

ダムが供用が魚類の個体群に及ぼす影響と環境影響評価手法の高度化に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 27～令元

担当チーム：水環境研究グループ・自然共生研究センター

研究担当者：中村圭吾、宮川幸雄、森照貴、末吉正尚

【要旨】

大ダムの建造や再開発の際は、ダム周辺河川への環境影響評価が必須である。生物への影響評価に関しては個体群の存続可能性を予測・評価する手法が発達してきており、今後、具体的な手法の開発が期待される。本課題では河川長を指標とした分布予測モデルと、局所環境要因による生息密度モデルを構築し、ダム上下流における影響評価手法を提案した。木曾三川流域において、河川長と魚類の在不在との関係性を二項分布モデルで明らかにした結果、解析対象 15 種中 9 種で河川長が短くなるほど生息確率が低下する傾向がみられた。生息密度モデルでは、遊泳魚は水理・水質要因が密度を決定する一方で、底生魚は河床底質要因が密度を決定する結果となった。

キーワード：生息域サイズ、孤立化、河川流路長、生息環境劣化、種分布モデル

1. はじめに

大ダムの建造や再開発の際は、環境影響評価（環境アセスメント）法において事前の調査、影響の予測及び評価、保全のための措置を検討する必要がある。ダムアセスに関しては、2000 年に発行された「ダム事業における環境影響評価の考え方¹⁾」によって評価手法がまとめられているが、生物の影響予測に関しては、個体群の存続可能性を予測・評価する手法が発達してきており、今後、具体の手法の開発が期待される。

多くの河川性生物は樹形状に広がった河川水域に沿って移動分散しているため、ダムのような横断構造物は上下流の移動障害や個体群の分断・孤立を引きおこしかねない。孤立した個体群では、生息域の縮小や繁殖機会の減少、偶発的な攪乱などによって局所絶滅の可能性が高まる傾向がある。中でも、魚類は河川内での移動分散に依存しており、ダムの影響を受けやすい分類群として知られている²⁾。

いくつかの既存研究において、孤立した魚類個体群が長期的に維持されるために必要な生息域サイズが明らかにされてきた。例えば、溪流性のサケ科魚類では、河川流路長が数 km あれば、個体群を維持するための個体数が最低限保たれると予想されている^{3), 4)}。一方で、北アメリカに位置するミシシッピ川水系で行われた調査では、コイ科に属する 8 種全てが 103km 以下の河川流路長で絶滅したことが報告されている⁵⁾。このように、分断された河川の長さに応じて影響を受ける種が変化することが予想され、この影響を正確に予

測し、保全措置を検討するためにも魚種ごとに必要な河川長の閾値を解明することが必要である。

ダム下流では、分断化による生息域の縮小だけでなく、細粒土砂の欠乏や流況の変化など様々な生息環境の改変が引き起こされる。改変された環境が対象種にとって適さないものであれば、完全にその場から消失することが予想され、程度が小さくとも生息密度が変化し、個体群サイズが小さくなることで絶滅リスクが増加する可能性がある。そのため、ダム下流では生息域サイズと生息環境両方の変化を考慮した定量的な評価手法が求められる。

本課題では、ダムによる生息域の分断・縮小と生息環境の変化が魚類個体群に与える定量的評価手法の開発を目的とした。具体的には生息環境の改変が小さいダム上流では河川長を指標とした影響評価モデルを開発し、ダム下流では河川長と生息密度予測モデルを組み合わせることで、下流の個体群サイズを予測できるモデルを開発した。

2. 研究方法

2.1 河川長を指標とした魚類の分布予測モデル

木曾三川（木曾、長良、揖斐川）流域を対象に、河川水辺の国勢調査、既存文献、現地調査から魚類の分布データを集積した。現地調査は 2015-2019 年の秋季に電気ショックを用いた定量調査を行った。国勢調査、文献データは手法、時期ともにそろっていないため、2000 年以降の秋季データのみを使用し、定量調査

は在不在データを、定性調査は在データのみを使用した。データ整備の結果、解析に用いた地点は 455 地点で出現した淡水魚種数は在来種が 51 種、国内外移入種が 23 種となった (図 1)。

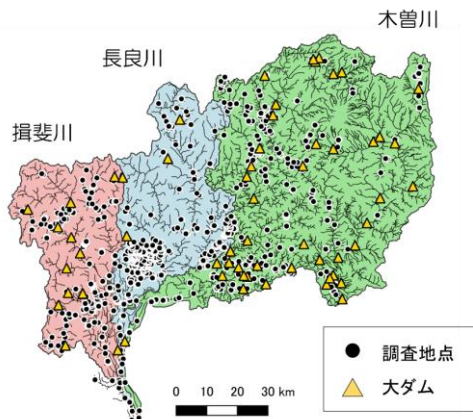


図 1 解析に用いた木曾三川の魚類データ地点と大ダムの位置

ダムは河川の連続性を分断してしまうが、魚類は本来河川の流程に沿って種ごとに異なる分布をしており、ダムの位置によっては分断化の影響を受けない種も存在する (図 2)。このような各魚種が本来分布している範囲は潜在分布域とも呼ばれ、ダムによる生息域の縮小を評価する上では、この分布域を考慮する必要がある。そこで、大ダムが本川に少なく分断化の影響の小さい長良川流域を対象に、自然環境要因 (標高、勾配、河川次数) のみを用いて出現魚種の潜在分布モデルを一般化線形モデル (GLM) によって構築した。応答変数は各魚種の在不在で、分布型は二項分布とした。赤池情報基準 (AIC) をもとに最も AIC が低いモデルをベストモデルとして採用し、モデルの精度を AUC (Area Under the Curve) によって評価して精度の高いモデル ($AUC \geq 0.7$) が構築された種のみを以降の解析に用いた。

潜在分布モデルが構築された魚種を対象に、木曾三川全域でセグメント単位 (合流点から合流点までの河川区間) の分布予測を行った。次に各魚種の生息可能な河川セグメントの範囲を推定するため、生息確率がいくつ以上であれば生息可能とするかの判断を行った。予測された生息確率 0~1 の間で閾値を変化させて (閾値以上を在=1、閾値未満を不在=0)、予測値と実測値の誤判別が最も小さくなる値 (Youden index) をその種の在不在を最も精度良く表す閾値とした。そして、閾値以上のセグメントを対象魚種の生息域と定義した。

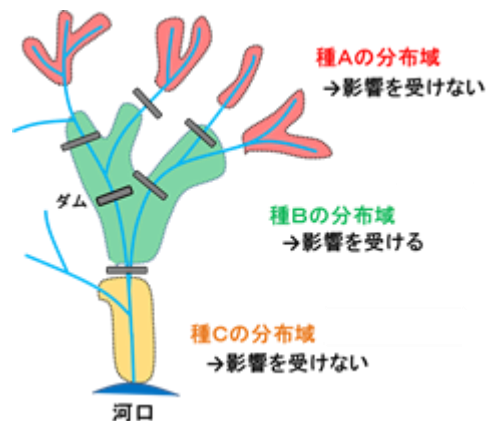


図 2 魚類の潜在分布と大ダムの位置による分断化の影響の有無

推定された生息域に大ダムの位置を重ね合わせて、ダム上下流で分断された孤立生息域の定量化を行った (図 3)。この孤立生息域の河川長を説明変数として、孤立生息域で調査された魚種の在不在実測値を応答変数に一般化線形モデル (二項分布) を構築した。このモデルに基づいて、各魚種個体群の存続に必要な河川長を推定した。

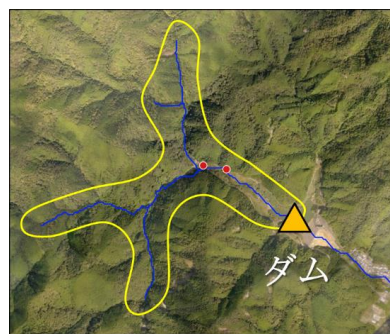


図 3 生息域 (青線) と大ダムの位置に基づく孤立生息域 (黄色ラインで囲まれた青線) 赤丸は魚類調査が行われた地点を示す。

2.2 局所環境要因に基づく生息密度予測モデル

生息密度モデルは出現地点数が多く、ダムアセスにおいて重要種として評価対象となりやすい 5 魚種を対象に構築した。対象魚種はイワナ (*Salvelinus leucomaenis*)、アマゴ (*Oncorhynchus masou ishikawae*)、カジカ (*Cottus pollux*)、アカザ (*Liobagrus reinii*)、アジメドジョウ (*Niwaella delicata*) である。いずれの種も中流または上流にかけて分布し、イワナ、アマゴはサケ科の遊泳魚、カジカ、アカザ、アジメドジョウは河床に生息する底生魚である。

魚類調査を行った地点のうち、106 地点を対象に、各地点 100 点で流速、水深、河床材料の大きさ、浮石かどうかを計測した。また調査時の水温、電気伝導度 (EC)、pH、溶存酸素濃度 (DO) を計測した。流速、水深に関しては、平均値と変動係数を算出した。河床材料は平均粒径と、砂 (2 mm 以下)、砂利 (2-16 mm)、小礫 (16-64 mm)、大礫 (64-256 mm)、巨石 (256 mm 以上) の分類カテゴリごとの割合を算出した。

広域データから生息密度を推定するうえで課題となるのは、0 データ (密度 0) が非常に多くなることである。この 0 データの多さは、各魚種がもともと分布していない生息域外の地点と、生息域内ではあるが局所環境要因が適さず生息することができない 0 データを含んでいる地点が含まれているためと考えられる。この過剰な 0 データを考慮したうえで、局所環境要因と各魚種の生息密度との関係性を検証するためにゼロ過剰ポアソン分布モデルを用いた。このモデルは在不在を推定する二項分布モデルと密度を推定するポアソン分布モデルの二つのモデルから成り立っている。前者は、潜在分布モデルと同等のものである。つまり、0 データを生息域外と生息域内に分けて、生息域内の 0 データを密度モデルに組み入れて密度の推定を行う手法といえる。最小 AIC モデルをベストモデルとして採用し、モデルの標準化係数から各魚種にとって重要な環境要因を明らかにした。

3. 研究結果

3.1 河川長を指標とした魚類の分布予測モデル

潜在分布モデルを構築したできた種は計 42 種であった。このうち、27 種は木曾三川に建造されたほとんどの大ダムよりも生息域が下流であったため、分断化の影響が小さいと判断し、解析からは除外した。残り 15 種のうち、生息域内の河川長が生息確率に影響していた種は 9 種であった (図 4)。この 9 種を対象に、生息が確認された最短河川長を整理した結果、3.6km (イワナ) ~12.1km (アジメドジョウ) となり、種によって必要な河川長が異なる結果となった。次に、ダム建造時または再開発時の分断化および生息域縮小時の定量的評価手法のフローチャートを図 5 に示した。これまでのダムアセスで種の生息域の整理とダム事業によって消失する生息域の予測・評価は行われてきた。ここに本研究で得られた生息確率と河川長との関係性から孤立した生息域ごとに影響度合いを評価することで定量的な影響予測が可能となり、その評価に応じて緩和策の検討にもつながることが期待される。

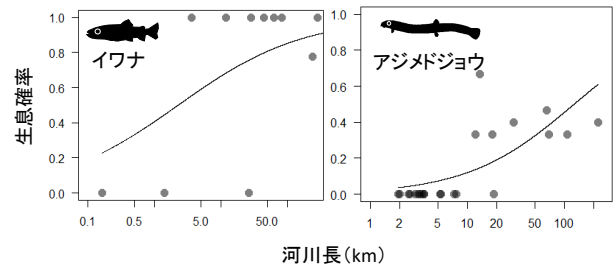


図 4 河川長と生息確率の関係性の例 (イワナ、アジメドジョウ)
実線は分布モデルによる推定値を表す。

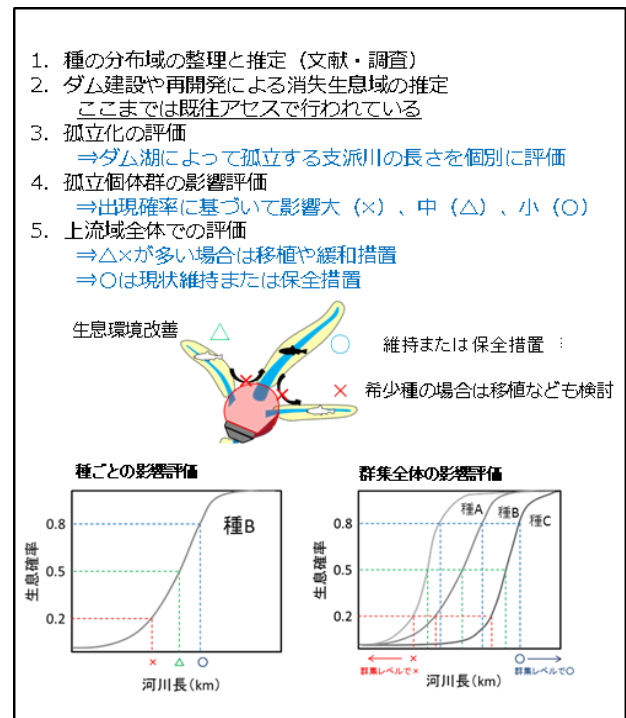


図 5 河川長を指標としたダム上流の魚類個体群への定量的影響評価 (案)
影響の大小の閾値は暫定。

3.2 局所環境要因に基づく生息密度予測モデル

ゼロ過剰ポアソン分布モデルのうち、生息密度に関するモデルの結果を表 1 に示す。アマゴやイワナといった渓流性サケ類は水深や流速といった水理要因、水温や電気伝導度といった水質要因が生息密度に特に強い影響を示した (図 6)。一方で、アカザやアジメドジョウ、カジカといった底生魚は小礫割合や浮石割合など底質要因の影響が強く、水理、水質要因は種によって影響度合いが異なる結果となった (図 6)。また底生魚の中でも細かい砂礫を好む種と粗い礫を好む種に分かれた。ダム下流では濁水や土砂不足、水温変化など

様々な環境の変化が起こる。個々の環境の変化に応じてどの種がより影響を受けやすいのか、各環境要因の変化に応じてどの程度生息密度が増減するのかをこのモデルから推定することができるだろう。

表1 生息密度モデルに選ばれた環境変数と標準化係数
標準化係数値が高い要因は太字および正（橙）負（水色）の影響に応じて色で示した。

	平均流速	平均水深	水温	電気伝導度	小礫の割合	浮石の割合
アマゴ	0.19	-0.63	-0.47	-0.09	0.11	-0.17
イワナ	-0.42	n.s.	-0.53	-0.97	0.30	-0.34
アカザ	n.s.	-0.41	n.s.	n.s.	-0.40	0.37
アジメドジョウ	0.96	0.23	-1.67	-1.02	2.02	0.51
カジカ	0.21	-0.54	0.30	0.26	-0.73	0.31

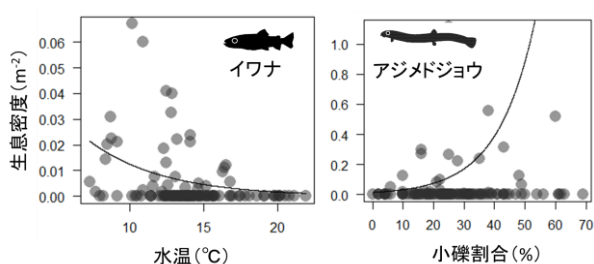


図6 局所環境要因と生息密度との関係性の例
(イワナ、アジメドジョウ)

定量的にダム下流の生息域や密度を評価する際のフローチャートを図7に示した。ダム下流で広く生息域が残されている場合は、ダム直下の環境が悪化しても個体群としては維持される可能性が高い。一方で、ダム下流の生息域が限られている場合は、生息密度が低下すると総個体数が少なくなり絶滅リスクが増加する可能性がある。長期的な個体群維持に必要な個体数は種によって異なるが、サケ科の事例では、成魚2500個体を目指すべき個体数として分断化の影響を評価した事例がある⁴⁾。ダム下流の生息域の河川長と川幅から簡易的に生息域面積を求め、実地調査された環境要因から密度を推定することでダム下流のおおよその個体数を推定することができる。文献などから各魚種に適した目標個体数を設定し、上記の推定個体数を比較することで、対策の必要性を検討するための判断基準となるだろう。今後は、実際にダム下流での評価検証を行うとともに、モデルの汎用性の検証を行う必要がある。

4. まとめ

本研究では、ダム周辺の魚類個体群保全のための定量的影響評価手法について検討を行った。結果、以下のことがわかった。

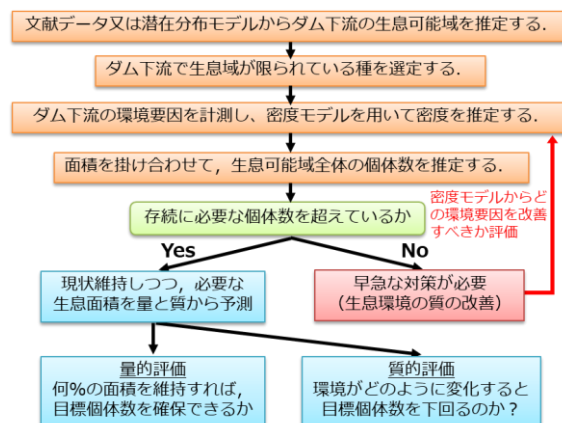


図7 ダム下流での定量的影響評価の考え方（案）

- 1) ダム上流の河川長が短くなると生息確率が低下する種が存在する。
- 2) 上記の種で生息が確認された最短河川長は約3.6-12.1kmであった。
- 3) 生息密度を推定したモデルでは、遊泳魚と底生魚で重要な環境要因が異なる結果となった。
- 4) 上記の生息確率モデルと生息密度モデルからダム上下流における魚類の定量的影響評価手法を提案した。

参考文献

- 1) 河川事業環境影響評価研究会：「ダム事業における環境影響評価の考え方」財団法人ダム水源地環境整備センター、東京、351p.、2000
- 2) Liermann C.R., Nilsson C., Robertson J. & Ng R.Y. : “Implications of dam obstruction for global freshwater fish diversity” BioScience, 62, pp.539-548, 2012
- 3) Morita K. & Yokota A. : “Population viability of stream-resident salmonids after habitat fragmentation: A case study with white-spotted charr (*Salvelinus leucomaenis*) by an individual based model” Ecological Modelling, 155, pp.85-94, 2002.
- 4) 菊池修吾・井上幹生：「人工構造物による溪流魚個体群の分断化—源頭から波及する絶滅—」応用生態工学、17, pp.17-28、2010
- 5) Perkin J.S. & Gido K.B. : “Stream fragmentation thresholds for a reproductive guild of Great Plains fishes” Fisheries, 36, pp.371-383, 2011.

DEVELOPING QUANTITATIVE METHODS OF THE INFLUENCES OF DAMS ON STREAM FISH POPULATIONS

Budgeted: Grants for operating expenses General account

Research Period : FY2015-2019

Research Team : Water Environment Research Group
(Aqua Restoration Research Center)

Author : KEIGO Nakamura, YUKIO Miyagawa,
TERUTAKA Mori, MASANAO Sueyoshi

Abstract : Environmental and bio assessments are legally demanded for constructions and redevelopments of dams in Japan. In this study, we constructed two models of the presence probability of fish species as a function of stream length as habitat sizes, and the population density as a function of instream environments. In presence probability model, 9 species of 15 species showed significant relationships with stream length. In population density models, swimming fishes were strongly influenced by hydraulic factors and water qualities. In contrast, benthic fishes were strongly influenced by substrate conditions.

Key words : habitat size, isolation, stream length, habitat degradation, species distribution model