

平面流況解析を用いた動植物の 生息・生育環境の評価

EVALUATION OF FISH HABITAT USING TWO-DIMENSIONAL NUMERICAL ANALYSIS

永矢貴之¹・松尾景治²
Takayuki NAGAYA and Keiji MATSUO

¹正会員 株式会社建設技術研究所 九州支社河川部（〒810-0041 福岡県福岡市中央区大名2-4-12）

²正会員 株式会社建設技術研究所 九州支社環境都市部（〒810-0041 福岡県福岡市中央区大名2-4-12）

Recently, discharge management in the normal period becomes important from the viewpoint of the maintenance of the habitat environment. In this paper, we carry out plane numerical calculation for the river basin and the evaluation of the fish habitat with the change of discharge.

First, we apply the model and confirm the validity of it. By using verified model, we calculate the discharge of each point with the change of upstream discharge, and we are able to understand appropriate discharge for fish habitat, plane and vertically. Hence, we come to be able to grasp the water depth and velocity distribution and understand the fish habitat.

Key Words : Fish habitat, 2-D model, Water depth, Velocity, Appropriate discharge

1. はじめに

近年の河川環境への関心の高まりから、洪水時の流量管理のみならず、平水時における流量管理は生活環境や魚類をはじめとする生物の生息・生育環境の保全等から重要となってきた。我が国の一級・二級河川では、「流水の正常な機能を維持するために必要な流量」いわゆる「正常流量」を設定することによって、平水時の流量管理を行っている。

正常流量の設定に際しては、「動植物の生息地又は生育地の状況」からみた流量が項目として挙げられているが、ある点（地点）における流量・水深としてではなく、面的な流量・水深を把握することによって、より詳細な結果を得ることができると考えられる。

島谷¹⁾は「流量－生息生育環境モデル」により、動植物の生息・生育環境の状況を定量化する手法として提案しており、面的な環境の把握の必要性を示している。

以上のようなことから、本論文は動植物とくに魚類の生息・生育環境の状況を把握するために、河川域の平面流況解析を実施し、流量の変化による水際線の変化、水深・流速分布の変化による魚類の生息・生育評価につい

て福岡県南部を流れるA川F地区（河口からの距離：約15km）を対象として検討を試みたものである。

2. 対象河道区間の概要

(1) 流域の概要

本検討で対象としたA川は、流路延長61km、流域面積620km²の福岡県有数の河川であり、1/30～1/240の急勾配な山地を流れ下り、支流を合わせながら、筑後平野を経て、有明海に注いでいる（図-1）。また、A川の河川水は古くからかんがい用水として利用されており、下流の平野に水を送るために激しい水争いの結果として、「回水路システム」が形成され、現在に至っている。

(2) 対象区間の概要

対象区間は、A川のF地区（河口からの距離：約15km）の0.6kmである（写真-1）。本地区は、県立自然公園に指定されており、左岸に隣接する「クスノキ林」はA川を代表する樹木群となっている。また、左岸側は親水公園となっており、河川利用も盛んである。

一方、河道諸元は、平均河床勾配1/700、河床材料の粒径は概ね20mmの砂礫河川であり、緩やかに湾曲している内岸側は砂州が形成されており、平瀬→早瀬→平瀬→堰湛水域→早瀬と変化に富んでいる（図-2）。また、対象区間下流端にある観測所の流況は、表-1に示すとおりである。



図-1 A川流域図と対象区間の位置

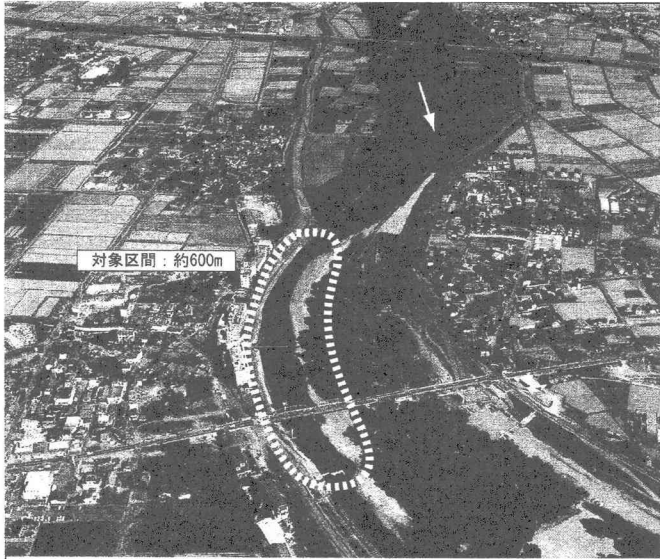


写真-1 対象区間

表-1 F地点の流況²⁾ (S50—H11)

既往最大流量	2752.46
豊水流量	17.00
平水流量	8.46
低水流量	5.05
渇水流量	2.67

単位：m³/s，流域面積460km²

3. 魚類調査および魚類の生息環境

(1) 調査方法

対象区間の魚類調査は、平成12年8月および10月の2回実施された。図-2に示す区間毎に投網やタモ網、刺網等

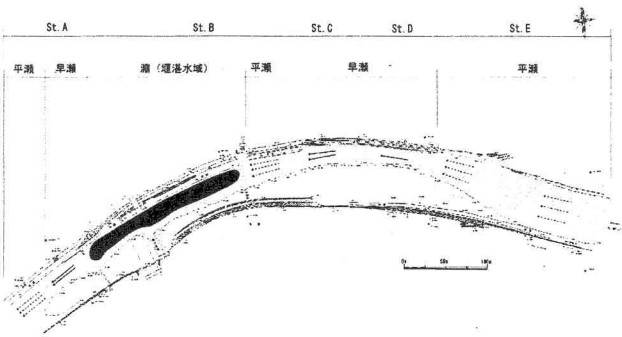


図-2 対象区間平面図

により魚類の捕獲を行った。調査は、水深の分布や水際部の特性、水生植物の群落等に考慮するとともに様々な場所・水深で捕獲を試み、区域内の魚類相を偏りなく把握できるようにした。また、捕獲調査の他、陸上からの目視による調査も併せて実施した。

(2) 調査結果

調査結果の詳細は省略するが、アユ、ウグイ、オイカワ、カワムツ、コイ、オオヨシノボリなど23種の魚類が確認された。魚種別ではオイカワが最も多く確認され、次いでオオヨシノボリが挙げられた。

対象区間は、瀬、淵、抽水・沈水植物際、砂礫底等多様な環境が存在しているため、比較的狭い調査区域で多くの魚種が確認された。表-2に魚類調査結果から得られた対象区間の瀬・淵毎の代表魚種を示す。代表魚種からみれば、中流部の河川では最も普通に見られる種である。

表-2 対象区間における代表魚種

区分	瀬		淵
	早瀬	平瀬	
代表魚種	アユ		ウグイ
	オイカワ	オイカワ	カワムツ
	オオヨシノボリ		コイ
河床材料	礫・砂礫質	砂礫・泥質	砂礫質

4. 平面流況解析モデル

(1) モデルの概要

対象区間の魚類調査結果を基にして、水域における魚類の面的な生息・生育環境を評価するため、平面流況解析を行うこととした。実河川の複雑な地形に対応するために長田³⁾が提案した一般座標系を用いた平面二次元モデルを採用した。

基礎式

基礎式は、通常の平面二次元流れの基礎式であり、直角座標系 (x, y) の下で書き表せば次のようになる。

(連続式)

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots (1)$$

(運動方程式)

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial uM}{\partial x} + \frac{\partial vM}{\partial y} + gh \frac{\partial z_s}{\partial x} = -\frac{\tau_{bx}}{\rho} - h \frac{\partial \overline{u'u'}}{\partial x} - h \frac{\partial \overline{u'v'}}{\partial y} \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial uN}{\partial x} + \frac{\partial vN}{\partial y} + gh \frac{\partial z_s}{\partial y} = -\frac{\tau_{by}}{\rho} - h \frac{\partial \overline{u'v'}}{\partial x} - h \frac{\partial \overline{v'v'}}{\partial y} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、h：水深、(u, v)：水深平均流速の (x,y) 方向成分、(M, N)：各々M=hu, N=hvで定義される流量フラックス、z_s：基準面からの水位、(τ_{bx}, τ_{by})：底面せん断応力ベクトルの成分、u', v'：時間平均値からの速度偏差である。

(1), (2), (3)式をデカルト座標系 (x,y) から一般座標系 (ξ, η) に変換したものを基礎式とした。

(2) 計算メッシュ

検討対象区間は、F地点の15/200～15/800の約600mである。この区間を以下の点に留意し、メッシュ分割を行った。

- ・流量の変化による水際の縦横断的な形状および流速・水深状況を把握したいため、縦断方向には約5m、横断方向には約2m間隔のメッシュ幅とする。

- ・横断方向のメッシュ分割は、定期横断測量の測線とほぼ一致させ、極端な縦断変化が生じないようにめらかに変化させる。

上記条件により設定されたメッシュ分割図および対象区間との重ね合わせ図を図-3に示す。

(3) 検証計算

平面流況解析モデルを実河川で適用し、計算結果が妥当であるかの検証を実施した。先に示された対象区間の測量を行った時の流量を上流端に与え、水際線及び水位縦断を比較した。表-3に計算条件を示す。

表-3 計算条件

項 目	条 件
上流端	対象区間上流端に測量を行った時の観測流量9.0m ³ /sを与える。
下流端 (堰地点)	9.0m ³ /s下流時の限界水深を与える。
計算方法	定常状態になるまで計算を繰り返す (不等流状態)
粗度係数 (マニング)	0.035s/m ^{1/3}
計算時間間隔	0.02s
水域・陸域境界の判定基準水深	0.01m

表-3に示された条件で計算を実施し、水位から得られた水際線を測量時の水際線と重ね合わせた結果を図-4に示す。また、計算水位と測量時の水位を縦断的に示したものを図-5に示す。図-4より計算時の水際線は、測量時の水際線を概ね表現している。また、図-5では下流端の堰上流の湛水区間では誤差があるものの上流では概ね一致している。このことから、本モデルを実河川へ適用できることが示された。

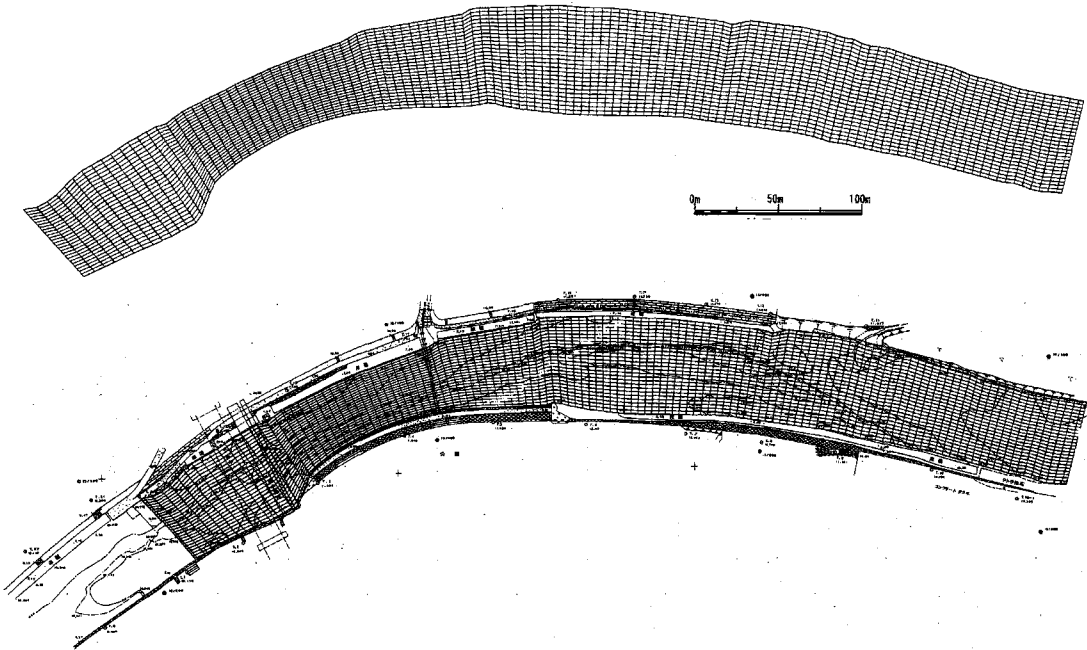


図-3 対象区間メッシュおよび平面図との重ね合わせ

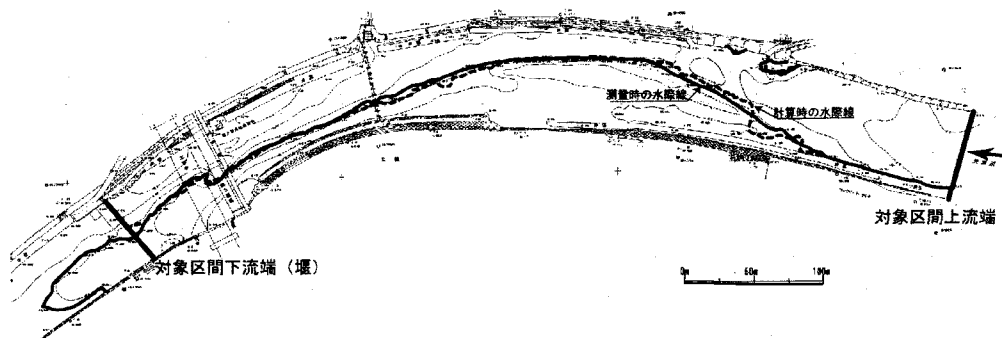


図-4 検証計算時の実測と計算結果の水際線の比較
(実線：実測値、破線：計算値)

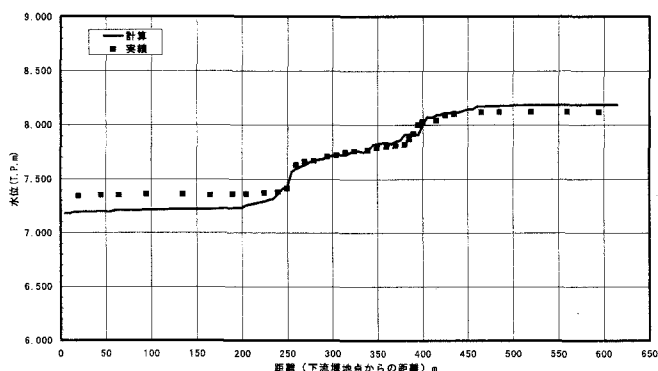


図-5 水位縦断（計算値と実測値の比較）

5. 魚類の生息・生育環境の評価

(1) 流量の違いによる水深・流速の縦断的变化

検証されたモデルを用い、流量を数ケース変化させたときの水深・流速から、アユ・オイカワを対象区間を代表する魚種の生息条件と対応させる。流量ケースは過去の流況を参考に濁水流量 $2.67\text{m}^3/\text{s}$ を前後する形で $1.0\text{m}^3/\text{s}$ 、 $2.0\text{m}^3/\text{s}$ 、 $3.0\text{m}^3/\text{s}$ および $4.0\text{m}^3/\text{s}$ の4ケースとし、流況解析を行った。

一方、魚類調査による確認魚種のうち、対象区間を代表する魚種として、アユ、オイカワが挙げられる。アユ、オイカワの産卵に必要な水理的生息条件は文献⁴⁾により以下のように示されている。このうち、アユについては、現地の聞き取りにより確認した複数の産卵場所で水深、流速の測定を行ったところ、平均水深は 0.3m 、平均流速は $0.35\text{m}/\text{s}$ であった。

表-4 アユ、オイカワ産卵時の水理的生息条件⁴⁾

魚種	水深(m)	流速 (m/s)
アユ	0.3~0.6	0.6~1.2
オイカワ	0.05~0.1	0.05~0.3

流況解析で得られた河道中央部の水深、流速結果を縦断的に表示したものを図-6、図-7に示す。図中には表-4で示された条件を併せて図示している。また、流速につ

いては、現地で得られた条件 $0.35\text{m}/\text{s}$ についても図示している。

図-6に示された水深の縦断変化をみると、オイカワの産卵に必要な水深 0.05m ほどのケースも満足している。他方、アユについては流量が大きくなれば、満足できる区間は広がるが、縦断的に満足するためには $3.0\sim 4.0\text{m}^3/\text{s}$ の流量が必要である。

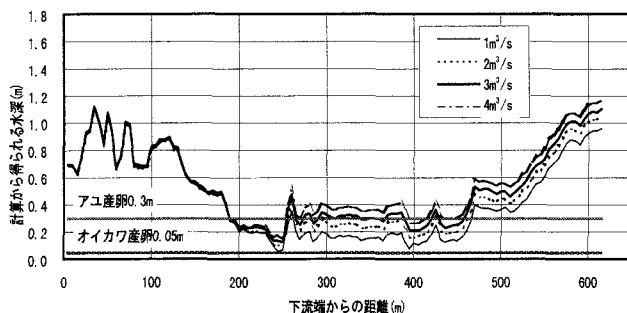


図-6 水深の縦断変化と代表魚種の産卵条件の比較

一方、図-7に示された流速の縦断変化をみると、オイカワの産卵に必要な流速 $0.05\text{m}/\text{s}$ を縦断的に満足するケースは $3\text{m}^3/\text{s}$ 程度である。また、アユについては、流量 $4.0\text{m}^3/\text{s}$ でも $0.6\text{m}/\text{s}$ の場合、縦断的に満足しないが、参考までに現地で得られた条件では、流量 $3.0\text{m}^3/\text{s}$ 程度以上でほぼ満足するようである。

このことから、流況解析結果を縦断的にみれば、代表魚種であるアユ、オイカワに必要な流量は $3.0\sim 4.0\text{m}^3/\text{s}$ 程度が適切である。

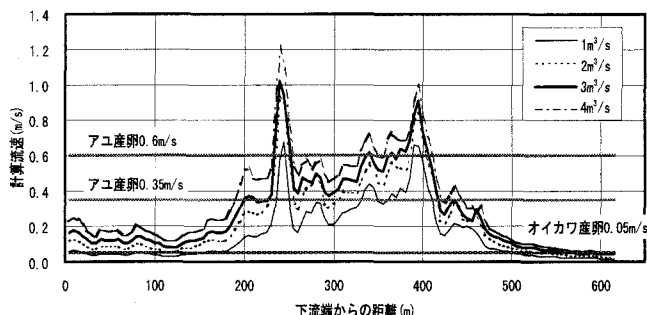


図-7 流速の縦断変化と代表魚種の産卵条件の比較

(2) 水深・流速による魚種毎の生息範囲

魚類調査時の流量を境界条件として、平面流況解析を行い、代表魚種の移動時条件の検討を試みた。代表魚種はアユ、オイカワに加え、ムギツクの3種とした。なお、調査時の流量は、対象区間下流に位置する水位観測所の水位より4.9m³/sとされた。

平面流況解析で得られた各メッシュの流速と水深を魚類調査で確認された魚種およびその地点と対応させ、流速と水深の関係をプロットした結果を図-8に示す。

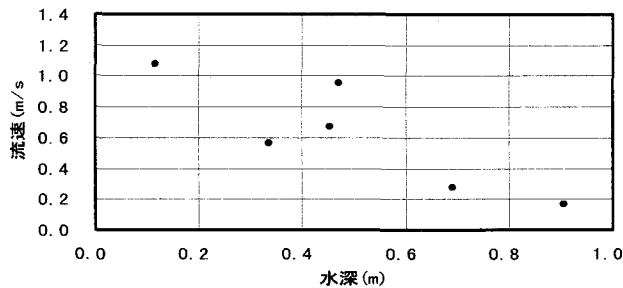


図-8(1) 代表魚種の水深と流速の関係（アユ）

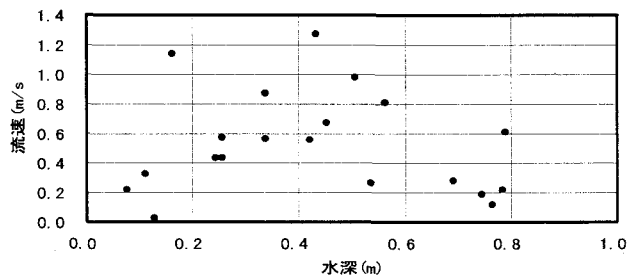


図-8(2) 代表魚種の水深と流速の関係（オイカワ）

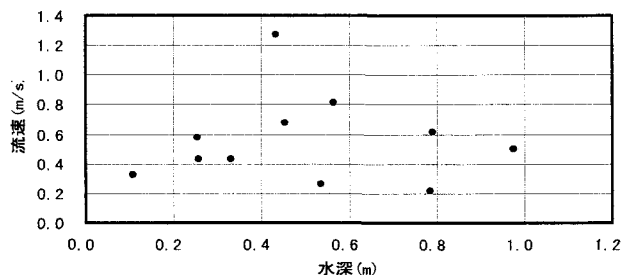


図-8(3) 代表魚種の水深と流速の関係（ムギツク）

1回のみの調査結果であるため、標本数は少ないが、図-8に示す関係から、以下に示す傾向が見られる。

- アユは、水深0.1～0.9m、流速0.2～1.1m/sの地点の地点で確認されている。水深と流速は反比例の関係にあり、水深が浅く、流速が速い地点及び水深が深く、流速が緩やかな地点、つまり瀬と淵の箇所に生息していることが分かる。
- オイカワは、水深0.1～0.8m、流速0.05～1.3m/sの地点で確認されている。生息条件として特徴的なのは、水深が浅く、流速が緩やかな地点に生息していることであり、これはアユとは異なる点である。
- ムギツクは、水深0.1～1.0m、流速0.2～0.8m/sの地点で確認されている。ムギツクの特徴は、水深とは関係なく、流速がほぼ同一の地点で確認されていることであり、生息条件は流速に支配されているようであり、極端に流速の遅い箇所や速い箇所では確認されていない。

これらのことから、移動時の条件として表-5に示すような結果が得られた。

表-5 代表魚種の移動時の条件

魚種	水深(m)	流速 (m/s)
アユ	0.1～0.9	0.2～1.1
オイカワ	0.1～0.8	0.05～1.3
ムギツク	0.1～1.0	0.2～0.8

(3) 平面的にみたアユ産卵に必要な流量

縦断的な検討結果より、アユの産卵に必要な流量として約3.0m³/sが示された。この流量を用いて、平面流況解析結果を行い、水深分布と流速分布よりアユの産卵に適した範囲を推定することを試みた。3.0m³/s流下時の水深・流速コンター図を図-9および図-10に示す。

これより、文献による条件 a) と参考までに現地で得られた条件を b) とし、これを満足するエリアを抽出した。

- 水深0.3m以上、流速0.6m/s以上(文献による条件)
- 水深0.3m以上、流速0.35m/s以上

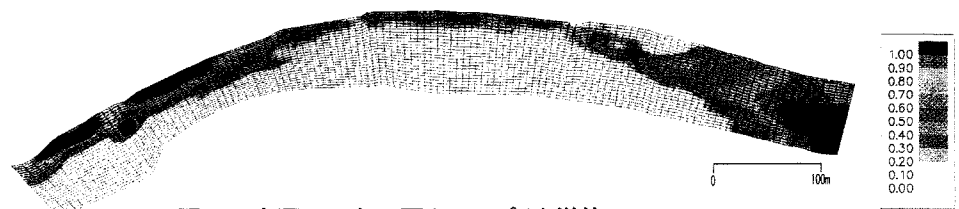


図-9 水深コンター図(Q=3.0m³/s) 単位 : m

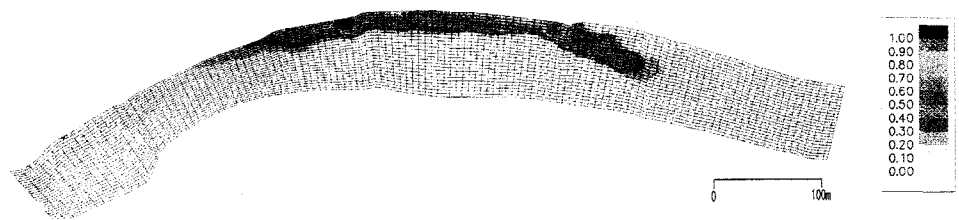


図-10 流速コンター図(Q=3.0m³/s) 単位 : m/s

図-11はa)の条件：アユの産卵状況である水深0.3m以上、流速0.6m/s以上となる範囲を示している。これから、産卵条件に適するメッシュ数は70メッシュとなり、産卵可能な面積は約700m² (5m×2m×70メッシュ)となる。アユの産卵範囲に対して、縦断的には約70%、また、横断的には水面幅の0～80%の範囲、面積的には約20%程度が産卵可能な範囲となる。

一方、図-12はb)の条件：現地調査から得られた条件である水深0.3m以上、流速0.35m/s以上となる範囲を示している。これより、産卵条件に適するメッシュ数は195メッシュとなり、産卵可能な面積は約1,950m² (5m×2m×195メッシュ)となる。アユの産卵範囲に対して、縦断的にはほぼ全域が産卵可能であり、また、横断的には水面幅の25～90%の範囲を占め、面積的には50%以上が産卵可能な範囲となる。

6. おわりに

動植物（魚類）の生息・生育環境を面的・線的に評価するため、一般座標系平面二次元モデルを用い、実河川を対象に検証を行った結果、水際線および水位縦断とも概ね一致しており、モデルの適用が妥当であることが示された。また、検証されたモデルを用いて、流量を変化させた場合の流況解析を行い、計算で得られた水深・流速の範囲（面積）から、魚類の生息・生育に適切な流量を推定することが可能となった。

しかし、本論では水深と流速からのみの評価であることから、今後は河床材料、瀬や淵の面積、水際線、魚類以外の動植物との関係について検討を行っていきたいと考えている。

謝辞：本論文は、国土交通省筑後川工事事務所御委託の関連業務を基にモデルの構築およびその適用性について検討を行ったものです。検討に際し、事務所には各種データの御提供および御指導を戴きました。ここに記して感謝申し上げます。

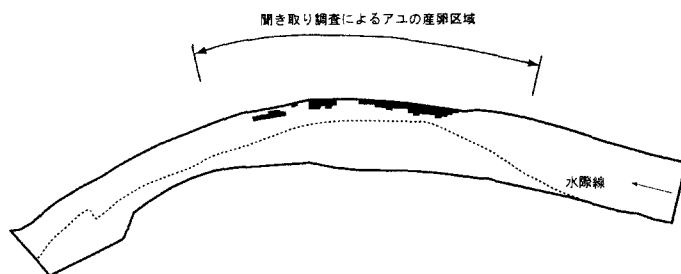


図-11 条件a)でのアユの産卵可能範囲

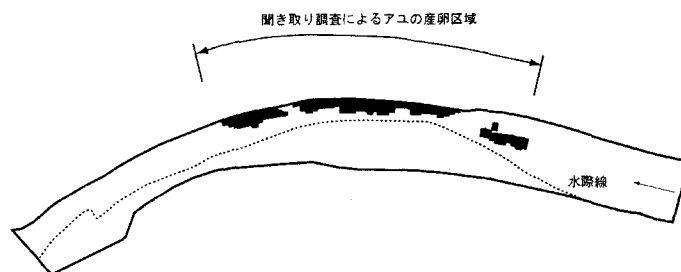


図-12 条件b)でのアユの産卵可能範囲

参考文献

- 1) 島谷幸宏：河川における正常流量設定手法に関する近年の動向と課題—動植物の保全を中心に、河川技術に関する論文集、第6巻、pp.173-178、2000。
- 2) 国土交通省河川局編：流量年表（平成11年）、日本河川協会、2001。
- 3) 長田信寿：一般座標系を用いた平面二次元非定常流れの数値解析、水工学における計算機利用の講習会講義集、土木学会水理委員会基礎水理部会、pp.61-76、1999。
- 4) 玉井信行、水野信彦・中村俊六編、河川生態環境工学、東京大学出版会、1993。

(2002. 4. 15 受付)