

小河川における水生生物の生息分布と 生息場ネットワークに関する一考察

RELATIONS OF FISH HABITAT TO ENVIRONMENTAL STRUCTURES OF A SMALL STREAM IN VIEWS FROM ECOLOGICAL CONTINUITY

和田 清¹・大堀 文彦²・桑原 真吾²・寺町 茂³

Kiyoshi WADA, Fumihiko Otori, Shingo KUWABARA and Shigeru TERAMACHI

¹ 正会員 工博(独) 国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 教授 (〒501-0495 岐阜県本巣市上真桑 2236-2)

² 学生会員(独) 国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 専攻科建設工学専攻 (同上)

³ 非会員 水圏域(淡水) 環境研究会代表 (〒501-0417 岐阜県本巣市屋井 936-1)

Environmental structures and fish habitat were compared between reaches of a spring-fed small stream, the Hinakura Stream which has been used for agricultural irrigation, a branch of the Nagara River in Gifu Prefecture. Many ground sills inside the Stream have divided fish habitat for the ecological continuity. As a result of the cluster analysis of the environmental factors; height of ground sill, undercut bank, riparian plants, overhanging vegetation, submerged plant, sediment and substrate composition, the Stream was divided into eight parts. The nektonic fishes inhabited mainly in the all section, benthonic fishes were closely related with riparian plants, submerged plants, sediment and substrate composition. For fishway design, cruising speed (sustained speed) and burst speed (maximum swimming speed) characterize the swimming ability of fish. In general, cruising speed is 2-4BL (body length)/sec, and burst speed, 10-15BL/s, although results of the measurement of swimming speed in a non-uniform flow channel, the duration for which a fish can maintain a certain swimming speed. To minimize the activity of white muscle, fishway should provide current velocities lower than the cruising speed at some part of any cross section of fishway. Ability or function of fish swimming speed, have been dealt in fishway design such as flow characteristics in a life stage.

Key Words : *ecological continuity, fish habitat, ground sill, fish swimming speed*

1. はじめに

河川は人為的な影響を強く受ける水域であり、水生生物の生息域の環境機能が変質しているとの認識が高まっている。特に、落差をもつ河川横断構造物は、縦断方向の不連続性をもたらすために魚類などの生息域を区分したり、改修工事に伴う河道断面の画一化は、河川がもつ環境機能の縮小を招き、水生生物の生息密度の減少や個体群の多様性の低下が指摘されている¹⁾。本研究では、小流域の河道網レベルの生息空間を対象として、現地河川(雛倉川)における生物の生息空間の連続性と魚類や水生生物の分布特性の関係を把握して、不連続点と環境構造が魚類や餌料生物の生息分布に及ぼす影響などを明らかにしようとするものである。

また、不連続性を解消する手段である魚道の設計に必要な突進速度、巡航速度などの遊泳能力は、従来体長Lに比例する算定式により求められている²⁾。

ただし、すべての魚種に対して適用できるわけではなく、対象魚類によってはそれらの遊泳速度の値や流れ場に対する遊泳能力の特性が明らかにされていないのが現状である。本研究では、雛倉川で採捕された在来種について基本的な遊泳能力を把握するために簡易2次元水路による室内実験により、個体差や魚種の特性を考慮した基本的な魚類の遊泳能力を算定手法を検討するとともに、魚道設計の基礎資料としようとするものである。

2. 現地調査の概要

岐阜市雛倉川(図-1)は長良川水系の板屋川に合流する小河川である。調査対象区間は、板屋川との合流地点から上流約2kmの区間である。図-1に示すように、この範囲には大小の落差工20箇所(落差:0.2~2.0m)が設置されている。この高落差で分けられる8区間において、魚類相や水生生物相の生

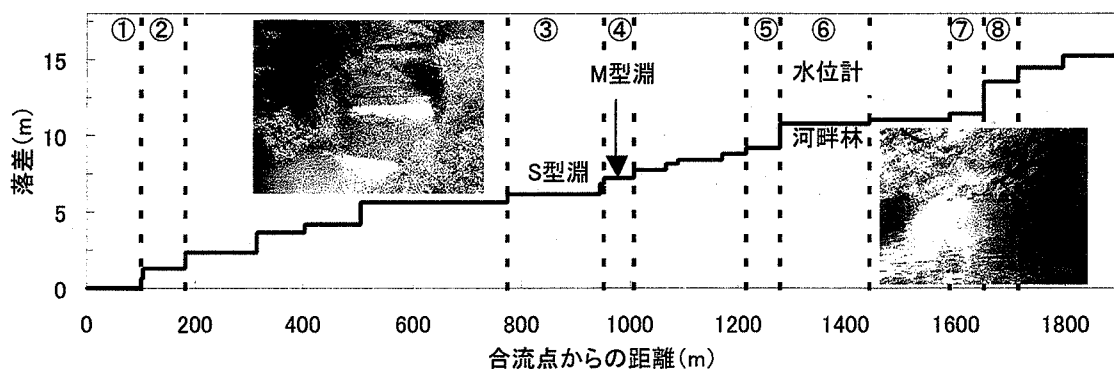


図-2 雛倉川における落差工と区間分け

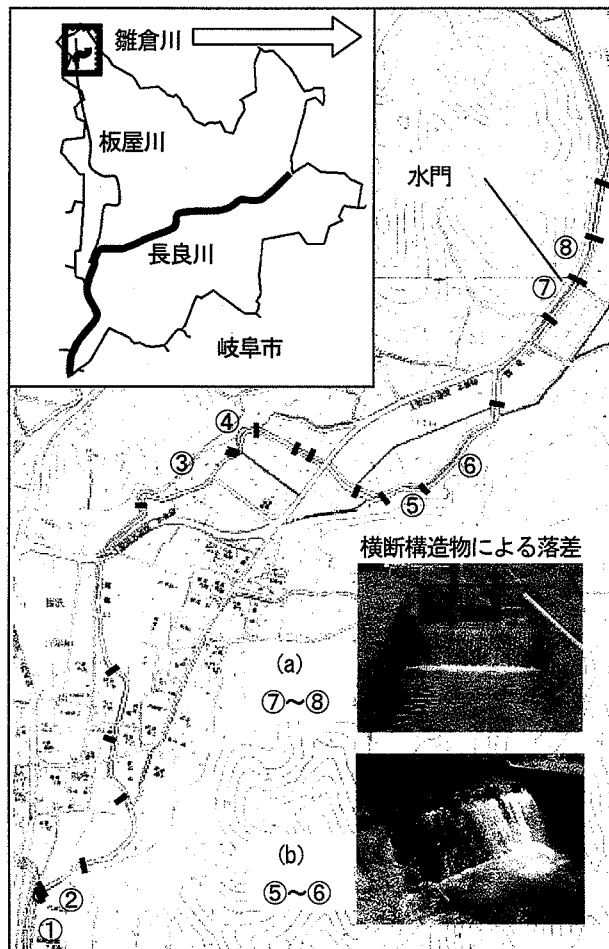


図-1 雛倉川周辺地図

息調査、タグ付け調査を2004年4月～2005年1月の期間6回実施した。採捕に使用した網類は、投網、サデ網、タモ類であり、魚類は現地にて同定、個体数などの測定・撮影を行った後放流した。また、魚類の餌料生物環境を把握するために、魚類（カワムツBなど）の胃の内容物を摘出して分析を行った。底生生物調査は、8区間に2ヶ所ずつ間口38cm×47cmの容器（容積：18000cm³）に砂礫を充填し、6月18日～7月23日の約1ヶ月間に採取した水生生物の種名と個体数、湿潤重量を測定した。さらに、洪水のインパクトによる魚群の分散過程を把握

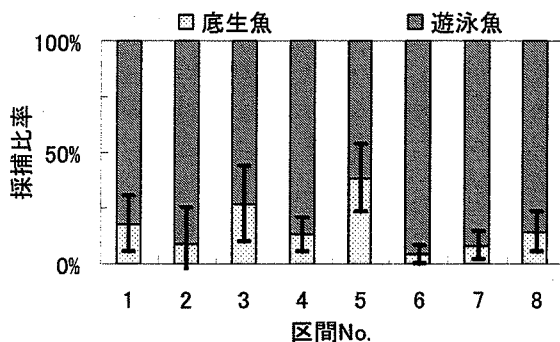


図-3 雛倉川における遊泳魚と底生魚の構成比

するために、7月3日～7月30日、10月13日～10月27日、リボンタグ（6種類）を付けた魚類（主に遊泳魚：554尾）の標識放流・回収調査を、合流地点No.1を除く7区間において実施した。なお、水位計測用の圧力式水位計（メモリー式）、水温データロガーをNo.6に設置している。

3. 生息場ネットワークの構造

(1) 対象区間の魚類相

図-3は調査期間中に採捕確認された魚類の構成比を遊泳魚と底生魚に大別して示したものである。同図から、遊泳魚の占める割合が60～90%程度と多く、優占種は、遊泳魚：カワムツB、底生魚：ヨシノボリ類である。地点No.3,5は高落差下流に位置し、河床材料も砂礫質の瀬となっており、底生魚の割合が増加している。また、その上流側の地点No.4,6は落差工によって湛水化した水域や淵が形成され底質が細粒化するために遊泳魚が卓越する傾向にある。さらに、移入種（ブルーギル、タイリクバラタナゴなど）の混入率は下流域において5%以下であり、中流域No.3,4には絶滅危惧種アカザ、ドンコの生存が確認されている。No.6は山裾の河畔林が発達する地点であり、ここでは大型カワムツA（体長25cm）の個体が採捕されている。河畔林の樹冠による水面の被陰や樹根（カバー効果）は、夏期の水温上昇を

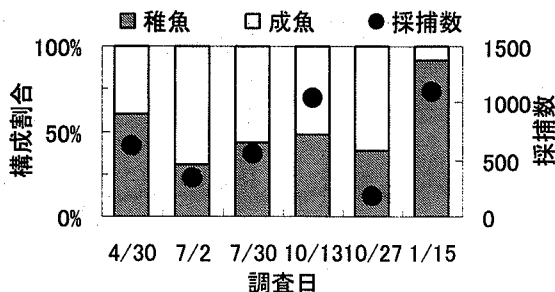


図-4 雛倉川における稚魚と成魚の構成比
(カワムツB)

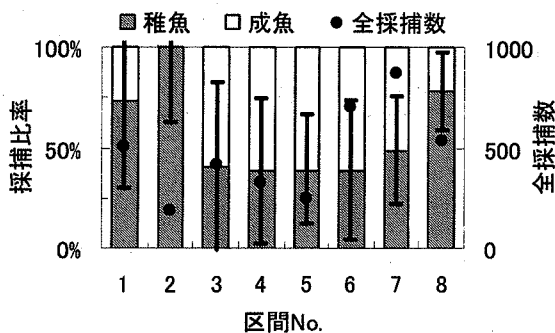


図-5 雛倉川における稚魚と成魚の構成比
(カワムツB)

抑制したり、複雑な地形による隠れ場所が豊富で越冬場所も多く、約 100m にわたる湛水域を形成している³⁾。

図-4 はカワムツ B における稚魚と成魚の構成比および採捕数を時系列で表したものである。年間を通して稚魚と成魚が採捕されており、産卵期では成魚の数が多く、冬季には孵化した稚魚が多数を占めている。このように小河川としてカワムツ B をはじめとする魚類の生活史を保全する生息場が形成されている。また、稚魚比率が変動する冬季から春季にかけて世代交代が行われるものと考えられる。図-5 は同種における区間ごとの稚魚・成魚の構成比である。No.2 を除く区間では変動が大きく、季節によって稚魚と成魚に対応した生息場を提供している。一方、区間 No.2 では、ほぼ稚魚によって構成されている。同区間は、直線的で両岸コンクリート張りにより植生はほとんどみられない区間であり、下流側の落差工により、流れは緩く湛水化している。稚魚における生息場は、餌料生物環境よりも流れといった物理環境が大きく起因していると考えられる。また採捕された魚種に注目すると、通常生息域が重なることのないカワムツ A とカワムツ B が同河川内から採捕されたことから、緩流域と急流域が混在する特殊な生息場が形成されているといえる。

(2) 底生生物と生物学的水質判定

図-6 は底生生物の調査結果より、Buck の汚濁指

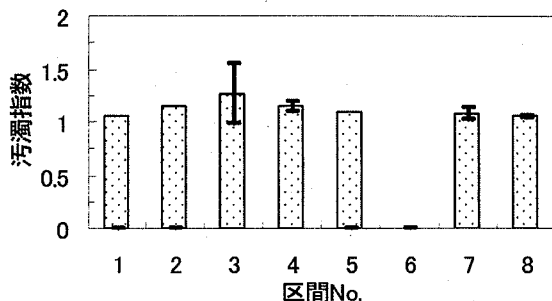
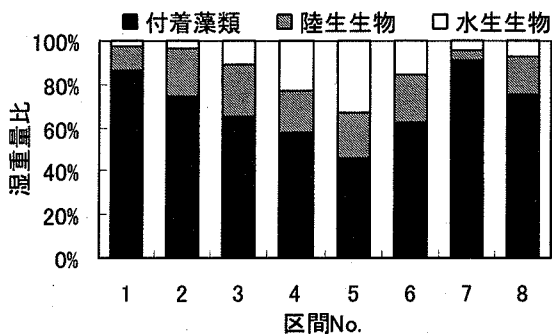
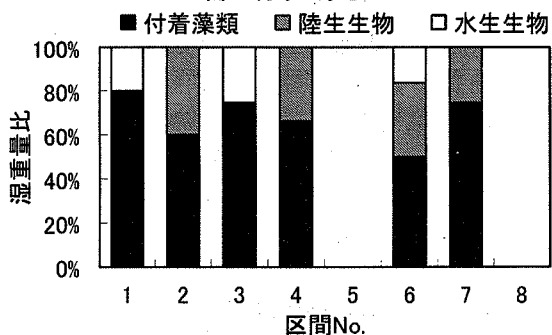


図-6 底生生物による生物学的水質判定



(a) カワムツB



(b) ヤリタナゴ

図-7 カワムツB・ヤリタナゴの餌料生物環境

数 (Pollution Index) による方法を用いて水域の水質状況を検討し、総合的な水質階級を判定したものである⁴⁾。すべての区間において汚濁指数 (P.I.) は 1.04 ~ 1.47 の範囲内であり、水質階級 Os (β 中腐水性よりの貧腐水性水域) である。清流に生息するニンギョウトビケラの個体数が多いなど良好な水質環境が保持されている。反面、下流部の堆積砂泥には、強腐水性水域 (Ps) と判定されるイトミミズ科やイシビル科の生物も確認されており、集落からの有機物流入の影響もうかがえる。いずれにせよ現段階では良好な生物の生息空間としての水質条件については優良であるといえる。

(3) 魚類の胃の内容物調査と餌料生物環境

調査区間 8 ヶ所において、カワムツ B : 8 個体、ドンコ : 5 個体、ヤリタナゴ : 6 個体を抽出し、胃から腸の部位を摘出して内容物を分析した。図-7 は、カワムツ B およびヤリタナゴの餌料生物の構成比を

付着緑藻類、陸生生物、水生生物に大別して示したものである。なお、陸生生物：ミミズ類・カゲロウ類・トビケラ類・ブユ類・クモ類など、水生生物：カゲロウ類幼虫・トビケラ類幼虫・イトミミズ類・イシビル類などである。同図から、構成比を平均するとカワムツ B は付着緑藻類:69%, 陸生生物:19%, 水生生物: 12%であり、雛倉川ではカワムツ B の餌料の大半を付着緑藻類に依存していることがわかる。区間別に見ると板屋川との合流部 No.1 や道路沿いの日の当たる場所 No.7,8 では、特に付着緑藻類を多く摂餌している。一方、山裾の河畔林が発達している水域 No.6 の下流側 No.4,5 では、落下した陸生生物や水生生物の割合が増加し、餌料構成の半分をしめる割合までになる。ヤリタナゴの場合は、付着緑藻類: 68%, 陸生生物: 22%, 水生生物: 10%であり、カワムツ B と同様、付着緑藻類を餌料生物としている。ドンコの餌料生物の構成比は、陸生生物19%, 水生生物 81%であり、餌料の大半を水生生物に依存している。雛倉川はそのほとんどが山裾を流れ、土手状の陸域が形成されている。両岸が護岸ブロックによって水域と陸域が分断されているにも関わらず、河畔林と陸域の植生が豊かで良好なエコトーンが形成され、魚類等にとって餌料生物の供給源となっている。また、河床材料も砂礫質の多い瀬や淵と変化に富んでおり、水生生物の多様性を支える基盤が整っている河川である。

(4) リボntagによる標識放流

洪水による魚群の分散過程を把握するために、リボntagによる標識放流を 2 回実施した。図-8 は調査期間中の降雨、水位の時系列である。最初の 7 月 3 日～7 月 30 日では回収率 0%であり、梅雨前線が活発化し比較的大きな洪水（最大水位上昇量：63cm, 最大降雨量：33mm/h）のために、両岸をほとんど護岸ブロックで覆われた河道では避難場所が確保できず板屋川合流域にまで流下したものと推察された。一方、10 月 13 日～10 月 27 日では、最大降雨量：28mm/h 程度の洪水後の回収・目視確認率は 5%（30／554 尾）となり、その結果を示したものが表-1 である。同表から、対角線の下側に数値が記載されており、放流した区間およびそれより下流側で標識放流した個体が確認されている。洪水の規模によっては、河畔林が発達した湛水域 No.6 や植生が繁茂する砂州が水衝部の反対側に形成される蛇行区間 No.4 では、洪水時に避難場所となる可能性を備えていると考えられる。洪水のインパクトにより、湛水域 No.6 で留まるカワムツは、餌料環境などの条件が整えば大型化し、No.5 より下流側の個体群は洪水によって次第に流下していくものと推定できる。

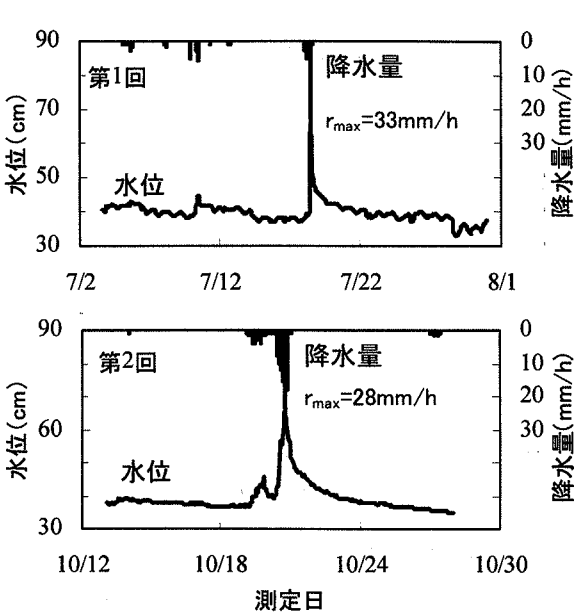


図-8 標識放流期間の対象河川の水位変動

表-1 タグ標識放流

放流 区間	確認							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	①	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	③	0	0	0	0
5	0	0	0	①	0	0	0	0
6	0	0	0	0	②	⑥	0	0
7	0	0	0	0	0	①	②	0
8	0	0	0	①	0	0	③	④

4. 魚類の遊泳能力に関する室内実験

(1) 室内実験の概要

落差工直下のように、跳水が生じるような流況を想定したアクリル製水路（幅 3cm×高さ 25cm×長さ 3m）を製作した（図-9 参照）。従来の等流状態で行うパーソナルタンクとは異なり、跳水を伴う不等流状態で行うために、魚類の遊泳場所選択性を高めたものとなっている。その水路において、一定の流量（1.13～1.15 L/s）を流し、対象魚類を 30 分間遊泳させてその魚の行動をビデオカメラにより撮影した。対象魚類は、雛倉川で主に採捕された遊泳魚：オイカワ・カワムツ・タナゴ類など、その他：ナマズなどの 15 種類 23 尾である。遊泳能力を求めるにあたり、使用する水路の流速ベクトルを正確に求める必要がある。そのため、センサー一部によって流れを阻害しない可視化手法：PIV 解析を行った。魚類の動画データは、2 次元動画計測ソフトウェア（NIH image）により、魚類の動きを位置座標として変換し

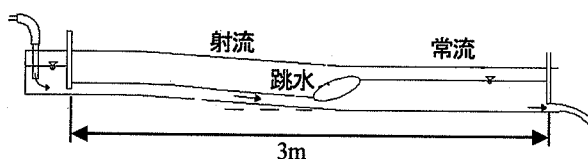


図-9 実験水槽

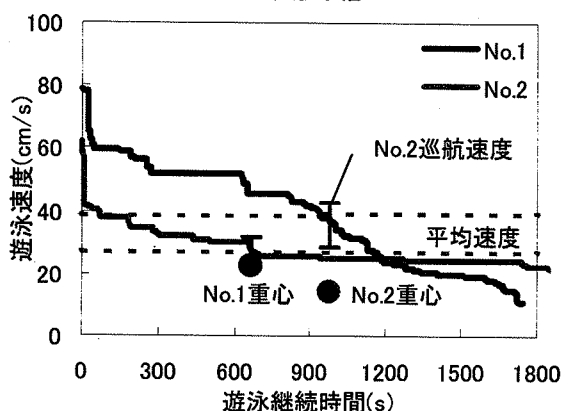


図-10 カワムツAの遊泳能力曲線と重心

た。この解析データをもとに、流速値と遊泳持続時間の時系列から、魚種の遊泳能力を評価することとした。

(2) PIV 解析による流速測定

流れの構造を表すには、流れの可視化が用いられる。流れの可視化には多くの手法があるが、流速を詳細に測定するには一般にPIV手法が用いられる。PIV解析は、流れの中にトレーサ粒子を投入し、その動きを画像解析することによって流れの速度場を定量的に測定する方法である。水路を8箇所に分けて撮影し、距離・傾きなどの歪を補正して水路下流端からの位置座標を算出した。二値化処理に際して、背景と粒子の色、閾値、ノイズ除去などを工夫することで認識率を上げ、約5600点の流速ベクトルが得られた。これを水平10cm×鉛直1cmのメッシュで区切り、メッシュごとに流速の平均値・分散を求めて流速分布を得た。

(3) 魚種の遊泳速度と遊泳継続時間

ある魚種の遊泳能力を正確に評価しようとする場合には、遊泳速度の大小のみで判断するのではなく、遊泳曲線を積分した値をもってするのがよいとされている⁵⁾。そこで、対象魚種を遊泳させて得た遊泳速度と経過時間の関係をもとに、遊泳速度と遊泳持続時間の関係を表した遊泳能力曲線を作成し、曲線の積分値を求めるとともに重心を求めることで評価を行った。図-10は、カワムツA(2尾)の遊泳速度の時系列を遊泳速度の大きい順に並べ替えて、遊泳継続時間を表現したものである。図中の●印は、重心位置を示している。同図から、同魚種でも遊泳能力曲線に差異がみられ、これは一定速度で泳ぎ続

表-2 遊泳能力実験の対象魚種

sample No.	魚種	
1	オイカワ	途中落下
2	カワムツB	
3	アブラボテ	
4	ギンブナ	止水域
5	カワヒガイ	
6	アブラボテ	
7	アブラボテ	タナゴ亜科
8	カネヒラ	
9	カネヒラ	
10	オイカワ	オイカワ科
11	カワムツA	
12	カワムツA	
13	カワムツB	

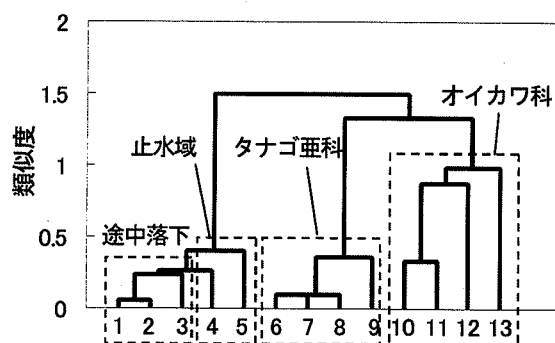


図-11 クラスター分析の結果

けた場合と、間欠的に突進と巡航を繰り返している場合によるものである。従来用いられてきた指標として巡航速度がある。また、No.1は平均的に巡航速度以上で遊泳しているのに対し、No.2は平均的に巡航速度以下で遊泳している。積分値は遊泳能力を評価する指標になると思われ、遊泳に使用したエネルギーの総量である全エネルギー消費量に関連すると考えられる。また重心を求めることで、遊泳速度と遊泳持続時間の二つで評価することができ、重心の値を評価することで、巡航速度と突進速度ではカバーできない範囲の遊泳速度、個体差、魚種の特性などを魚道設計に盛り込める可能性がある。また、重心の位置は遊泳能力曲線の形状をある程度表しており、重心によって曲線の特徴を示すことができる。

(4) クラスター分析による魚類個体差のグルーピング

これらのデータと各個体のデータ(体長・体重等)をもとにクラスター分析(最短距離法)を行った。対象は表-2の通りである。その結果、対象データ内に遊泳能力曲線から得られた積分値の有無により結果が大きく異なる。すなわち、積分値を含まない場合は明確な分類を見出せないが、積分値に含むことによりオイカワ属、タナゴ亜科、止水域に生息するフナ類など、実験途中で落下したもの、魚種によって明確に分類された(図-11参照)。これによって、魚種の違いが積分値に大きく影響を与えること、

遊泳能力は個体差よりも魚種差の影響を大きく受けていることが示された。積分値は全エネルギー消費量を表しており、この値は魚の種類によってある程度一定であると考えられる。一定のエネルギーをどのように使うかによって、同一魚種であっても個体差が発生することになる。

遊泳能力曲線を求めて全エネルギー消費量（積分値）と重心を測定することにより、その個体のエネルギー消費パターンや傾向を知ることができる。逆に、エネルギーを求められれば各パターン時の遊泳速度分布をある程度予測することができる。サンプル数を多くして実験を行えば、その魚種がどのパターンをとりやすいのかが分かる。様々な魚種について、選択しやすいパターンによる分類、全エネルギー量による分類などが推定可能となる。

5. おわりに

以上、雛倉川の現地調査において、河畔林が発達し落差工によって人為的に形成された湛水域や淵の形成が魚類の生育場や避難場所として機能していることが示された。今後、調査を継続して不連続点と環境構造の変化を含めた生息場の評価を行い、生態系ネットワークを考慮した保全策を検討する予定である。

また、魚類の遊泳能力実験においては、魚種による遊泳能力の差は、遊泳に用いることのできる全エネルギーが魚種によって一定であることから生じており、採捕場所・日時が同一で体長・体重もほぼ同じ個体であっても、エネルギー消費パターンは個体によって異なり、これが行動や遊泳速度に個体差を生じさせている。遊泳能力曲線を求めて全エネルギー消費量（積分値）と重心を測定することにより、その個体のエネルギー消費パターンや傾向を知ることができることが示された。

謝辞：本研究を遂行するに際し、生物調査にご協力いただいた水圏域（淡水）環境研究会および本校河川生態環境工学研究室諸氏に深く感謝の意を表す

参考文献

- 1) 辻本哲郎：河川の生態系保全機能の評価に関わる水工学、第36回水工学に関する夏期研修会講義集 A, pp. A-6-1～20, 2000.
- 2) 廣瀬利雄・中村中六：魚道の設計, 山海堂, pp. 203-207, 1991.
- 3) 和田 清・大堀文彦・桑原真吾・寺町茂・本田浩昭・平工則彦：雛倉川における生物淵と生息場ネットワークに関する一考察, 土木学会中部支部研究発表講演概要集, pp. 613～614, 2005.
- 4) 玉井信行・水野信彦・中村俊六：河川生態環境工学, 1993.
- 5) 塚本勝巳：魚からみた魚道設計, 砂防学会論文集 No.2, pp. 5～22, 1991.

(2005. 4. 7 受付)