

# IFIM/PHABSIMによる河川魚類生息環境評価 —豊川を例にして—

## EVALUATION OF FRESHWATER FISH HABITAT USING IFIM/PHABSIM —APPLICATION TO THE TOYO-GAWA RIVER—

小出水規行<sup>1</sup>・藪木昭彦<sup>2</sup>・中村俊六<sup>3</sup>

Noriyuki KOIZUMI, Akihiko YABUKI and Shunroku NAKAMURA

<sup>1</sup>正会員 農博 豊橋技術科学大学助手 建設工学系 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)

<sup>2</sup>豊橋技術科学大学大学院 工学研究科 (同上)

<sup>3</sup>正会員 工博 豊橋技術科学大学教授 建設工学系 (同上)

In this paper, we applied the PHABSIM portion of IFIM to the Toyo-gawa River. First, we developed Habitat Suitability Criteria (HSC) for four natatorial and one demersal species for adult fish. Second, we calculated Weighted Usable Area (WUA) for a range of discharges, using the HSC and hydraulic models, for the above species. We then evaluated flow management of the Toyo-gawa River for three flow conditions: 1) natural condition, 2) present condition and 3) proposed condition.

The results produced the following observations: 1) Under the proposed condition, the potential fish habitat (WUA) for the natatorial species showed an overall in the area downstream of the dams. 2) The amounts and distributions of WUA for the demersal species were not much different among three flow conditions. 3) The WUA values for the proposed condition, however, were less than those of the natural or present condition in some areas.

**Key Words:** IFIM/PHABSIM, habitat suitability criteria, the Toyo-gawa River

### 1. はじめに

近年，多自然型川づくりの推進や河川法の改正により，「環境の保護」が河川の維持管理に位置づけられるようになった。これは，魚類をはじめ河川生態系の保全を図りつつ，一方ではその生息場を保全するために維持すべき流量（正常環境流量：Instream Flow）の決定方法など，流域全体の流量管理のあり方に多くの問題をもたらしている。

以上の問題に取り組むための有効なツールの一つとして，欧米で汎用されているIFIM（Instream Flow Incremental Methodology：流量増分式生息域評価法）があげられる<sup>1),2)</sup>。IFIMは正常環境流量の検討・評価を行うためのシミュレーションモデルの集合体であり，その中にPHABSIM（Physical HABitat SIMulation model：生息場物理環境評価法）が含まれる。

本研究では，愛知県豊川（流路延長77km，流域面積724km<sup>2</sup>）を例として，本手法における一連の解析手順の適用を試み，特にHSC（Habitat Suitability Criteria：生息場適性基準）の作成法を中心に改良を加えつつ，魚類のWUA（Weighted Usable Area：有効生息場面積）によって示される豊川の魚類生息場環境特性を抽出した。

### 2. 現地調査

適性基準（HSC）を得るための現地調査を，豊川流域内の6サイトで1998年および99年の7・8月に各2回，計23回実施した。図-1に調査サイト位置図を示す（図中の太線の河道が対象河道区間）。豊川流域は，河道の地形的形態や流況（魚の生息場としての観点も含む）を考慮すると，石田地点（河口

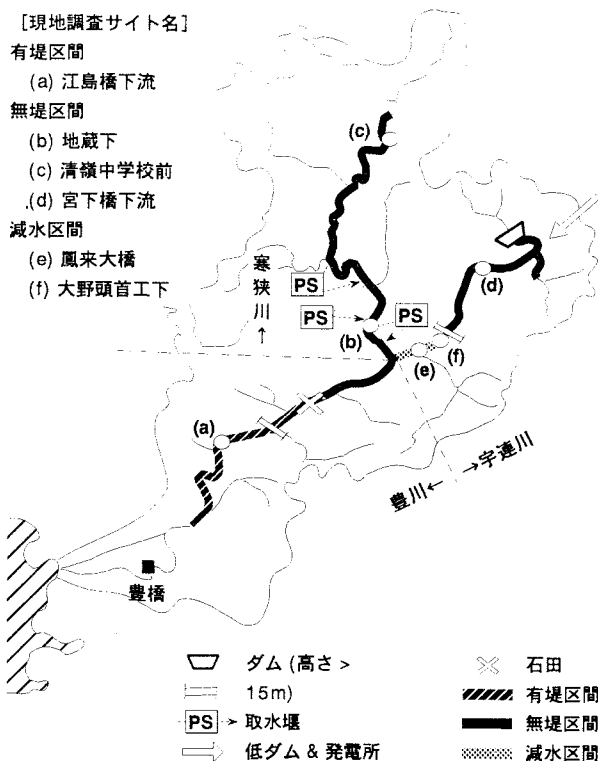


図-1 調査サイト位置図

から27.6km)を境にして下流が自然堤防を形成する「有堤区間」、上流が自然性の高い河道をなす「無堤区間」、その無堤区間内の大野頭首工(支川・宇連川に設置)下流が長期未放流状態が続く「減水区間」の3つに区分することができる。調査サイトについては、各区間の代表的な場所に、それぞれ1～2サイト設置した(図-1)。

現地調査は以下の方法で行った。

- 1) 平板測量を行い調査区間の平面図を作成
- 2) 潜水目視によって、魚種、尾数、体長を記録し、確認位置には番号付きのオモリ(タグ)を置く
- 3) 平面図にタグの番号と位置を記入
- 4) 各横断線上で物理データ[水深D、流速V、底質S、カバーC(魚に避難・隠れ場所を提供する巨石や植生など)]を測定し、測定後に各横断線で流量を算出

### 3. 豊川版適性基準(HSC)の作成

#### (1) 現地同時作成HSC

調査結果から、各区間に共通して出現し、さらに個体数が多かった魚種について、サイト別調査時期別の確認個体数を表-1に示す。本調査では、アユ、ウグイ、オイカワ、カワムツの遊泳魚4種とヨシノボリの底生魚1種が主要魚種となった。ここでは表-1の5魚種を対象として、各魚種についての現地同時作成HSC(各サイト、各調査時のHSC)を以下の方法で作成した。

表-1 サイト別調査時期別の主要魚種の確認個体数

| 区間  | サイト   | 年     | 月   | 流量<br>(m³/s) | 魚種名  |       |      |     |       |      |
|-----|-------|-------|-----|--------------|------|-------|------|-----|-------|------|
|     |       |       |     |              | アユ   | ウグイ   | オイカワ | カマツ | ヨシノボリ |      |
| 有堤  | 江島    | '98   | 7   | 7.6          | 1782 | 201   | 68   | 126 | 598   |      |
|     |       |       | 8   | 42.7         | 12   | 0     | 6    | 17  | 20    |      |
|     |       | '99   | 7   | 24.2         | 9916 | 10    | 207  | 25  | 1239  |      |
|     |       |       | 8   | 10.0         | 3833 | 0     | 267  | 17  | 1672  |      |
|     |       | 有堤区間計 |     |              |      | 15543 | 211  | 548 | 185   | 3529 |
|     |       |       |     |              |      |       |      |     |       |      |
| 無堤  | 地藏下   | '98   | 7   | 5.3          | 24   | 80    | 47   | 112 | 346   |      |
|     |       |       | 8   | 1.3          | 54   | 94    | 82   | 150 | 186   |      |
|     |       | '99   | 7   | 11.4         | 22   | 49    | 45   | 290 | 212   |      |
|     |       |       | 8   | 7.8          | 123  | 27    | 54   | 131 | 280   |      |
|     |       | 計     |     |              |      | 223   | 250  | 228 | 683   | 1024 |
|     |       |       |     |              |      |       |      |     |       |      |
|     | 清嶺中   | '98   | 7   | 2.8          | 182  | 45    | 59   | 138 | 480   |      |
|     |       |       | 8   | 1.7          | 95   | 91    | 22   | 239 | 444   |      |
|     |       | '99   | 7   | 7.4          | 42   | 80    | 52   | 77  | 125   |      |
|     |       |       | 8   | 3.2          | 74   | 27    | 12   | 201 | 249   |      |
|     |       | 計     |     |              |      | 393   | 243  | 145 | 655   | 1298 |
|     |       |       |     |              |      |       |      |     |       |      |
|     | 宮下橋   | '98   | 8   | 7.7          | 3    | 71    | 18   | 129 | 46    |      |
|     |       |       | 7   | 4.6          | 25   | 16    | 10   | 50  | 172   |      |
|     |       | '99   | 8   | 9.5          | 24   | 20    | 42   | 334 | 163   |      |
|     |       |       | 計   |              |      |       | 52   | 107 | 70    | 513  |
|     | 無堤区間計 |       |     |              |      | 668   | 600  | 443 | 1851  | 2703 |
|     | 減水    | 鳳来    | '98 | 7            | 0.6  | 211   | 133  | 39  | 168   | 178  |
| 8   |       |       |     | 0.1          | 311  | 87    | 109  | 190 | 138   |      |
| '99 |       |       | 7   | 1.8          | 432  | 0     | 34   | 33  | 88    |      |
|     |       |       | 8   | 1.7          | 306  | 0     | 105  | 62  | 42    |      |
| 計   |       |       |     | 1260         | 220  | 287   | 453  | 446 |       |      |
|     |       |       |     |              |      |       |      |     |       |      |
| 大野  |       | '98   | 7   | 0.3          | 80   | 0     | 24   | 1   | 21    |      |
|     |       |       | 8   | 0.0          | 97   | 8     | 21   | 2   | 22    |      |
|     |       | '99   | 7   | 1.3          | 189  | 0     | 9    | 6   | 6     |      |
|     |       |       | 8   | 1.3          | 247  | 0     | 25   | 19  | 12    |      |
|     |       | 計     |     |              |      | 613   | 8    | 79  | 28    | 61   |
|     |       | 減水区間計 |     |              |      |       | 1873 | 228 | 366   | 481  |

- 1) 調査サイトのセル分割と各セルの物理量計算
- 2) 平板図面上でのセルと魚の生息位置(セルとタグ番号)との照合
- 3) セル面積を重みとする各物理量ごとの頻度分布(①)の作成
- 4) ①に対する各魚種の尾数頻度分布(②)の作成
- 5) 頻度分布の階級ごとに、尾数をセル面積で除した(②÷①)密度分布の作成(物理量分布の環境的偏りに対するバイアス補正)
- 6) 密度の値を適性値SI(Suitability Index)に変換し(ここでは、値が全体の50%を占める階級をSI=1, 50～95%に入る階級をSI=0.5, 残りの階級をSI=0とした)、HSCを作成

#### (2) HSCの妥当性検証

次の3つの方法でHSCの適用妥当性を検証した。

- a)  $\chi^2$ 検定
- 1) HSCを適用して各セルの物理量をSIに変換

表-2 アユに関する現地同時作成HSCの妥当性検証結果

| 区間 | サイト | 年   | 月 | HSC |   |   |   |
|----|-----|-----|---|-----|---|---|---|
|    |     |     |   | D   | V | S | C |
| 有堤 | 江島  | '98 | 7 | ○   |   |   |   |
|    |     |     | 8 | ○   |   |   | △ |
|    |     | '99 | 7 | ○   | ○ | △ |   |
|    |     |     | 8 |     | ○ | △ | △ |
| 無堤 | 地蔵下 | '98 | 7 | ○   |   |   |   |
|    |     |     | 8 |     |   |   |   |
|    |     | '99 | 7 |     |   | ○ |   |
|    |     |     | 8 |     |   |   |   |
|    | 清嶺中 | '98 | 7 | ○   | ○ |   |   |
|    |     |     | 8 |     |   |   |   |
|    |     | '99 | 7 |     |   |   |   |
|    |     |     | 8 |     | ○ |   | ○ |
|    | 宮下橋 | '98 | 8 |     | ○ |   |   |
|    |     | '99 | 7 |     |   |   | ○ |
| 減水 | 鳳来  | '98 | 7 |     | ○ |   | ○ |
|    |     |     | 8 | ○   |   |   | ○ |
|    |     | '99 | 7 |     | ○ |   |   |
|    |     |     | 8 |     |   | ○ | ○ |
|    | 大野  | '98 | 7 |     |   | ○ | ○ |
|    |     |     | 8 | ○   |   |   |   |
|    |     | '99 | 7 | ○   |   |   |   |
|    |     |     | 8 |     |   |   |   |

○：第1案で合格，△：第2案で合格

2) 各物理量のSIを掛け合わせて合成適性値CSI (Composite Suitability Index) を計算 [ただし，ここでは，各物理量を掛け合わせずに，CSI (D)，CSI (V)，CSI (S)，CSI (C)として，物理量のSIをそのまま用いた]

3) CSIのランク分け

- ・CSI=1…「最適」，1>CSI>0…「利用可能」
- ・CSI>0…「適」（＝最適＋利用可能），CSI=0…「不適」

に値をランク分けした。

4) 次の2つの帰無仮説を危険率0.05で検定

第1仮説：「最適」と「利用可能」な場所は同じ割合で魚に利用される

第2仮説：「適」と「不適」な場所の区別とは無関係に魚に利用される

b) クラメールの連関係数V

独立性の検定において，独立性の強さの指標となる連関係数を上記の2仮説について計算した。それぞれの値をV1，V2とし，また，危険率0.05で独立性を棄却するときの値をVcとした。

c) 利用セル面積とWUAの相関関係

WUA（有効生息場面積）を以下の式で計算した。

$$WUA = \sum_{i=1}^n a_i \cdot CSI_i \quad (1)$$

①妥当性検証の結果，合格と判定された現地同時作成HSC（例えば，表-2の○または△）を羅列する。

| 年   | 月 | 水深 (×0.1m) |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |
|-----|---|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
|     |   | 0          | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| '98 | 7 | △          | △ | △ | ● | ● | ● | ● | ● | × | × | ×  |    |
| '98 | 8 | ×          | × | × | × | ● | ● | × | × | × | × | ×  |    |
| '99 | 7 | △          | △ | △ | ● | ● | ● | △ | △ | △ | △ | △  |    |

↓総合化

②各区間（たての列）ごとに，最大のSIを採用する。

|    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B案 | △ | △ | △ | ● | ● | ● | ● | ● | ● | △ | △ | △ |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

●：SI=1，△：SI=0.5，×：SI=0

図-2 B案による有堤区間のアユに関する水深のHSCの総合化

ここで，aはセル面積，CSIは合成適性値である。WUAと魚のいたセル総面積との相関関係を，上記の「有堤区間」，「無堤区間」および「減水区間」ごとに調べた。これは，流量や時期が異なっても同じ区間内では，利用セル面積とWUAとが正の相関関係にあることを前提としている。

上記3つの妥当性検証について，a)  $\chi^2$ 検定では少なくとも一方の仮説が棄却，b) 連関係数ではV1，V2のいずれかがVc以上，c) 利用セル面積とWUAとの相関関係では係数の値が0.7以上，を全て満たすHSCを妥当なもの（合格）と判断した。なお，本判断基準を第1案とし，a)とb)の条件だけを満たすものを第2案とした。以下には例として，上記3区間でのアユに関する現地同時作成HSCの妥当性検証結果を表-2に示す。

(3) 豊川版HSC (HSCの総合化)

WUA計算を行うにあたり，豊川内に広く適用できる（豊川版）普遍的HSCを得るための総合化方法として，以下のA，Bの2案を検討した。

a) A案（調査データに基づく方法）

データ量を重視してHSCを総合化する方法である。ここでは，現地同時作成HSCに使用した調査データを次のようにまとめて，再度，上記（1）の手順3）～6）によってHSCを作成した。

- ・A1：全調査データを使用
- ・A2：有堤，無堤，減水区間に分けて調査データを使用

b) B案（現地同時作成HSCに基づく方法）

既存のHSCの質（妥当性）を重視して，それらを集約化する方法である。ここでは，有堤，無堤，減水区間ごとに以下の条件にしたがって，上記（2）の検証の結果，妥当と判定された現地同時作成HSC（例えば，表-2の○や△）だけを対象とする。

総合化方法は，それぞれのHSCを比較して，SI値が異なる区間については値の大きいものを採用する

表－3 有堤区間（江島）のアユに関する総合化HSCの妥当性検証結果

| 案   | 年   | 月 | HSC |     |     |      |
|-----|-----|---|-----|-----|-----|------|
|     |     |   | DV  | DVS | DVC | DVSC |
| A 1 | '98 | 7 |     |     |     |      |
|     |     | 8 |     |     |     |      |
|     | '99 | 7 | △   | △   | △   | △    |
|     |     | 8 |     |     |     |      |
| A 2 | '98 | 7 |     |     |     |      |
|     |     | 8 |     |     | △   |      |
|     | '99 | 7 | △   | △   | △   | △    |
|     |     | 8 |     | △   |     | △    |
| B 1 | '98 | 7 | △   | △   | △   | △    |
|     |     | 8 |     |     |     |      |
|     | '99 | 7 | △   | △   | △   | △    |
|     |     | 8 | △   | △   | △   | △    |
| B 2 | '98 | 7 | △   |     | △   |      |
|     |     | 8 |     |     |     |      |
|     | '99 | 7 | △   | △   | △   | △    |
|     |     | 8 | △   |     | △   |      |

△：第2案で合格

ことにより、HSCを一つにまとめた。

- ・ B 1：前節第1案で妥当と判断された現地同時作成HSC（例えば、表－2の○）を対象
- ・ B 2：第1案だけでなく、第2案で妥当となったHSC（例えば、表－2の△）も対象

以下、B案によるHSCの総合化例として、有堤区間のアユに関する水深のHSCを図－2に示す。

A、B両案で作成したHSCについて、上記（2）の方法を用いて、適用妥当性の検証を行った。CSIについては、 $CSI(DV)=SI(D) \times SI(V)$ 、 $CSI(DVS)$ 、 $CSI(DVC)$ 、 $CSI(DVSC)$ の4種類の組み合わせにつ

いて計算した。有堤区間のアユに関する検証結果を表－3に示す。

表－3を見ると、妥当と判断されたCSIの数（表中の△の数）から、A案よりもB案の方が総合化手法として優れている。さらに、WUA計算に用いるCSIについては、 $CSI(DV)$ と $CSI(DVC)$ が2つのB案において同程度に△が多い。ここでは、計算にはより多くの物理量を用いることを優先して、有堤区間のアユには $CSI(DVC)$ を採用することにした。

以上の方法により、他の魚種についても有堤、無堤、減水区間版のHSCをそれぞれ決定した。いずれの場合においても、B 1またはB 2案でのHSCが採用されるケースが多かった。

4. WUA（有効生息場面積）時系列の計算

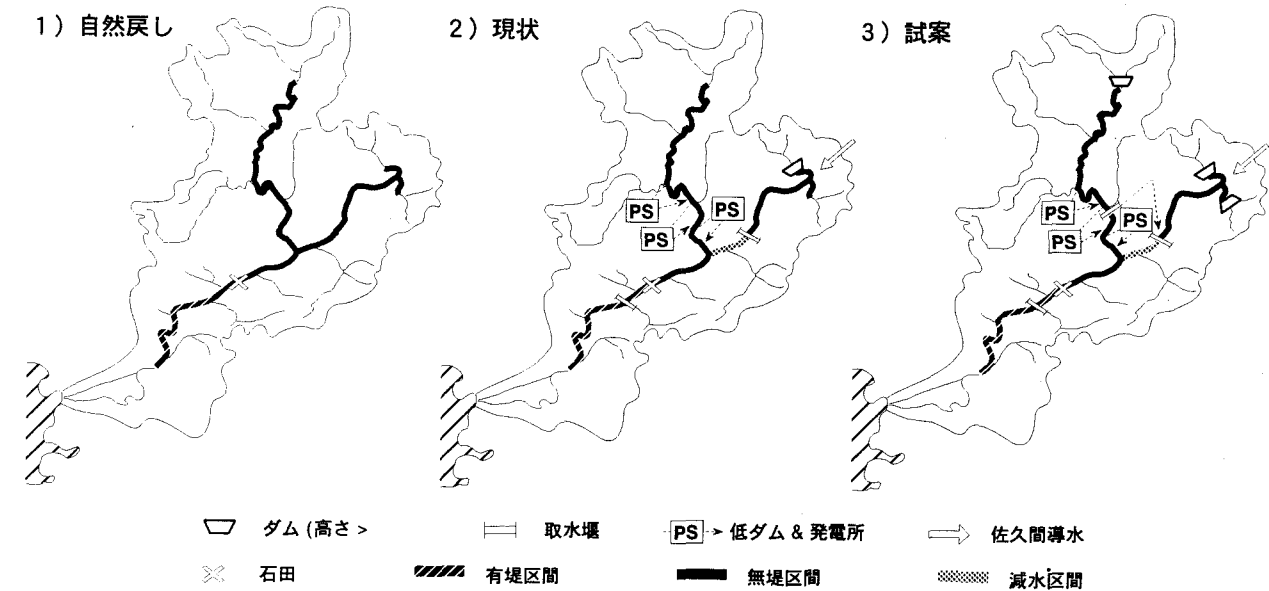
（1）対象流量時系列

- IFIMによる比較・検討を次の3ケースで試みた。
- 1) 自然戻し：ダムや堰が一切ないと仮定した状況
  - 2) 現状：現状あるいは実際の状況
  - 3) 試算：2つのダム新設を想定し、併せて既存の各ダムや堰からの維持流量を考慮しながら仮定した状況

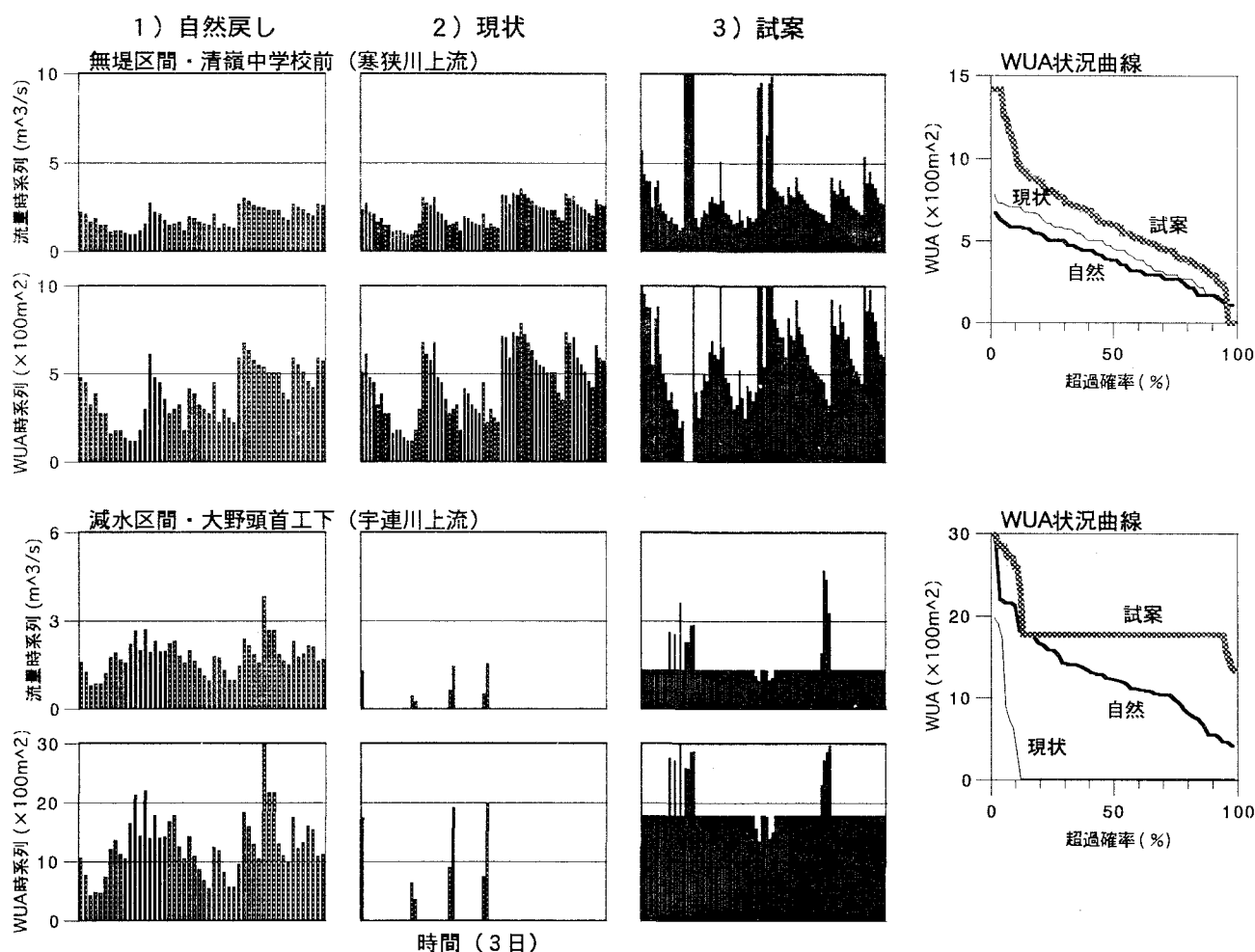
以下、上記3ケースにおける豊川流域概要を図－3に示す。

流量時系列は比較的雨の少なかった1967年と79年の日流量時系列について、次のように簡略化して利用した（流量は流域内の観測地点のものを用いた）。

- 1) 現地調査は夏季にのみ行われたため、流量時系列についても4～9月の半年分を用いて2年分をつないだ仮定の夏季流量時系列（1年）とした。



図－3 各3ケースの流量時系列下での豊川流域概要



図－4 アユに関するWUA（有効生息場面積）時系列とWUA状況曲線（上：清嶺中学校前，下：大野頭首工下）

- 2) 3日に満たない短期的な流量増加は魚類生息場量の増加として有効でないと考え、3日ごとにその期間の最小日流量を求めた。ここでは、その流量が3日間継続して流れるものとし、3日継続流量と称することにした。
- 3) 石田地点で3日継続流量が $15\text{m}^3/\text{s}$ を超えたときは増水時とみなし（全河道区間で増水時とみなした）、それを除外した平水時のみを検討対象流量とした。
- 4) その平水時3日継続流量時系列を非超過確率曲線の形に整理して、平均値と標準偏差を利用して求めた9つの「代表流量値」を各流量既知地点で計算した。
- 5) 対象河道のネットワーク構造に基づいて、全区間における流量配分を決定した。

## (2) WUA計算

対象河道区間（図－3中の太線の河道区間）に前述した流量を与えて水面形計算を実施するとともに、有堤、無堤、減水の各区間の豊川版HSCを使い分けてWUAを計算した（ただし、「自然戻し」では減水区間に無堤区間版のHSCを適用した）。水面形計算

はいわゆる不等流計算によって行い、WUAの計算には（1）式を利用した。

## (3) WUA解析

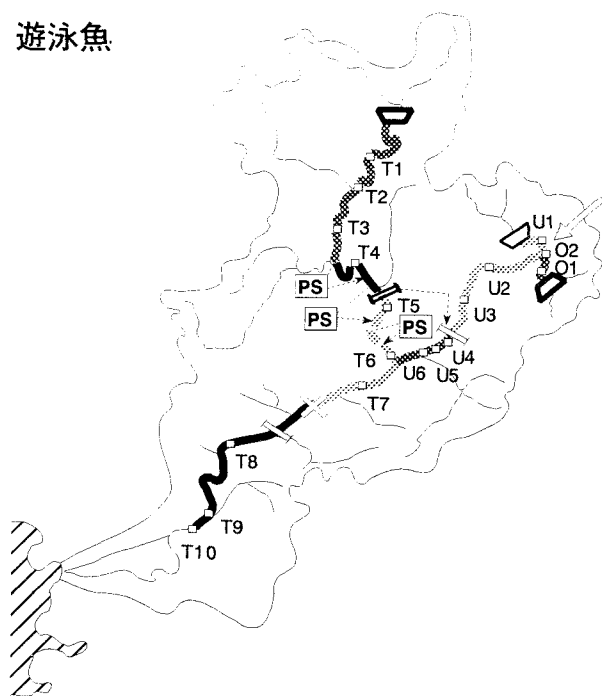
対象河道内に代表的な18区間の魚類生息場を設定し、各対象魚種ごとに以下の解析を行った。

- 1) WUA－流量関係図を作成して関係式を算出
- 2) その関係式を用いて、3ケースの流量時系列に対応するWUA時系列をそれぞれ計算
- 3) その結果を非超過確率曲線の形に整理してWUA状況曲線を作成

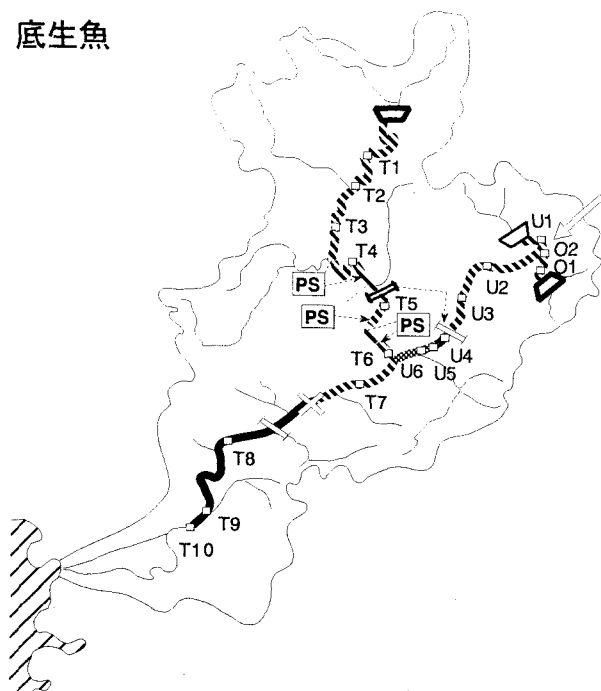
以下には、無堤区間の清嶺中学校前と減水区間の大野頭首工下について、それぞれアユに関する3ケースのWUA時系列とWUA状況曲線を図－4に示す。

図－4を見ると、「試案」で新規ダムの下流に位置する清嶺中学校前区間では、「試案」がWUAを大きく与えるものの、過度の放流でWUAが0となる場合も生じている。この結果、ダムからの適切な放流が重要であることが示唆される。一方、「現状」において長期水無し状態が続く大野頭首工下区間では、「試案」の維持流量放流による流況改善が長期間にわたって安定したWUAを与えることがうかがえる。

## 遊泳魚



## 底生魚



..... : 現状    ..... : 試案    ——— : 試案 (ただし、自然戻しが最良)    ▨ : 各ケースで大差なし

図-5 遊泳魚および底生魚に関する生息環境評価

## 5. 総合評価および結論

WUA状況曲線について、生息場量の短期的な増加期間（超過確率<20%）、長期的な安定期間（20≤確率≤80%）、および短期的な激減期間（確率>80%）にそれぞれ相当するWUA平均値を算出して総合評価を試みた。その結果、「試案」が「自然戻し」や「現状」よりも生息場を改善するか否かについて検討すれば、図-5のようになる。

さらに、本研究で得られた主要知見をまとめれば、以下の通りである。

- 1) 現地同時作成HSCを用いた生息適地分布計算（HSCの妥当性検証の結果）は、少なくともデータ源の調査サイトにおける魚の生息分布状況がある程度良くシミュレートできる。
- 2) HSCの総合化には、まず、全域を有堤・無堤・減水（上流・下流・ダム直下）区間などのように区分した上で、妥当と判断される各「現地同時作成HSC」を対象として、その中から最大の適性値が分布するように総合させる方法を用いた方が、実測の魚類分布をよく説明できる。
- 3) 上記3ケースの流量時系列に対する計算結果を見ると、①遊泳魚に関しては、全般的に「試案」の方が現状よりも高いWUAを与え、特に現状における減水区間では、試案の維持流量によってかなり生息場を改善できる。②ただし、ダム放流量が過大になると一部の無堤区間ではむしろ悪化し、

大きな維持流量が必ずしも良い生息場には直結しない。③一方、底生魚に関しては、無堤区間のWUAについては各ケース間に大差なく、共通してWUA値は遊泳魚よりも高い。ただし、水深が浅く、底質が砂レキ性の有堤区間では、WUAが遊泳魚よりも低くなる。

## 参考文献

- 1) Milhous, R.T., Updike, M.A. and Schneider, D.M.: Physical habitat simulation system reference manual - version II, Instream flow information paper 26, U.S. Fish Wildl. Serv. Biol. Rep., Vol.89, v.p., 1989.
- 2) 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編, 1999.

(2000. 4. 17受付)