河川技術論文集，第25巻, 2019年6月

河道外貯留ダムが河川の土砂連続性に及ぼす影響

IMPACTS OF OFF-STREAM DAMS ON RIVER SEDIMENT CONTINUITY

石塚淳也[1]・小林草平[2]・竹門康弘[3]・角　哲也[4]
Junya ISHIZUKA, Sohei KOBAYASHI, Yasuhiro TAKEMON and Tetsuya SUMI

[1]学生会員　京都大学工学部地球工学科土木工学コース　（〒606-8501　京都市左京区吉田本町）
[2]非会員　農博　京都大学防災研究所　（〒611-0011　京都府宇治市五ヶ庄）
[3]正会員　理博　京都大学防災研究所准教授　（〒611-0011　京都府宇治市五ヶ庄）
[4]正会員　工博　京都大学防災研究所教授　（〒611-0011　京都府宇治市五ヶ庄）

Off-stream reservoir is a unique water management system that has diversion weir(s) only in the mainstream, which may reduce adverse impacts of storage dams on river environment such as water quality change, reservoir sedimentation, downstream degradation and river discontinuity. Off-stream dams were defined and extracted from a dam database and were classified into several groups. To clarify environmental effects of off-stream reservoir, satellite images analysis and field survey were conducted on selected rivers with off-stream dams. There was almost no difference in bar characteristics between the upstream and downstream reaches in the selected four rivers with off-stream dams. Grain size distribution, dimensionless shear stress and taxonomic composition of benthos were also similar between the upstream and downstream reaches in the river with Dodairagawa dam (off-stream dam). Our study suggests that sediment continuity and river environment are maintained in rivers with off-stream reserving system.

Key Words: *Off-stream reservoir, dam impact, river environment, river bed material, benthos, sediment continuity*

1.　はじめに

日本国内では数多くのダムが運用されており，長年の運用の中で，環境面や経済面において様々な問題が顕在化してきた．例えば，ダムによる水質の変化や流量，土砂供給量の変化が，下流における生態系や河川地形に多大な影響を与えていることが報告されている[1)]．また，角らは多目的ダムは常時貯水していることにより堆砂の進行が加速し対策費用の増大を招いていることを指摘し，本川に治水ダム，支川に利水ダムを設ける治水・利水分離型ダムを提案し，貯水容量に対して土砂流量の大きいダムでは分離型の方が低コストの場合があるとした[2)]．

河道外貯留方式は，本川河道内に大きな構造物を設けることなく河道外や支川に貯水池を設けることで，本川における土砂や生物の連続性を維持することができ，上述したような影響を最小限に抑えることが期待される．この河道外貯留方式を採用しているダムは国内にも存在し，洪水調節やかんがい，発電など様々な目的で運用されている．しかし，河川環境への影響についての研究はほとんど行われていないのが現状である．

そこで，本研究では国内にある河道外貯留ダムを抽出・類型化するとともに，その一部のダムについて，衛星写真や現地調査を通して河道外貯留システムが河川環境，特に本川の土砂の連続性に及ぼす影響について評価することを目的とした．

2.　ダムの抽出及び類型化

(1)　検討手法

ダム年鑑2013[3)]より間接流域を持つダムを選び，それらについて，総流域に占める間接流域の面積の割合が0.5以上，有効貯水容量が100,000m^{3}以上のものに絞ってダムを抽出した．さらに，国土地理院地図などを用いて河道外貯留の形を取っているかを確認した．

次に類型化を行った．ダムの目的によって貯水池の構造や導水方式などの違いにより河川への影響が異なることが考えられるため，まず3グループ（1:治水が主目的，2:利水が主目的，3:発電用調整池）に分類し，諸元情報を基にグループ間で間接流域面積や貯水容量，それらの関係に違いがあるかを確かめた．また，一部のダムにつ

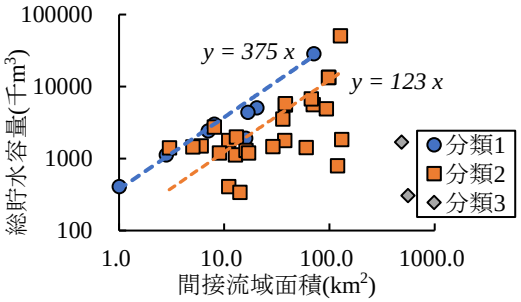

図-1　間接流域面積と総貯水容量の関係

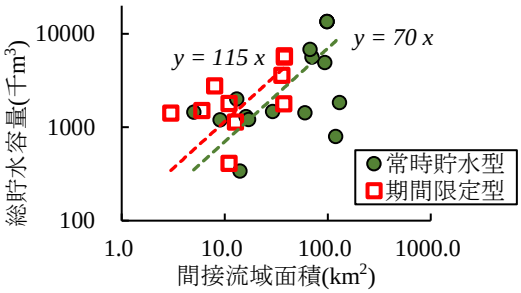

図-2　分類2の間接流域面積と総貯水容量の関係

いては衛星写真から貯水池の利用状態を確認した．

(2)　検討結果

抽出の結果，37基のダムを抽出した（分類1：8基，分類2：27基，分類3：2基）．分類間で間接流域面積と総貯水容量の関係が異なった（図-1）．分類1は相当雨量（総貯水容量を間接流域面積で除した値）が他の分類より大きく，洪水調節機能を十分に有しており，通常の本川に建設される多目的ダムの相当治水雨量（100~200mm）よりも大きい．分類3は発電用調整池であり，発電所に常に送水するという性質から，広大な間接流域を持ちながら総貯水容量は極めて小さかった．数の多い分類2については，貯水池の利用状態によって常時貯水型と期間限定型に細分化した（図-2）．その結果，期間限定型の方が相当雨量は大きく，間接流域面積は小さい傾向があった．期間限定型は北海道や秋田県に多く，融雪期等の特定の期間に貯水していることが考えられる．

3.　衛星写真を用いた影響評価

(1)　対象ダム

次に，抽出された37基のダムのうち，衛星写真による分析の対象として，比較的河川（取水する本川）の規模が大きく河道内の状況が観察しやすいと思われるダム，すなわち分類1から道平川ダム，前川ダムの2基，分類2から糀屋ダム，西原ダムの2基の計4基のダムを選出した．各ダムの諸元等を表-1に示す．

前川ダムは，最上川水系須川の左支川である前川の支流に作られたダムであり，洪水調節を主目的とした多目的ダムである．道平川ダムは，利根川水系道平川に設けられた群馬県が管理するダムであり，洪水調節を主目的とし，既得用水安定化・河川環境保全，上水道用水確保・供給も行う．3支川から取水していることが特徴である．糀屋ダムは，加古川水系の仕出原川に設けられたダムで，同じ加古川水系の杉原川より取水している．目的はかんがい用水と工業用水の確保と供給である．吉井川水系の馬桑川から導水している西原ダムは利水専用ダムである．

表-1　各ダムの主要諸元及び情報

ダム名	前川	道平川	糀屋	西原
河川名	最上川水系 前川	利根川水系 道平川	加古川水系 仕出原川	吉井川水系 長谷川
完成年	1982	1992	1989	1976
目的	FN	FNW	AI	AWI
流域面積(km2)	21.2 間接16.7	27.6 間接20.4	101.9 間接98.1	14.2 間接13.0
総貯水容量(m3)	4,400,000	5,100,000	13,500,000	2,003,000
衛星写真の データ	2006-2018 年の13点	2006-2018 年の11点	2010-2018 年の9点	2011-2018 年の6点

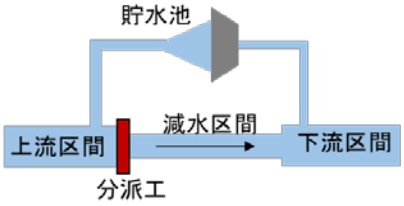

図-3　衛星写真により確認した区間

(2)　評価手法

Google Earthの衛星写真を用いて，各ダムの分派工上流（上流区間），分派後の減水区間，ダム放流水合流後の下流部（下流区間），貯水池を確認した（図-3）．

上流区間，減水区間，下流区間においては，裸地砂州の有無や砂州内の植生に注目し，河道内の土砂移動について考察した．また，Google Earthで提供されているデータの内，異なる日時の写真を比較することで砂州の移動や，砂州内の植生の時間的変化を確認した．貯水池においては，導水に伴う土砂流入の可能性について水面の色から判断した．

(3)　結果・考察

a)　前川ダム

上流区間（平均川幅b: 4.9m，平均勾配i: 0.003）は，田圃の間を流れる水路のような状況で両岸が護岸され，堰などの横断構造物も多数確認された．河道内には砂州がみられたが，そのほとんどには濃い植生が確認された．減水区間（b: 9.2m，i: 0.011）では，下流になるにつれて川幅が広がり，植生の薄い砂州が確認され，下流区間（b: 16.2m，i: 0.010）では裸地の砂州が確認された（図-

図-4　前川ダム各区間の砂州．(a)上流区間，(b)減水区間，(c)下流区間（撮影日:2015年11月4日）

図-5　濁った前川ダム貯水池（撮影日:2014年7月12日）

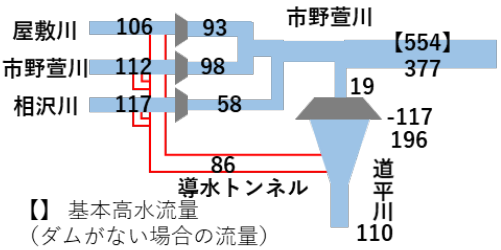

図-6　道平川ダムの計画高水流量配分図

4）．貯水池では，2014年7月12日に撮影された画像から貯水池の水の濁りが確認された（図-5）．撮影日前後の数日間は日平均流入量が平水時の0.5m^3/s以下から最大で18.35m^3/sまで増加し，洪水調節を行ったために浮遊砂が貯水池に流入したと考えられた．減水区間や下流区間では砂州の植生なども流量の増加によりはがれている箇所も見られた．分派工では堆砂が見られ，濃い植生も確認された．以上より，減水区間や下流では土砂の移動が活発であることが示唆された．また洪水調節時に，貯水池に浮遊砂が流入することが確認された．

b)　**道平川ダム**

道平川ダムは市野萱川を本川とする河道外貯留ダムで，図-6のように上流の3支川に取水ダムを設けている．市野萱川では河畔の木々による被覆によって，河道内の状況を確認できない場合が多かった．例えば，各支川の取水ダムの上流（屋敷川：i: 0.078，市野萱川：i: 0.090，相沢川：i: 0.089）では砂州が裸地なのか植生があるのか一切確認できなかった．一方，本川の減水区間（3支川合流～道平川合流：b: 9.0m，i: 0.014）では裸地の砂州が多く確認された．道平川合流から下流の区間（i: 0.024）では渓谷と木々による被覆のため河道の状況が確認できなかった．以上より，市野萱川とその支川では木々による被覆で河道内が見られない場所が多かったものの，3支川合流後の減水区間においては裸地砂州が多くみられ，土砂の移動が保たれていることが衛星写真からは示唆された．市野萱川については後述の現地調査の結果を踏まえ，改めて土砂の連続性について考察する．

c)　**糀屋ダム**

上流区間（b: 53.3m，i: 0.008）・減水区間（b: 55.3m，i: 0.004）にあたる杉原川は，裸地砂州が見られ，植生のある箇所も確認された．ダムからの放流水は加古川に合流し河川の規模が変わってしまい，単純に比較することはできないが，砂州が確認され植生も見られた．貯水池では，水面の色の変化は見られなかった．分派工の直上流では，植生の濃い砂州が確認された．利水専用のダムは，基本的に洪水時には導水する必要がないため，貯水池への土砂流入量が少ないと考えられる．また，洪水時の本川での流量も変わらないため土砂の移動も活発であると考えられる．

d)　**西原ダム**

上流区間（b: 10.8m，i: 0.044）・減水区間（b: 9.5m，i: 0.019）にあたる馬桑川は，田圃の脇を流れる川で，両岸は護岸されていた．上流区間・減水区間のどちらにも砂州が見られたが，濃い植生も見られた．下流区間にあたる梶並川（b: 28.8m，i: 0.007）は，河川の規模が異なるため比較はできないが，上流と同程度の植生のある砂州が見られた．以上より，上流区間から下流区間への土砂移動は少ないと推察された．また梶並川の上流にもダムがあるため，下流区間における土砂移動性の低さはその影響もあると考えられる．

4.　道平川ダム貯水システムにおける影響の評価

(1)　評価手法

a)　**調査地点**

道平川ダムでは，図-6のように市野萱川上流の3支川

にそれぞれ取水ダムを設け，導水トンネルを通して道平川ダムへと導水している．これらの分派工はそれぞれ堤高15m以上であり，魚道などの施設は設けていないため，生物の連続性は遮断されている．

今回の調査では，各取水ダムの上流・下流，道平川ダムの流入部・直下，減水区間の三ツ瀬バス停，下流区間の横間橋上流の合計10地点を調査地点とした．

b) 調査項目

各取水ダムにおける土砂の堆砂状況や通過の証拠を確認するため，取水堰の上空においてドローン（DJI Phantom3 Professional）による空撮を行った．

河床材料に関しては，各地点で河床の写真を撮影し，画像解析ソフトを用いて無作為に選択した200個の河床材料の粒径を判定し粒径加積曲線を求めた．

底生動物の採集では，瀬を中心としてDフレームネット（網目：0.25mm）を用いて1分間の時間で採集した．採集した底生動物は，1mm以上のものについては実体顕微鏡を用いて分類群を特定し，個体数を記録した．また，生活型による組成も求め，各地点における土砂の移動性について考察した．

(2) 結果・考察

a) 取水ダムにおける堆砂状況

3基の取水ダムの上空からの写真を**図-7**に示す．屋敷川取水ダム，市野萱川取水ダムは，ほぼ満砂の状態となっており，特に後者では表面を流れる水はなく，流入する水は全て伏流し，堤体付近で湧出していた．また，堆積していた土砂は砂などの細粒分が多く含まれていた．市野萱川取水ダムの堤体の下流側においてもそうした土砂の堆積が見られた．取水ダムを通過した土砂は，直下の河床勾配の小ささや取水による流量減少により堆積したものと考えられる．一方，相沢川取水ダムでも堆砂は見られたが，過去の衛星写真やパンフレットの画像などから，定期的に土砂を除去しているようであった．こちらでも流入する水は一度伏流していた．相沢川取水ダムでは他の2基と比べ貯水池内に礫や石が多く堆積し，他の2基より明らかに粒径が大きく，また取水ダム下流側の堆積にも礫や石が多く含まれていた．

このように各取水ダムの間でも河川環境に与える影響に差が見られるのは，その取水ダムが持つ役割や構造の違いによるものと考えられる． 屋敷川と市野萱川の2取水ダムと相沢川取水ダムでは堤体の構造が大きく異なる．前者2ダムは治水能力が後者より小さく，平水時の利水用水の確保が主な役割であると考えられる．後者の取水ダムは計画高水流量117m^3/sのうち半分以上の59m^3/sを分派でき，前者の2ダムに比べて河道外貯留ダムへの導水路の幅が広く，下流への吐口幅が狭い．こうした構造の違いによって，流れの集中や土砂の巻き上げ，土砂の通過しやすさに差が生じていることが考えられる．

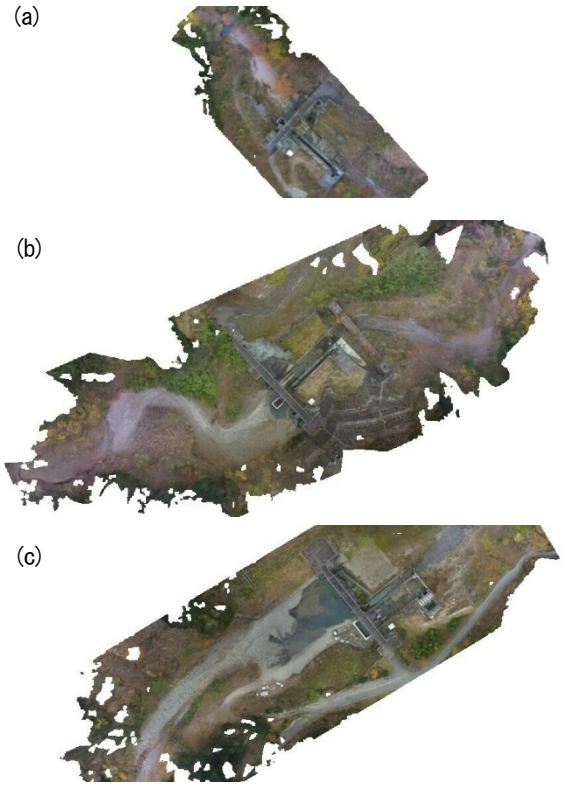

図-7 各取水ダムの空中からの写真．(a)屋敷川取水ダム，(b)市野萱川取水ダム，(c)相沢川取水ダム

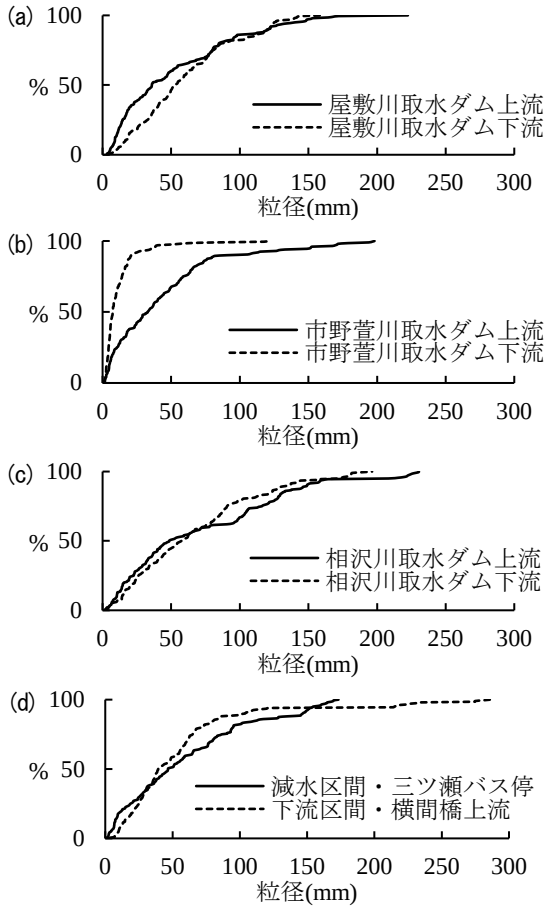

図-8 河床材料の粒径加積曲線．(a)屋敷川取水ダム，(b)市野萱川取水ダム，(c)相沢川取水ダム，(d)減水区間・下流区間

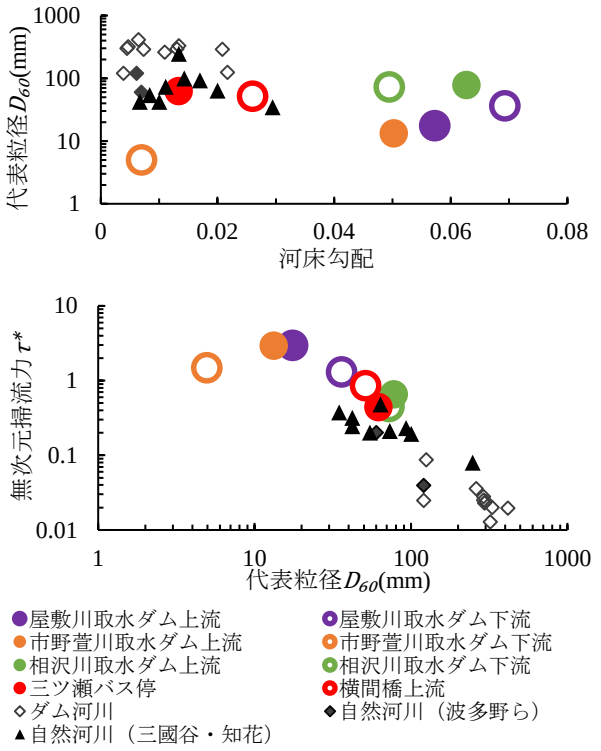

図-9　各地点の河床勾配ー代表粒径の関係及び無次元掃流力

b)　河床材料

現地調査で撮影した河床の写真を解析した結果，粒径加積曲線を得た（**図-8**）．また，勾配と代表粒径関係を自然河川，ダム河川のデータとともに**図-9**に示す．自然河川のデータは三國谷・知花[4]のグループD（中規模河床波+厚い堆積層）の値を用いた．またダム河川及び自然河川の一部のデータは波多野ら[5]の値を用いた．

一般的に，勾配が大きくなるほど河床材料の粒径が大きくなる傾向があり，土砂供給が断たれたダム河川では，勾配が小さくても粒径が大きくなる．上流区間である各取水ダムの上流，及び放流水合流後の下流区間（横間橋上流）の粒径加積曲線及び勾配と粒径の関係を比べてみると，一般的なダムにみられるような河床材料の粗粒化がみられないといえる．屋敷川と市野萱川の取水ダムでは，いずれも吐口の高さまで堆砂が進行していた（相沢川取水ダムでは土砂除去の跡があった）．このように満砂になるまでは，取水ダムにおける堆砂によって下流への土砂供給が遮られたが，満砂後は下流への土砂供給が回復して，自然の河床状態に近づいたことが推察される．

一方，市野萱川取水ダムの下流は，逆に細粒化したとも見える河床であった．この地点では他の地点と比べ河床勾配が小さいことが関係すると考えられる．河床勾配の小ささは，元々のためか，取水ダムによる地形変化（緩勾配化）のためかは不明である．取水の影響により細かい土砂が堆積しやすくなっていることも考えられる．

c)　無次元掃流力

無次元掃流力τ_*は河床材料の動きやすさを評価する指標として用いられる数値であり，河道が十分に幅広な長方形断面であると仮定した場合，以下の式で求められる．

$$\tau_* = Hi_b/SD \qquad (1)$$

ここに，Hは水深，i_bは河床勾配，Sは河床材料の水中比重，Dは河床材料の粒径である．

本研究では，計画高水流量とGoogle Earthより得た河道幅を用いてManning公式より求めた水深H(m)，河床材料の粒径として60%粒径D_{60}(m)，河床材料の水中比重1.65を用いた．得られたデータを三國谷・知花[4]の自然河川のデータ，波多野ら[5]のダム河川・自然河川のデータとともに**図-9**に示す．

ダム河川の場合，代表粒径が大きく無次元掃流力は小さな値となっており，河床が安定した状態にあるといえる．道平川ダムの場合，相沢川取水ダムの上流・下流，三ツ瀬バス停，横間橋上流の4地点で自然河川と近い値となった．屋敷川と市野萱川の取水ダムの上・下流地点では，代表粒径が小さく，無次元掃流力が大きい値となった．これは，取水ダムの影響により，河床勾配が低下し河床材料の粒径が小さくなったため，無次元掃流力が大きく算出されたと考えられる．

以上のように無次元掃流力で比較することによって，

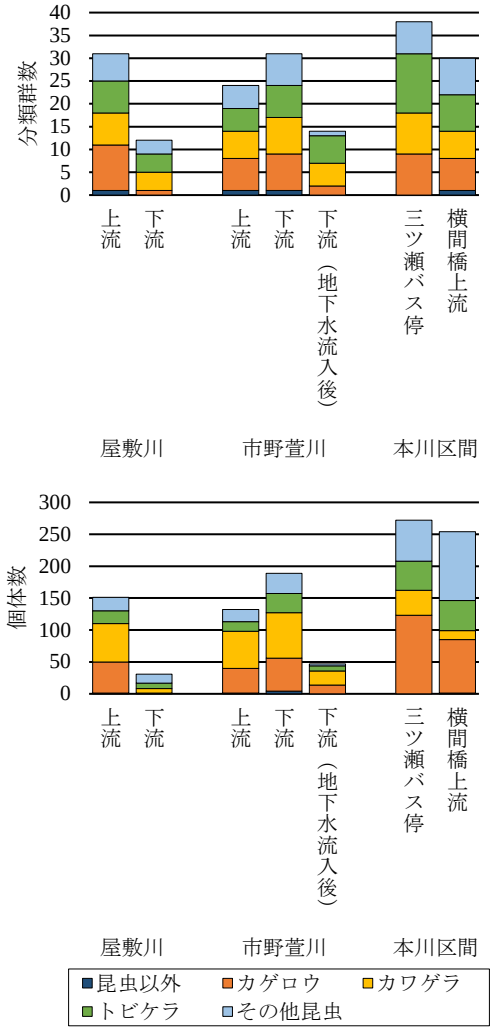

図-10　各地点の底生動物の分類群数及び個体数

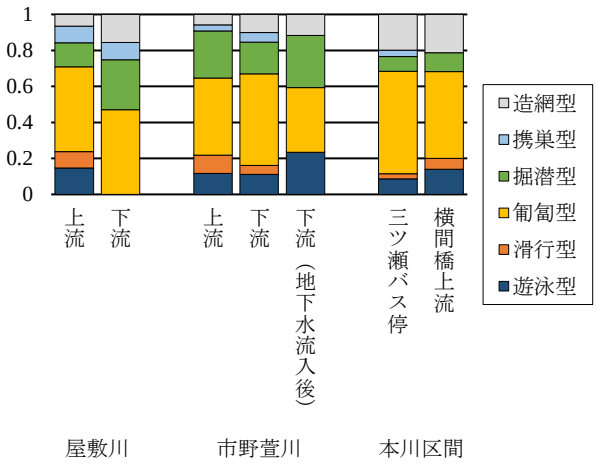

図-11　各地点の底生動物の生活型組成

どの地点においてもダム河川のように河床が動きづらい状態ではなく，自然河川に近い状態であるということが分かった．

d)　**底生動物**

採集した底生動物の分類群数・個体数を**図-10**に，生活型組成を**図-11**に示す．

一般的に，ダムの下流では，造網型トビケラなどの安定的な河床を好む種が多く生息し，滑行型のヒラタカゲロウや掘潜型の種が少なくなるという傾向がある[6]．

各地点の分類群数・個体数を見ると，どの地点でもトビケラの卓越はみられなかった．また，生活型組成について見ると，各地点において，造網型の卓越は見られず，匍匐型が優勢であった．よって，道平川ダムでは，一般的なダム河川にみられるような影響が見られないことから，底生動物の観点からも土砂連続性はダム河川に比べて維持されていることが示された．

市野萱川取水ダムの下流では，流路の途中から地下水の流入により河床が黄色に変化していた．地下水の流入前後の地点で底生動物群集を比較したところ，地下水流入後は流入前の地点より個体数・分類群数が大幅に小さかった（**図-10**）．屋敷川取水ダムの下流でも河床は黄色であったため，この地点で個体数・分類群数が小さかったのは，河床土砂の状況というよりは水質の影響（生物の棲みにくい鉱水成分が含まれる等）のためと考えられた．

5.　まとめ・今後の課題

全国のダムについて，ダム年鑑を用いて間接流域を持つものを選び，それらについて，総流域に占める間接流域の面積の割合が0.5以上，有効貯水容量が100,000m^{3}以上のものに絞ってダムを抽出した結果，37基のダムが抽出された（分類1:治水が主目的（8基），分類2:利水が主目的（27基），分類3:発電用調整池（2基））．

これらの分類間で間接流域面積と総貯水容量の関係が異なり，分類1は相当雨量（総貯水容量を間接流域面積で除した値）が他の分類より大きく，洪水調節機能を十分に有しており，分類2については，貯水池の利用状態によって常時貯水型と期間限定型に細分化した結果，期間限定型の方が相当雨量は大きく，間接流域面積は小さい傾向があった．

航空写真を用いた評価では，木々による河道の被覆や，利用可能な写真の撮影時期の制限のため，河道縦断全体的や複数期にわたる砂州の状態は評価できなかった．しかし，河道外貯留ダムの本川では一般的なダム河川に比べて土砂の連続性が維持されていることを示唆する事例が多かった．

道平川ダム貯水システムにおける現地調査によって，道平川ダム周辺では土砂の連続性は一般的なダム河川と比べ保たれていることが分かった．

以上の2つの手法による評価では，河道外貯留ダムを持つ河川では，一般的なダム河川にみられるような土砂連続性の遮断などは軽減されている可能性があることが推測された．

今後の課題として，河道外貯留ダムが水質や堆砂対策，洪水調節機能そして生物連続性に対してどれほどの影響を与えているのかを調べる必要がある．また，分派施設の構造によって，土砂や生物の連続性に対する影響も大きく変わることが考えられるため，その点についてもより詳しく分析・考察していく必要があると考える．

謝辞：本研究の遂行にあたり，群馬県道平川ダム管理事務所より道平川ダムに関する資料をご提供いただいた．ここに記して感謝の意を表する．

参考文献

1)　国土技術政策総合研究所　環境研究部：ダムと下流河川の物理環境と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，No.521, 2009.
2)　角哲也，高田康史，岡野眞久：土砂管理の軽減を目的とした治水利水分離型ダム事業のライフサイクルコストに関する研究，河川技術論文集，Vol.10, pp.209-214, 2004.
3)　財団法人日本ダム協会：ダム年鑑2013，pp.20-201, 2013.
4)　三國谷隆伸，知花武佳：河床構造に着目した山地河川のサブセグメント区分と河床材料粒径の規定要因，河川技術論文集，Vol.17, pp.131-135, 2011.
5)　波多野圭亮，竹門康弘，池淵周一：貯水ダム下流の環境変化と底生動物群集の様式，京都大学防災研究所年報，No.48B, 2005.
6)　池淵周一：ダムと環境の科学Ⅰ　ダム下流生態系，pp.117-176, 京都大学学術出版会，2009.

（2019. 4. 2受付）