# 下久保ダムにおける洪水の有無が底生動物の 群集構造に与える影響 THE EFFECT OF FLOOD ON COMMUNITY STRUCTURE OF BENTHIC ANIMALS AT THE SHIMOKUBO DAM

# 佐瀬勝亮<sup>1</sup>・土屋十圀<sup>2</sup> Katsuaki Sase, Mitsukuni Tsuchiya

1学生会員 前橋工科大学大学院 工学研究科建設工学専攻(〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町460-1) 2フェロー会員 工博 前橋工科大学 工学部社会環境学科(〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町460-1)

Recently, flash discharge is deployed on downstream site of the dam with a goal of improvement in river bed environment. However, there have been few studies that it became clear benthic animals are influenced by flood plays a role similar to artificial discharge. Therefore, the purpose of the present study is to estimate the effect of flood on benthic animals in the Kanna river that was established Shimokubo dam. Consequently, it was found that there is a difference in recovery from flood between upper stream and down stream of the dam, and it was presupposed that there is a remarkable difference between segment M and segment 1 in probability of non-exceedance of maximum flow and the Simpson index as a result of flood impact.

*Key Words : benthic animals ,flood disturbance, probability of non-exceedance, Simpson index, Shimokubo dam* 

# 1. 研究の背景と目的

近年,ダムによる流量コントロールや土砂供給量の減 少等の人為的インパクトを受けた河川においては、ダム 下流の河川環境改善を目的としたフラッシュ放流試験<sup>1)</sup>, ならびにダム湖に堆積した土砂の排砂<sup>2)</sup>,置き土還元試 験が実施<sup>3)</sup>されている.今後は限られた水資源を利用し, 河川を生息場とする生物の生息環境を改善するより効 果・効率的なダム放流量の規模や頻度が課題となること が予想される.

なかでも底生動物は、物理環境や微生息場等の影響を 受けやすく、その場の健全性を評価するのに有効な環境 指標であり<sup>4</sup>、河川の流況変動による撹乱に影響される ことが明らかとなっている.Lake<sup>5</sup>は撹乱とそれに対す る生物の応答をPulse型、Press型、Ramp型に分類してい る.Pulse型は洪水のような短期間に生じる撹乱、Press 型は急激に生じその後一定のレベルを維持する土石流や 人為的河道改変のような撹乱に相当する.また、Ramp 型は撹乱の強度や応答が経時的に増加、減少する渇水の ような撹乱に相当する. 土屋・諸田<sup>®</sup>らは, 自然度の高 い河川においては, 豊水流量の超過確率と生物の多様性 を表すSimpson指数の関係が上に凸の二次式となること を明らかにしており, 適度な撹乱頻度が存在することを 指摘している. しかし, 上記は流況変動を長期的なPress 型のインパクトとして底生動物の変動特性を捉えており, 人為的なダム放流の実施に際しては, より短期的なPulse 型のインパクトである洪水が, 底生動物の群集構造に与 える影響を明らかにすることが必要となる.

Pulse型のインパクトが底生動物群集に与える影響を研 究した事例としては、御勢<sup>7</sup>による伊勢湾台風後の吉野 川における底生動物群集の回復過程調査がある.また、 渡辺ら<sup>8</sup>は土木工事によるインパクトを想定し、底生動 物の回復予測モデルの適用を行っている.しかし、ダム の上下流を対象として、洪水が底生動物の群集構造に与 える影響の違いを研究した事例は少ない.

本研究では下久保ダムが設置されている利根川水系神 流川を対象とし、洪水の有無により底生動物の群集構造 の変化を比較することにより、洪水が底生動物の群集構 造に与える影響をダムの上下流,セグメントごとに明ら かにすることを目的とした.

### 2. 対象河川の概要と調査地点

利根川水系神流川は群馬県多野郡上野村の三国山に水 源を発し、下流で烏川と合流する、流路延長87.4km,流 域面積407kmの一級河川である.神流川における主な人 為的インパクトとしては、1958~1968年の砂利採取、 1969年の下久保ダム竣工があげられる.下久保ダムは、 総貯水量130,000,000mの多目的ダムであり、洪水調節と してダム地点の計画高水流量2000m<sup>3</sup>/sのうち1500m<sup>3</sup>/sの 洪水調節を行うよう計画されており、ダムへの流入量が 800 m<sup>3</sup>/sになると、計画放流量500 m<sup>3</sup>/sへと洪水調節を 行っている.

図-1には調査地点を,表-1には各調査地点における 観測年とセグメント区分した結果を示す.なお,セグメ ント区分においては山本<sup>9</sup>による区分を参考にした. St. 1~6はダム上流のセグメントM区間の調査地点であ り,St. 7はダム下流のセグメントM区間の調査地点, St. 8,9はダム下流のセグメント1区間となっている.

#### 3. 調査·解析方法

#### (1)対象とした洪水発生・未発生年

図-2に、1993年から2006年までの下久保ダムにおけ る年最大ダム流入量と放流量を合わせて示す.下久保ダ ムでは洪水を500㎡/s以上と定義しており、本研究でも同 定義とする.洪水の有無が底生動物の群集構造に与える 影響を見るため、洪水が起きなかった1995年を洪水無し の事例とし、洪水有りの事例は2001年を対象事例とした. 年最大ダム流入量、放流量はそれぞれ1995年が109㎡/s、 42㎡/s、2001年が1444㎡/s、742㎡/sである.

#### (2) 底生動物データ

本研究における底生動物の解析においては、群馬県水 産試験場研究報告<sup>1011)</sup>における底生動物データを収集し て解析を行った.底生動物の定量調査は、概ね6,10,3 月に50×50cmのサーバーネットを使用して平瀬で行わ れている.下久保ダムにおいては、2004年に計画堆砂量 10,000,000 m<sup>3</sup>の80%程度の堆砂が進行し、現在は土砂掃 流試験が実施されている.本研究では還元された土砂の 影響がない土砂掃流試験実施以前の底生動物データを対 象としている.

観測された月毎に底生動物を生活型に分類して解析す ることにより、洪水の有無が底生動物の群集構造に与え る影響を検討した.分類においては森下<sup>12)</sup>の遊泳型,固 着型,造網型,匍匐型,携巣型,掘潜型による分類を基 本としたが,近年,匍匐型から分けられた滑行型を分類



図-1 底生動物の定量調査地点

セグメント M (ダム上流)	St.1 仲ノ沢合流点(1995, 2001) St.2 平尾橋(2001) St.3 高八木橋(2001) St.4 中里村(1995) St.5 青梨(1995) St.6 柏木橋(1995, 2001)
セグメント M (ダム下流)	St.7 上武橋(1995, 2001)
セグメント1	St.8 藤武橋(1995, 2001) St.9 高崎線 鉄橋(1982, 1995, 2001)

#### 表-1 調査地点のセグメントと観測年



図-2 下久保ダムの年最大流入・放流量

群に加えた.各生活型が占める割合は湿重量比である. なお、本研究では平瀬における定量調査のデータを使用 しているため、淵のような流れの緩やかな場所に生息す る掘潜型のユスリカやモンカゲロウ等は優先種とはなり にくく、造網型のトビケラ目や匍匐型のマダラカゲロウ 科、カワゲラ目等の底生動物が優先しやすくなる.

また,洪水の有無が底生動物群集の多様性に与える影響を明らかにするため年最大流量の規模を表す非超過確率と多様性指数との関係を検討した.生物群集の多様性 を評価する多様性指数は式(1)のSimpsonの多様性指数により評価する.

$$SI = 1 - \Sigma (n_i/N)^2$$
(1)

ここで、n<sub>i</sub>は個々の種における湿重量、Nは種毎の総湿 重量である.セグメント区間における観測地点で流況の 安定する3月のSimpson指数を対象とし、1993~2006年ま

	個体数				湿重量(g)				種数			
	1995 年	1996年	2001 年	2002年	1995 年	1996年	2001 年	2002 年	1995 年	1996年	2001 年	2002年
	10 月	3月	10 月	3月	10 月	3月	10 月	3月	10 月	3月	10 月	3月
St. 1	164	702	132	468	0. 793	1.956	0. 296	3. 682	26	47	14	39
St. 6	292	425	28	68	0. 995	2. 364	0. 125	0. 688	34	36	14	21
St. 7	943	1043	238	221	4. 581	4. 099	1. 207	2. 186	21	31	25	36
St. 8	377	816	360	1547	10. 315	16. 712	1. 439	10. 171	35	21	20	35
St. 9	495	592	294	636	5. 128	8. 597	1. 537	2. 292	31	28	24	22

表-2 洪水発生・未発生年における個体数,湿重量,種数(/0.25m)

での年最大ダム流入量、放流量からGumbel分布を適用 して求めた非超過確率との関係を検討した.

#### (3) 移動限界粒径と代表粒径との比較

河床の安定が底生動物群集に影響を与えることから, 二次元平面流れ解析により低水路移動限界粒径を推定し、 河床の動きやすさを規定する代表粒径との比較を行った. 解析には、財団法人国土技術研究センターによって提供 されている河床変動計算システムの混合砂モデル13)を使 用した. 横断形は1999年に0.4~10.4km区間において 200mピッチで観測されたものを使用し、下流端水位は 勅使河原水位観測所(0.4k)におけるH-Q式を使用して与 えた. 粗度係数は2002年における河床土砂調査の結果か ら, Manning-Strickler式により推定した値を与える. ま た,植生による流体抗力は清水・辻本14らの研究を参考 に評価しており、植生密度は2009年の現地調査結果を参 考に、位置は航空写真から判読して与えることとした.

低水路の移動限界粒径は、1999年におけるダム放流量 の年平均値を境界条件として与えることにより、冠水す る河川横断上の範囲を底生動物が常に存在する川幅と考 え低水路と定義した.この低水路内に約10m間隔で作成 した格子点において、下久保ダムの計画最大放流量であ る800m³/sを境界条件として与えることにより得られた解 析結果から、抵抗則により摩擦速度を算出し岩垣式<sup>15)</sup>よ り移動限界粒径を求めた. これを平均化して各横断上に おける移動限界粒径としている.

推定された移動限界粒径と比較する代表粒径は2002年 における観測結果であり、表層河床材料のサンプリング 法は線格子法により行っている. この測定結果から河道 計画検討の手引き<sup>16</sup>に準拠して作成した粒径加積曲線の d<sub>m</sub>を代表粒径としている.

# 4. 洪水の有無による底生動物群集構造の変化

#### (1) 個体数, 湿重量, 種数

表-2に1995, 2001年の10, 3月におけるSt. 1, St. 6~9 の個体数,湿重量,種数を示す.洪水が起きた2001年と 洪水が起きなかった1995年における個体数を比較すると、







(a) 1995年(洪水なし)



セグメントM区間の観測地点では10,3月ともに洪水未 発生年の個体数のほうが大きい傾向にあるが、セグメン ト1区間のSt.8,9の3月においては洪水発生年の個体数の ほうが大きくなることがわかる. また, 湿重量は10,3 月ともに洪水発生年が洪水未発生年を下回っており,種 数も個体数,湿重量と同様に洪水発生年の10月は洪水未 発生年よりも下回る傾向にあるが、St.7,8の3月は洪水 未発生年よりも種数が大きくなることがわかる.

#### (2) 生活型が占める割合の変化

図-3には、St.1、St.6~9における1995、2001年の6、 10,3月における各生活型が占める割合の変化を示す. 洪水無しの1995年では、全ての対象地点で10月から3月 にかけてユスリカ科のエリユスリカ属、ヤマユスリカ属 の湿重量が増加することにより掘潜型の底生動物の占め る割合が増加傾向にあった.加えて、セグメントM区間 のSt. 1, St. 6, St. 7では匍匐型の底生動物の占める割合 が増加し,造網型の底生動物が占める割合は減少してい た.一方,洪水有りの2001年では,洪水無しの1995年と は対照的に10月から3月にかけて掘潜型が占める割合は 減少傾向にあり, St. 7を除けば,セグメント1区間でも 匍匐型の底生動物の占める割合が増加傾向にあった.

特に1995年に掘潜型の占める割合の顕著な増加が見ら れたSt.7では、10月から3月にかけて掘潜型のヤマユス リカ属、モンカゲロウの顕著な増加がみられ、その一方 で造網型のウルマーシマトビケラ、ナカハラシマトビケ ラの湿重量は減少していた.また、2001年では1995年に は多かったモンカゲロウ、ヤマユスリカ属の湿重量は減 少し、それとは逆に、10月から3月にかけてヒゲナガカ ワトビケラの湿重量の増加がみられた.つまり、掘潜型、 造網型の底生動物の湿重量に反比例の関係がみられる.

これは、洪水がなかった1995年では、掃流されなかった 河床細粒土砂により砂や泥などの粒子をつなぎ合わせて 巣を作る掘潜型のユスリカ<sup>17</sup>にとって好適な生息場所と なる.一方、洪水により河床の細粒土砂が掃粒された 2001年では、礫間に生息場が生まれることにより、ヒゲ ナガカワトビケラのような造網型の底生動物にとって好 適な生息場所になったものと推察される.

また,洪水の有無にかかわらずセグメントM区間の調 査地点では匍匐型,掘潜型,造網型の底生動物が50%以 上を占めており,セグメント1区間のSt.8,9では,洪水 が起きた2001年の10,3月は造網型の底生動物の占める 割合は1995年と比較して減少するものの,洪水の有無に 関わらず造網型の底生動物が大部分を占めていた.

#### (3) 洪水後の現存量の回復過程

図-4には洪水後の10月から3月にかけて湿重量の増加 が顕著だったマダラカゲロウ属,カワゲラ科,ミジカオ カワゲラ科,ヒゲナガカワトビケラ科の湿重量の増加量 を示す.図から,St.1~3,St.6のダム上流では,洪水後, 主に匍匐型のマダラカゲロウ科,カワゲラ科,ミジカオ カワゲラ科の湿重量が増加していることがわかる.特に オオマダラカゲロウ,カミムラカワゲラ,ヤマトミジカ オカワゲラ等の増加が顕著であり,ダム上流では比較的 大型な底生動物による湿重量の増加が目立っていた.ま た,ダム下流のSt.7~9では,匍匐型のマダラカゲロウ 属の増加が見られるものの,ダム上流では見られなかっ た造網型のヒゲナガカワトビケラ科の湿重量の増加が特 に顕著であることがわかる.

つまり,洪水後の底生動物群集の回復過程として,ダ ム上流では主に匍匐型の底生動物が,ダム下流では造網 型の底生動物の湿重量が増加し底生動物群集の現存量が 回復していたといえる.これは,摂食型<sup>18)</sup>で見ればダム 上流では捕食者(predator)が,ダム下流は濾過食者(filterfeeder)の湿重量が増加し,ダム上下流の底生動物群集の 回復過程に違いがあることがわかる.



図-4 洪水後の湿重量の増加量



(a) 1949年(下久保ダム設置前)



(b) 2006年 図-5 中規模河床形態の変化

# 5. セグメント1区間における移動限界粒径

前節4の結果から,セグメント1区間のSt.8,9ではヒ ゲナガカワトビケラのような造網型の底生動物の占める 割合が洪水の有無にかかわらず大きかった.1982年6月 のSt.9においては造網型の底生動物が占める割合はわず か14%であり,匍匐型,遊泳型,滑行型の底生動物が全 湿重量の大部分を占めており,現在の底生動物群集構造 と大きく異なっていた.なお,各生活型の代表的な種は 匍匐型ではイシビル科,遊泳型ではチラカゲロウやシロ ハラコカゲロウ,滑行型ではヒラタドロムシやエルモン ヒラタカゲロウであった.

ダム下流のセグメント1区間では図-5に示すように、 下久保ダム設置前は複数の流路が河道に存在するうろこ 状砂州の形成が見られていたが、現在は河床低下ととも に中規模河床形態が交互砂州へと変化するとともに、河 道内では樹林の発達が起きている.このような、流路変 動が起きやすい網状流路から、砂州上の樹林の発達とと もに流路が固定化された交互砂州への変化は、河床を安 定化させ撹乱が発生しにくくなるため、造網型トビケラ が優先種になったものと考えられる.

図-6に、1~10km区間における平面二次元流れ解析 により推定した低水路移動限界粒径と2002年における代 表粒径を合わせて示す.図から,推定された移動限界粒 径は概ね10cmを下回っており、5、9km地点を除けば、 移動限界粒径は代表粒径とほぼ同程度かそれ以下となっ ていることがわかる.つまり、5、9km地点以外では河 床変動が起きにくく、河床が安定した状態であることが 推察される.底生動物の群集構造は匍匐型優先から造網 型優先へと変化して極相に到るが<sup>19</sup>、造網型の底生動物 が優先する極相の破壊は、河床の土砂移動によるところ が大きいと考えられる.しかし、下久保ダムの計画最大 放流量流下時にも河床変動が起こりにくいため、極相の 破壊もセグメント1区間では起こりにくくなっているた め、造網型のトビケラが占める割合が洪水の有無にかか わらず大部分を占めていたものと推察される.

# 6. 洪水と底生動物の多様性

# (1) 洪水発生・未発生年におけるSimpson指数

図-7には、1995、2001年における6、10、3月の各調 査地点におけるSimpsonの多様性指数を示す. 図から、 洪水の有無、ダムの上下流に関わらず、セグメントMに おける調査地点では、Simpson指数は概ね0.6以上と高い 値となっているが、洪水が発生しなかった1995年と洪水 が発生した2001年において 10、3月におけるそれぞれの Simpson指数を比較するとセグメント1区間では後者のほ うが高い値となっていることがわかる. このことから、 セグメント1区間においては底生動物の多様性を維持す るためには、洪水による撹乱が必要であることがわかる. また、造網型の底生動物が優先する極相であっても、 Simpsonの多様性指数は洪水後に高くなることがわかる.

## (2) 年最大流量の非超過確率と底生動物の多様性

前述の結果から洪水がSimpsonの多様性指数に影響を 与えることが明らかとなった.ここでは、年最大流量の 規模を表す非超過確率とSimpson指数との関係を図-8に 示す.ダム上流(セグメントM区間)はSt.1~6を、ダム 下流(セグメントM区間)はSt.7、ダム下流(セグメント1 区間)はSt.8、9を対象としている.図から、セグメント M区間では年最大流量の非超過確率の2極において Simpson指数が0.6~1.0とばらつきのある値となっている が、セグメント1区間においては、年最大流量の非超過 確率が大ければSimpson指数も増加する傾向がみてとれ る.これは、洪水が起きなければ造網型トビケラの湿重 量の増加により多様性指数が低下するためであり、図-9 に示すようにセグメント1区間の調査地点では、底生動









物の湿重量が5g/0.25m<sup>2</sup>を超えるとSimpsonの多様性指数 が低くなる傾向が認められ,相関係数が0.711と両者に 高い相関性が得られた.このことから,神流川のセグメ ント1区間では,年最大流量の非超過確率と底生動物の 多様性とに特異な関係があることが示唆される.

# 7. 結論

本研究から,以下のような知見が得られた.

- 洪水発生年の10,3月の個体数,湿重量,種数は洪水 未発生年と比較して下回る傾向にあったが、セグメ ント1区間における観測地点の3月の個体数は洪水未 発生年を上回っていた。
- 2) 洪水の有無により各生活型の占める割合の変化を比較すると、洪水無しでは掘潜型の底生動物が,洪水有りでは匍匐型の底生動物が増加する傾向があった。 また、ダム上流では洪水の有無に関りなく匍匐型の 底生動物が占める割合は10月から3月にかけて増加していた。
- 3) 洪水後の底生動物群集の回復過程は、ダム上流では 主に匍匐型の底生動物が、ダム下流では造網型の底 生動物の湿重量が増加し、ダムの上下流で底生動物 群集の回復過程に違いがあることが明らかとなった. これは、摂食型ではダム上流で捕食者 (predator)が、 ダム下流では濾過食者 (filter-feeder) となる.
- 4) 平面二次元流れ解析により推定した低水路移動限界 粒径と2002年における代表粒径から、神流川のセグ メント1区間では河床変動が起きにくく河床が安定し ているため、造網型トビケラが優先種となっている ものと考えられる.
- 5) Simpsonの多様性指数は、神流川のセグメントM区間 では高い値であり、セグメント1区間では洪水後は更 に高い値となった.また、年最大流量の非超過確率 とSimpsonの多様性指数の関係は、セグメントM区間 で非超過確率の2極において、Simpsonの多様性指数 はばらつきのある値となっているが、セグメント1区 間においては非超過確率の増加とともにSimpsonの多 様性指数も増加する関係が示唆された.このことか ら、神流川のセグメントM、1区間とでは年最大流量 の非超過確率と底生動物の多様性とに特異な関係が あることが推察される.

謝辞:本研究を遂行するに当って、国土交通省高崎河川 国道事務所、ならびに群馬県水産試験場より貴重な資料 をご提供頂きました.又、本研究は財河川環境管理財団 の助成を受けその研究の一部を取りまとめているもので あり、ここに記し、謝意を表します.

#### 参考文献

 岡村政彦: 真名川ダムにおけるフラッシュ放流と河川環境 再生の取り組みについて(特集 河川技術),河川, 65(3), (752), pp. 25-29, 2009.

- 2) 金澤裕勝:黒部川宇奈月ダム・出し平ダムの連携排砂と環境調査について(特集ダムと自然環境) (個別ダムの取り組み),河川,60(6),(695), pp.28-32,2004.
- 山下洋太郎・木村 康文:三春ダムにおける土砂下流還元の効果について(特集・ダムと環境),河川,61(12), (713), pp.65-70,2005.
- (4) 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,48号B, pp. 915-934,2005.
- Lake, P. S. : Disturbance, patchiness, and diversity in streams, Journal of the North American Benthological Society, 19, pp. 573-592, 2000.
- 5) 土屋十圀,諸田恵士:底生動物群集の多様性に及ぼす流況の確率論的特性,水文・水資源学会誌,第18巻, pp.521-529,2005.
- 御勢久右衛門:大和吉野川における瀬の底生動物群集の遷
   移,日本生態学会誌, Vol. 18, No. 4, pp. 147–157, 1968.
- 8) 渡辺幸三・吉村千洋・小川原亨司・大村達夫: Pulse型の人為 的インパクトを受けた河川底生動物の回復予測モデル,土 木学会論文集, No748/VII-29, pp. 67-79, 2003.
- 9)山本晃一:構造沖積河川学一その構造特性と動態、山海堂、 pp. 128, 2004.
- 10) 群馬県水産試験場研究報告第2号, pp. 1-13, 1996.
- 11) 群馬県水産試験場研究報告第8号, pp. 1-13, 2002.
- 12) 森下郁子: 生物モニタリングの考え方 指標生物学, 山海 堂, pp. 124-144, 1995.
- 13)河床変動計算システム, ver.1.1, 財団法人 国土技術研究 センター,河川政策グループ,2006.

(http://www.kasen-keikaku.jp/rcps/)

- 14) 清水義彦, 辻本哲郎: 植生帯を伴う流れ場の平面2次元解 析, 水工学論文集第39巻, pp. 513-518, 1995.
- 岩垣雄一,限界掃流力に関する基礎的研修(I) 限界 掃流力の流体力学的研究,土木学会論文集,41号,pp.1-21,1956.
- 国土技術研究センター編:河道計画の手引き、山海堂、 pp. 57-60, 2002.
- 17) 近藤繁生,平林公男,岩熊敏夫,上野隆平:ユスリカの世界,培風館, pp.117-118, 2001.
- 竹門康弘:底生動物の生活型と摂食機能群による河川生態 系評価,日本生態学会誌,55,pp.189-197,2005.
- 水野信彦,御勢久右衛門:河川の生態学補訂版,築地出版, pp. 53-57, 1993.

(2009.9.30受付)