流水型ダム構造による河川環境変化の実態把握と連続性確保に向けた検討

研究予算：運営費交付金
研究期間：令 4～令 6
担当チーム：自然共生研究センター
研究担当者：森照貴，松澤優樹

【要旨】
流水型ダムは、河川の連続性（土砂輸送、生物移動）を阻害しない環境配慮型ダムとして注目されている。既設の流水型ダムにおいて連続性確保に向けた様々な対策が行われているが、堤体下部における暗所や副ダムによる生物の移動阻害など、生態系への影響は不明な点が多い。本研究では、魚類の移動に対する暗所の影響を評価するための野外操作実験を実施した。実験の結果、暗所と明所を選択的に通過できる場合にはほとんどの魚類が明所を通過した。また、100m の暗渠において、アユの通過実験を実施した際には約 4 割の個体が暗渠を通過することができた。よって、影響の程度には魚種間で差が見られたものの、多くの魚種にとって暗所は移動を阻害する可能性が示唆された。今後、魚類の移動を妨げない低照度の程度を明らかにするとともにライトの設置による移動阻害の緩和効果についても検証を進めていくことが重要だろう。
キーワード：環境影響評価、魚類の移動、光条件の影響

1. はじめに

IPCC 第 6 次評価報告書によると，現在進行している地球温暖化は人間活動による影響が大きいことが示されており，今後さらに気温が上昇し気候の極端化が頻発する，もしくは強度が増すことが予想されている[1)]．現在は産業革命以前と比較して極端な高温が観測される確率や豪雨が発生する確率が大きく上昇しているといわれている. このまま気温の上昇が続いた場合，気候の極端化による水害や干ばつ，利用可能な水資源の減少，生物多様性の損失等の様々な悪影響が予想されている．実際に日本においても洪水や土砂災害を引き起こす大雨や短時間強雨の回数の増加が観測されている。そのため、降雨強度の増大に対する治水対策の強化は必要不可欠である。治水対策の方法として、一般に堤防の強化や河床掘削、ダムの建設等の方法があるが費用や環境面の負担が大きい。そこで近年，環境負荷を軽減しながら気候変動によるリスクや損失を軽減するアプローチが進められている．例えば，沿岸湿地帯を再生することにより，海と市街地の緩衝地帯を設け，暴風や高波の被害を緩和する取り組みや霞堤や越流堤による氾濫原の遊水地としての多面的な活用などが挙げられる．一方で、湿地帯の再生や遊水地の造成には対象流域内の河道近接地に土地を確保するのが困難な場合が多い[2)]。そこで河道内に建設が可能かつ環境への負荷が少ない治水専用のダムとして流水型ダムの建設が全国で進められている。

流水型ダムは、通常の貯留型ダムと異なり河床部に放流設備を有し，平常時には水を流下させ，洪水時にのみ貯留する治水専用のダムである。このような構造から平常時には水質の変化はほとんどなく、魚類等の生物の移動や土砂輸送など河川の連続性が確保しやすい。さらに平常時には貯留域を公園等として一般利用も可能であることから環境配慮型ダムとして注目されている[3)]。

一方で、大ダムサイズの流水型ダムの建造事例は国内外通して少なく、既設ダムは 5 基のみと事例が圧倒的に不足している。加えて、ダムに関する環境影響評価手法（平成 12 年「ダム事業における環境影響評価の考え方」）は、主に貯水型ダムを想定しており、流水型ダム特有の環境影響の実態把握が求められている。

流水型ダムが生物の移動を阻害する要因として大きく物理的要因と光要因の影響が考えられる。物理的要因としては、放流設備の流速や粗度といった水理条件によるものや減勢工と下流河床の間や放流口と減勢工の間等に生じる落差による影響が考えられる。放流設備部分は河道幅が狭まることで流速が増加するため遊泳能力の乏しい魚種の移動を阻害することが考えられる。一方で、光要因による影響は不明な点が多く、昼行性種や夜行性種のような各魚種の生態によっても影響が異なることが予想される。本研究では、魚類に対する暗所の移動について文献調査と野外実験を実施し

図 1　片側暗渠河川の様子

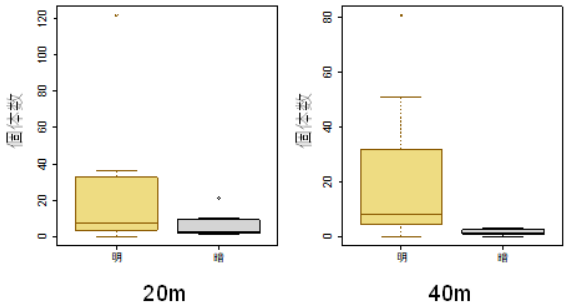

図 2　定置網で捕獲された魚類の個体数

た。

2. 魚類の移動に対する暗所の影響

流水型ダムの放流設備部分や道路と河川が交差する部分に設けられるカルバート、暗渠河川等の構造物が作る「暗所」は魚類等の生き物の移動を阻害する可能性がある。例えば、オレゴン州の 1 万本のカルバートを調査した結果、半分以上のカルバートでサケ稚魚の移動に障害が生じていたことや [4]、フェリーターミナル等の桟橋の影がサケ幼魚の回遊を妨げる可能性も報告されている [5]。さらに、暗所の長さが魚類の移動に及ぼす影響の違いを調査した研究もある。河川と道路の交差部分にある長さの異なる 3 本のカルバートにおける魚類の移動を調査した結果、魚種を問わずカルバートが長いほど移動が阻害される傾向が示された [6]。

魚類の移動に対する暗所の影響は多く報告されていることから、ワシントン州の魚道ガイドラインにおいて、光強度は魚類が河川構造物を通過するかどうかを決定する重要な要素であることが記されている。また、アメリカ合衆国運輸省のカルバート設置に関するレポートにおいても、暗渠区間が長くなる場合にはライトを設置することの必要性が記されている。さらに海洋大気庁のカルバートの指針においては、150 フィート（約 45m）以上のカルバートでは照明の設置を検討すべきであり、その際には光源の間隔を 75 フィート（約 23m）以下にすべきであり、急激な照明の切り替えを避けるべきとされている。このように、暗渠構造物における光条件は魚類の移動にとって大きな影響を与えることから、アメリカでは構造物内にライトを設置する等の対策を指針やガイドラインに明記している事例は多い。

一方で、暗所は魚類の移動に対して影響しないと報告している事例もある。例えば、ニュージーランド国立水・大気研究所（NIWA）の報告では 200m 前後の暗所は魚類の移動に影響しないと記されており、また回遊魚に対する光の影響は小さいとされている。さらに、約 80m のパイプを用いた通過実験において、対象とした 4 種のサケ科魚類すべてがパイプを通過することが確認されている [7]。ただし、この実験では、パイプ内に照明がある場合、魚類の通過時間が短縮される傾向も示された。よって魚類は暗所を通過することが可能である場合が多いものの、暗所が通過行動に一定の影響を及ぼす可能性が考えられる。また、魚類が暗所を忌避する反応は種特異的であり、暗所に対する応答は魚種によって異なるとされている [8]。よって暗所に対する影響の程度や応答は魚種によって異なるだろう。

以上の知見から、魚類は暗所を通過する際に何らかの影響を受けており、その影響の程度は魚種によって異なることが示唆された。今後、建設が進むと考えられる流水型ダムの環境影響を適切に評価するためにも、日本に生息する魚類の光条件に対する応答を明らかにする必要がある。さらにサンショウウオやシカ等、魚類以外の生物も移動阻害を受けていることが報告されており [4]、今後、魚類以外の生物に対する影響の評価も必要だろう。

3. 野外実験

3.1　通過経路の選択実験

自然共生研究センターの実験河川において、流路の半分を人工的に完全暗所にした河川を作成し、魚類が遡上の際に暗渠側と暗渠なし側（開放側）のどちらを通過するのか実験した（図 1）。調査区間は 20m と 40m の 2 条件を設定し、暗渠の長さによる影響も評価した。調査区間の上流部に暗渠側と開放側それぞれに定置網を設置することで調査区間を遡上する魚類を捕獲した。各条件において 8 日間、定置網を設置した。調査期間中の毎朝 9 時～11 時の間に定置網を回収し、定置網は魚類を回収した後に再度設置した；20m（2023 年 8 月 30 日～9 月 6 日）、40m（2023 年 9 月 11 日～9 月 18

表 1　暗渠側と開放側を通過した魚種および各魚種の個体数

	明るい側	暗渠側
オイカワ	109	19
フナ属	6	5
カネヒラ	17	12
タモロコ	11	2
タイリクバラタナゴ	1	0
ナマズ	3	0
ドジョウ	8	1
トウカイコガタスジシマドジョウ	49	4
カムルチー	2	0
カマツカ	3	4
ニシシマドジョウ	0	1
モツゴ	0	1

20m

	明るい側	暗渠側
オイカワ	150	4
フナ属	0	1
カネヒラ	10	5
タモロコ	1	0
タイリクバラタナゴ	0	0
ナマズ	1	1
ドジョウ	1	0
トウカイコガタスジシマドジョウ	4	0
カムルチー	1	0
オオクチバス	0	1
ニホンウナギ	0	1
カワヨシノボリ	1	0
コイ	1	0

40m

日）。採捕した魚類は種類と体長を記録した。

調査の結果、20m の条件では、開放側で 209 個体、暗渠側で 49 個体の魚類を採捕した。40m の条件では、開放側で 169 個体、暗渠側で 13 個体の魚類を採捕した（図 2）。開放側では、20m の条件と比較すると個体数は減少するものの、40m の条件でも多くの魚類が通過していた。一方で、暗渠側は開放側と比較して通過個体数が少なく、距離が長くなるほど通過個体数が減少した。出現した魚類の総種数は開放側で多く、また 20m の条件で多かった（開放側：10 種 (20m)、9 種 (40m)　暗渠側：9 種 (20m)、6 種(40m)）。以上の結果から、魚類が遡上の際に暗渠区間と開放区間を選択可能な状況においては、開放区間を通過する魚種が多い傾向が認められた。また、暗渠の距離が長いほど通過できる魚種が減少していることから、暗所の距離が長くなるほど、より多くの魚種がその影響を受ける可能性があるだろう。

魚種ごとの傾向を見てもほとんどの魚種は距離に関わらず、多くの個体が開放側を通過していた（表 1）。最も採捕個体数の多かったオイカワは、開放側を通過する個体数が顕著に多かった。オイカワは平瀬のような開けた空間を好む傾向がある。そのため、物陰に隠れるような性質を持つ魚種と比べても暗所の影響を受けやすかったことが推察される。夜行性であるナマズにおいても開放側を通過した個体が多かった。一般的に夜行性の魚類は暗所の影響を受けにくいとされているが [9]、本実験で通過したナマズの個体数は合計で 5 個体のみであった。今後、夜行性魚種への影響を適切に評価するためにもより多くの個体で検証する必要があるだろう。一方で、カネヒラやフナ属は開放側を通過した個体数が多かったものの、暗渠区間を通過した

図 3　暗渠の様子

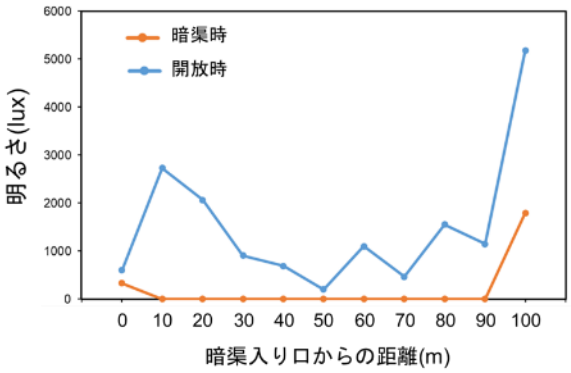

図 4　暗渠内の照度

個体も比較的多く確認された。魚類の暗順応にかかる時間は魚種により異なるとされており [9]、これらの魚種が暗所に対する光ストレスを受けにくい種であったことが考えられる。

3.2　アユの遡上における暗所の影響

本研究では、自然共生研究センターの実験河川において、100m の暗渠区間を作成し（図 3）、アユが暗渠区間を遡上できるのか実験した。実験は、暗渠期間と開放期間を 3 日ずつ設け、3 繰り返し実施した（暗渠期間：6 月 12 日～14 日、7 月 2 日～5 日、7 月 9 日～11 日、開放期間：6 月 18 日～20 日、6 月 25 日～27 日、7 月 17 日～19 日）。各実験で調査区間の下流端にアユを 43 匹放流し、暗渠区間の直上流部に設置した定置網により遡上するアユを捕獲した。定置網は毎朝 8 時半～9 時の間に回収し、捕獲されたアユの個体数と各個体の体長を記録した。次の実験を開始する際に調査区間内にアユが残らないように各実験の間に実験河川の水抜きを実施した。また、実験区間において、10m おきに照度計を設置し、暗渠内の照度を計測した。暗渠期間の照度は暗渠の入り口の照度計を除きほぼ 0lux の完全暗所であった。開放期間は水草や河畔林による影響でばらつきがあるものの、すべての地点で 200lux を下回らなかった（図 4）。

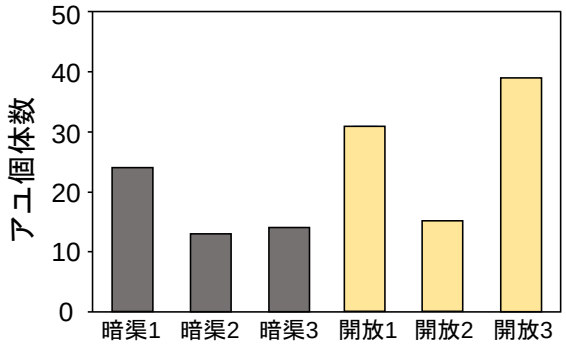

図 5　暗渠を遡上したアユの個体数

実験の結果、開放期間に暗渠期間より多くのアユが遡上し、昼行性であるアユの遡上に暗所が影響している可能性が示唆された（図 5）。ただし、暗渠期間でもある程度は通過しており、開放期間との差は 25%ほどであった。回遊魚の遡上における暗所の影響は小さいとされており [10]、アユのように季節的に流程分布が変化する回遊魚の遡上には天候や季節、水温、水理条件も大きく影響していることが考えられる。特に冷水性魚類であるアユの流程分布は水温の影響を大きく受けていることからも、実際の河川において、夏季のように水温が高くなる時期には水温による生理的な制約が強く働くことで、暗所の影響が相対的に小さくなる可能性も考えられる。一方で、本実験において、実験河川の水温は地下水を流入させることでアユの生息可能範囲内の 24℃前後に保たれていた。さらに、アユは主に付着藻類を採食することから、光の入らない暗渠内では十分な採餌が困難であることが想定される。これらの要因を踏まえると、本実験において回遊魚であるアユの遡上に対して暗所の影響が認められたのは、水温条件や採餌環境など、複数の要因が関与した結果であると推察される。

4. まとめ

本研究では、魚類の暗所に対する影響を評価するための文献調査および野外実験を実施した。暗所は魚類の移動に対して影響を及ぼすものの、その程度は魚種によって異なることに加えて、光条件以外の環境要因にも左右されることが示唆された。本実験では 3 日～8 日の短期間における暗所の影響を評価したが、暗所による長期的な影響についても評価する必要があるだろう。例えば、暗渠上流側への遡上阻害が長期間続くことで、暗渠上流側の生態系や群集構造の変化等が想定される。また、回遊魚であるアユにおいては、100 m の暗渠が遡上行動に一定の影響を及ぼすものの、約 4 割の個体が遡上できたことを確認した。今後、魚類の遡上を実際に阻害する暗渠の長さや構造を明らかにすることも重要な課題である。

また、流水型ダムの環境影響の評価において、光条件に加えて、水理条件についての検討も必要だろう。遊泳能力の低い底生魚や小型魚が通過できる流速の検討や大型魚が通過できるだけの水深の確保等、対象河川に生息する魚種の特性に応じた設計を進めていくことが求められる。

引用文献

1) IPCC：Climate Change 2021: The Physical Science Basis, Cambridge University Press, 2021 https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/
2) 池田駿介・小松利光・角哲也：流水型ダム、技報堂出版、東京、8、2017
3) 角哲也：流水型ダムの歴史と現状の課題、水利科学、332、12-32、2013
4) Hotchkiss, R.H., Christopher M.F: Design for fish passage at roadway-stream crossings: synthesis report. No. FHWA-HIF-07-033, United States, Federal Highway Administration, 1-6, 2007
5) Ono, K., Charles A. S: Reducing the effect of overwater structures on migrating juvenile salmon: an experiment with light, Ecological Engineering, 71, 180-189, 2014
6) Kozarek, J., Hatch, J., Mosey, B: Culvert length and interior lighting impacts to Topeka Shiner passage (No. MN/RC 2017-44), Minnesota. Dept. of Transportation, Research Services & Library, 2017
7) Slatick, E: Passage of adult salmon and trout through pipes, 592, US Fish and Wildlife Service, 1970
8) Jones, M.J., Baumgartner, L.J., Zampatti, B.P., Beyer, K: Low light inhibits native fish movement through a vertical‐slot fishway: Implications for engineering design, Fisheries management and ecology, 24(3), 177-185, 2017
9) Jones, M.J., Robin, H: Using knowledge of behaviour and optic physiology to improve fish passage through culverts, Fish and Fisheries, 21(3), 557-569, 2020
10) Boubee, J., Jowett, I., Nichols, S., Williams, E: Fish Passage at Culverts: A review, with possible solutions for New Zealand indigenous species, Department of Conservation, 1999

ASSESSMENT OF RIVERINE ENVIRONMENTAL IMPACTS AND CONSIDERATIONS FOR MAINTAINING ECOLOGICAL CONNECTIVITY IN FLOOD MITIGATION DAMS

Research Period: FY2022-2024
Research Team: Aqua Restoration Research Center
Author: MORI Terutaka
MATSUZAWA Yuki

Abstract: Flood mitigation dams have been gaining attention as environmentally considerate dams designed to preserve river continuity, including sediment transport and biological movement. While various measures have been implemented to maintain this continuity, the ecological impacts—such as the potential inhibition of fish migration by dark environments and sub-dams located downstream of embankments—remain poorly understood. In this study, field experiments were conducted to assess the effects of light conditions on fish migration. The results suggest that dark areas can inhibit migration in many fish species, although the degree of inhibition varies depending on the species. Future research should aim to identify threshold light levels that do not hinder migration and to evaluate the effectiveness of artificial lighting as a mitigation measure.

Keywords: Fish migration, Affects of light conditions, Dam impact assessment