

## 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、中西哲、  
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 26 年度は、生息環境の要素としての流況について広域的な分析を行った。また、河川水辺の国勢調査と既往文献における魚類調査結果を比較することにより、ダムの有無とダム上下流の魚類相の関係について分析した。この結果、連続した大規模なデータである流況データを少ない指標に要約できること、ダム上下流の魚類相の違い等が示された。

キーワード：ダム、流況、河川水辺の国勢調査、魚類相

### 1. はじめに

ダムは、治水、利水等の目的で流水を貯留することで、自然河川とは異なる環境を創りだす。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<sup>1)</sup>。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<sup>2)</sup>。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<sup>3)</sup>。平成 25 年度は、水質、河床材料の広域的な分析、流況による予備的分析、炭素安定同位体比分析による水生昆虫とその捕食者に関する分析を行った<sup>4)</sup>。

平成 26 年度は、ダムによる流況変化について広域的な分析を行った。また、河川水辺の国勢調査（以下、水国とする）と既往文献における魚類調査結果を比較することにより、ダムの有無とダム上下流の魚類相の関係について分析した。

### 2. 流況に関する分析

#### 2.1 方法

国土交通省および独立行政法人水資源機構が管理するダムを対象に水文水質データベース（国土交通省）等から収集した、ダム下流観測地点における流量データ及びダムの流入量、放流量のデータをもとに分析を行った。なお、ここではデータが得られた 63 のダムを対象とした。

まず、ダム下流観測地点における流量データについて、時刻水位データ及び時刻流量データをもとに、水位-流量関係を散布図にプロットし、異常値を削除した。

次に、ダム流入量、放流量からダム下流観測地点におけるダム操作がなかった場合の流量を推定した。流量を推定する方法としては、貯留関数法等を用いた流出解析を行うことも考えられるが、全国の複数のダムで分析を行うこと、日流量を用いた分析を行うこと、対象とする地点がダム直下に位置することから、ここでは、ダム流入量から得られる比流量を用いて簡易に推定することとした。（次式）

$$Q_n = \frac{A}{A_d} Q_{in}$$

$$Q_d = Q_{out} + \frac{A - A_d}{A_d} Q_{in}$$

ここに、 $Q_n$  は、ダム操作がなかった場合の流量、 $A$  は、ダム下流の観測地点における集水域面積、 $A_d$  は、ダムの集水域面積、 $Q_{in}$  は、ダムの流入量である。また、 $Q_d$  は、ダム操作がある場合の流量、 $Q_{out}$  は、ダムの放流量である。 $Q_d$  の第二項は、ダム直下からダム下流観測地点までに流入する流量をダム流入量の比流量で表したものである。

ダム下流観測地点における実測値  $Q$  とダム操作がある場合の流量  $Q_d$  を比較し、 $Q$  と  $Q_d$  に 1:1 の関係が見られないデータを除外した結果、23 のダムが残った。これらのダムの  $Q_n$ 、 $Q_d$  の変化について、IHA<sup>5)</sup>を用いて分析を行った。

IHA(Indicators of Hydrologic Alteration)は、流量、水位、地下水水位等の日データから、水生生態系に関する水文レジームの変化を示す 33 の指標(表 1)を算定するものである。年ごとに各指標が算出され、対象期間における各指標の平均値、標準偏差等が算出される。

指標のうち、「January」(1月代表値)～「December」(12月代表値)は、各月の平均値または中央値の選択が可能であるが、ここでは中央値を用いた。「○-day

minimum/maximum」(○日間最小値/最大値)には、移動平均が用いられる。「Number of zero days」(0 値の日数)は、各年でデータが 0 となる日数を示す。「Base flow index」(基礎流れ指標)は、「7-day minimum」(7 日間最小値)を年平均流量で割ったものである。「Date of minimum/maximum」(最小値/最大値の日付)の日付には、ユリウス日(1月1日からの経過日数で、12月31日は365(閏年は366)となる)が用いられる。「Low/High pulse count」(低/高パルス回数)は、閾値(25%値(下限)及び75%値(上限))を下回る/上回る回数であり、「Low/High pulse duration」(低/高パルス継続日数)は、その日数の年間合計値である。「Rise/Fall rate」(上昇/下降率)は、連続する2日間での正/負の増減量である。「Number of reversals」(逆転回数)は、増加から減少または減少から増加に転じた回数を示す。

得られた IHA の 33 指標について、ダムによる下流河川への有意な変化があるかどうか検討を行うため、各指標の平均値ならびに標準偏差を基にした t 検定を実施し、ダム操作が無い場合とダム操作がある場合の流量を比較した。

## 2. 2 結果と考察

各ダムの 33 指標の t 検定結果を、ダム操作が無い場合と比べてダム操作がある場合に有意に増加したか、減少したか、有意差が見られなかったかの 3 区分で集計した。(図 1)

グループ	指標	仮訳
MAGNITUDE (12 指標)	January ・・・ December	1月代表値 ・・・ 12月代表値
MAGNITUDE AND DURATION OF ANNUAL EXTREME CONDITIONS (12 指標)	1-day minimum ・・・ 90-day maximum Number of zero days Base flow index	1日間最小値 ・・・ 90日間最大値 0値の日数 基礎流れ指標
TIMING OF ANNUAL EXTREME CONDITIONS (2 指標)	Date of minimum Date of maximum	最小値の日付 最大値の日付
FREQUENCY AND DURATION OF HIGH AND LOW PULSES (4 指標)	Low pulse count Low pulse duration High pulse count High pulse duration	低パルス回数 低パルス継続日数 高パルス回数 高パルス継続日数
RATE AND FREQUENCY OF CHANGE IN CONDITIONS (3 指標)	Rise rate Fall rate Number of reversals	上昇率 下降率 逆転回数

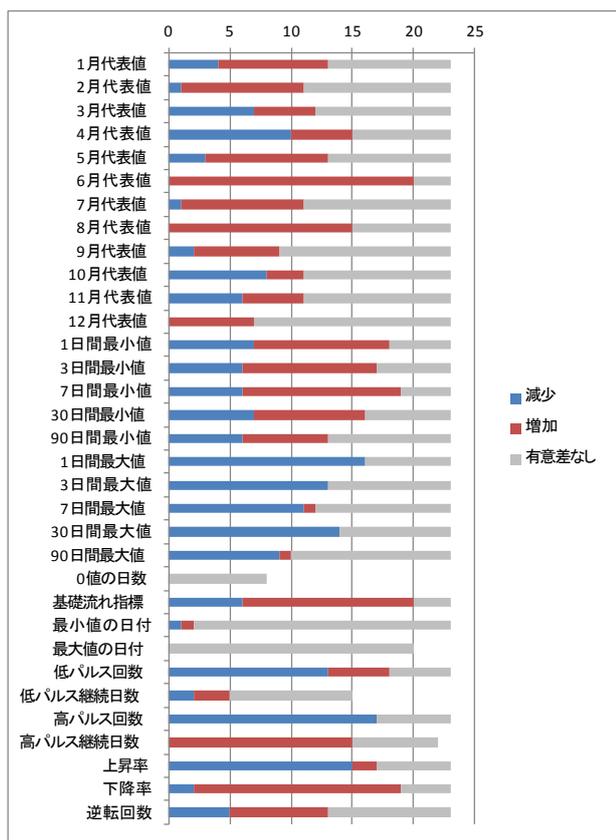


図1 IHAの33指標の比較結果

月別の中央値について見ると、有意差の見られないものが約半数となっていたが、6月は有意に増加しているものが多かった。有意差が見られたもののみで増加と減少を比較すると、1~2月、5~9月、12月は増加、3~4月、10~11月は減少が多かった。低水管理操作について見ると、増加はダムからの補給、減少はダムへの貯留を表すと考えられる。また、洪水調節操作では、一般的にダム湖への洪水流入が短期間のパルスとして生じるのに対し、その後の貯水水位の低下に伴う放流が比較的長期間にわたることから、流量の中央値は増加すると考えられる。

1~90日間の最小値、最大値について見ると、最小値は増加しているものが、最大値は減少しているものが、それぞれ多かった。最小値の増加は維持流量や利水補給による影響、最大値の減少は洪水調節操作による影響と考えられる。最大値が有意に増加したものがほとんど見られないのに対し、最小値が有意に減少したものが一定数見られたことは興味深い。

最小値、最大値をとる日付については、ダムによって出水のタイミングを変化させることはできないため、ほとんどのダムで有意差が見られないという当然の結果となった。

高パルス、低パルスの回数について見ると、どちらも有意に減少しているものが多く、これはダム下流でのかく乱強度の減少を示している。高パルスの継続日数は増加しているが、これは洪水後期の水位低下操作に伴う長期間の放流を示していると考えられる。

流量の上昇率は有意に減少しているダムが多く、下降率は有意に増加しているダムが多かった。上昇率の減少は、ダムによるピークカットのフィルタ効果を表しているものと考えられる。また下降率の増加は、貯水池の水位低下などのダムの運用によって下流河川の流量変動が増加したものと推測される。

ダム上下流におけるIHAの各指標の差異は、総じて一般的なダムによる流況のフィルタリング効果を表しているものと考えられ、ダム流況特性の指標として有効であろう。しかし、今回解析対象としたダムは22ダムではあるものの、日本全国を網羅したものであったが、降雨特性などの地域性は考慮していない。またダムからの放流に影響をおよぼすと考えられるダムの運用目的も考慮せず、ひとまとめにして解析を行った。これらの点については、流入量今後の課題である。

### 3. 魚類に関する分析

#### 3.1 方法

ダムの存在によりダム下流の物理環境が変化し、生物相が変化することが予想されるが、ダム湖の存在により、ダム上流にも変化が及ぶことが考えられる。対象となるダムが設置された河川近傍にあるダムのない河川をリファレンス河川として用いることができれば、ダム上流、ダム下流との比較が可能であろう。しかしそれらリファレンスになりうる河川は、水国の対象となっていないことから生息する生物のデータ自体が利用可能でない場合が多い。このため、ここでは魚類について水系全体等、広域的に調査がなされた安藤<sup>6)</sup>、石川県淡水魚類研究会<sup>7)</sup>、中村<sup>8)</sup>の調査結果文献を用いることで、リファレンス河川の生物データを補完し、水国の調査結果と比較検討を行った。

本検討はダム上下流の生物相とリファレンス河川の生物相との相違を計るものである。そのためリファレンス河川の選定には以下の条件を課した。1)対象ダムと同じ水系に属すること、2)ダムが存在しないこと、3)流域面積がダムの集水域面積と類似していること。ただし、ここでいう集水域面積が類似しているとはダムの集水域面積の50%~150%の範囲に収まることとした。対象としたダムは、菅沢ダム(日野川水系)、手取川ダム(手取川水系)、釜房ダム(名取川水系)である。これらのダムの竣工年は菅沢ダムが

1967年、手取川ダムが1979年、釜房ダムが1970年であり、ダム建設による下流河川環境への影響は、十分波及しているものと考えられる。上記の条件の下、リファレンス河川を選定し、本検討の対象となる魚類調査地点は、菅沢ダムでは水国調査地点がダム上下流ともに1地点ずつ、リファレンス河川が2地点であった。手取川ダムでは、ダム上流が3地点、ダム下流が1地点、リファレンス河川が7地点であった。また釜房ダムでは、ダム上流地点が3地点、ダム下流が1地点、リファレンス河川が9地点であった。

魚類データについては、まず魚種名を水国の平成26年度生物リストを用いて統一した。また魚類採捕の手法や努力量などの調査手法は、水国と文献データでは違いがあると予想される。そのため、解析には地点ごとの魚類の存在データを使用した。これらダム上下流とリファレンス河川における魚類存在データの出現種の検討を行ったのち、主成分分析を行い、魚類相の差異について解析を行った。

表2 菅沢ダム魚類存在データ

地点	ギンブナ	オイカワ	カワムツ	タカハヤ	ウグイ	モツゴ	ムギツク	タモロコ	カマツカ	シマドジョウ	ナマズ	アカザ	アユ	サクラマス(ヤマメ)	サツキマス(アマゴ)	ドンコ	カワヨシノボリ
リファレンス1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1
リファレンス2	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1
ダム下流	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1
ダム上流	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1

### 3.2 結果と考察

菅沢ダムにおける存在データを表○に示す。対象地点全体の出現魚種については、コイ科が半分以上を占める結果となった。ダム上下流で出現種数を比較すると、ダム下流11種、ダム上流10種とほぼ違いは見られなかったが、ダム上流ではサクラマスが、ダム下流ではアカザが出現し、その他コイ科の魚類でも違いが見られるなど、種構成は若干違う特徴が見られた。手取川ダムにおける出現種(表○)にも、コイ科が多く見られ、ダム上下流の出現魚種数もほぼ同じであった(上流5種、下流4種)。ダム上下流のそれぞれにしか出現しなかった魚種は、ダム上流ではサクラマス(ヤマメ)およびカジカであり、ダム下流ではサツキマス(アマゴ)であったが、これら3種はすべてリファレンス河

表3 手取川ダム魚類存在データ

地点	コイ	ギンブナ	アブラハヤ	タカハヤ	ウグイ	ワカサギ	ニッコウイワナ	サクラマス(ヤマメ)	サツキマス(アマゴ)	カジカ
リファレンス1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0
リファレンス2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
リファレンス3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
リファレンス4	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
リファレンス5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
リファレンス6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
リファレンス7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
ダム下流	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0
ダム上流1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1
ダム上流2	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0
ダム上流3	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0

表4 釜房ダム魚類存在データ

地点	スナヤツメ類	ニホンウナギ	コイ	ギンブナ	オイカワ	アブラハヤ	ウグイ	モツゴ	タモロコ	カマツカ	ニゴイ	ドジョウ	シマドジョウ	ホトケドジョウ	ギハチ	アユ	アメマス(エソイワナ)	サクラマス(ヤマメ)	ニジマス	旧トウヨシノボリ	カジカ	
リファレンス1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	
リファレンス2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
リファレンス3	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
リファレンス4	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
リファレンス5	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0
リファレンス6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
リファレンス7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
リファレンス8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
リファレンス9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
ダム下流	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
ダム上流1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1
ダム上流2	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1
ダム上流3	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1

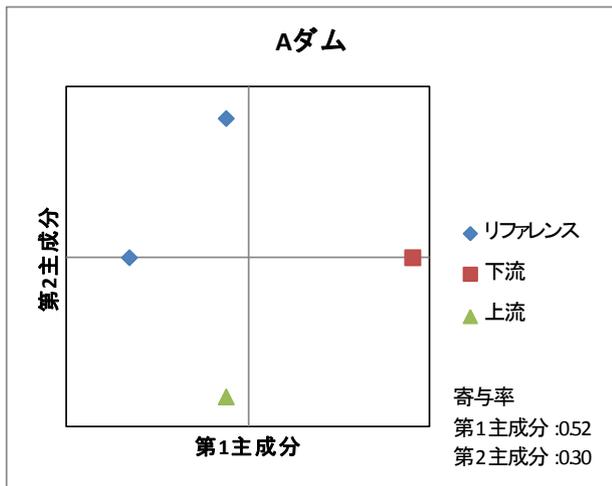


図2 主成分分析結果(菅沢ダム)

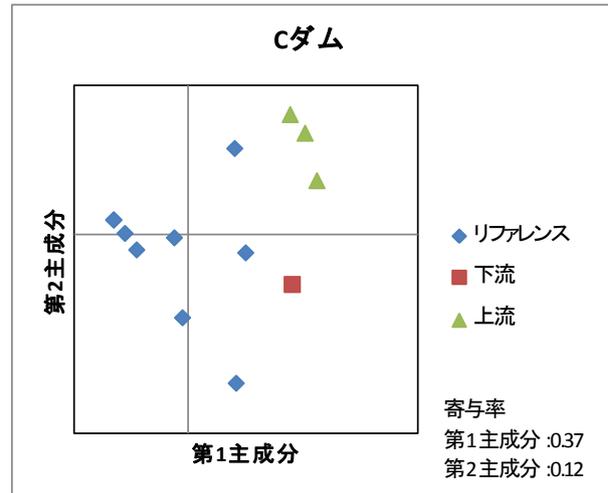


図4 主成分分析結果(釜房ダム)

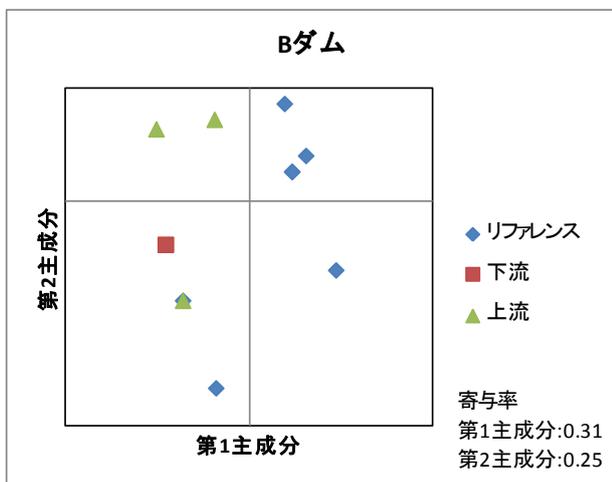


図3 主成分分析結果(手取川ダム)

川にも出現することから、ダム上下流を特徴付ける魚種ではない。釜房ダムの魚類出現種も、ダム上下流でほぼ同じであった(ダム上流 15 種、ダム下流 13 種)。ダム上流のみ出现过した種は、スナヤツメ類、コイ、モツゴ、ドジョウ、ホトケドジョウであった。ダム下流のみ出现过した種は、ニゴイ、ギバチ、ニジマスであった。ダム下流で特徴的な種として、ドジョウ類とスナヤツメ類が挙げられ、ダム上流ではギバチが挙げられよう。

魚種による座標付第1主成分、第2主成分についてプロットした結果を図2~4に示す。なお、第2主成分までの累積寄与率は、菅沢ダムが0.95、手取川ダムが0.56、釜房ダムが0.49であった。

ダム上流地点と下流地点について比較すると、菅沢ダムは、第1主成分、第2主成分ともに差がついた。手取川ダ

ム、釜房ダムは、第1主成分には大きな差がなかったが、第2主成分では差がついた。ただし、手取川ダムでは上流地点のうち1地点は、他の上流地点ではなく下流地点に近い位置にプロットされた。

ダム上下流とリファレンス河川との類似性を計るため、リファレンス河川をダム上流地点及びダム下流地点と比較した。菅沢ダムの第1主成分は、リファレンス河川がダム下流地点よりもダム上流地点に近い場所にプロットされた。第2主成分まで含めると、全ての地点が離れた位置にプロットされた。手取川ダムについて見ると、リファレンス河川はダム上流地点、ダム下流地点双方ともに、離れた位置にプロットされたものがほとんどであったが、ダム上流地点とほぼ同じ位置にプロットされたものもあった。釜房ダムについて見ると、リファレンス河川はダム上流地点、ダム下流地点と離れた位置にプロットされたものがほとんどであったが、ダム上流地点に近いもの、ダム下流地点に近いものもあった。今回の分析結果からは、総じて、ダム下流地点とダム上流地点の魚類相の違いが読み取れた。一方で、ダム下流地点とダム上流地点ともに、概ねリファレンス河川とも異なっていた。

今回の分析結果から、3つのダムに共通するような、ダム上下流を特徴付けるような魚種の存在は確認できなかったが、個別の種について見てみると、例えば釜房ダムのドジョウ類や、手取川ダムのカジカなど、特徴的な生息環境を好む種がダム上流に出現した。これら特徴的な生息域を有する魚種に着目した分析が必要であろう。

出現魚種による主成分分析の結果は、ダム上流、下流およびリファレンス河川とも異なるという結果となった。この要因としては、既往文献の調査手法と水国の調査手法

が考えられる。またリファレンス河川の物理環境条件として、流域面積のみを設定した。しかし、魚種はおおまかに言って河川の勾配によって、生息種が変化する。今回の対象とした調査地点には、河床勾配の区分が入っていないため、比較検討が困難であった可能性がある。

ダム周辺の魚類相は、ダムによる分断化はもちろん、滞留域の増加によって、湖沼性の魚類が増加するなど、魚種が変化する。今回検討を行ったダムは竣工から30年以上たったダムであり、生息環境の変化によって、ダム上下流ともダム建設前の魚種相から変化したのかもしれない。しかし、今回対象とした地点では、はっきりとしたことは結論づけられなかった。魚類のダムによる影響を見るのは、個別のダムのみを対象とするのではなく、魚類の地理的分布特性でグルーピング化するなど、別のアプローチが必要であろう。

#### 4. まとめ

本研究では、流況について広域的な分析を行った。また、河川水辺の国勢調査と既往文献における魚類調査結果を比較することにより、ダムの有無とダム上下流の魚類相の関係について分析した。

流況に関する分析では、IHAを用いて水生生態系に係る水文レジームの変化を示す33の指標を算出した。また、ダムの影響によって有意差が生じている指標について分析した。連続した大規模なデータである流況データを少ない指標に要約することで、水生生物の変化との関係等について分析できると考えられる。

魚類相に関する分析では、ダム上流地点と下流地点が異

なることがわかったが、両地点とも、リファレンス河川と異なっていた。さらなる分析により、その特徴について新たな知見が得られるのではないかと考える。

今後は、物理環境の変化と水生生物の変化の関係性についてさらに調査、研究を進め、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) 萱場祐一、崎谷和貴、川西亮太：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25年度土木研究所重点的研究開発課題報告書、No. 重6、2014
- 5) Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Powell, J., and Braun, D.P. : A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation Biology*, 10(4), 1163-1174., 1996
- 6) 安藤重敏：鳥取県日野川水系の魚類,鳥取県立博物館研究報告第32号,1995
- 7) 石川県淡水魚類研究会編：石川県の淡水魚類,1996
- 8) 中村守純：広瀬・名取川水系魚類相調査報告書,1976

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

**Budgeted** : Grants for operating expenses

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 flow regime upstream and downstream of dams across Japan, and relations between upstream of dams, downstream of dams and reference river using the National Census on River Environments and past literature. As a result, we found that flow regime data, which is continuous large-scale data, can summarize in smaller indexes, and fish fauna is differ between upstream and downstream.

**Key words** : Dam, flow regime, National Census on River Environments, fish fauna