

山地溪流河川における生態系の評価手法に関する研究

Study on Stream Ecosystem Assessment

浅枝 隆^{1*}、藤野 毅¹、高橋陽一²

Takashi Asaeda¹, Takeshi Fujino¹, Yoichi Takahashi²

¹ 埼玉大学 大学院理工学研究科 環境科学領域

Div. of Environmental Science, Graduate School of Sci. & Eng., Saitama University

²(財)水資源協会 水資源研究所

Japan Water Resources Association

Abstract

This topic presents the effect of water temperature on benthic invertebrate growth and assemblages at downstream site of the Dam in winter, in Japan. The surface layer water of dam was released, and the temperature was always 3-5 degrees higher than the upstream. This was because of tentative manipulation of dam. Life cycles of dominated species were faster and their body size were all larger in the downstream than the upstream. *Kamimuria tibialis* (Perlidae) as a predator grew faster. Also, its body weight was much heavier than in the upstream, even its body length is the same in the upstream. Periphyton biomass was also much higher, especially, filamentous species were dominated at slow current site in the downstream. Regardless of abundance of periphyton, Heptageniidae as a grazer were not increased compared with the upstream. Besides discharge control, water temperature changes invertebrate assemblages quickly. This result implies that restrict of the movement of species is need to consideration.

Key Words: Gypsum board, Recycle, Gypsum hemihydrate, Wooden, Fireproof, Floor

1. 目的

ダムの上流間で底生動物群集が変化する現象に関する研究は、欧米先進国を中心に 1980 年代以降盛んになり、流量の変動による現存量の変化や流下物との関連、ダム放流水温が下流の底生動物の生活史に影響などについて多数報告がなされている[1]。一方、国内では、河川生態学として古くから底生動物種に関する生物学・生態学的特性について盛んに研究がなされてきているものの[2]、ダム建設による上下流間の不連続性が与えるインパクトに関する報告は比較的最近である[3]。底生動物群集のハビタットは出水によって様々な規模で破壊と回復を繰り返し、加えて、ダム運用によって流量が制限されることやダム湖の出現により流下物の量や質が異なることで、取り巻く環境はより複雑になっている。その

ため、流域の構成種の季節変動や異なる流域間での相違について適切に評価することは困難であった。このように、河川生態系の研究として、個々の種の生物については、生態学的観点で多くの知見が得られているが、ダムが存在する河川の環境管理の観点から、ダムの建設によって底生動物群集がどのように変化するかを適切に評価するためには、すでに完成し、長年運用しているダムの上下流の比較だけでは不十分であり、ダム出現前後の比較を行うことが望ましいものの、そのような事例はほとんどない。従って、現状では、河川生態系の保全を考慮したダムの運用管理に反映させることが困難である。

このような背景のもと、本研究では、完成間近のダムを対象に試験湛水開始前後において底生動物種のモニタリングを実施し、その運用によって生ずる物理化学的環境の変化が底生動物群集に与える影響と変動を解明し、今後のダム本格運用における下流域の河川生態系の管理に資する知見を得ることを目的としている。

* 〒338-8570 さいたま市桜区下大久保 2 5 5
電話：048-858-3563 FAX：048-858-3563
Email：asaeda@mail.saitama-u.ac.jp

2. 調査方法

2.1 調査地点・方法

底生動物群集の調査は、2005年10月から試験湛水を開始した荒川水系中津川の滝沢ダム(埼玉県秩父市大滝)の上流である中双里地区とダム直下(ダムサイトから約400m下流、途中に流入する沢や支流は無く、ダム工事区域外)に位置する小双里地区で行った(図-1)。

底生動物については独立行政法人水資源機構滝沢ダム建設所(現荒川ダム総合事業所)による自然環境調査の一環として、1995年から96年にかけて冬(12月)、早春(3月)、夏(8月)に実施されており、以降、2004年から05年、2005年から06年、2006年から07年において同様の季節で行われている3)。この調査では、本研究と同じ区域の瀬を対象に、各2か所採取し、限りなく種類まで同定され、個体数および湿潤重量が計測されている。

以上に加えて、著者らは2004年3月より月1回以上の頻度で定期サンプリングを行い、科レベルまでの同定(一部は種レベルまで)と個体数の定量調査を行った。

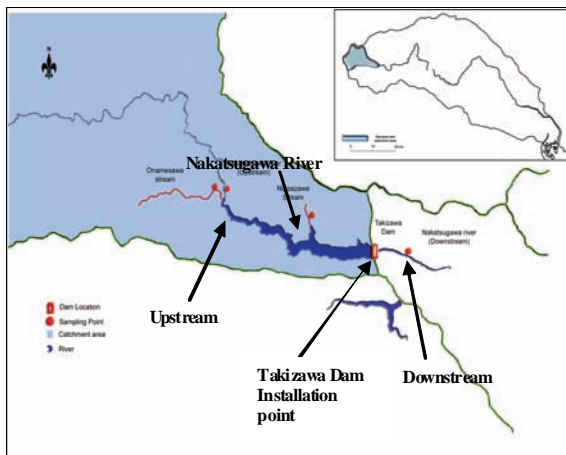


図-1 調査地点(埼玉県秩父市大滝 滝沢ダム)

2.2 ダム上下流の物理環境、水質

図-2はダム流入量と放流量の経時変化を示す。滝沢ダムでは試験湛水開始前まではバイパスを通して下流の流量を維持しており、2005年10月1日に試験湛水を開始したものの11月13日に湖岸斜面に変状が生じたためその対策工事を実施するため変状が観察される前の水位に水位を下げ保ち、対策工事が完了した後、2006年8月19日以降に再び湛水を開始している。試験湛水期間中の下流への放流量は、流入量が $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ に満たないときは流入量であり、流入量が $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上のときは $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ である。過去3年間で、

年間数回にわたる出水が発生しており2005年10月の試験湛水開始から2007年3月までの期間において最も規模が大きかったのは2006年10月7日の出水で、その時の流入量のピークは $117.1 \text{ m}^3/\text{s}$ (日平均値)であった。流出のピークは翌8日で $55.6 \text{ m}^3/\text{s}$ (日平均値)であった。出水時と試験湛水期間を除いた平水時では流入量と放流量は同じである。表-1に、中双里と小双里調査区内における平水時の瀬の流速と水深を示す(毎回3か所計測)。両者の比較として、水深はほぼ同じであるが、ダム下流の流速はダム上流と比較して年間を通じて低かった。写真-1は、両調査区地点周辺の河床である。ダム下流において粗礫が多く占めており、この状態は試験湛水開始前の2005年に実施された河床礫サイズ分布の調査結果からも統計上同様な結果が確認されていた[4]。しかし、それがダム建設によるものかは不明である。また、2006年以降、巨礫表面には糸状藻類が繁茂している。現地では、水温、pH、溶存酸素、電気伝導度を現地用簡易水質計、濁度を濁度計(いずれも東亜DKK製)で計測した。また採取した水について、実験室でTDN、TDP、溶存有機態(DOC)、Chl-a濃度を測定した。Chl-a量の定量はターナー社の蛍光光度計を用いた。ダム下流の水質は、水温を除いてダム上流と比べて有意な差は生じなかった。

2.3 流下物・付着藻類の採取

各調査区域内において、1mmと $100 \mu\text{m}$ メッシュの2種類の網を10分間設置し流下物を採取した。流下物を1mm以上(CPOM)と1mm以下(FPOM)に分けて実験室で 45°C で乾燥し、重量および分析に用いた。また、礫の付着藻類のサンプリングを行い、Chl-a量を測定した。

3. 底生動物群集の結果

3.1 底生動物群集の変動

過去10年間に実施した滝沢ダム周辺における底生動物出現種のうち、昆虫は全8目、60科、172種が確認されている。ここでは、試験湛水開始前後の底生動物種の動態を把握することが目的であるため、自然環境調査により連続的に実施した2004年以降に実施したデータを評価対象とする[4]。その中で、種類や個体数が多く発見されるカゲロウ目、カワゲラ目、アミメカゲロウ目、コウチュウ目、ハエ目、トビケラ目を対象種とした。

50cm四方の面積あたりの底生動物における出現タクサ数と個体数の流域間変動、および調査年度間変動の有意性を確認するため、それぞれ二次元配置分散分析を行った。まず、タクサ数

に関して、流域間比較、および調査年度間比較それぞれの変動には有意性が認められた(図-2, 図-3)。なお、採取年ごとに出現タクサ数は異なっているが、その変化傾向は上流も下流も同じであることから、両者に共通する攪乱の要因としては、まず出水が挙げられる。出現タクサ数の変動は、その年に発生した出水の規模や頻度、および時期に依ることが考えられる。一方で、調査年度間比較においては、どの年度も下流域でタクサ数が多いことが示された。これは流域間での物理環境の違いに由来する付着藻類量の違いや捕食者としての魚類の量の違いなどが考えられる。しかし、以上のタクサ数に関する解析のみからでは、ダム操作前後による明確な変動は生じていないことが示されている。

表-1 調査区内の瀬の流速と水深(平水時)

	中里双(ダム上流)	小里双(ダム下流)
流速(m/s)	0.61 (0.31-0.84)	0.31 (0.10-0.55)
水深(cm)	29 (19-41)	32 (22-43)

※06年、12回の平均とレンジ(カッコ内は最小-最大)

表-2 ダム上流域の水質の年平均値とレンジ

pH	8.1 (7.4-8.5)	Temp (C)	9.2 (0.6-19.2)
DO (mg/l)	11.4 (8.7-15.7)	EC(mS/m)	20.6(15.8-31.6)
DOC(mg/l)	1.57(0.88-2.67)	NO ₃ -N(mg/l)	0.80 (0.54-1.10)
PO ₄ -P (mg/l)	< 0.002		

次に、個体数に関して、流域間比較、および調査年度間比較それぞれの変動にも有意性が認められた。しかし、下流の06-07年の偏差が特に大きく、タクサ数の解析ほど高い信頼性は得られていない(図-4, 図-5)。流域間比較において、上流(US)での個体数は04-05年から05-06年にかけて増加したものの、翌06-07年では変化は見られなかった。一方、下流(DS)ではこの期間中に増加し続けている。調査年度比較においては、どの年度においても個体数は下流のほうが多いことを示している。但し、タクサ数に関する解析と同様に、個体数に関する解析のみからではダム操作前後による明確な違いは説明できない。しかしながら、両方の05-06年から06-07年にかけての変化を比べると、ダム下流ではタクサ数が減っているものの、個体数が増加しており、ユスリカ等いくつかの種類が卓越して生息していることを示唆している。

3.2 上流および下流の優占種とその摂食型

ダム上流と下流の底生動物の構成タクサ数の相違について、2004年以降8回の個体数定量調査のうち、上流域のみに出現した種類と下流域のみに出現した種類を示す。また、それぞれの

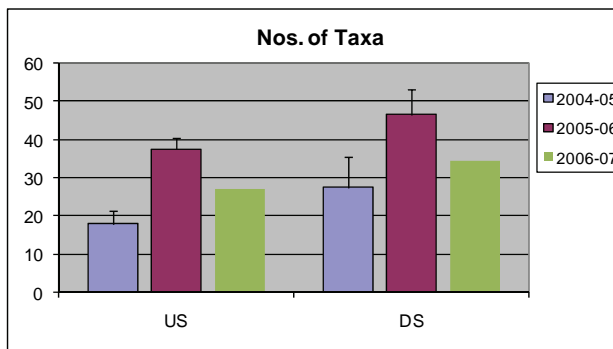


図-2 底生動物群集におけるタクサ数の流域間比較 (図中US:上流域, DS:下流域) ($P < 0.0001$, two-way ANOVA)

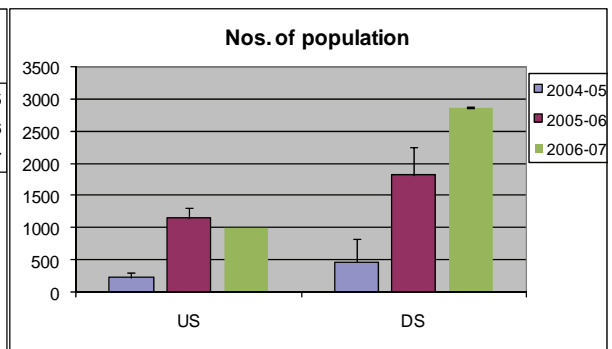


図-4 底生動物群集における個体数の流域間比較 (図中US:上流域, DS:下流域) ($P < 0.01$, two-way ANOVA)

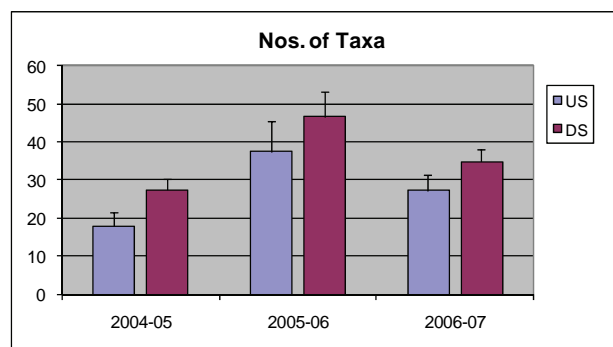


図-3 同タクサ数の調査年度間比較 (図中US:上流域, DS:下流域) ($P < 0.001$, two-way ANOVA)

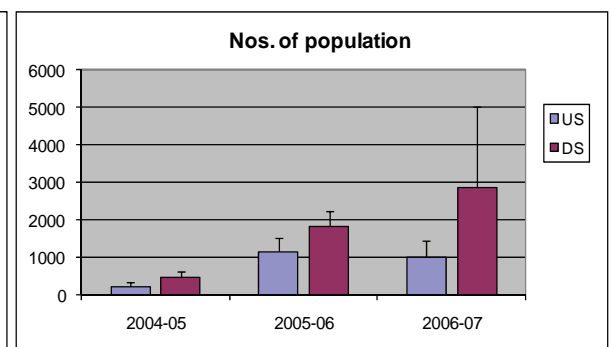


図-5 同個体数の調査年度間比較 (図中US:上流域, DS:下流域) ($P = 0.025$, two-way ANOVA)

表-3 上流域のみにおいて出現した種(左)と下流域のみにおいて出現した種(右)一覧および摂食機能群³⁾

目名	科名	和名	学名	摂食機能群
カゲロウ	ヒラカゲロウ	ミヤウエカゲロウ属の一種	<i>Cinygmula</i> sp.	Co+Sc
		アミカゲロウ	<i>Epeorus curvatus</i>	Co+Sc
カゲラ	ハラジロオナモミカゲラ	ハラジロオナモミ科	Leuctridae	Sh
		オナモミカゲラ	<i>Pseudomegacerys japonicus</i>	Pr
		オナモミカゲラ属の一種	<i>Tadanus</i> sp.	Pr
		オナモミカゲラ属の一種	<i>Acroneuria</i> sp.	Pr
カゲラ	オナモミカゲラ	オナモミカゲラ属の一種	<i>Calineuria</i> sp.	Pr
		オナモミカゲラ属の一種	<i>Gibosia</i> sp.	Pr
		オナモミカゲラ	<i>Niponiella limbata</i>	Pr
		オナモミカゲラ	<i>Niponiella limbata</i>	Pr
コウチュウ	マハナミ	マハナミ科	Helodidae	Sh+Co+Sc
		マハナミ属の一種	<i>Cyphon</i> sp.	Sh
		マハナミ	<i>Zaitzevia awana</i>	Co+Sc
ハエ	カガシボ	カガシボ属の一種	<i>Dicranota</i> sp.	Pr
		アガサ	<i>Agathon longispina</i>	Sc
		アガサ	<i>Agathon bilobatoideus</i>	Sc
		アガサ	<i>Agathon japonica</i>	Sc
		アガサ	<i>Prosimulium</i> sp.	Co
		アガサ	Diametinae	Co+Sc
		アガサ	<i>Atherix ibis japonica</i>	Pr
ヒケラ	ナカレヒケラ	ナカレヒケラ	<i>Rhyacophila impar</i>	Pr
		ナカレヒケラ	<i>Rhyacophila lezevi</i>	Pr
		ナカレヒケラ	<i>Rhyacophila</i> sp.RR	Pr
		ナカレヒケラ	<i>Hydropsyche albicephala</i>	Co
		ナカレヒケラ	<i>Goera japonica</i>	Sc
		ナカレヒケラ	<i>Apatania</i> sp.	Sc
		ナカレヒケラ	<i>Neophylax</i> sp.	Sc
		ナカレヒケラ	<i>Rhyacophila brevicephala</i>	Pr
		ナカレヒケラ	<i>Rhyacophila nipponica</i>	Pr
		ナカレヒケラ	<i>Rhyacophila yamanakensis</i>	Pr

注1) 摂食機能群のCoは採集食者、Prは捕食者、Scは刈取食者、Shは破碎食者を示す。
 注2) 下流域の○は、ダム試験運用開始以降の調査で出現が確認された種を示す。

目名	科名	和名	学名	摂食機能群
カゲロウ	カゲロウ	シシカゲロウ	<i>Acentrella sibirica</i>	Co ○
		アミカゲロウ属の一種	<i>Baetiella</i> sp.	Co
カゲラ	カゲラ	サホカゲロウ	<i>Baetis sahoensis</i>	Co+Sc
		アミカゲロウ	<i>Baetis</i> sp.F	Co+Pr
		アミカゲロウ	<i>Isonychia japonica</i>	Co+Pr ○
		アミカゲロウ	<i>Ecdyonurus bajkovae</i>	Co+Sc ○
		アミカゲロウ	<i>Ephemera japonica</i>	Co+Pr ○
		アミカゲロウ	<i>Ephemera strigata</i>	Co+Pr
		アミカゲロウ	<i>Drunella bifurcata</i>	Pr ○
		アミカゲロウ	<i>Ephemera denticula</i>	Co ○
		アミカゲロウ	<i>Torleya japonica</i>	Co
		アミカゲロウ	<i>Neoperla</i> sp.	Pr ○
アミカゲロウ	ヘビトンボ	ヘビトンボ	<i>Parachauliodes continentia</i>	Pr ○
		ヘビトンボ	<i>Eubrianax</i> sp.	Sc
		ヘビトンボ	<i>Psephenoides japonicus</i>	Sc ○
コウチュウ	マダヒラ	マダヒラ	<i>Psephenoides</i> sp.	Sc ○
		マダヒラ	<i>Psephenoides</i> sp.	Sc ○
		マダヒラ	<i>Psephenoides</i> sp.	Sc ○
ハエ	カガシボ	カガシボ科	Tipulidae	Sh, Co
		カガシボ	<i>Parablepharocera esakii</i>	
		カガシボ	<i>Chironomus</i> sp.	Sh+Co ○
		カガシボ	<i>Microtendipes</i> sp.	Co
		カガシボ	<i>Rheotanytarsus</i> sp.	Co
		カガシボ	<i>Suragina caerulescens</i>	Pr ○
		カガシボ	Tabanidae	Pr ○
		カガシボ	<i>Rhyacophila nipponica</i>	Pr
		カガシボ	<i>Rhyacophila nipponica</i>	Pr
		カガシボ	<i>Rhyacophila nipponica</i>	Pr
ヒケラ	ナカレヒケラ	ナカレヒケラ	<i>Dolophilodes</i> sp.DB	Pr
		ナカレヒケラ	<i>Stenopsyche marmorata</i>	Co
		ナカレヒケラ	<i>Stenopsyche sauteri</i>	Co ○
		ナカレヒケラ	<i>Plectrocnemia</i> sp.	Co+Pr
		ナカレヒケラ	Psychomyiidae	Co ○
		ナカレヒケラ	<i>Diplectrona</i> sp.DC	Co
		ナカレヒケラ	<i>Ceraclea</i> sp.	Sh+Co+Pr ○
		ナカレヒケラ	<i>Rhyacophila nipponica</i>	Pr
		ナカレヒケラ	<i>Rhyacophila nipponica</i>	Pr
		ナカレヒケラ	<i>Rhyacophila nipponica</i>	Pr

表-4 流下有機物の成分

(Average (std.) in 2006, n=12)	upstream	downstream
CPOM		
AFDM (%)	96.9 (1.25)	90.6 (4.98)
C content (%)	47.2(2.32)	45.4(3.75)
N content (%)	1.4(0.90)	1.5(0.60)
(C/N	33.7	30.3)
FPOM		
AFDM (%)	66.5 (9.56)	42.9 (7.35)
C content (%)	33.1(4.78)	15.6(5.36)
N content (%)	2.1(0.69)	2.2(0.60)
(C/N	15.8	7.1)
Lignin (%)*	27	8
Chl-a in water (micro g/L)	0.1-0.3	10.0-30.0

* sampled in August, >250 micro m size

摂食機能群を右に付記した(表-3)。なお、これらは各流域で毎回出現したとは限らず、期間中一度以上出現したのものとして挙げている。これより下流域のほうがタクサ数は多いことがわかる。摂食機能群に着目すると、捕食者(Pr)を除く採集食者(Co)、刈取食者(Sc)、破碎食者(Sh)の中で、上流域では刈取食者種が多いのに対し、下流域では採集食者が多いことがわかる。なお、ダム下流域においては、試験湛水開始以降に出現した種類は17種あった。

3.3 流下有機物の比較

表-4は、著者らが実施した試験湛水開始後の2006年4月から2007年3月において採取した流下有機物の成分を示す。流下有機物は1mmサイズ以上の粗粒状有機物と1mmサイズ以下の細粒状有機物に分類し、それぞれの強熱減量(AFDMとして表示)、炭素、窒素含有率、細粒状有機物のリグニン含有率およびChl-a含有率を示す。粗粒状有機物はほとんどがリーフリターであり、ダム下流は主に落葉期にダム下流域において移入したものである。これより、流下物の質の違いについては、ダム下流の細粒状有機物は植物プランクトン由来が多い。

粒状有機物の流下量については、ダム上流域では10~12月の落葉期こそ粗粒状が細粒状と比較して数10倍の規模で流下し、密度に換算して0.2から0.4g/m³であった。それ以外の時期では、細粒状の占める割合が高い場合も多く、密度に換算して0.01から0.05g/m³であった。一方、ダム下流においては、落葉期においても上流からの供給量は少なく、逆に割合は数分の1か数十分の1の規模であった。密度に換算して最大でも0.1g/m³以下であり、多くが0.01から0.03g/m³程度であった。

4. ダム下流域の底生動物群集に及ぼす環境影響

2.2に示した通り、ダム上下流において、試験湛水開始後の主な環境の変化は流速の低下と水温である。特に、水温は、ダム放流が表層水であり、ダム湖内で滞留している間に暖められており、運用後、常に3°Cから5°C高くなっている(図-6)。特に、冬季では、上流の水温が0°C近くまで低下するのに対して、下流では4°C以上が保たれており、多くの底生動物が一年中成長可能な温度領域内にある。ダム放流水温の下流域の底生動物の成長に及ぼす影響は多く報告がある[5]。Raddum et al. (1993)は、水温の低い深層から放流されたことで、コカゲロウの一種(*B. rhodani*)の個体数が減少すること、一方、冬季の放流水温が高い場合は、個体数が増加し、成長も速くなった[6]。

著者らによる実施調査ではこれらの種は確認されておらず、ダム試験湛水開始後、顕著に出現したのはチカラカゲロウ科、ヒラタドロムシ科、ヒゲナガカワトビケラ、ナガレトビケラ科であった。ここで、ヒゲナガカワトビケラは東アジア特有の種であり、我が国において比較的温暖な中流域に生息し、礫間に巣を作り、流下する植物プランクトンを集めて捕食していることからダム下流域においても優占することが報告されている。そこで、ここではヒゲナガカワトビケラを中心に考察する(図-7)。

ダム直下において、ダム運用前までのヒゲナガカワトビケラの個体数は少なく、そのピークは明確ではないが、運用後、ヒゲナガカワトビケラは年2世代を経過する。こうした生活史は、わが国の河川においては主に中流域で見られ、高緯度地域や上流では年1世代である場合が多い。ヒゲナガカワトビケラが定着する物理条件として、河床の粗礫が多いことと、ダムによる出水時の放流量の制御とそれに伴う土砂供給の減少が考えられ、運用前にそれらはすでに整っていた。今回、ここで見られた個体数の増加と年2世代の出現は、この物理環境に加えて下流水温の上昇が大きく影響している。ヒゲナガカワトビケラの羽化は13°C以上で発生し、低温時はそれまで待っていることや、積算温度が55月°Cに達すると次の世代に経過するまでに成長することが知られている[7]。今回、冬季の水温がこれまで4°C以下であったのが、常に4°C以上となり羽化するまでの時期は大幅に短縮された。また、出水時の攪乱によって、卵や第I~II齢は流下しやすく、IV齢以上では巣が強固で安定するため生存確率が高くなる[8], [9]。この場所におい

ても出水の時期と羽化・産卵の時期が近いと生存確率は低くなるが、水温の上昇によって、少なくともダム上流や運用前のダム直下と比べて羽化・産卵の時期がより早く生じ、出水発生時にはすでにIV齢以上に達していることで生存確率が高まる。個体数および幼齢分布の結果から、以上のような理由でダム直下においては出水による流下は少なかったことが考えられる。さらに、すでにニッチに関する物理条件は整っていたため、水温が上昇したことにより下流に生息したものが産卵のために湖上区域を拡大し、ダム直下の発生が規則的なものとなったことが考えられる。このほか、ヒラタドロムシ科なども、もともと中流域に生息する種であり、河川水温の上昇により生息域が拡大したことが考えられる。

5. 出水後の底生動物群集の回復の比較

最後に、著者らの調査による2006年10月のダム上下流での出水後の底生動物群集の回復について比較する。出水によって、底生動物は流下するが、同時に河床に堆積していた餌資源も流される。ここでは、餌資源との関係を見るため、各摂食機能の代表的な種類について各個体の乾燥重量を測定した。代表種は前出の採食者としてヒゲナガカワトビケラ、同じ造網型で採食者(あるいは過摂食者)のシマトビケラ科(Hydropsychidae)、刈菜食者(Sc)としてヒラタカゲロウ科(Heptageniidae)、および捕食者(Pr)としてカミムラカワゲラ種(*Kamimuria tibialis*)を選定した。

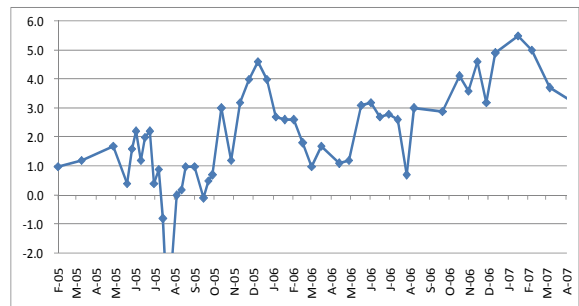


図-6 ダム上流域と下流域の水温差(下流域-上流域)(単位は°C)

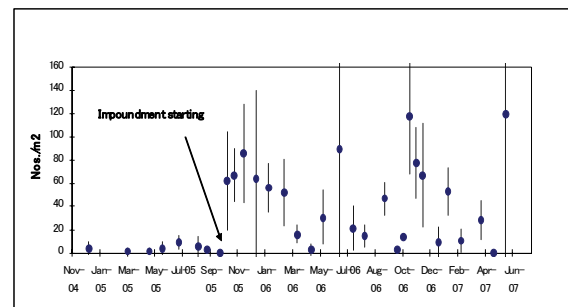


図-7 ヒゲナガカワトビケラ個体数の経年変化(n=3)

ここで明確なことは、ヒゲナガカワトビケラ種一個体の重量が大きく、さらに下流において秋から冬にかけて急激に増加した。前出のとおり、これは水温が低下せず、流下する細粒状有機物を捕食し成長し続けたことを示唆する。一方、上流域でのヒゲナガカワトビケラのバイオマスはほとんど増加していない。次に、同じ造網型のシマトビケラ科については、下流域のほうがやや重量が大きめであるが、変動傾向は上流域と同じ傾向にあった。この流域で確認されたシマトビケラ科は5種あるが、いずれもダム上下流に生息が確認されている。下流域の温度の上昇の影響は見られなかった。もともとはその個体数は上流域のほうがこの時期に流下するシマトビケラ科やカミムラカワゲラ種も下流に多い傾向にある。一方、ヒラタカゲロウ科は上流域で回復傾向が確認できるが、下流域ではそれが見られない。下流域は付着藻類がより多く繁茂しているにも関わらず、増加傾向にないのは、この種は滑行型としても区別され、糸状藻類が繁茂する礫の表面は不利に働いたことが考えられる[3]。捕食者であるカミムラカワゲラ種も、体長および個体の重量は下流で大きい傾向があるが、変動は上流と同じであった。

6. おわりに

本研究により、ダムの試験湛水開始前から生物モニタリングを行ったことで、複雑なダム出現による底生動物群集の変化の動態をある程度把握することができた。注意すべきことは、実施年度によって出現タクサ数や個体数は大きく異なるので、評価は断続的なモニタリングのもとで行われるべきである。

今回の結果から、試験湛水開始以前からダム上下流で生息種や密度が異なっていること、試験湛水開始後によって環境の変化が生じた後に変化が生じることの2つの相違パターンが確認された。この区別は運用前の調査が不可欠であり、変化する環境要因との関係性を評価する上で

大変重要である。また、水温の変化に著しく反応する種とそうでない種があることがわかった。

謝辞：ダム流入および放流量、滝沢ダム自然環境調査結果については独立行政法人水資源機構荒川ダム総合事業所より提供頂きました。また、サンプルの採取や物理環境の測定においては応用地質(株)のご協力を受けました。記して感謝いたします。

参考文献

- [1] 例えば Doeg, T.J., et al.: Response of the aquatic macroinvertebrate communities to dam construction on the Thomson river, Southeastern Australia, Reg. Rivers, 1, 195-209, 1987.
- [2] 津田早苗: 水生昆虫の生態学, 水生昆虫学第2章, 北隆館, 1962.
- [3] 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, 48B, 2005.
- [4] 関東地方ダム等フォローアップ委員会, 第3回滝沢ダムモニタリング調査結果資料集, 2006.
- [5] R. Cereghino, Abundance, biomass, life history and growth of six Trichoptera species under natural and hydropeaking conditions with hypolimnetic releases in a Pyrenean stream, Arch. Hydrobiol. 138, 307-328, 1997.
- [6] Raddum G.G. and A.Ejellheim, Life cycle and production of Baetis rhodani in a regulated river in western Norway, Reg. Rivers, 8, 49-61, 1993.
- [7] 御勢久右衛門: ヒゲナガカワトビケラの生活史と令期分析, 陸水学雑誌, 31, 96-106, 1970.
- [8] Nishimura, N.: Ecological studies on the net-spinning caddisfly *Stenopsyche griseipennis* McLaClan. 1. Life history and habit. Mushi, 39, 103-114, 1966.
- [9] Nishimura, N.: Ecological studies on the net-spinning caddisfly *Stenopsyche marmorata* NAVAS 6. Larval and pupal density in the Maruyama river, Physiol. Ecol. Japan, 21, 1-34, 1984.