

(2) 室内実験と現地調査による環境保全型ブロック の魚類保全効果の検討

植木真吾¹・関根雅彦^{1*}・中村良一²・樋口隆哉¹・今井剛¹

¹山口大学大学院 理工学研究科環境共生系専攻 (〒755-8611 宇部市常盤台2丁目16番1号)

²山口県 萩土木建築事務所 (〒758-0041 萩市江向添沖田531-1)

*E-mail: ms@yamaguchi-u.ac.jp

護岸実験用回流水路を高流速用に改修し、流速 1.8m/s における魚巣ブロック周辺の魚の挙動を観察した。また、山口県宇部市の沢波川において、魚巣ブロックの利用度の現地調査を行った。室内実験では、1.8m/s の高流速下では魚は流水中に定位できず流下してしまうこと、高い流速を嗜好する魚ほど魚巣ブロック内から流水中に出て流下してしまうこと、前面パネルに形状により差はあるものの、魚巣ブロックは一定の魚類保全効果を示すことを示した。現地調査では、平時の日中は魚巣ブロックより植生の方が魚類に選好されているが、増水時および夜間には魚巣ブロックが避難場所・休息場所として機能していることが確認された。

*Key Words : nature conservation, aquatic livings preservation efficiency,
field surveys, ecological blocks, revetment*

1. 研究背景及び目的

近年、多自然川づくりが各地で展開され、「コンクリートの見えない川づくり」が推奨されてきた。平成18年には「多自然川づくり基本指針」が策定され、護岸は必要最小限とすることが謳われている。しかし、水衝部など流速条件の厳しい場所ではどうしてもコンクリート製品に頼らざるを得ない場合も多い。その中でも魚巣機能や緑化機能を持つ、いわゆる「環境保全型ブロック」と呼ばれる多種多様なコンクリートブロックが注目されている。ところが、これらのブロックの水生生物保全効果はほとんど検証されておらず、もっぱら価格によって製品が選択されているのが実情である。護岸ブロックの効果についてはいくつかの研究^{1), 2), 3)}が見られるものの定量的な評価が確立しているとは言えない。

著者らはこれまでに流速 50~100cm/s においては、魚

巣ブロックによる魚類保全効果が機能することや、流速、乱れ、照度の環境因子による魚の分布を説明できることを確認した⁴⁾。そこで本研究では、これまでの護岸実験用回流水路を改良し、より高流速である流速 1.8m/s において護岸材の魚類の利用状況を相対評価する。現地調査では、実河川における魚巣ブロックの利用状況調査及び流速、乱れ、照度の環境因子が魚類の分布に与える影響を考察する。そして、魚類の環境選好性に基づいて護岸材の価値を定量的に評価し、簡単な因子による護岸材の評価手法の確立を試みる。

2. 流速・乱れ・照度の選好性の定量化

本研究における実験で使用した魚種は、カワムツ (体長 5cm)、オイカワ (体長 5cm)、フナ (体長 10~15cm) の

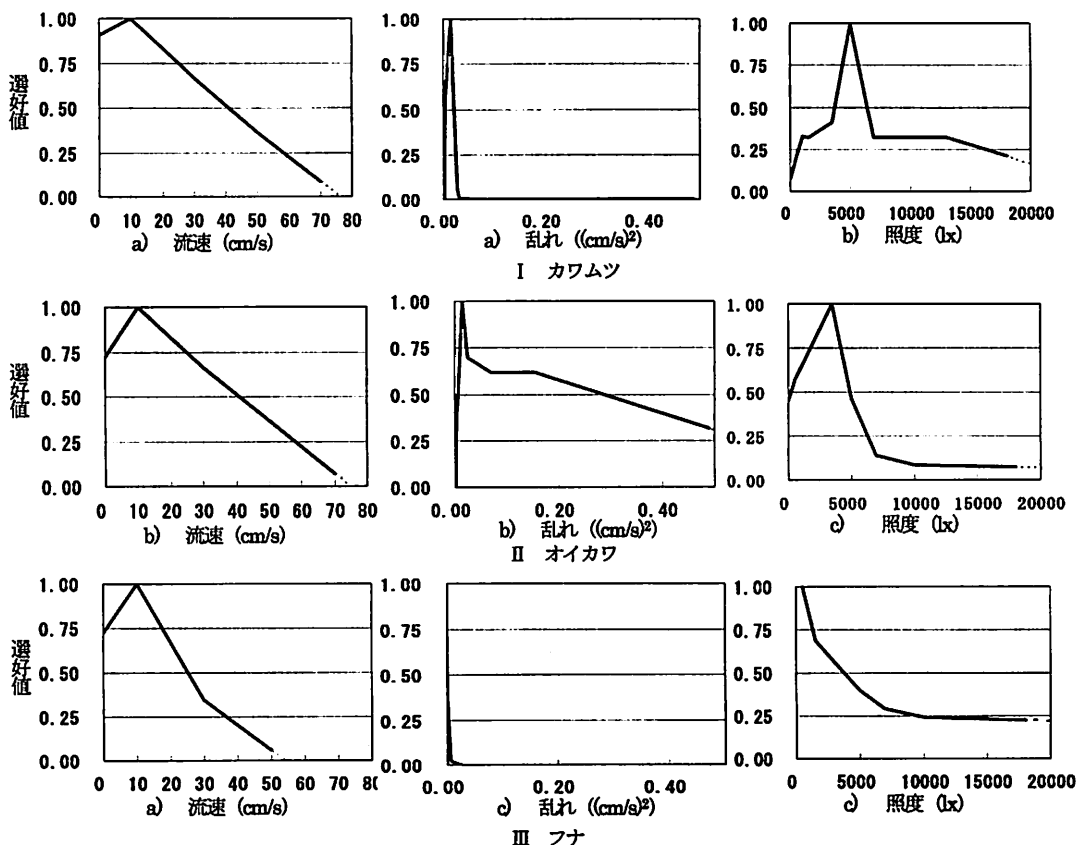


図-1 各環境因子に対する選好曲線

表-1 流速、乱れ、照度に対するウェイト値

	流速	照度	乱れエネルギー
カワムツ	1.0000	0.5565	0.1897
オイカワ	1.0000	0.0048	0.0052
フナ	0.7174	1.0000	0.0901

3種である。既往の研究⁴⁾では、本研究で使用しなかったカマツカを含め、筆者らが選好性の定量化を行っていない魚種が4種と多く含まれていたため、選好性の定量化のために筆者らが行ってきたU字迷路型水路を用いた一対比較法によらず、実験水路内に環境条件の分布をつくることで生じる魚の分布を観察することで、簡易に選好性を定式化していた。1つの水路内に種々の環境を作りだす実験方法は、短期間で結果が得られる半面、壁面の影響や流れゆらぎなど、環境条件の設定の確実性に劣る。本研究では、あらためてU字迷路型水路を用いた一対比較法により選好性を定量化した。

得られた選好曲線を図-1に示す。

また、環境因子間のウェイトを表-1に示す。

総合選好強度 P^* は以下の式により計算される。

$$P^* = \prod_{j=1}^J (P_{j,i})^{\frac{w_j}{w_{\max}}} \quad [1]$$

$$w_{\max} = \begin{cases} \max(w_j) & V \neq \phi \\ \infty & V = \phi \end{cases} \quad [2]$$

$$V = \{j | (\exists i, i') (P_{j,i} \neq P_{j,i'})\} \quad [3]$$

ここに、 w_j は因子 j のウェイトである。 ϕ は空集合であり、 $P_{j,i}$ は環境因子 j についての水域 i における選好強度である。 V は少なくとも一組の代替案(水域 i)間で選好強度に違いが存在するような因子の集合を意味する。本式は、新たな環境因子を、既存の環境因子を表わす式に影響を与えずに加除できるという特徴を持つ⁵⁾。

3. 高流速下の護岸材評価

(1) 護岸実験用回流水路による高流速実験

a) 実験水路

実験に用いた水路の上面図を図-2に、写真を図-3示す。水路は回流式水路でパソコンによる操作でプロペラの回転数を調節することで、流速を変化させることができる。中央水路の幅をこれまでの60cmから30cmにし、水深も50cmから30cmに縮小し、実験時には水路上部をふたで覆うことで約1.8m/sという高流速まで流速を変化させることができる。護岸ブロックと中央水路の境界に設置したパネルは着脱式になっており、設置するパネルを変えることで様々な護岸ブロックを再現することができる。また、水路周辺を遮光カーテンで覆うことにより、水路外からの聴覚的・視覚的刺激を低減した。本実験では、左岸側には穴の空いていないパネルを設置し、右岸側のみに様々な護岸ブロック模したパネルを設置して護岸ブロックの評価を行った。なお、研究進行上の都合により実験は冬季に実施したため、水路内の水温は $14\pm1^{\circ}\text{C}$ とした。この値は当地方の4月初旬あるいは11月中旬の河川水温に相当し、実験結果もその時期の魚の挙動を示していることに留意する必要がある。

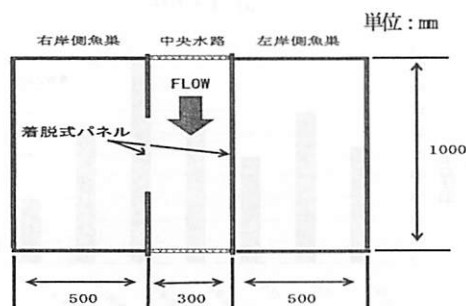


図-2 実験水路(上面図)

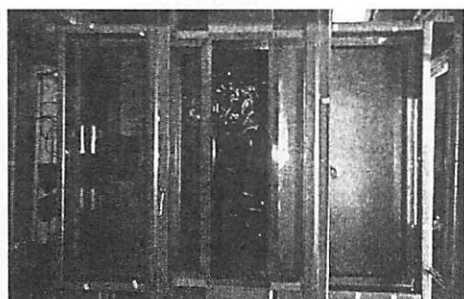


図-3 実験水路(写真)

b) 各環境因子の測定

水路内の流速・乱れエネルギー・照度測定位置を図-4に示す。

4に示す。水路内の流速・乱れエネルギー測定には3軸携帯型電磁流速計(KENEK, VP3000)を、水路内の照度測定には吸光照度計を使用した。水路内の各環境因子を実験条件ごとに9点x, y, z方向について表層(水面から下方に5cm)、中層(水深の中間点)、底層(河床から上方に5cm)を計測した。礫がある場合は中層のみ測定し、照度に関しては測定を行っていない。

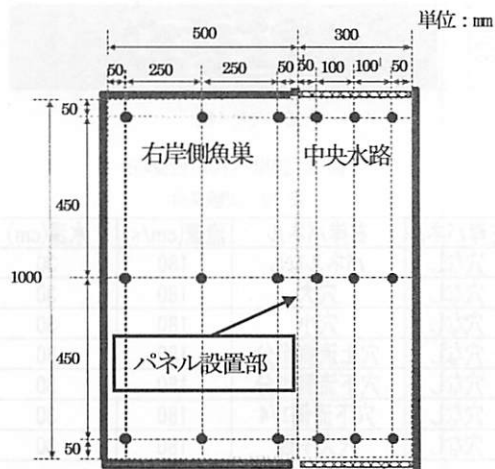
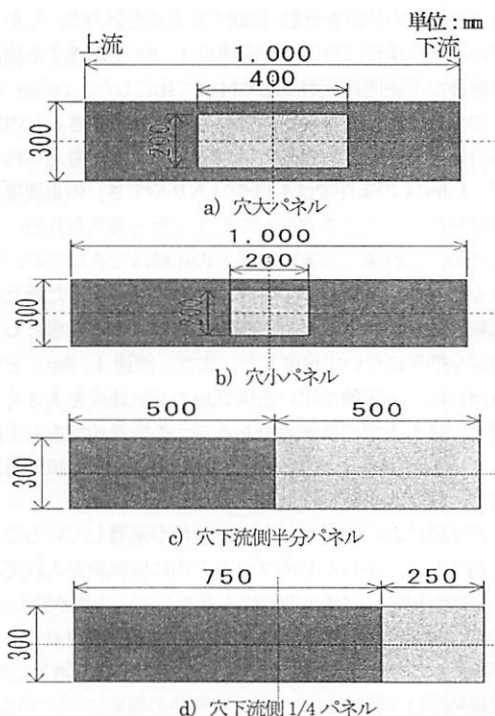


図-4 各環境因子の測定位置
(右岸側魚巣と中央水路のみの上面図)

c) 実験条件及び実験手順

実験で用いた各種護岸パネルを図-5に、実験条件を表-2に示す。



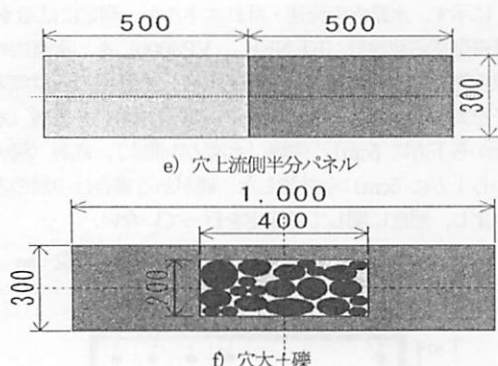


図-5 護岸パネル(設置時)

表-2 実験条件

左岸パネル	右岸パネル	流速(cm/s)	水深(cm)
穴なし	パネルなし	180	30
穴なし	穴大	180	30
穴なし	穴小	180	30
穴なし	穴上流側半分	180	30
穴なし	穴下流側半分	180	30
穴なし	穴下流側1/4	180	30
穴なし	穴大+礫	180	30

実験手順について当初は、これまでの実験結果⁴⁾との比較を行うことを目的として、水路中央に供試魚を放流し、流速0cm/sで10分馴致後40分間で1.8m/sに流速を上げ、12時間の連続撮影によって記録された映像から、10分ごとの魚の位置を計数・記録する方法を試みた。しかし、どのパネル条件においても流速が1.8m/sに達する前に全魚種が下流側の金網に貼り付いて死亡した。1m/sec以下の条件では、ブロック内部への「入りやすさ」と内部の「留まりやすさ」を同時に評価していたと考えられるが、1.8m/sの条件ではもはや「入りやすさ」の重要度は供試魚にとって小さくなってしまったと考えられる。このため、これまでの実験結果との比較はできないが、ブロック内の「留まりやすさ」にのみ焦点を当てた新たな実験方法を用いることで、各護岸パネルの避難場としての保全効果について検証した。また、流速1.8m/sという流れは、本実験で用いる供試魚の巡航速度を大きく上回り、最も大型の供試魚であるフナ(体長約10~15cm)の突進速度をも上回っている。⁴⁾中・小河川規模での増水時における流速を想定し、設定流速を装置上限の1.8m/sとした。

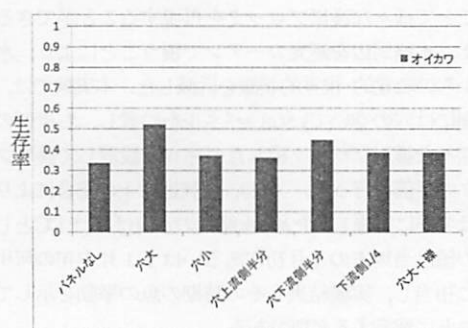
増水時においてブロック内に魚類が避難していることを想定して、あらかじめブロック内に供試魚を入れておき金網を用いてパネルの穴にふたをして、中央水路には約1.8m/sの高流速の流れを作り10分間馴致させる。その後、ふたとなる金網を引き抜くことで実験開始とした。実験時間は1時間30分とし、実験時の撮影については水

路上部に設置したビデオカメラ(SONY, CCD-TR705)で魚の挙動を観察した。撮影は中央水路下流部とした。ブロックから出た魚は例外なく金網に貼り付いて死亡するため、実験後の魚の死骸の位置から魚種を把握し撮影された映像から各魚種におけるブロック内での滞在時間を生存時間として計測・平均した。この実験手順で高流速実験を2度行い、得られた実験結果を平均した。

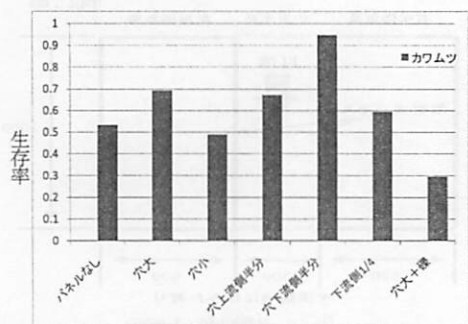
供試魚については、カワムツ(体長約8~10cm)・オイカワ(体長約8~10cm)・フナ(体長約10~15cm)を各3尾づつ計9尾使用した。

d) 実験結果及び考察

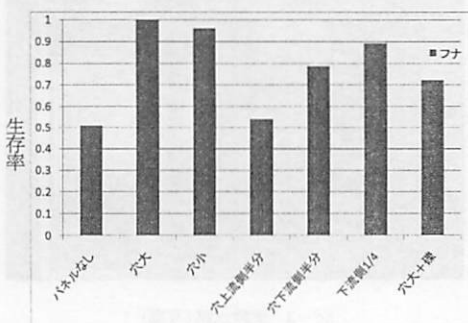
各護岸パネルでの生存率を図-6に、各護岸パネルにおけ



a) オイカワ

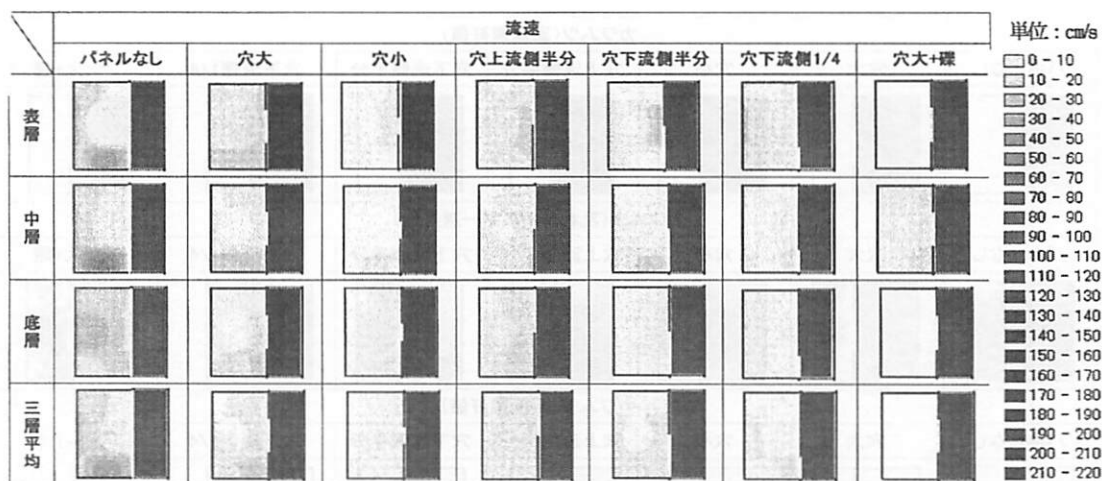


b) カワムツ

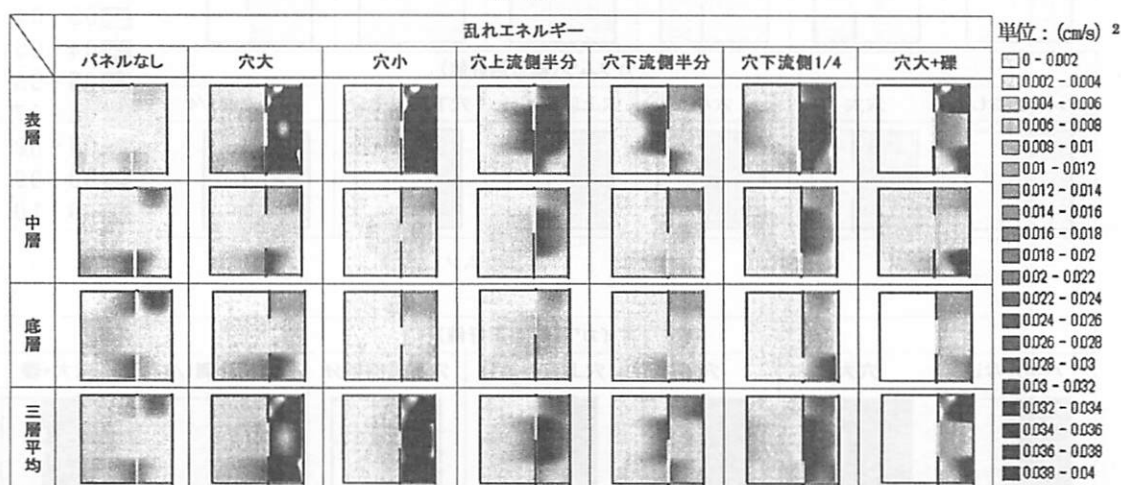


c) フナ

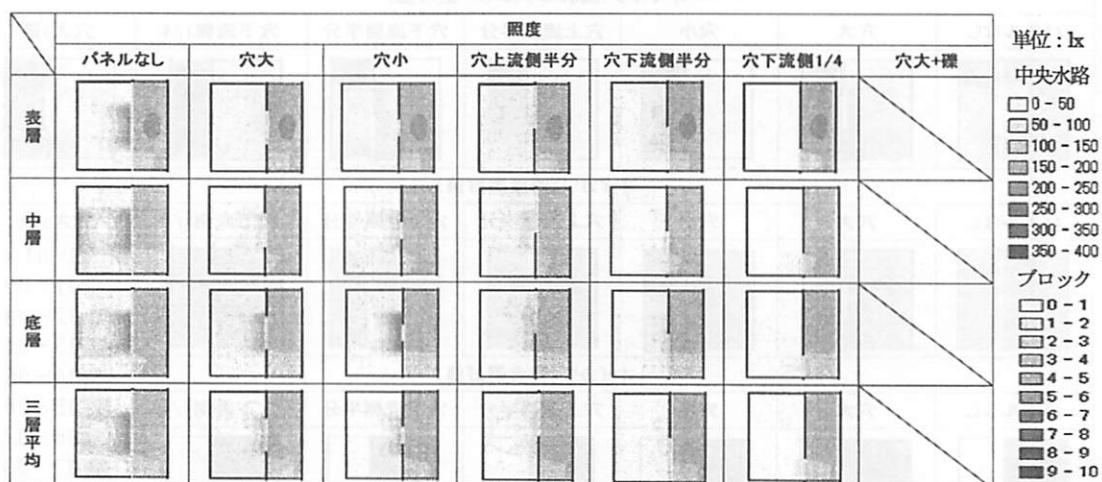
図-6 各種護岸パネルにおける生存率



a) 流速

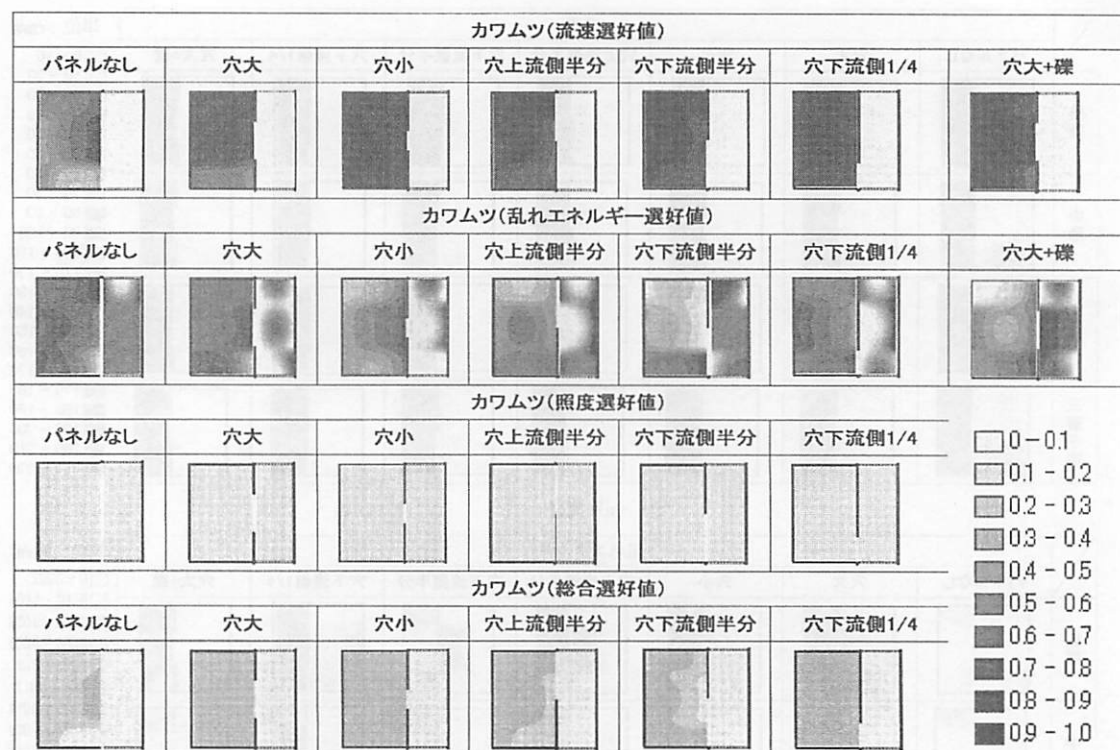


b) 乱れエネルギー

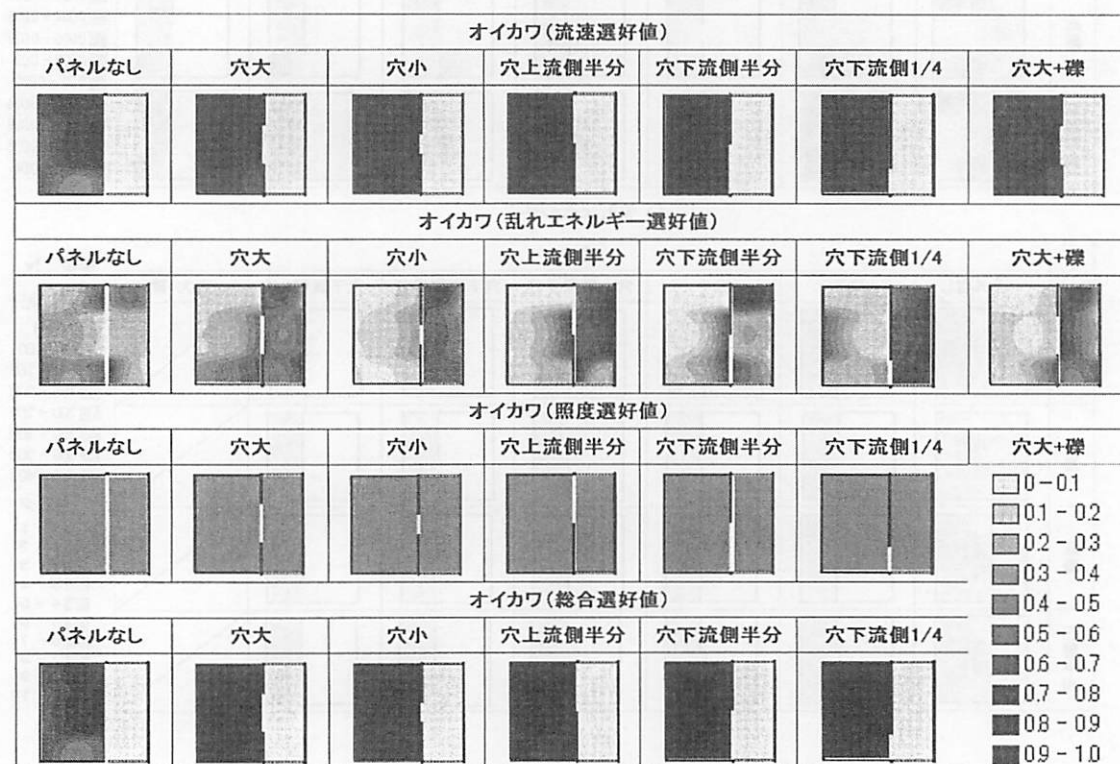


c) 照度

図-7 各護岸パネルにおける各環境因子コンター



a) カワムツ



b) オイカワ

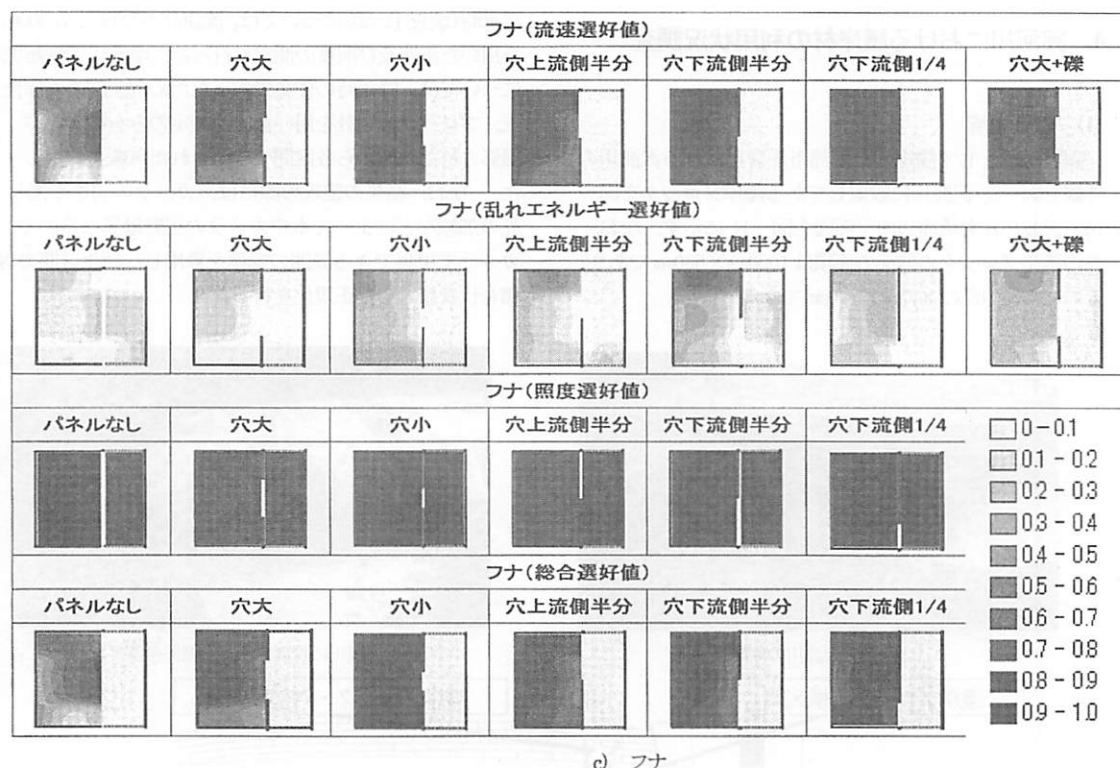


図-8 各種護岸パネルにおける各選好値コンター

る各環境因子コンターを図-7に、前述の各護岸パネルごとの各環境因子を基に、選好曲線をいって算出した各種選好値のコンターを図-8に示す。

本年度に行った高流速実験では、各魚種において実験時間に対する生存時間の割合を仮の分布率とした。全魚種を通して、「穴大+礫」条件と「穴大」条件を比較すると、礫の有効性が見られない。オイカワやカワムツなどの遊泳性の魚類は、礫径が350mm以上の巨礫を用いて創出された空隙を比較的好む傾向を示すことが確認されている。⁷⁾本実験で用いた礫径は約250mmと巨礫より小さいため、あまり選好されなかったものと考えられる。

フナにおいて、「穴大」条件と「穴小」条件を比較すると、生存時間がほぼ等しいことがわかる。このことから、穴の大小とフナのブロック内への留まりやすさとは関連していないことが推測される。また、「穴下流側半分」条件及び「穴下流側1/4」条件と、「穴上流側半分」を比較すると、穴の位置が下流側にあるほうが生存時間が長いことがわかる。流速及び乱れ選好値のコンターを見ると、穴の位置が下流側の場合、穴から遠い位置に選好値が高い場所が確認できる。一方で、穴の位置が上流側の場合、穴近傍にも選好値が高い場所が確認できる。流速・乱れ・照度の環境因子を考慮した総合選好値のコンターにおい

ても、同様のことが言える。このことが実験結果に反映されたと考えられ、穴の場所は上流よりも下流に位置したほうが留まりやすさを高めるのには有効であることが推測される。

また、「パネルなし」条件とその他の条件を比較してみると、全魚種でほぼどの条件でも「パネルなし」条件よりも生存時間が長いことが確認できる。このことから、増水などによる高流速下において魚巣ブロックによる魚類保全効果に差はあるが認められる。

全体を通して見ると、オイカワがカワムツやフナに比べて、生存時間が短い。一般にオイカワは河川中・下流域の平瀬や淵を、カワムツは河川中流域や湖沼を、フナは沼や池などの泥底部を好んで生息している⁸⁾ことからわかるように、オイカワは比較的速い流速を好み、カワムツはオイカワよりも穏やかな流速を好み、フナは水深の深い場所の底部といった止水環境を好む傾向が見られる。このような魚種別の生態的特徴から、オイカワは高流速下でもブロックから外部に出やすく、結果的に生存率低下したものと考えられる。

4. 実河川における護岸材の利用状況調査

(1) 調査場所

調査場所として設定した宇部市片倉を流れる沢波川の外観を図-9、沢波川に設置してある護岸ブロックを図-10、沢波川片倉橋周辺の平面図を図-11に示す。なお、この護岸ブロックの前面の面積は1000mm×530mmであり、そのうち開口部は340mm×170mmである。



図-9 沢波川の外観



図-10 沢波川に設置された環境保全型ブロック

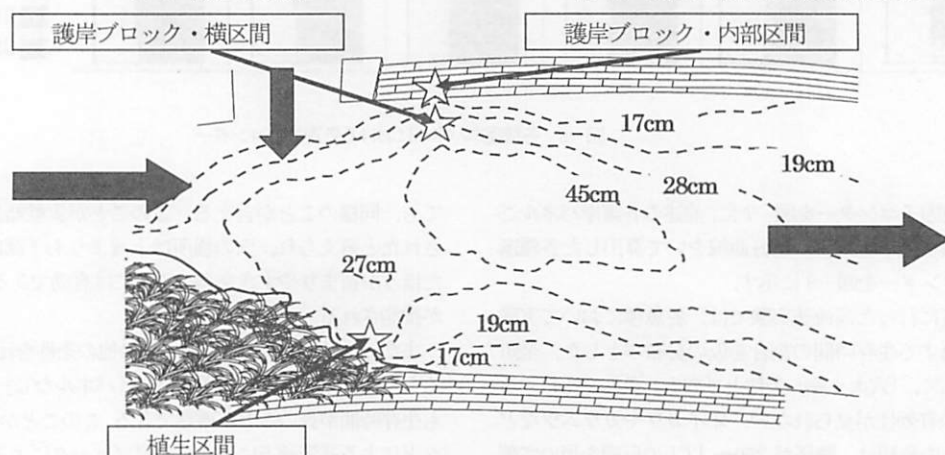


図-11 沢波川平面図 (図中の数字は水深)

表-3 調査日程及び環境条件

撮影日・撮影時間	天候	撮影区間	流速 (cm/s)	照度 (lx・s)
① 2008.07.18・18:30～20:30(平水時)	曇り	護岸ブロック(横)	3.9	22900(17:30)
		護岸ブロック(内部)		2(17:30)
		植生	3.3	31900(17:30)
② 2008.08.18・12:00～17:00(平水時)	晴れ	護岸ブロック(横)	3.0	18700(11:00)
		護岸ブロック(内部)		179(11:00)
		植生	3.5	27800(11:00)
③ 2008.09.30・15:30～22:00(増水時)	雨	護岸ブロック(横)	14.0	
		護岸ブロック(内部)		
		植生	14.0	
		※河川中央付近	77.0	

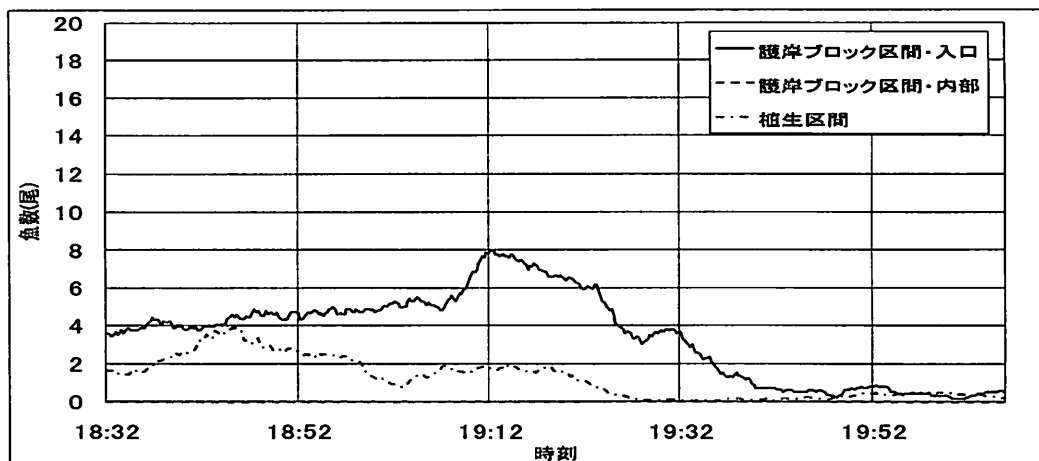
(2) 調査及び解析方法

調査日程及び環境条件を表3に示す。各区間に水中カメラ(屋外設置対応赤外線LED内臓黒白カメラSK-2020)を設置し、3秒ごとに映像を切り替えデジタルビデオカメラにより記録した。また、各撮影区間の環境条件として

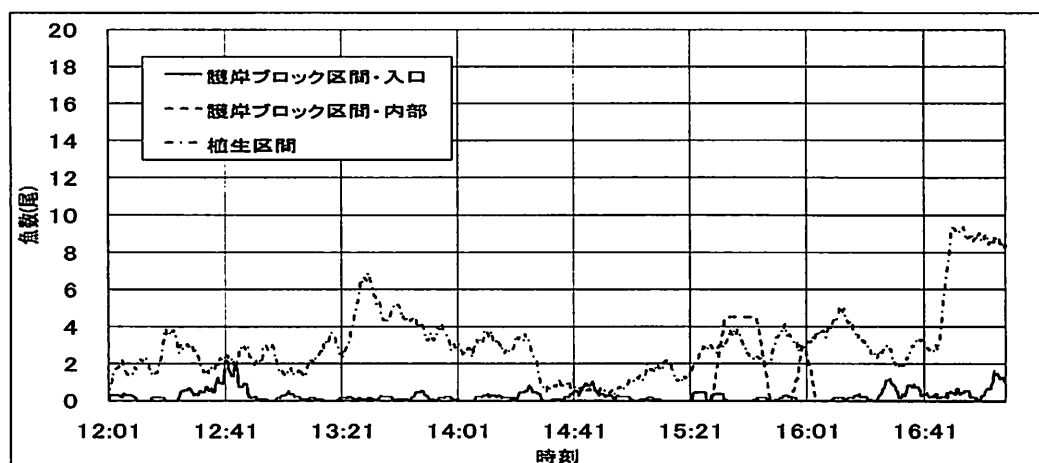
平水時(調査①、②)については、流速計(KENEK, VP3000)を用いた流速及び照度の測定も行った。増水時(調査③)については、降雨時の作業であったため危険回避の都合上、プロペラ流速計を用いた流速測定のみを行った。撮影された映像から各区間で確認された魚数を計数した。なお、結果の整理の際には、カメラの向きや濁り、光の加減などによって水中カメラの視野は異なるので、カメラで視認できる範囲の容積を算出し、植生区間の容積を代表値とした正規化を行った。

(3) 調査結果及び考察

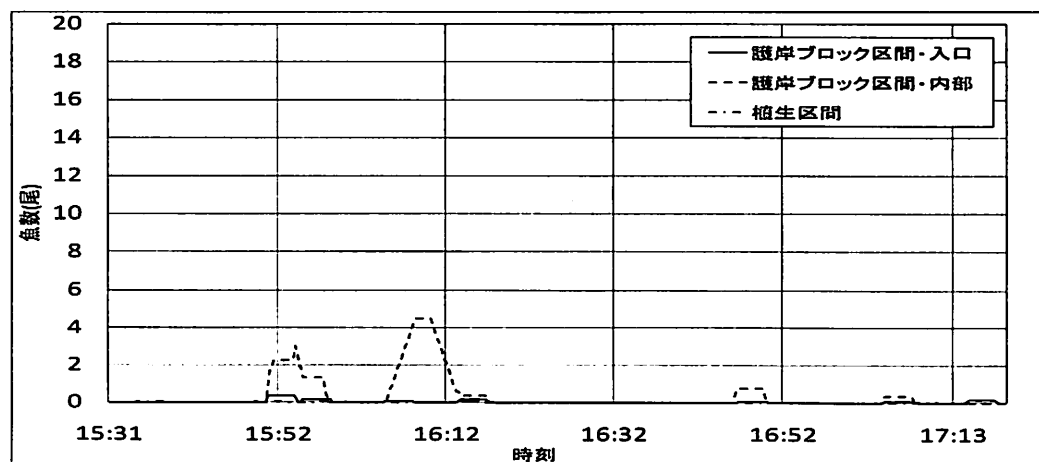
計数結果を移動平均にしたものを図-12に、分布率で表したものを表-4に示す。分布率に関しては、全区間を通して魚の存在が確認された時刻のみ3区間の合計魚数で各区間の魚数を除いたものを算出し、その結果を各区



a) 調査①(2008. 07. 18)



b) 調査②(2008. 08. 18)



c) 調査③(2008. 09. 30)

図-12 沢波川調査結果(移動平均)

表-4 各撮影区間の仮分布率

調査番号および河川状況	区間名および各区間の分布率			護岸ブロック区間・(内部+入口)の分布率/(2*植生区間の分布率)
	護岸ブロック区間・内部	護岸ブロック区間・入口	植生区間	
平水時(調査①、夜)	0.000	0.721	0.279	1.292
平水時(調査②、昼)	0.043	0.098	0.859	0.082
増水時(調査③、昼)	0.417	0.201	0.383	0.806

間ごとに全時間で平均したものである。なお、植生区間で観察された魚種の多くはオイカワ・カワムツ、護岸ブロック付近で観察された魚種はフナと思われたが、かならずしも透明度の高くない水中でのビデオ撮影からの判断であるため断定はできない。

図-12より、調査③では調査①、②に比べ魚が護岸ブロック内を頻繁に利用していることが確認された。また、このことは、表-4の護岸ブロック区間内部における調査③の分布率と調査①、②の分布率を比較してみてもわかる。このことから、降雨などにより本川が増水し流量が増加した際には、護岸ブロックは魚の避難場所（休憩場所）として機能していることが確認された。昼間に行った調査②の結果では植生区間で確認された魚数が護岸ブロック区間で確認された魚数よりも大きく上回るという結果となった。このことは表-4の調査②の分布率を見ても確認できる。各区間における環境条件測定結果から護岸ブロック区間と植生区間の流速はほぼ等しく、照度は護岸ブロック区間よりも植生区間のほうが高い値となっている。一般には魚は明るすぎる場所を好まないことが多い。今回の調査結果においては照度の大小よりも植生の水中・水上カバーによる捕食圧の低減効果や、今回は評価できていない餌料の効果のなどが影響したものと考えられる。また、図-12より、間に行った調査①では護岸ブロック入り口付近で確認された魚数が植生区間で確認された魚数を上回るという結果となった。表-4からも同様の傾向が読み取れる。植生区間は日中は鳥などの外敵に対するカバーの効果から選好されるが生息場の価値としてはブロック区間の方が高いなどの理由が考えられるが、調査回数が限られていることから、詳細な検討は今後の課題である。

5. まとめ

本研究では、日本の河川を代表するカワムツ・オイカワ・フナに着目し、各魚種における選好曲線の再定量化を行った。次に、室内実験として、洪水を想定して流速約1.

8m/s 下での各種護岸パネルの魚類保全効果を「留まりやすさ」の観点から検証した。また、各魚種の選好曲線を基に各パネル条件及び中央水路の環境因子及び選好値のコンターを描くことで、実験結果との比較も行った。さらに、沢波川における護岸ブロック区間と植生区間の相対比較調査を行った。

室内実験では、1. 8m/s の高流速下では魚は流水中に定位置できず、流下してしまうこと、高い流速を選好する魚ほど魚巢ブロック内から流水中に出て流下してしまうこと、前面パネル形状により差はあるものの、「パネルなし」条件よりはいずれも高い魚類保全効果を示すこと、魚類保全効果の一部は選好性により説明できることを示した。

現地調査では、平水時の日中は魚巢ブロックより植生の方が魚類に選好されているが、暗くなると両区間での魚類分布が逆転することが確認され、魚巢ブロックが夜間の生息場として利用されている可能性が示された。また、増水時には魚巢ブロック内部への魚の進入が観察された。以上より、実河川においてもブロックが利用されている実態が確認された。

なお、査読者の一人から「洪水時に魚が本流の中に出て行こうとするなら、洪水後には河川から魚がいなくなるのではないか」とのご意見をいただいた。本研究結果によれば、ブロックだけで構成された直線水路であればそのようなことが実際に起こる可能性はある。ただし、実河川では河道の蛇行や寄り洲、植生、高水敷の冠水などにより局所的に低流速域が構成されることで、魚が留まることができるのだろう⁹⁾。

今後は、水温などの実験条件を再検討し、選好性による魚類保全効果予測の精度を高めると同時に、上記のような効果も総合した、より魚類保全効果の高い川づくりの在り方を提案していきたい。

謝辞：本研究の一部は（株）ランドスより研究費の支援をうけました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 島谷幸宏「多自然川づくりの技術展開と課題、河川技術論文集、Vol. 14、Page385-390、2008

- 2) 宇田川義夫, 中村敏一, 玉井元治, 寺川陽, 阿部徹: ポーラスコンクリート河川護岸における生態系復元に関する調査・分析, 河川技術論文集, Vol. 7, Page249-254, 2001
- 3) ズワギアブドゥアラゼク, 田口史雄, 井出康郎: ポーラスコンクリートを用いた水辺環境の復元に関する研究, 河川技術論文集, Vol. 7, Page255-260, 2001
- 4) 中村良一, 関根雅彦, 橋口麻美, 樋口隆哉, 今井剛: 室内実験による護岸ブロックの魚類保全効果の検討, 環境工学研究論文集, Vol. 45, Page507-514, 2008
- 5) 関根雅彦: 河川環境管理を目的とした生態系モデルにおける生物の環境選好性の定式化, 土木学会論文集, No. 503, Page177-186, 1994
- 6) 鈴木興道: 魚道の設計に資する淡水魚類の耐久遊泳速度, 土木学会論文集, No. 622, Page107-115, 1999
- 7) 独立行政法人 土木研究所 自然共生センターHP: 河川・水際域を保全・修復するために
(http://www.pwri.go.jp/team/kyousei/jpn/research/m3_01_t1.htm)
(2009年8月9日現在)
- 8) 山田渉: 『日本産魚類図鑑《解説》』 東海大学出版会 Page56-57, 1984
- 9) 綾史郎, 紀平肇, 松波由香, 井田康夫: 河川の水位・流量の周年/経年変化と河川生態環境, 河川技術に関する論文, 第6巻, 2000

(2009. 5. 22 受付)

Study on fish preservation efficiency of ecological blocks
based on laboratory experiments and field surveys

Shingo UEKI¹, Masahiko SEKINE¹, Ryoichi NAKAMURA²,

Takaya HIGUCHI¹, Tsuyoshi IMAI¹

¹Graduate school of Science and Engineering, Yamaguchi University

²Yamaguchi prefecture

We observed behavior of fish in and around several types of ecological blocks under high velocity of 1.8 m/s by using newly revised water circulation tank. We also conducted a field survey of block utilization by fish in the SAWANAMI River. In the laboratory experiments, we found that all fish could not stay in 1.8 m/s flow. Fish which prefer higher velocity tended to come out from the block and flushed away. Although the fish protection efficiency was different among block types, the ecological blocks showed a certain level of fish protection effect. The field survey showed that during the day time, fish preferred vegetation than blocks. However, during the flood and/or night period, fish preferred to stay in and around the blocks.