

第69回(2025年度) 北海道開発技術研究発表会論文

後志利別川における 定量的な河川環境目標の検討 —指標種の選定と

iRICを用いたカワヤツメの産卵場の物理環境解析—

函館開発建設部 今金河川事務所 河川課 ○森岡 洸太郎
函館開発建設部 工務課 矢野 雅昭
株式会社建設技術研究所 平田 瑞穂

令和6年5月の提言を受けて河川環境の定量的な目標設定及びネイチャーポジティブに資する河川整備と自然再生の両立が求められている。本稿は、環境特性を踏まえた魚類・鳥類の指標種の選定結果、水国調査結果と環境要素の変遷及び工事履歴等を踏まえた目標年代の検討状況について報告する他、指標種の1つであるカワヤツメについて、iRICによる水理解析結果を説明変数とした産卵場推定モデル（ランダムフォレスト）を作成し、自然裸地の維持・創出を整備目標の一つの候補とした河川環境目標の検討状況について報告するものである。

キーワード：河川環境目標、指標種、自然再生、産卵床

1. はじめに

後志利別川では、美利河ダムにおける魚道整備等、魚類の移動の連続性を改善する河川環境整備や低水路に極力影響を与えないよう高水敷掘削を実施してきた。

令和5年3月に変更した後志利別川水系河川整備計画の「河川環境の整備と保全に関する目標」は、河畔林及び水際について治水面と整合を図りつつ保全・創出を図る旨の定量的な環境目標の表現に留まっている。

令和6年5月に「生物の生息・生育・繁殖の場としてもふさわしい河川整備及び流域全体としてのネットワークのあり方検討会」による提言¹⁾がなされ、今後は後志利別川においても、客観的・科学的な根拠に基づき「定量的な河川環境目標」を設定し、これを踏まえた河川整備に取り組む必要がある。

2. 後志利別川の特徴と課題

後志利別川は、表-1のとおり河川環境管理シート²⁾の検討結果から4つの河川環境区分に分けられる。

区分1は汽水域となっており、入り組んだ微地形に緩流域を選好するジュズカケハゼ等の魚類が、水際の砂泥にはカワヤツメの幼体等が生息している。

区分2-1は、今金町の市街地を流れる築堤区間で、低水路内には砂州が散見される。砂州の周辺や平瀬はアユやエゾウグイ等が生息している。

区分2-2は片岸または両岸が山付きとなっており、山

付き部の地形に沿って蛇行し、内岸側には砂州が発達している。連続する瀬や淵がサクラマス（ヤマメ）等の生息環境となっている。

区分3は山地を流れ、地形に沿って蛇行しており、河道内は瀬や淵が明瞭で、サクラマス（ヤマメ）等の生息環境となっている。

3. 後志利別川の河川環境目標の検討手順

はじめに河川環境要素の変遷を整理し、環境要素の増減及び特徴的な環境要素を把握した（STEP1）。

また、環境要素の変遷に応じた生物の増減の状況を把握するため、後志利別川の河川水辺の国勢調査（以降、水国調査）で確認された種ごとの個体数の変遷を整理した。ここで、最も古い水国調査は魚類でH6年であることから、平成初期以前の生物の増減傾向や生息個体数と環境要素の関係を把握するため、水国調査データと環境要素データを用いてランダムフォレストによる個体数推定モデルを作成し、検討を試みた（STEP2）。本稿では魚類についての検討結果を示す。

STEP2までの整理結果と生息範囲の拡大、個体数の増加が求められる優先種等の観点踏まえ、指標種を選定した（STEP3）。

表-1 後志利別川の河川環境区分

区分	1	2-1	2-2	3
距離(km)	0.0-5.0	5.0-24.0	24.0-36.0	36.0-51.0
セグメント	2-2	2-1	2-1	1
地形等	低地・築堤	低地・築堤	山地・丘陵地	山地
川幅(m)	250-400	200-300	100-200	100-150

STEP3までの検討結果と河川改修及びダム建設等の履歴をもとに、実現可能な目標年代を区分ごとに設定し、設定した年代の環境要素の量を目標水準として設定する方針とした（STEP4）。

ここで、STEP2において、特に遡河性で移動性が高い種の個体数推定モデルは、確認個体数と環境要素の対応が把握しにくいという課題が明確となった。そのため、環境要素との関係が比較的明瞭な産卵場に着目し、ランダムフォレストを用いた産卵場推定モデルを作成し、これを具体的な河川整備検討における整備効果（アウトカム）の確認に活用する方針とした。（STEP5）。

4. 環境要素の変遷【STEP1】

(1) 整理項目と整理方法

環境要素の変遷を整理する項目は、河川環境管理シートで整理される生息場の環境要素（典型性12項目）を基に、草地面積、樹林面積、自然裸地面積、ワンド面積・個数、たまり面積・個数、瀬の面積・個数とした。データ整理に使用した資料は、河川水辺の国勢調査結果（河川環境基図作成調査）や過去の空中写真とした。瀬については、空中写真からの判読が困難な箇所や年代が存在することから、対象年代の前後の環境基図調査結果をもとに瀬の分布を抽出した。また、全ての年代で同程度の精度の判読が困難である淵については、瀬の分布とある

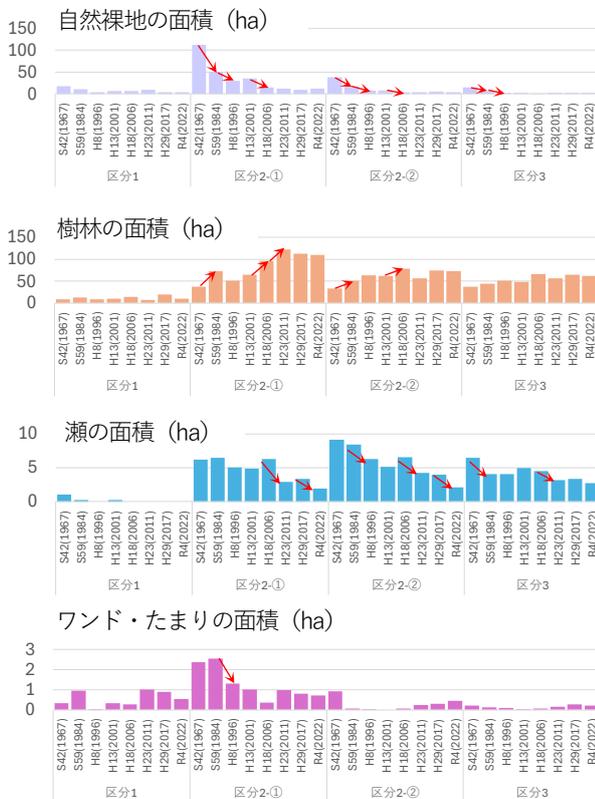


図-1 後志利別川の環境要素の変遷
(例：自然裸地、樹林、瀬、ワンド・たまりの面積)

程度相関していると想定し、データ整理からは割愛した。

(2) 環境要素の変遷の整理結果

環境要素の変遷を図-1のように整理した結果、後志利別川では区分2-1,2-2における自然裸地の減少・樹林化の進行が確認できた。特に区分2-1では、S42年からH8年にかけて自然裸地が大きく減少し、H13年からH18年にかけても自然裸地の面積はH13年の半分程度まで減少していた。同様に樹林化も区分2-1において顕著であり、H13年からH23年にかけて樹林面積が約2倍に増加していた。これらの変化がみられた箇所については写真-1に示すとおり、過去に砂州による自然裸地だった場所が縮小し、現在は多くの箇所が樹林化しており、河道の二極化が進行しているものと考えられる。この変化に伴い、瀬の面積がH18年からH23年にかけて減少し、その後も減少傾向である他、ワンド・たまりの面積がS59からH8年にかけて減少している。また、瀬の面積については、区分2-2においても減少傾向が続いている。

なお、区分1は、自然裸地の減少と樹林化の進行がみられるがその変化量は小さい。また、ワンド・たまりが近年やや減少傾向ではあるが、S42年以降でみると大きな変化はみられていない。区分3は、S42年と比較すると自然裸地は1/6以下に減少し、樹林もやや増加しているが、環境要素の大きな変化はみられていない。

5. 生物種・個体数の増減の整理【STEP2】

(1) 水国調査結果を用いた生物種・個体数の変遷整理

水国調査結果から後志利別川で確認された生物種及び個体数について当該調査年の1回あたりの平均値を算出し、その変遷を整理した。以下に、魚類の例を示す。

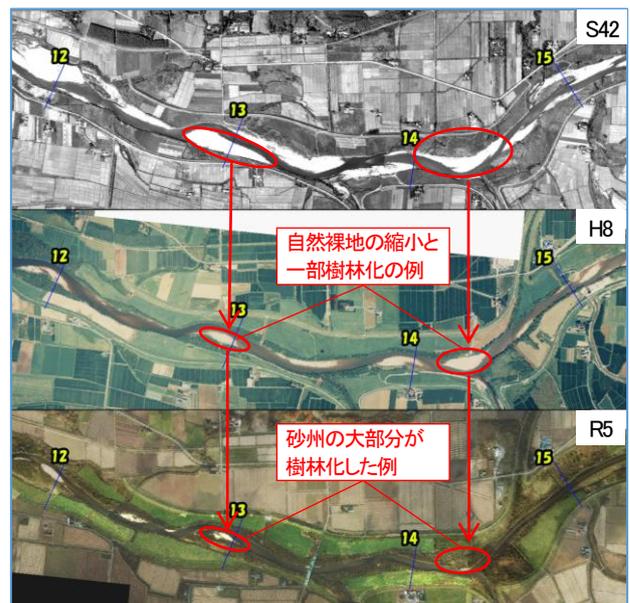


写真-1 砂州の減少と樹林化の進行
(区分2-1：KP12～15)

比較的確認個体数が多い区分1及び区分2-1で見ると、シマウキゴリがH21年、ウキゴリがH16年以降減少傾向であり、エゾウグイがH11年以降減少傾向となっていることが確認できた(図-2)。

なお、サクラマス(ヤマメ)は、概ね増加傾向となっており、一般的に良好とされる環境要素(連続する瀬淵)が減少傾向にあることと逆相関の関係であることから、本種の個体数の変遷は環境要素の変遷に呼応した結果とは考えにくいものであった。また、カワヤツメ属やアユのように遡河性で移動性が高い種では、個体数の変遷そのものの傾向が不明瞭となる傾向が見られた。

(2) ランダムフォレストによる個体数推定

平成初期以前の個体数に関する状況把握と改善効果の高い環境要素の抽出を目的として、水国調査結果と環境要素データから、自動的に最適な非線形関係や相互作用等を学習し、安定した回帰推定を行うことが可能な機械学習ランダムフォレストによる個体数推定モデルを作成し、試みた。結果的には本解析では後述する課題があり

定量目標の検討には用いなかったが、参考事例として詳述する。本解析は、R version 4.5.1³⁾、Rパッケージ「randomForest」⁴⁾を用いて実施した。

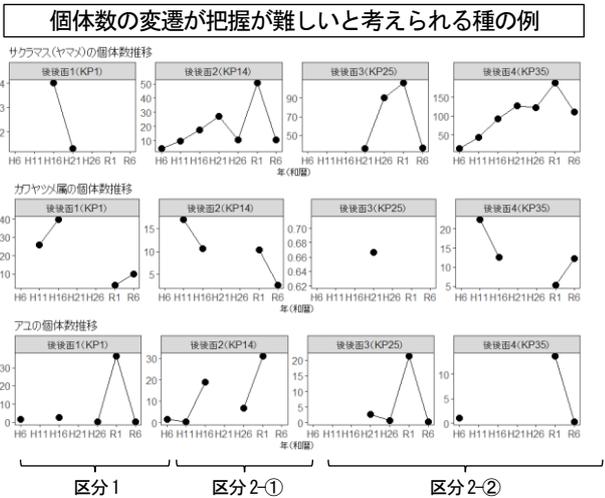
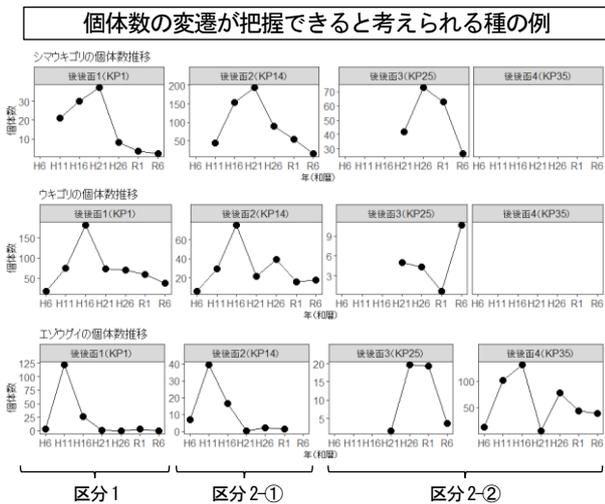
a) 目的変数と説明変数

目的変数は水国調査の結果から、種ごとの個体数データを用いた。水国調査は、河川区分を代表する環境と考えられる場所を調査地区としていることから、説明変数は、表-2に示す景観スケールの環境要素を設定した。また、流程に応じた基本的な生息分布を反映するために、説明変数にKP(河口からの距離)と河床勾配を含めた。

対象種は、後述する指標種の候補とした種他、比較的確認個体数が多い複数種(ウキゴリ、シマウキゴリ、ドジョウ等)とした。

b) 個体数推定モデルの結果

作成した個体数推定モデルの精度は種によって大きく異なり、ウキゴリ、サクラマス(ヤマメ)等比較的推定精度が高いモデルが作成できた一方で、アユ、カワヤツメ等の遡河性で移動性が高い種については、精度の高いモデルを作成することが困難であった。また、サクラマス(ヤマメ)は、モデル精度は高いものの、水国調査結果と同様に、過去の方が個体数が少ないと推定されるモデルとなった。この結果は、北海道の日本海側におけるサクラマスの漁獲量が減少傾向にあることと逆の結果となるなど、取り扱いには注意が必要であることを示唆する個体数推定モデルもあった。



※個体数は1季あたりの確認個体数に換算して比較した。

図-2 水国調査結果から個体数の変遷が把握できると考えられる種、把握が難しいと考えられる種の例

6. 指標種の選定【STEP3】

【STEP2】まで整理した環境要素と生物の変遷を参考としつつ、生息範囲の拡大、個体数の増加が求められる優先種を絞り込み、その中から、保全・創出の効果を検証できると思われる指標種を選定した。

表-2 個体数推定モデルの概要

項目	概要	詳細・備考
モデルタイプ	回帰モデル	設定条件はすべて既定値を採用
目的変数	各種の個体数	7年分の水国調査結果を元に、実施年ごとの調査1回あたりの確認数
説明変数	空中写真から抽出した環境要素	樹林面積、自然裸地面積、ワンド面積、たまり面積、瀬の面積
	河川の基本特性から抽出した要素	瀬の個数、水際の複雑さ KP(河口からの距離) 河床勾配

表-3 構築している個体数推定モデルの例

モデル	種名	var explained % [※]
推定精度の良いモデル例	ウキゴリ	61.54
	シマウキゴリ	38.15
	ドジョウ	53.35
推定精度が悪いモデル例	サクラマス(ヤマメ)	71.00
	エゾウグイ	-11.48
	アユ	-29.87
	カワヤツメ属	-70.35

※var explained %: モデルの精度を表す指標。100に近いほど精度が高い。

(1) 優先種の選定

後志利別川の水国調査では、魚類は11科36種が確認されている。また、鳥類は37科120種が確認されている。これらの種の中から、環境省及び北海道のレッドリストで重要種に指定されている種、過去の水国調査結果より近年確認数が減少傾向にある種（減少種）、地元住民等から個体数の拡大を求められている文化的・商業的に価値のある種（注目種）を選定基準として生息数を回復させる対象としてふさわしい優先種の選定を行った。

(2) 指標種の選定と生息環境の整理

河川環境目標の設定にあたっては、優先種の中から保全創出効果を検証できる指標種を設定する必要がある。指標種は、ある生息環境の代表種であり、かつ環境の変化に応じた個体数の変化を示しやすい種を選定基準として魚類5科7種、鳥類3科4種を現在の案として選定した。生物と依存する生息環境の関係については、「河川環境管理シートを用いた環境評価の手引き」²⁾を参考とした。

選定結果は表-4に示すとおりであり、これらの種に必要な環境要素として、区分1は河口の砂泥底やワンド・たまり等、区分2-1は連続する瀬淵、自然裸地等、区分2-2は緩流・止水域の砂泥底、自然度の高い水際等、区分3は連続する瀬淵等が考えられた。

7. 環境定量目標年代の検討【STEP4】

河川環境の目標とする水準は、過去の年代において河川環境が良好であった姿をリファレンスとしつつ、現在の地域特性、河川利用、治水条件等を考慮して設定することが重要である。

過去に河川環境が良好であった年代を推定するにあたり、工事履歴を整理して現在の河道が概成した年代を参考とした。後志利別川では、S58年度に捷水路工事が完

表-4 選定された指標種（現在案）と関連する環境要素

種名	生息する主な区分				必要な河川環境	選定の基準
	1	2-1	2-2	3		
キタスナヤツメ	●	●	●	●	連続する瀬淵、緩やかな水域の砂泥底	絶滅危惧種(環境省)
カワヤツメ	●	●	●	●	連続する瀬淵、緩やかな水域の砂泥底	絶滅危惧種(環境省) 注目種
エゾウグイ	●	●	●	●	連続する瀬淵	減少種
アユ	●	●	●	●	連続する瀬淵	注目種
サクラマス(ヤマメ)	●	●	●	●	連続する瀬淵、降下幼魚の休息場となるワンド	減少種 注目種
アシシロハゼ	●	●	●	●	干潟(河口の砂泥底)	減少種
ジュズカケハゼ	●	●	●	●	ワンド・たまり	減少種
コチドリ	●	●	●	●	自然裸地	減少種
オオジシギ	●	●	●	●	草地	注目種
カワセミ	●	●	●	●	河畔林、ワンド・たまり、河岸の土壁	注目種
ヤマセミ	●	●	●	●	河畔林、連続する瀬淵、河岸の土壁	注目種

この他、カワヤツメ、アユ、サクラマス(ヤマメ)は海城から河川域の連続性を必要とする。

了し、S59年度以降から現況河道となっている。全川の築堤工事はH6年度に完了している。また、美利河ダムがH3年に竣工し、同年より湛水が開始されている。

【STEP1】で整理した環境要素の変遷では、区分2-1・2-2において、S42年からS59年の捷水路工事が完了するまでの間に最も大きく自然裸地の面積が減少し、それ以降では、美利河ダムの竣工を挟むS59年からH8年とH13年からH18年の間に大きな自然裸地の減少が見られている。また、顕著な樹林面積の増加は美利河ダム完成後のH13以降にみられ、瀬の面積はS59年以降に減少傾向である。

生物の個体数の変遷では、シマウキゴリがH21年以降、ウキゴリがH16年以降に減少傾向が確認され、指標種ではエゾウグイがH11年以降に減少傾向が確認されている。エゾウグイについては、連続した瀬と淵が産卵環境として重要とされており²⁾、樹林化に伴う二極化が影響し、減少傾向となったことも考えられる。

これらの状況を合わせて検討した結果、後志利別川が環境目標とする年代を表-5に整理した。区分1、3は現状維持とし、区分2-1、2-2は捷水路工事が完了し、美利河ダム完成後のH8年からH13年を目安とすることが、実現可能性及び環境要素・生物の生息状況の観点から適当と考えられる。

8. 具体的な河川整備の検討に向けた指標の検討【STEP5】

(1) アプローチの考え方

【STEP2】の検討では、遡河性回遊魚が多く含まれる指標種については、水国調査の採捕数には生活史に基づく移動が影響し、増減傾向が不明瞭であったことから、指標種に関する改善すべき環境要素は明らかにできていなかった。そのため、生活史として特に重要である産卵場に着目して環境要素との関係性を検討する方針とした。そこで、後志利別川の中流域を主な産卵場として利用する種のうち、検討の初期段階として、カワヤツメを対象に産卵場推定モデルを作成し、目標設定することとした。

表-5 区分ごとの環境定量目標年代の検討結果

区分	環境目標	
	目標年代	概要
区分1	現状維持	各要素に大きな変化は見られないため、現状維持を基本とする。
区分2-1	H8~H13	美利河ダム建設後で自然裸地が大きく減少する前の年代。樹林化はこの年代以降、顕著に進行しており、減少傾向が確認できる種が複数種見られる。
区分2-2	H8~H13	区分2-1と概ね同じ傾向。
区分3	現状維持	各要素に大きな変化は見られないため、現状維持を基本とする。

(2) カワヤツメの産卵床調査結果と産卵適地の設定

令和7年6月18日～19日にカワヤツメの産卵床調査を実施した。調査の結果、図-3に示すように区分2-1に該当するKP12.4～KP22.8の区間内の10箇所において産卵床または産卵行動を確認し、産卵床は自然裸地周辺で確認されることが多かった。また、カワヤツメの産卵行動において50mm前後の礫に吸着して体を固定し、小礫と砂が混在する場所を掘って、産卵直後に小礫を移動させて卵を埋め戻す行動が確認されたことから、河床材料の組成も重要であることが示唆された(写真-2)。このような環境の多くは、平瀬から早瀬に移行する、やや盛り上がった平瀬の終端付近に多くみられたことから、産卵場としては、出水時は適度にフラッシュされ細礫から粗礫が堆積しやすいものの、平水時の水深は比較的浅く流速も速すぎない場所が選好されていると推定された。このように水理特性や微地形が重要な要素となっている可能性があることが示唆されたため、現地調査では、図-4に示すとおり、産卵床確認地点とほぼ同様の環境の範囲を「産卵適地」として記録し、適地内の代表地点で水深、流速、主な河床材料等を計測・記録した。また、適地の流速や河床材料等の条件が明らかに異なる地点を「不適地」として記録して、後述するモデルの検討に用いた。

(3) iRICによる水理解析とランダムフォレストを用いたカワヤツメ産卵場推定モデル

現地調査の結果から、カワヤツメの産卵適地の検討には水理特性を説明変数とする必要があると判断したため、現地調査から産卵床が多いと考えられる区分2-1を対象

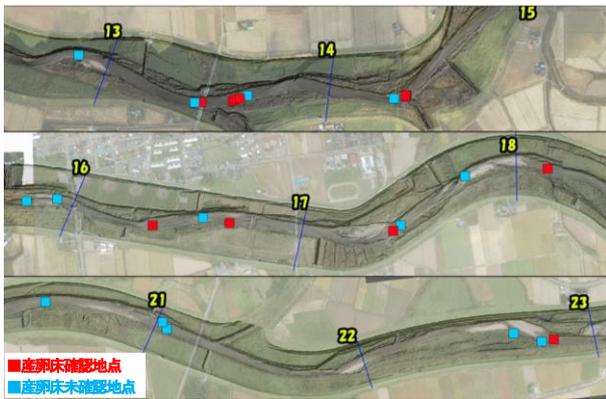


図-3 カワヤツメ産卵床調査結果 (KP13-23を抜粋)



写真-2 カワヤツメの産卵行動例

にiRIC Nays2Dによる平面二次元水理計算モデルを構築した。計算メッシュは低水路内で約10m×10mの格子が形成されるよう分割し、地盤高はR4～5年度のALBデータを与え、粗度係数は河道計画検討時のものを用いた。計算流量は今金観測所、大富観測所の近10カ年の流況をもとに設定した平水流量及び平均年最大流量(一定量)とし、平常時と出水時の流速、水深、フルード数、掃流力等の水理量を算定した。

a) カワヤツメ産卵場推定モデルの概要

水理解析結果をGIS上に展開し、産卵適/不適地(N=318)に対して、それぞれの範囲内の水理量を抽出した。これに、砂州との距離や微地形による勾配等を加えた計12の特徴量を説明変数として、表-6に示すカワヤツメ産卵床の適/不適地を分類する産卵場推定モデルを構築した。モデルは、個体数推定モデルと同様に、目的変数と説明変数の関係性が不明確な状況でも、精度の高い推定が可能な機械学習モデルランダムフォレストを用いた。また、モデル構築時における設定条件は、すべて既定値を採用した。

解析の結果、OOB(Out Of Bag)推定誤差率は3.77(すなわち正答率96.2%)、AUC(Area Under the Curve: 分類モデルの精度を表す指標であり、1に近いほど精度が高い)は0.99と、精度の高いモデルを作成することができた。実測値及び推定値の比較(混同行列)を表-7に示す。

b) 産卵適地の推定結果による目標設定の考え方

本モデルにおける重要度が高い変数は、河床勾配、自然裸地からの距離、フルード数等が挙げられた。重要度は、推定精度への影響程度を示しているが、それらがどのような因果関係を有するかを定量的に示すものではない。そのため、産卵適地における重要度の高い各変数の数値範囲に着目した結果、産卵適地における各変数の値は、限定的な範囲を示していた(図-5)。特に、河川形態に関係する変数である自然裸地(砂州)からの距離と平水時のフルード数に着目した場合、自然裸地からの距離の四分位数範囲(データ分布の25～75%の範囲:16.13～48.86m)と平水時フルード数の四分位数範囲(データ

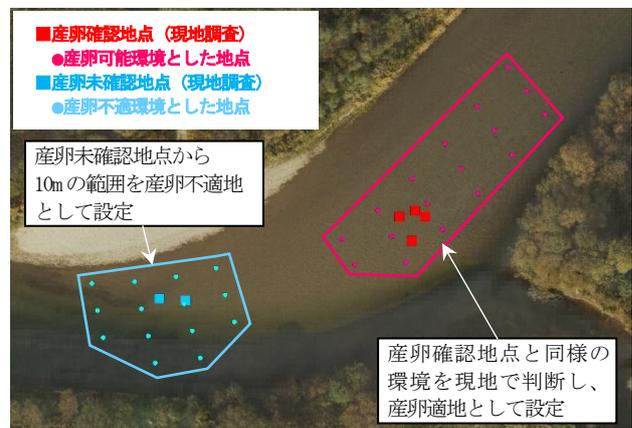


図-4 目的変数(産卵適地)データの作成例

表-6 カワヤツメ産卵場推定モデルの概要

項目	概要	詳細・備考
モデルタイプ	分類モデル	設定条件はすべて既定値を採用
目的変数	産卵適否	産卵適地：1 産卵不適地：0
説明変数	水理量	水深（平水時）
		流速ベクトルのX成分（平水時）
		流速ベクトルのY成分（平水時）
		流速 [XY合成]（平水時）
流れの特性	フルード数	フルード数（平水時）
		フルード数（出水時）
河床材料の指標	掃流力	掃流力（平水時）
		掃流力（出水時）
		掃流色（平水時と出水時の差）
地形特性	自然裸地からの最短距離	平均河床勾配（上下流0.5kmの平均）
		微地形勾配（地点周囲メッシュの平均）

表-7 カワヤツメ産卵場推定モデルの混同行列

	(推定)産卵適地	(推定)産卵不適地
(実測)産卵適地	149	7
(実測)産卵不適地	5	157

※N=318

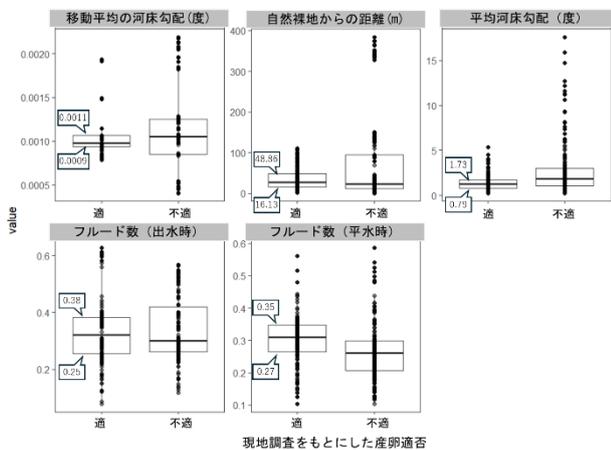


図-5 重要度の高い変数と産卵適否との関係

分布の25~75%の範囲：0.27~0.35)に含まれる53地点中の43地点(81%)が産卵適地であった(図-6)。この結果は、概ね現地調査で確認した産卵適地の環境を示す結果であり、産卵適地になりやすい流況が砂州による自然裸地の近傍に多くみられ、産卵適地に関係していることを示唆している。この結果を踏まえると、整備目標として「自然裸地(≒砂州)の創出・維持」が適しているものと考えられる。また、具体的な整備検討の結果を踏まえ、整備後の水理量や地形の特性からアウトカムとしてのカワヤツメ産卵適地がどの程度増加するかを、本モデルを用いて確認することが可能である。

9. まとめ

本検討の結果以下の結果が得られた。

- ・後志利別川ではS42年以降自然裸地の減少が進んでいるが、特に平成13年以降に樹林化が進み、河道の二極

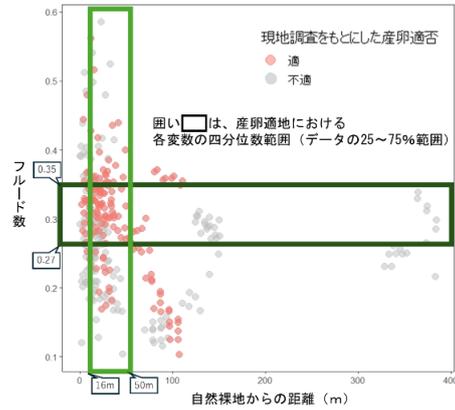


図-6 平水時のフルード数と自然裸地からの距離の関係

化が進行したものと考えられ、区分2-1、2-2の瀬淵環境の減少または劣化が生じていると推察された。

- ・指標種として魚類5科7種、鳥類3科4種を現時点案として選定した。これらの種に必要な環境要素として砂泥底やワンド・たまり、連続する瀬淵、自然裸地、砂泥底、自然度の高い水際等が考えられた。
- ・生物の生息状況の変遷については、指標種のうちエゾウグイの減少傾向が水国調査結果から確認でき、自然裸地の減少時期と一致がみられた。
- ・生物種の減少傾向と、樹林化の進行、自然裸地の減少及び工事履歴を踏まえ、環境目標の設定においてH8~13年頃の年代を参考とすることが考えられた。
- ・カワヤツメの産卵場に着目したモデルを、iRICによる水理解析とランダムフォレストを用いて検討した結果、良好な精度のモデルを作成でき、自然裸地の維持・創出を整備目標の一つとして設定することが考えられた。

今後、有識者の意見等を踏まえて最終的な目標を設定する予定である。また、指標種の生息個体数については、全国の水国調査結果を用いた土木研究所モデルのデータを活用することを検討する他、産卵場推定モデルについては、後志利別川の重要種であるアユを対象としたモデルの作成も検討していきたい。

10. 参考文献の引用とリスト

- 1) 「生物の生息・生育・繁殖の場としてもふさわしい河川整備及び流域全体としての生態系ネットワークのあり方」提言 令和6年5月 生物の生息・生育・繁殖の場としてもふさわしい河川整備及び流域全体としての生態系ネットワークのあり方検討会
- 2) 河川環境管理シートを用いた環境評価の手引き～河川環境の定量評価と改善にむけて～ 令和5年7月 水管理・国土保全局 河川環境課
- 3) R Core Team (2025). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- 4) Breiman. (2025) Package ‘randomForest’. Breiman and Cutlers Random Forests for Classification and Regression. R package.