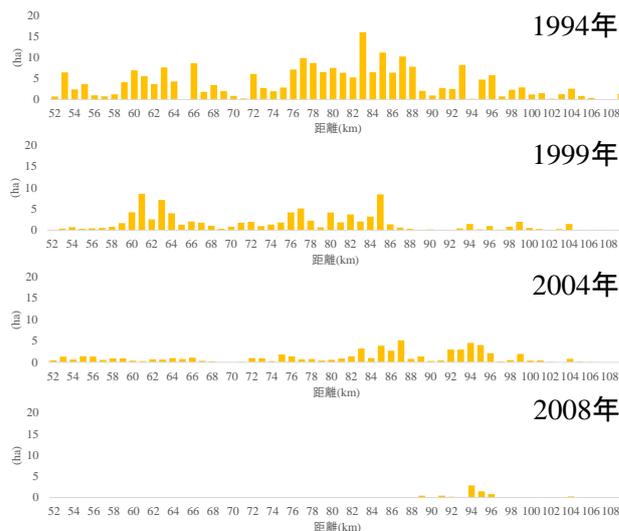


図-1 千曲川(KP52-108km)におけるヨシ群落の変遷

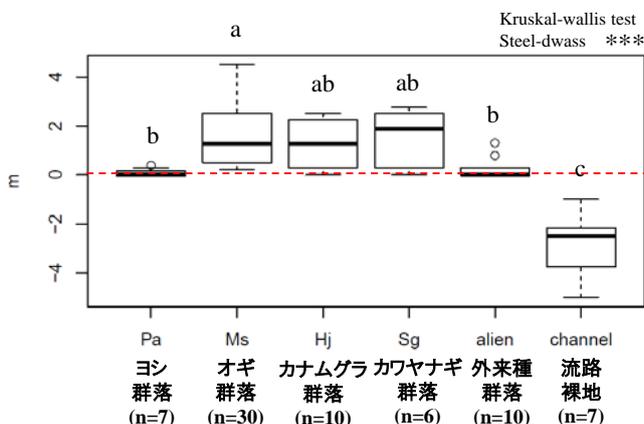


図-2 植生遷移後の地形変化

(ヨシ群落からの遷移, 1994 年→2008 年)

¹³⁾ 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¹²⁾。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流出したのち、高水敷上に土砂が堆積したところでは、土砂による埋没に耐性を持ち、地下茎によって拡大するオギが優占し、洪水前のヨシ群落からオギ群落への遷移が起こったと考えられる。

これに対し、ヨシ群落は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-2, 図-3)。ここでは、地下茎を発達させながら、土砂が厚く堆積した条件のもとで広がるオギが拡大できず、もともと高い被度で生育していたヨシが再生できたものと考えられる。

ヨシ群落は、日本の氾濫原湿地にみられる代表的な植物群落のひとつである。しかしヨシ群落では、近年、河川改修などの開発や、侵略的外来植物の侵入などによる消失や変質が進行していることが報告されている¹⁴⁾。千曲川のヨシ群落内では、最近になって外来種の割合が増えてきており、とくに2004年以降、特定外来生物のアレチウリもみられるようになった。これはアレチウリが千曲川で急増し始めた時期と一致している。また2004年以降、ヨシ群落がハリエンジュ群落をはじめとする外来種群落へと遷移した。ハリエンジュは河川の増水によって植物体の一部や種子が運ばれ、これらが漂着したところでいち早く発芽し、空間を占有することで拡大する¹⁵⁾。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-2)。ハリエンジュの種子は、洪水時に高水敷上の広範囲に分散し定着することが知られている¹⁵⁾。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発達したのであろう。

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

3.2 沈水植物群落を対象とした保全優先地区の抽出(揖斐川における事例)

3.2.1 調査地

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

3.2.2 資料調査

水辺の国調(揖斐川)の1997年、2002年、2007年、2012

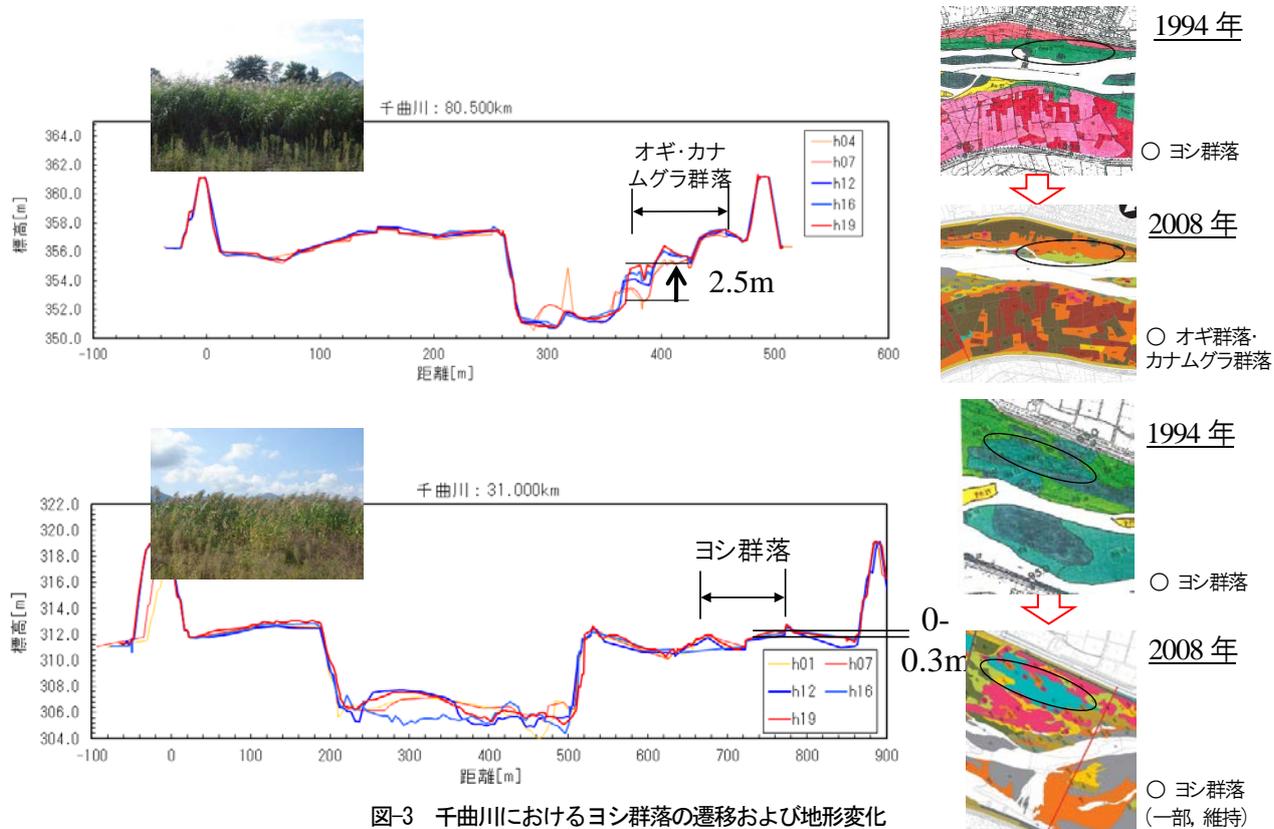


図-3 千曲川におけるヨシ群落の遷移および地形変化

(水辺の国調の植生図および定期横断測量図を使用)

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

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(1994)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)、全りん(以下、T-P)を計測した。

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

3.2.4 統計解析

26の調査方形区で得た植生データ(すべての植物の被度)をもちいて氾濫原水域の植生分類をおこなった。植生の分類に用いたプログラムはTWINSPAN(Two-way Indicator Species analysis)である。分類された植生タイプ間で、13の環境因子(水深、泥厚、水温、透視度、流速、pH、電気伝導度(EC)、溶存酸素量(DO)、全窒素(T-N)、全りん(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

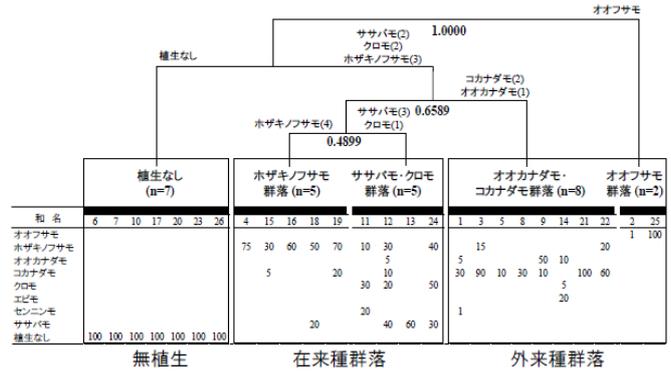


図4 TWINSPANによる沈水植物群落の区分 (デンドログラム中の数字は固有値、種名は指標種を示す)

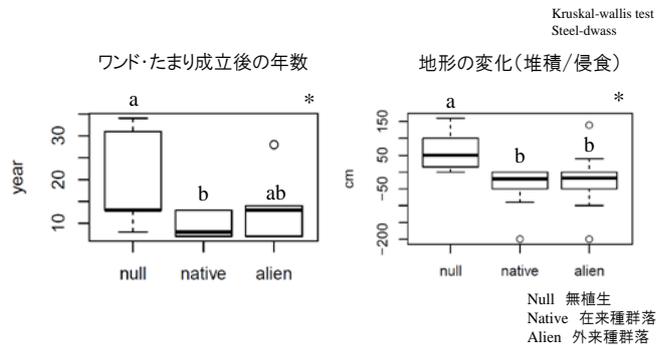


図5 植生タイプ間の環境条件の比較 (有意な項目のみ表)

落が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-4)。

無植生、在来種群落、外来種群落の3つの植生タイプ間で、13の環境因子を比較した結果、植生のない氾濫原水域は、成立後の年数が古く、地形が堆積傾向にあることが示された(図-5)。2002年から2011年にかけての地形変化をみると、無植生の調査地では堆積が確認され、逆に侵食がみられた在来種群落および外来種群落と有意に異なった(図-5)。定期横断測量の結果から、無植生の水域では、最近9年間で50cm、年平均では5.5cm程度の堆積(中央値)が起こった(図-5)。これは揖斐川高水敷の掘削箇所において掘削後の土砂堆積速度を推定した値である年間5

~12cm¹⁶)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 0.12~0.2cm¹⁷)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-6)。これは本川との接続頻度が高いために、本川の環境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¹⁸⁾ことで短期間のうちに外来種群落が発立したと考えられる。一方、本川から切り離され孤立したたまりでは、年数の経過とともに、易分解性有機物の堆積による嫌気過程の進行¹⁹⁾が起き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-6)、外来種群落は、ワンドだけでなく、孤立し嫌気的な環境となったたまりにも適応した植物群落であるといえる。

ササバモ、ホザキノフサモなどの在来種群落は、たまりのみに成立したが、これらは、泥厚と EC が低いことで特徴づけられた。原田ほか¹⁶⁾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-7)。

③保全優先地区(ホットスポット)の抽出

このように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-8)。

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

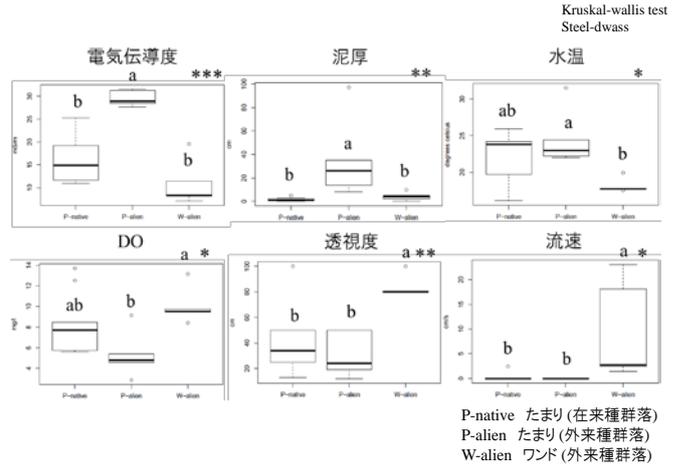


図-6 ワンドとたまりにおける環境条件の比較 (ワンドには外来種群落のみが成立)

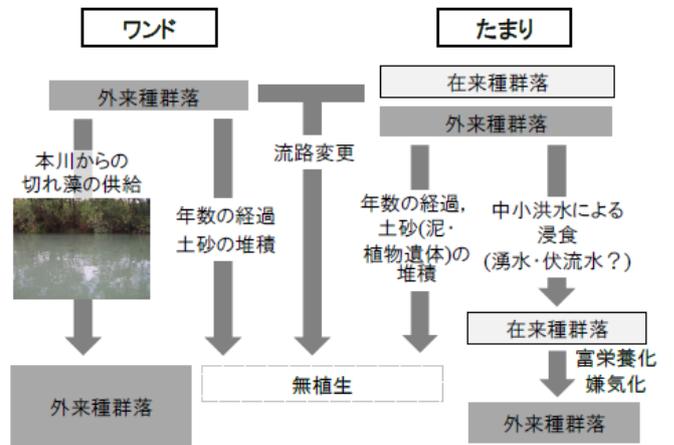


図-7 揖斐川の氾濫原水域における沈水植物群落の変遷(模式図)



図-8 揖斐川におけるワンド・たまりの分布と保全優先地区

4. 鳥類を対象とした保全優先地区の抽出

前中期プロジェクトで対象とした植物・植生に加え、28年度は、鳥類を対象とした保全優先地区の抽出に着手した。具体的には、過年度の水辺の国調のデータを用いて、希少性、典型性、特殊性の観点から鳥類の保全対象種を選定し、これらと植物群落との関連付けをおこなった。さらに鳥類を対象とした保全優先地区（ホットスポット）を抽出するためのデータ整理・解析の方法と、その手順について検討した。

ここでは、まず鳥類を対象とした保全優先地区の抽出手順について述べる。

4. 1 保全優先地区の抽出手順

4.1.1 評価対象河川の資料の入手

まず過年度の河川水辺の国勢調査（鳥類調査、河川環境基図作成調査）の報告書ファイル、csv形式データファイルを、評価対象河川を所管する地方整備局、河川事務所より入手する。

4.1.2 データ整理・解析の方法

4.1.1で入手したcsvファイルから、鳥類調査の「T_鳥類調査結果」を用いて、各調査地区の種名、個体数、備考、繁殖行動、巣の数を抽出する（図-9、赤表示）。なお、備考欄に「上空通過」の記載のあるものは、河川への依存度が低い個体（群）として除外する。さらに「T_鳥類集団分布地一覧表」を用いて、集団分布地を抽出する。

次に、各河川における保全対象種を、以下に示す希少性、典型性、特殊性の観点からそれぞれ選定する。

- ・**希少性**：「絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律」（法律第75号平成4年）における国内希少野生動植物種、環境省および地方版（都道府県）レッドリスト（レッドデータブック）に掲載された種を抽出する（「日本のレッドデータ検索システム」を使用）。これらのうち、「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」で、「森林」、「草地裸地」、「湖沼河川湿地」の3つに分類される種を、希少性に該当する種とする。
- ・**典型性**：JAVIAN Databaseに記載された各種の生態情報から「湖沼河川に生息する種」もしくは「水面に営巣する種」を抽出し、これらを典型性に該当する種とする。
- ・**特殊性**：環境省および地方版（都道府県）レッドリストに掲載された絶滅のおそれのある地域個体群、環境省の「生物多様性の観点から重要度の高い湿地」（略称「重要湿地」）に掲載された河川（および

図-9 csvデータファイル内の「T_鳥類調査結果」の構成

湖沼)の生息種・個体群、水辺の国調の「集団分布地調査」から得られる集団分布地^{注1)}、水辺の国調で繁殖が確認された種^{注2)}、全109水系をみて出現頻度が10%未満の種を特殊性に該当する種とする。

csvファイルの「T_鳥類調査地区」から、各調査地の位置（距離）を把握する。抽出したデータを用いて、調査地単位で各種の個体数を集計する。各カテゴリー（希少性、典型性、特殊性）単位で、「森林性、草地性、湖沼河川性希少種数・個体数」、「典型性種数・個体数」、「特殊性地点数」を算出する。

注1) 「集団分布地」については、市街地にも繁殖する種（スズメ、ツバメ、カラス類など）を除く。

注2) 水辺の国調で繁殖が確認された種：csvデータファイルの繁殖行動欄に、「巣の出入り」、「抱卵・抱雛を推定」、「糞運び」、「巣近くで餌運び」、「偽傷」、「営巣痕跡」、「巣内卵」、「巣内雛の目視」、「巣内雛の声」、「移動性の低い巣立ち雛」の記載のあるもの（水辺の国調マニュアルを参照）

4.1.3 植生基本分類・環境条件データの整理

植生基本分類データと、表-1に示す12個の環境条件のデータを整理する。植生と環境条件のデータは、いずれも鳥類の各調査地（1kmもしくは2kmピッチで左右岸それぞれに設定されている）の上下流2km縦断区間のデータを用いる（イメージを図-10に示す）。

① 植生基本分類データの整理

河川環境基図作成調査のcsvデータファイルの「T_植生面

表 1 鳥類解析で用いる環境条件

No.	環境条件	抽出方法	使用するデータ
1	ワンド・たまり面積	「T_植物水域調査_止水域湧水」から抽出	水辺の国調・河川環境 基図作成調査 CSVデータファイル
2	湛水域面積	「T_植物構造物調査_河川横断工作物」から抽出	
3	河川横断工作物数		
4	早瀬面積	「T_植物水域調査_早瀬淵干潟」から抽出	
5	淵面積		
6	干潟面積		
7	干潟の底質		
8	自然水際率	「T_植物構造物調査_護岸等」から抽出	水系河川区分図
9	河道幅	様式2-C	
10	水面幅		
11	河床勾配		
12	セグメント区分		

※干潟の底質は、泥、砂、礫（転石帯）、不明の4区分で区分す

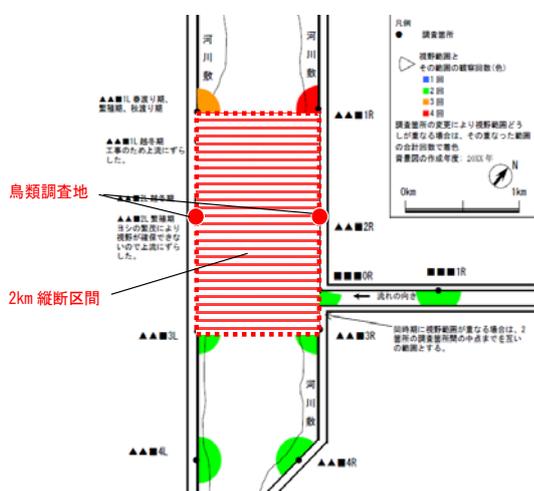


図-10 鳥類調査地と本資料で対象とする「2km 縦断区間」のイメージ

積」から、各「植生群落名」に対応する全28の「植生基本分類」（河川水辺の国勢調査の「植物群落一覧表」参照）の面積を2km 縦断区間単位で集計する。

② 環境条件データの整理

河川環境基図作成調査のcsvデータファイルから表1に示す環境条件データを抽出し、各調査地の上下流2km 縦断区間単位でそれぞれ集計する。河道幅、水面幅、河床勾配、セグメント区分については水系河川区分図の様式2-Cを用いてそれぞれ抽出する。

4.1.4 データ解析

① 回帰分析による鳥類と植生・環境条件との関係性の解析

上記4.1.1で得られた「希少性（森林・草地裸地・湖沼河川湿地）鳥類種数・個体数」、「典型性鳥類種数・個体数」、「特殊性鳥類種数・個体数」を応答変数、調査地の上下流

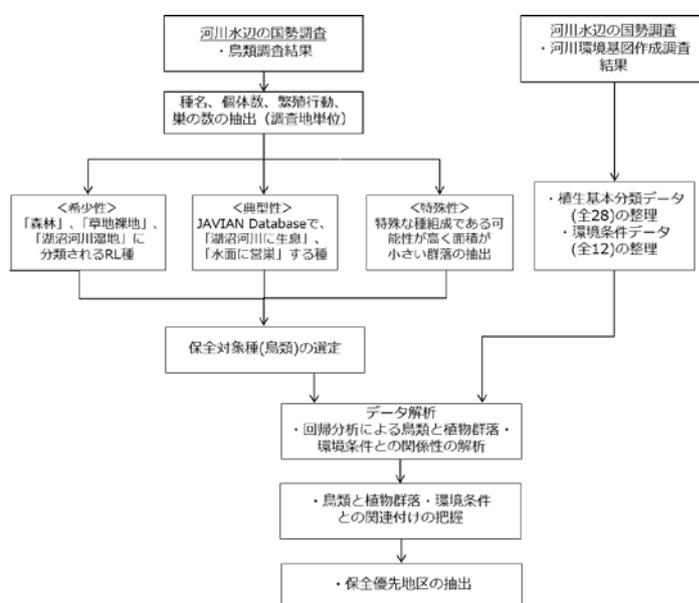


図-11 鳥類を対象とした保全優先地区の抽出手順

2km 縦断区間の「植生基本分類の面積」および「環境条件」を説明変数とした一般化線形（混合）モデル（GLM(M)）を、AICによるモデル選択により構築する（ただし複数河川で解析をおこなう際には、各調査地の河川縦断位置をランダム効果（random effect）として組み込んだ一般化線形モデル（GLM）を検討する）。このことにより、保全対象となる鳥類の種数や個体数をもっとも良く説明する植生基本分類とその組み合わせを明らかにする。

② 構造方程式モデル（SEM）による鳥類の生息環境の解析

構造方程式モデル（SEM）とは回帰分析の一手法であり、生物に影響を与える環境条件を対象に、仮説モデルを可視

化した「パス図」を構築し、各説明変数が応答変数ほどの程度寄与しているかを明らかにする解析である（図-11 に例を示す）。

ここでは構造方程式モデル (SEM) を構築することにより、鳥類の種数や個体数に影響を与える植生基本分類と環境条件の組み合わせと、ある条件が他の要因に与える影響の程度（寄与率）について把握する。

解析の手順として、保全対象種、4.1.3 で得られた植生基本分類の組み合わせ、環境条件から、想定される構造方程式モデル(SEM)を作成する。まず、カイ二乗値によりモデル全体の適合度を確かめた後、BIC (Bayesian information criterion) を用いたモデル選択により最良モデルを選択する。

4.2 保全優先地区（ホットスポット）の図化

上の抽出手順によって抽出された植生基本分類と環境条件から、鳥類を保全すべきエリアを図化する。

得られた鳥類を保全すべきエリアを、植物（植生）の検討※で得られた保全優先群落図と重ね合わせる。植物（植生）と鳥類を保全すべきエリアが集中する場所を保全優先地区（ホットスポット）として抽出する。

※植物（植生）の検討：「河道掘削を念頭に置いた河川環境の予測・評価方法— 河道内陸域環境の評価と実践（植物編）— 国立研究開発法人土木研究所水環境研究グループ」²⁰を参照

4.3 鬼怒川での事例

鬼怒川の KP4-101km のデータを用いて、湖沼河川湿地性の希少鳥類の種数をもっとも良く説明する植生基本分類とその組み合わせについて、上述の手順に従って解析した。鬼怒川で対象となる 19 の植生基本分類については、PCA の結果を参考に以下の 8 区分に整理、統合した。

●植生基本分類（カッコ内は、統合した植生基本分類を示す）

- ・1年生草本群落

- ・多年生草本群落（多年生広葉草本+その他の単子葉）
- ・オギ・ヨシ群落
- ・ヤナギ林
- ・針葉樹・竹林（ササ+常緑針葉樹+竹林+スギ・ヒノキ）
- ・広葉樹林（落葉広葉樹+シンジュ）
- ・農耕地（畑+水田）
- ・自然裸地

これらの 8 つの植生基本分類を説明変数とし、湖沼河川湿地性の希少鳥類の在・不在を説明するモデルを、一般化線形混合モデル²¹を用いて構築した。なおここでの「在」は、該当種が 2 種以上確認された場合とした。誤差構造には二項分布を仮定し、リンク関数はロジットリンクとした。モデル選択は、赤池の情報量基準 (AIC) を基準として総当り法を用いて行い、最も AIC が低いモデルをベストモデルとした。

GLM の結果、湖沼河川湿地性の希少鳥類の在・不在の状況を最も良く説明したのは、ヨシ・オギ群落、多年生草本群落、広葉樹林を説明変数としたモデルであり、最も低い AIC を示した。これらのうちオギ・ヨシ群落、広葉樹林を用いたロジスティック回帰曲線を図-12 に示す。これによれば、2 種以上の湖沼河川湿地性の希少鳥類が生息するためには、概ね 5ha 以上のオギ・ヨシ群落と、5ha 以上の広葉樹林（ここでは、おもにヤナギ群落以外の落葉広葉樹林）がセットで保全されている必要があることが示された。

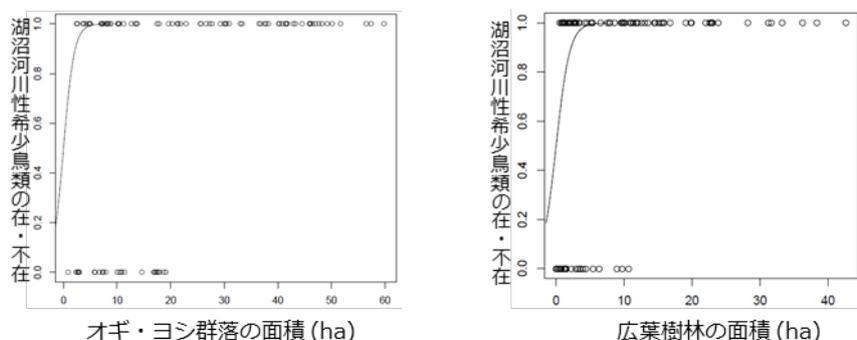


図-12 鬼怒川における湖沼河川性希少種の種数と群落面積との関係

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、「景観保全区間」、「景観形成区間」を設定し、既存文献分析及び事例調査から、これらの区間（拠点）を抽出するための評価軸を検討した。検討結果から、「川のポテンシャル」、「都市・人々との関係」等6つの評価軸（案）を提示した。この評価軸を基に、評価指標の検討を行っていく予定である。

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、希少性、典型性、特殊性の観点から保全対象種を抽出する手順を検討した。鬼怒川を対象として、鳥類種の分布と植生基本分類及び環境条件との関係性の解析を実施した。今後、保全優先度の高い動植物種が生息する群落や景観要素を抽出し、地形や水量等の環境条件との対応関係を把握する。

参考文献

- 1) 生物多様性国家戦略 2012-2020～豊かな自然共生社会の実現に向けたロードマップ～, 2012.9 閣議決定.
- 2) 社会資本整備審議会：安全を持続的に確保するための今後の河川管理のあり方について [答申], 2013.4.
- 3) 「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.
- 4) 島谷幸宏：河川風景デザイン, 山海堂, 1994.
- 5) 土木学会編：水辺の景観設計, 技報堂出版, 1988.
- 6) 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.
- 7) 自然との触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.
- 8) 鶴田舞, 片桐浩司, 藤森琢, 萱場祐一：中小河川における景観重点区間の選定条件に関する検討, 土木学会第 71 回年次学術講演会概要集, IV, pp.97-98, 2016.
- 9) Mai TSURUTA, Yuichi KAYABA: Study on Selection Criteria of Preferentially Section to Design of Landscape in the Urban River, The 15th International Landscape Architectural Symposium of Japan, China, and Korea in Tokyo, Japan 2016, 2016.
- 10) 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.
- 11) 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(1), 2016.
- 12) 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, No.161, 2004.
- 13) 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, 1996.
- 14) 小幡智子, 石井潤, 角谷拓, 鷲谷いづみ：渡良瀬遊水地における過去の掘削履歴が絶滅危惧植物の現在の分布に及ぼす影響と影響評価地図, 保全生態学研究, Vol.17, pp.221-233, 2012.
- 15) 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.
- 16) 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: 1171-1176, 2015.
- 17) 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 (2) : 93-102, 2012.
- 18) 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.
- 19) Ponnampetuma F.N. : The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy* 24: 29-96, 1972.
- 20) 国立研究開発法人土木研究所水環境研究グループ：河道掘削を念頭に置いた河川環境の予測・評価方法—河道内陸域環境の評価と実践 (植物編) —, 2016.
- 21) Dobson, A. 1990. *An Introduction to Generalized Linear Models*. Chapman and Hall, London.

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：萱場祐一、傳田正利

【要旨】

河道掘削による砂礫河原再生、樹林化抑制を低コストで行うために、旧流路部を活用し洪水流を陸域へ導水する水路掘削と平面掘削の併用による砂礫河原再生を国道交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所と共同で検討した。その結果、洪水流の陸域への導流・越流に成功し、砂礫河原再生、樹林化抑制に成功した。また、掘削コストは1/3に圧縮することに成功した。同時に、近年、開発・普及が進むUAVの画像を、人工知能を用いて分析し、植物群落境界の自動検出・表層土壌材料の自動判読の可能性を確認した。

キーワード：河道掘削、樹林化抑制、砂礫河原再生、UAV、人工知能

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¹⁾、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。具体的には、国土交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所と共に検討した信濃川水系千曲川冠着地区における旧流路部を活用した水路掘削と平面掘削の併用による砂礫河原再生事業による砂礫河原再生効果の検証と効果発生機構の報告を2章において行う。その後、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。その可能性を検証する実験的試みを3章において報告する。4章において、植生動態に影響を与える気候帯、近年普及が進むi-Constructionとの関連性を含めて平成29年度（2017年度）以降への研究展開を整理する。

2. 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考察

2.1 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の概要

図-1に冠着地区（直轄区間85～86km、以下、「調査地」と記述する。）の概要を示す。調査地は、河床勾配1/220、平均代表粒径53mmのセグメント1である。調査地は、下流部と上流部で異なる状態であった。

調査地の下流部（以下、「下流部」と記述する。）は、み

お筋部の河床低下で冠水頻度が減少して樹林化していた。

一方、調査地の upstream (以下、「上流部」と記述する。) は砂礫河原が残存しているが、10年に1度程度の洪水規模である2013年洪水でも無次元掃流力評価が0.06以下²⁾と砂礫が動きづらく、今後、砂礫河原が消失するおそれがあった。2016年3月には、上流部・下流部に対して砂礫河原再生の工事が実施された。

2.2 調査地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の考え方

2.2.1 水路掘削採用の経緯

調査地における砂礫河原再生の当初計画は、図-1に示したとおり下流部・上流部の平面的切り下げを検討したが、掘削量が12.6万m³であった(図-1:当初範囲)。

そのため、下流部は「全体的な砂州の切り下げによる消失した砂礫河原の再生」、上流部は、「水路掘削による既存砂礫河原の活性化」を検討した。

2.2.2 上流部での水路掘削

図-2にレーザープロファイラーを用いた掘削前の地盤高コンター図を示す。調査地は単列砂州で砂州上には旧流路跡が複数確認できる。水路掘削は、平水時の主流部に近接した2つの旧流路を掘削して行く(堤外地側、みお筋側)、旧流路への洪水流入に伴う攪乱を期待した。水路掘削の上流端位置(以下、「呑み口」と記述する。)は、瀬(砂州前縁線)の上流側に設定した。これは、中小洪水時には砂州前縁線による堰上げで水位が高くなり易く、掘削水路内へ洪水流を導流し易いと判断したことによる。

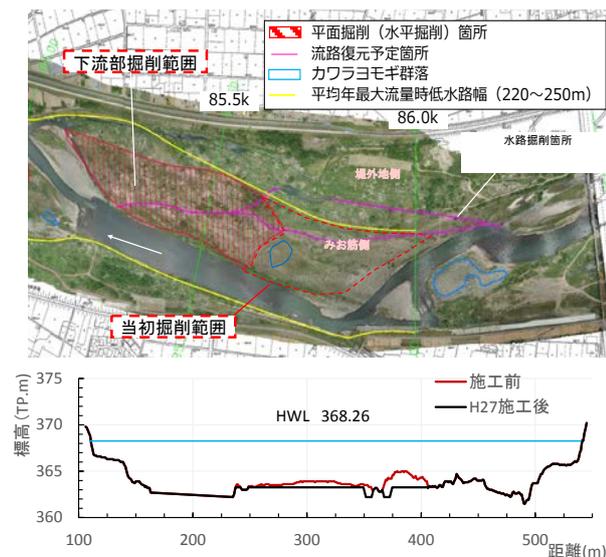


図-1 調査地の概要

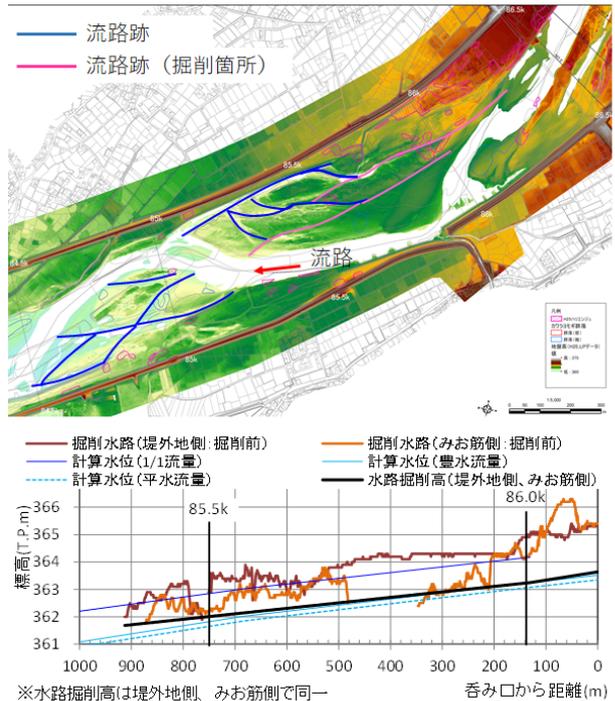


図-2 施工前の地盤高コンター図と水路縦断面図

図-3に水路の掘削の縦断面図を示す。水路の掘削高は、水路内の砂礫が平均年最大流量以下の1/1の確率規模(中小洪水)でも動ける掃流条件を基本とした。旧流路の一部は、たまりが存在するため、常時流入を防止するため豊水流量以下では流入しない高さとした。

2.2.3 下流部での平面掘削

平面掘削範囲(図-1:下流掘削範囲)は、同一のセグメントで良好な状態で現存する砂礫河原を参考に、現存の河原環境に依存するカワラヨモギ群落の保全に留意しつつ、過去に砂礫河原が存在した箇所を対象に、低水路幅250m程度となる様に設定した。

掘削高は、千曲川における砂礫河原経年変化や河川生態学術研究会千曲川グループでの研究成果⁴⁾である「概ね10年に1度程度の洪水で砂礫河原に回復すること」、「千曲川に多く繁茂しているハリエンジュの群落範囲は年1回未満の冠水頻度の箇所であること」に基づき⁴⁾、設定した。具体には、年1回程度の洪水水位で掘削高を算定し、平面二次元流解析を用いて、砂礫の攪乱が期待できる無次元掃流力0.06以上である⁵⁾ことを再確認して設定した。

2.2.4 砂礫河原再生事業の効果と効果が発生させた物理環境特性の結果

図-3は施工直後と洪水後のUAVによる垂直写真による変化を示す。上流部における植生侵入箇所の砂礫への回復、拡幅したみお筋側水路では水路の外岸側・内岸側の拡

大、下流部・上流部の接合部において扇状地出口部で見られる中州の形成が確認された。画像解析の結果、砂礫河原面積が約2.6倍の面積増加が確認できた。

コスト削減効果の検証に関しては、掘削量は、全領域を平面掘削した場合、約12.6万m³、本形状は3.9万m³であり、掘削量に起因するコストは1/3に削減できた。

2.2.5 事業効果が生じた要因把握のための水理解析

図-4に、2016年9月20日洪水ピーク流量時約1,400m³/sにおける摩擦速度コンター図と砂礫帯形成状況を示す。砂礫帯形成箇所の摩擦速度は概ね0.25m/s程度となっており、無次元掃流力が約0.06、粒径換算で50mm以下が動くと推定された。

図-5は、中間段階の流量規模である800m³/s時の流速コンターベクトル図を示す。砂州上の流れは水路に沿った流れを主体としながら、内岸側から落ち込むような流れが生じている。

図-6は、洪水ピーク時の流速コンターベクトル図であり、この規模では水路上の流れも直線的となり、水路内岸側は逆に水当たりのような状況となっている。

2.2.6 砂礫河原再生事業の効果と効果が発生させた物理環境特性の考察

本事業は、下流部においては砂礫河原の再生を、上流においては樹林化の抑制を、河川環境管理の目標に掲げ、同時に、コストの抑制も目標とした。

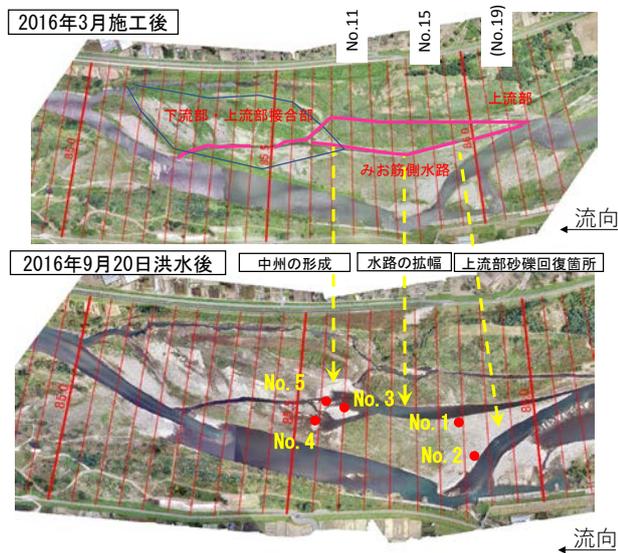


図-3 洪水前後での UAV による地形変化

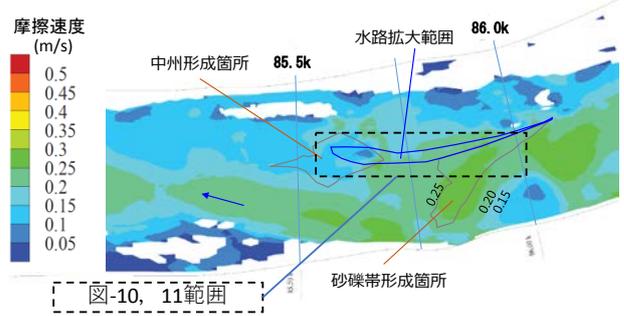


図-4 洪水前後での UAV による地形変化

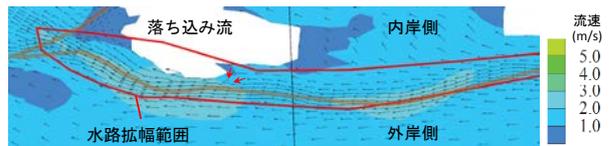


図-5 洪水前後での UAV による地形変化

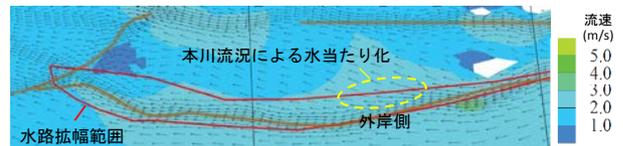


図-6 洪水前後での UAV による地形変化

検討の結果は、全ての目標を達成できていることを示している（図-3）。

砂礫河原再生に関しては、洪水による攪乱で砂礫河原面積が約2.6倍に増加し（図-3）、現地踏査やUAV画像からも一定面積の砂礫河原の点在が確認できる（図-4）。

コスト削減効果に関しては、掘削土砂量が1/3になった点は、人口縮小に伴うコスト縮減が求められる昨今の河川管理には極めて大きな成果である。本事業では、掘削土砂のみをコスト評価の対象としたが、掘削土砂の発生は、掘削土砂の受け入れ先の調整、仮置き場におけるオオブタクサ等の外来生物生育状況の監視、掘削土砂の運搬・処分費等のコスト増大等、河川管理者にとっての多くの費用と業務の負担を発生させる。これらの付随する費用・業務を含めれば、コスト削減効果は極めて高いと考えられる。

2.2.5における検討は、「陸域越流時の流況の多様性」の重要性を示す。事業計画時、筆者らは、水路掘削部を洪水が流下し、水路掘削部から砂州全体の土砂移動が生じると推定していた。

しかし、陸域における洪水流の冠水域が土砂移動を促していた（図-5、図-6）。水路掘削は、洪水時の流量増加に伴う冠水域の拡大を陸域へ呼び込むトリガー的役割を

果たし、図-5の上流部右岸側のベクトルの2分化が、それを実証している。また、下流部への流下に伴い、主流部との位相差、氾濫水域内における比高差（相対水深）の均一化の調整が生じ、落ち込み流等が生じる。この落ち込み流が水路拡幅範囲の内岸側の拡大などを促したと考えられる。

平成28年度、千曲川河川事務所と共同で計画・評価した水路掘削と平面掘削の併用による河道掘削は、掘削土砂量の抑制を通じた事業費の削減を目的とする先進的な河道掘削であり、今後、全国で実施される可能性が高い。筆者らの調査では手取川水系手取川においても同様の水路掘削が行われており、流域土砂管理・コスト削減の両面から注目される掘削方法であり、今後も調査・研究を行う必要がある。

しかし、水路掘削は先進的な掘削方法であるが、水際から一定面積を掘削する平面掘削の方が多くの河川で実施されている。平成29年度は、平面掘削の計画・評価等に参加し、掘削事業の実務を経験する必要がある。また、平成28年度は、主にセグメント1～セグメント2の上流部を対象に検討した。しかし、河道掘削はセグメント2等の区間でも多く実施されている。そのため、平成29年度以降は、調査・研究の対象とするセグメントを主に下流側に拡大し研究を進める予定である。

3. UAV・AIを用いた植物群落境界・表層土壌材料把握の可能性の実験的検証

3.1 はじめに

河道内植生を「管理」する場合、対象とする河川（区間）の植物群落分布の全体を把握し、樹林化の進行と判断できる植物群落が一定以上繁茂しないような管理を行う必要がある。この目的のためには、空中写真等を用いて現在の植物群落の状態を監視する必要がある。従来の河川技術においては、航空機等を用いた空中写真等が活用されていたが、一回の撮影・測量解析が高額になる問題点があった。近年、普及が進むUAVは、比較的安価に空中写真の撮影が可能になるとともにSfM（Structure from Motion）を用いることにより、3次元地形測量等が容易に可能になる。

また、UAV等による多量な空間情報の高頻度の供給は、人力にのみ頼る調査・解析が近年限界に近づくことを暗示する。人工知能（AI: Artificial Intelligence）は、この問題を解決する可能性が高くAIの多様な分野への適用が期待されている。画像解析は、AIが比較的する研究分野である。

そのため、本章においてはUAV画像を対象にAIを適用する試行を行い、河道内植生管理への応用の可能性を検

証する。

3.2 オブジェクトベース分類の概要と画像分類方法の概要

地被状態の把握を行うため、UVを用いて2016年7月25日に撮影した低高度空中写真を用いた画像解析を行った。画像解析は、オブジェクトベース分類手法を用いた。オブジェクトベース分類手法は、セグメンテーションと呼ばれる処理により、スペクトル情報（RGB値、輝度等）や形状情報に基づいたオブジェクト（ピクセルの集合）を生成し、画像を分類する技術である³⁾。

3.3 オブジェクトベース分類を用いた河道内植生境界・表層土壌境界の自動判読の結果

図-7にオブジェクトベース分類手法の画像解析結果を示す。オブジェクトベース分類手法は、植物群落境界を明瞭に検出した。オブジェクトベース分類手法で求められた輝度は、植物の生育密度に対応した。植物群落境界だけでなく、砂礫帯の砂礫混合度、砂礫の湿潤状況等の境界線も目視判読と同様に認識し、境界は人力よりも多く抽出した。

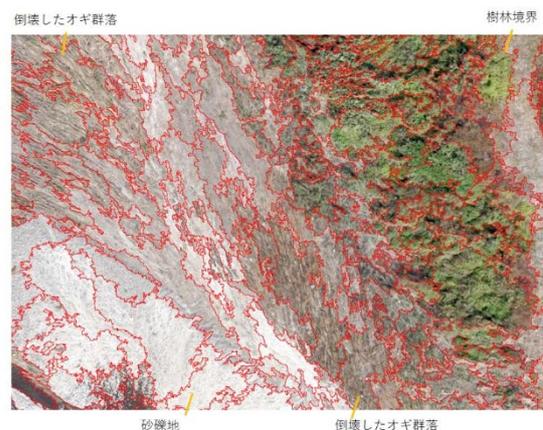


図-7 オブジェクトベース分類を用いた地被分類図

3.4 UAV・AIが河道内植生管理に持つ可能性

平成28年度（2016年度）、UAVの高解像度の低高度空中写真に画像解析を試行的に適用した結果、植物の生育状況、表層土壌材料の分布域の境界を自動的に検出できる可能性を確認出来た。表層土壌材料の空間的分布状況の把握は、植生の初期侵入に大きな影響を与えるため、重要な情報となる。河道内植生の生育境界を検出することは、河道内植生の現状を把握するのに重要な情報であり、樹林化の進展をいち早く検知できる技術への発展の可能性をしめしている。

また、UAV・AIを用いた河道内植生の監視技術は、河

道内植生管理（河川環境管理）が抱える重要な問題の技術的解決の糸口を示している。

図-8 に、河川水辺の国勢調査と UAV・AI の植生動態監視の併用による植生管理方法の案を示す。現在、河川水辺の国勢調査の植物群落調査は、5年に1回行われ、また、環境調査予算の制約から、より頻度が低くなることが予定されている。

河川水辺の国勢調査のみにデータソースを依存する場合、図-8 に示す「樹林化へ不可逆的遷移過程の見逃し」の危険性があると考えられる。河道内植生遷移は、大局的にみて砂礫地 (A) から樹林地 (F) への一方向への変化である。河川の場合には、出水等による河道内攪乱により、遷移が進んだ過程から、砂礫地、河原系草地等への「更新」が生じるが、更新が、より生じにくくなる遷移段階があると考えている。図-8 は、概念的整理にすぎないが、植生の生育密度と植生の流体力への耐性の関係から安定草地 (E) や樹林地 (F) の状態に遷移した場合、砂礫地や河原系草地に更新される可能性は少ないと考えられる。これらの状態を回避するためには、安定草地 (E)・樹林地 (F) の状態に達する前に再度の河道掘削を行い、自然攪乱を誘導する必要がある。例えば、半安定草地 (D) を一つの管理基準とし、半安定草地 (D) が多く出現した時点で再掘削を

りコストの高い河道管理になると考えられる。

このような現状を改善するのに UAV・AI による河道内植生管理は大きな可能を持つ。UAV による低高度空中写真、表層土壌材料・植物群落生育状況の把握は、従来の河川水辺の国勢調査よりも、より安価に表層土壌材料分布、河道内植生の生育状況を知ることが出来る。安価な調査費は、高頻度での調査を可能とする。流域スケールでみて、河道内植生の遷移が著しい場所、流下能力に大きな影響を与える場所等の重点調査地区を絞り、重点調査地区を UAV・AI により監視することで、河川水辺の国勢調査では見落とす可能性がある樹林化へ不可逆的遷移過程の見逃しを確実に検出するような利用が可能となれば、より適切なタイミングで河道掘削事業を行えると考えられる。

今後は、UAV・AI の研究を掘り下げ、河道内植生の監視技術に発展させていく予定である。

4. 平成 29 年度 (2017 年度) 以降の実施すべき課題

4.1 気候帯・植物群落変化を考慮した調査研究対象河川の拡大と UAV データの更なる活用

平成 28 年度 (2016 年度) は、信濃川水系千曲川河川事務所、民間 4 社と共同研究を行い、河道掘削に伴う掘削土砂量を削減するための水路掘削併用型の河道掘削手法の

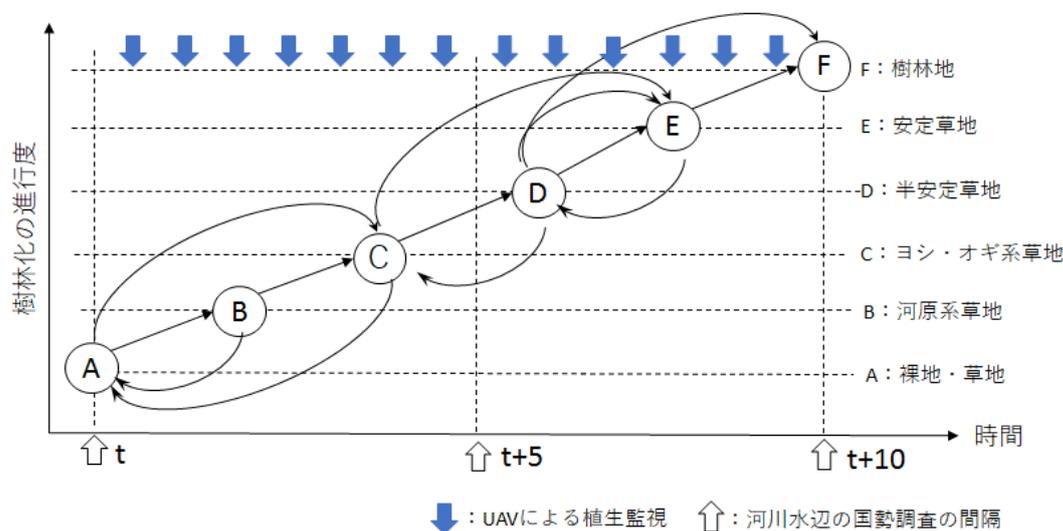


図-8 河川水辺の国勢調査と UAV・AI の植生動態監視の併用による植生管理方法案

行う必要がある。

しかし、ヨシ・オギ系草地 (C) と半安定草地 (D) への移行期に河川水辺の国勢調査の調査が行われ、更に5年以上調査が行われない場合、遷移の進行が早い河川においては、樹林地への遷移が完了している可能性がある。樹林地へ遷移してからの対策では事後的な対処方法となり、よ

有効性を確認した。2章においても指摘したが、水路掘削は先駆的な事例であり、全国の河川においては平面掘削が多く実施されているため、平成 29 年度以降は平面掘削を実施した河川において同様の検討を行う予定である。

平成 29 年度 (2017 年度) 以降は、既往研究等において植生に大きな影響を与える気候帯を考慮し、千曲川に加え、

久慈川・那珂川（茨城県水戸市近郊）、手取川（石川県白山市）、九頭竜川（福井県福井市）において実施された河道掘削対象に、UAV・AIを用いた河道内植生監視技術の開発を行う。同時に、UAV画像を用いたSfMによる河道内地形変化の把握・河床変動計算精度向上への応用、また、本研究の目的である植生動態モデルの構築を行う。

4.2 i-Constractionの普及を見据えた河道管理技術への発展

4.1節で示した流れ、UAVを活用した空間データの取得は、現在、国土交通省で推進するi-Constractionを通じた建設現場の「生産性向上」に大きく貢献できると考えられる。

i-Constractionにおいては、UAVによる3次元空間データの生成、3次元空間データ変化の算出を通じた建設現場における掘削量の出来高管理の流れで建設現場の省力化を行う。河道掘削においても適用が進んでいる。本研究で提案する手法はi-Constractionとほぼ共通とするのデータプラットフォームであり、一連の流れで河道掘削後の再堆積・樹林化の進行を監視できる。施工、維持管理（河道の再堆積・植生管理）が一貫した流れとなり建設現場の「生産性の向上」に寄与すると考えられる。

5. まとめ

河道掘削による砂礫河原再生、樹林化抑制を低コストで行うために、旧流路部を活用し洪水流を陸域へ導水する水路掘削と平面掘削の併用による砂礫河原再生を国道交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所と共同で検討した。

その結果、砂礫河原再生、樹林化抑制、掘削コストを1/3に圧縮した。同時に、近年、開発・普及が進むUAVの画像を、人工知能を用いて分析し、植物群落境界の自動検出・表層土壌材料の自動判読の可能性を確認した。

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) 西嶋 貴彦・前田 諭・阿部 充・五十嵐 武・竹内 洋子:千曲川中流域の試験的河道掘削に関する研究、リバーフロント研究所報告 Vol.25、pp. 3-12、2014.
- 5) 八木澤順治・田中規夫:洪水時における砂礫州上の土砂堆積とそれに応じた植生遷移を考慮した植生動態モデルの開発、土木学会論文集B1(水工学)、Vol.70、No.3、pp. 71-81、2010.
- 6) 村上拓彦・大西紀子・加治佐剛・溝上展也・吉田茂二郎:林相区分を目的としたオブジェクトベース画像解析における最適なセグメンテーションの検討、写真とリモートセンシング、Vol.49、No.3 pp. 159-165、2010.

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：新目竜一、谷瀬敦、矢野雅昭、布川雅典、田中忠彦

【要旨】

本研究は、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・把握すると共に、維持管理上有利な河道掘削技術の開発を目指して低水路掘削河道の河床変動応答特性の把握を目的に実施している。平成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。また、魚類生息場などの河川環境上重要な河床地形の alcove について河床変動計算による発現条件を抽出した。その結果、単列～複列砂州発生領域の境界付近でウグイ稚魚個体数が多く、平均合成適正値の平均値も高いこと、また、alcove が形成される条件でもあることが確認出来た。キーワード：河川水辺の国勢調査（魚類）、PHABSIM、交互砂州の形成領域区分、alcove

1. はじめに

河道の流下断面確保のため、全国のほぼ全ての一級河川の河川整備計画において河道掘削の実施が位置づけられ、工事が実施されている。また、気候変動により水害の頻発化・激甚化が懸念されており、着実な河川整備の推進、機能を確実に発揮させる適切な維持管理・更新が必要となっている¹⁾。

現在、多くの河川で、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、整備対象とする河道計画流量の増加に伴い、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、低水路河道掘削が魚類へ及ぼす影響を事前に把握する必要がある。しかしながら現状では、河川環境の評価技術が確立していないことから、河川環境の管理目標を具体的に設置しづらい状況にあり、河川環境の評価技術の調査・検討を充実することの必要性が指摘されている²⁾。さらに近年、河川中・上流域では、低水路幅縮小や流砂量減少により、河床低下とそれに伴う河道断面の広範囲における河床材料の粗粒化や露岩河床化が顕在化し、魚類などの生息・産卵環境に悪化を与えるだけでなく、根固めブロック・低水護岸の倒壊・流出、床止の不安定化や、橋梁をはじめとする許可工作物周辺の洗掘をも引き起こし、それに対する維持管理費を増大させている河川も一部で見受けられる。そのため、河道と施設を一体な河道システムとして捉え、一連区間の河道の変化に対応することで個別の施設の管理を最適化する技術の検討の重要性が指摘されているが²⁾、そのような技術を実現するためには、河道変化が維持管理困難なものとならない

ようにすることが重要と考えられる。

これらのことから、河川整備による河床変動に対して、魚類の生息・産卵環境を評価する技術の開発と、治水と環境が両立した河道維持管理上有利な河道掘削技術の開発が求められている。

本研究は、産卵環境の評価に加え、リーチスケールの河床地形を考慮した魚類の生息環境評価技術の開発および維持管理上有利な河道掘削技術の開発を目指すものである。

2. 河川水辺の国勢調査結果（魚類）を用いた河道条件および流況と魚類生息環境に関する一考察

河道の流下能力の向上および河道断面の維持管理において、平水位以下の低水路河道掘削が行われることがあるが、この際には魚類生息環境への影響を事前に予測し、対策を行うことが望ましい。河川環境を把握する手法として、流速、水深、底質などの物理環境から魚類などの生息環境をマイクロハビタットスケールで把握する PHABSIM（Physical Habitat Simulation Model）³⁾ が用いられることがある。魚類の生息環境に関する研究として、例えばヤマメ、ウグイを対象としたものがあり、同じ「淵」を好むにしても、それぞれ「淵頭」、「淵の川岸」など生息適地が局所的に異なることが指摘されている⁴⁾。適切な生息環境の物理適性を用いれば、PHABSIMにより、局所的な生息適地を把握可能であると考えられる。しかし、河道内の全ての局所的な物理値を把握することや、それに対応した魚類生息調査を行うには、多くの労力を必要とし、実務上、より汎用性のあるパラメータにより、河道の生息適地を評価できることが望ましい。

河床形状が複雑であることは、多様な流況を創出し、魚類生息環境に寄与することが考えられる。また、流況が多様であることは、河川中・上流域においては、遊泳力の弱い稚魚の生息適地創出にも寄与する可能性がある。

瀬、淵の形成に影響する砂州などの中規模河床波の発生は、交互砂州の形成領域区分のパラメータである $BI^{0.2}/H$ (Bは川幅、Iは河床勾配、Hは水深) により評価でき⁵⁾、 $BI^{0.2}/H$ が大きいほど、河床地形が砂州非発生、交互砂州、複列砂州と変化し、多様な流況が形成される。そのため、河道の $BI^{0.2}/H$ を評価することで魚類の生息環境についても評価できる可能性がある。一方で、この指標に対する魚類生息状況を把握するには、多くの労力が必要となる。国土交通省では河川水辺の国勢調査⁶⁾により平成2年から魚類、底生動物、植物、鳥類、両生類、爬虫類、哺乳類、陸上昆虫類等、動植物プランクトン(ダム湖版のみ)の調査を、全国で5カ年毎に行っており、データの蓄積がある。

本章では、河川環境評価技術の開発および良好な魚類生息空間が確保された河道整備に資するため、河川水辺の国勢調査結果の魚類個体数と、数値計算結果を用いた PHABSIM による生息適地の推定量および交互砂州の形成領域区分のパラメータである $BI^{0.2}/H$ との関係性を明らかにする。

2. 1 方法

2.1.1 河川水辺の国勢調査結果のとりまとめ

河川水辺の国勢調査結果(魚類)は、一級河川の中に設けられた地区で調査が行われており(以降、調査地区)、河川環境データベース⁷⁾から取得可能である。本研究の対象魚は、研究の初段階として北海道の河川に多く確認され、データ数が多い遊泳魚のウグイ (*Tribolodon hakonensis*) とした。ただし、河川水辺の国勢調査結果に、個体長が小さくウグイ属の一種 (*Tribolodon sp.*) とまでの判別に留まるものについても、ウグイとして扱った。対象河川は石狩川上流とし、個体数の取り纏めに用いたデータは、平成20年および25年に行われた調査結果を用いた。また、後述する PHABSIM で用いる適性基準の作成においては、データ数を確保するため、平成17,20,25年の石狩川上・下流のセグメント3の調査地区を除いたデータを用いた。これらの使用データの調査地区名、調査年度を表-1に示す。

2.1.2 流況計算

PHABSIM による魚類の生息適地量の検討に用いる平水流量時の流速、水深の平面分布を把握するため、流況

計算を行った。また、年最大流量時の交互砂州の形成領域区分のパラメータの $BI^{0.2}/H$ を把握するためにも、流況計算を行った。流況計算には、iRICの平面2次元モデルである Nays2DH ソルバー⁷⁾を用いた。流況計算の設定条件は、表-2に示すとおりである。計算格子の作成に用いる河床地形には平成20,25年の河川水辺の国勢調査の実施年に近い、平成22,23年度に行われた河川定期横断測量結果を用いた。この河川定期横断測量は、ほとんどの地点で縦断間隔200mで行われている。平水流量および年最大流量は、調査地区の近傍の水文水質データベース⁸⁾から取得可能な流量観測結果を用いた。流量観測結果の使用年は、河川定期横断測量の調査時期に近い、平成21~25年の平均値(以降、平均平水流量、平均年最大流量)を用いた。ただし、調査地区の中で、石狩川水系牛朱別川の「パルプ取水堰付近」、忠別川の「神楽橋付近」および「大正橋付近」においては、平成16年の牛朱別川分水路(永山新川)の完成および平成19年の忠別ダムの完成により、出水時の流量が調節され、減少している。出水時の流量が減少すると河床変動量が減少するため、これらの施設の完成後の流量は、横断測量調査時の河床地形と対応していない可能性がある。そのため、これらの調査地区においては、施設の完成前の5カ年の流量を用いた。流況計算に用いた平均平水流量および平均年最大流量は、表-1に併記している。

2.1.3 PHABSIM

a) PHABSIM の流れ

平均平水流量時の流速、水深の平面分布条件下における魚類の生息適地量を把握するため、PHABSIM による解析を行った。本研究では、PHABSIM による解析を以下の手順で行った。①初めに河川水辺の国勢調査結果に示される調査時の流速、水深値から、物理値と生息場の適性の関係の示す適性基準³⁾を作成した。適性基準の作成については後述する。②数値計算により、河道内を分割した各計算格子点の流速、水深を把握した。④河道内の各計算格子点の流速、水深の値を適性基準に照らし、各計算格子点の流速、水深の適性値を把握した。⑤各計算格子点で流速、水深の適性値を掛け合わせ、合成適性値³⁾を算出した。⑥調査地区毎に水面下(ここでは水深5cm以上)の計算格子点から合成適性値の平均値(以降、平均合成適性値)を算出した。

表-1 使用した河川水辺の国勢調査（魚類）の調査地区

調査地区名と調査年度		PHABSIM適正基準の作成	
個体数の整理 (河川名、KP、流量観測所、 平水流量、年最大流量 含む)			
石狩川上流		石狩川上流	
○バルブ取水堰付近 H20, H25		○中央橋付近 H17	
・牛朱別川 KP3~4,		○バルブ取水堰付近 H17, H20, H25	
・流量観測所：旭永橋、平水8.9m ³ /s、年最大262m ³ /s		○花咲大橋上流 H17, H20, H25	
○花咲大橋上流 H20, H25		○寿橋上流 H17, H20, H25	
・石狩川 KP159.5~160.2		○大正橋付近 H20	
・流量観測所：永山、平水47.7m ³ /s、年最大652m ³ /s		○神楽橋付近 H17, H25	
○寿橋上流 H20, H25		○比布大橋下流 H17, H20, H25	
・美瑛川 KP13.1~14.1		○近文大橋上流 H17, H20, H25	
・流量観測所：西神楽、平水21.0m ³ /s、年最大452m ³ /s		○神居大橋上流 H17, H20, H25	
○大正橋付近 H20		○神竜頭首工 H17, H20, H25	
・忠別川 KP6~7		○桜岡頭首工付近 H17	
・流量観測所：大正橋、平水14.6m ³ /s、年最大223m ³ /s		○第一北永橋付近 H25	
○神楽橋付近 H25		石狩川下流	
・忠別川 KP4~5		○月形大橋上流 H20, H25	
・流量観測所：大正橋、平水14.6m ³ /s、年最大223m ³ /s		○奈江川合流点 H17, H20, H25	
○比布大橋下流 H20, H25		○江竜橋上流 H17, H20, H25	
・石狩川 KP174.6~176.2		○幌新太刀別川合流点 H17, H20, H25	
・流量観測所：比布、平水41.8m ³ /s、年最大505m ³ /s		○鷹泊橋下流 H20, H25	
○近文大橋上流 H20, H25		○高速道路橋上流 H17, H20, H25	
・石狩川 KP153.2~154.2,		○清幌床止下流 H17, H20, H25	
・流量観測所：伊納、平水120.5m ³ /s、年最大1520m ³ /s		○南19条橋下流 H17, H20, H25	
○神居大橋上流 H20, H25		○苗穂鉄道橋(JR)付近 H17	
・石狩川 KP138.8~139.6)		○川向頭首工下流 H20, H25	
・流量観測所：伊納、平水120.5m ³ /s、年最大1520m ³ /s		○根志越橋上流 H17, H20, H25	
○神竜頭首工 H20, H25		○東栄橋上流 H17, H20, H25	
・石狩川 KP142~143			
・流量観測所：伊納、平水120.5m ³ /s、年最大1520m ³ /s			

表-2 流況計算条件

項目	計算条件
ソルバー	Nays2DH
格子サイズ	縦 約3m × 横 約2m
マンニングの粗度係数	0.03
乱流モデル	ゼロ方程式
移流項の差分法	CIS法
流量	①PHABSIM:5カ年平均平水流量 ②BIO.2/H算出:5カ年平均年最大流量
下流端水位	等流水深

b) 適性基準の作成

適性基準の作成には式(1)を用いた。

$$SI_i = \frac{SN_i}{SN_{max}} \quad (1)$$

ここに、SI は適性値であり、SN_i は流速と水深のある物理値帯 i で確認された魚の個体数、SN_{max} は全ての物理値帯の中での SN の最大値である。適性基準により得られる適性値は、0~1 の指標で、値が大きいほど生息環境に適していることを表す。河川水辺の国勢調査（魚類）では、河川流況や対象魚の特徴により様々な調査器具が用いられ⁹⁾、それらの調査に費やされた時間などの「努力量」が掲載されている⁹⁾。本研究では、2種類の適性基準を作成した。一つは努力量の補正を行なわないもので、

調査地区毎の様々な調査器具、努力量で採捕された個体数の単純な合計値から作成した適性基準である。もう一つは、努力量の補正（個体数を努力量で除す）を行ったものである。この努力量補正を行った適性基準は、調査器具毎に、それぞれ適性基準を作成し、その調査器具毎の適正基準を全体調査数に対する調査数割合により、加重平均して一つに纏めたものである。ただし、調査対象範囲が面的に広い地引網による調査結果については、付随する流速、水深の観測値が、代表値として適切か不明であるため用いていない。また本研究では、稚魚と成魚に区別して適正基準を作成することとした。ウグイは、孵化から2年目に10-14cmになり成熟する¹⁰⁾。そのため、本研究では稚魚を体長10cm以下、成魚を体長10.1cm以上と考えて区分した。河川環境データベースから取得する河川水辺の国勢調査結果データには、調査地区、調査時期、調査器具などが異なる調査結果毎に、「個体数」、「最大長」、「最小長」の情報が含まれている⁹⁾が、それぞれの個体長については不明である。そのため本研究では、簡単のため、「最小長」が10cm以下の調査結果については、全ての個体が稚魚であるとして個体数の整理を行った。「最大長」ではなく「最小長」を基準に稚魚・成魚を区別した理由として、様々な遊泳力（個体長）を有する群の中で、最も遊泳力の弱い個体を基準にする方が、遊泳力の観点から、より適切な適性基準になると考えたためである。最小個体長が10.1cm以上のものについては成魚として扱うが、生息状況ではなく産卵時の状況であったデータも含まれている可能性がある。ウグイは春から夏にかけて、早瀬で産卵を行う。そのため、この条件に該当するデータは除いている。

2.1.4 流況計算結果を用いた交互砂州の形成領域区分のパラメータ BI^{0.2}/H の算出

a) BI^{0.2}/H の算出

平均年最大流量時の流況計算結果から交互砂州の形成領域区分のパラメータ BI^{0.2}/H の算出を行った。川幅は全ての横断格子線上で算出した。川幅 B の定義として、平均年最大流量時に流速が 2m/s 以上となる横断延長とした。これは、流速が 2m/s 程度あれば、無次元限界掃流力 τ*^{*}が 0.05 を上回り、河床材料が移動し、河床地形が形成されると考えたためである。なお、水深 2m、河床材料の直径が 3cm、マンニング粗度が 0.03 の条件において、無次元限界掃流力が 0.05 以上となる流速は 1.86m/s である。また、部分的に中洲において流速が 2m/s を下回る横断格子線もあるが、川幅にはこれらの中洲の範囲も含めた。水深 H は、横断格子線上において流速が 2m/s 以上とな

る範囲の平均値を算出したものを用いた。また、勾配 I は河川水辺の国勢調査結果にある河床勾配を用いた。これらの川幅 B、水深 H、勾配 I を用いて、横断格子線毎に $BI^{0.2}/H$ を算出し、調査地区の平均値と標準偏差を算出した。

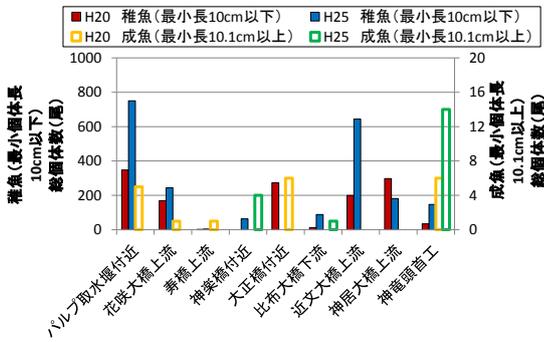


図-1 調査地区毎の総個体数 (努力量補正なし)

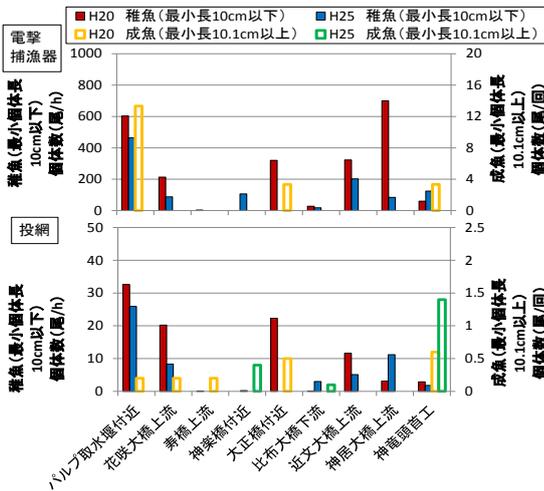


図-2 調査地区毎の個体数 (努力量補正あり)

2. 2 結果

2.2.1 各調査地区における個体数

調査地区別のウグイの総個体数を稚魚、成魚の別に図-1 に示す。「パルプ取水堰付近」、「花咲大橋上流」、「大正橋付近」、「近文大橋上流」、「神居大橋上流」では、200尾を超す稚魚が捕獲されている。また、努力量補正を行った結果として、使用頻度が多い電撃捕漁器および投網についてのみ図-2 に示すが、努力量補正を行わない場合と稚魚の多い調査地区の傾向は大きく変わっていない。

2.2.2 平均合成適性値と個体数の関係

a) 適性基準の作成

河川水辺の国勢調査結果から作成したウグイの流速

および水深に対する適性基準を図-3, 4 に示す。これらの適性基準は、努力量補正の有無、稚魚・成魚の区分により分けて記載している。

努力量補正が無い場合の適性基準は、式(1)から得られる適性値 (図-3, 4 左「単純合計」) の凹凸を補間したもの (図-3, 4 左「単純合計 (補間)」) である。なお、水深については、水深が深いことが直接的な生息の制限要因にならないと考え、適性値が1になる水深値より、深い水深値については、適性値を1とした。また、流速についても、流速が遅いことが直接的な生息の制限要因にならないと考え、適性値が1になる流速値より、遅い流速値については、適性値を1とした。努力量補正を行った場合の適性基準は、調査器具毎に作成した適性基準を加重平均したもの (図-3, 4 右「加重平均 (調査別)」) を適性値の最大値が1になるように正規化し (図-3, 4 右「正規化」)、さらに努力量補正なしの適性基準と同様に凹凸を補間し (図-3, 4 右「補間」)、これを用いた。

努力量補正の有無の違いにより、適性基準には大きな違いが確認されなかったことから、努力量補正を行っていない適性基準を用いて、以降の検討で PHABSIM による平均合成適性値の算出を行った。

b) 平均合成適性値と個体数

PHABSIM の結果、稚魚の適性基準を用いて得られる合成適性値の分布列を図-5 に示す。河岸付近の主流部から外れた箇所では合成適性値が高くなっている。この調査地区の平均合成適性値と稚魚・成魚別のウグイ総個体数との関係を図-6 に示す。稚魚では、平均合成適性値が高い調査地区ほど個体数が多いことが確認される。一方で、成魚では、この傾向が確認できない。

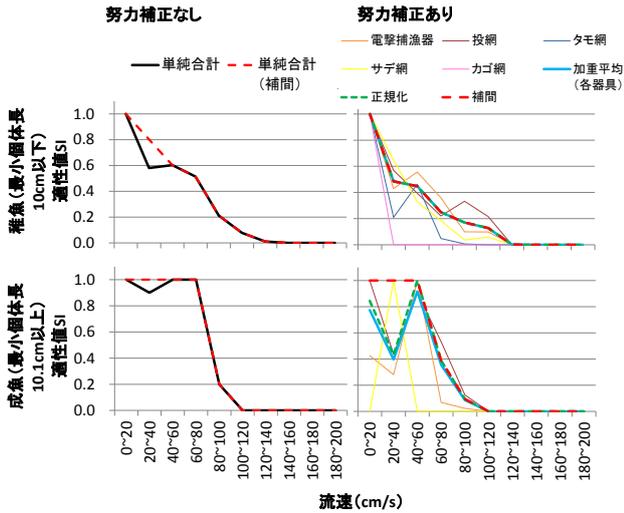


図-3 ウグイ 適性基準 (流速) (上: 稚魚、下: 成魚、左: 努力量補正なし、右: 努力量補正あり)

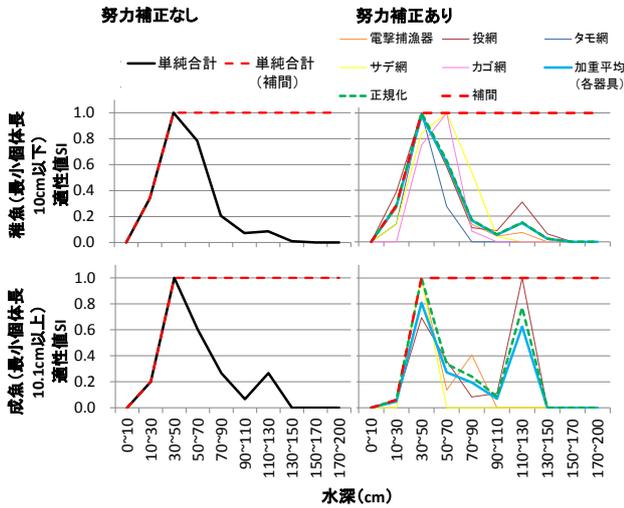


図-4 ウグイ 適性基準 (水深) (上: 稚魚、下: 成魚、左: 努力量補正なし、右: 努力量補正あり)

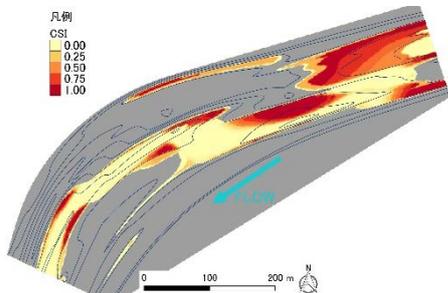


図-5 合成適性値 (稚魚) の分布例 (花咲大橋上流)

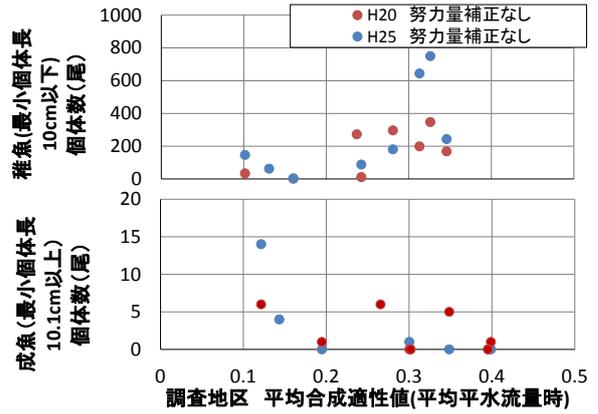


図-6 各調査地区の平均合成適性値とウグイ個体数の関係 (努力量補正なし、上: 稚魚、下: 成魚)

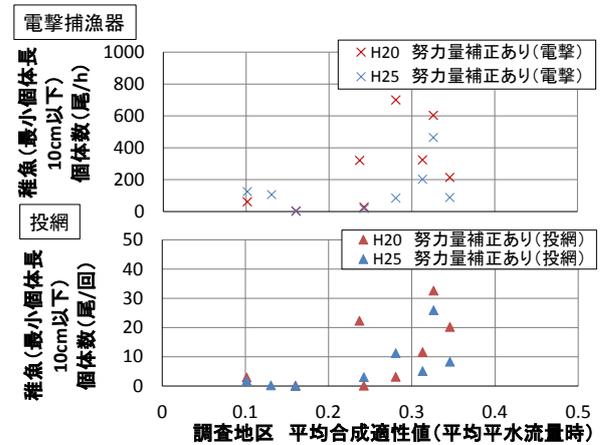


図-7 各調査地区の平均合成適性値とウグイ個体数の関係 (稚魚、努力量補正あり)

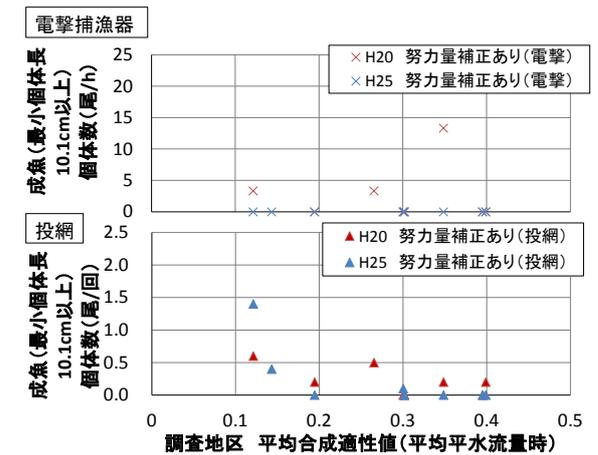


図-8 各調査地区の平均合成適性値とウグイ個体数の関係 (成魚、努力量補正あり)

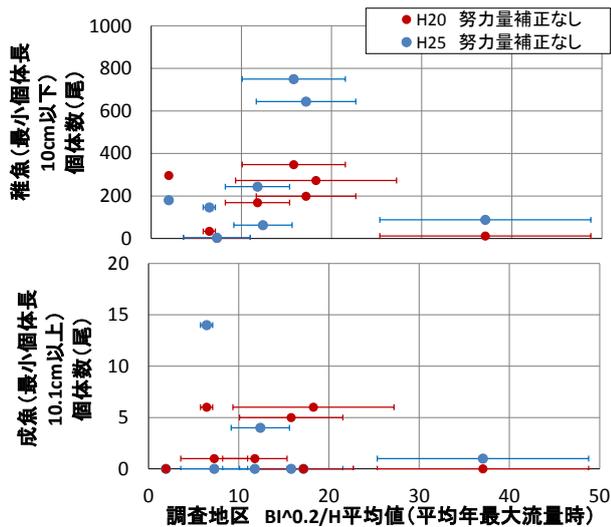


図-9 各調査地区の $BI^{0.2}/H$ 平均値とウグイ个体数の関係
(努力量補正なし、上：稚魚、下：成魚)

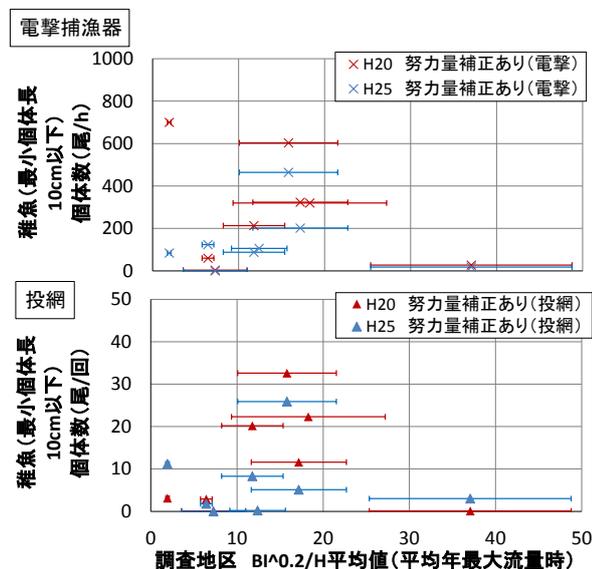


図-10 各調査地区の $BI^{0.2}/H$ 平均値とウグイ个体数の関係
(稚魚、努力量補正あり)

2.2.3 調査地区内の $BI^{0.2}/H$ 平均値と魚類个体数

交互砂州の形成領域区分のパラメータである $BI^{0.2}/H$ の調査地区の平均値と、努力量補正を行っていない个体数との関係を図-9 に示す。稚魚では、 $BI^{0.2}/H$ が 15~20 付近で个体数が多くなっている。また、 $BI^{0.2}/H$ が 35 を超える調査地区も確認されるが、个体数は小さくなっている。成魚については、 $BI^{0.2}/H$ との明確な関係は確認できなかった。

電撃捕漁器および投網により捕獲された稚魚の努力量補正を行なった个体数と、 $BI^{0.2}/H$ 平均値との関係を図-10 に示す。努力量補正を行わない場合と同様に、 $BI^{0.2}/H$

が 15~20 付近で个体数が多くなっている。同様

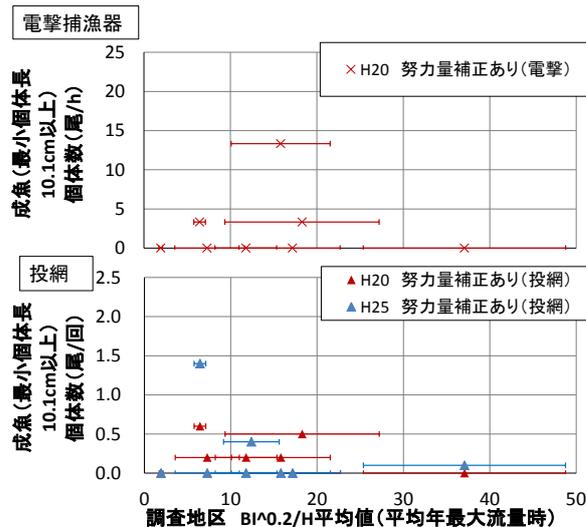


図-11 各調査地区の $BI^{0.2}/H$ 平均値とウグイ个体数の関係
(成魚、努力量補正あり)

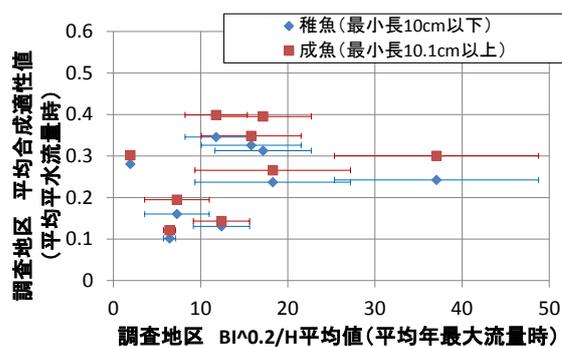


図-12 各調査地区の $BI^{0.2}/H$ 平均値と平均合成適性値の関係

に努力量補正を行った成魚の个体数と $BI^{0.2}/H$ 平均値との関係を図-11 に示すが、努力量補正を行わない場合と同様に、明確な傾向が表れなかった。

2.2.4 調査地区の $BI^{0.2}/H$ 平均値と平均合成適性値の関係

調査地区の $BI^{0.2}/H$ の平均値と平均合成適性値の関係を図-12 に示す。稚魚・成魚ともに、 $BI^{0.2}/H$ が 10~20 付近の調査地区において、平均合成適性値が高くなっている。一方で、 $BI^{0.2}/H$ が 35 を超える地区においては、 $BI^{0.2}/H$ が 15~20 程度の調査地区より、平均合成適性値がやや小さい。

2.3 考察

2.3.1 流況計算結果を用いた PHABSIM の妥当性

河川水辺の国勢調査結果(魚類)から、稚魚・成魚の別にウグイの適性基準を作成し、調査地区の平均合成適性値を把握した。その結果、稚魚については、平均合成

適性値が高いほど、個体数が多い傾向が確認された（図-6上、7）。このことは、作成した適性基準がある程度妥当なものであったことを意味していると考えられる。一方で、成魚については、平均合成適性値と個体数との関係に明確な傾向が確認できなかった（図-8）。これは、稚魚に比べ成魚はデータ数が少ないことが影響した可能性が考えられ、今後データ数を増やし、傾向を確認する必要がある。

2.3.2 交互砂州の形成領域区分のパラメータ $BI^{0.2}/H$ が魚類の生息環境に及ぼす影響

$BI^{0.2}/H$ とウグイ稚魚の個体数との関係を検討した結果、 $BI^{0.2}/H$ が 15~20 付近の調査地区で個体数が多い傾向が確認された（図-9、10）。 $BI^{0.2}/H$ と平均合成適性値の関係においても、 $BI^{0.2}/H$ が 15~20 付近の調査地区で平均合成適性値が高い傾向が確認されることから（図-12）、これらの調査地区においては、ウグイ稚魚の生息環境が多かった可能性がある。これらの $BI^{0.2}/H$ が 15~20 付近の調査地区で平均合成適性値が高い要因の一つとして、複列砂州に近い河床では、出水時だけではなく、平水流量時においても浅く広く水面が分布し、ウグイの稚魚に適した生息環境が多く存在していた可能性がある。もう一つは、alcove といった地形が形成されていた可能性がある。alcove は砂礫の堆積により、主流から分離された背水により涵養されている地形であり¹¹⁾、ギンザケ (*Oncorhynchus kisutch*) の稚魚の冬期生息場所として重要であることも知られており¹²⁾、静穏な流況の alcove は、ウグイ稚魚の生息環境にとっても重要であることが想定される。 $BI^{0.2}/H$ と alcove の関係については次章で検討する。

一方で、 $BI^{0.2}/H$ が 35 を超える調査地区では、確認された個体数が少なかった。 $BI^{0.2}/H$ に対する平均合成適性値の関係においても、 $BI^{0.2}/H$ が 35 を超える調査地区では $BI^{0.2}/H$ が 15~20 付近の調査地区よりも、平均合成適性値がやや小さく、ウグイ稚魚の生息適地がより少ないことが想定される。 $BI^{0.2}/H$ に対する生息適地の増加は、 $BI^{0.2}/H$ が 15~20 をピークに減少する特徴を持つことも考えられるが、 $BI^{0.2}/H$ が 20 を超えるデータがこの一点のみのため、今後データ数を増やして精査する必要がある。

2.4 この章のまとめ

本章では、ウグイを対象に、河川水辺の国勢調査結果の個体数と、数値計算結果を用いた PHABSIM による生息適地量および交互砂州の形成領域区分のパラメータである $BI^{0.2}/H$ との関係を検討し、以下のことが明らかとなった。

①PHABSIM による調査区間の平均合成適性値とウグイ個体数との関係を検討した結果、稚魚（最小個体長 10cm 以下）については、平均合成適性値が高いほど、個体数が多い傾向が確認され、作成した適性基準がある程度妥当であることが確認された。

②交互砂州の形成領域区分のパラメータである $BI^{0.2}/H$ とウグイ個体数の関係を検討した結果、稚魚（最小個体長 10cm 以下）については、調査区間の $BI^{0.2}/H$ の平均値が 15~20 付近の単列砂州発生領域と複列砂州発生領域の境界付近で、個体数が多いことが確認された。この原因として、平均合成適性値が $BI^{0.2}/H$ の平均値が 15~20 付近の調査地区で同様に高いことから、これらの調査地区で生息適地が多いことが考えられた。

本章では石狩川上流において、ウグイの稚魚の生息環境に、交互砂州の形成領域区分のパラメータである $BI^{0.2}/H$ が関係していることが示唆された。このことは、 $BI^{0.2}/H$ を基準とした河道整備を行うことで、魚類の生息環境に配慮した自律的な河道を形成できる可能性を示唆している。今後、河川の中、下流部や他河川において傾向を把握し、さらに他魚種においても同じ関連性があるか検証する必要がある。

一方で、 $BI^{0.2}/H$ が 35 を超える複列砂州の点では、確認された個体数が少なく、また、平均合成適性値も $BI^{0.2}/H$ の平均値が 15~20 付近の調査地区よりやや低いことが確認された。しかし、 $BI^{0.2}/H$ が 20 を超えるデータ数が少ないことから、今後、調査地区数、河川数を増やし、精査する必要がある。また、成魚（最小個体長 10.1cm 以上）についても、データ数が少なく、明確な傾向が確認できなかったことから、同様にデータ数を増やして精査する必要がある。

3. 砂州形成の観点からの alcove 形成条件に関する数値計算

これまで河川改修では、治水目的や土地利用の観点から、河道の直線化、河道断面の設定、護岸による河岸保護を行ってきた。このような河川整備の影響により、流況が単調化され、魚類などの生物生息環境に影響が及んでいたことが考えられる。例えば、河道の直線化や河道断面の固定化が、サクラマス幼魚の生息環境に悪影響を及ぼしているとの研究例¹³⁾が知られている。このような中、河川環境に配慮したより質の高い河川整備を行うため、平成 18 年からは、多自然川づくりが全ての川づくりの基本となり、自然の営力を考慮しつつ、河川環境に配慮する¹⁴⁾ことが必要となっている。

河床地形として、砂州や瀬・淵などが良く認識されているが、より局所的な地形である alcove というものもある。alcove は砂礫の堆積により、主流から分離し、背水により涵養されている地形である。写真-1 に北海道の石狩川上流と十勝川中流の写真¹⁵⁾を示すが、低水路河岸部付近と砂州の間に alcove が形成されていることが確認される。alcove の特徴として、水面勾配がレベルである個所であるため、静水状態であり、物理的、化学的、生態系的に多様であり、主流部と明確に異なる¹⁴⁾。このような環境は、遊泳力の弱い魚種や稚魚の生息環境に寄与するものと考えられる。また alcove 周辺では、河川水と浅い浸透流の交換が成されていることが知られている¹⁴⁾。写真-1 に示す alcove は低水路河岸部付近と砂州の間に形成されているため、alcove 形成要因の一つとして、砂州形成が関係することが示唆される。しかし、砂州形成と alcove の形成の関係とその機構については、検討された事例がない。

本研究は、河床変動計算により、砂州形成による alcove の形成条件について、検討したものである。

3.1 方法

現地河川で alcove 形成が確認される河川の水利条件を踏まえ、川幅を主なパラメータとして、河床変動計算による検討を行った。

3.1.1 計算ケース

河床変動計算を行う水利条件ケースを表-3 に示す。ケース1～4は川幅以外の条件が同じで、ケース1から25m 間隔で川幅を広げており、ケース4の水利条件は、写真-1 に示す alcove が確認される石狩川上流の水利条件とほぼ同様となっている。なお、これらの流量条件は2010-2014 の石狩川上流、比布水位流量観測所における平均年最大流量⁸⁾である。

これらの水利条件における交互砂州の発生区分⁹⁾を図-13 に示す。ケース1、2は単列砂州発生領域であり、ケース2は、より複列砂州発生領域に近い領域となっている。ケース3、4は複列砂州発生領域であり、ケース3は、より単列砂州発生領域に近い領域となっている。

これらの河床変動計算により形成された地形に、表-3 に示す2010-2014 の石狩川上流の比布水位流量観測所の平均平水流量⁹⁾を通水させた平面2次元流況計算を行い、平水時の水深、流速分布を把握した。なお、この平水流量通水時の計算においては、河床変動は考慮していない。

3.1.2 河床変動計算条件と可視化

河床変動計算には iRIC の Nays2DH ソルバー⁷⁾を用いた。計算格子サイズは約5m×5m であり、計算区間の

延長は5,000m とした。流量は一定流量とし、通水時間は200 時間とした。上流の境界条件には、周期境界条件を適用した。河床材料の移動は、単一粒径での掃流砂のみを対象とした。また、流砂量ベクトル式は、芦田・江頭・劉の式⁷⁾とした。斜面崩落モデルは「有効」⁷⁾とし、斜面崩落の判定を行う、土粒子の水中安息角(タンジェント)は、河床材料の粒径が50mm であることから、

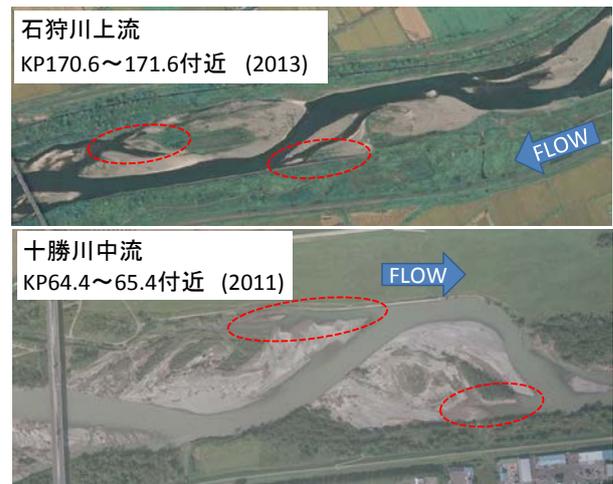


写真-1 石狩川上流と十勝川中流の alcove (赤丸)
(国土地理院¹⁵⁾)

表-3 水利条件ケース

水利条件 ケース	川幅 (m)	勾配	粒径 (mm)	Manning 粗度	洪水流量 (m ³ /s)	平水流量 (m ³ /s)	備考
ケース1	75	1/200	50	0.03	586	40.7	
ケース2	100	1/200	50	0.03	586	40.7	
ケース3	125	1/200	50	0.03	586	40.7	
ケース4	150	1/200	50	0.03	586	40.7	石狩川上流

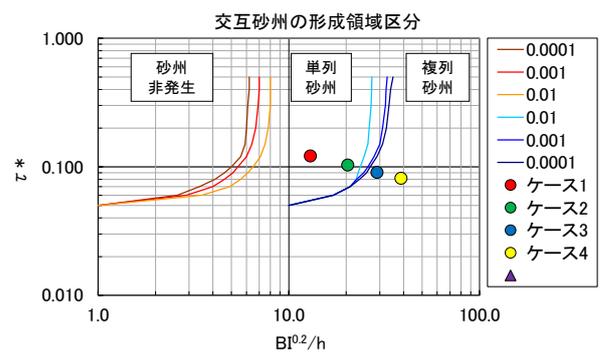


図-13 計算ケースの交互砂州の発生区分

0.73 (36°¹⁶⁾) とした。河床変動計算結果の可視化には iRIC の GUI を用いた。また、平水流量時の水深、流速の計算結果の可視化は、地形と流況の関係を確認する必要がある。そのため、GIS¹⁷⁾により iRIC による計算結果

から、河床標高コンター線を整正し、QGIS 上で水深および流速の分布と重ね合わせて明示した。

3.2 結果と考察

3.2.1 砂州形状と砂州形成時の無次元掃流力分布

図-14 上に、各ケースの計算終了後の初期河床高からの変動量を示す。ケース1では明確な砂州地形が形成されているが、ケース2~4に川幅が増すに従い、砂州形状が乱れている。また、ケース2~4では alcove 地形が確認されており、複列砂州発生条件であるケース3, 4に、より多くの alcove が発生している。

図-14 下に無次元掃流力の平面分布を示す。alcove が確認されなかった単列砂州発生領域のケース1では、砂州頂部上の無次元掃流力が0.05を上回り、流砂の移動が生じている。これは既往研究¹⁸⁾にあるような、砂州前縁部の深掘れ部から発生した流砂が、下流砂州の頂部を放射状に移動し、下流砂州の前縁部に堆積するといった、典型的な砂州上の流砂の移動であったと推察される。一方で、alcove が形成された、複列砂州条件であるケース3, 4では浮州化により、砂州頂部の無次元掃流力が0.05を下回っており、砂州頂部に流砂の移動が生じていない。複列砂州形成領域の通水時間で通水時間の経過とともに浮き州が現れ、一本の自己形成流路が形成される¹⁹⁾ ことがあり、これらのケースでは流路の全区間もしくは一部区間において、このような自己形成流路が発生している状態である。また、これらのケースでは、砂州頂部を迂回する蛇行流路の範囲の無次元掃流力が0.05を上

回っており、蛇行流路に沿って流砂が移動していることが分かる。alcove が少数確認された単列砂州発生領域であるケース2は、一部の砂州頂部で無次元掃流力が0.05を下回る個所が混在しており、ケース1とケース3の中間的な無次元掃流力の分布となっている。

3.2.2 平水流量時の alcove の流況

河床変動計算後の地形に、平水流量を流した状態の、各ケースにおける流速・水深分布を図-15に示す。なお、図-15に示す範囲は、図-14上の黒点線枠の範囲である。多くの alcove の個所では水深が確認される一方で、流速がほぼない状態であることが確認され、水理条件的にも alcove の特徴を有していることが確認される。

3.2.3 砂州形成からみた alcove の形成機構

河床変動計算後の地形に、平水流量を流した状態の、図-16に、alcove が形成されたケース4の河床変動計算結果を時系列で示す。通水開始100時間においては、単列交互砂州状の河床形状になっているが、それ以降徐々に滞筋が鮮明になり、蛇行流路状となっている。また、これらの蛇行流路は下流側に移動しながら形成されている。河岸と砂州の間に形成された alcove は、この蛇行流の下流への移動に伴う、内岸の砂州下流部の堆積により、河岸の深掘れ部が取り残された部分であることが分かる。なお、図-16に示す最上流の alcove については、図-14下に示すとおり、無次元掃流力が0.05を上回っており、形成された位置が河道の中心付近であることから、先に述べた alcove の形成要因とは異なることが考え

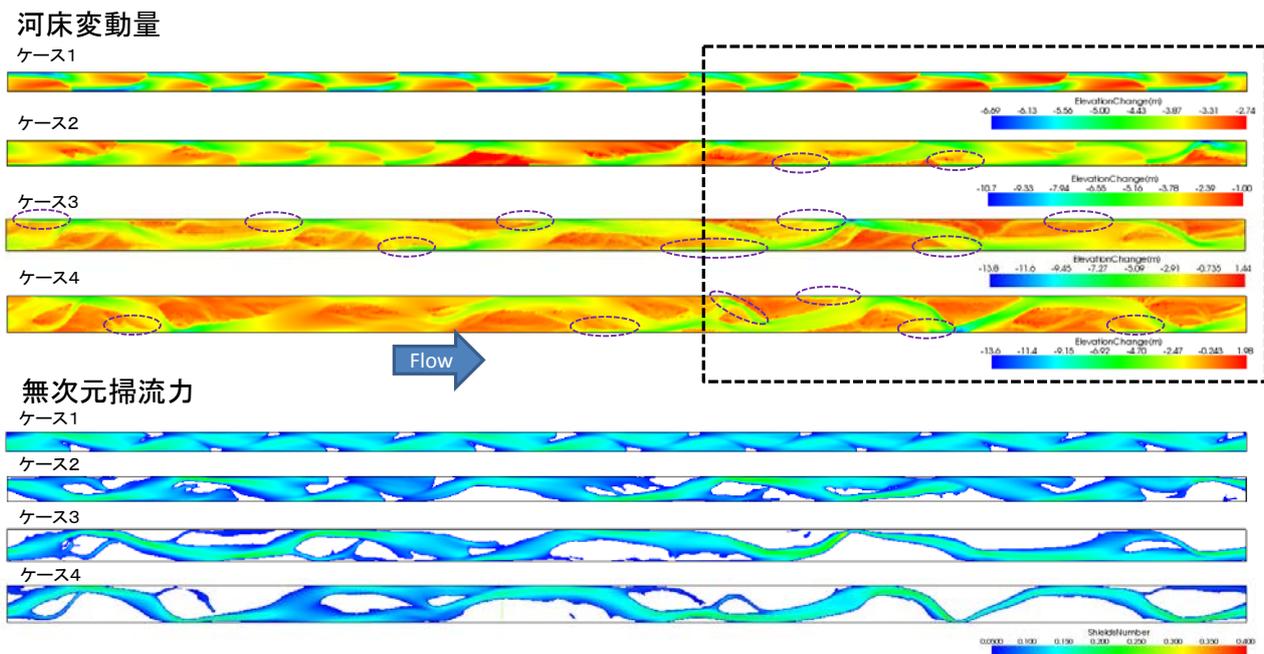


図-14 各ケースの通水完了後の河床変動量（河床地形）と無次元掃流力の平面分布。紫丸は alcove の位置を示す。無次元掃流力が0.05未満の個所は白抜きで示している。

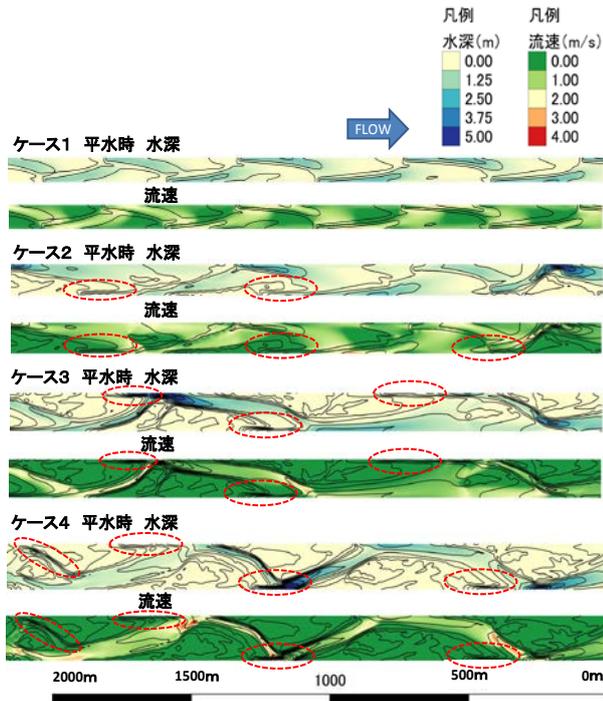


図-15 平水流量時の水深・流速分布。赤丸は alcove の位置を示す。

られる。この図-16 に示す最上流の alcove の形成箇所では、通水開始 140 時間から 200 時間にかけて流路が分岐している。この分岐流量の一方が、平水時流量に流量が減少したことで、主流部から切り離されたことにより、図-16 に示す最上流の alcove が形成されたと考えられる。

3.3 この章のまとめ

本研究では、魚類生息場などの河川環境上、重要であると考えられる alcove が形成される条件について、河床変動計算により検討し、以下の結果が得られた。

①明確な単列砂州が形成される場合には alcove は形成されない。一方で、複列砂州発生領域で、砂州頂部が浮き州化し、自己形成流路が形成¹⁹⁾され、蛇行流が鮮明になる場合、蛇行流路の流下に伴い、砂州内岸側の下流部に土砂堆積が生じ、その際に取り残された河岸深掘れ部が alcove となった。

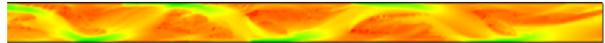
②「①」以外の形成要因として、複列砂州発生領域での河床変動において、流路が分岐され、この流路が平水流量時に主流から分離されることにより alcove が形成されることも確認された。

ケース4

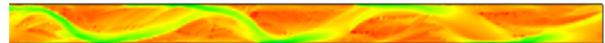
通水開始100時間



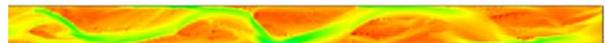
通水開始120時間



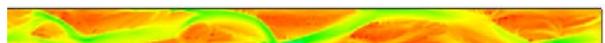
通水開始140時間



通水開始160時間



通水開始180時間



通水開始200時間

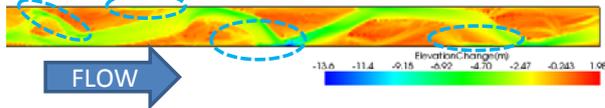


図-16 ケース4の河床変動計算の時間変化。青丸は計算における最終的な alcove の位置を示す。

4. まとめ

本研究では、中規模河床形態の砂州などのリーチスケールの河床地形を考慮した魚類の生息環境評価技術の開発および維持管理上有利な河道掘削技術の開発を目指すために行ったもので、本年度の成果として以下のことが確認された。

①交互砂州の形成領域区分のパラメータである $BI^{0.2}/H$ との関係を検討し、稚魚（最小個体長 10cm 以下）については、調査区間の $BI^{0.2}/H$ の平均値が 15~20 付近の単列砂州発生領域と複列砂州発生領域の境界付近で、個体数が多いことが確認された。この原因として、PHABSIM による平均合成適性値が $BI^{0.2}/H$ の平均値が 15~20 付近の調査地区で同様に高いことから、これらの調査地区で生息適地が多いことが考えられた。

②魚類生息場などの河川環境上、重要であると考えられる alcove が形成される条件について、河床変動計算により検討し、複列砂州発生領域で、砂州頂部が浮き州化し、自己形成流路が形成¹⁹⁾され、蛇行流が鮮明になる場合、蛇行流路の流下に伴い、砂州内岸側の下流部に土砂堆積が生じ、その際に取り残された河岸深掘れ部が alcove となった。

$BI^{0.2}/H$ とウグイ稚魚個体数の関係では、単列砂州形成と複列砂州形成の境界くらいの条件の調査地区で個体数が多かった。この原因として、 $BI^{0.2}/H$ が単列砂州形成

と複列砂州形成の境界くらいの条件では、前述した alcove も形成が確認される条件であり (図-14)、さらに複列砂州形成条件で完全に自己形成流路¹⁹⁾が形成された状態ほど川幅が狭くなく (図-15)、主流部の流速が低減されていると考えられ、これらのことが、ウグイ稚魚個体数の多さに影響した可能性がある。

謝辞：北海道開発局旭川開発建設部から貴重なデータを提供して戴いた。

参考文献

- 1) 社会資本整備審議会 河川分科会 気候変動に適応した治水対策検討小委員会, 水災害分野における気候変動適応策のあり方について, 2015,8. (平成 28 年 11 月 11 日確認) .
- 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. (平成 28 年 11 月 11 日確認) .
- 3) 玉井信行ら：河川生態環境評価法, 東京大学出版, pp95-102,2000,3.
- 4) Inoue, M., Nunokawa, M. : Effects of longitudinal variations in stream habitat structure on fish abundance: an analysis based on subunit-scale habitat classification, *Freshwater Biology*, 47, pp.1594-1607, 2002.
- 5) 社団法人 土木学会, 土木学会 水理公式集, pp.339-345, p592, 1999.
- 6) 河川環境データベース, <http://mizukoku.nilim.go.jp/ksnkankyo/index.html>, (平成 28 年 11 月 11 日確認).
- 7) iRIC Project, <http://i-ric.org/ja/>, (平成 28 年 11 月 11 日確認) .
- 8) 国土交通省, 水文水質データベース, <http://www1.river.go.jp/>, (平成 28 年 11 月 11 日確認) .
- 9) 平成 28 年度版 河川水辺の国勢調査基本調査マニュアル [河川版] (魚類調査編), 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課, <http://mizukoku.nilim.go.jp/ksnkankyo/mizukokuweb/gaiyou.htm>, (平成 28 年 11 月 11 日確認) .
- 10) 稗田一俊: 北海道の淡水魚, 北海道新聞社, pp.94-95, 1984.
- 11) Alexander G. F., Dixon H. L., & Parker J. W. : Water quality changes in hyporheic flow paths between a large gravel bed river and off-channel alcoves in Oregon, USA, *River research and applications*, 22, PP.1-14, 2006.
- 12) Thomas E. N., Jeffrey D. R., Steven L. J. & Mario F. : Seasonal changes in habitat use by juvenile Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutch*) in Oregon coastal stream, *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*, 49(2), pp.783-789, 1992.
- 13) 中野繁, 井上幹生 : 河道の直線化改修がサクラマス幼魚の微生息場所に与える影響, 魚と卵, 164, pp23-32, 1995.
- 14) 国土交通省, 多自然川づくり基本指針, http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kankyo/tashizen/index.html, (平成 28 年 12 月 9 日確認) .
- 15) 国土地理院, 地図・空中写真閲覧サービス, <http://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>, (平成 28 年 12 月 9 日確認)
- 16) 河村三郎 : 土砂水理学 1, 森北出版, 1982.
- 17) QGIS プロジェクト, <http://www.qgis.org/>, (平成 28 年 12 月 9 日確認)
- 18) 藤田裕一郎, 村本 嘉雄, 堀池 周二, 小池 剛 : 交互砂州の発達機構, 水理講演会論文集, 第 26 回, pp25-30, 1982.
- 19) 竹林洋史, 江頭進治 : 自己形成流路の形成過程と形成水理条件, 土木学会論文集, No.677, II-55, 75-86, 2001,5.

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：萱場祐一、大石哲也、大槻順朗

【要旨】

本研究は、河川計画・設計において、河川環境やこれに付随する河道設計技術に関して、定量的に判断できる支援ツールを開発し、新たな設計プロセスを構築することにある。平成 28 年度は、シミュレーション上で複数の河道地形案を検討する際に地形形状の変更を容易にするため、河道の 3 次元地形を迅速に処理可能な河道地形編集特化型ツールのプロトタイプを開発した。また、洪水による植物流出指標、魚類の総合的な生息場の良否を判定するツールを開発、実装を行った。

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

1. はじめに

河道計画の策定では、限られた時間の中で治水や環境にとって最適な計画となることが求められている。この際、生物生息場に配慮した河道計画では、複数の河道形状（3 次元地形）を比較検討したうえで、地域の生物にとって最も有利で治水要件を満たした案を選択することが重要である（図 1）。また、この配慮には、水工学・生態学をベースに河川改修時に生ずる生物生息場の応答を定量的かつ迅速に予測することが欠かせない。そこで、平成 28 年度は、河道計画から設計までを一体的に行うための支援ツールの開発を目的として、まず、複数の河道形状の比較検討を行うため、①地形を 3 次元的に作成・処理できるツールを開発すること、次に生物生息場に配慮した河道計画を支援するため、②生物生息場を定量的に評価できるツールを開発した。

2. 河道地形処理ツールの開発

生物生息場に配慮した多自然川づくりの取り組みでは、河道の計画段階において様々な河道の縦・横断形の検討がなされる。これまでにも模型を用いた検討からシミュレーションでの検討とより動的かつ検討時間の短縮化が可能になったが、解析に利用する地形格子形状の編集作業に手間がかかっている。複数案の河道形状を検討すること自体は、非常に有意義であるが実作業に時間がかかりすぎると、より良い案を見出し難くなる可能性が高い。そこで、シミュレーションにより河道地形を編集する際に、現場の技術者が河道の地形（3 次元格子データ）をパソコン上で容易に編集するための特化型のツールを開発している。平成 28 年度は、3 次元地形編集ツールのプロトタイプの開発を行った（図 2）。

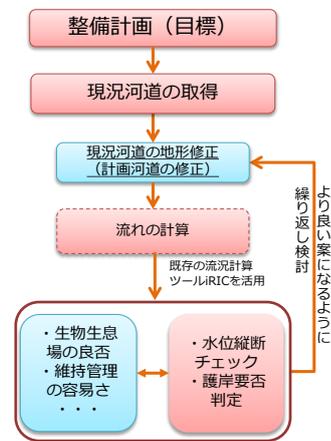


図 1 河道計画の考え方

平成 28 年度は青色部分について研究を実施

座標点の格納されている地勢データ（.tpo 形式）を読み込み、地形を 3 次元的に表現するために TIN（不規則三角形網：Triangulated Irregular Network）を作成する。編集では、別途設定した任意の地形形状を利用して TIN の編集が可能となる。例えば図 3 に示すように、上に凸型の地形を左岸上流側に盛土したような形状が追加され、3D 画面で確認できる。

今後は、河道地形の編集の際に良く利用される形状（例えば河岸勾配が 5 分、2 割など）を組み込み、切り盛り土量の算出も可能とし、河川技術者が利用し易くなるように開発を進めていく。

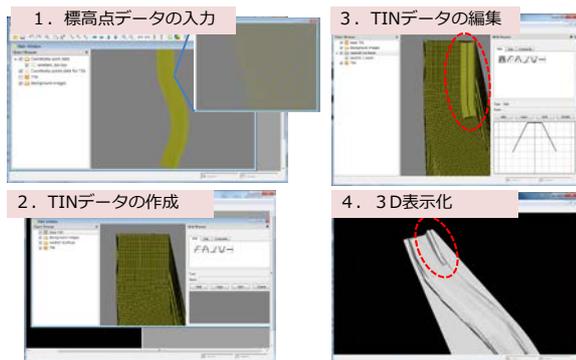


図2 地形編集ツールの概要

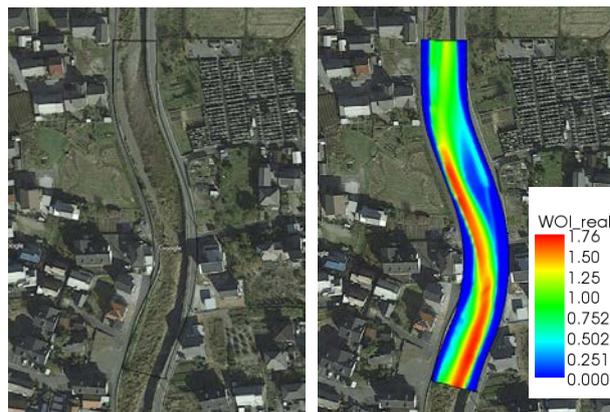


図3 WOI 指標を用いた解析結果 (例)

3. 環境評価ツールの開発

3.1 植物流出指標ツールの開発

河道内における植物の応答・予測技術を向上させ、維持管理軽減の一助とするため、洪水に伴う植物の繁茂や流出を評価する指標を自然共生研究センター開発の環境評価ツール (EvaTRiP) に組み込んだ。植物の流出評価に関しては、田中ら¹⁾が提案する流出評価指標 WOI ($=\tau_{*90}/\tau_{*c90}$) を使用した。 τ_{*90} 、 τ_{*c90} はそれぞれ 90%粒径の無次元掃流力、無次元限界掃流力である。同指標は、WOI>1 になると草本の流出が生じることが報告されている。図3は、岐阜県梅谷川で流量 35(m³/s) を与えた結果であるが、出水時にみお筋で1を上回り、それ以外で1を下回る傾向にある。1を下回った砂州では植物が多いことが写真から見て取れる。

3.2 中小河川における一般魚種に対する総合的な生息場の良否のツールの開発

従来個別の種を対象に評価を行ってきた PHABSIM (Physical HABitat SIMulation Model) では、魚類群集の生息場評価を行うための入力データの準備が困難であった。そこで、山口大学の関根教授と協力し、魚類の行動モード (摂餌, 休息, 逃避, 産卵) や行動圏などの生態情報を加味した環境多様性の指標として「生態環境多様性指標 (Eco-Environmental Diversity)²⁾」を用いた魚類生息場を総合的に評価する DHABSIM (Diversity based HABitat SIMulation) の簡易バージョンを iRIC ツールとして開発・公開した。同評価値は 0-1 の範囲で指標化され、0.8 を上回ると生息場としてのポテンシャルが高いとの検討結果がある²⁾。

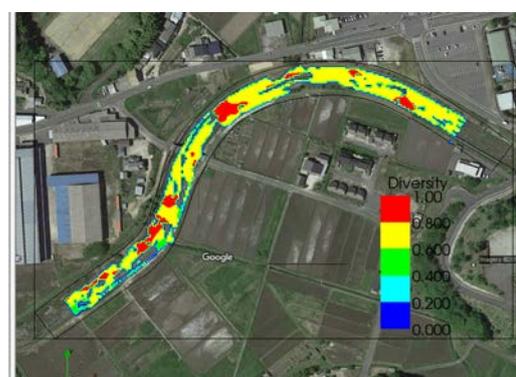


図4 DHABSIMによる環境解析結果 (例)

ルのプロトタイプの開発、植物流出指標および魚類の総合的な生息場の良否を判定するツールの開発、実装を行った。

参考文献

- 1) 田中ら：樹木の洪水破壊指標と流失指標を考慮した砂礫州上樹林地の動態評価手法の提案, 土木学会論文集B, Vol. 66(4), pp. 359-370, 2010.
- 2) 伊藤ら：中小河川における魚類生息場評価のための生態環境多様性指数の提案, 土木学会論文集G (環境), Vol. 72(1), pp. 1-11, 2016.

4. まとめ

本研究は、河川計画・設計において、河川環境やこれに付随する河道設計技術に関して、定量的に判断できる支援ツールを開発し、新たな設計プロセスを構築することにある。平成28年度は、河道地形編集特化型ツ-