

渓流魚を対象とした溪流環境評価手法の検討

A METHOD FOR ASSESSMENT OF STREAM AND RIVER ENVIRONMENTS FOR FISH

神田重雄*・小島 淳**・稲村真一***・加藤靖広***・今村 太***
 Shigeo KANDA, Jun KOJIMA, Shinichi INAMURA, Yasuhiro KATO and Futoshi IMAMURA

This report examines a quantitative method of evaluating the habitat of fluvial environments for assessing the improvements brought by erosion control projects. With a view towards future application to national rivers, we used HEP (habitat evaluation procedure) as the basic technique for the analysis because of its simplicity, convenience, and versatility.

Target species, evaluation indicators, and sections for assessment were studied using existing data and field surveys of four streams in the Mogami river system.

Keywords : Tohoku region, stream fish, HEP, erosion control, quantitative evaluation

1. はじめに

我が国の砂防事業は、これまで不透過型の砂防堰堤や床固め工を中心に整備が進められてきた。その結果、水域の連続性分断や土砂供給量、攪乱頻度の低下等に伴い、回遊魚等の移動障害を始め、溪流の形態や生物相、物質収支といった溪流環境への変化が指摘されてきた。これらの反省を踏まえ、砂防堰堤のスリット化や魚道設置等の保全対策(図-1参照)が行われているが、これまでその環境改善効果を適切に評価する手法がなかった。

本業務は、砂防事業による環境影響、環境改善効果を適切に評価するため、溪流環境の生態的価値を定量的に評価し得る評価手法について検討を行ったものである。

適用評価手法の検討フローは、図-2に示すとおりである。



(既設砂防えん堤のスリット化) (スリット式砂防えん堤)

図-1 スリット式砂防えん堤

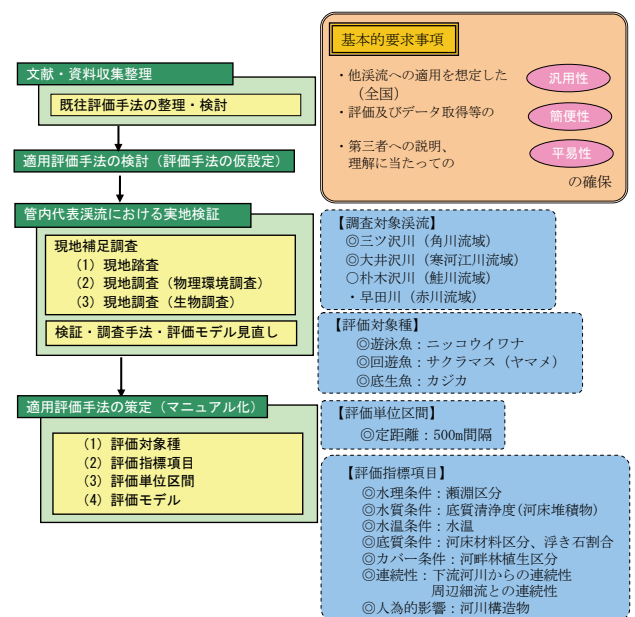


図-2 適用評価手法の検討フロー

2. 適用評価手法の検討

(1) 適用評価手法の選定

溪流環境の評価手法は、全国での適用を想定し、他溪流への適用を想定した「汎用性」、評価及びデータ取得等の「簡便性」、第三者への説明に当たっての「平易性」の確保を基本的要求事項とし、表-1に示すような特徴をもつHEPを採用した。

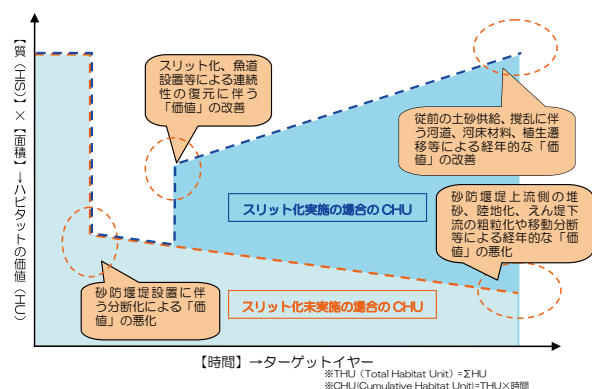
* 東京支店 プロポーザル統括室
 ** 社団法人 農村環境整備センター(出向中)
 *** 仙台支店 技術部

表－1 溪流環境評価手法の選定結果（HEP）

手法の概要		・生態系を、そこに生息する野生生物のハビタット(生育・生息環境)としての適否の観点から生態系を総合的に評価する手続き ・「質(HSI)」、「空間(面積)」、「時間(期間)」の3つの観点からの評価が可能 ※HSI:評価対象種にとってのハビタットとしての適性を、理想的な生息場を1とした相対値として表したもの	
評価対象スケール(空間)	広域(流域)	△	代表値を設定することにより評価は可能、精度は粗い
	中域(事業地)	○	評価対象種の生息環境の評価
評価対象スケール(時間)	現状評価	○	
	将来予測	○	事業に伴う環境条件変化の予測が必要
	目標設定	○	
溪流環境への適用性(汎用性)		○	評価対象スケールによっては評価精度に課題が残るものの、多様な環境に適用可能
データ取得の簡便性	簡便性	×～○	評価指標の設定により簡便性は異なる
	必要となる主な情報		・評価対象種と環境条件との生態学的知見 SIモデル(選好曲線) ・生息必須条件に係る環境データ(生息、餌、繁殖条件等)
評価手法の平易性		○	評価の概念はシンプル
総合評価		◎	評価手法がシンプルであるほか、適用範囲が広く、将来予測も可能

溪流環境の評価手法として、事業実施に伴う環境影響、環境改善効果を評価するため、環境条件の「質(HSI)」や「空間(面積)」に加えて、「時間」による「質(HSI)」×「空間(面積)」の経年かつ累積的变化を反映させることが重要である。HEPは、こうした時間の概念を組み込むことができ、スリット化等の有無による比較評価が基本である。(図－3参照)

現時点では、評価指標とした水理条件や河床条件等の将来予測が十分に把握されていない。そのため、スリット化効果を手法に反映できず、現状との比較検討ができないため、厳密にはHEPとはいえないが、今後の発展性を含めHEP(like)として扱った。



図－3 時間変化の概念

(2) 評価対象項目

1) 評価対象種

評価対象種は、①知見集積度、②溪流代表性、③事業感受性、④餌条件、⑤調査効率性の観点から、渓流域を主要な生息環境とする魚類とし、総合的な溪流環境評価を行うため、異なる生活型を有する表－2に示す溪流魚3種を対象とした。

表－2 評価対象種の選定理由

評価対象種	選定理由
ニッコウイワナ [遊泳魚]	・溪流魚として一般的に馴染みがあり、既往の研究事例が豊富。 ・事業実施に伴う底質の変化に伴い産卵環境に影響を受けやすい種。
サクラマス (ヤマメ) [回遊魚]	・回遊性の溪流魚として一般的に馴染みがあり、既往の研究事例が豊富。 ・事業実施に伴う分断により、遡上、降河が困難となるほか、底質の変化に伴い産卵環境に影響を受けやすい種。
カジカ (大卵型) [底生魚]	・溪流魚として一般的に馴染みがあり、既往の研究事例が豊富。 ・事業実施に伴う底質(浮き石)の変化に伴い成魚の生息環境に著しい影響を受けることが想定される種。

2) 評価指標項目

評価指標項目は、評価対象種の生存必須条件について、①既存調査結果の活用が可能な項目、②調査が容易な項目、③他の評価指標を代替し得る項目の観点から設定した。(表－3参照)

表－3 評価指標の選定結果

評価指標候補項目	ニッコウイワナ 遊泳魚	サクラマス (ヤマメ) 回遊魚	カジカ 底生魚
① 水理条件			
瀬淵区分	○	○	○
② 水質条件			
底質清浄度	○	○	○
③ 水温条件			
水温	○	○	○
④ 河床条件			
河床材料区分	○	○	○
浮き石割合	—	—	○
⑤ カバー条件			
河畔林植生区分	○	○	—
⑥ 連続性			
下流河川からの連続性	—	○	—
周辺細流との連続性	○	—	—
⑦ 人為的影響			
河川構造物	○	○	○

※1 水理条件は、指標とした「水深」、「流速」、「瀬淵区分」のうち、簡便な調査により把握可能で、「水深」、「流速」と相関が強く代替が可能な「瀬淵区分」を評価指標項目とした。

※2 水質条件は、栄養塩類の指標となる「電気伝導度(EC)」、「生物化学的酸素要求量(BOD)」等は水質分析により正確な状況把握が可能であるが、作業労力やコスト面、ある瞬間の評価値であることから、現地踏査により確認ができ、ある一定期間における水質の状況を示す「底質清浄度(栄養塩類により発生する有機物などによる汚泥、ミズタ等や、岩面、礫、砂利等への微細な懸濁物の付着状況)」を評価指標項目とした。

※3 カバー条件は、「植生被覆率」や餌条件の「落下昆虫量」と相関が強いことが想定されることから、簡便な調査により把握可能な「河畔林植生区分」を評価指標項目とした。

3) 評価単位区間

評価単位区間は、複数区間の考え方における効果と課題の観点から、現地調査時の作業効率性、実行可能性、評価結果精度において、距離別（500m 間隔）が適切と判断した。（表－4 参照）

表－4 評価単位区間の選定結果

評価単位区間	効果	課題
距離別	100m間隔	対象溪流（5～10km程度を想定）の全域を評価する場合、設定区間数が多数（50～100区間程度1溪流）となり調査労力が多大
500m間隔	評価区間設定に当たっての恣意性の排除により、客観的な評価が可能	・概ね事業影響範囲や河川形態を反映した間隔 ・設定区間数は10～20区間程度/1溪流 ・評価単位区間に砂防えん堤が含まれる場合には、同一区間に異なる河川形態が含まれるなどの課題あり
1km間隔		評価単位区間に多様な河川形態が含まれるととなり、500m間隔よりも評価精度が粗い（河川形態区分）
河川形態別	溪流域における河川生態系の実態に即した評価が可能	・砂防溪流の河川形態は、複雑で設定区間数多く調査労力が多大（セグメント区分） ・砂防溪流は、概ね「セグメントM」に該当し評価単位区間の区分が困難
事業影響範囲別	事業実施に伴う影響や改善効果を的確に評価可能	・現地踏査による事業影響範囲（堆砂域・粗化区間）の特定が困難 ・未整備区間は同一の評価区間扱いとなる

4) HSI モデルの仮設定

評価対象種毎に、評価指標に対する生息地適性度（適性指数：SI）を用いた HSI モデルを作成した。評価指標毎の適性指数（SI）、HSI モデルの重み付け係数（a）は、既往の生態的知見や専門家への聞き取りにより設定した。

また、設定した SI モデルについて、現地調査結果により妥当性を確認した。その結果を「4. 適用評価法の決定」に示す。

〔HSI モデルの基本式〕

$$HSI = a_1 \times SI_1 + a_2 \times SI_2 + \dots + a_n \times SI_n$$

HSI: ハビタット適性指数

SI_i: (評価指標毎の) 適性指数

a_i: (評価指標毎の) 重み付け係数

i: 評価指標 (1～n)

3. 管内代表溪流における実地検証

実地検証は、平成 19～20 年に、管内 4 流域の代表 4 溪流において実施した。（表－5、図－4～5 参照）

三ツ沢川では、最下流の三ツ沢第 4 ダムのスリット化工事が平成 20 年に完了、平成 20 年調査時点では下流河川からの連続性が確保された状態にあった。

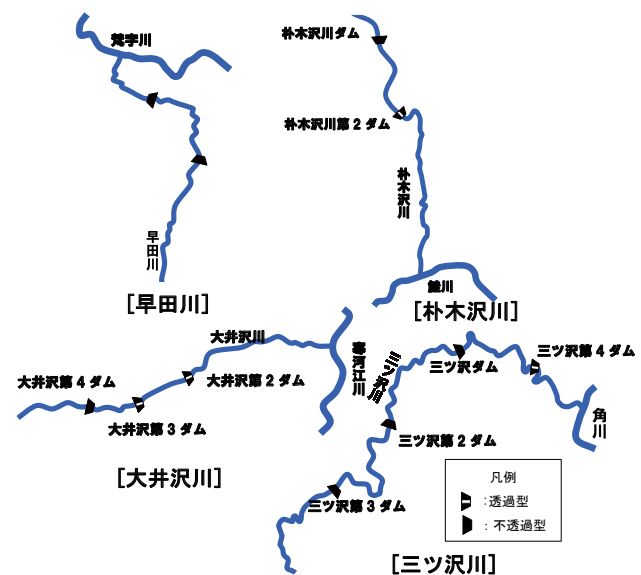
表－5 現地調査概要

代表溪流	流域	代表溪流の特徴	時期	調査月
三ツ沢川	角川	・4基の砂防えん堤（最下流は平成20年スリット化完了）	夏季 秋季	平成19年9月 平成19年11月 平成20年11月
大井沢川	寒河江川	・3基の砂防えん堤（下流側2基は透過型） ・寒河江川下流の寒河江ダムにより下流河川との連続性無	夏季 秋季	平成19年9月 平成19年11月 平成19年12月※ 平成20年11月
朴木沢川	鮭川	・2基の砂防えん堤（最下流は新設透過型）	秋季	平成19年11月 平成20年11月
早田川	赤川	・2基の砂防えん堤（いずれも不透透型）	秋季	平成20年11月

※砂防工事に伴う濁水の発生のため、再調査を実施



図－4 調査対象溪流の位置



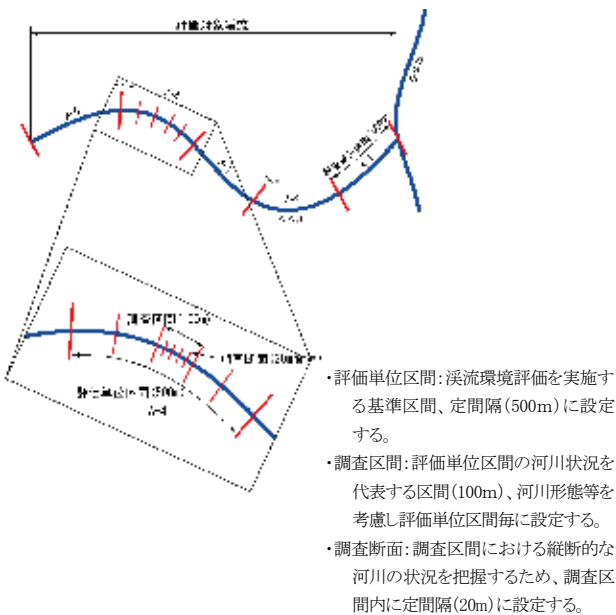
図－5 調査対象溪流の概要

(1) 現地踏査・物理環境調査

溪流環境評価は、評価単位区間（500 m）を対象とするため、評価対象種の生息環境を規定する物理量も評価単位区間で得られることが望ましいが、項目により簡便性の観点から調査区間（100 m）での代表値を用いた。（表－6、図－6 参照）

表－6 現地踏査・物理環境調査概要

調査項目	調査単位
現地踏査	—
水理条件：瀬・淵区分	評価単位区間 (500m)
カバー条件：河畔林植生区分	
連続性：下流河川からの連続性 周辺細流との連続性	
人為的影響：河川構造物	
現地調査（物理環境調査）	—
水理条件：瀬・淵区分（優占度） 水深・流速	調査断面（20m）
水質条件：底質清浄度（河床堆積物）	調査区間（100m）
水温条件：水温	
河床条件：河床材料区分、浮き石割合	
カバー条件：植生被覆率	調査断面（20m）



図－6 評価単位区間、調査区間、調査断面の考え方

(2) 生物調査（魚類）

調査は、投網、タモ網、小型定置網（1 晩設置）により行った。調査結果を図－7 に示す。

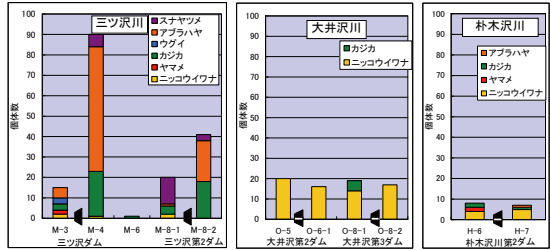
三ツ沢川では、最下流えん堤のスリット化に伴い、サクラマス（ヤマメ）がえん堤上流（M-4、M-7）で確認された。

大井沢川は、寒河江ダム等の影響で他の河川に比べ種数が少なく、ニッコウイワナが優占した。

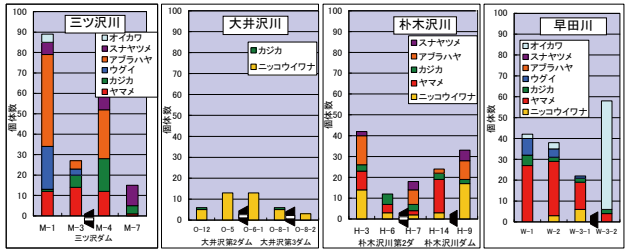
朴木沢川では、サクラマス（ヤマメ）が上流えん堤（不透過）下流まで確認されたが、漁協関係者ヒアより放流個体と考えられた。

早田川は、他の河川に比べサクラマス（ヤマメ）の捕獲数が多かった。えん堤（不透過）上流のサクラマス（ヤマメ）は、放流個体と考えられた。

【平成 19 年】



【平成 20 年】



【凡例】 ◀：透過型（スリット化を含む） ▶：不透過型

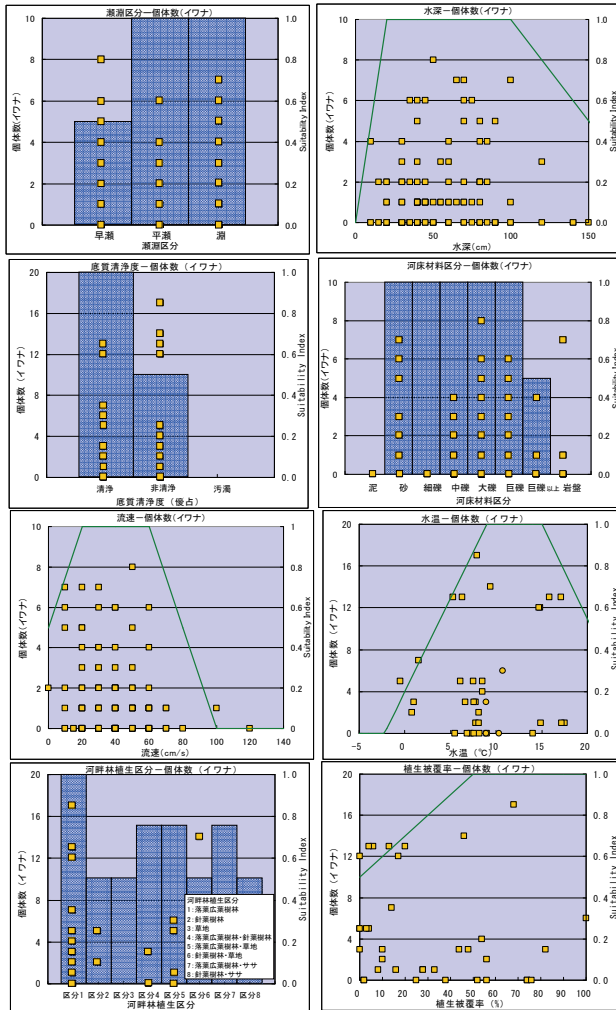
図－7 生物調査（魚類）結果

4. 適用評価法の策定

(1) SI モデルの設定

既往の生態的知見や専門家への聞き取り調査により設定した SI モデル（選好基準または選好曲線）について、現地調査における魚類確認個体数との比較により妥当性の検討を行った。

ニッコウイワナの SI モデルと現地調査結果との重ね合わせ結果を図－8 に示す。確認個体数の分布は概ね SI モデルと同様の傾向を示しており、設定した SI モデルは妥当と評価した。また、サクラマス（ヤマメ）、カジカも同様の結果であった。



図－8 SIモデルと現地調査結果との比較
(ニッコウイワナ)

上記の結果、最終的に決定した SI モデルの配点表（ニッコウイワナ）を、表－7に示す。

表－7 SIモデルの配点表（ニッコウイワナ）

評価指標項目	繁殖ステージ			評価指標項目	繁殖ステージ				
	稚魚期	成魚期	繁殖期		稚魚期	成魚期	繁殖期		
瀬淵区分	早瀬	0.0	0.5	0.5	河床・河川植生区分	落葉広葉樹林	1.0	1.0	1.0
	平瀬	1.0	1.0	1.0		針葉樹林	0.5	0.5	0.5
	瀬	0.5	1.0	0.5		草地	0.5	0.5	0.5
	ササ原	1.0	0.5	1.0					
底質・清浄度	清浄	1.0				裸地	0.0	0.5	0.5
	非清浄	0.5				落広・針葉樹林	0.75	0.75	0.75
	汚濁	0.0				落広・草地	0.75	0.75	0.75
水 温	～9℃	0.0～1.0 ^{※1)}				針葉樹・草地	0.5	0.5	0.5
	8～15℃	1.0				落広・ササ原	1.0	0.75	1.0
	15～26℃	0.0～1.0 ^{※2)}				針葉樹・ササ原	0.75	0.5	0.75
	26℃～	0.0				落広・裸地	0.5	0.75	0.75
河床材料区分	泥	0.0	0.0	0.0	周辺細流との連続性	あり	—	—	1.0
	砂	0.0	1.0	0.0		なし	—	—	0.5
	細砂	0.0	1.0	1.0	河川構造物	床固め・護岸	0.0		
中粒	0.5	1.0	1.0	護岸工のみ		0.5			
大粒	1.0	1.0	0.0	なし		1.0			
巨礫	1.0	1.0	0.0						
巨礫以上	1.0	1.0	0.0						
岩盤	0.0	0.0	0.0						
コンクリート等	0.0	0.0	0.0						

※1) 0.09×T + 0.2

※2) -0.09×T + 2.4 (T:水温(℃))

※1) $0.09 \times T + 0.2$
 ※2) $-0.09 \times T + 2.4$ (T: 水温(℃))

(2) HSI モデルの設定

現地調査結果に基づき、HSI モデルの評価指標間の重み付け係数（a）を重回帰分析により試みた。重回帰分析にあたっては、表－8に示すとおり説明変数（環境要素）間の多重共線性について検討を行い、表－9に示す説明変数を選定した。

表－8 環境要素間の相関関係

	水理条件			水質条件		水温		河床条件		カバー条件		連続性
	水深	流速	瀬淵区分	底質清浄度	水温	区分	河床材料区分	浮き石割合	河床材 水生植物	水生植物割合	下流河川との連続性	
水深	1											
流速	-0.2039	1										
瀬淵区分	0.5761	0.4555	1									
底質清浄度	0.0376	0.0475	0.1539	1								
水温	0.0720	-0.0609	0.0020	0.0195	1							
河床材料	区分	0.1596	0.2369	0.5421	0.2792	0.0209	1					
	平均粒径	-0.2156	0.4146	0.3115	0.0278	-0.0289	0.5909	1				
浮き石割合	0.1508	0.0764	0.0013	0.0659	-0.0197	0.0339	-0.0265	1				
河床材水生植物	0.0457	0.0086	0.0952	0.2978	0.0148	0.2499	0.0127	0.0478	1			
水生植物	0.0041	0.1555	0.0065	0.0060	0.0948	0.1733	0.1339	-0.2509	0.0200	1		
下流河川からの連続性	0.0083	0.0000	0.0698	0.1890	0.0636	0.3466	0.0142	0.0243	0.1876	0.0197	1	
周辺細流との連続性	0.0091	0.0006	0.0930	0.0139	0.0102	0.3616	0.0022	0.0016	0.3334	0.0688	0.2681	1

相関係数

相間比

独立係数

非相関性

相関性

相関性

相関性

相関性

相関性

・(数量データ) × (数量データ)

→「相関係数」

・(数量データ) × (カテゴリデータ)

→「相間比」

・(カテゴリデータ) × (カテゴリデータ)

→「独立係数」

・(数量データ) × (数量データ) → 「相関係数」
 ・(数量データ) × (カテゴリデータ) → 「相関比」
 ・(カテゴリデータ) × (カテゴリデータ) → 「独立係数」

表－9 重回帰分析における説明変数

評価指標	ニッコウイワナ	ヤマメ(サクラマス)	カジカ
水理条件			
瀬淵区分	○	○	○
水質条件			
底質清浄度区分	○	○	○
河床条件			
河床材料区分	○	○	○
浮き石割合	—	—	○
カバー条件			
河床材区分	○	○	—
連続性			
下流河川からの連続性	—	○	—
周辺細流との連続性	○	—	—

重回帰分析の結果、いずれの説明変数間とも分析の精度を表す決定係数（自由度修正済）の値が 0.5 未満（分析の精度がよくない）と低い結果であった。

現時点では、調査データ数の不足や地理的条件等に伴う調査結果の偏りのため、重み付け係数の設定に資する有効な指数は得られなかったと判断した。

以上の結果から、本モデルにおける評価指標項目間の重み付け係数は、既往の知見による評価対象種の生態情報や専門家への聞き取り結果に基づき設定した。ニッコウイワナの HSI モデルを表－10に示す。

表－10 HSI モデル（ニッコウイワナ）

条件	評価指標		生活史区分		
	適性指数		稚魚期	成魚期	繁殖期
水理条件	SI ₁	瀬淵区分	SI ₁₋₁	SI ₁₋₂	SI ₁₋₃
水質条件	SI ₂	底質清浄度	SI ₂		
水温条件	SI ₃	水温	SI ₃		
河床条件	SI ₄	河床材料区分	SI ₄₋₁	SI ₄₋₂	SI ₄₋₃
カバー条件	SI ₅	河畔林植生区分	SI ₅₋₁	SI ₅₋₂	SI ₅₋₃
連続性	SI ₆	周辺細流との連続性	—	—	SI ₆₋₃
人為的影響	SI ₇	河川構造物	SI ₇		

(稚魚期)
 $HSI = (2) \times \text{瀬淵区分} [SI_{1-1}] + (2) \times \text{底質清浄度} [SI_2]$
 $+ (1) \times \text{水温} [SI_3] + (2) \times \text{河床材料区分} [SI_{4-1}]$
 $+ (1) \times \text{河畔林植生区分} [SI_{5-1}] + (1) \times \text{河川構造物} [SI_7]$

(成魚期)
 $HSI = (3) \times \text{瀬淵区分} [SI_{1-2}] + (1) \times \text{底質清浄度} [SI_2]$
 $+ (2) \times \text{水温} [SI_3] + (2) \times \text{河床材料区分} [SI_{4-2}]$
 $+ (3) \times \text{河畔林植生区分} [SI_{5-2}] + (1) \times \text{河川構造物} [SI_7]$

(繁殖期)
 $HSI = (2) \times \text{瀬淵区分} [SI_{1-3}] + (1) \times \text{底質清浄度} [SI_2]$
 $+ (1) \times \text{水温} [SI_3] + (3) \times \text{河床材料区分} [SI_{4-3}]$
 $+ (1) \times \text{河畔林植生区分} [SI_{5-3}] + (2) \times \text{周辺細流との連続性} [SI_{6-3}] + (1) \times \text{河川構造物} [SI_7]$

(3) 適用評価手法の策定（マニュアル化）

現地調査結果、評価対象溪流における検証結果等に基づき、この HEP に基づく溪流環境評価手法を策定し、「溪流環境評価の手引き（案）～溪流魚を評価指標とした定量評価法～」としてとりまとめた。

平成 19 年度に作成した「溪流環境評価の手引き（案）～溪流魚を評価指標とした定量評価法～」

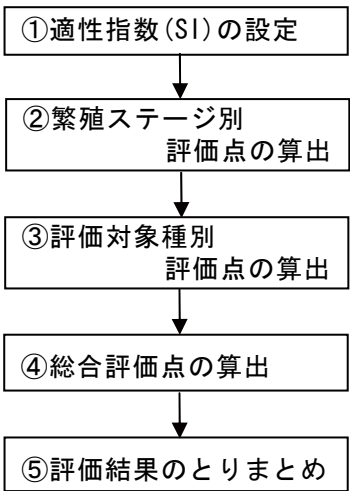


5. 溪流環境評価（ケーススタディ）

(1) 溪流環境評価の流れ

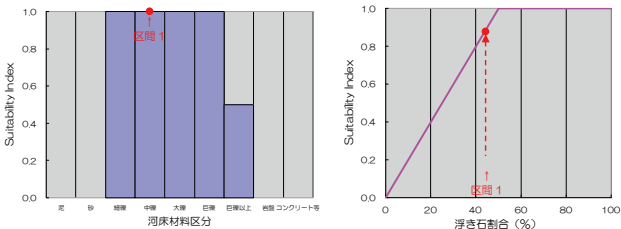
「4. 適用評価手法の策定」で作成した評価手法を用いて、管内代表溪流の溪流環境評価を行った。

溪流環境評価の流れを図－9 に、各段階別の算出例を図－10 に示すとおりである。



図－9 溪流環境評価の流れ

① 適性指数の算出例



② 繁殖ステージ別評価点算出例（ニッコウイワナ）

(成魚期)
 $HSI = (3) \times (\text{瀬淵区分}=0.79) + (1) \times (\text{底質清浄度}=1.00)$
 $+ (2) \times (\text{水温}=0.76) + (2) \times (\text{河床材料区分}=1.00)$
 $+ (2) \times (\text{河畔林区分}=0.84) + (1) \times (\text{河川構造物}=0.80)$
 $= 9.37$ ←繁殖ステージ別に算出したハビタット適性指数 (HSI)

↓ (HSI の最高点 (本例では 11 点) を 100 点として換算)

$= 85.2$ ←繁殖ステージ別評価点

③ 評価対象種別評価点算出例（ニッコウイワナ）

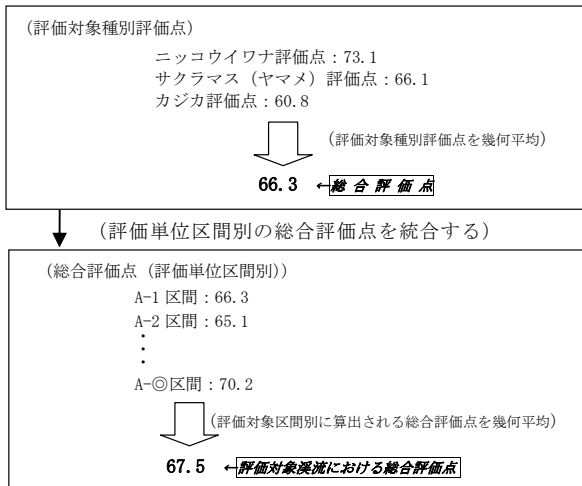
(繁殖ステージ別評価点)
稚魚期評価点：79.4
成魚期評価点：85.2
繁殖期評価点：57.8

↓ (繁殖ステージ別評価点を幾何平均)

73.1 ←評価対象種別評価点

図－10 (1) 溪流環境評価段階別算出例（①～③）

④ 総合評価点算出例



⑤ 評価結果のとりまとめ

評価結果のとりまとめは、第三者への理解を考慮し、下図に示すように視覚的に分かりやすく整理した。



【三ツ沢川：総合評価点】

	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9
ニッコウイワナ評価点	60.3	73.1	71.3	80.4	72.0	79.6	70.0	78.6	67.8
ヤマメ評価点	69.8	65.6	75.5	68.8	60.0	55.9	54.3	69.6	59.1
カジカ評価点	49.8	60.8	78.4	74.8	78.7	81.3	59.5	62.9	69.3
総合評価点	59.4	66.3	75.0	74.5	69.8	71.2	60.9	70.1	65.2

M-10	M-11	M-12	M-13	M-14	M-15	M-16	M-17	M-18	M-19	統合
84.5	65.9	70.7	71.3	75.5	80.2	73.6	63.2	79.0	75.1	73.0
75.7	55.5	54.0	59.3	66.3	57.3	55.6	55.3	70.9	64.6	62.4
77.2	66.3	58.4	59.8	83.5	66.5	65.6	49.4	68.3	85.5	67.4
79.0	62.4	60.6	63.2	74.8	67.4	64.5	55.7	72.6	74.6	67.5

■ HSI：80以上
■ HSI：60以上80未満
■ HSI：40以上60未満
■ HSI：40未満

図－10 (2) 溪流環境評価段階別算出例 (④～⑤)

(2) ケーススタディにおける確認事項

三ツ沢川では、えん堤のスリット化に伴い下流河川からの連続性が向上、えん堤上流でヤマメが確認されるなど、スリット化による効果が確認できた。また、溪流環境評価でも、連続性の向上によりスリット化後に評価点が高い結果となった。

評価指標項目によっては、調査結果に調査員の判断による差が生じる可能性が示唆されたが、調査手法と調査結果の取扱いを見直すことで、評価結果に有意な差が生じないことを確認した。

6. 今後の課題

HSI モデル作成上の客観性の確保：

現地調査結果に基づいた統計解析による重み付け係数を算出するため、砂防溪流における環境調査に合わせたデータ蓄積に努める必要がある。

溪流環境評価手法の全国的な汎用性の確保：

本評価手法は、全国での適用を想定している。現場での適用の簡潔化が図れるよう、全国的な評価対象候補種に対し、統一したとりまとめによる評価モデルの作成を行い、作成済みの評価モデルから選択可能な形式とすることが望まれる。

参考文献

- 「平成 18 年度 溪流環境評価検討業務報告書」(H19.2 国土交通省東北地方整備局 新庄河川事務所)
- 「平成 19 年度 溪流環境評価検討業務報告書」(H20.3 国土交通省東北地方整備局 新庄河川事務所)
- 「平成 20 年度 管内溪流環境調査報告書」(H21.2 国土交通省東北地方整備局 新庄河川事務所)
- 「HEP 入門＜ハビタット評価手続き＞マニュアル」(H18 田中章)
- 「溪流生態砂防学」(H11 太田猛彦、高橋剛一郎編、東京大学出版会)
- 「生態系とシミュレーション」(H14 楠田哲也、巖佐庸編、朝倉書店)

【イワナ】

- 大井明彦 (2003) 森と川の生態系に関する基礎調査について－溪畔林とイワナの関係－. H15/8/7 さけ・ます資源管理連絡会議 (3) ①イ 森と川の生態系に関する基礎調査について.
- 小野寺毅 (2004) エゾイワナ *Salvelinus leucomenis leucomaenis*. 宮城の淡水魚. 2004 年 4 月 宮城県内水面水産試験場.
- 鹿野雄一・鎌田直人 (2002) 白神山地のイワナその生態と資源量. 日経サイエンス 2002 年 2 月号、pp.112-115.
- 改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物 4 [汽水・淡水魚類]、環境省野生生物課編、2003、232pp.
- 環境省「生活環境の保全に関する環境基準」(2003).
- 木村清朗 (1989) ゴギ、「日本の淡水魚、山溪カラー名鑑」(川那部浩哉、水野信彦・監修)、山と溪谷社、東京、pp.128-131.
- 今野哲・平野央・井口雅陽 (2003) 水槽実験によるイワナの生息場の選択性. 山形県水産研報 2：7-9.
- 斉藤雅 (1975) イワナにおける資源の利用と個体群変動の関係. 海洋科学、7：49-54.
- 佐藤月二 (1963) ゴギの生態 (4)、ゴギ (中国地方のイワナ)、広島県文化財調査報告、3 (天然記念物編)、広島県教育委員

- 会、pp.18-23.
- 16) 鈴木亮 (1994) イワナ. 改訂・淡水魚養殖相談 (第2版)、農山漁村文化協会、東京.
- 17) 中村智幸・丸山隆 (1987) 蛇谷のイワナ. はくさん、14 (3)、石川県白山自然保護センター編、pp.8-11.
- 18) 中村智幸 (1997) イワナ (ニッコウイワナ). 日本の希少な野生水生生物に関する基礎資料、淡水魚類.
- 19) 中村智幸 (1999a) 鬼怒川上流におけるイワナ、ヤマメの産卵床の立地条件の比較. 日本水産学会誌 65 (3)、427-433.
- 20) 中村智幸 (1999b) 人工産卵場におけるイワナの産卵と産着卵のふ化. 日本水産学会誌 65 (3)、434-440.
- 21) 中村智幸 (2007) イワナをもっと増やしたい! 「幻の魚」を守り、育て、利用する新しい方法. フライの雑誌社新書、200pp、東京.
- 22) 新妻賢政・柳内直一・松本忠俊・鈴木弘 (1987) 溪流漁場の開発に関する研究、1. イワナ稚魚の標識放流試験、昭和61年度福島内水面水産試験場、59-69.
- 23) 信沢邦宏・久下敏宏・中野亜木子・矢島久美子・若田部純一・小出水規行 (2002) 魚のすみか数量化調査Ⅰ (温川における魚類生息場適性基準). 群馬県水産試験場研究報告 第8号 15-27.)
- 24) 真山紘 (1992) サクラマス *Oncorhynchus masou* (Brevoort) の淡水域の生活および資源培養に関する研究. 北海道さけ・ますふ化場研究報告、(46) : 1-156.
- 25) 丸山隆 (1981) ヤマメ *Salmo (oncorhynchus) masou masou* (BREVOORT) とイワナ *Salvelinus leucomaenis* (PALLAS) の比較生態学的研究Ⅰ. 由良川上谷における産卵床の形状と立地条件. 日生態会誌、31 : 269-284.
- 26) 森田健太郎・森田晶子 (2007) イワナ (サケ科魚類) の生活史二型と個体群過程. 日本生態学会誌 57 : 13-24.
- 27) 山と溪谷社 (2001) 山溪カラー名鑑 日本の淡水魚. 山と溪谷社、719pp. 東京.
- 28) (財) リバーフロント整備センター編 (1996) 川の生物図典. 財山海堂、674pp. 東京.
- 29) (財) リバーフロント整備センター (1998) 河川における魚類生態検討会 検討資料 平成10年4月16日. 40pp.
- 30) 山本聡・三城勇・小原昌和 (2001) 千曲川水系の山地溪流におけるイワナの微小生息場所の物理的環境. 長野県水産試験場報告、第5号 2001年3月.
- 31) 山本聡・沢本良宏・井口恵一朗・北野聡 (2004) 千曲川水系の山地溪流における出水後のイワナの停留と移動. 長野県水産試験場報告 6号、p1-3. (2004-3) .
- 32) 若林輝・中村智幸・久保田仁志・丸山隆 (2003) 中禅寺湖流入河川におけるサケ科魚類3種の産卵生態. 魚類学雑誌、49 (2)、133-141.
- 【サクラマス (ヤマメ)】
- 33) 青山智哉 (1996) サクラマスの移動と定着の季節変化. 山地溪流における魚類増殖と河畔林整備に関する研究—魚にやさしい森づくり調査 平成7年度共同研究報告書. pp.33-41. 北海道立林業試験場・北海道立水産孵化場.
- 34) 河村博・村上豊・鷹見達也・小林美樹・駆動博則・長江真樹・山内皓平 (1994) 秋放流したサクラマス幼魚の河川生活様式. 魚と水、(31) 205-211.
- 35) 河村ほか (1994) (リバーフロント研究所報告 (2002b) からの引用. 参考文献記載がないため詳細不明)
- 36) 改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物4 [汽水・淡水魚類]、環境省野生生物課編、2003、232pp.
- 37) 環境省「生活環境の保全に関する環境基準」(2003).
- 38) 小林(1998) (リバーフロント研究所報告 (2002b) からの引用. 参考文献記載がないため詳細不明)
- 39) 小林(1999) (リバーフロント研究所報告 (2002b) からの引用. 参考文献記載がないため詳細不明)
- 40) 佐藤弘和・永田光博・鷹見達也・柳井清治 (2001) 河畔林の被陰がサクラマスの成長に及ぼす影響—夏期河川水温を指標とした解析—. 日本林學會誌 83 (1)、22-29
- 41) 杉若圭一・河村洋司・竹内勝巳・鈴木研一・永田光博・宮本真人 (1994) 厚田川におけるサクラマス天然産卵量と生残率. 魚と水、31 75-89.
- 42) 須藤篤史 (2004) サクラマス (ヤマメ). 宮城の淡水魚、宮城県内水面水産試験場 (2004年3月)
- 43) 鷹見達也・佐藤弘和 (1998) サクラマス幼魚の食欲におよぼす高水温の影響および致死水温. 魚と水 (35) 119-124.
- 44) 田子恭彦 (2000) 神通川と庄川における親魚の遡上生態. 日本水産学会誌、66 (1)、44-49.
- 45) 信沢邦宏・久下敏宏・中野亜木子・矢島久美子・若田部純一・小出水規行 (2001) 魚がすみよい川づくり調査Ⅴ (桐生川における魚類生息場適性基準). 群馬県水産試験場研究報告 第7号 13-17.
- 46) 信沢邦宏・久下敏宏・中野亜木子・矢島久美子・若田部純一・小出水規行 (2002) 魚のすみか数量化調査Ⅰ (温川における魚類生息場適性基準). 群馬県水産試験場研究報告 第8号 15-27.
- 47) 信澤邦宏・久下敏宏・新井肇・鈴木紘子 (2003) 魚のすみか数量化調査Ⅱ (温川における魚類生息場適性基準Ⅱ). 群馬県水産試験場研究報告 第9号 15-29.
- 48) 永田光博・柳井清治・宮本真人・大久保進一・青山智哉・鷹見達也・川村洋司・長坂有・佐藤弘和 (1998a) サクラマス稚魚の分布と生息環境. 魚と水 (35) 67-83.
- 49) 永田光博・佐藤弘和・宮本真人・大久保進一・柳井清治・長坂有 (1998b) サクラマス稚幼魚の成長に対する生息環境の影響. 魚と水 (35) 85-97.
- 50) 中村智幸 (1998) イワナにおける支流の意義. 「魚からみた水環境—復元生態学に向けて／河川編一、自然復元特集4」

(森誠一監修・編) 信山社サイテック、東京、177-187。(久保田 2001 からの孫引き)

- 51) 中村智幸 (1999) 鬼怒川上流におけるイワナ、ヤマメの産卵床の立地条件の比較、日本水産学会誌 65 (3)、427-433.
- 52) 原武史 (1994) ヤマメ. 改訂・淡水魚類養殖相談 (第 2 版)、社団法人 農山漁村文化協会、東京.
- 53) 松原利光・久下敏宏・新井肇・鈴木紘子・信澤邦宏 (2004) 魚がすみよい川づくり調査-Ⅲ (神流川における魚類生息場適性基準-Ⅰ). 群馬県水産試験場研究報告 第 7 号 13-17.
- 54) 真山紘 (1992) サクラマス *Oncorhynchus masou* (Brevoort) の淡水域の生活および資源培養に関する研究. 北海道さけ・ますふ化場研究報告、(46) : 1-156.
- 55) 真山紘 (1995) 越冬時サクラマス幼魚の生活と河川環境. 魚と卵 (164) 33-40.
- 56) 真山紘 (1997) サクラマス. 日本の希少な野生水生生物に関する基礎資料、淡水魚類 分冊、3、249-254
- 57) 真山紘 (2004) さけ・ます類の河川遡上生態と魚道. さけ・ます資源管理センターニュース No.13 (2004 年 9 月)
- 58) 丸山隆 (1981) ヤマメ *Salmo* (*Oncorhynchus*) *masou masou* (BRVOORT) とイワナ *Salvelinus leucomaenis* (PALLAS) の比較生態学的研究 I. 由良川上谷における産卵床の形状と立地条件. 日生態会誌、31、269-284.
- 59) 柳井清治 (1999) サクラマスの生活史に留意した水辺域の取り扱い方. 水辺域ポイントブッカー-これからの管理と保全一、(株)古今書院 pp.61.
- 60) 柳井清治・永田光博・長坂有・佐藤弘和・宮本真人・大久保真一 (2001) サクラマスの幼魚の越冬場を形成する河畔樹木の役割. 日本林学雑誌 83 (4) 340-346.
- 61) 山形県内水面水産試験場 (2006) 山形県におけるサクラマス稚魚の生息環境. 河川生産力を生かした魚類増殖手法の開発研究 (サクラマス)、平成 18 年度
- 62) 山と溪谷社 (2001) 山溪カラー名鑑 日本の淡水魚. (株)山と溪谷社、719pp. 東京.
- 63) (財) リバーフロント整備センター編 (1996) 川の生物図典. (株)山海堂、674pp. 東京.
- 64) (財) リバーフロント整備センター (1998) 河川における魚類生態検討会 検討会資料 平成 10 年 4 月 16 日. 40pp.
- 65) リバーフロント研究所報告 (2002a) 河畔林の保全・整備方針について. 第 13 号 (2002 年 10 月)、p.17-26.
- 66) リバーフロント研究所報告 (2002b) 真駒内川における魚類の越冬環境について. 第 13 号 (2002 年 10 月)、p.45-52.
- 67) 渡辺恵三・中村太士・小林美樹・柳井清治・米田隆夫・渡邊康玄・丸岡昇・北谷啓幸 (2006) 河川の階層構造に着目したサクラマス幼魚の越冬環境-越冬環境を考慮した川づくりの提言-. 応用生態工学 9 (2) 151-165.

【カジカ】

- 68) 荒木康男・桂和彦 (1998) カジカの完全養殖に関する研究. 平成 8 年度山形県内水面水産試験場事業報告書、p.66-69.
- 69) 荒木康男・桂和彦 (2000) 第 2 章魚種別試験成果と今後の課題、第 3 節カジカ (その 2). 小島将男・松田繁雄編. 新魚種養殖技術開発事業報告書-コレゴス、ナマズ、カジカ、ペヘレイ、大型ザリガニの養殖技術開発. p.78-80. 水産庁、175pp.
- 70) 藤井亮吏・矢部 衛・清水孝昭・金山 勉・尼岡邦夫 (1997) カジカ 4 型の分類学的検討. 1997 年度日本魚類学会年会講演要旨 : p.26.
- 71) 後藤晃 (1991) カジカ. 『日本の淡水魚』(川那部浩哉、水野信彦編・監修)、pp.666-667. 山と溪谷社、719pp. 東京.
- 72) 可児藤吉 (1944) 溪流性昆虫の生態. 「昆虫」上 (古川晴男編)、研究社、東京.
- 73) 改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物 4 [汽水・淡水魚類]、環境省野生生物課編、2003、232pp.
- 74) 環境省「生活環境の保全に関する環境基準」(2003).
- 75) 小島将男・松田繁雄 (1999) カジカ編、p.2 ~ 63. カジカ類の養殖技術. (社) 新魚種開発協会、録書房、96pp.
- 76) 小山一 (1950) 千曲川カジカの生態調査 (第 1 報) 生息状況と産卵について. 日水試、16 (4) : 119-126.
- 77) 松田繁雄 (1994a) カジカ養殖奮戦記. 養殖、31 (10) : 113. 録書房、東京.
- 78) 松田繁雄 (1994b) カジカ養殖奮戦記. 養殖、31 (11) : 113. 録書房、東京.
- 79) 松田繁雄 (1994c) カジカ養殖奮戦記. 養殖、31 (12) : 113. 録書房、東京.
- 80) 松田繁雄 (1994d) カジカ養殖奮戦記. 養殖、31 (13) : 113. 録書房、東京.
- 81) 松田繁雄 (1994e) カジカ養殖奮戦記. 養殖、31 (14) : 109. 録書房、東京.
- 82) 松田繁雄 (1994f) カジカ養殖奮戦記. 養殖、31 (8) : 109. 録書房、東京.
- 83) 松田繁雄 (1995) カジカ養殖奮戦記. 養殖、32 (8) : 113. 録書房、東京.
- 84) 宮地傳三郎・川那部浩哉・水野信彦 (1996) 原色日本淡水魚類図鑑. 462pp. 保育社、東京.
- 85) 水野信彦・丹羽弥 (1961) カジカ *Cottus pollux* Günther の生態的二型. 動物学雑誌、70 (8) : 267-266.
- 86) 水野信彦・御勢久右衛門 (1972) 河川の生態学. 築地書館、245pp. 東京
- 87) 名越誠・村上俊明 (1980) 平倉川のカジカ (*Cottus hilgendorfi*) の生息量と食性. 三重大水産研報、7 : 29-44.
- 88) 中村俊六・テリー・ワドゥル (1999) IFIM 入門. (財) リバーフロント整備センター、197pp.
- 89) Natsumeda, T., S. Kimura, Y. Nagata (1997) Sexual dimorphism, growth and maturity of the Japanese fluvial

- sculpin, *Cottus pollux* (large egg type) , in the Inabe River, Mie Prefecture, central Japan. Ichthyol. Res., 44(1) : 43-50.
- 90) Natsumeda, T. (1998) Home range of the Japanese fluvial sculpin, *Cottus pollux*, in relation to nocturnal patterns. Env. Biol. Fish., 53 : 295-301.
- 91) Natsumeda, T. (1999) Year-round local movements of the Japanese fluvial sculpin, *Cottus pollux* (large egg type) , with special reference to the distribution of spawning nests. Ichthyol. Res., 46 (1) : 43-48.
- 92) (社) 日本水産資源保護協会 (1998) 日本の希少な野生水生生物に関するデータブック (水産庁編). 437pp.
- 93) (社) 日本水産資源保護協会 (2000) 水産用水基準. 96pp.
- 94) 丹羽彌 (1954) 木曾谷の魚 (上流編). 木曾教育会、302pp. 長野県.
- 95) 岡崎登志夫 (1997) mt-DNA に基づくカジカの遺伝的分化. 1997 年度日本魚類学会年会講演要旨 : p.26.
- 96) 岡崎登志夫・小林敬典 (1992) カジカの遺伝的分化一種分化の様式をめぐって. 1992 年度日本魚類学会年会講演要旨 : p.42.
- 97) 岡崎登志夫・小林敬典・洲澤譚・清水孝昭 (1994) 日本産カジカ両側回遊型内で認められた 1 未記載種. 1994 年度日本魚類学会年会講演要旨 : p.20.
- 98) 大友芳成・鈴木栄・鈴木邦雄 (1999) カジカの生息環境について. 埼玉水試研報、57 : 6-16.
- 99) (財) リーバーフロント整備センター編 (1996) 川の生物図典. 株式会社山海堂、674pp. 東京.
- 100) 沢田守伸・村山忠・渋谷隆之 (1983) カジカ生息分布調査. 栃木水試業務報告書、27 : 114-120.
- 101) 沢田守伸・大森勝夫 (1985) カジカ人工採苗試験Ⅳ飼育試験. 昭和 58 年度栃木県水産試験場業務報告書、128-132.
- 102) 沢矢隆之 (1982) カジカの種苗生産と養殖. 養殖、19 (11) : 97-100.
- 103) 四登淳・田中浩 (1988a) カジカ種苗放流効果調査Ⅳ. 昭和 60 年度石川県内水面水産試験場報告、48-49.
- 104) 四登淳・田中浩 (1988b) カジカ種苗放流効果調査Ⅴ. 昭和 61 年度石川県内水面水産試験場報告、43-44.
- 105) (財) 自然環境研究センター (2003) 改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物—レッドデータブック—4 汽水・淡水魚類. 230pp.
- 106) 田村修 (1937) カジカ (*Cottus pollux* Günther) の研究. 水産学会報、7 (3) : 135-148.
- 107) 山口県環境生活部自然保護課 (2002) レッドデータやまぐち—山口県の絶滅のおそれのある野生動植物—. 513pp.
- 108) 山本聡 (2000a) 第 3 章第 3 節カジカ. 小島将男・松田繁雄編. 新魚種養殖技術開発事業報告書—コレゴヌス、ナマズ、カジカ、ペヘレイ、大型ザリガニの養殖技術開発. p.162-166. 水産庁、175pp.
- 109) 山本聡 (2000b) 千曲川由来養成カジカ *Cottus pollux* の成熟と全長. 長野水試研報、4 : 14-15.
- 110) 山本聡 (2000c) 第 2 章第 3 節カジカ. 小島将男・松田繁雄編. 新魚種養殖技術開発事業報告書—コレゴヌス、ナマズ、カジカ、ペヘレイ、大型ザリガニの養殖技術開発. p.54-80. 水産庁、175pp.
- 111) 山本聡・沢本良宏 (1998) 千曲川での河川型カジカ、*Cottus pollux* の微小生息場所の物理的環境. 水産増殖、46 (2) : 231-236.
- 112) 山本聡・沢本良宏 (2000a) カジカ *Cottus pollux* 産卵床の物理的環境条件. 長野水試研報、4 : 4-6.
- 113) 山本聡・沢本良宏 (2000b) カジカ *Cottus pollux* 人工産卵床の造成. 長野水試研報、4 : 7-9.
- 114) 山本聡・沢本良宏・羽田則生 (2000) 山地溪流におけるカジカ *Cottus pollux* 稚魚の放流効果. 長野水試研報、4 : 10-13.
- 115) 山形県内水面水産試験場・長野県水産試験場佐久支場 (1997) カジカの資源回復に関する研究報告. 水産業関係地域重要新技術開発促進事業、58pp.

※なお、引用文献のうち、引用元が分かるものについては引用元の文献のみを掲載した。