

群別川におけるステップ・プールの 水理特性と底生動物の関係

Relations between hydraulic characteristics of step-pool-system
and benthos in the Gunbetsu River

長谷川和義¹・川村信也²・張 裕平³

Kazuhoshi HASEGAWA, Shinya KAWAMURA, ZHANG Yuping

¹ 正会員 工博 北海道大学教授 北海道大学大学院工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

² 学生員 修士過程 北海道大学大学院工学研究科 (同上)

³ 株式会社野生生物総合研究所 (〒001-0017 札幌市北区北17条西4丁目)

Step-pool systems are popular existences in a mountain river, those are composed of the transverse lines of large cobbles across a stream. The purpose of this study is to apply step-pool systems to a fish-way. Present paper describes results of field survey for the Gunbetsu River to clarify relationships between the composition of benthos and microhabitat. From the results, followings were found: Hydraulic characteristics influences habitat segregation of benthos, and superior species depends on the flow velocity. Relatively, there are many species which prefer to inhabit with large flow velocity and also its number of individuals increase. Circular Arc-shaped rib which has hydraulic diversity is superior to Transverse ribs for benthos habitats, so it could be thought that Circular Arc-shaped rib can provide a good feeding place for fishes.

Key Words: mountain streams, step-pool systems, fish-way, field investigation, benthic organism

1. はじめに

山地河川の小規模河床形態には階段状河床形状がある¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾。河川横断方向に直線状に構成砂礫が並ぶ礫列と、円弧状、もしくは楕円状にならぶ礫段の存在が知られている。これらを総称してステップ・プールと呼んでいるが、これらの河床形状により形成されるプール部は様々な水棲生物に良好な生活環境を提供しており、礫列、礫段の構造を理解すると共に、周辺生物の生態を把握することが必要不可欠である。

竜澤・長谷川⁷⁾は、これらの河床形態を魚道へ応用することを提案し、今までにない自然型魚道設計法の確立を目指している。これまでに、多くの現地調査や様々な条件下での水路実験が行われ、ステップ・プール河床の波長・波高に関する推定式などが提案されている(竜澤・長谷川⁸⁾、長谷川⁴⁾⁵⁾⁹⁾。しかしこれらの礫列・礫段の物理的特性が明らかにされていく中で、実際にその環境内つまりはステッ

プ・プール内のような小さなスケール区分での魚類や底生動物の種組成と生息環境との関係の研究は少ない。本論文は、ステップ・プール構造に生息する底生動物の種組成を明らかにし、微環境との関係を明らかにする事を目的として行った調査についてまとめた結果である。

2. 調査概要

(1) 対象河川 (群別川)

観測対象とした群別川は、北海道留萌市に位置し、流域面積33.9km²(山地流域面積31.5km², 平地流域面積2.4km²)、幹線流路長15.7kmを有する二級河川である。図-1に調査流域の地図を示す。この河川は比較的自然状態に近く急勾配(平均河床勾配1/44)であるため、数多くの明瞭に発達したステップ・プールが形成されている。今回の調査は平成13年に行った調査¹⁰⁾の区間(図-2)で確認された明瞭な4つのステップの内、礫段型と礫列型の特徴がよく見られるST3と

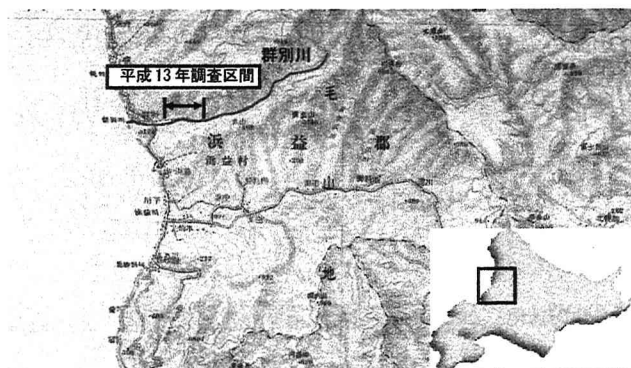


図-1 群別川的位置

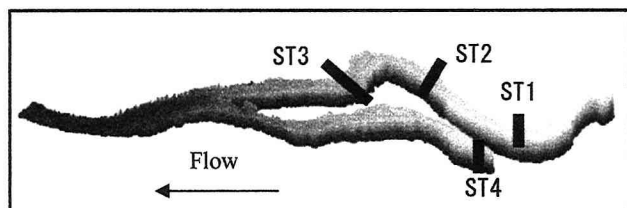


図-2 計測対象礫列の位置
上流

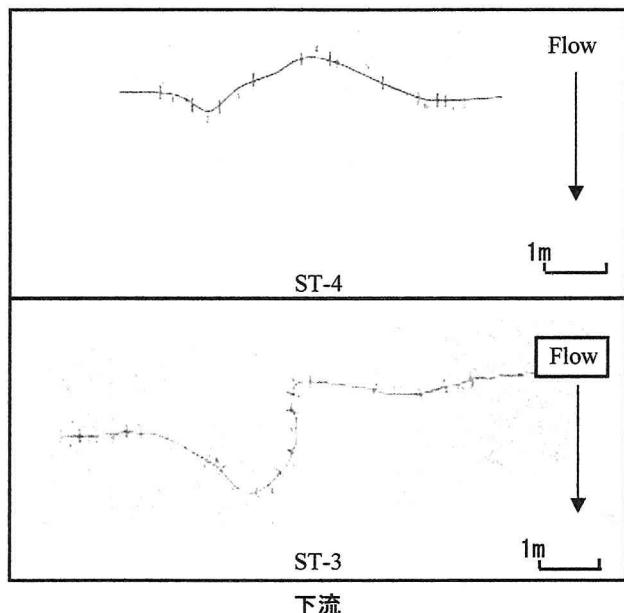


図-3 ステップ平面図
下流

ST4 (図-3)のステップ・プール周辺における、水質・水理特性およびそれに対応した底生動物の生息状況の調査を行った。図-3における横断線は、ステップ・プールのステップ部を構成する砂礫の中心を繋いだ線である。

(2) 水質・流速調査

計測時期は平成14年8月である。ST3,ST4について、ステップ頂部、ステップ上流側、下流側に分類し、各横断側線を横断方向10cm、水深方向10cmのメッシュで計測した。水質は濁度、溶存酸素の2項目に着目、流速は電磁流速計（アレック電子株式会社、ACM300-A）を用いて1次元流速を計測した。調査時

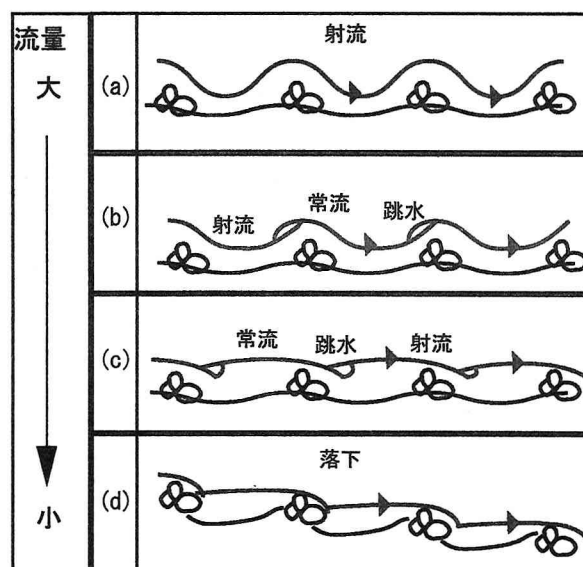


図-4 巨視的水理形態分類

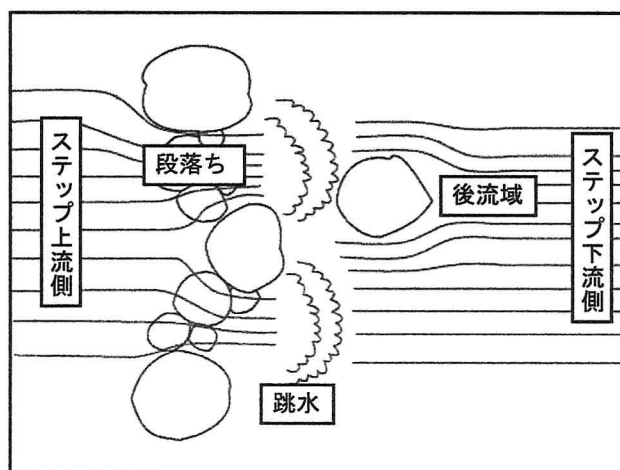


図-5 微視的水理形態分類

は平水時であり、水深は最大で40cmほど、最小で5cmほどである。

(3) 底生動物調査

調査時期は平成14年5月である。水質・流速調査と同様ST3とST4のステップ・プール内において、細かに環境を区分し、各環境にあった石を選び出し、下流側に50cm×50cmのサーバーネットを置いて、各礫に付着した底生動物を採集した。ST3は50個の礫、ST4は64個の礫を調査した。

3. 水理特性

(1) 水理形態分類

底生動物の生息状況と水理特性との対応を見るために、ステップ河床の流れを巨視的水理形態と微視的水理形態の観点から分類する。小規模河床波上の流れに関する研究は、竜澤ら⁹⁾によって詳しく研究されており、これにもとづく巨視的水理形態分類を

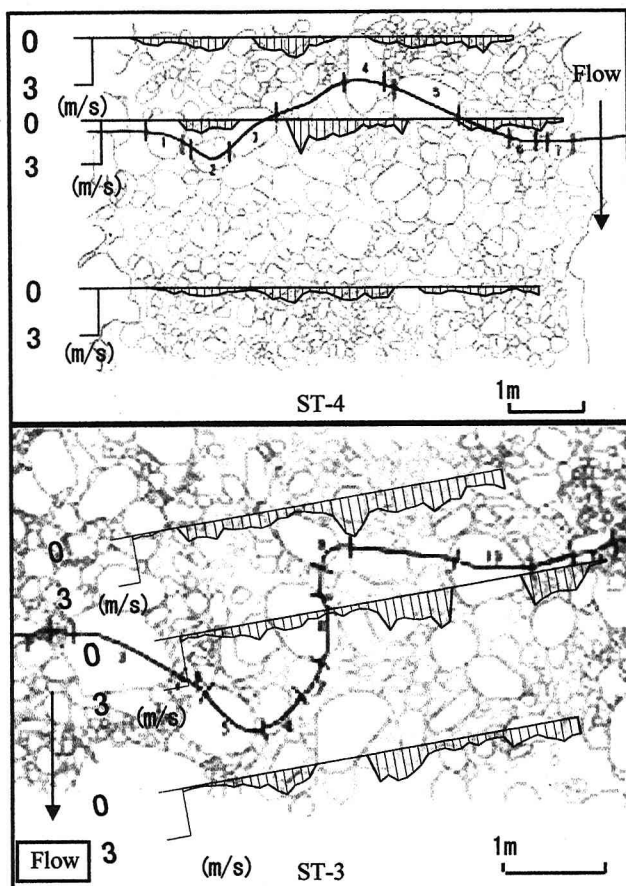


図-6 横断流速分布(一次元)

図-4, 微視的水理形態分類を図-5に示す。巨視的水理形態は主に常流, 射流, 跳水による区分である。一方, 微視的水理形態はステップ・プール内の3次元の局所的な区分であり, 礫間流れの段落ち, 跳水, 後流域などに注目したものである。後流域とは大礫のすぐ下流側に出来る流れが遅い所を指す。巨視的水理形態分類ではST3, ST4共に平水時は(c)に分類される。微視的水理形態分類ではST3の方がST4よりも多くの跳水, 後流域が存在している。

(2) 横断方向流速分布

流速計測より得られたST3とST4のステップ・プール内の横断方向流速分布を図-6に示す。横断線は流れに対して垂直に引かれており, ステップ頂部, ステップ上流側, ステップ下流側の3測線である。図より, ST3, ST4共に流速の最高値はステップ頂部であり, 大小のばらつきも大きい事がわかる。さらに, ST3では上流側, 下流側においても流速のばらつきが大きいものに対して, ST4では流速も小さく安定している。これは, ST3のような高モードの礫段が重なった複雑な形態をした礫段型ステップと, ST4のような礫が横断方向に直線的に並んだ比較的単純な構造の礫列型ステップとの流れの違いが良くわかる結果となったと言える。

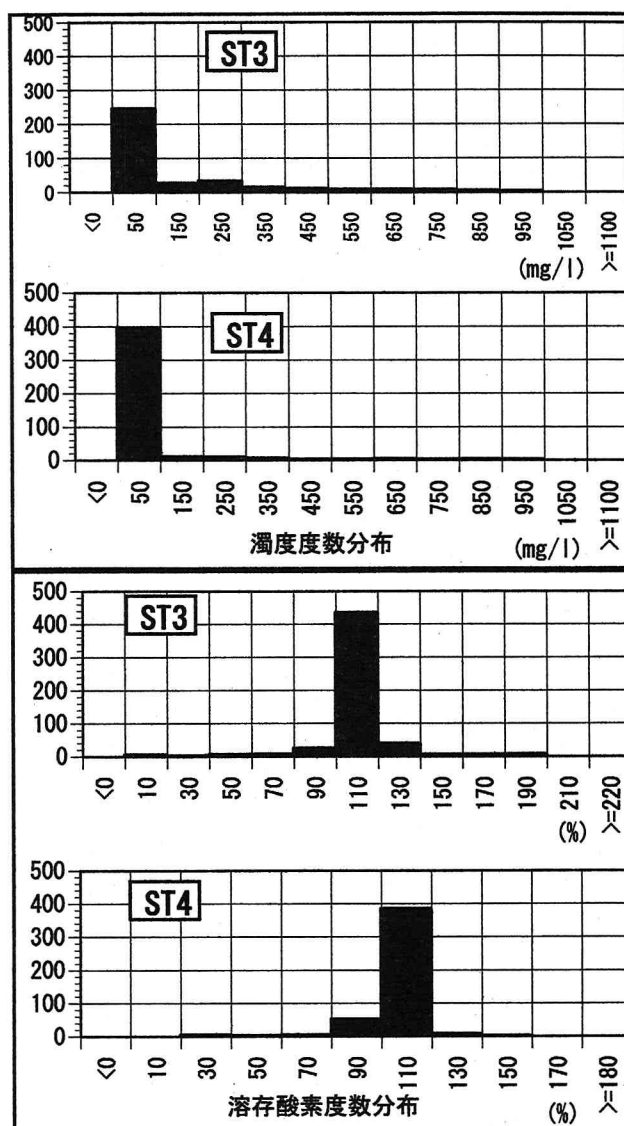


図-7 水質度数分布

4. 水質の局所的变化

図-7は濁度, 溶存酸素のST3, ST4における全計測値の度数分布を示したものである。この図から, どちらの値もばらつきが少なく, 空間的差異が大きい事がわかる。しかし, 高い値, 低い値もわずかながら存在しているため, 水質の局所的な変化があるかどうかを明らかにするためST3, ST4の各地点の濁度, 溶存酸素の最小値, 最高値, 平均値, 標準偏差を求め, 表-1にまとめた。

(1) 礫列型と礫段型による相違性

礫列型(ST4), 礫段型(ST3)というステップ・プールの型の違いによる水質の違いを考察する。表-1-(a)より, 溶存酸素についてはほぼ違いは見られない, 一方濁度についてはST3の方がST4よりも高い値を示している。これはST3の方が礫段型のステップ・プールの複雑な構造により, 流れの乱れが大きいためと考えられる。

表-1 水質の局所的変化

表-1-(a) 溶存酸素・濁度の礫列、礫段相違性

溶存酸素(%)	最小	最大	平均値	標準偏差
ST3	15	189	112.3	15.3
ST4	23	155	101.6	9.6
濁度(mg/l)	最小	最大	平均値	標準偏差
ST3	0	970	118.7	198.6
ST4	0	940	32.8	118.3

表-1-(b) 溶存酸素・濁度のステップ内相違性

溶存酸素(%)		最小	最大	平均値	標準偏差
ST3	上流部	37	175	112.0	16.9
	ステップ部	15	181	111.8	14.8
	下流部	46	189	113.2	14.6
ST4	上流部	23	155	101.8	16.6
	ステップ部	46	127	101.7	8.3
	下流部	45	120	101.4	5.8
濁度(mg/l)		最小	最大	平均値	標準偏差
ST3	上流部	0	970	117.0	248.9
	ステップ部	0	850	102.8	172.5
	下流部	0	750	159.4	212.2
ST4	上流部	2	940	64.1	163.7
	ステップ部	1	820	38.3	143.8
	下流部	0	790	18.7	76.1

(2) ステップ内における位置的相違性

表-1-(b)に、ステップ頂部、ステップ上流側、ステップ下流側での違いを示す。溶存酸素については(1)の場合と同様、ほぼ変化は見られない結果となった。濁度についてはST3では下流側が比較的大きい値となっている、しかしST4では上流側の値が大きくなっている。これらより、ステップ内における水質の位置的相違性に明瞭な特徴は無いものと考えられる。

(3) 水理特性における相違性

流速、水深の違いによる水質の違いを検討してみた。結果は表-1-(c)に示す通りであり、溶存酸素は水深、流速による変化は見られない。しかし濁度は水深が小さいほど、流速が大きいほど値が大きくなっている事がわかる。

5. 底生動物

ST3, ST4合わせて57種、7960匹の底生動物のサンプルを採取した。そこから、礫列型ステップ(ST4)と礫段型ステップ(ST3)による違い、巨視的水理形態による違い、微視的水理形態による違いにより、個体数、種数、個数優勢種(以下、優勢種と省略)の違いが出てくるかどうか検討した。なお優勢種は割合の高い順であり、その区間内の10%以上のものを取り上げた。

(1) 底生動物の生態

今回の調査では全体的にカゲロウ属とトビケラ属

表-1-(c) 水理特性による相違性

水深(cm)	平均濁度(mg/l)	平均溶存酸素(%)
0~9	109.6	103.6
10~19	82.7	108.1
20~29	67.8	110.0
30~	16.3	110.0
流速(m/s)	平均濁度(mg/l)	平均溶存酸素(%)
0~0.99	66.1	107.5
1~1.99	104.5	106.6
2~	168.3	103.8

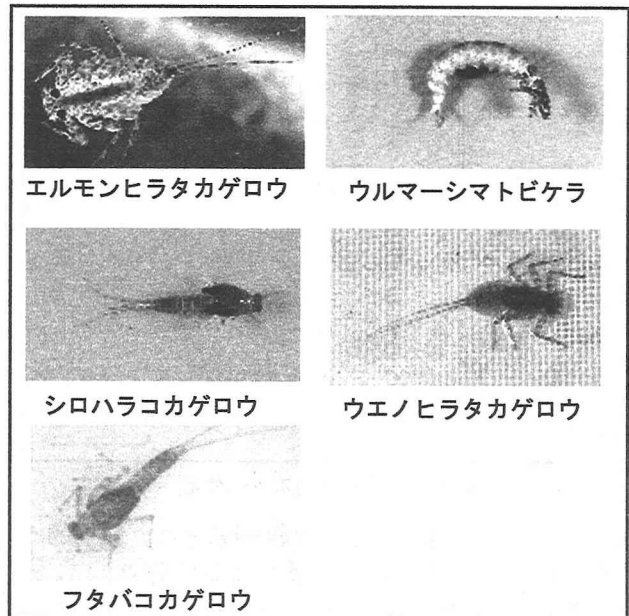


写真-1 底生生物の写真

が多く出現していた(写真-1)。底生動物の生態については一概に表現する事が難しい、そこで今回最も多く出現していたカゲロウ類について述べると、その多くは一年一化性で5~7月に羽化する。食性は主に、藻類やデトリタス食性(生物体の破片・排出物・死骸ならびにその分解物などの有機残渣)となっている。カゲロウ類の成虫・幼虫は魚類や鳥類の餌として重要である。

(2) 礫段型と礫列型による相違性

ST3とST4における、個体数、種数、優勢種についてまとめた結果を表-2に示す。表-2-(a)よりST3の方がST4よりも総個体数が多いこと、一礫あたりの個体数も多いことがわかる。種類数にはまったく違いが無いことも見て取れる。表-3-(a)より、優勢種の違いを見ると、ST3で第一優勢種であるフタバコカゲロウがST4では優勢種では無いこと、ST3よりもST4の方がシロハラコカゲロウとエルモンヒラタカゲロウの位が高い事などが上げられる。

(3) 巨視的水理形態による相違性

巨視的水理形態、つまりは常流域、射流域、跳水域

表-2 各区分における底生生物の解析結果

表-2-(a) 礫列・礫段

	総個体数	礫平均個体数	総種類数	礫平均種類数
全体	7960	69.8	57	10.3
ST3	4525	90.5	45	10.2
ST4	3435	53.7	46	10.4

表-2-(b) 巨視的水理形態

	総個体数	礫平均個体数	総種類数	礫平均種類数
射流	3662	93.9	45	11.6
常流	2976	55.1	44	9.8
跳水	1322	63.0	35	9.6

表-2-(c) 微視的水理形態

	総個体数	礫平均個体数	総種類数	礫平均種類数
ステップ上流域	1115	69.7	30	9.4
ステップ部(段落ち)	3173	102.4	45	12.5
ステップ下流側(プール部)	1562	47.3	36	10
後流域	788	60.6	29	8.5
跳水	1322	63.0	35	9.6

表-3 各区分における優勢種

表-3-(a) 礫列・礫段形態と優勢種との関係

	第一優勢種(%)		第二優勢種(%)		第三優勢種(%)		第四優勢種(%)	
全体	ウエノヒラタカゲロウ	20.2	フタバコカゲロウ	17.3	シロハラコカゲロウ	16.6	エルモンヒラタカゲロウ	12.3
ST3	フタバコカゲロウ	25.8	ウエノヒラタカゲロウ	24.1	シロハラコカゲロウ	15.8	エルモンヒラタカゲロウ	8.3
ST4	シロハラコカゲロウ	17.6	エルモンヒラタカゲロウ	17.6	ウエノヒラタカゲロウ	15.0	ウルマーシマトビケラ	13.2

表-3-(b) 巨視的水理形態と優勢種との関係

	第一優勢種(%)		第二優勢種(%)		第三優勢種(%)	
射流	フタバコカゲロウ	25.0	ウエノヒラタカゲロウ	23.3	シロハラコカゲロウ	14.2
常流	エルモンヒラタカゲロウ	27.4	シロハラコカゲロウ	19.5	ウエノヒラタカゲロウ	11.5
跳水	ウエノヒラタカゲロウ	31.0	フタバコカゲロウ	23.9	シロハラコカゲロウ	16.7

表-3-(c) 微視的水理形態と優勢種との関係

	第一優勢種(%)		第二優勢種(%)		第三優勢種(%)		第四優勢種(%)	
ステップ上流域	エルモンヒラタカゲロウ	27.8	シロハラコカゲロウ	26.9	ウエノヒラタカゲロウ	13.7		
ステップ部(段落ち)	フタバコカゲロウ	26.4	ウエノヒラタカゲロウ	23.8	シロハラコカゲロウ	12.9		
ステップ下流側(プール部)	エルモンヒラタカゲロウ	29.8	シロハラコカゲロウ	17.0	ウルマーシマトビケラ	11.8		
後流域	ウエノヒラタカゲロウ	20.7	エルモンヒラタカゲロウ	19.2	シロハラコカゲロウ	15.9	フタバコカゲロウ	12.8
跳水	ウエノヒラタカゲロウ	31.0	フタバコカゲロウ	23.9	シロハラコカゲロウ	16.7		

の区分による、個体数、種数、優勢種についてまとめた結果を表-3に示す。表-2-(b)より、全ての項目において射流が最も高い値を示すことがわかる。逆に跳水域の個体数、種数共に他の二区間よりも低いことが見て取れる。表-3-(b)からは、エルモンヒラタカゲロウ、シロハラコカゲロウの組と、フタバコカゲロウとウエノヒラタカゲロウの組が対になって入れ替わっていて、常流では前者が、射流では後者が優勢種となっていることが見て取れる。つまり、流速の早い場所を好む種と遅い場所を好む種が存在していると考えることができる。これらは過去の知見と一致している¹¹⁾¹²⁾。しかし、この4種は写真-1からもわかるように、ヒラタカゲロウ属(エルモン、ウエノ)は平たい形、コカゲロウ属(シロハラ、フタバ)は流線形となっていて、前述した2組は形態の差異は小さく、どのような要因でこのような棲み分けを行っているのか今後も研究が必要と思われる。

(段落ち)、ステップ下流側、後流域、跳水と区分される。表-2-(c)より、個体数、種類数ともにステップ部が最も高い値を示している事がわかる。逆に後流域が全体的に低い値を示している。上流側と跳水部ではほとんど差は見られない結果となっている。表-3-(c)から、上流側、下流側、後流域ではエルモンヒラタカゲロウが優勢種で、ステップ部、跳水部ではウエノヒラタカゲロウとフタバコカゲロウが優勢種であることがわかる。これは(3)と同様に、流速の大小による棲み分けが行われていると考える事ができる。

6. 考察

以上の調査結果・分析結果を元に、ステップ・プールの水理形態、ステップ・プール内の水質特性、および水生昆虫の関連性を考察する。

(1) 水質特性と水理形態、底生動物との関連性

前述の濁度、溶存酸素についての解析から、水質のステップ内における局所的变化は微量ながら確認す

(4) 微視的水理形態による相違性

微視的水理形態は、ステップ上流側、ステップ頂部

る事が出来るが、図-7の度数分布から見て取れる安定した値を覆すほどの変化では無い。よって、自然に近い山地河川においては、水質(濁度、溶存酸素)のステップ・プール内の水理的・地形的局所変化は極めて小さいと考えられる。したがって、それらが水生昆虫の生息、さらには魚類の生息に対して及ぼす影響も小さな物であると推測される。

(2) 水理形態に対応した底生生物の生息状況

一礫あたりの平均個体数は、ST4よりST3の方が大幅に上回っており、礫列型ステップ・プールよりも礫段型ステップ・プールの方が生息する水生昆虫の数が多く、より生息場として優れているものと判断することができる。前述したように、礫段型のステップはその構造が複雑であり、流れと物理環境に多様性を持っているためだと考えられる。ただし、ST3とST4の底生採集日には多少のずれがあり、ST3の方がST4よりも採集日が2週間ほど早く、そのためその間に孵化している種がいる可能性がある。記して留意点としておきたい。

次に巨視的・微視的水理形態の観点から考察すると、①常流よりも射流の方が個体数が多い、②さらに細かい区分においても段落ちのような流速が速い区間の個体数や種類数が多くなっている、③後流域のように流速が遅い所や、跳水区間のように流れが乱れている所の個体数が少ない、事が見出される。これより水生昆虫には比較的流れが速い所の方を好む種が多く、その数も多いという事が考えられる。さらに優勢種の解析結果から、①流速が速い場所ではウエノヒラタカゲロウやフタバコカゲロウがよく見られ、②後流域やプール部といった比較的流速が遅い場所ではエルモンヒラタカゲロウやシロハラコカゲロウがよく見られる、したがって流速の変化に対応して、底生動物の棲み分けが存在すると考える事が出来る。

以上の結果をまとめると、底生動物の生息状況は主に水理形態に影響を受けており、流速の大小により生息する優勢種が変化する。比較的、流速が速い所を好む種が多く、その個体数も多い。そのため礫列型と礫段型のステップ・プールでは、水理的・物理的多様性に富む礫段型のステップの方が底生生物の生息場としては優れている。さらにはそれらの底生生物を餌としている魚類に対しても良好な環境を与えていると言うことが出来る。

7. おわりに

今回の調査で得られた知見を以下に示す。

- (1) 流速測定の結果、礫段型ステップ・プールの方が礫列型ステップ・プールよりも流速の多様性があることがわかった。

- (2) 自然に近い山地河川においては、水質(濁度、溶存酸素)の局所変化は見られない。よって底生動物、さらには魚類の生息状況に対してこれらの局所変化は影響を及ぼさないと考えられる。

- (3) 水理形態は底生動物の棲み分けに影響を及ぼしている、流速の大小に対しても優勢種が分かれる。比較的、流速が速い場所を好む種が多いようで、個体総数も大きくなる。

- (4) (1), (2), (3)より礫列型ステップ・プールよりも、水理的・物理的多様性に富む礫段型ステップ・プールの方が底生生物の生息場として優れていると考える事ができ、それにより魚類にも摂餌場として良好な環境を与えることができるものと予測される。

謝辞: 本研究は、平成14年度科学研究費補助金基盤研究(B)(2)(課題番号:13555139, 研究代表者:長谷川和義)の助成を受けて行われた。記して謝意を表す次第である。

参考文献

- 1) Whittaker, J.G. and M.N.R. Jaeggi (1982): Origin of step-pool systems in mountain streams, *Journal of Hydraulics Division, Proc. of ASCE*, pp. 758-773
- 2) 芦田和男・江頭進治・安藤尚美 (1984): 階段状河床形の形成機構と形状特性に関する研究, 第29回水理講演会論文集, pp. 743-749
- 3) 沢田豊明・芦田和男 (1989): 山地溪流における流路形態と土砂流出, 第33回水理講演会論文集, pp. 373-378
- 4) 長谷川和義: 山地河川の形態と流れ, *水工学シリーズ* 88-A-8, pp. 1-22, 1988.
- 5) 長谷川和義: 溪流の淵・瀬の水理とその応用, 1997年度(第33回)水工学に関する夏期研修会テキスト, pp. A-9-1 ~ A-9-20, 1997.
- 6) 門田章宏・鈴木幸一・渡部誠司・森一庸: 重信川山地部における河床形態に関する測量調査: 水工学論文集, 第44巻, pp. 741-746, 2000.
- 7) 竜澤宏昌・林日出喜・長谷川和義: 溪流河川における河床砂礫の混合特性と階段状河床形の形状特性, *水工学論文集*, 第42巻, pp. 1075-1080, 1998.
- 8) 竜澤宏昌・林日出喜・長谷川和義: 溪流の小規模河床形態に関する研究, *土木学会論文集*, No. 656/II-52, pp. 83-101, 2000.
- 9) 長谷川和義, 上林悟: 溪流における淵・瀬(ステップ・プール)の形成機構とその設計指針, *水工学論文集*, 第40巻, pp. 893-900, 1996.
- 10) 野上毅, 渡邊康玄, 長谷川和義: 急流河川における生息場としての河床地形区分, *水工学論文集* 第46巻, pp. 1127-1132, 2002
- 11) 財団法人リバーフロント整備センター編: 川の生物図典, 山海堂, 1996.
- 12) 柴谷篤弘, 谷田一三編: 日本の水生昆虫, 東海大学出版会, 1989.

(2002. 9. 30受付)