

ダムによる水質・流況変化が水生生物の生息に与える影響に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：水環境研究グループ（河川生態）

研究担当者：萱場祐一、崎谷和貴、川西亮太

【要旨】

ダムによる水質・流況変化が水生生物の生息に与える影響を把握するため、平成 25 年度は、生息環境の要素としての流況、河床材料、水質について、広域的な分析を行った。また、中部地方のダムの現地調査により、水生生物の食物網に対する影響についても検討した。この結果、ダム下流では流況の平滑化、河床の粗粒化等が生じていること、水生昆虫の生物量が変化しており、その捕食者の生物量にも影響を与えていることが示された。キーワード：ダム、上下流区間、流況、河床材料、水質、炭素安定同位体比

1. はじめに

ダムは、治水、利水等の目的で流水を貯留し、また、同時に土砂をかん止する。これらによる流況の変化、水質の変化、土砂供給の減少は、河川にすむ生物の生息環境を変化させるため、ダム上下流で底生動物の生息量や構成が変化することが知られている¹⁾。また、その影響は、食物網を通して陸上の生物も含めた捕食者に影響する可能性もある。

ダムの建設等にあたっては環境影響評価（環境影響評価法（平成九年六月十三日法律第八十一号））が実施されており、また、ダム等の管理に係るフォローアップ制度（「ダム等の管理に係るフォローアップ制度の実施について（平成 14 年 7 月 24 日国河環第 32 号）」）等によって、ダム完成後も定期的に環境を含めたモニタリングが行われている。さらに、下流河川の維持流量確保等を目的に、ダム水環境改善事業等が実施されているダムもある。しかし、水域生態系全般への影響を評価する技術が確立していないため、環境影響の把握が十分に行われていない可能性があり、また、環境影響の緩和策も、ある側面のみをとらえたものにならざるを得ないのが現状である。

このため、本研究では、ダム管理やダムの環境影響評価に活用できるような新たな指標の提案を目指し、ダムによる水質・流況変化が下流の水生生物へ及ぼす影響について研究している。

平成 23 年度は、ダム上下流の底生生物に係る広域データの整理を行い、上下流の傾向を分析した²⁾。平成 24 年度は、水質のデータも加味し、季節ごとのダム上下流の傾向を分析した³⁾。

平成 25 年度は、水質について分析を深めるとともに、

流況、河床材料についても加味し、広域的な分析を行った。また、中部地方のダムにおいて、ダム上下流区間の現地調査を実施し、河床材料の変化について分析するとともに、水生昆虫とその捕食者に関する炭素安定同位体比の分析により、食物網への影響についても検討した。

2. ダム上下流の流況変化

2.1 方法

本調査では、全国のダムで分析するに先だって、手法の適用性を確認するため、融雪出水等の特徴をもつ北海道地方および台風による出水や湯水等の特徴をもつ四国地方の 2 つの地方に着目した。これら地域の国土交通省、水資源機構が管理するダムのうち、上下流で 10 年以上の継続的な流量データが得られたダムを対象とした。各ダムの流入量および放流量データを収集、整理した結果、北海道地方で 13 ダム、四国地方で 9 ダムが対象として含まれた。IHA (Indicators of Hydrologic Alteration)⁴⁾ を用い、流入量、放流量の日平均データから 33 の指標をダムごとに各年で算出した（指標については、図 2-1 を参照）。33 の指標の内、「高(低)流量パルスの回数(日数)」とは、対象としたデータの中央値から±25%を閾値として、上回るまたは下回る回数または日数を示す。「基底値 (Base flow index)」は 7 日移動平均流量の最小値を年平均流量で割った値である。「上昇度 (下降度)」は、連続する 2 日間の流量の増加量 (減少量) の中央値である。

「増減回数 (Number of hydrologic reversals)」は流量が増加または減少に転じる変化点の数であり、値が大きいほど流量変動が激しいことを示す。また、「ユリウス日」とは各年 1 月 1 日からの日数であり、12 月 31 日は 365

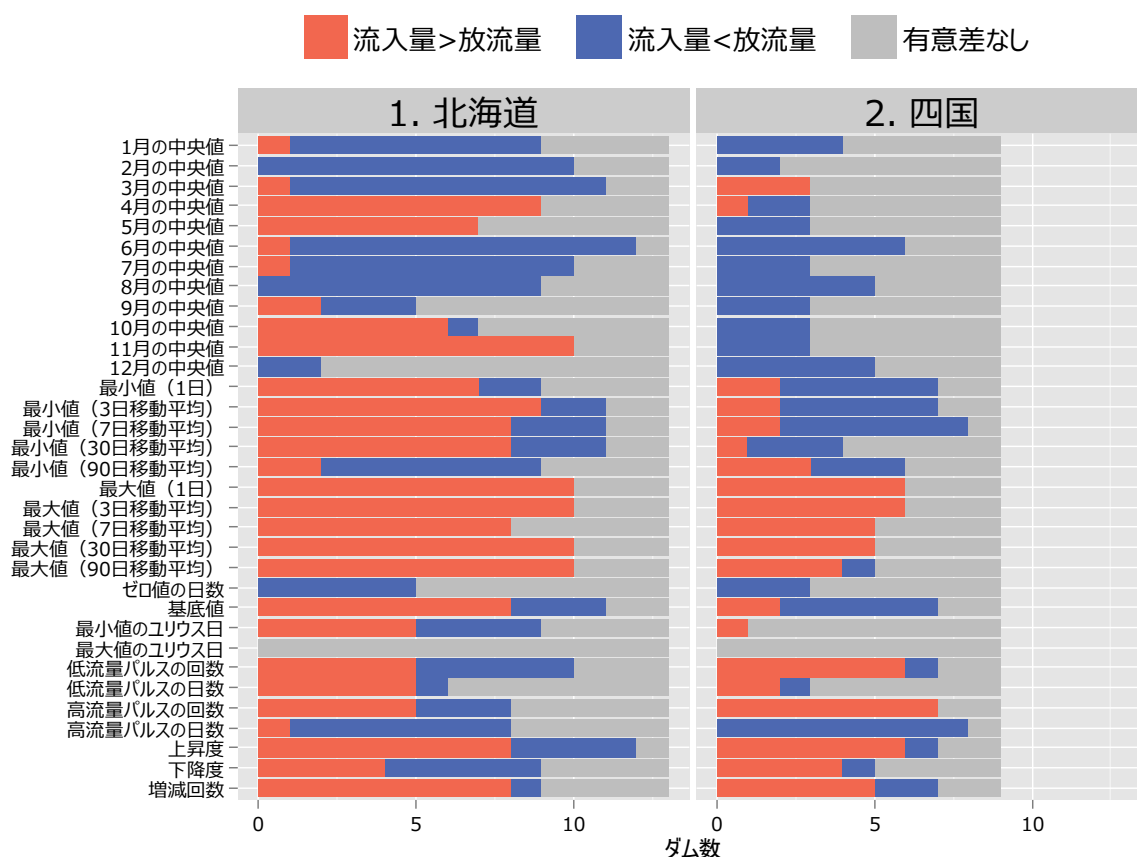


図 2-1 ダム流入量、放流量に対する IHA33 指標の変化の集計結果

(閏年は 366) となる。33 指標の、流入と放流の変化を調べるため、対応のある t 検定を適用した。なお、有意水準は、5%とした。

2. 2 結果と考察

各ダムの指標ごとの t 検定結果を、放流量のほうが有意に高い値を示したダム、放流量のほうが有意に低い値を示したダム、有意な差が見られなかったダムのそれぞれで集計した(図 2-1)。

北海道地方のダムの月別中央値を見ると、冬季や夏季に放流量のほうが高い値を示す傾向にあった。これは、河川維持用水や利水目的で補給操作を行っているためと考えられる。その一方、春季の 4~5 月および秋期の 9~10 月に放流量のほうが低い値を示す傾向にあった。また、値がゼロとなる日数は、半数近くのダムで放流量のほうが高い値を示す傾向にあった。これは融雪出水や降雨にともなう洪水調節によるものと考えられる。なお、最大値のユリウス日は、すべてのダムで有意差が見られなかったことから、データを確認したところ、両者のタイミングは大きくずれていなかった。

四国地方のダムの月別中央値を見ると、半数以上のダムで流入量と放流量との間に有意な差は見られなかった。有意な差が見られたダムでは、3月、4月を除いて、放流量のほうが高い値を示した。これは、ダムへの貯留の時期は各年で変動するが、補給操作は年間を通じて行っているためであると考えられ、渇水傾向にあることが表れているものと考えられる。年間の最小値については、放流量のほうが高い値を示す傾向にあるが、これは、河川維持用水や利水目的で補給操作を行っているためと考えられる。

両地域において共通して見られた傾向としては、放流量のほうが、上昇度および高流量パルスの回数が低い値を示し、高流量パルスの日数が高い値を示す傾向にあることである。これは、いわゆる流況の平滑化である。

以上より、ダムが河川の流況特性に与える影響としては、地域間で共通するものとして流況の平滑化があるものの、異なるものも多かった。これには融雪出水や梅雨、台風といったその地域が有する固有の気候や土地条件によって生じる自然流況 (natural flow regime) ⁵⁾ とそれ

に対するダムとの運用が関連しているものと考えられ、ダムによる流況への影響を考える上では、これらを考慮する必要がありと思われる。

3. ダム上下流の水質の変化

3.1 方法

平成24年度に収集した、国土交通省および水資源機構が管理するダム上下流の水質データをもとに、分析を行った。ダム上流側のデータは、複数の流入河川で得られている場合があったため、各流入河川でダム湖に最も近いものを採用し、GISを用いて計算した各観測地点の流域面積による加重平均をとった。ダム下流側のデータは、ダムの放流口に最も近いものを採用した。

各データは、月ごとに平均をとった上で、2.1.1と同様、各調査地点における流域面積(Ax)と対象ダムの流域面積(Ad)に対して、上流側は $0.6 \leq \sum Ax/Ad$ 、下流側は $Ax/Ad \leq 1.4$ を満たし、上下流ともにデータがあるもののみを採用した。なお、データに含まれるダム数は75となった。

まず、各ダムのデータを春(3~5月)、夏(6~8月)、秋(9~11月)、冬(12~2月)に分け、各水質項目について、上下流の相関係数を算出した。水質項目は、水温、生物化学的酸素要求量(BOD)、浮遊物質・懸濁物質(SS)、溶存酸素濃度(DO)、全窒素(T-N)、全リン(T-P)、クロロフィルa量(chla)とした。

次に、ダムによる上下流での水温変化を評価する手法を検討するため、水温について詳細に分析することとした。あるダムの上下流の水温の散布図を図3-1に示す。

概ねどのダムも、冬期の左下から反時計回りに回る楕円状となった。このため、最小2乗法により、平均値を中心とする楕円で近似することとした。具体的には、次式を最小化するように係数A, B, ..., Fを計算した。⁶⁾

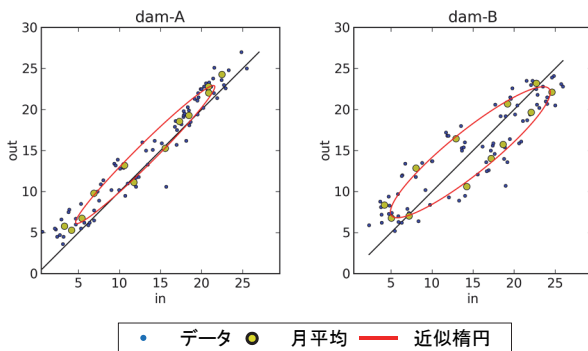


図3-1 水温の上下流関係

$$J = \frac{1}{N} \sum_{\alpha=1}^N (Ax_{\alpha}^2 + 2Bx_{\alpha}y_{\alpha} + Cy_{\alpha}^2 + 2f_0(Dx_{\alpha} + Ey_{\alpha}) + f_0^2 F)^2$$

ただし、

N: データ数

x_{α} : ダム上流側水温, y_{α} : ダム下流側水温

$$AC - B^2 = 1$$

3.2 結果と考察

相関係数の階級ごとにダム数を整理した(図3-2)。

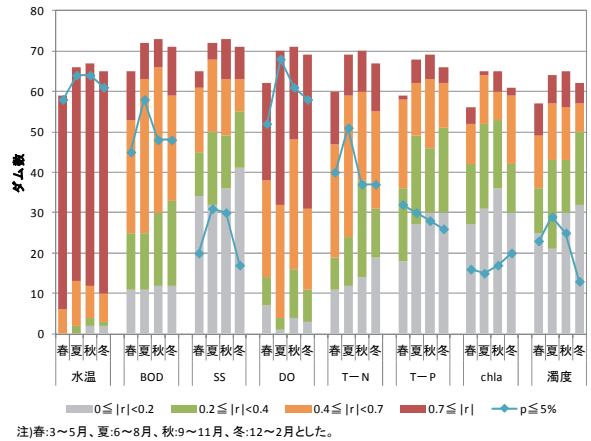


図3-2 水質と各ダムの相関係数

水温は、相関係数が0.7以上となるダムが80~90%であり、大部分のダムで高い相関を示した。DOは、相関係数が0.4以上となるダムが77~94%であった。飽和溶存酸素量は水温に関係しており、上下流ともにDOは、ほぼ飽和状態にあったことが要因であると考えられる。相関係数が0.4以上となるダムの割合を見ると、T-Nは46~68%、BODは54~65%で、ほぼ半数のダムでやや相関が見られたが、T-Pは23~39%、濁度は19~37%、SSは23~33%、chlaは18~31%となっており、やや相関の見られるダムも多くはなかった。

次に、水温について、最小2乗法による近似で得られた楕円の傾きと短径を図3-3に示す。両者には、やや右肩下りの傾向が現れた。反時計回りの楕円状になった

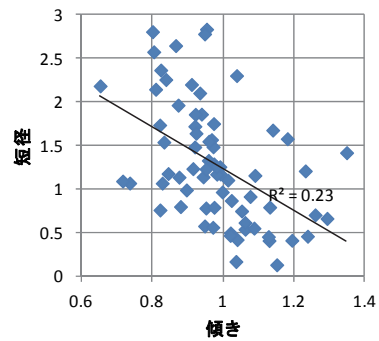


図3-3 上下流水温の楕円近似

ことは、ダム上流側の水温の変化から遅れて下流側が変化する特徴があることを示している。楕円の短径、傾きは、この特徴を単純化して捉えることができるもので、水温に対するダムの影響を、季節変動も考慮しつつ把握できるものと考えられる。

4. ダム上下流の河床材料の変化

4.1 広域データによる分析

4.1.1 方法

全国の国土交通省直轄ダムを対象に平成 21 年度に実施された河床材料調査のデータについて、分析を実施した。

河床材料へのダムの影響を分析するためには、対象ダム以外の効果が混じったデータがある程度排除しておく必要がある。一方で、広域的な分析のためには、データ数を一定程度確保する必要がある。このため、まず、GIS を用いて国土地理院の数値標高(10m メッシュ)をもとに、各調査地点における流域面積(Ax)と対象ダムの流域面積(Ad)を計算した。また、国土数値情報ダムデータ(国土交通省)をもとに、各調査地点において、上流に位置する全てのダムで流域となる領域を算出し、和集合の面積(Au)を計算した。支川合流の影響を考慮し、 $0.6 \leq Ax/Ad \leq 1.4$ 以外の地点のデータを削除した。さらに、上流側調査地点については、対象ダム以外の影響を考慮し、 $Au/Ax > 0.1$ となるデータを削除した。

この結果、上下流ともにデータが利用できるダムは、21 ダムとなり、これらのデータからダム上下流の河床材料を比較した。

4.1.2 結果と考察

各ダムについて、粒径区分ごとに下流地点と上流地点の割合の差をとった(図 4-1)。下流側が上流側よりも小さい場合、図中でマイナスとなっている。

中央値で見ると、0.062mm~16mm の粒径区分は、上流側よりも下流側の割合が小さくなっており、32mm~512mm の粒径区分は、上流側よりも下流側の割合が大きくなっていた。また、32~256mm の粒径区分では、他の区分と比較してばらつきが大きくなっていた。

全国的視点では、土砂供給が減少する中で、流況の平滑化によって 16mm 未満の粒径の土砂が抜け落ち、河床の粗粒化が生じていること、また、抜け落ちる土砂の最大粒径は、ダムによるばらつきが大きいことが示唆された。

4.2 ダム上下流河川の現地調査

4.2.1 方法

流域面積 100km² 未満の比較的小規模なダムを対象

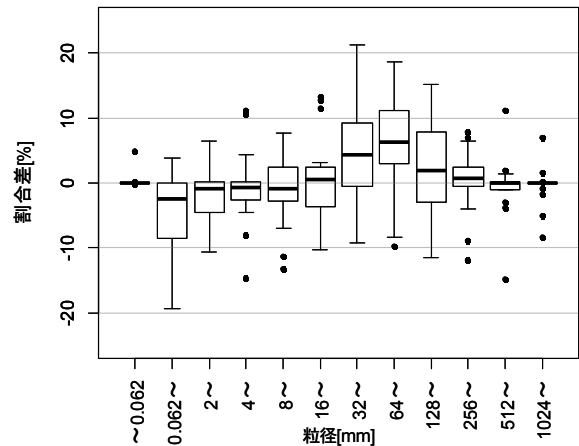


図 4-1 ダム下流河床の上流に対する粒径割合差

に、ダム上下流の瀬で河床材料調査を実施した。また、比較のため、ダムの影響がほとんどない区間(4.1.1 の Au、Ax に対して $Au/Ax \leq 0.1$)でも調査を実施した。調査対象ダム及び調査地点について、表 4-1 に示す。

表 4-1 現地調査地点

ダム名 完成年度	水系名 河川名	調査 地点	上流ダム 流域面積 [km ²] Au	対象ダム 流域面積 [km ²] Ad	調査地点 流域面積 [km ²] Ax	Au /Ax	Ax /Ad
小里川 2003	庄内川水系	上流	3.5	55.9	47.0	7%	84%
		下流	-	55.9	59.2	-	106%
阿木川 1990	木曾川水系	上流	0.0	82.3	36.1	0%	44%
		下流	-	82.3	83.3	-	101%
君ヶ野 1971	雲出川水系	上流	0.0	79.3	68.5	0%	86%
		下流	-	79.3	79.4	-	100%
上津 2000	淀川水系	上流	0.0	18.2	7.5	0%	42%
		下流	-	18.2	18.6	-	103%
-	庄内川水系	上流	0.4	-	4.6	9%	-
		下流	2.2	-	40.7	5%	-

河床材料調査は線格子法⁷⁾で実施した。河川の横断方向に測線を配し、50cm 間隔で 100 地点の河床表層の砂礫の中径を計測した。川幅が狭く計測が 100 点に満たない場合は、2m 程度下流側に新たな測線を設け、データを追加した。

4.2.2 結果と考察

調査結果を図 4-2 に示す。また、2.1.2 と同様に、下流地点と上流地点の割合差をとり、図 4-3 に示した。

上下流の粒径割合の差を見ると、阿木川ダム、君ヶ野ダムでは、概ね 64mm 未満の各粒径区分で割合が減少していた。また、小里川ダムは 8~32mm の割合が増加し、上津ダムは、2~8mm の割合が増加していたものの、0~64mm の合計で見ると、小里川ダムは 25%減少し、上津ダムは 8%減少していた。なお、比較のために設定した土岐川の上下流区間では、0~64mm の合計は 4%増加していた。

いずれのダムでも粗粒化の状況が見取れたが、比較的古いダムで顕著であった。

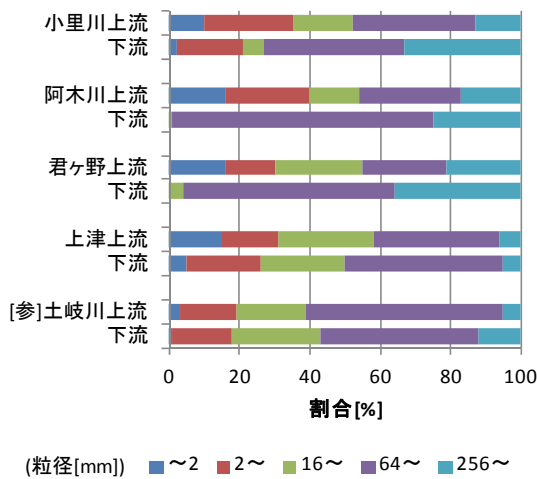


図 4-2 現地調査地点の河床材料

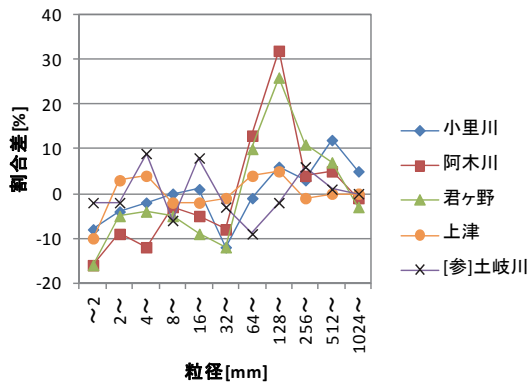


図 4-3 現地調査地点の上下流粒径割合差

5. 餌資源利用

5.1 方法

2.2.1 で示したダムを対象に、ダム上流と下流の河川で底生魚類（ヨシノボリ類）及びクモ類、餌資源である水生昆虫と陸上昆虫を採集し、炭素安定同位対比等を測定した。

炭素安定同位体比（ $\delta^{13}\text{C}$ ）は、試料を 60°C で乾燥後、粉末化し、元素分析計を接続した質量分析計で測定した。クモ類及び底生魚類（ヨシノボリ類）の餌資源利用は、次式：

$$f = \frac{\delta_M - \varepsilon - \bar{\delta}_B}{\bar{\delta}_A - \bar{\delta}_B}$$

を用い、調査地ごとに算出した。ここで、 f は水生昆虫の利用割合、 δ_M はクモ類または底生魚類の炭素安定同位体比（ $\delta^{13}\text{C}$ ）、 $\bar{\delta}_A$ は各調査地の水生昆虫の平均炭素安定

同位体比（ $\delta^{13}\text{C}$ ）、 δ_B は各調査地の陸上昆虫の平均炭素安定同位体比（ $\delta^{13}\text{C}$ ）、 ε は摂食過程における同位体分別（1.0‰）を表す。

5.2 結果と考察

底生魚類の水生昆虫利用は、ダムの上流と下流で有意差はなく、90%以上が水生昆虫に依存していた（図 5-1）。

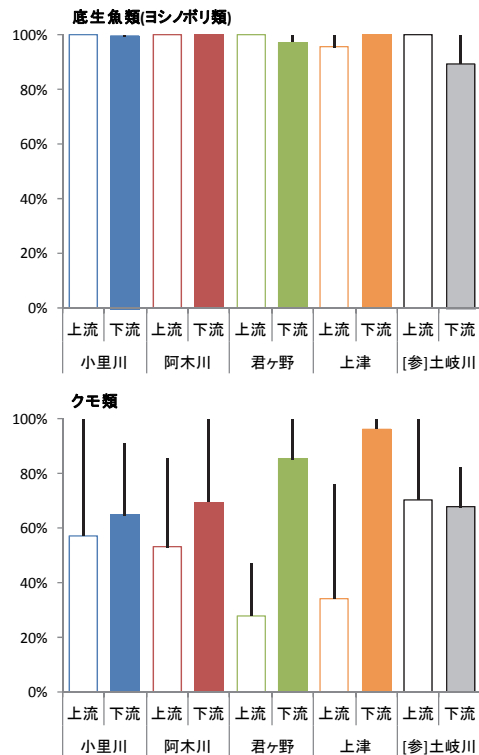


図 5-1 ダム上下流における底生魚類とクモ類の水生生物利用割合

対して、陸上の捕食者であるクモ類は、ダムの上流よりも下流で水生昆虫を多く利用していた。水生昆虫の生物量は、ダム下流側で増加しており（図 5-2）、底生魚及びクモ類の個体重も、ダム下流側で増加していた（図 5-3）。

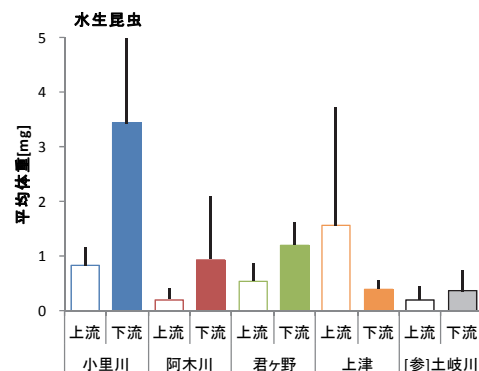


図 5-2 ダム上下流における水生昆虫の生物量

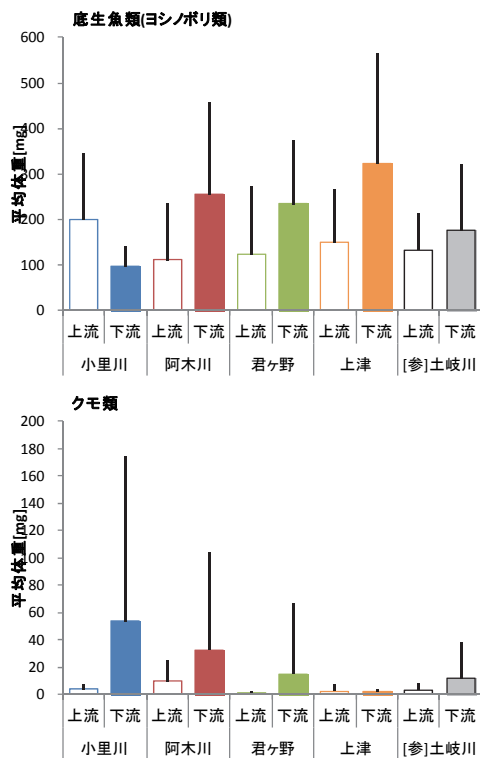


図 5-3 ダム上下流における底生魚類とクモ類の平均体重

ダム下流調査地の河床材料は、ダム上流に比べて粗粒化していた (図 4-3) が、河床材料の粗粒化は河床材料の安定性や礫間空隙を増加させるため、このような環境を選好する水生昆虫が増加した可能性がある。水生昆虫の生物量増加とともに、底生魚類及びクモ類の水生昆虫利用の機会が増え、成長に寄与したものと考えられる。

6. まとめ

本研究では、ダムによる生物への影響を把握するため、生息環境の要素としての流況、河床、水質について分析した。また、底生生物の餌資源としての役割を捉え、ダム周辺の生態系への影響についても分析した。

流況については、IHA を用いることで、比較可能な指標を求めることができた。また、この指標を用いた分析により、地域の自然流況の特性やダム運用による差はあるものの、概ね、流況の平滑化が生じていることが示された。

河床材料については、ダムによって大きくばらつくが、粒径が概ね 16mm 未満の土砂の抜け落ちにより粗粒化が生じていることがわかった。

水質については、水温、DO、T-N、BOD がダム上下流で相関の高いダムが多く、ダムの影響を受けている可能性

が示唆された。また、水温については、楕円近似により、指標化することができた。

水生昆虫は、ダム下流で増加していた。また、底生魚類、クモ類の平均体重もダム下流で増加していた。このことから、水生昆虫の増加によって底生魚類及びクモ類の水生昆虫利用の機会が増え、成長に寄与したことが示唆された。

ダムの存在は、流況、河床、水質等の水生生物の生息環境に影響を与え、水生生物の増減は、それを利用する陸上の捕食者等にも影響を与えると考えられる。

今回調査を行ったダムでは、水生昆虫の生物量が増加していた。しかし、粗粒化等がさらに進めば水生昆虫の生物群が単純化し生物量が減少に転じる恐れもある。生息環境の変化と水生生物の変化の関係についてさらなる評価が必要である。また、土地利用等、ダム以外の要因について考慮していく必要がある。

今後は、このような観点から調査、研究をさらに進め、ダム管理やダムの環境影響評価に活用できるような指標の提案につなげていきたい。

参考文献

- 1) 池淵周一：ダムと環境の科学 I、京都大学出版会、2009
- 2) 三輪準二、増本みどり、小林草平、赤松史一：ダムによる水質・流況変化が水生生物の生息に与える影響に関する研究、平成 23 年度土木研究所重点的研究開発課題報告書、No. 重.9、2012
- 3) 萱場祐一、増本みどり：ダムによる水質・流況変化が水生生物の生息に与える影響に関する研究、平成 24 年度土木研究所重点的研究開発課題報告書、No. 重.7、2013
- 4) Richter, Brian D., et al. "A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems." *Conservation biology* 10.4 (1996): 1163-1174.
- 5) Poff, N. LeRoy, et al. "The natural flow regime." *BioScience* 47.11 (1997): 769-784.
- 6) 岩元祐輝、プラサンナ・ランガラヤン、金谷健一：楕円当てはめの超精度最小二乗法、研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM)、2009-CVIM-168 巻 14 号、pp.1-8、2009 年 8 月
- 7) 藤田光一、富田陽子、大沼克弘、原野崇、小路剛志、伊藤嘉奈子、山原康嗣、萱場祐一：ダムと下流河川の物理環境との関係についての捉え方-下流河川の生物・生態系との関係把握に向けて-、国土技術政策総合研究所資料第 521 号、土木研究所資料第 4140 号、pp.5-24、2009 年 2 月

EFFECTS OF THE CHANGES IN WATER QUALITY AND HYDROLOGIC CONDITION BY DAMS ON RIVER BIOTA

expenses

Budgeted : Grants for operating

General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Water
Environment
Research
Group(River
Restoration)

Author : KAYABA Yuichi

SAKIYA Kazutaka

KAWANISHI Ryota

Abstract : In order to understand effects of water quality and hydrologic alterations by dams on river biota, we investigated bed materials, flow regime and water quality upstream and downstream of dams across Japan. At upstream and downstream sites of dams in central Japan, we also conducted a field survey to examine effects of dams on aquatic and terrestrial food webs. As a result, we found that downstream sites of dams have the following characteristics as compared with upstream sites: smoothed flow regime, large proportions of coarse substrates and high biomass of aquatic invertebrates. In addition, stable isotope analyses indicated that the effects of dams spill over to aquatic and terrestrial predators via food webs.

Key words : Dam, flow regime, river bed material, water quality, carbon stable isotope ratio