

ダムの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（一般勘定）

研究期間：平 27～平 31

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、宮川幸雄、末吉正尚

【要旨】

本研究では、河川水辺の国勢調査魚類データを用いて、ダム上流、またはダムとダムに挟まれた河川区間の生息域サイズと生態的特性ごとの魚類種数（底生魚と遊泳魚）の関係性を検証した。生息域サイズとして、支流を含めた流域全体の河川流路長と、本流の直線流路長の2つの生息域指標を算出した。一般化線形混合モデルによる解析の結果、底生魚種数は本流の直線流路長と、遊泳魚種数は支流を含めた流域全体の流路長と強い相関関係を示した。この結果から、分断化の影響を評価する際は、対象とする魚種によって考慮すべき生息域の範囲が異なることが示された。

キーワード：魚類、種数、生息域サイズ、生態的特性、分断化

1. はじめに

陸域とは異なり、河川は樹形状にひろがった線的な構造をしており、多くの河川性生物は線に沿った移動分散を行っている。そのため、ダムのような横断構造物は河川生物の移動を妨げ、個体群の分断や孤立を引き起こしてしまう。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と言われている（Begon et al. 2003¹⁾）。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（Liermann et al. 2012²⁾）。

いくつかの既存研究において、魚類個体群が維持されるために必要な生息域サイズの解明が試みられてきた。例えば、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（Hildebrand & Kershner 2000³⁾；Morita & Yokota 2002⁴⁾；Young et al. 2005⁵⁾；Sato & Harada, 2008⁶⁾；菊池・井上 2010⁷⁾）。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種全てがダムによって分断された103km以下の河川流路長で絶滅している（Perkin & Gido 2011⁸⁾）。このように、ダムによる影響は評価対象とする分類群によって大きく異なることが予想される。そのため、分断化の影響評価は生態的に似た特性をもつ種群ごとに評価する必要があるだろう。

これまでの環境影響評価では、ダムが直接影響を及ぼす区間に注視して評価が行われてきており、ダムが直接影響を及ぼさないような上流域の生息域と魚類との関係性はあまり考慮されてこなかった。そこで本研究では、ダムで分断された流域全体の生息域サイズと魚類種数との関係性を検証することで、魚類群集の維持に必要な生息域サイズの解明を広域スケールで行った。また、生態的特性ごとに分けて、生息域サイズとの関係性を明らかにすることで、分断化の影響を受けやすい生態的特性を探索した。

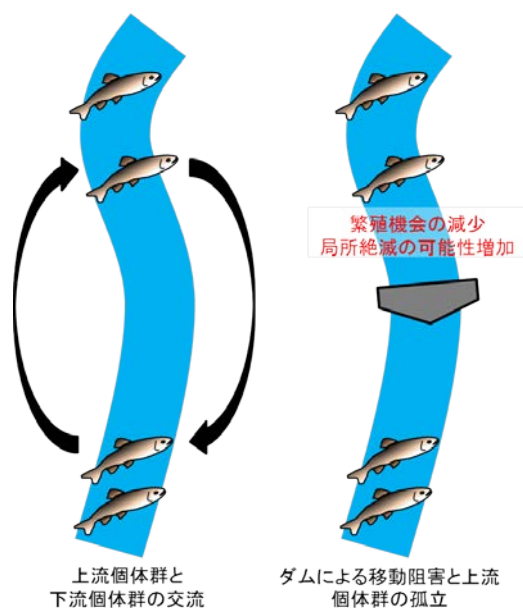


図 1. 分断化による移動分散の阻害

2. 方法

2.1 魚類データ

本州で行われた河川水辺の国勢調査(水国)の1990～2006年のデータを対象とし、ダム上流(以下、区間1)またはダムとダムによって挟まれた河川区間(以下、区間2)で調査された魚類相データを抽出した(図2)。区間1はダムが上流にないため、ダムによる下流からの移動阻害以外は自然状態に近い状態が保たれていると考えられる。一方で、区間2は上流にダムがあり、ダムの流量制限や土砂堆積などによる環境の変化が分断化と同時に生じている可能性がある。

魚類は分散力に関係する底生魚と遊泳魚に分け、地点ごとに種数を算出した。また、生活史を全うするうえで海との往來を不可欠とするような回遊魚は除き、国外外来種や国内移入種と判別された種も解析から除外した。ダム湖の調査データは解析から除外し、河川区間で行われた調査データのみを用いた。

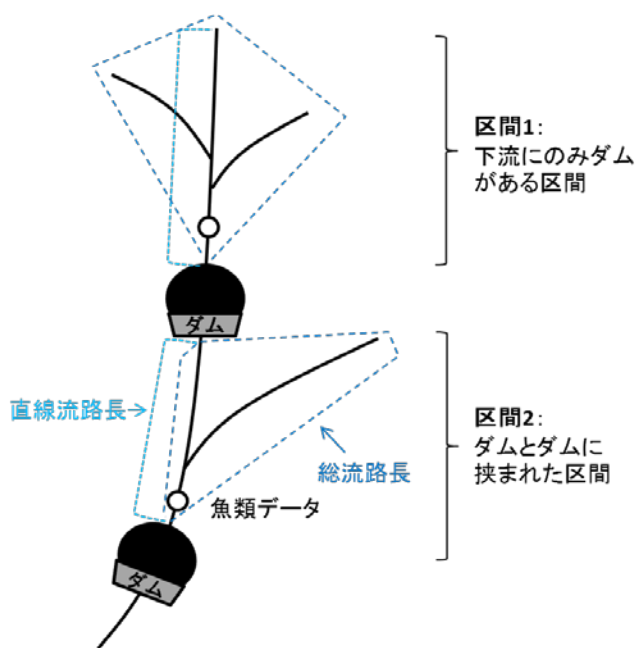


図2. 対象魚類データと生息域サイズ指標

2.2. 生息域サイズの指標

生息域サイズの指標として、魚類調査地点対象河川の直線流路長と支流を含めた総流路長を算出した。直線距離の重要性として、短い流程では卵や稚魚の流下による死亡率が増加する可能性が指摘されている(Hoagstrom 2015⁹⁾)。一方で、分散力の高い種などは、支流があることで様々な生息場を利用できると共に、洪水などの攪乱の際の避難とその後の回復が期待できるだろう。

2.3. 調査地点の自然環境要因

生息域サイズとの関係性を明らかにするうえで、魚類調査が行われた自然環境要因も考慮する必要がある。特に、標高や流域面積は魚類相を決定づける主要因であるため、地理情報システム(GIS)を用いて、各調査地点の標高と集水域面積を算出した。標高データは、基盤地図情報数値標高モデル(10 mメッシュ)を用いた。集水域面積は調査地点における潜在的な種数に影響を及ぼす要因として、調査地点上流の全集水域面積を算出した。

2.4. 解析

区間1と区間2の魚類種数と自然環境要因の違いを明らかにするために、底生魚・遊泳魚種数、標高、集水域面積それぞれに対して、Mann-WhitneyのU検定を行った。

生息域サイズと魚類種数との関係性を、一般化線形混合モデル(GLMM)によって検証した。応答変数を底生魚または遊泳魚の種数とし、説明変数として、二つの生息域サイズ指標と標高、流域面積を加えたモデルを作成した。分布型はポアソン分布を仮定した。

また、水国は5年で全国河川を1巡するように行われており、各地点の魚類データは最大で4回分のデータが存在する。各巡で調査手法などが変わっていることもあり、本解析では、1～4巡(1990～2006年)の各巡目をランダム切片に設定することで、巡目によるデータのばらつきを考慮した。加えて、渡辺ほか(2006)¹⁰⁾の魚類の生物地理区に基づいて、比較的魚類相が類似した4つの地域をランダム切片に設定することで地域ごとの種数の違いを考慮した。モデル選択は、赤池情報基準(AIC)に基づく総当たり法で行った。AICはより低い値ほど、よりよいモデルを示しており、本研究では、最も低いAICを示したモデルをベストモデルとして扱った。

3. 結果

データ集計の結果、対象となったダムは計140ダムとなり、地点数は568地点となった。分断された河川の直線流路長は0.5～224.3 km、総流路長は5.5～7041.3 kmであった。区間1(下流にのみダム有)と区間2(ダムとダムに挟まれた区間)で底生魚種数と標高は違いがみられなかったが(Mann-WhitneyのU検定: $p > 0.05$)、流域面積と遊泳魚種数は区間2の方が高い値を示す傾向がみられた(Mann-WhitneyのU検定: $p < 0.05$)。

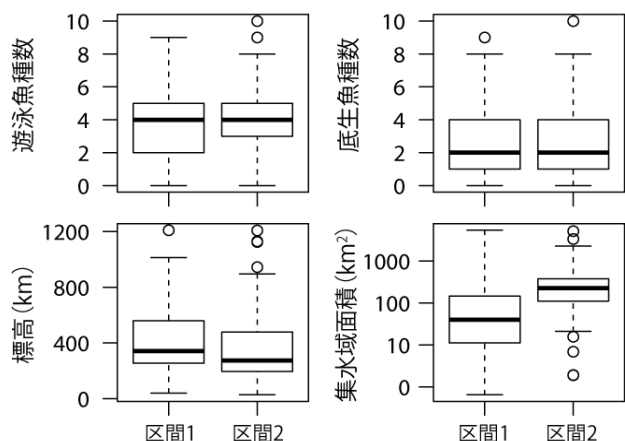


図 3. 区間 1 と区間 2 の魚類種数と自然環境要因

GLMM による解析の結果を表 1 にまとめた。遊泳魚種数は、直線流路長がモデルに選ばれず、総流路長が正の関係性を示した (図 4a)。一方で、底生魚種数は、直線流路長が正の関係性を示した (図 4b)。標高は共に、負の関係を示し、集水域面積は遊泳魚種数のみ正の関係性を示した。

表 1. ベストモデルにおける標準化係数

応答変数	切片	直線流路長	総流路長	標高	集水域面積
遊泳魚種数	1.44	-	0.07	-0.17	0.05
底生魚種数	0.94	0.39	-0.15	-0.56	-

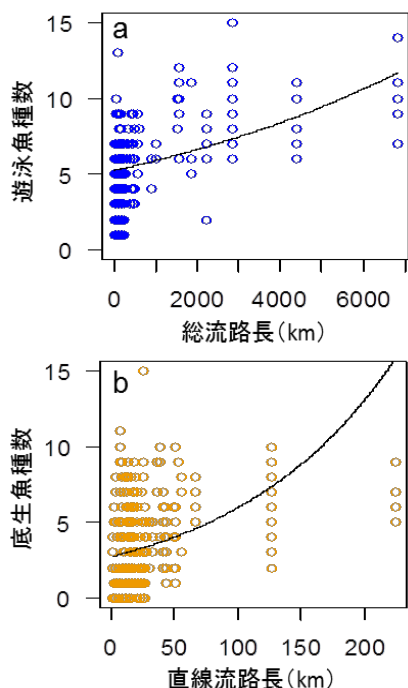


図 4. 生息域サイズ (直線流路長または総流路長) と遊泳魚、底生魚種数との関係性

4. 考察

解析対象とした区間 1 (下流にのみダム有) と区間 2 (ダムとダムに挟まれた区間) では、区間 2 の方が遊泳魚種数は多くなる傾向が確認されたが、これは区間 2 の魚類調査地点が、より集水域面積の大きい川に偏っていたことが要因と考えられる。

生息域サイズと種数との関係を検証した結果、遊泳魚と底生魚という生態的特性の違いによって、分断化指標が異なることが示された。総流路長が遊泳魚の種数に影響を及ぼした理由として、支流を含めた広い生息域を利用していることが考えられる。一方で、標高が負の影響を示したように、魚類の分布には種ごとに限界が存在し、支流を生息域としない種も存在する。そのため、もう一つの理由としては、遊泳魚は洪水などの偶発的な攪乱時に、支流に逃げ込むことで個体群の消失を免れている可能性が挙げられる (Koizumi et al. 2013¹¹⁾)。対照的に、底生魚は定着性が強い種も多く、洪水などの攪乱時の支流への避難とその後の回復過程は、遊泳魚に比べて遅れると予想される。また、それら定着性の高い種群は、洪水によってその生息場から一度いなくなると、局所的な個体群絶滅につながる可能性があるだろう。

分断化の影響が遊泳性と底生性によって異なることは、Perkin et al. (2015)¹²⁾ でも報告されているが、その際に生息域の指標自体を変える必要があることが本研究から新たに示された。そのため、今後ダムが建設される際や、すでにダムが建設された河川で魚類の保全を考える際は、評価対象種の生態的特性に応じて、考慮すべき生息域の範囲が異なることに注意する必要があるだろう。また、本解析では、群集レベルでの応答を検証したが、実際には種ごとに生息可能な範囲や環境も異なるため、今後は、種ごとの検証や、体サイズなどの詳細な生態的特性と生息域サイズとの関係性を明らかにするとともに、各魚種の個体群維持に必要な生息域サイズの解明を行う予定である。加えて、分断化からの経過年数との関係性を調べることで、孤立個体群における長期的な動態を明らかにしていく。

参考文献

- 1) Begon M., Harper J.L. & Townsend C.R. 生態学 個体・個体群・群集の科学 (監訳 堀道雄), 京都大学学術出版会, 京都, 2003.

- 2) Liermann C.R., Nilsson C., Robertson J. & NG R.Y., Implications of dam obstruction for global freshwater fish diversity. *BioScience*, 62, 539–548, 2012
- 3) Hildebrand B.H. & Kershner J.L., Conserving Inland cutthroat trout in small streams: How much stream is enough? *North American Journal of Fisheries Management*, 20, 513–520, 2000.
- 4) 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 odel. *Ecological Modelling*, 155, 85–94, 2002.
- 5) Young M.K., Guenther-Gloss P.M. & Ficke A.D., Predicting cutthroat trout (*Oncorhynchus clarkii*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62, 2399–2408, 2005
- 6) Sato T. & Harada Y., Loss of genetic variation and effective population size of Kirikuchi charr: Implications for the management of small, isolated salmonid populations. *Animal Conservation*, 11, 153–159, 2008.
- 7) 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, 17–28, 2010.
- 8) Perkin J.S. & Gido K.B., Stream fragmentation thresholds for a reproductive guild of Great Plains fishes. *Fisheries*, 36, 371–383, 2011.
- 9) Hoagstrom C.W., Habitat loss and subdivision are additive mechanisms of fish extinction in fragmented rivers. *Global Change Biology*, 21, 4–5, 2015.
- 10) 渡辺勝敏, 高橋洋, 北村晃寿, 横山良太, 北川忠生, 武島弘彦, 佐藤俊平, 山本祥一郎, 竹花佑介, 向井貴彦, 大原健一, 井口恵一朗, 日本産淡水魚類の分布域形成史: 系統地理的アプローチとその展望. *魚類学雑誌*, 53, 1–38, 2006.
- 11) Koizumi I., Kanazawa Y. & Tanaka Y., The Fishermen were right: Experimental evidence for tributary refuge hypothesis during floods. *Zoological Science*, 30, 375–379, 2013.
- 12) Perkin J.S., Gido K.B., Cooper A.R., Turner T.F., Osborne M.J., Johnson E.R. & Mayes K.B., Fragmentation and dewatering transform Great Plains stream fish communities. *Ecological Monographs*, 85, 73–92, 2015.

DEVELOPING THE METHODS TO EVALUATE 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 : YUICHI Kayaba, YUKIO Miyagawa,
MASANAO Sueyoshi

Abstract : Dams disrupt the movement of riverine fishes and isolate fish populations above the dams. At isolated populations above dams, extinction rates are highly increased due to narrow habitat areas, low breeding opportunities and natural disturbances. In this study, we tested the relationships between species richness of swimming or benthic fishes and habitat size, and clarified what ecological traits are subject to habitat isolation by dams. As results, species richness of swimming fishes showed the positive correlations with total stream lengths including all tributaries above dams, whereas which of benthic fishes showed the positive correlations with straight stream lengths of the main stream. Thus, essential habitats required by fishes were different between swimming and benthic fishes.

Key words : ecological traits, fishes, habitat size, isolation, species richness