

エビ・カニ類に適した遡上水路の提案

PROPOSAL OF FISHWAYS FOR UPSTREAM MIGRATION OF FRESHWATER SHRIMPS AND CRABS

安田 陽一¹・大津 岩夫²・浜野 龍夫³・三矢 泰彦⁴

Youichi YASUDA, Iwao OHTSU, Tatsuo HAMANO, and Yasuhiko MIYA

¹正会員 工博 助教授 日本大学理工学部土木工学科 (〒101 - 8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8)

²正会員 工博 教授 日本大学理工学部土木工学科 (〒101 - 8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8)

³農博 助教授 農林水産省水産大学校生物生産学科 (〒759 - 6595 山口県下関市永田本町 2 - 7 - 1)

⁴農博 教授 長崎大学環境科学部環境科学科 (〒852 - 8521 長崎県長崎市文教町 1 - 14)

For freshwater shrimps and crabs as like fishes, weirs and low drop-structures are obstacle to both upstream and downstream migrations. In particular, it is significant for diadromous shrimps and crabs to migrate upstream over drop structures from estuaries where their larvae develop and metamorphose to juveniles. Furthermore, the fishway for shrimps and crabs should be required for the conservation of their local populations in present hydraulic structures. This paper presents the proposal of a fishway for shrimps and crabs, which has a stepped channel of a trapezoidal cross section. The effect of the fishway on the upstream migration for freshwater shrimps has been studied on the basis of the experimental results of the flow field. Laboratory and field experiments showed that the plunging flow immediately downstream of the stepped channel is effective for the upstream and downstream migration of freshwater shrimps and crabs.

Key Words : *Freshwater shrimps and Crabs, Fishway, Migration, Stepped Channel, Drop structure*

1. まえがき

日本国内の河川に生息するエビ・カニ類の多くは「通し回遊性」の生活史を持つ。通し回遊性の動物は、一生の間に一度は海に降りなければ繁殖できない。日本の河川には、このような生活史を持つエビ・カニ類が多く生息しているが、ダムや砂防堤が建設され、その回遊経路が遮断されたことにより、流域の個体群(局所個体群)は衰退の危機にある。たとえば、鑑賞魚として人気の高いヤマトヌマエビや食用に供されているモクズガニなどは、ダムや砂防堤の上流ではほとんど見られなくなっている¹⁾。また、堰、落差工、砂防ダムなどの河川横断構造物に設置されている魚道の多くは遊泳力や跳躍力の強い魚類を対象としており、歩行しながら遡上するエビ・カニ類

には適していないことが多い。エビやカニから生まれてくる幼生や稚エビ・稚ガニは魚類などにとっての餌となり、様々な水生生物のつくる食物網の結び目の1つとなっている。横断構造物による遡上経路の遮断は、エビ・カニ類の個体群の衰退あるいは絶滅への1歩となり、さらに食物網の変化を通じて、川の生態系に大きな影響を与えている。

エビ・カニ類が横断構造物を遡上するためには、遡上し易い水際の確保と水路への誘導(遡上水路が見つけ易いこと)が重要であるとされているが²⁾、具体的な遡上水路への誘導方法や水際近くの流れの特性などの研究は始まったばかりである。また、既設の砂防堤や取水堰にどのような遡上水路を設置すれば、改善の効果が期待でき、かつ経済的な方法であるかについても、研究例が乏しい。

本研究は、既設の構造物に設けるエビ・カニ類に適した

遡上水路を提案し、室内および現地実験によってその水路の効果について明らかにする。また、この水路における流れの特性を調べ、遡上経路と流れの関係を検討する。

2. モクズガニ・エビ類の遡上行動

エビ類の遡河行動の報告や遡上に適した勾配や材質についての提案が浜野ら³⁾によってなされているが、カニ類については、遡上水路開発に役立つ報告は従来見あたらない。

そこで、黒崎川(長崎県外海町)の頭首工(落差 1.5 m)および多摩川(東京都と神奈川県との県境付近)の取水堰(落差 2.5 m)で、夜間にエビ・カニ類の遡上行動を観察した。また、モクズガニの遡上に関する室内実験は水産大学校の実験水路で実施した(Hamano *et al.*, in preparation)。

以上の報告および研究結果の要点をつぎに示す。

- 1) モクズガニの若齢個体やエビ類には正の走流性(流下する流れに対して上流へ向かおうとする性質)がある。
- 2) モクズガニは、水温や増水時の条件が良ければ昼夜にかかわらず遡上する。また、エビ類はふつう夜間に遡上する。
- 3) モクズガニは水際ばかりでなく流心を歩き、ときには水から出て飛沫のかからないようなところも歩行する。また、エビ類は、体の上面を水面に出しながら、越流の水際を歩いて遡上する。
- 4) エビ類は、堰頂では流れの勢いが弱まっている箇所を見つけて水中に進入する。また、堰を遡上する直前では水際または側壁に沿って堰越流部に接近する。モクズガニでは、この傾向は顕著ではない。
- 5) モクズガニやエビ類は勾配が小さいほど遡上しやすい。上限はおおむね 50° である。
- 6) モクズガニもエビ類も、脚先がひっかかりやすい基質の場合には、遡上が容易になる。
- 7) モクズガニの遡河能力はエビ類より高く、エビ類に適した水路であればモクズガニには十分に遡上可能である。

3. エビ・カニ類の遡上水路の提案

上記の要点から、次のような条件の遡上水路を提案した(図-1、写真-1)。

- 1) 基本構造は台形断面の階段状水路とする。この形状は流量が変化しても水勢を適度に弱め、水際近くでは遡上に適した流速を維持する効果が期待できる点で水理学的に優れている⁴⁾。また、水路から越流する流れの速さを

弱め、かつ越流した流れが潜り込む際に水面の振動を誘起させることができる^{5),6)}ことから、遡上水路の入口をエビやモクズガニが見つけやすくなると考えられる。

2) 水際を遡上する個体が多いことから、登りやすく、かつ水際を広くとれるように台形断面の側壁勾配を定めた。また、この形状では水際を遡上したエビ・カニ類が堰頂部で再び水中に進入しやすいものと考えられる。

3) 水際のある側壁部に脚がひっかかりやすい素材を使用する。今回は人工芝を敷設した。なお、実設計の場合は、コンクリート表面を粗く仕上げた状態とする。

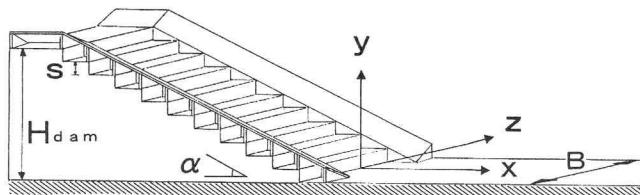


図-1 遡上水路模型

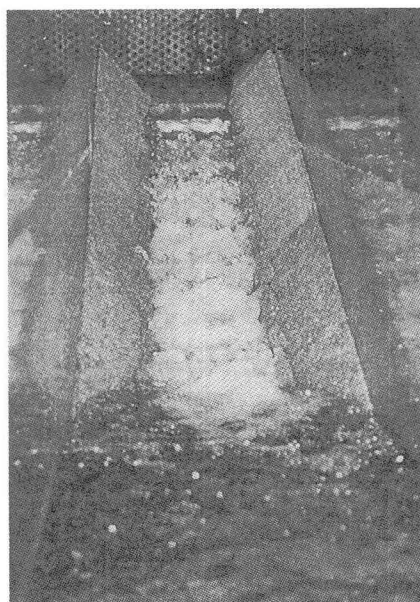


写真-1 遡上水路における流れの状況

(傾斜角 $\alpha = 19^\circ$, 流量 $Q = 5.11 \ell / s$)

4. 実験

図-1に示すように、長方形断面水平水路に遡上水路模型を設置した。

ここでは、遡上水路からの流れが潜り込むように下流水位を調整した(写真-1参照)。遡上水路における流れの特性を知るために、電磁流速計(採取時間 120 s, 採取間隔 40 ms)を用いて流速の測定を行った。また、サーボ

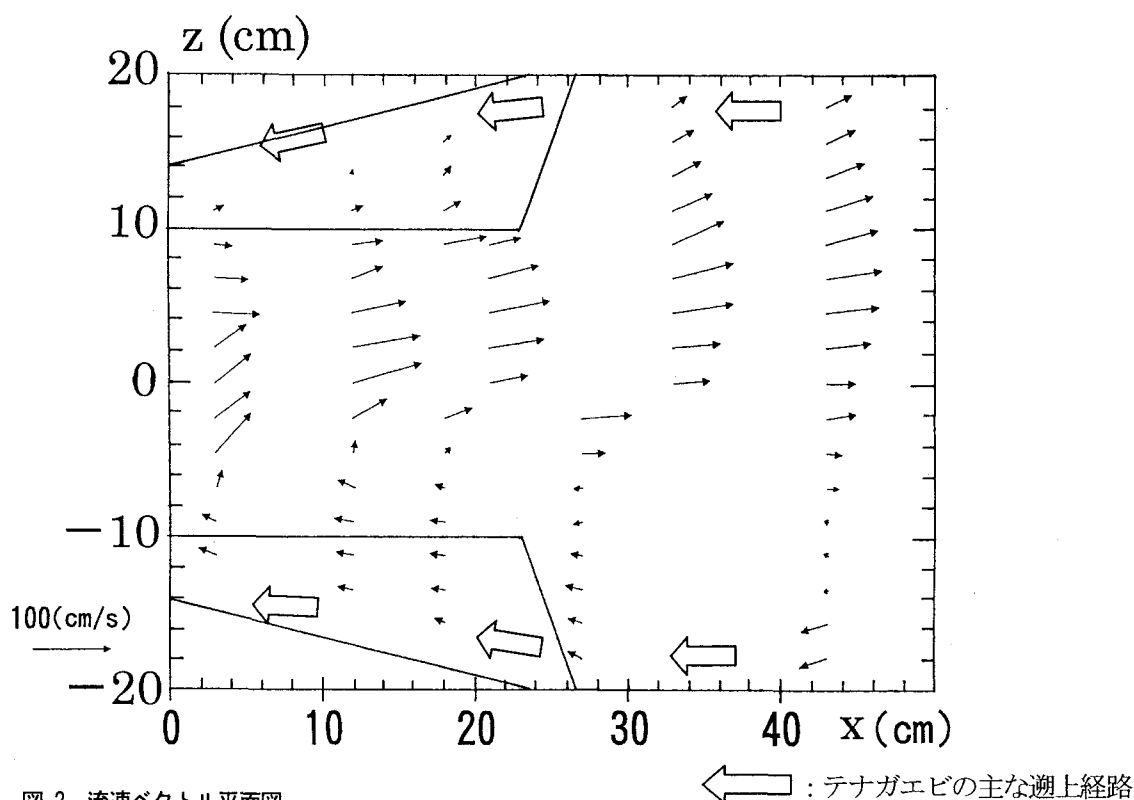


図-2 流速ベクトル平面図

($\alpha = 19^\circ$, $Q = 5.11 \ell/s$, $h_c = 3.79 \text{ cm}$, $S = 4.00 \text{ cm}$, $H_{\text{dam}} = 60 \text{ cm}$, $B = 40 \text{ cm}$, $b = 20 \text{ cm}$, $y = 12 \text{ cm}$)

式波高計(採取時間 60 s, 採取間隔 40 ms)を用いて水面変動の測定した。さらに、赤外線透過光式ボイド計(採取時間 60 s)を用いて、階段状水路下流端近くの空気混入率[空気量/(水の量+空気量)×100(%)]を測定した。なお、エビの遡上状況を把握するために、ビデオ撮影およびカメラ撮影した。

(1) 室内遡上実験

実験は日本大学理工学部水理実験室で行った。通し回遊性のエビ類を付近で採集することが困難なため、多摩川に生息するテナガエビを 60 尾採取し、実験に供した。本種は通し回遊性ではないが、河川内を上流・下流へと移動する。

実験水路は木製で、傾斜角度 α は 19° と 45° の二通りとし、遡上水路の鉛直高さ H_{dam} は 60 cm、個々の階段の高さ S は 4 cm、側壁の傾きは 45° (側壁の傾きが小さい方が遡上しやすくなるが、この場合、遡上中のエビ類がサギなどの鳥に食べられないように配慮した)、遡上水路の幅 B を 40 cm (ただし、階段状となっている幅 $b = 20 \text{ cm}$) とした。流量を 1 リットル毎秒から 5 リットル毎秒まで変化させ、遡上実験を行った。なお、実験中の水温は 25°C 前後であった。実験は夜間(午後 8 時から午後 10 時頃)に室内を暗くして行い、試供個体は遡上水路から流下する流れによって生じる水面の乱れがほとんど見られなくなった所に放流した。

a) 遡上水路周辺の流れの流況特性

遡上水路の中央部は階段状となっているため(図-1)、遡上水路から流下する流れの水面は下流側に向かうにしたがって大きく乱れる。これによって、空気混入した流れとなり、白濁した状態となる。実験中は、遡上水路下流端で遡上水路から流下する流れが潜り込むように下流水位を調節してある。この場合、遡上水路から潜り込む流れの流況が非対称となった。遡上水路下流側での流速ベクトルを図-2 に示す。壁面近くの流速が水路中央部と比較して小さな値を示す。この場合、流入断面が台形断面であるため、側壁近くの運動量が小さくなり、また遡上水路から潜り込んだ流れが、気泡の影響により、上昇し易くなる。

遡上水路下流側での空気混入の分布を図-3, 4 に示す。側壁近くでは空気混入はほとんど見られない。また、遡上水路下流端近く($X = 0 \sim 7 \text{ cm}$)では、空気の混入が水深の半分程度まで認められる。さらに、気泡は短区間で上昇し、 $X = 20 \text{ cm}$ より下流側では、空気混入が水面近くしか見られなくなった。

b) 遡上実験結果

水路底部が階段状であるため、流速を弱めることができ、階段状水路を通過する流れが大きく乱されて空気が十分に混入した流れとなる。入口近くでは、流れと気泡

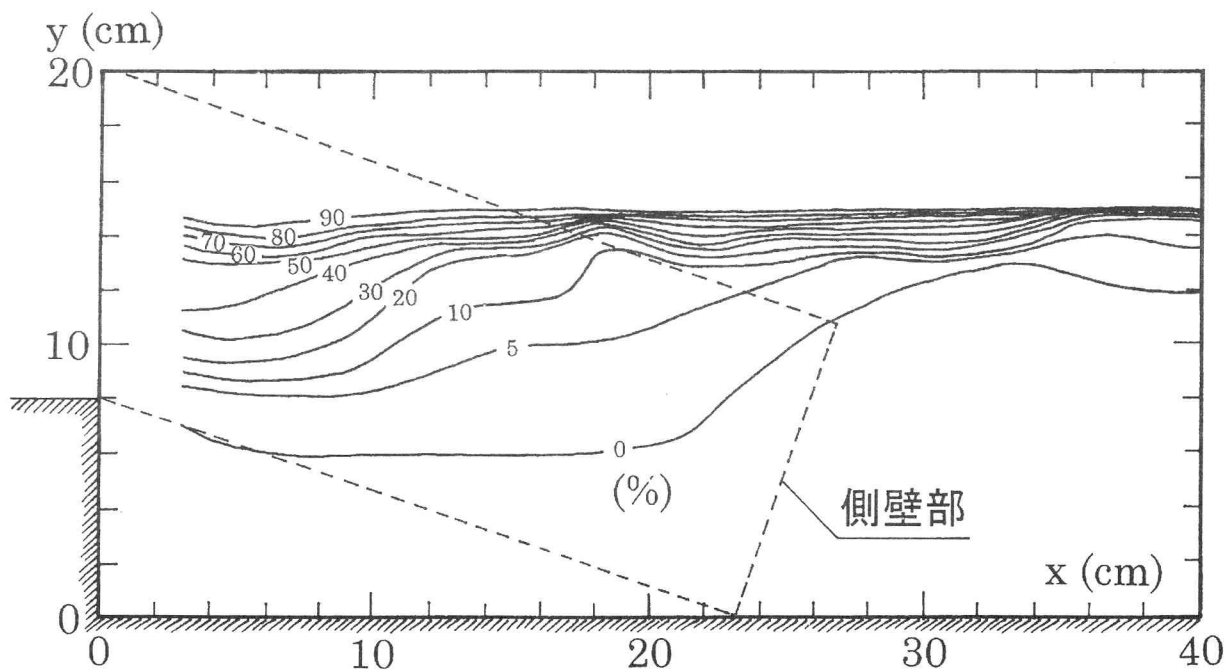


図-3 空気混入分布側面図 ($\alpha = 19^\circ$, $Q = 5.11 \ell/s$, $h_c = 3.79 \text{ cm}$, $S = 4.00 \text{ cm}$, $H_{\text{dam}} = 60 \text{ cm}$, $B = 40 \text{ cm}$, $b = 20 \text{ cm}$)

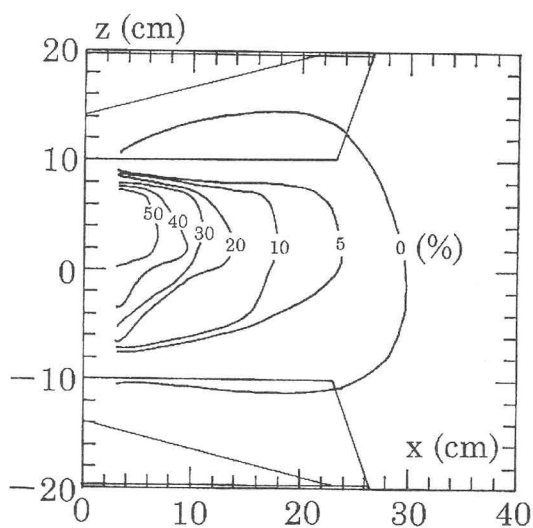


図-4 空気混入分布平面図

($\alpha = 19^\circ$, $Q = 5.11 \ell/s$, $h_c = 3.79 \text{ cm}$,
 $S = 4.00 \text{ cm}$, $H_{\text{dam}} = 60 \text{ cm}$, $B = 40 \text{ cm}$, $b = 20 \text{ cm}$)



写真-2 テナガエビの遡上状況

の影響による水面の揺れによって、テナガエビが容易に入口を見つけられるようになり、遡上水路の入口まで歩行することが可能となった。また、階段状水路の両側面が傾いているので、水路両側の水際近くでは中央部に比べて流速が弱くなり、エビが下流側から遡上水路に入り込みやすく、しかも、水際に沿って遡上できるようになった(写真-2)。

実験水路に放流した四割以上のエビが遡上した。遡上のさい、流れの速さによって頭部にある第2触角のなびき方に違いがあった。射流のときには触角は体後方になり、常流のときには体前方に伸ばしており、水際に沿

って遡上し、どこで流れに再び進入するかを、触角を使って判断している可能性が示唆された。流れの速い領域から流れの遅い領域にさしかかった限界流近くで、エビは水中に潜っていった(写真-3)。

なお、エビ類の遡上に対する水路傾斜角の影響を検討した結果、傾斜角による水路中央部の流速の違いが見られるものの遡上水路の断面が台形であるため、傾斜角19度と45度のいずれでも側壁近くの流速の値が小さくなり、遡上可能な状態が確保された。このため、傾斜角による遡上状況の違いは認められなかった。

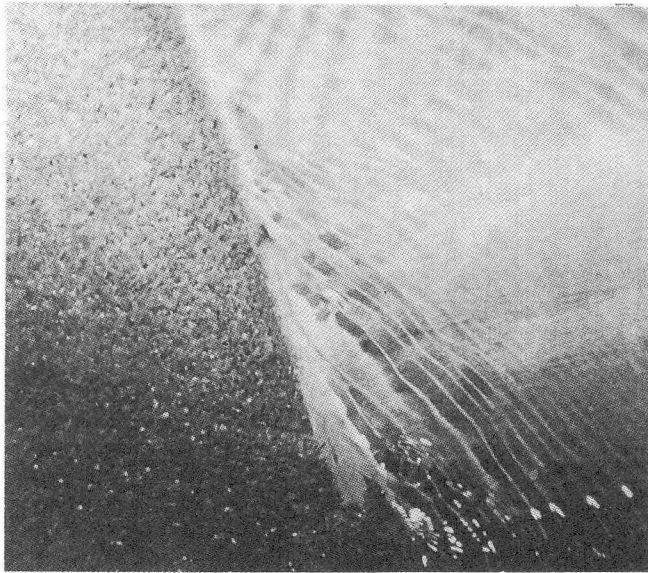


写真-3 遡上水路天端において水中に潜りこむテナガエビ

(2) 野外遡上実験

室内実験の結果、提案した遡上水路がほぼ期待どおりに機能したことから、同様な水路を1999年9月の夏に河通川(長崎県大瀬戸町雪浦川水系)に設置し、その有効性について検討し、河口より3 km 上流に位置する落差工の右岸側に木製の遡上水路を設置した(写真-4)。この水路の勾配は10 %、個々の階段の高さ4 cm、遡上水路の長さ2 m、水路幅1.5 m(階段状水路となっている部分の幅80cm)である。

実験の結果、水路内をモクズガニが速やかに降河し、また、遡上も見られた。ヌマエビ類・テナガエビ類の遡上に加え、ゴクラクハゼの遡上も確認できた。長崎大学環境科学部において試験的に生産したミゾレヌマエビ種苗を水路の下に放流したところ、日中であるにもかかわらず、側壁の水際を良く遡上した(写真-5)。一度水路に進入した個体は、いずれも成功裏に階段状水路を通過した。水路を遡上中に、各段差直下の死水域に入りこんで休息をとる個体も多く認められた。これは、実験当初に予期しえなかった階段状水路の利点である。

1999年9月の夏の野外実験は悪天候のために実験計画をかなり変更した。このため、本年2000年()は綿密な野外実験を実施して、台形断面を持つ階段状水路の有効性を検討したい。

エビ類では、もっぱら水際の飛沫域などを通して遡上し、日中には稚エビが水際の転石下や草の間で休息しているのを目にする。エビ類のために水路を設置する場合には、川岸の水際に入口を開けば迷うことはないであろう。一方、モクズガニの稚ガニは流心もよく遡上するため、自然の河川においても分布が川岸に偏るのではなく、川底に広がっている可能性がある。モクズガニの稚ガニを水路入口に寄せるためにはさらなる検討が必要である。

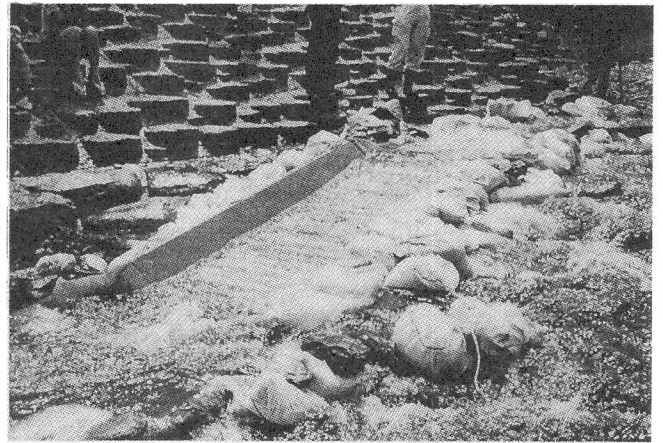


写真-4 河通川に設置した遡上水路 (長崎県大瀬戸町)



写真-5 河通川に設置した遡上水路を遡上するミゾレヌマエビ

謝辞

5. まとめ

エビ・モクズガニの遡上水路を考案し、それを用いた室内および野外実験を行い、エビ類の遡上行動を観察した。この水路の特徴は3点ある。1. 遡上水路における流れの流速が減勢し易いように階段状水路を基本形とした。2. エビ・カニ類が水路に進入し易く、水路の水際を歩き易いように、さらに捕食者であるサギ類などの水鳥がとまり難いことを考慮して、側壁部を斜面とした。3. 脚を引っかけて登り易いような素材を側壁部に敷設した。実設計ではコンクリート表面を粗く仕上げた状態とする。

遡上水路周辺の流況の解析とエビの進入経路の観察から、考案した水路にエビの遡上を促す3つの効果があることが判明した。1. 水路からの空気混入を伴った流れに誘われ、下流のエビは遡上水路の入り口へと導かれる。2. 遡上水路の入り口を探り当てたエビは、進入口下流の側壁に沿って水路に容易に進入し、遡上する。これは、側壁近くでは流速が遅く、中央部に比べて空気混入の少ない状況が作り出されているために、エビが進入しやすいと解釈できる。3. エビは触角で流速を判別しながら、側壁を水際に沿って遡上し、水路天端の限界流が生じる付近から水中に潜り込むことを観察した。

野外実験によって、さらに2つの効果が認められた。4. 階段状水路はモクズガニ・エビ類ばかりでなく、ゴクラクハゼのような底生生物の遡上にも有効である。5. 遡上の途中で、各段差直下の死水域に入りこんで休息している個体も多数観察された。これも階段状水路の利点である。

本実験を行うにあたり、水産大学校増殖学科 勝俣亮介君、日本大学理工学部土木工学科の後藤浩・高橋正行両助手、4年生 芦沼聡子・須田弥生・瀬川淳一・高久領欧・花田剛史君、ならびに西部環境調査(株) 来崎良輝・中原泰彦氏の協力を得た。また、長崎県大瀬戸土木事務所、大瀬戸町役場のみなさまには大変お世話になった。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 三矢泰彦、浜野龍夫：魚道のないダムが十脚甲殻類の流程分布に与える影響, *日本水産学会誌* Vol. 54, No. 3, pp.429~435, 1998.
- 2) 浜野龍夫、三矢泰彦、石崎勝義：河川横断工作物がエビ・カニ類に及ぼす影響とその個体群の復元について, *第4回河道の水利と河川環境に関するシンポジウム論文集* 土木学会水理委員会河川部会, pp.183~188, 1998.
- 3) 浜野龍夫、吉見圭一郎、林健一、柿元 皓、諸喜田茂充：淡水産(両側回遊性)エビ類のための魚道に関する実験的研究, *日本水産学会誌* Vol. 61, No. 2, pp.171~178, 1995.
- 4) Yasuda, Y., and Ohtsu, I.: Flow Resistance of Skimming Flows in Stepped Channels, *Proc. 28th IAHR Congress, Graz, Austria, Session B14 (CD-ROM)*, 1999.
- 5) 安田陽一、大津岩夫：階段状水路設置による堰直下潜り込み流れの逆流域短縮効果, *第5回河道の水利と河川環境に関するシンポジウム論文集* 土木学会水理委員会河川部会, pp.141~146, 1999.
- 6) Yasuda, Y., and Ohtsu, I.: Characteristics of Plunging Flows in Stepped Channel Chutes, *International Workshop on Hydraulics of Stepped Spillways, Zurich, Session of Internal flow features, Balkema, Rotterdam*, pp.147-152, 2000.

(2000. 4. 17 受付)