

青野ダム魚道ビオトープの水生昆虫

AQUATIC INSECTS IN FISHWAY BIOTOPE ON AONO DAM SITE

玉井昌宏¹・藤澤知親²・上野山直樹³
Masahiro TAMAI, Tomochika FUJISAWA and Naoki UENOYAMA

¹正会員 博(工) 大阪大学助教授 大学院工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 吹田市山田丘2-1)

²非会員 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻前期課程 (〒565-0871 吹田市山田丘2-1)

³学生会員 大阪大学工学部地球総合工学科 (〒565-0871 吹田市山田丘2-1)

Aquatic insects were surveyed to evaluate a biotope of Aono dam fishway ecologically. The Aono dam is located on the Aono river, a tributary of the Muko river which flows through Hyogo Prefecture, Japan. The fishway consists of pool-type fishway, riffle and pool sequences and etc. Aquatic insects were sampled by picking up surface bed materials in about 0.09m² quadrat and washing adhered materials out. Sampled aquatic insects were identified to genera and individual numbers were counted for each genus. The genera and their individual numbers were examined in relation to hydraulic and bed conditions. EPT, Shannon Diversity Index and etc. were calculated for each sample. Most sampled insects belongs to genera which have tolerance to organic pollutions and usually live in lower reaches. Algae and mud which are supposed to come from the dam reservoir strongly influence spatial distribution of the genera of insects.

Key Words : aquatic insects, macroinvertebrates, fishway, biotope, dam

1. はじめに

青野ダムは2級河川武庫川の左支川青野川に建設された治水と利水を目的とした重力式コンクリートの多目的ダム(総貯水量1500万m³, 堤高29m, 1988年供用開始)である。兵庫県立有馬富士公園が整備されるなど, ダム湖周辺地域には自然環境が比較的良好に保存されていると判断されており, 魚道は魚類通過のみならず, ビオトープ形成と, 散策・生態観察の3機能を兼ね備えた「多自然型」として整備された。魚道に関わる一連の工事は1993年に開始されて, 2001年7月に竣工している。¹⁾²⁾³⁾

魚道の計画設計において, 遊泳魚アユや底生魚ヨシノボリの遡上実験などが実施され, 魚道としての基本的な機能については検討されている。¹⁾²⁾³⁾ 一方, 「ビオトープ機能」については, 瀬や淵, 水たまり(ワンド)を配して, 水中や水辺に多様性を持たせるように種々工夫を凝らされている。但し, 具体的な対象生物や生息環境が想定されているわけではない。魚道完成後も, 生息魚類や水生昆虫等についての調査が継続的に実施されているものの, ビオトープ効果がどの程度発現しているのかについては評価する方法も明確になっていない。

従来, ダム建設の周辺生態系への影響や魚道に関する研究⁴⁾は盛んに行われてきているが, ダム魚道のビオトープ形成機能を検討した例は見あたらない。また, 魚

道が湖生生態系とダム下流河川生態系をいかに接続しているのかという問題についても, これまで殆ど検討されていない。全国各地で自然再生事業法にもとづく河川環境の再生あるいは創造事業が盛んに実施されているものの, こうした事業の計画方法や, 事業実施後の評価方法については, 十分検討されているとはいえないのが現状である。

本研究では, 多自然型魚道のビオトープ効果を評価するために, 魚道内の水生昆虫の調査を行った。魚道内に造られた様々なマイクロハビタットにおいて昆虫サンプリングをおこない, 属までの同定と個体数の計測を行った。生息種とあるいは各種多様性指標と水理あるいは河床条件との関連性について検討した。

2. 調査の概要

(1) ダム魚道の概要

図-1に青野ダムの位置図を示す。武庫川は兵庫県篠山市付近を源流として, 三田市, 宝塚市などを貫流し, 西宮と尼崎の市境となって大阪湾に流入する2級河川である。主流河川長は約65km, 治水基準点における流域面積は約500km²である。武庫川左支流青野川(河川長約10km)は, 三田市下井沢付近で, 武庫川本流と合流している。青野ダム湖へは, 青野川左支流の黒川(河川長約7.6km)が流入しており, ダムサイトにおける流域面積は,

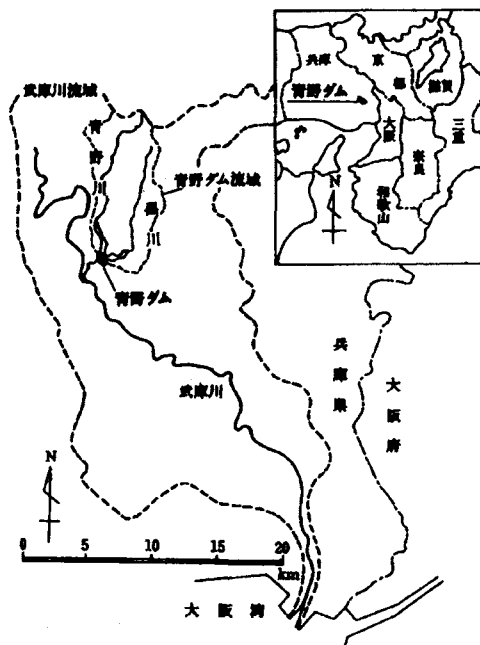


図-1 青野ダムの位置図¹⁾

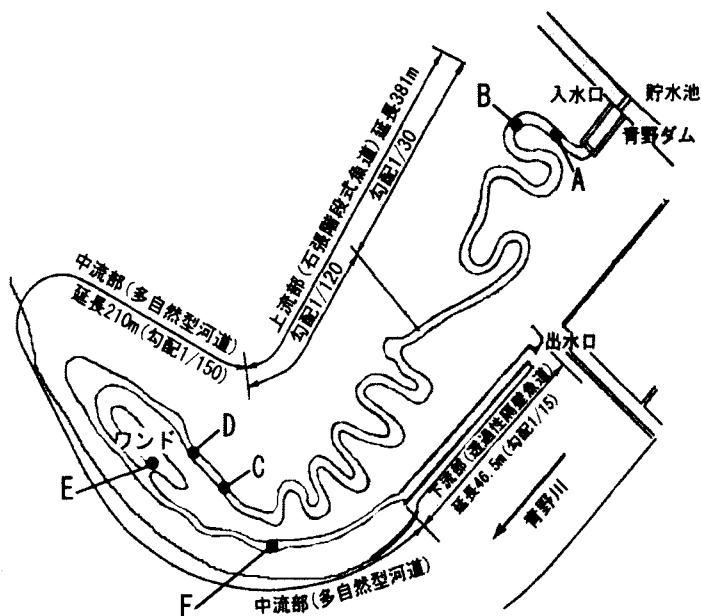


図-2 多自然型ダム魚道の概要図 (参考文献1に加筆)

表-1 区間別機能と魚道形式 (参考文献1より転載)

区間	機能	魚道形式
上流部	比較的急勾配とし、その環境に適応した生態系を創成するとともに、魚道として機能させる。景観に配慮し、自然素材による構造とする。	自然石張りプール式魚道 $S_0=1/20 \sim 1/30$
中流部	緩勾配の自然流路とし、瀬・淵・ワンドを配して多様な流れと、その環境に適応した生態系を創成するとともに魚道として機能させる。	自然流路型魚道 $S_0=1/150$
下流部	急勾配とし、魚道としてのみ機能させる。なお、河川水位上昇時には背水の影響を受けるため、水路構造の維持を優先させる。	透過性隔壁魚道 $S_0=1/15$

約51.8km²である。夏季において貯水池内の水質は、COD 4～6mg/L、全窒素0.4～0.6mg/L、全リン0.03～0.04mg/L程度であり、例年淡水赤潮が発生するような水質状況である。

図-2はダム魚道の全体図である。ダム魚道の全長は、約620m、魚道入口と出口間の高低差は約17m、平均の河床勾配は1/36程度である。ダム魚道最上流部の入り口には、ダム湖水面と魚道水表面を接続させるための閘門が設置されている。魚種通過のために1日1回の閘門操作が行われている。魚道の水路区間は、表-1に示すような3つの区間に分けて整備が行なわれた。本研究では、生物の生息空間機能を持つことを期待して設計された上流部と、中流部を対象として調査を行うものとする。魚道諸元については、魚道の設計思想とともに、西川ら¹⁾や石川ら²⁾に詳細に記述されているので参照されたい。

(2) 調査方法

水生昆虫以外の調査項目は、水深、流水幅、流速、河床材料、水温、DO、pHである。流速は電磁流速計(KENEK社製VP200LG)を、DOはYSI社製Model660を、pHと水温はYSI社製Model115を用いて計測した。河床材料については、目視により粒径の大きさと材料表面の様子を観察した。

調査は平成15年7月31日、8月1日の2日間実施した。両日ともに晴天であった。第1日目は、通常通り魚道に通水している状態で、水理量と水質の測定を行った。第2日目は魚道への通水を中止した状態で、水生昆虫採集を行った。通水しない状況とした理由は、プール式魚道や淵部において水深が大きいことと、通常水深の大きい場所で用いられる採泥器の利用が河床条件から困難であったからである。魚道内の水が殆ど無くなるまでには1日程度で要することから、通常より水深、流速が小さくなっている状態か、水たまり状態で採集を行なうことになる。止水状態で昆虫を採集するために、サーパーネット等による捕捉が困難であることから、約30cm×30cmのコドラートを用いて、その内側にある表層の河床材料を拾って、その付着物をバケツ水の中で洗い落とすことによって採集した。約0.1mmメッシュのネットによりバケツ水から付着物をこしとり、それを約80%の消毒用エタノールで固定した。後日、大阪大学研究室において実体顕微鏡(オリンパス社製SZ60)を用いて、付着物の中から水生昆虫を選び分け、属の同定と各属の個体数を測定した。属の同定には、丸山ら⁵⁾を参考にした。特殊な属あるいは種は発見されなかったことから、同定は比較的容易であった。

なお、水生昆虫の採集方法については、水質判定を目

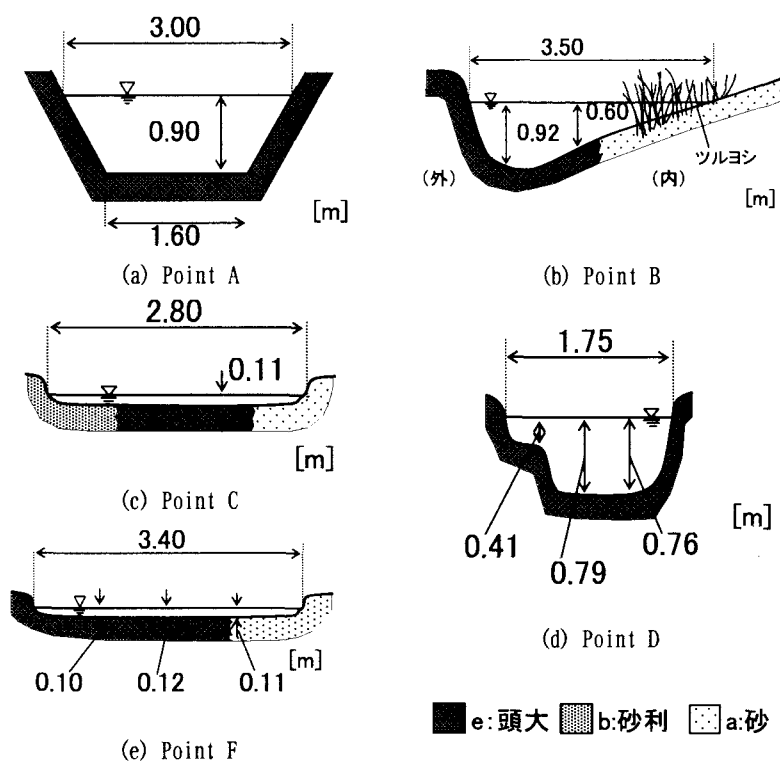


図-3 昆虫採集ポイントの水路断面図

的としたものについては、Beck-津田法⁶⁾などがよく用いられる。一方、生態系調査を目的とする場合には、通常サーバーネットによるものが多いが、サンプリングポイントの選定方法等も含めて、必ずしも一般的方法があるわけではない。なお、Karr⁷⁾はサンプリングプロトコルを提案して、採集方法の共通化を訴えている。

昆虫採集ポイントは、上流部プール式魚道の直線部(Point A)と曲線部(B)、中流部の早瀬部(C)、淵部(D)、滞留部(ワンド部)(E)、平瀬部(F)の合計5地点である。早瀬部および平瀬部では、水路中央付近と側壁付近の間で、河床材料に差異があったので、各断面内で水路中央、左岸より、右岸よりの3サンプルを採集した。

3. 結果と考察

(1) 計測ポイントの概要

サンプリングポイントA～Fは図-2に示したA～Fの6ポイントである。図-3は、ワンド部Eを除くサンプリングポイントの水路横断面の概略図である。また、表-2に各サンプリングポイントにおける水理量(水深、水面幅、断面平均流速)と水質測定項目(温度、DO、pH)、河床材料、河床材料表面の状況を示す。

Point B(プール式魚道部曲線部)については、曲線部外側から内側に向かって水深が小さくなるような三角形断面であり、表中の水深は最大水深を示している。Point Eについては、滞留部(ワンド部)入口部の水深を示している。

断面平均流速はダムから魚道への放流量 $0.16\text{m}^3/\text{s}$ を流水断面で除することにより算出している。各サンプリング

ポイントの断面において数点流速計測を行なったが、早瀬、平瀬、淵部については、断面内で概ね一様に流下方向に流れている。プール式魚道直線部の隔壁には遊泳魚と底生魚の通過のために、頂部切り欠きと河床部付近に潜孔が設けられている。切り欠きと潜孔周辺では、 1m/s 程度の強い流下方向流速が生じているが、側壁付近では魚道上流方向の流速が生じている。また、大きな渦構造が観察されるなど、断面平均流速は小さいものの、プール内の流れ場は比較的強く、複雑である。プール式魚道曲線部と直線部間についても、切り欠きと潜孔により接続されている。しかし、曲線部内の流動は、外周側壁方向に寄るために、全体的に一様で、安定した緩やかな流

表-2 サンプリングポイントと水理量と水質

Sampling Points	Point Depth(m)	Surface Width(m)	Mean Velocity (m/s)	Temp. (°C)	DO(mg/L), (%)	pH	Bed Material	Bed Material Condition
A	0.90	3.0	0.08	27.0	7.8(98)	8.1	e+++ , c+	algae
B	0.92	3.5	0.06	26.9	6.7(84)	8.0	e+++ , d+(out) a+++ , b++ , c+ (in)	mud+algae mud+algae
C-1(R)	0.11	2.3	0.52	27.4	8.1(102)	8.1	b+++ , a++ , c+	algae
C-2(C)	0.11	2.3	0.52	27.4	8.1(102)	8.1	e+++ , c++ , d++ , b+	algae
C-3(L)	0.11	2.3	0.52	27.4	8.1(102)	8.1	a++ , b++ , e++	algae
D	0.79	1.8	0.14	27.3	7.8(98)	8.0	e+++	mud+algae
E	-----	-----	-----	27.7	7.1(90)	7.9	a++ , b+++	mud+algae
F-1(R)	0.11	3.4	0.43	27.3	7.8(98)	8.3	e+++	mud+algae
F-2(C)	0.11	3.4	0.43	27.3	7.8(98)	8.8	e+++	mud+algae
F-3(L)	0.11	3.4	0.43	27.3	7.8(98)	8.1	a+ , c+ , b+++	mud+algae

(注) out : 水路外側, in : 水路内側

表-3 属の特徴と各サンプリングポイントの個体数

Genera	FFG	FEG	A	B	C-1	C-2	C-3	D	E	F-1	F-2	F-3	種別 総数
トビケラ目(Trichoptera)													
オオシマトビケラ(Macrostenum)	CF	O			3						1		4
シマトビケラ(Hydropsyche)	CF	O	2	1	2	24					1		30
コガタシマトビケラ(Cheumatopsyche)	CF	O	175	87	44	46	27	17		29	33	21	479
ヒメトビケラ(Hydroptila)	Gr	O				1					1		2
ムナグロナガレトビケラ(Rhyacophila nigrocephala)	P				4		2			1			7
ムネカクトビケラ(ecnomus)										2			2
カゲロウ目(Ephemeroptera)													
キイロカワカゲロウ(Potamathus formosus)				4				1					5
コカゲロウ(Baetis)	CG	A	3	3	32	240	64	6		8	137	74	567
トウヨウモンカゲロウ(Ephemera orientalis)	CG	F	8	7						1			16
モンカゲロウ(Ephemera strigata)	CG	F	2	1									3
ヒメカゲロウ(Caenis)			2										2
カワゲラ目(Plecoptera)													
フタツメカワゲラ(Neoperla)	P	F		38				3					41
その他													
ユスリカ(Chironomus)	CG	A	46	99	3	22	17	22	9	58	197	70	543
ガガンボ(Tipula)	Sh	A	7			2		4			1		14
ブユ(Simulium)	CF	O		1	1								2
ヒル(Arthynchobdellae)									1		3		4
地点別総個体数			245	241	89	335	110	53	10	99	374	165	1721
EPT%			0.78	0.59	0.96	0.93	0.85	0.51	0	0.41	0.46	0.58	0.67
優占率			0.71	0.41	0.49	0.72	0.58	0.42	0.90	0.59	0.53	0.45	0.33
Shannon Diversity Index			0.94	1.32	1.22	0.93	1.02	1.41	0.33	1.05	1.02	0.99	1.44

動になっている。

溶存酸素は、早瀬部(C)、平瀬部(F)、早瀬部下流の淵部(D)において比較的高い。pHは全体的に若干アルカリ性になっているが、サンプリングポイント間の差異は小さい。観測項目は少ないものの、水質についてはサンプリングポイント間で大きな差異はないと判断される。

表中の河床材料については、a：砂、b：砂利、c：親指大、d：こぶし大、e：頭大である。また、+++：サンプリングポイントの河床全体あるいは大半を占めていること、++：大半とまでは行かないが、かなりの範囲に存在すること、+：わずかであるが存在することを表している。図-3に最も広範囲に観察された河床材料の断面図を示している。プール式魚道直線部(A)については、河床部は頭大の石が敷き詰められており、護岸、隔壁についても、それを貼り付けた状態になっている。プール式魚道曲線部(B)は、外側の護岸と河床については(A)と概ね同様の状況である。内側には砂州のような状況が造られており、抽水性の植物が水辺に配されている。早瀬部(C)の水路中央付近は頭大石が中心である。兩岸付近は砂あるいは砂利の堆積が造られている。淵部(D)は河床、護岸ともに頭大石が敷き詰められている。平瀬部(F)についても、頭大石が敷き詰められているが、右岸付近に砂が堆積している。図-3においては示していないが、滞留部(E)には、全体に砂あるいは泥が堆積している。

河床材料の状況は、藻類の付着あるいは泥の堆積が観

察される。藻類の付着は、コブシ大以上の大きさの石面に調査領域全域にわたって観察される。指大や砂には付着していない。早瀬部など河床付近の流動の強い箇所では、表面(河床面)ではなく、石間の空隙への付着が観察される。Point Aでは、水深が大きいことと、潜孔の影響により河床付近の流動が比較強いことから、藻類付着密度は比較的小さい。泥は特に中流部以下の低流速箇所において堆積している。早瀬部(C)について泥は殆ど堆積していない。Point Aにおいても泥の堆積は比較的小さい。

(2) 採集された水生昆虫

表-3は各計測ポイントにおいて採集された昆虫種(属、種あるいは科)とその個体数を示している。表中のEPT%は、カゲロウ目(Ephemeroptera)、カワゲラ目(Plecoptera)、トビケラ目(Trichoptera)の個体数の合計のサンプル全体の総個体数に対する比率を示している。優占率は、各サンプルの総個体数に対する、各サンプル中で最も個体数の多い属(優占種)の比率である。Shannon Diversity Indexは次式で表されるShannon-Wiener関数によって計算される。⁸⁾

$$H'_{ij} = - \sum_{i=1}^{S_j} \frac{n_{ij}}{N_j} \ln \left(\frac{n_{ij}}{N_j} \right) \quad (3-1)$$

ここに、 H'_{ij} ：情報量尺度、添字 i, j ：第 i 属、第 j サンプル、 S_j ：第 j サンプルの総属数、 n_{ij} ：第 j サンプル第 i 属の個体数、 N_j ：第 j サンプルの総個体

表-5 FFGの記号説明

記号	名称	内容
CG	Collector Gatherers	移動しながら収集する
CF	Collector Filterers	造網により濾し取って収集する
Gr	Grazers	草食者
P	Predators	捕食者
Sh	Shredders	破砕者。葉等の大きな有機物を破砕する。

表-6 FEGの記号説明

記号	名称	流れに対する露出度
A	Avoider	砂面に穴を掘るなどして、流れをさける。
F	Facultative	流れの中でも石の表面など匍匐、移動する能力が有る。
O	Obligate	造網や砂により巣を作って、流されないようにしている。

数であり、次式により計算される。

$$N_j = \sum_{i=1}^{S_j} n_{ij} \quad (3-2)$$

H'_j インデックスは、各サンプル内での多様性を表す尺度となる。このインデックスは全ての種が等しい個体数を持つ場合に最大の多様性を示すと仮定している。⁹⁾ サンプルデータ全体では、 $H'=1.44$ である。

表中FFG (Functional Feeding Groups)¹⁰⁾¹¹⁾欄は、採餌方法の区分を示しており、その内容は表-5に示すとおりである。表-4中のFEG (Flow Exposure Groups)¹²⁾は、流れの中での行動様式を示している。その内容を表-6に示す。FFGならびにFPGの分類は、参考文献13に記載されているものはそれに従い、それ以外については参考文献5により判別した。但し、生活史が明確になっていないものについては空欄にしている。

FEGのF種が上流部の階段式魚道部に集中している。これは、河床勾配の小さい中流部では、河床石面に藻類あるいは泥（あるいはヘドロ）が付着し、匍匐型の移動を困難にしているからであると考えられる。ダム下流側河川あるいは魚道（下流端）入口部付近において、マダラカゲロウの生息が確認されている³⁾のに対して、魚道内でこの種が採集されないのは同様の理由からであると推測される。オオシマトビケラは、他のシマトビケラに比較して、網の目が細かく、本来河川下流域に生息していた。ダムなどの影響によって上中流域まで生息域が拡大してきているとされている。¹⁴⁾ 本魚道において確認される理由は、目視で確認する限り、落葉など数mm超えるような粗な漂流物は殆ど認められず、また河岸での堆積も確認されなかったことから、流入しているダム湖漂流水が比較的粗な粒子を含んでいないこと、当該属が付着藻類やプランクトンを餌料にしていることによると推察される。魚道全体では、コガタシマトビケラ属、コカゲロ

ウ属、ユスリカ目の三種が優占している。コガタシマトビケラとコカゲロウは、有機汚濁の進んだ河川において優占することが多く、環境適応力に富む種である。¹⁵⁾ コガタシマトビケラは浅い石礫底を好むことから、本種にとっては本魚道は好適な環境である。シマトビケラの単位面積あたりの密度は上流から下流に向かって減少する傾向にあるが、この理由は不明である。コカゲロウは流れのより速い瀬部の水路中央付近で多くなる傾向がある。コカゲロウはガガンボなどとともにダム建設とともに減少する傾向があるとされており⁴⁾、急勾配石礫河床魚道を造成したことの一つの効果と捉えることができる。ユスリカ科は属以下の同定を行っていないが、一般に、湖沼の堆積物や石の表面、水草に生息し、植物プランクトン由来の沈降有機物や付着藻類を主要な食料源としている。ユスリカの羽化は湖や池などからの有機物除去に貢献している。¹⁵⁾ ユスリカは全ての地点から採集されたが、泥の堆積しているB地点、F地点において特に高密度になっている。

比較的良好な水質に生息するガガンボが少ないながら採集されている。また、一般的に水質の良い環境に生息するカワゲラはフタツメカワゲラ属のみ採集された。フタツメカワゲラは流れの緩やかな砂あるいは落葉上で活動することから、砂のある環境において生息している。ムネカクトビケラ、ヒメカゲロウ、キイロカワカゲロウなどについては、生活史の詳細については明らかになっていないが、総じて、河川下流域、湖沿岸、池などの緩やかな流れを好む種であるとされている。⁵⁾

河川に人的な擾乱が加えられると、EPT(%)あるいはE、P、T各種は減少し、優占率は増加する。一方、FFGについては、Predatorsの減少は、それを支える被食者が少ないことに、またShreddersの減少は河畔林の伐採やダム建設など、粗い粒子状有機物を減少させるような人為的改変に原因している。¹⁶⁾ Shreddersはガガンボのみ、Predatorsはフタツメカワゲラ、ムナグロナガレトビケラの2種であった。EPTは早瀬部(C)において、大きくなっている。しかしながら、早瀬部中央(C-2)は河床条件が単純であることから、優占度が大きくなり、Shannon Diversity Indexは小さくなっている。多様性は人的な擾乱¹⁶⁾や富栄養化⁹⁾など水質悪化によっても低下する。従って、EPTと多様性インデックス H' は概ね負の相関関係にあることが推測されことから、今回の結果は一般的な河川と相反する傾向を示していると考えられる。これは粗な石を配するという河床材料の選択が、ダム建設などの人的擾乱の影響と反対の方向性を持つことに原因していると考えられる。

従前の秋期と冬季のサーバーネットを用いた調査において、魚道内で採取された昆虫は、コカゲロウ科の一種、ウルマーシマトビケラ、シマトビケラ科の一種の3種のみであった。³⁾ また、魚道直下と瀬、平瀬、トロを擁するダム下流の調査地域における夏季の既往の調査結果と

比較すると、既往の調査において採集され、本調査において採集されなかった種は、トビイロカゲロウ、ウルーマシマトビケラ、ヒゲナガカワトビケラ、ヘビトンボ等である。³⁾ 夏期に関しては、魚道内の水生昆虫種はダム下流のそのの大半をカバーしている。

平均河床勾配1/36、最も緩やかな区間でも1/200の勾配を有する急流であるにも関わらず、河川上中流域を好む種が殆ど観察されなかった。これは、種の下流側ソースとなるダム下流側河川の河床材料細粒化や流況変化によるものと推測される。緩流域を好む種が、ダム湖から供給されていることに原因していると考えられる。

5. まとめ

本研究では、青野ダム魚道のビオトープ機能評価のために水生昆虫の調査を実施した。得られた知見を以下に示す。

- ・魚道の平均勾配は1/100と大きく、河川上中流部に匹敵する勾配を有し、瀬淵の構造を持っている。しかしながら、生息水生昆虫の大半は、一般に河川下流部あるいは湖等の流れの緩やかな場所に生息する種が占めていた。
- ・調査がダム湖の水質が低下する夏季において実施されたことにも関係するが、比較的有機汚濁に耐性を持つシマトビケラ、コカゲロウ、ユスリカが優占していた。
- ・ダム湖から流入すると考えられる藻類と泥の堆積により、匍匐型の運動機能を持つ種の生息が阻害されている。泥堆積の少ない瀬部において、一般にダム建設により減少すると考えられるコカゲロウが優占していた。
- ・EPTと多様性インデックスH'は概ね負の相関関係にあり、一般的な自然河川と相反する傾向を示した。
- ・ダム魚道内で採集された水生昆虫種はダム直下域の水生昆虫種の大半をカバーしており、多様性を保持するように工夫された魚道は、一応のビオトープ機能を発揮していると判断できる。

最後に、本研究は、平成15年度科学研究費補助金基盤研究(B)課題番号14350268「石礫など透過性材料を用いた河川構造物の環境水理設計」研究代表者：神戸大学教授道奥康治の補助を受けた。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 西川孝晴, 山田弘(1998) : 青野ダム多自然型魚道の計画・設計について, ダム技術, No. 143, pp. 88-101.
- 2) 石川浩(2002) : 青野ダム多自然型魚道, 土木技術, 57巻, 11号, pp. 34-39.
- 3) 兵庫県阪神北県民局県土整備部三田土木工事事務所(2002) : 青野ダム多自然型魚道工事誌.

4) 例えば, R. Marchant and G. Hehir(2002) : The use of AUSRIVAS predictive model to assess the response of lotic macroinvertebrates to dams in south-east Australia, *Freshwater Biology*, Vol.47, pp.1033-1050.

5) 丸山博紀, 高井幹夫(2000) : 原色川虫図鑑, 全国農村教育協会.

6) 森下郁子(1985) : 指標生物学生物モニタリングの考え方, 山海堂.

7) <http://www.salmonweb.org/salmonweb/pubs/sampling.html>

8) 小林四郎(1995) : 生物群集の多変量解析, 蒼樹書房.

社団法人ドイツ水資源・農業土木協会(1998) : 多自然型魚道マニュアル, 山海堂.

9) R. A. Sponseller, E. F. Benfield and H. M. Vallet(2001) : Relationships between land use, spatial scale and stream macroinvertebrate communities, *Freshwater Biology*, Vol.46, vol.1409-1424.

10) Thorp J.H. and Covich A.P.(1991) : Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates, Academic Press.

11) Merritt R.W. and Cummins K.W. (1996) : An Introduction of the Aquatic Insects of North America, 3rd edn., Kendall Hunt.

12) Grown I.O. and Davis J.A. (1994) : Longitudinal changes in near-bed flows and macroinvertebrate communities in a Western Australian Stream, *Journal of the North American Benthological Society*, Vol.13, pp.417-438.

13) Laura L. Rempel, John S. Richardson and Michael C. Healey(2000) : Macroinvertebrate community structure along gradients of hydraulic and sedimentary conditions in a large gravel-bed river, *Freshwater Biology*, Vol.45, pp.57-73.

14) 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の生息域拡大と密度増加について, 陸水学雑誌, 第59巻, 第4号, pp. 429-440.

15) 林義雄, 町田和俊, 尹順子(2001) : 多摩川水系におけるコガタシマトビケラ属幼虫の分布と環境要因について, 陸水学雑誌, 第62巻, 第1号, pp. 51-60.

16) 中里亮治, 平林公男, 沖野外輝夫(2001) : 諏訪湖におけるユスリカ研究(1) 幼虫に関する地検を中心に, 陸水学雑誌, 第62巻, 第2号, pp. 127-138.

17) James R. Karr(1999) : Defining and measuring river health, *Freshwater Biology*, Vol.41, pp.221-234.

18) James R. Karr(2001) : Applying public health lessons to protect river health, *Ecology and Civil Engineering*, Vol.4, No.1, pp.3-18.

(2003.9.30受付)