事例研究 CASE STUDY

大石ダムが下流河川の底生動物群集(特に造網型トビケラ類)に及ぼす影響

松井 明

京福コンサルタント株式会社 〒917-0026 福井県小浜市多田11-2-1

Akira MATSUI: Effects of Oishi Dam (Sekikawa Village, Niigata Prefecture, Japan) on downstream macroinvertebrate assemblages with particular focus on net-spinning caddisflies. *Ecol. Civil Eng.* 11(2), 175-182, 2008.

Keifuku Consultant Co., Ltd., 11-2-1, Tada, Obama City, Fukui Prefecture, 917-0026, Japan

Abstract: Dam construction has negative impacts on river ecosystems, but we do not understand well how and why it influences riverine macroinvertebrate assemblages. The purpose of this study was to determine the influences of the Oishi Dam (Sekikawa Village, Niigata Prefecture, Japan) on downstream macroinvertebrate assemblages with particular focus on net-spinning caddisflies. I conducted a monthly field survey at one site upstream and three sites downstream of the dam in Oishi River from April to December in 1994. The upstream macroinvertebrate assemblage was dominated by Ephemeroptera and Plecoptera, whereas the downstream assemblages by Trichoptera, especially net-spinning caddisflies *Stenopsyche*. Net-spinning caddisfly species were more abundant at the downstream sites than at the upstream site. Sestonic organic matter concentration in river water increased in summer at the downstream site that received much water directly from the reservoir, probably due to a large amount of drifting phytoplankton. Early instar larvae of *Stenopsyche* showed remarkably high density in summer at this site. Phytoplankton originated from the reservoir might enhance downstream population of *Stenopsyche*.

Key words: aquatic insect, phytoplankton, river ecosystem, *Stenopsyche marmorata*, *Stenopsyche sauteri*

はじめに

ダムは河川横断工作物の最たるもので、ダムが河川生態系に及ぼす影響として、川の物質循環が遮断される(大熊 1999)、流量変動が減少する(森下 2001)等の問題点が指摘されている。

谷田・竹門(1999)は、ダム建設による下流河川における最も一般的な底生動物群集の変化として、種多様性が減少する一方で、個体数密度や現存量が増加することを述べている。さらに、このような変化が生じる要因として、①流量の制御、②流路形状の変化、③水温環境の

変化、④濁りの発生、⑤ダム湖で生産されたプランクトンの流下、⑥底生動物の移動障害を指摘している。このように、ダムが下流河川の底生動物群集に及ぼす影響については、複数の要因が考えられる。ダムが下流河川の底生動物群集に及ぼす影響を明らかにするためには、その因果関係を明確にすべきであり、我が国ではこれらに関する研究事例が不足している。

本研究では、特にダム湖で生産されたプランクトンの流下の影響に着目する。古屋(1998)は、四国地方吉野川の早明浦ダムの直下で採集されたオオシマトビケラ *Macrostemum radiatum* (McLachlan) とヒゲナガカワトビケラ *Stenopsyche marmorata* Navás の消化管内容物は、ともに河川の付着藻類の他に、プランクトン性種を多く含

んでおり、特にオオシマトビケラにおいてこの傾向が顕著であったことを報告している。本研究は、新潟県関川村に位置する大石ダムを有する大石川において、ダムの影響を受ける可能性のある下流河川、影響を受けない上流河川における底生動物群集の生息実態から、ダムが下流河川に生息する底生動物群集、特に造網型トビケラ類にどのような影響を及ぼしているか、そしてその要因を検討することを目的とする。

方 法

調査地

大石川は、日本海に注ぎ込む荒川の一支出であり、荒川本川との合流地点から 7.5 km 上流に発電用の大石ダム（北緯 $38^{\circ} 01' 50''$ ，東経 $139^{\circ} 34' 5''$ ）がある（Fig. 1）。大石ダムは、堤高が 87.0 m，堤頂高が標高 187.0 m，洪水時満水位が標高 184.5 m，常時満水位が標高 184.0 m，洪水期制限水位が標高 155.0 m，最低水位が標高 154.0 m，総貯水容量 22,800,000 m^3 であり，洪水調節および発電を兼ねた多目的ダムとして，1970 年に施工され，1978 年に完成した。

大石ダムでは，常時発電用として発電用水圧鉄管（標高 145.0 m）に最大 15 m^3/s 流している。発電用水は表層取水ゲートを用いて，ダム湖の表層水を利用している。放流量が 15 m^3/s 以上になる場合は，コンジットゲートを用い，さらに非常時にはクレストゲートが利用される（Fig. 2）。

調査地点として，ダム上流のバックウォーターから 1.7 km 上流に St. 1，ダムサイトから 1.7 km 下流の発電用水圧鉄管から湖水が直接流入する地点に St. 2，St. 2 から 1.7 km 下流の鮎谷橋付近に St. 3，St. 3 から 2.1 km 下流の荒川との合流点に近い蔵田島橋付近に St. 4 を設定した（Fig. 1）。各地点の標高，川幅，優占底質および河川形態（可児 1944）を Table 1 に示す。

新潟県岩船郡関川村下関地区の地域気象観測所（北緯 $38^{\circ} 05' 4''$ ，東経 $139^{\circ} 33' 8''$ ）で記録された降水量，大石ダム湖への流入量，大石ダム湖からの放流量および上川口流量観測所（ダムサイトから 6.2 km 下流）における大石川の流量の季節変化を Fig. 3 に示す。調査を行った 1994 年の年間降水量は 2,017 mm で，過去 25 年間の平均値の 78% であった。大石ダム湖への流入量および大石川の流量はともに，4 月上旬は雪解け水，7 月上旬は梅雨の影響により増大した。ダムの上下流における流量変動パターンに顕著な違いは認められず，ダムによる流量制

Fig. 1. Location of study sites.
調査地点の位置。

御が下流域の流量に与える影響は，支川からの流入により緩和されるものと考えられる。

水質，石面付着物および底生動物調査

1994 年 4～12 月の毎月 20 日前後に，水質，石面付着物および底生動物の調査を行った。なお，1994 年 12 月は，積雪のため St. 1 の調査は実施することができなかった。調査は毎回最上流の St. 1 から始め，St. 2，St. 3，St. 4 と下流に向かって行った。St. 1 の開始時刻はおおよそ 9 時頃，St. 2 は 11 時頃，St. 3 は 13 時頃，St. 4 は 15 時頃であった。

Fig. 2. Discharge facilities of the Oishi Dam; water pressure iron pipe for electric generation, hollow jet valve, conduit gate and crest gate.
大石ダムの放流施設。発電用水圧鉄管，ホロージェットバルブ，コンジットゲート，クレストゲート。

Table 1. Physical features of study sites. River morphology was determined according to Kani (1944).
調査地点の物理環境。河川形態は可児（1944）に基づく。

Study site	Altitude (m)	Channel width (m)	Dominated bed material	River morphology
St. 1	200	10	Cobbles	Aa
St. 2	100	30	Gravel and sand	Bb
St. 3	80	40	Gravel and sand	Bb
St. 4	60	50	Gravel and sand	Bb

各地点において、河川水中の水温、pH、DO、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度、クロロフィル a (Chl. a) 濃度および浮遊態有機物濃度、石面付着物中の Chl. a 量および有機物量を測定した。水温は棒状温度計を用いて、直射日光を避けて測定した。pH は比色測定器（東洋ろ紙 KK）を用いて、DO は Winkler 法により測定した。河川水中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 、Chl. a および浮遊態有機物の分析のために、10 L の試水をポリビンに採水し、実験室に持ち帰った。石面付着物中の Chl. a および有機物の分析のために、各地点の早瀬から任意にこぶし大（長径 15 cm 程度）の石を 3 個採集し、1 個ごとに 5 cm × 5 cm の方形枠内の付着物を歯ブラシで削り落とし、蒸留水で洗浄しながらポリビンに集め、実験室に持ち帰った。

河川水中および石面付着物中の Chl. a を定量するために、GF/C 濾紙を用いて吸引濾過し、アセトン抽出後、分光光度計（日立製作所製 Model 200-10）を使用して吸光度を測定し、3 点法（UNESCO 法）を用いて算出した。河川水中の浮遊態有機物および石面付着物中の有機物を定量するために、秤量済みの GF/C 濾紙を用いて吸引濾過し、110℃で 2 時間乾燥させ、重量を測定した後、この

濾紙を 450℃で 2 時間強熱し、放冷後秤量して、灼熱減量を求めた。石面付着物中の Chl. a および有機物は、3 サンプルの平均値を各地点の代表値とした。河川水については、吸引濾過後の濾液を冷凍保存した後、ヒドラジン法により $\text{NO}_3\text{-N}$ を測定した。

底生動物は、水質および石面付着物を調査した早瀬において、任意に選定した 2 ヶ所に 50 cm × 50 cm のコドラートを設置し、その内側にある沈み石以外の礫、砂利、砂等をできる限り採集し、開口部を上流に向けたチリトリ型金網（間口 30 cm、奥行 60 cm、高さ 30 cm）に入れた。飽和食塩水を入れたポリバケツの中で、採集物中の底生動物を静かに洗い落とし、さらに礫表面に付着している底生動物はピンセットで拾い上げた。ガーゼ（メッシュ強力網 MS 70）を用いて、ポリバケツ内の河川水を濾し取る操作を繰り返し、底生動物を濾別した後、10%ホルマリン水溶液に固定した。

サンプルは実験室に持ち帰った後、実体顕微鏡を用いて、川合（1985）に従って、選別、同定を行った。まず、毎月のサンプルについて、毛翅目（トビケラ目）とその他の底生動物を分類し、さらに 4、6、8、10、12 月の

Fig. 3. Seasonal change in hydrologic environments in the Oishi River during this study; (a) daily precipitation at Shimoseki, (b) inflow discharge to the Oishi Reservoir, (c) outflow discharge from the Oishi Reservoir and (d) discharge at the Kamikawaguchi discharge observatory (see Fig. 1).

大石川における調査期間の水文環境の季節変化。(a) 下関における日降水量, (b) 大石ダムの流入量, (c) 大石ダムの放流量, (d) 上川口流量観測所 (Fig.1を参照) における大石川の流量。

サンプルについて、蜻蛉目(カゲロウ目), 横翅目(カワゲラ目), 双翅目(ハエ目), 広翅目(ヘビトンボ目)およびその他の底生動物に分類した。トビケラ目については、さらに造網型のヒゲナガカワトビケラ科, シマトビケラ科およびそれ以外のトビケラ目に分類した。各目およびヒゲナガカワトビケラ科, シマトビケラ科の現存量は、湿重量 (g/m^2) によって求めた。各個体を濾紙に押し当て、過剰な水分を除去した後に、電子天秤(メトラ・トレード株式会社製 PM400)を用いて、分類群ごとに 0.001 g まで秤量した。

ヒゲナガカワトビケラ科については、青谷・横山(1987)に従って、ヒゲナガカワトビケラおよびチャバネヒゲナガカワトビケラ *Stenopsyche sauteri* (Ulmer) に分類した。ただし、両種の1齢幼虫については区別することができなかったため、一括してヒゲナガカワトビケラ属 *Stenopsyche* spp. として扱った。シマトビケラ科およびヒゲナガカワトビケラ科の各種、ヒゲナガカワトビケラ属1齢幼虫については、個体数を計数し、生息密度 ($\text{No.}/\text{m}^2$) を求めた。各地点の底生動物の湿重量および生息密度は、2サンプルの平均値により推定した。

結果

大石川の水質および石面付着物

各地点における水温の季節変化を Fig. 4 に示す。水温は、各月とも上流から下流に向かうに従って大きくなる傾向を示した。ただし、地点間の水温差は夏季と比較して、冬季はごく小さかった。各地点における pH, DO, $\text{NO}_3\text{-N}$ の年平均値およびその標準偏差を Table 2 に示す。地点間に水質の大きな差は見られなかった。

各地点における河川水中の Chl. a 濃度および浮遊態有

Fig. 4. Seasonal change in water temperature at study sites.

各調査地点における水温の季節変化。

Table 2. Water characteristics of study sites. Annual mean and SD (in parenthesis) are shown (n=9).
各調査地点における水質、年平均値と標準偏差 (括弧内) を示す (n=9).

Variable	Upstream site	Downstream sites		
	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4
pH	7.0(0.21)	6.9(0.15)	7.0(0.17)	7.1(0.21)
DO(mg/L)	7.9(0.90)	7.8(1.08)	7.4(1.08)	7.4(1.26)
NO ₃ -N(μ g/L)	219(44.7)	207(60.5)	211(60.7)	240(58.9)

機物濃度の季節変化を Fig. 5 に示す。ダム下流地点の St. 2~4 における河川水中の Chl. a 濃度は、常にダム上流地点の St. 1 より大きな値 (1.4~10 倍) を示した。ダム下流地点間で比較すると、St. 2 の季節変動が大きく、4~6 月は St. 3, 4 の値が St. 2 の値を上回ったが、7~9 月は St. 2 の値が St. 3, 4 の値を上回った。ダム下流地点の St. 2~4 における河川水中の浮遊態有機物濃度は、4, 5 月を除きダム上流地点の St. 1 よりも大きい傾向があった。ダム下流地点間で比較すると、Chl. a 濃度と同様に St. 2 の季節変動が大きく、6~9 月に St. 2 で、11 月に St. 4 で大きな値を示した。

各地点における石面付着物中の Chl. a 量および有機物量の季節変化を Fig. 6 に示す。ダム下流地点の St. 2~4 に

おける石面付着物中の Chl. a 量は、4, 5 月にはダム上流地点の St. 1 の 2.3~12 倍の値を示したが、夏季から冬季にかけては上流地点との大きな違いは認められなかった。ダム下流地点では、いずれも夏季に減少する傾向を示し、St. 2 の減少は特に大きかった。ダム下流地点の St. 2~4 における石面付着物中の有機物量は、4, 5 月は Chl. a 量とは逆に、ダム上流地点の St. 1 の 36~72% にすぎなかったが、夏季から冬季にかけては概ね上流地点より大きかった。ダム下流地点間で比較すると、St. 4 は、4, 5 月は他の地点より小さな値を示したが、6 月に急増し、夏季から冬季にかけて他の地点より顕著に大きな値を示した。

Fig. 5. Seasonal change in concentrations of (a) chlorophyll a and (b) sestonic organic matter in river water at study sites.

各調査地点における河川水中の (a) Chl. a 濃度および (b) 浮遊態有機物濃度の季節変化。

Fig. 6. Seasonal change in epilithon biomass at study sites; (a) chlorophyll a and (b) organic matter.

各調査地点における石面付着物量の季節変化。(a) Chl. a 量、(b) 有機物量。

大石川の底生動物

現存量構成の地点間比較

各地点における底生動物の目別現存量（湿重量）の年平均値およびその標準偏差を Table 3 に示す。ダム下流地点の St. 2～4 の年平均総現存量は、ダム上流地点の St. 1 の 5～13 倍であった。St. 2～4 の底生動物群集はトビケラ目が総現存量の 74% 以上を占めたのに対し、St. 1 ではカゲロウ目が 54%、カワゲラ目が 28% を占めた。

トビケラ目のみに着目すると、ダム下流地点の St. 2～4 では、造網型のヒゲナガカワトビケラ科が年平均総現存量の 98% 以上を占めたのに対し、ダム上流地点の St. 1 ではヒゲナガカワトビケラ科とシマトビケラ科を合わせても 47% に過ぎなかった。

造網型トビケラ各タクサの生息密度の地点間比較

各地点における造網型トビケラ各タクサの生息密度の季節変化を Fig. 7 に示す。ダム下流地点では、ヒゲナガカワトビケラ、チャバネヒゲナガカワトビケラ、ヒゲナガカワトビケラ属 1 齢幼虫およびシマトビケラ科のいずれもが、ダム上流地点より大きく、年平均値ではそれぞれ 7～32 倍、14～42 倍、1.9～3.5 倍、1.7～3.1 倍を示した。ダム下流地点間で比較すると、St. 2, St. 3 のヒゲナガカワトビケラは、St. 4 の 4～5 倍の年平均生息密度を示した。一方、St. 4 のチャバネヒゲナガカワトビケラの年平均生息密度は、St. 2, St. 3 の 1.6～3 倍であった。ヒゲナガカワトビケラ属 1 齢幼虫は、8, 9 月に St. 2 において大きな生息密度を示した。シマトビケラ科の生息密度に関しては、下流地点間で顕著な違いは認められなかった。

考 察

大石ダムは、平水時には表層水を放流しているため、ダム下流地点において、夏季に水温上昇が生じることが予想される。本調査では、夏季に地点間の水温差が大きくなる傾向を示したものの、ダム放流水口直下の St. 2 において、著しく大きな値を示すことはなかった。St. 2 の河川水はダムからの放流水とともに、支川からの流入水で構成されているため、水温上昇が緩和された可能性がある。

河川水中の浮遊態有機物濃度および Chl. a 濃度は、春季を除き、いずれもダム下流地点の方が上流地点よりも大きな値を示した。また、いずれもダム放流水口直下の St. 2 において、夏季の増加が観察され、他地点よりも大きな値を示した。一方、石面付着物中の有機物量は、ダム下流地点の方が上流地点よりも、夏季から冬季にかけて大きかったものの、St. 2 における石面付着物中の有機物量および Chl. a 量に夏季の増加は認められなかった。以上のことから判断すると、ダム下流地点において河川水中の浮遊態有機物濃度が上流地点より大きかったのは、石面付着物からの剥離流下を反映しているが、夏季に St. 2 の河川水中の浮遊態有機物濃度が増加したのは、石面付着物からの剥離流下による影響ではなく、ダム湖において増殖した植物プランクトンの流下によるものと推測される。

大石ダム下流地点では、造網型のヒゲナガカワトビケラ、チャバネヒゲナガカワトビケラ、シマトビケラ科のいずれもが、上流地点と比較して生息密度が大きかった。また、ヒゲナガカワトビケラ属 1 齢幼虫は夏季に St. 2 において生息密度が大きかった。ダム湖から供給される植物プランクトンは、ヒゲナガカワトビケラ属の若齢幼虫

Table 3. Macroinvertebrate biomass (wet weight) (g/m²) at study sites. Annual mean and SD (in parenthesis) are shown (n=5).

底生動物群集の現存量（湿重量）。年平均値と標準偏差（括弧内）を示す（n=5）。

Order	Upstream site	Downstream sites		
	St.1	St.2	St.3	St.4
Ephemeroptera	0.56(0.34)	0.21(0.10)	0.57(0.40)	0.47(0.37)
Plecoptera	0.29(0.53)	0.02(0.05)	0.02(0.05)	0.10(0.08)
Trichoptera	0.07(0.08)	4.07(0.67)	10.16(10.76)	11.65(7.64)
Diptera	0.10(0.13)	0.24(0.26)	0.32(0.23)	0.26(0.16)
Megaloptera	0	0.89(1.22)	0.08(0.13)	0.56(1.25)
Others	0.00(0.01)	0.08(0.17)	2.56(4.62)	0.22(0.30)
Total	1.03(0.76)	5.51(1.14)	13.71(14.36)	13.26(7.63)

Fig. 7. Seasonal change in density of net-spinning caddisflies at study sites; (a) *Stenopsyche marmorata*, (b) *Stenopsyche sauteri*, (c) first instar of *Stenopsyche*, (d) *Hydropsychidae*.

各調査地点における造網型トビケラ類の生息密度の季節変化。(a) ヒゲナガカワトビケラ, (b) チャバネヒゲナガカワトビケラ, (c) ヒゲナガカワトビケラ属 1 齢幼虫, (d) シマトビケラ科。

にとって重要な餌資源となることが考えられる。ダム下流地点の造網型トビケラ類が上流地点より多いのは、ダムの影響以外にも様々な要因が考えられるが、植物プランクトンの流下によるダム放流水口直下の地点での若齢幼虫に対する正の効果は、下流地点における個体数の増加をもたらす可能性が考えられる。

このように、大石ダム下流域では、夏季にダム湖から植物プランクトンが供給されることで、独自の生態系が形成されていることが示唆された。この生態系の意義を様々な観点から考慮した上で、今後のダム管理策を検討することが重要である。

摘 要

本研究は、新潟県岩船郡関川村に位置する大石ダムを有する大石川において、1994 年 4～12 月にダムの下流河川および上流河川における底生動物群集を調査し、ダムが下流河川に生息する底生動物群集に及ぼす影響およびその要因を検討した。その結果、以下のことが明らかになった。

1. ダム上流の底生動物群集の現存量は、カゲロウ目およびカワゲラ目が優占したのに対し、ダム下流ではトビケラ目が優占し、特に造網型トビケラ類のヒゲナガカワトビケラおよびチャバネヒゲナガカワトビケラの現存量が大きかった。
2. ダム下流地点では、造網型のヒゲナガカワトビケラ、チャバネヒゲナガカワトビケラ、シマトビケラ科のいずれもが、上流地点と比較して生息密度が大きかった。
3. ダム放流水口直下の地点では、夏季に河川水中の浮遊態有機物濃度の増加が観察され、これはダム湖からの植物プランクトンの流下によるものと推察された。また、この地点では夏季にヒゲナガカワトビケラ属若齢幼虫の顕著な増加が確認された。
4. ダム湖から供給される植物プランクトンは、ダム下流域のヒゲナガカワトビケラ属の個体群に正の影響をもたらしている可能性がある。

謝 辞

本研究を進めるに際し、大石ダム管理支所の柳正市所長には大石ダム流入量、放流量等の貴重な資料をご提供いただいた。新潟大学教育学部の福原晴夫教授には、研究の進め方について有益なご助言を賜った。これらの方々に深く感謝する次第である。

引用文献

- 青谷晃吉・横山宣雄（1987）東北地方におけるヒゲナガカワトビケラ属 2 種の生活環について．陸水学雑誌 **48**: 41-53.
- 古屋八重子（1998）吉野川における造網型トビケラの流程分布と密度の年次変化，とくにオオシマトビケラ（昆虫，毛翅目）の生息域拡大と密度増加について．陸水学雑誌 **59**: 429-441.
- 可児藤吉（1944）溪流棲昆虫の生態．「日本生物誌，昆虫，上巻」（古川晴男編），pp. 171-317．研究社，東京．
- 川合禎次編（1985）日本産水生昆虫検索図説．東海大学出版会，東京．
- 森下郁子（2001）生態系の保全についての配慮．「農業農村整備事業における環境との調和」（日本農業土木総合研究所編），pp. 113-138．日本農業土木総合研究所，東京．
- 大熊孝（1999）川と人とのつながり．「自然環境復元研究会 10 周年記念シンポジウム資料集」（横浜市環境科学研究所編），pp. 92-95．自然環境復元研究会，静岡．
- 谷田一三・竹門康弘（1999）ダムが河川の底生動物へ与える影響．応用生態工学 **2**: 153-164.