

既存データを活用した魚類の生息実態の解明と劣化要因の分析手法の提案

NEW APPROACH OF ANALYSIS OF RIVER ENVIRONMENT CHANGES
BASED ON EXISTING PRESENCE- ABSENCE FISH DATA

萱場祐一¹・早坂裕幸²・川口究²・楯慎一郎²・菊地心²・樋村正雄³
・中川博樹⁴・細川朋⁴・小嶋光博⁴

Yuichi KAYABA, Hiroyuki HAYASAKA, Kiwamu KAWAGUCHI, Shinichiro TATE, Kokoro KIKUCHI, Masao HIMURA, Hiroki NAKAGAWA, Tomo HOSOKAWA and Mitsuhiro KOJIMA

1正会員 工博 土木研究所河川生態チーム (〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6)

2いであ株式会社 国土環境研究所 生態解析部 (〒224-0025 神奈川県横浜市都筑区早渕2-2-2)

3いであ株式会社 東北支店 自然環境保全部 (〒980-0012 宮城県仙台市青葉区錦町1-1-11)

4国土交通省 東北地方整備局 河川部 河川環境課 (〒980-8602 宮城県仙台市青葉区本町3-3-1)

It is indicated that biodiversity in rivers have been deteriorated in recent several decades. Drastic changes of terrestrial area in rivers, such as turn into forest from sand-gravel bars, have been paid attention. In water area, however, its historical trends have not been recognized well enough to apply its results into river environment management. With these backgrounds, this research aims to recognize the historical transition of fish fauna based on the Fish Survey Part of National Census, and find factors of the deterioration of fish biodiversity. At first, 5 fish groups were set up from the viewpoints of habitat types, and regional historical transition of each group was recognized utilizing presence-absence historical pattern. Furthermore, the relationship between the decrease of each group and the historical changes of habitats was analyzed. It was found that lowering of river bed must be a factor for the decrease of specific groups. It can be said that this approach facilitates the recognition and of the deterioration of the environment of water area.

Key Words: river environment management, fish fauna, deterioration, biodiversity, MaxEnt

1. はじめに

近年、河川陸域においては様々な河川環境の変化が報告されている。例えば、樹林化については全国を対象とした地方別の樹林面積の変遷、樹林化を引き起こしている樹種の特徴等が調査・分析されている¹⁾。また、植物群落の分析方法が示され²⁾、この方法に基づく各河川の群落面積の変遷、減少傾向にある群落等が明らかになりつつある。

一方、水域に目を移すと、河川環境の実態や変遷に関する報告はあまり見られない。「生物多様性総合評価」において陸水域における淡水魚については危機的状況にあること³⁾、特に、二次的自然に依存する魚類が重大な危機に晒されていることは報告されている。⁴⁾しかし、個々の河川そして全国の河川を対象として、魚類の生息実態とその変遷を量的に捉えた調査・研究例は少ない。

水域環境の実態解明が進まない原因とは何だろうか。陸域については、河川水辺の国勢調査(以下、水国)において概ね5年に一度植生図が作成され、20年以上の群

植生動態が追跡できる。特に、樹林化については治水上、管理上の観点から数多くの研究が実施され、実態解明に加えてその要因分析も進んでいる^{5),6)}。一方、水域については現象が水面下で起きるため視覚的な実態把握が困難である。また、水国の調査が調査地区に限定され、魚類等の面的な分布の把握が困難なこと、また、植物の面積変化のように定量的な扱いが困難なこと、等が実態解明を遅らせる一因であろう。また、実態解明の遅れも手伝って、水域環境の劣化の程度や劣化要因を人為的インパクトとの関連から理解する試みも、アユの産卵場の変質等⁷⁾一部の現象を除いて、進んでいない。

本研究では、以上を背景として、水国の魚類データを活用して簡便に水域環境を分析する手法を提案するとともに、横断測量結果等のデータを活用して人為的インパクトとの関連から水域環境の劣化要因を分析する手法を提案する。また、実際にこれらを全国の一級河川に適用することにより、提案した手法の適用性と課題を整理する。これらの提案においては、魚類を似通った生息環境に依存するグループとして扱うことにより、水域環境の

実態とその変化、減少要因の解明を簡易に行えるプロセスを導入する。また、上記プロセスの検討に当たっては、本手法を河川環境管理に適用することを念頭に置き、既存データの活用を前提とする。

2. 研究の方法

(1) 魚類のグルーピング

グルーピングに際しては魚類生態の学識者へのヒアリングを行い以下のアドバイスを受けた。1) 魚類の微生物環境を念頭に置いた分類ではないため、生息する流程と主要な生息環境区分に基づき大まかに4~5分類程度とすることが妥当である。2) 氾濫原環境に依存する魚種は、堤内地環境に強く依存する種と河道内氾濫原環境(ワンド、たまり等)に依存する種に分けた方が良い。

以上の結果を受け、本研究では、魚類が生息する主要な流程の観点から、魚種を比較的の上流に分布する種と中下流に分布する種の2つに区分し、上流に分布し流心部の瀬・淵環境に依存する種をA)瀬淵性種とし、更に、中下流に分布する種は、B)水際部の植物帯や淀み等に依存する水際性種、C)河床に依存する河床性種、D)ワンド・たまりに依存する氾濫原性種、E)堤内地の水田水路に依存する水田水路性種、に分類し、合計5グループとした(表-1)。

表-1 設定したグループの特徴と対象魚種

空間区分	グループ	生息する主要セグメント	代表的な環境	グループにおける抽出魚種	
河道内	流水域	A: 瀬淵性種	Seg.1 ~ Seg.2.1	瀬淵	カワムツ、アブラハヤ、タカハヤ、アカザ、ヤマメ、アマゴ、カンガ、ハナカシカ
	流水・水際部の河床	C: 河床性種	Seg.1 ~ Seg.2.2	河床表層、河床間隙(礫・砂・シルト)	カワヒガイ、ゼゼラ、カマツカ、シマシヨウ、ドンゴ、ツチフキ、ジュズカゲハゼ
	堤内地	E: 水田水路性種	Seg.1 ~ Seg.2.2	堤内地の氾濫原(堤内地の水田・水路等)	アブラボテ、タモロコ、ドジョウ、ナマス、マガキ類

注) 対象魚種で下線がある魚種はグループ別魚種の減少要因の分析対象魚種を示す。Seg.はセグメントを示す。

人為的なインパクトが魚類群集に及ぼす影響を分析する目的から、対象魚種は、汽水・海水魚、回遊魚を除く純淡水魚とし、以下の魚種を除外して最終的に31種を選定した。①水国1~4巡目にかけて消失地区数が少ない種(4地区以下)、②水国1~4巡目期間中に種名が変更されるなど同定上の課題がある種、③国外移入種、④観賞魚種、⑤琵琶湖・淀川水系からの国内移入種、⑥水国1~4巡目期間中に物理環境変化以外の特定の要因により

減少したことが明らかな種(コイヘルペスにより減少したコイ)。

対象魚種が依存する生息環境については、既往文献を参考に各魚種の産卵・仔魚・稚魚期、成魚期の生息場所、移動分散能力、他の生物との種間関係を整理し^{8)~12)}、この情報に基づき31種を5つにグルーピングした。

生息環境の変化に対するグループ間の応答特性の差異を確認するため、31種の消失パターンデータ(調査地区ごとの消失種を1として整理したクロス表を標準化。「消失」の定義は後述)を用いて、クラスター分析を行い、31種の消失パターンとグルーピングとの対応関係を確認した。

(2) グループ別魚種の消失・出現傾向の分析

抽出した31種5グループを対象として、全国109水系各調査地区におけるグループ別の出現・消失率を算出し、その傾向を分析した。

出現・消失パターンは、各地区の水国1~4巡目の不在データの時系列変化より、その地区から消失(▼)、新たに出現(△)、変化なし(◎)、不明瞭(?)の4つに分類し、消失・出現を評価した(表-2)¹³⁾。

この結果に基づき、31種それぞれの総確認地区数に対し、消失地区数の割合及び出現地区数の割合を算出し、グループ別に平均消失率及び平均出現率を集計して地方別の傾向を整理・分析した。

表-2 魚種の在不在データに基づく出現・消失判定

第1回	第2回	第3回	第4回	判定	第1回	第2回	第3回	第4回	判定
○	○	○	○	◎ (変化なし)	○	○			▼ (消失)
○	○	○	○		○	○			
○	○		○	△ (出現)	○	○	○		? (不明瞭)
○	○		○		○	○	○		
		○	○		○		○		

注) ○は在、記載がない場合は不在を示す。

(3) グループ別魚種の減少要因の分析

グループ別魚種の減少要因を分析するため、各グループにおける抽出魚種から22種を選定し(表-1の下線が対象魚種)、これらが1種でも消失している水国調査地区を1(減少)として、これを目的変数とした。また、各グループの減少要因を指標化し、これを説明変数とし、消失データのみでモデル構築が可能なMaxEntを用いて分析した。ここで、MaxEntとは機械学習の手法を利用した解析手法の1つであり、予測精度の高さから近年、生息適地モデルの構築に頻繁に利用されている¹⁴⁾。

解析対象の22種の選定は、魚種別に「消失」、「変化なし」、「出現」地区別に減少要因の指標の差値の四分位をグラフ化し、傾向が異なる魚種を解析対象から除外することにより行った。また、本研究で提案する手法は、河道内を対象としていることから、水田水路性種を対象としなかった。

表-3 減少要因とそれらに対応する指標との関連性

グループ	グループ別魚類の減少要因	減少要因の指標化項目											
		横断河床形状のデータ				H18 社会資本整備重点整備計画のための物理環境調査結果							
		滞筋の状態(鉛直方向、横断方向、平面形状、滞筋幅)				瀬淵の状態				水際の状態			
最深河床高(1km平均)	最深河床高(1km最深)	最深部位置変動割合	滞筋の蛇行度	水面幅	淵面積	早瀬面積	自然水際率	水際の複雑さ	水際樹林率	砂州・砂礫堆面積	砂州・砂礫堆樹林面積		
上記指標の2時期の差値を算出して、減少要因の大きさを数値化。ただし、最深部位置変動割合はそのまま使用													
A: 瀬淵性種	滞筋の低下	●											
	滞筋の固定化		●	●	●	●							
	砂州・砂礫堆の減少										●	●	
	瀬淵の消失					●	●						●
B: 水際性種	自然的な水際の消失							●	●				
	水際域の植生の変化	●	●	●	●	●					●		
C: 河床性種	滞筋の低下・固定化	●	●	●	●	●					●		
D: 氾濫原性種	河川と氾濫原の移行帯の減少							●	●				
	洪水規模・頻度の減少											●	
	ワンド、たまりの減少											●	
	滞筋低下・滞筋の固定	●	●	●	●			●	●			●	

注) ●はグループ別魚類の減少要因に関連する指標として選定したものを示す。

表-4 各指標の定義

項目	内容	方法	集計範囲
最深河床高(1km平均)	横断測量断面における最深河床高の1km区間平均値	定期縦横断測量結果	1km
最深河床高(1km最深)	横断測量断面における最深河床高の1km区間最小値	定期縦横断測量結果	1km
最深部位置変動割合	水国4巡目相当年の最深部位置の変動距離(水国1巡目から) / 水面幅	定期縦横断測量結果(水面幅は下記を使用)	1km
滞筋の蛇行度	流心部の流心距離 / 直線距離	空中写真又は河川環境情報図から計測	水面幅の10倍区間
水面幅	調査区間上流端と下流端の平均値	空中写真又は河川環境情報図から計測	1km
淵面積	淵の面積	水国(河川調査)様式1-4	水面幅の10倍区間
早瀬面積	早瀬の面積	水国(河川調査)様式1-4	水面幅の10倍区間
自然水際率	自然水際延長距離 / 水際延長距離 ※空隙・植生ありの人工護岸含む	水国(河川調査)様式2-2	1km ※水際に人工物が確認できない場合は自然河岸
水際の複雑さ	水際延長距離 / 流心部の延長距離	空中写真又は河川環境情報図から計測	1km ※中州を含めない
砂州・砂礫堆面積	砂州・砂礫堆の面積	空中写真又は河川環境情報図から計測	1km ※中州・寄州含める
砂州・砂礫堆樹林面積	砂州・砂礫堆における樹林面積	空中写真又は河川環境情報図から計測	1km ※草本、高水数含めない
水際樹林率	樹林延長距離(水際に接している樹林) / 水際延長距離	空中写真又は河川環境情報図から計測	1km ※中州を含めない

各グループの減少要因の抽出に当たっては、1)個々の魚種を対象としたものではなく、グループ全体の減少要因を分析することを目的としている、2)各グループが依存する詳細な生息環境を既存データから取得することが困難である、ことから河道・景観に関連する要因を河川技術者のディスカッションに基づき抽出した(表-3)。

減少要因項目の設定と指標化に当たっては、本研究結果を河川管理に適用することを念頭に置き、既存データとして幅広く活用されている横断測量結果、H18社会資本重点整備計画のための物理環境調査結果におけるデータ(以下、社整審データ)を活用した(表-3)¹⁵⁾。

減少要因を滞筋の状態の変化、瀬淵の状態の変化、水際の状態の変化、砂州・砂礫堆の状態の変化に分類し、それぞれについて、調査地区が含まれる1km区間における2時期の差値を算出した(表-3)。ここで、横断河床形状に関連するデータにおいては、横断河床形状が200m間隔で取得されている場合は測線(下流から測線)、500m間隔の場合は2測線分のデータを平均した。また、「2時期」は、魚類の減少を評価期間と同時期とするため2001年~2005年(横断データは~2011年)、1990年(横断データは1985年)~1995年に設定した。各指標の定義を表-4に示した。

3. 結果と考察

(1) 消失魚種を対象としたクラスター分析

消失魚種を対象としたクラスター分析結果を示す(図-1)。階層1でクラスターを分割すると、水田水路性種はそれ以外のグループと異なるクラスターに分類される傾向を示した。これは、堤内地における氾濫原環境が劣化した地区では、水田水路性種の多くが同一地区で消失する可能性を示す。一方、水田水路性種以外のグループはクラスター2として分類され、グループ間で明確な差異は見られなかった。河道内における人為的インパクトは、護岸の設置のように河道の一部に限定される場合もあるが、河床低下のように、瀬淵、河床そして氾濫原域のように異なる領域に影響を及ぼす場合も多いだろう。この場合には、4つのグループの魚種の多くが同一地区で消失することになり、クラスターが明確に分かれないことになる。ただし、階層2でクラスターを分割すると、クラスター2は瀬淵性種を中心とする種数の大きなクラスターと(図中の実線の囲み)、水際性種、河床性種から構成される種数の小さなクラスターから構成され、瀬淵性種だけは生息環境の変化に対して同じような応答を示す傾向が読み取れた。このように各グループに属する魚種は、堤内地における環境劣化、河道内における瀬淵性種が依存する環境劣化に対してはある程度明確に応答する可能性が示された。

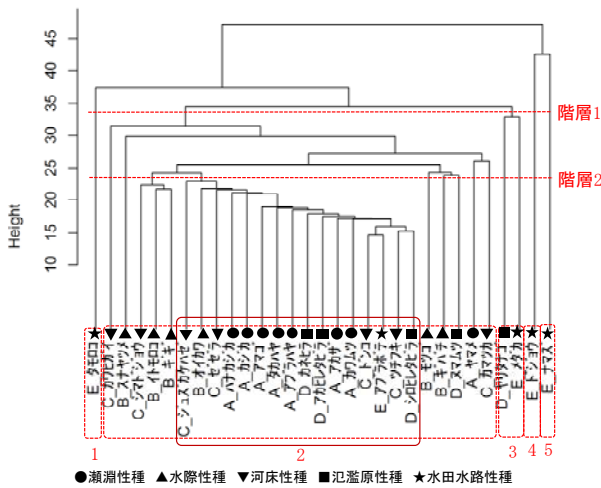


図-1 31種のクラスター分析結果とグループとの関係性

注) クラスター分析の手法は、標準化ユークリッド平方距離を用いたウォード法を採用した。デンドログラムの切断位置は各クラスターの距離を考慮して5つのクラスターに分類した。

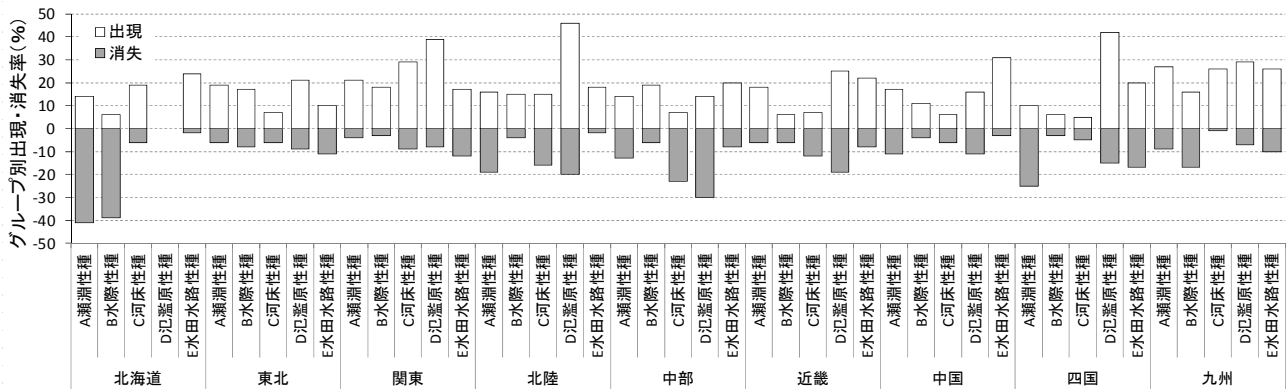


図-2 地方別に見た各グループの出現・消失率

(2) 地方別の平均出現率・消失率

次に、グループ別の平均出現率・消失率を見てみよう(図-2)。全体的に出現率が消失率よりも高い傾向にあった。これは、各調査地区における生息魚種数が増加した可能性を示すが、その他にも、水国の調査技術が向上したこと、既往の確認魚種を参考に調査を行うため、過去の確認魚種が再び捕獲されやすいことも一因と考えられる。また、都市河川等においては水国の1巡目以前に河川環境が悪化に伴い魚種の一部が消失し、その後の回復によって出現率が上昇した可能性もあるだろう。今後、個別の河川における出現・消失魚種を丁寧に分析し、出現地区数が消失地区より上回る要因を明確にする必要がある。

全体的に出現率が高い傾向が見られる中で、地方によっては、消失率が相対的に高いグループがあった。北海道の瀬淵性種・水際性種、北陸の瀬淵性種・河床性種、中部の河床性種・氾濫原性種、四国の瀬淵性種・九州の水際性種である。特に、瀬淵性種は3地方で消失率が出現率を上回っており、河床低下等に伴う瀬淵構造の劣化が、消失率の上昇に寄与している可能性がある。この点については、(3)で述べる。

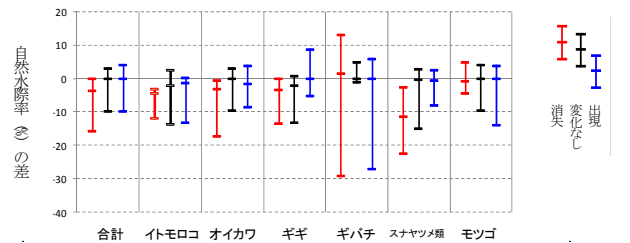
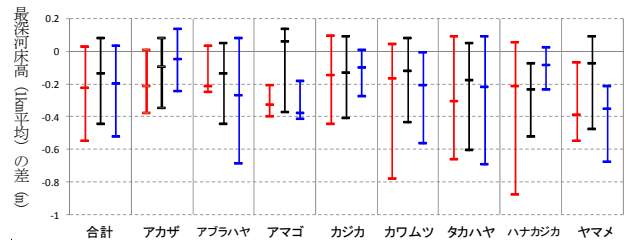


図-3 瀬淵性種、水際性種の消失・出現等における指標値の差

(3) グループ別魚種の減少要因の分析

最初に、グループ別魚種の「消失」、「変化なし」「出現」地区の減少要因の指標の差値の四分位のグラフを例示する(図-3)。例示したのは、瀬淵性種の最深河床高(1km平均)、水際性種の自然水際率である。瀬淵性種では「消失」地区における最深河床高の差の中央値が「変化なし」地区と比較してマイナス方向に大きく、河床低下が進むと瀬淵性種が減少する傾向が認められた。ただし、魚種によって応答は異なりカワムツ、カジカ、ハナカジカはその傾向が認められないか、相対的に小さかった。水際性種でも同様に傾向が認められ、自然的な水際が減少すると水際性種が減少する傾向が認められたが、ギバチだけは逆の方向を示した。

なお、「消失」地区、「変化なし」地区との比較では、上記のような一定の傾向が認められたが、「出現」地区については、全グループ、全減少要因において一定の傾向を認めることが難しかった。

次に、四分位での検討結果を踏まえ対象魚種を絞り込んだ上で実施したMaxEntの解析結果を示す(表-5)。ここで、AUCはモデルの妥当性を示し、0.5~0.7は適合性が低いと判断される。また、本解析は減少に対するモ

デルであることから、図中の寄与度（+、-）は減少したことに對する影響の強さを示す。すなわち、+の場合はその要因が2時期間で増加した場合に当該グループが減少することを、-の場合はその要因が減少した場合に当該グループが減少することを示す。

本結果は、瀬淵性種、水際性種、河床性種、氾濫原性種のいずれのグループもAUCは0.6~0.7の範囲にあり、モデルそのものの適合性は良好ではなかった。

各説明変数の寄与率を見てみよう。瀬淵性種については、早瀬面積の減少、砂州砂礫堆面積の減少が、次いで、最深河床高（1km平均）の低下の寄与率が高い結果となり、河床低下に伴い瀬淵構造が劣化し、瀬淵性種が減少した可能性が示唆された。なお、砂州砂礫堆面積の減少は、河床低下に伴う砂州砂礫堆上の攪乱の程度の低下に起因すると推察された。水際性種は、最深河床高（1km最深）の増加、次いで、自然水際率の低下の寄与率が高い結果となり、自然水際率の低下に伴い水際性種が減少した可能性が示唆された。ただし、最深河床高（1km最深）の増加が水際性種の減少に寄与するプロセスを仮説として設定することはできなかつた。河床性種は自然水際率の増加が、次いで、早瀬面積の増加の寄与率が高かったが、これらの要因から減少を引き起こすプロセスを説明することはできなかつた。氾濫原性種は、砂州砂礫堆の減少の寄与率が極めて高く、次いで、最深河床高（1km平均）の減少が寄与する結果となった。河床低下に伴う攪乱の程度の低下は、砂州砂礫堆の減少だけでなく、氾濫原域における冠水頻度等の低下をもたらす。つまり等の一時的水域の生息場所としての機能は冠水頻度の高低と関係し、一定の冠水頻度を上回らないと魚類の多様性が低下することが報告されている¹⁶⁾。本解析結果もこのような現象と一致しており、氾濫原性種の減少を概ね説明できると考えられる。

表-5 各グループにおけるモデルの構築結果の概要

グループ	モデルの妥当性 (AUC)	減少に対する説明変数の寄与状況											
		最深河床高 (1km平均)の差	最深河床高 (1km最深)の差	最深部位置変動割合	溝筋蛇行度の差	水面幅の差	淵面積の差	早瀬面積の差	自然水際率の差	水際の複雑さの差	水際樹林率の差	砂州・砂礫堆面積の差	砂州・砂礫堆樹林面積の差
A瀬淵性種 41/380	0.636	-	+					+	-	14.7	10.1	35.9	
B水際性種 64/1189	0.685		+					+	-	18.9		15.9	+
C河床性種 62/509	0.652		11.9					+	+	+			+
D氾濫原性種 39/144	0.658	-						+	+	14.6		72.9	-

注) グループ下段: 減少データ数/変化なしデータ数
AUC: モデルの適合率 (妥当性) を示す値 (0.5~0.7: 低い、0.7~0.9: 中程度、0.9~1.0: 高い)
上段: 応答曲線の形から判断。説明変数の増加 (+) 又は減少 (-) がグループ別魚種の減少に寄与
下段: 寄与率 (20%以上の場合は太字とした)。寄与率は説明変数ごとのモデルへの寄与率 (Percent contribution) と生息適性への寄与率 (Permutation importance) の最大値を採用したため、合計値が100とならない。

4. 河川環境管理への適用性とその課題

本研究では、既存データを活用して (1) 魚類の生息情報に基づき魚類をグルーピングし、その消失・出現情報から、生息実態の変遷を明確にした。また、(2) 生息環境の変化に対する応答が比較的明確な種を選定して

減少要因を分析した。この結果、地方別に減少しているグループが明確になっただけでなく、3つのグループについては減少要因を抽出することができた。

以下、(1)、(2) について、河川環境管理における適用性とその課題を整理する。

(1) 魚類のグルーピングに基づく生息実態の解明

著者は河川整備計画の立案の技術指導の場面等において、個別の種の生息情報を整理し、河川環境の把握に努めて来た。しかし、数多くの魚種から生息実態の変化を読み解き、河川環境との関連性を分析することは困難であった。本研究で提案した魚類のグルーピングに基づく実態の把握方法は、グループに属する魚種の消失から生息環境の変化を推定できること、簡便な処理に基づくこと、既存データに基づくこと、から河川環境管理に容易に適用できる有効なアプローチになり得ると考えている。ただし、検討すべき課題も見つかったので触れておく。

最初は、出現地区が消失地区を上回ったことに関連する課題である。実際に河川環境が向上している場合もあるだろうが、経年的に調査技術が向上していること等も理由として考えられる。今後、河川環境を適正に評価する上で「出現」地区をどのように扱うのか慎重に検討を行い、河川環境の実態とその変遷を正確に捉える方法の確立を急ぎたい。2番目の課題は、提案した方法で把握した生息実態がどの程度の空間範囲を対象としているかが不明である点である。水国の魚類の調査地区は直轄区間の中でも一部の範囲に限定されている。したがって、提案した方法で得られた結果が、調査地区を含むセグメントおよび河川の平均的な姿を示すかどうかについては、調査地区の選定方法、魚類の移動分散能力、環境の空間的異質性等を踏まえ明確にする必要がある。最後は、個々のグループに属する魚種の選定方法に関する課題である。魚類は生活史の各段階で異なる生息環境を利用することが多い。また、同一の生息環境を利用する種でも1つのグループに分類することが困難なケースが数多くあった。例えば、瀬淵性種に選定したアカザは瀬の河床に依存する魚種であり、瀬淵性種、河床性種の双方に分類できる。今後、減少要因に対する応答が明確な魚種を抽出した上で、グルーピングの方法を改善する必要がある。

(2) グループ別魚類の減少要因の解明

瀬淵性種、水際性種、氾濫原性種については、解析で寄与率の高かった減少要因がある程度明確になり、各グループが減少したプロセスを推測することができた。一方、河床性種については解析において寄与率の高かった指標化項目によって、減少プロセスを説明することが困難であった。本研究で用いた横断測量結果、社整審データは、河道・景観に関連する情報であり、河床形状、白波立っている早瀬、水際の状態、陸域における裸地・樹林地等の把握には向いているが、水面下にある河床の状態を評価するには十分でない。今後、河床性種を生息実

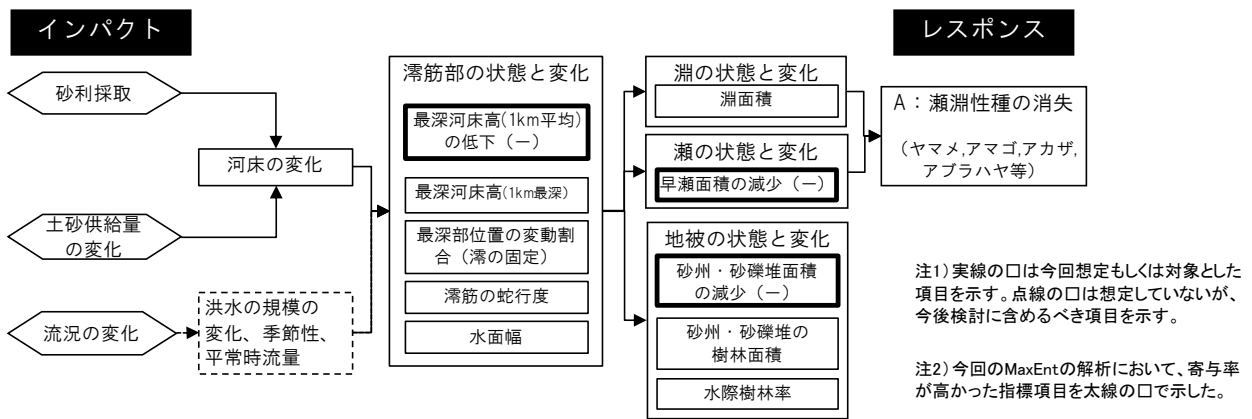


図-4 瀬淵性種を対象としたインパクト-レスポンスフローの例

態そして減少要因の解明に活用するか否かを含め、活用するのであれば説明力の高い指標の選定について検討を行う必要がある。

今回は日本全体を対象とした解析であったが、今後は、個々の河川を対象として、各グループの減少の程度、減少要因に関連する指標の差値を分析することにより、個々の河川の水域環境の劣化の程度、劣化プロセスを明確にし、劣化を引き起こしている人為的インパクトを合理的に探索し、この結果を河川環境管理に反映できる手順を構築したい。このためには、減少要因を人為的インパクトと関連付けて、インパクト⇒レスポンスのフローとして提示することが必要となるだろう。例えば、人為的インパクトとして砂利採取等の項目を想定し、これらのインパクトに伴う瀬淵性種の減少（レスポンス）を経路として明示できれば、河川整備計画等において、具体的な環境改善の方向性を示すことが可能となる（図-4）。今後、他のグループについても同様のフローを作成するとともに、個別河川への適用を通じて河川環境管理に反映させたい。

謝辞：九州大学大学院農学研究院 鬼倉徳雄助教には、魚類のグルーピング、解析方法について貴重なアドバイスを頂いた。また、国土交通省水管理国土保全局河川環境課には有益なアドバイスを頂いた。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 佐貫方城・大石哲也・三輪準二：全国一級河川における河道内樹林化と樹木管理の現状に関する考察，河川技術論文集，16，241-246，2010.
- 2) 萱場祐一・片桐浩司・傳田正利・田頭直樹・中西哲：河道掘削における環境配慮プロセスの提案，河川技術論文集 20，157-162，2014.
- 3) 生物多様性総合評価，環境省生物多様性総合評価委員会，2010.
- 4) 二次的自然を主な生息環境とする淡水魚保全のための提言，

環境省，2017.

- 5) 辻本哲郎・村上陽子・安井辰弥：出水による破壊機会の減少による河道内樹林化，水工学論文集，45，1105-1110，2001.
- 6) 阿河一穂・道奥康治・神田佳一・魚谷拓矢：河道の経年変化から見た樹林化の要因分析と持続的な河川管理のための方策，土木学会論文集B1（水工学），68(4)，1_745-1_750，2012.
- 7) 角哲也・中島佳奈・竹門康弘・鈴木崇正：アユの産卵に適した河床形態に関する研究，京都大学防災研究所年報，54B，719-725，2011.
- 8) リバーフロント整備センター（編）：川の生物図典，山海堂，1996.
- 9) 川那部浩哉・水野信彦・細谷和海（編・監）：山溪カラー名鑑日本の淡水魚改訂版，山と溪谷社，2001.
- 10) 環境省（編）：Red Data Book 2014 :4 汽水・淡水魚類 日本の絶滅のおそれのある野生生物，ぎょうせい，2014.
- 11) 田口哲：フィールドガイド淡水魚識別図鑑：日本で見られる淡水魚の見分け方，誠文堂新光社，2014.
- 12) 斎藤憲治：くらべてわかる淡水魚，山と溪谷社，2015.
- 13) 物理環境等を指標とする河川環境評価技術に関する研究，土木研究所プロジェクト研究報告書，2013
- 14) Cory Merow・Matthew J. Smith・John A. Silander, Jr：A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions：what it does, and why inputs and settings matter, *Ecography*, 36, 001-012, 2013.
- 15) 楯慎一郎・小林稔：物理環境からみた全国河川の状況，リバーフロント研究所報告第19号，87-95，2008.
- 16) Junjiro N. Negishi・Shiro Sagawa・Yuichi kayaba・Seiji Sanada・Manabu Kume・Tetsuya Miyashita：Mussel responses to flood pulse frequency：the importance of local habitat, *Freshwater Biology*, 57(7), 1500-1511, 2012.

(2016. 4. 4受付)