

PHABSIMを用いた純淡水魚類生息場の定量的 評価に関するケーススタディ

CASE STUDIES CONCERNING QUANTITATIVE EVALUATION OF FRESHWATER FISH HABITAT BY THE PHABSIM SYSTEM

須藤 達美¹・永瀬 恭一²・道上 正規³・檜谷 治⁴

Tatsumi SUTOH, Kyouichi NAGASE, Masanori MICHIE and Osamu HINOKIDANI

¹正会員 株式会社フジタ技術研究所 環境設備研究部 (〒243-0125 厚木市小野2025-1)

²正会員 工博 株式会社フジタ技術研究所 土木研究部 (〒243-0125 厚木市小野2025-1)

³フェロー 工博 鳥取大学教授 工学部土木工学科 (〒680-8552 鳥取市湖山町南4丁目101)

⁴正会員 工博 鳥取大学助教授 工学部土木工学科 (〒680-8552 鳥取市湖山町南4丁目101)

The objective of this research was to conduct quantitative evaluation of the possibility of fresh water fish to live, based on "PHABSIM", a US-proven physical environment evaluation model that is increasingly gaining attention in Japan. In this research, the MacCormack method, that had earned a reputation for mixed flow (ordinary and shooting flow) simulation, was applied to an actual river.

As a result of investigation conducted on the data of 1999 and 1998 about Mochigase points of the Sendai River, we found that the weighted usable area of sufficiently large size is preserved for *L. (Tribolodon) hakonensis* in every growth stage between the dry and rainy seasons, but that of *Rhinogobius flumineus* is extremely insufficient through the year.

Key Words : PHABSIM, Freshwater fish, habitat, Simulation, River environment

1. はじめに

近年、多自然型川づくりに代表される河川環境への配慮が本格化し、全国各地で数多くの事業が実施されている。しかし、河川を取り巻く生態系の定量的評価、中でも淡水魚類の生息可能性評価に関する分野においては、研究レベルを脱しておらず、実務的な技術が依然として確立されていない状況にある。

この分野では、アメリカで汎用化されつつある河川水利用を決定するための方法論 IFIM (Instream Flow Incremental Methodology) における魚類生息場の物理環境評価モデルPHABSIM (Physical Habitat Simulation) が1994年に中村ら¹⁾によって紹介されて以来、国内でも注目を浴びるようになり、この考え方に基づく辻本らの研究²⁾が知られる。

本研究では、ハビタット (habitat) が主に山地・扇状地河道に限られ、評価が比較的容易な純淡水魚類について、実河川を対象としてPHABSIMによる利用可能生息場の評価を試行したものである。

2. 対象河川の概要と河川環境調査結果

(1) 対象河川の概要と洪水の影響

調査の対象とした河川は、鳥取県東部を流れる一級河川千代川であり、中流域の用瀬町和奈見付近の約230m区間を選定し、1998年と1999年の2回にわたり現地調査を実施した。なお、調査地点は、一般に純淡水魚類のハビタットである一対の特徴的な瀬と淵を含み、人工構造物が少なく自然河川に近い区間とした。調査地点の概要を表1に示す。対象区間は、平均河道勾配が1/70の比較的急な流れであり、河川形態分類はBb、河道セグメントはIである。

また、本河川では、1998年10月18日に、台風10号に伴う豪雨により、調査地点付近の観測所において1300m³/sの出水を観測している。洪水により、図1に示すように下流部左岸側の淵が埋まると共に、上流の瀬では、左岸側が洗掘され流心が集中するなど河川形状が変化した。これにより魚類の生息環境も影響を受けたものと推測された。

(2) 河川環境調査結果

対象地点における純淡水魚類の生息環境としてのポテンシャルの把握を目的として、生息上の支配的な要因である縦断面の形状や流速・水深といった河川を構成する物理的諸量、並びに水質、主要な餌としてのベントス生産量、生息魚種などについて調査した。淡水魚類生息量の健全性と流況ならびに河道の構造との関連性については、支配的な要素として、流速・水深・カバー（日陰や隠れ場所）の大きさ・河床材料（粒径および浮き石・沈み石といった構成の状況）、水質について、水温・溶存酸素・総アルカリ・浮遊物質量・透過度等が知られている³⁾。調査時の流況は、河川調査が夏期に限定されることもあり、いずれの年も低水（11.03m³/s）程度である。なお、水面上を樹木の枝葉が被うカバーについては、0.5%以下と小さかったため除外した。

水質についての調査結果では、まず、調査地点から約300m下流の千代川佐貫地点における理化学的水質測定データ⁴⁾より、上流域における生活廃水の混入により大腸菌群数がやや多いものの、概してきれいな水であり河川水質類型Aをほぼ満足するとともに、表3に示す魚種の生息を脅かすレベルとは言えない⁵⁾。また、水質の変動を反映しやすい生物学的水質判定でも、1998年、1999年ともにOS(Origo Saprobic)であり、上記の結果を裏付けるものである。更に、純淡水魚類の多くが餌としている底生生物の生産量については、1999年のサンプリングが8月となりやや時期を逸した関係で少なくなっているものの、一般的な範囲であり、魚類の生産に大きな影響を与えるレベルとは言えない。

表3に示す魚類調査は、潜水観察により確認したもので、約1cm以下の仔魚は対象外とし、生息数はおおよそその数字である。放流魚のヤマメ・アユを除くと1998年に8種、1999年には9種確認されている。なお、これらの魚種は、建設省が行っている河川水辺の国勢調査（魚介類調査編）においても確認されており、調査地点周辺において、これら魚種の各成長段階に応じた生息場が確保されていると推測できる。

以上、河川環境に関する各調査では、生息が確認された魚種について、水質面並びに主要な餌としての底生生物の生産量は満足されているものと判断できる。したがって、調査地点に魚類が生息する上での支配的要因は、以下に述べる流況など河川の物理特性の与える影響が大きいと考えられる。

3. 山地河道における数値シミュレーション⁶⁾

前節では、水質面並びに純淡水魚の主要な餌のひとつである底生生物の生産量という観点から、マクロ

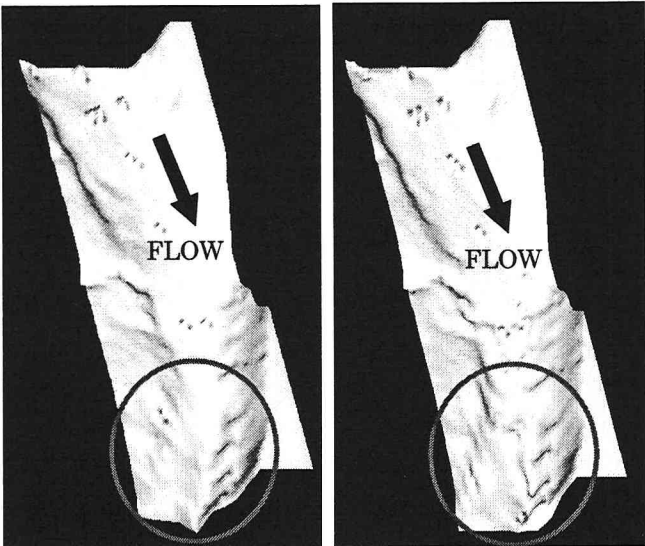


図1 河川形状 出水前(左 1998.8)と出水後(右 1999.8)

表1 調査地点の概要

項目 \ 年度	1998.7	1999.8
標高(m)	約50	
区間延長(m)	230	
平水流量(m³)	15.09	
調査時流量(m³)	11.3	9.5
河道勾配	1/70	
河道幅員(m)	1	
河川生態学分類	Bb, Meander typeの淵	

表2 水質測定結果

項目 \ 年度		1998	1999
理化学測定	8月平均水温(℃)	20.27	21.62
	pH	7.28*	
	BOD(mg/l)	1.3*	
	DO(mg/l)	10.4*	
	SS(mg/l)	11.5*	
	大腸菌群数(MPL/100ml)	68000*	
生物	測定日時	1998/6/15	1998/8/2
	生物学的水質判定	os	os
	底生生物生産量(湿潤) (g/m²)	13.24	4.38

* 佐貫地点水質データ 1994年平均

表3 魚類調査結果

分類	魚種 \ 年度	1998	1999
純淡水	ヤマメ*(<i>S.(Oncorhynchus)masou masou</i>)	0	5
	ウグイ(<i>L.(Tribolodon)hakonensis</i>)	35	80
	カワムツ(<i>Z.temminckii</i>)	5	10
	オイカワ(<i>Zacco platypus</i>)	5	5
	カマツカ(<i>Pseudogobio(Pseudogobio) esocinus</i>)	0	10
	ムギツク(<i>Pungtungia herzi</i>)	20	50
	シマドジョウ(<i>Cobitis (Cobitis) biwae</i>)	25	20
	カワヨシノボリ(<i>Rhinogobius flumineus</i>)	5	10
	カジカ(<i>C.(C.)higendorfi</i>)	5	10
	ドンコ(<i>Odontobutis obscura</i>)	5	5
回遊	アユ*(<i>P.altivelis</i>)	5	25

※ 数字は仔魚を除くおおよその生息数 *…放流魚

的評価を行ったわけであるが、ここでは、平水時並びに流況が変化した場合の純淡水魚類の生息環境に与える影響について数値シミュレーションを用いて検討を行う。なお、数値計算法には、常・射流混在下で有用とされており、著者ら⁷⁾が再現性を確認したMacCormack法を用いた。以下に計算に用いた諸条件を示す。

(1) 支配方程式と境界条件

流れの連続式と運動方程式は次式を用いた。

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial E^x}{\partial x} + \frac{\partial E^y}{\partial x} = C \tag{1}$$

ここに、

$$U = \begin{bmatrix} h \\ uh \\ vh \end{bmatrix}, E^x = \begin{bmatrix} uh \\ u^2h + 1/2gh^2 \\ uvh \end{bmatrix}, E^y = \begin{bmatrix} vh \\ uvh \\ v^2h + 1/2gh^2 \end{bmatrix},$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 \\ gh(S_{ox} - S_{fx}) \\ gh(S_{oy} - S_{fy}) \end{bmatrix} \tag{2}$$

S_{ox} , S_{oy} : x, y 方向の河道勾配、 S_{rx} , S_{ry} : x, y 方向の底面摩擦勾配であり、 $U=uh$, $V=vh$, n : マニングの粗度係数とすれば、以下ようになる。

$$S_{fx} = \frac{n^2 U (U^2 + V^2)^{1/2}}{h^{10/3}}, S_{fy} = \frac{n^2 V (U^2 + V^2)^{1/2}}{h^{10/3}}$$

$$S_{ox} = -\frac{\partial z}{\partial x}, S_{oy} = -\frac{\partial z}{\partial y} \tag{3}, (4)$$

また、振動数を押さえるために岡部ら⁸⁾が提案した人工粘性項 (Kv) を導入し値には一律 $Kv=10$ とした。境界条件は、上流端で流入流量を与え、下流端では自由流出とした他、河岸鉛直方向の速度成分を 0 とし、平行な成分は slip 条件とした。以上の条件設定により、現地調査により求めた流量における流況がある程度再現されたため^{7) 9)}、以下に示す流量変化に伴う流況の変化について検討を行った。

(2) 用瀬付近の流況と計算流量の設定

計算に用いた流量は、図 2 に示す用瀬付近における 1975 年から 1997 年までの年流量データを基に、豊水・平水・低水・渇水・最小毎に平均した値とした。データには一部欠損があるものの、22 年間の集計結果から、上記の流量はそれぞれ、 $24.53 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $15.09 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $11.03 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $7.42 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $4.83 \text{ m}^3/\text{s}$ となる。なお、先の述べた台風 10 号に伴う $1300 \text{ m}^3/\text{s}$ という流量は、1975 年以降では 1979 年に観測された最大流量

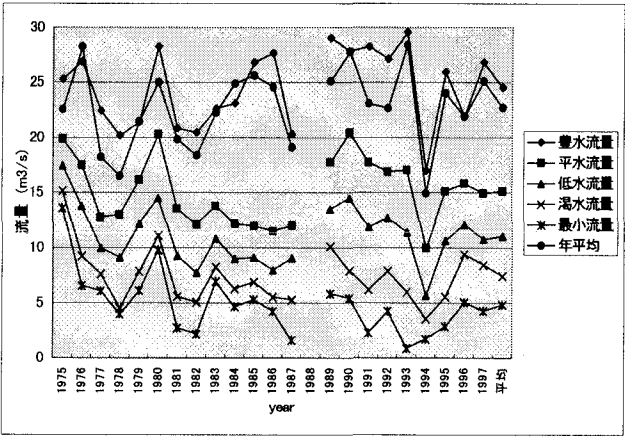


図 2 千代川用瀬付近の流量

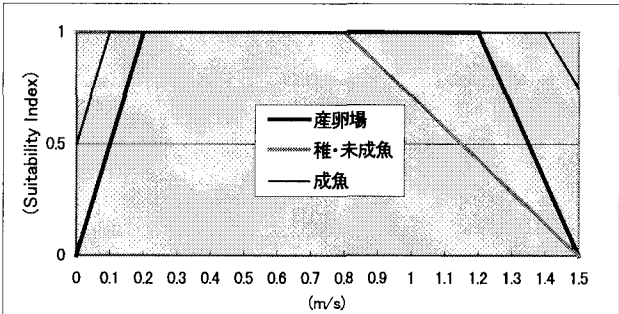
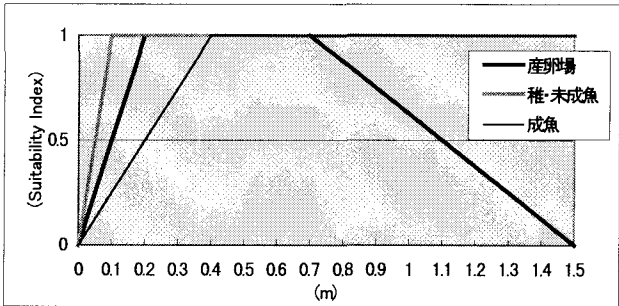


図 3 ヲイの第 1 種適性基準 水深 (上) と流速 (下)

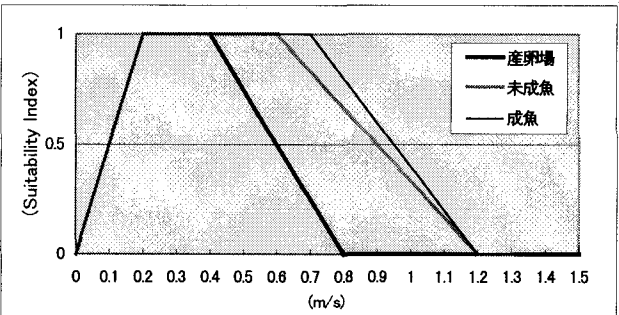
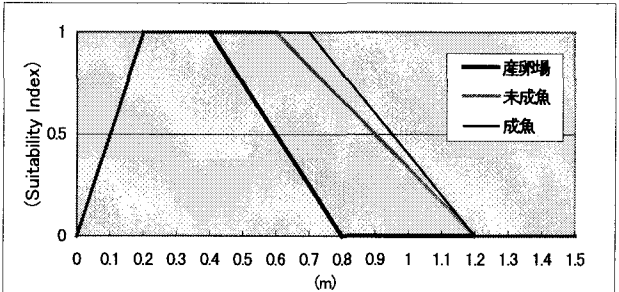


図 4 シヨシボリの第 1 種適性基準 水深 (上) 流速 (下)

1401 m³/sに次ぐもので、最大流量の年平均532 m³/sを大きく上回る流量である。この洪水により、調査対象区間において、上流部では左岸が洗掘されるとともに、下流部では左岸側の淵が縮小している。

また、数値シミュレーションにより得られた結果は、水深並びに流速について次に示すウグイとシマヨシノボリに関する第1種適性基準に基づいて区分しメッシュデータとして整理した。

(3) 適性基準の設定¹⁰⁾

PHABSIMでは、水深や流速といった河道特性指標に対して、魚種毎に適性値を求めて利用可能面積 (weighted usable area : 以下WUA) を求めることとしている。また、この適性基準の作成にあたり、求める精度によって、個人の経験や専門家の意見に基づき作成する第一種適性基準、対象種の利用頻度分布図から求める第二種適性基準、これに環境的な偏りを考慮した第三種適性基準などがあるが、ここでは、1999年3月に中村らにより提案されている第一種適性基準を採用し検討を行った。なお、評価に用いた魚種は、表3に示す魚種の内、2回の調査ともに生息が確認された代表的な遊泳魚であるウグイと、同様の底生魚でカワヨシノボリと同属のシマヨシノボリ (*Rhinogobius* sp.) を選定した。なお、シマヨシノボリは、両側回遊魚ではあるが、この度の評価対象となる仔稚魚期を除く成長ステージでは、カワヨシノボリの生態と似ているものと考えられる。

ウグイ並びにシマヨシノボリの第一種適性基準を図3および図4に示す。本研究では、計算を簡素化するため便宜的に適性値を1ないしはそれ以外を0とするバイナリ形式を採用するとともに、物理指標は水深および流速のみとした。また、WUAの算定は、 $u_i \cdot h_i$ をメッシュの水深・流速とすれば、次式のとおりである。

$$WUA = \sum_{i=1}^n SI(u_i)SI(h_i)cellarea(i) \quad (5)$$

ここに、SI：水深・流速のバイナリ形式による適性値、cell area：1メッシュあたりの面積(6.25m²)。

計算の結果、1998年および1999年における平水時の水深および流速の分布と、流量を変化させた場合のウグイおよびシマヨシノボリに関するWUAは、それぞれ図5および図7、並びに図6および図8となる。

4. 生息可能性に関する評価

計算結果を基に、流況が変化した場合におけるウグイおよびシマヨシノボリのWUAの変化について以下に考察する。

(1) 平水時 (15.09m³/s) の比較

図5および図7における平水時の流れの状況について比較すると、水深については、洪水後上流側の瀬においては流心部の洗掘が進行し、0.8m以上の深い水域が左岸側に寄る形で減少している。一方、下流側の淵周辺では、河床が横断方向に一様化したことにより、最深部の水深が減少し、シマヨシノボリの生息場として利用されない0.8m以上の面積が増加する結果となっている。流速分布については、2次元計算のため平均流速による考察となるが、水深と同様に、0.8m/s以上の早い流速を示す箇所が、上流部では左岸側によるとともに面積的には減少し、下流部では反対に広い面積を占めている。

ここで、図3ならびに図4から、典型的な遊泳魚であるウグイは、成長ステージの各段階を通じて、概して深い水深と早い流速に耐えることができる。一方、底生魚のシマヨシノボリは、生息場として利用可能な流況の範囲は狭く、最も広範囲となる成魚期においても、水深および流速でそれぞれ0.7m以上、0.7m/s以上の範囲では選好性が低下する。

これらをもとに流量毎のWUAを求めると図6および図8のようになる。まず平水時のWUAを魚種毎に比較すると、遊泳魚のウグイは、各成長段階とも洪水の前後でほとんど変化していないものの、底生魚のシマヨシノボリでは、全成長段階でWUAが約30%減少していることがわかる。

平水付近の流量は、一年を通じて発生頻度の高い日常的な流量であることを考慮すると、調査地点は、少なくとも流速と水深からなる流れに関する魚類の選好性の観点から、洪水に伴う河川形態変化により、ウグイにとっては生息しやすく、シマヨシノボリにとっては生息しにくく変化したと考えられる。

(2) 流量変動にともなうWUAの変化

図6および図8に示すWUAでは、全体的な傾向として、流量や成長段階にかかわらず、いずれの年もウグイに比べシマヨシノボリは少なく、比較的生息しにくいと推測される。また、ウグイは成魚期のみ流量の増加に伴ない50m³/s程度まではWUAが増加するが、その他の成長段階並びにシマヨシノボリの全成長段階では一様に減少傾向を示した。

各年度毎に見た場合では、図6に示す1998年の洪水前の状況では、ウグイは1.4m/sという早い流速域での生息が可能となる成魚期が、流量の増加に対応して増加傾向を示すものの、産卵場の環境は緩やかな減少となる。稚・未成魚期では、平水時までは大きな変化がなく25000m²/km程度を確保するが豊水以降急激に減少している。シマヨシノボリについて、ウグイと比較すればWUAが1オーダー少なく、また、全ての成長段階で流量の増加にともなって急激

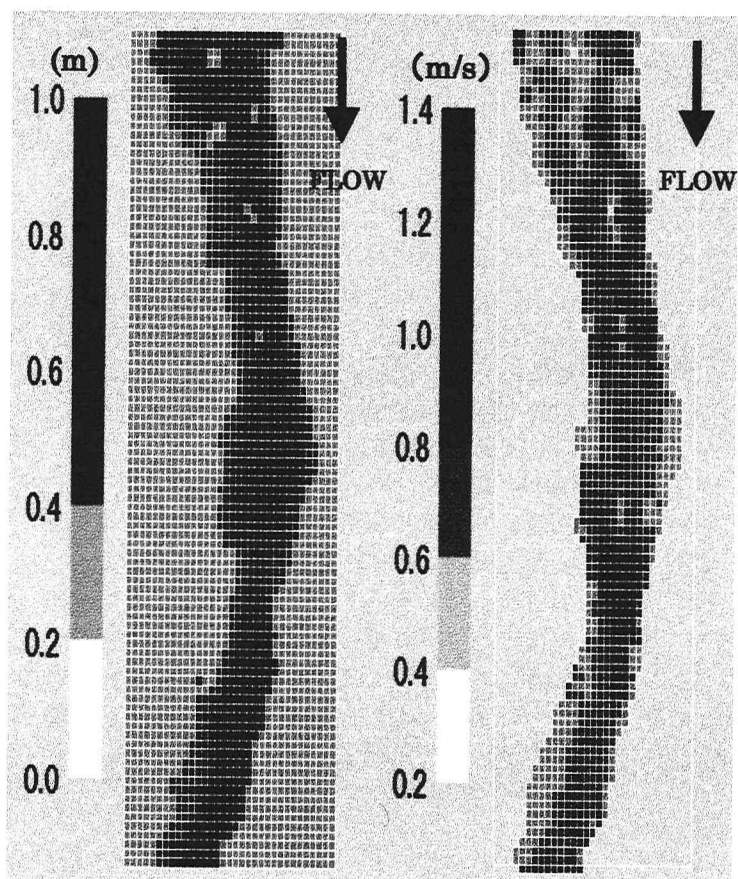


図5 平水時(98)における水深(左)と流速(右)のメッシュデータ

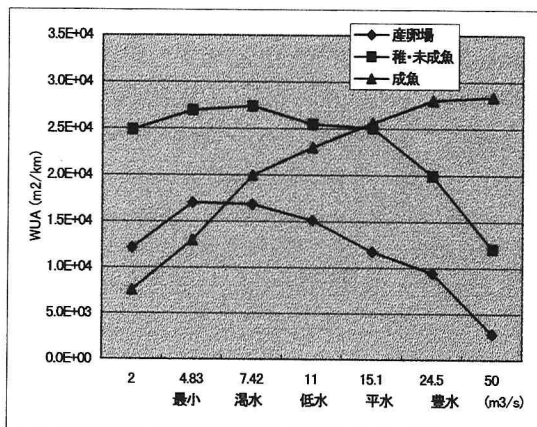


図6 ウガイ(上)とシモシボリ(下)のWUA

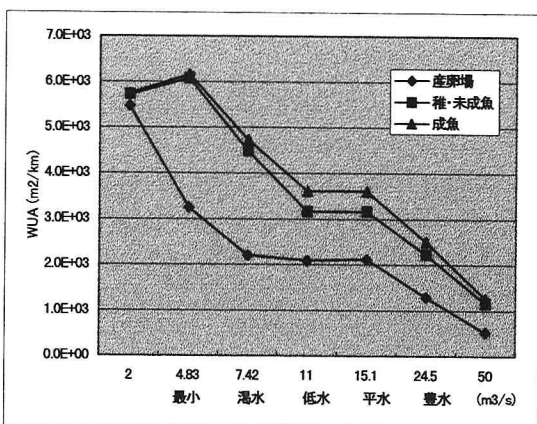


図6 ウガイ(上)とシモシボリ(下)のWUA

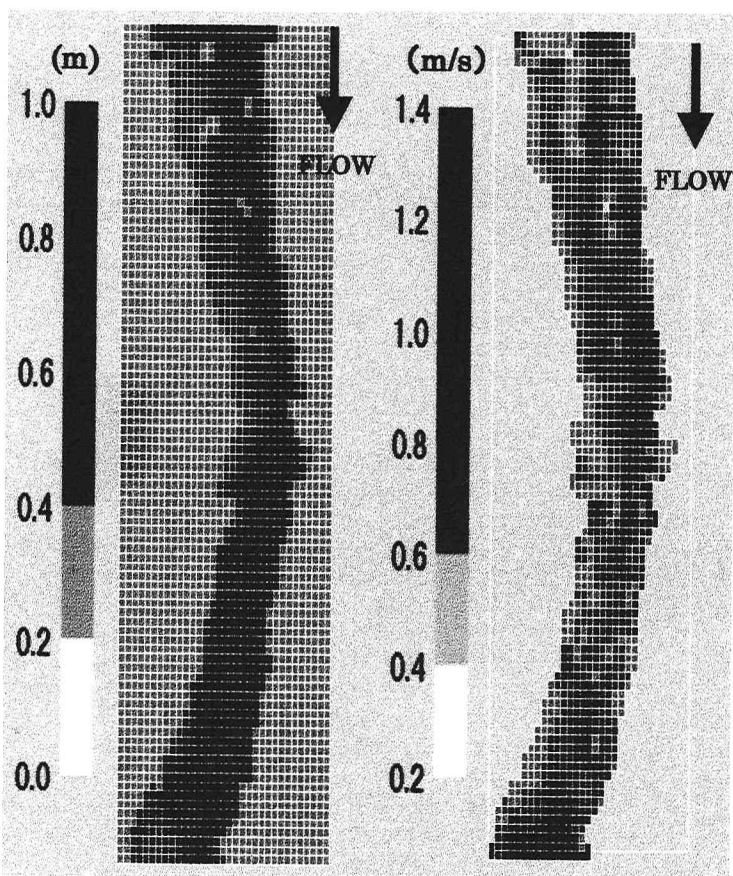


図7 平水時(99)における水深(左)と流速(右)のメッシュデータ

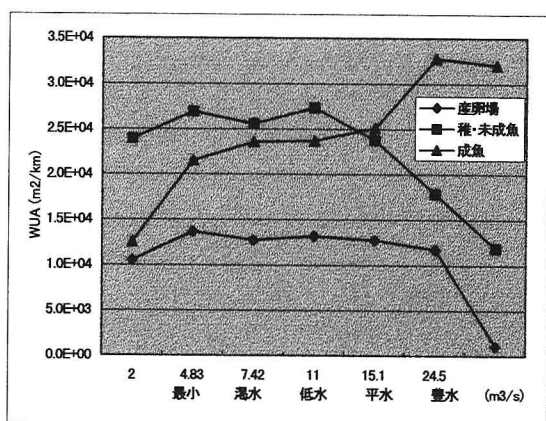


図8 ウガイ(上)とシモシボリ(下)のWUA

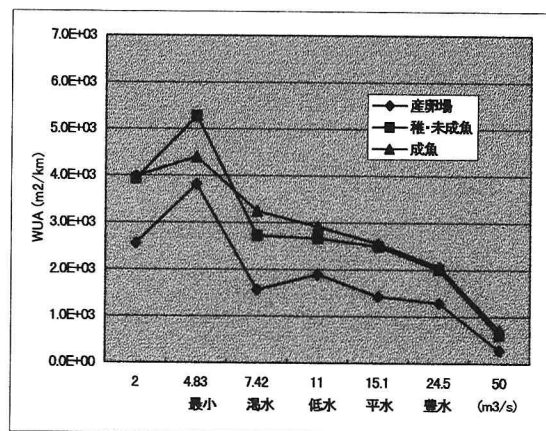


図8 ウガイ(上)とシモシボリ(下)のWUA

に減少する傾向を示している。

一方、図8における1999年度の状況をみると、ウグイでは、最小から平水迄の流量増加について、各成長ステージともWUAがほぼ一定の値となり、豊水以上の流量で極端に増加あるいは減少している。また、シマヨシノボリについては、全体的に比較的緩やかなWUAの減少傾向を示しているが、産卵場と稚・未成魚期において、最小流量時の一時的な上昇を示し、逆に渇水時には落ち込む傾向を示した。

これらをもとに洪水前後のWUAを比較すると、瀬の洗掘と淵の一樣化により、ウグイでは前年度に比べ最小流量時においても成魚期の生息場が確保される一方で、産卵場においては、低水以下の流量で必要な面積が減少するとともに豊水以上の減少傾向が顕著である。シマヨシノボリでは、全域でWUAが減少し、特に小流量域においてその傾向が顕著である。また、全体的傾向として、出水に伴ない特定の生息場が増加あるいは減少したことにより、グラフの挙動が極端になるとともに、この変化が不利となるシマヨシノボリでは、全成長段階でWUAが減少する結果となった。ここで、ウグイ・シマヨシノボリを遊泳魚および底生魚の指標生物と考えた場合、調査対象区間は、流量変動に対し、遊泳魚は広い範囲で生息場が確保されるものの、底生魚は渇水や洪水といった異常時の生息は困難であると推測できる。

更に、両魚種ともに、低水から豊水までの年間の半分を占める流量域において、WUAの大きな変動が見られなかったことから、他河川への適用など今後の十分な検証は必要であるが、多様な河川構造を有する自然河川では、簡易的評価手法として、洪水や渇水など異常時の簡易な評価を前提とすれば、流量変動を考慮せずに現地計測データのみによる評価の可能性があると考えられる。

5. まとめ

本研究は、魚類生息場の物理環境評価モデルであるPHABSIMを用いて、最新の第一種適性基準により、遊泳魚と底生魚の指標生物としてのウグイとシマヨシノボリについて、実河川に適用し評価を試行したものである。

- ①河川環境調査結果より、水質面並びに主要な餌の生産量という観点から、これらの魚種の生息を脅かす要因はなく、流況変化に伴う河川の物理的変化が魚類生息上支配的な要因であると考えられた。
- ②流量変動に伴う魚種毎のWUAを求めたところ、対象区間では、流量変動に対して遊泳魚の利用生息場には大きな変化がなく、ある程度の面積が確保される。一方、底生魚は増水時にWUAが減少

し、この場所での再生産は困難と判断される。

- ③河川形態変化が魚類のWUAに与えた影響について、遊泳魚ではWUAの変動が極端になるとともに、底生魚では全体的に生息場面積が減少し、特に小流量時の減少傾向が著しい。

淡水魚類の生息環境における支配的要因の内、水質に関しては広範囲にわたる継続的な測定が行われており、これに基づくマクロの評価は比較的容易である。しかし、これにより魚類の絶滅や減少などの要因が特定できない場合はマイクロ生息場の評価が必要となり、詳細な現地調査と数値シミュレーションを用いた流量変動時の評価が不可欠である。

全国の河川改修に伴う環境評価の需要に応えるためには、簡易的で関係者の理解を得やすい定量評価技術が必要である。本研究における河川環境の評価では、項目も少なく不十分な点も多いものの、基盤となる情報を定量的に把握することができたように思う。今後は、第2種適性基準の使用や評価項目の追加、他河川への適用などによる信頼性の向上と、現地調査結果のみによる魚類生息場の簡易評価技術の確立に努めたいと考える。

謝辞：現地調査にご協力いただいた鳥取大学大学院の入川氏・福住氏・中本氏をはじめとする鳥取大学工学部水工研究室の諸氏、並びに千代川の流況データを快くお譲り頂いた建設省鳥取工事事務所の皆様に深謝いたします。

参考文献

- 1) 中村・塚原・石川監訳：河川・水辺における生物生息環境評価のための調査・数量化手法，建設省豊橋工事事務所，1994。
- 2) 辻本哲郎：河川の生態環境水理学序説，1998年度水工学に関する夏期研修会講義集，pp.A-1-14-A-1-19，1998。
- 3) 須藤達美・道上正規・藤田正治：北谷川における河川形態変化とそれに伴う河川環境変化に関する考察，水工学論文集第40巻，pp.213-218，1996。
- 4) 社）日本河川協会編：1994日本河川水質年鑑，p1134，1996。
- 5) 須藤達美・檜谷治：日本産純淡水魚類の生息に関する水質面からの評価について，フジタ技術研究所所報第34号，pp.183-188，1998。
- 6) 永瀬恭一・道上正規・檜谷治：狭窄部を持つ山地河川の河床変動計算，水工学論文集第40巻，pp.887-892，1996。
- 7) 道上正規・檜谷治・池見拓・永瀬恭一：山地河道における淵の形成に関する数値シミュレーション，新しい河川整備・管理の理念と河川技術シンポ，pp.223-230，1997。
- 8) 岡部健武・高橋邦治・穴瀬康雄：MC法を用いた1次元開水路流れの数値計算法，徳大工学部研究報告No38，pp.25-33，1993。
- 9) 須藤達美・檜谷治・永瀬恭一：流れのシミュレーションにおける純淡水魚類の生息可能性評価に関する研究，フジタ技術研究所所報第35号，1999。
- 10) 中村俊六・テリー・ワドゥル訳：IFIM入門，リバーフロント整備センター，pp.134-150，1999.3。

(1999.9.30受付)