

# PHABSIM を用いた喜瀬川北河原井堰付近の魚類生息環境評価

岩田 幸治\* 渡部 守義\*\*

Evaluation of fish habitat of Kitakawarai weir in the Kise-river by PHABSIM

Koji IWATA, Moriyoshi WATANBE.

## ABSTRACT

The structure such as weirs and dams for the flood control and water utilization is constructed in the river. These structures disturb the movement of fishes and aquatic insects. This report aims to evaluate the influence that the existence of the weir gives to fishes' habitats in Kise river that flows in the city. In this research, we measured the fish stock, water quality and topography in the upstream and the downstream of Kitakawarai weir. And fishes' habitat environments were evaluated by a PHABSIM (physical habitat simulation system) on the Kise river. Therefore, most fish found in the Kise river were fishes of the Cyprinidae family that showed a strong tolerance in water pollution. The Kise river has riffle and pool suitable for fishes' habitat, but because the stream flow is lessened, fish habitat area is very small.

**KEY WORDS:** river environment, fish habitat, weir and dams, stream flow, PHABSIM

## 1. はじめに

河川の改変は、河川形状の人工化と固定化、ダムや堰による河川の分断化をもたらした。また、取水による水量の減少、水質悪化、河畔林の減少、都市化にともなう河川空間の土地利用や景観変化も生じてきている。この結果、河川本来の環境特性に変化が起り、河川に生息する生物や河川生態系に悪影響が生じている。

東播磨地域・加古川市東部・播磨町中央部を流れる喜瀬川では、夏季において農業用水として取水するために北河原井堰を起伏し貯水を行っている。そのため河川の縦断方向の連続性が分断され、水質や魚類の生息場環境が悪化する恐れがある。そこで本研究では、堰付近における水質項目と魚種の生息状況を調査し、年間を通して出現しているヨシノボリについて生息場価値のシミュレーションを用いて、喜瀬川北河原井堰周辺の魚類生息場評価を行う。

## 2. 喜瀬川の概要<sup>1)</sup>

喜瀬川は、その源を神戸市西区神出町の丘陵地に発して稲美町南部を流下し、加古川市東部を経て播磨町中央部を南西に貫流し、阿閑（あえ）漁港で播磨灘に注ぐ法河川延長 8,380 m、流域面積 19.8 km<sup>2</sup>の支流を持たない二級河川である。喜瀬川流域を図 1 に示す。

加古川市、播磨町、稲美町の人口・世帯数は、昭和 40 年代からの高度経済成長期に急激な増加を示した。近年では伸び率が鈍化しているが、阪神圏のベッドタウンとしての性格も有しており、人口・世帯数ともに微増傾向にある。

流域は播磨平野の東端に位置し、神戸市、加古川市、播磨町、稲美町の 2 市 2 町にまたがる。地形は全般的に平坦であり、北東部は、洪積世の礫質土を主体とした印南野台地、南西部は、砂質土の沖積層が広がっている。流域に占める土地利用の割合は、平成 18 年 1 月時点で約 35 % が市街地で、約 55 % が農地、約 9 % がため池、約 1 % が山地となっている。

\*建築・都市システム工学専攻 \*\*都市システム工学科

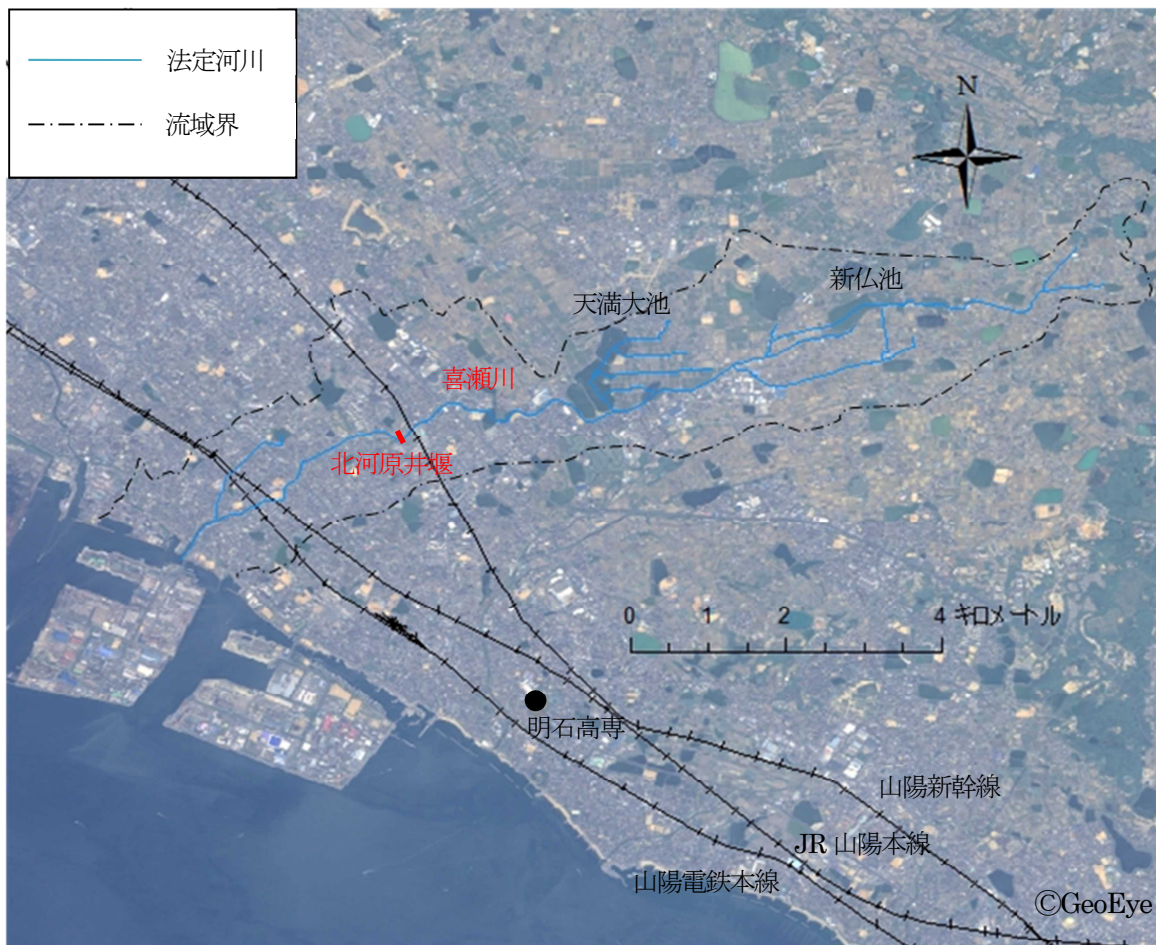


図 1 喜瀬川流域の概略図

水の補給源となる山地もほとんどなく、保水力の乏しい印南野台地が流域であったため、ため池が多く造られた。昭和初期までは河川の様相を呈しておらず、ため池とため池を結ぶ水路の 1 つであったが、下流の市街化とともに治水・利水の役割を担う河川として整備された。上流域では、現在でも多くのため池が存在し、人工水路によりネットワーク化されている。喜瀬川も新仏池、天満大池等を結ぶ水路としてその一役を担っている。下流域では、市街化につれて、多くのため池が埋め立てられ、水路の役割はなくなっている。

### 3. 魚類生息状況

#### 3・1 調査地点の概要

調査地点は播磨町野添の喜瀬川北河原井堰周辺(図 2)で、堰の下流側およそ 100 m の区間で水質および生息する魚種の調査を行った。夏季には農業用水を取水するために堰が起立し、冬季には倒伏される軸ねじり式の鋼製起伏ゲート(純径間 13.60 m×有効高 1.50 m)と呼ばれる形式である。また、調査地点周辺は喜瀬川整備計画により生物の生息環境に配慮した石積み工、緩傾斜護岸等

が造られている<sup>2)</sup>。河床には礫や砂が混在しており、河川のみお筋にはブロックが敷き詰められている。堰の付帯施設としては、堰直下のコンクリートの水たたきと魚道があるが、魚道上端で水をせき止められているため、魚道にはほとんど水が流れておらず、十分な機能を果たしていない(図 3)。また、周辺はレクリエーションの場としても利用されており、河川敷の環境整備は進んでいる。北河原井堰は春から秋にかけて農業用水の取水のために貯水しているが、それ以外の時期は堰が倒伏している。しかし、降水状況に応じ堰転倒時期でも堰を起立させる事がある(図 4～図 6)。

#### 3・2 水質調査

調査は平成 22 年 4 月 15 日と平成 22 年 12 月 10 日の 2 回行った。水質データはワイエスアイ・ナノテック製 YSI556MPS 水質計と YSI650MPS 水質計を用いて、水温、pH、DO、クロロフィル a、導電率、COD、NO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NH<sub>3</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P を測定した。

水質測定結果を表 1 に示す。水温は春の値が 13.96℃、冬の値が 12.30℃となった。pH は春 8.21、冬 8.63 とと



図2 喜瀬川北河原井堰周辺図

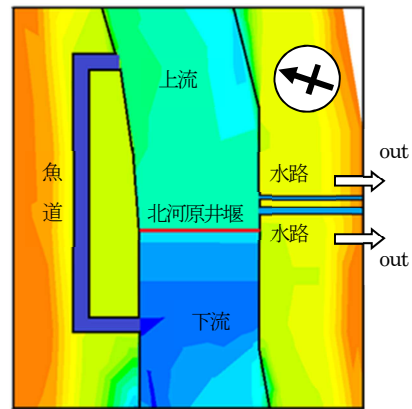


図3 付帯施設概略図



図4 堰起立時上流



図5 堰倒伏時上流



図6 堰下流

もに弱アルカリ性を示していた。

河川の生活環境の保全に関する環境基準では、pHの基準として類型AA~Cが6.5以上8.5以下、類型D~Eが6.0以上8.5以下とされており<sup>3)</sup>、2010年12月は環境基準のE類型をも満たしていない。pHは一般的には春、夏に光合成が活発となり、水中の二酸化炭素が減るのでアルカリ性をとる傾向がある。しかし、今回の測定では季節による違いはあまり見られなかった。また、喜瀬川は周辺の池や水路から流入する流入水の影響を受けやすいため、pHが変化しやすいと考えられる。

河川の導電率の一般的な値は、河川の下流水は0.2~0.4 mS/cmであり<sup>4)</sup>、今回調査した地点は春が0.211 mS/cm、冬が0.284 mS/cmと一般的な値を示していることがわかる。

湖沼などの富栄養化の関連項目であるクロロフィルaであるが、河川では流れにより蓄積しないので、クロロフィルaの基準は存在しない。一般に湖沼ではクロロフィルa濃度が0.3~2.5 µg/lなら貧栄養湖、5~140 µg/lなら富栄養湖、その間なら中栄養湖とされている<sup>5)</sup>。今回の調査では春季、冬季ともに大きくなっており高い濃度でクロロフィルaが測定された。これは上流でせき止められた水面で植物プランクトンが発生し、それが流下してきたためであると考えられる。

表1 水質測定結果

	H23.4.15	H23.12.10
水温(°C)	13.96	12.30
pH	8.21	8.63
DO(mg/l)	0.05	14.62
Chl-a(µg/l)	14.4	15.6
導電率(mS/cm)	0.211	0.284
COD(mg/l)	7	7
NO <sub>3</sub> -N(mg/l)	0.4	1.0
NO <sub>2</sub> -N(mg/l)	0.035	0.023
NH <sub>4</sub> -N(mg/l)	0.13	0.21
PO <sub>4</sub> -P(mg/l)	0.50	0.21

### 3・3 生物調査

生物調査は下流側を約20m間隔で調査区間1~4を設け、1区間をタモ網と玉網を用いて、5分間魚類の採取を行った。図7に堰下流の調査地点の写真を示す。下流の地点1は堰直下の浅瀬、地点2は水深が比較的深く流速の小さい区間、地点3は水深が浅く流速の大きい早瀬、地点4は地点3と比べると少し深くなっている小さな区間と、場所により調査地点を分類した。

喜瀬川北河原井堰下流で採取した生物の採取結果を表



2に示す。喜瀬川に生息する水生生物は、春には14種類、冬には13種類確認された。春と冬で共通して出現した種は11種(黄色)、共通して見られなかった種は5種(水色)であった。採取された魚類はメダカ以外、汚濁に対し強い耐性を示すコイ科の魚類であった。強耐性のコイ科の魚種が多い原因として、北河原井堰で水が堰き止められることにより水質が悪化していることが挙げられる。冬にタモロコの採取数が多いのは、水温が下がり魚の活動が鈍って、区間1,2にとどまっていたためであると考え

られる。またタモロコは下流区間1,2に多く見られ下流区間3,4ではあまり見られなかった。これは水の流れが少ない場所を好むタモロコの特性が影響している。他に、冬には春に確認されなかった体長10cm程度のタイワンドジョウが2匹確認できた。このタイワンドジョウや春に確認された30cm位のコイなどは、降水時等などの流量が増加した際に上流のため池などから、この水域に入ってきたものと考えられる。



図7 堰下流側の調査地点

表1 生物調査結果

	科	種	耐性	在来/外来	遊泳/底性	食性	個体数(匹)									
							堰下流側トータル		堰下流側1		堰下流側2		堰下流側3		堰下流側4	
							H22.4.15	H22.12.10	H22.4.15	H22.12.10	H22.4.15	H22.12.10	H22.4.15	H22.12.10	H22.4.15	H22.12.10
コイ科	コイ	(10cm未満)	強	在来	遊泳	雑食	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		(10~30cm)	強	在来	遊泳	雑食	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
	ギンブナ	(30cm以上)	強	在来	遊泳	雑食	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
		(10cm未満)	強	在来	遊泳	雑食	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1
	タモロコ	(10cm以上)	強	在来	遊泳	雑食	5	0	3	0	2	0	0	0	0	0
		(5cm未満)	-	在来	遊泳	雑食	7	21	2	8	1	9	0	2	4	2
モツゴ	(5cm以上)	-	在来	遊泳	雑食	4	23	2	12	1	11	1	0	0	0	
	(5cm未満)	-	在来	遊泳	雑食	3	7	1	3	1	4	0	0	1	0	
ヨシノボリ科	ヨシノボリ	(5cm以上)	-	在来	遊泳	雑食	0	8	0	2	0	6	0	0	0	0
		(5cm未満)	-	在来	遊泳	雑食	0	8	0	2	0	6	0	0	0	0
ヨシノボリ科	ヨシノボリ	-	在来	底生	昆虫	34	24	3	10	11	5	15	8	5	1	
メダカ科	メダカ	弱	在来	遊泳	植物	2	25	0	2	1	15	0	7	1	1	
ウナギ科	ウナギ	-	-	-	-	4	1	0	0	1	0	2	1	1	0	
ドジョウ科	ドジョウ	-	-	-	-	3	1	0	0	1	0	0	1	2	0	
甲殻類	スジエビ	-	在来	-	-	205	23	5	0	100	10	0	3	100	10	
	ヌマエビ	-	在来	-	-	206	13	5	0	100	10	1	0	100	3	
	カニ(不明)	-	-	-	-	2	1	0	1	0	0	2	0	0	0	
	モクズガニ	-	-	-	-	13	0	1	0	8	0	4	0	0	0	
その他	ヤゴ	-	-	-	-	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
外来種	タイワンドジョウ	強	外来	遊泳	肉食	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	
	アカミミガメ	-	外来	-	-	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
	アメリカザリガニ	-	外来	-	雑食	0	2	0	0	0	0	0	1	0	1	

## 4. River2D を用いたヨシノボリの生息環境評価

### 4・1 評価手順

#### 4・1・1 PHABSIM

6, 7)

PHABSIM(physical habitat simulation model)は物理指標を用いた生息場の評価法。瀬や淵のマイクロ生息場を対象としている。解析手順は、まず水理モデルとして、ある河川において対象区間を設定し、その区間内で物理環境が均一とみなせるセルに分割させる。セルごとに種々の流量に対する水深、流速、底質などのデータを収集する。次に、魚種の適性度として水深、流速、底質などのデータに対する適性度 SI (0~100 %) を求める。そして、各セルについて次式に示される合成適性値 CSI を求める。

$$CSI = SI(v) \times SI(d) \times SI(s) \dots\dots(1)$$

ここで、CSI : 合成適性値

SI(v) : 流速に関する(選好)値

SI(d) : 水深に関する(選好)値

SI(s) : 底質に関する(選好)値

また、合成適性値 CSI から全区間にわたる利用可能な生息場面積 WUA (Weighted Usable Area) を求める。WUA とは、値が大きければ、その対象魚種にとって利用しやすい場所ということを示し、もし対象区間がその魚種にとって最適な場所なら、WUA は対象区間の水面積と一致する。

$$WUA = \sum_i a_i (CSI)_i \dots\dots(2)$$

ここで、 $a_i$  : 各セルの水面積

#### 4・1・2 River2D

River2D は、カナダのアルバータ大学で開発された魚類生息場評価研究のためにカスタマイズされた平面二次元の有限要素流体力学解析モデルである。River2D は R2D\_Bed, R2D\_Ice, R2D\_Mesh と River2D の 4 つのプログラムから成っている。

R2D\_Bed は、地形メッシュを作成するプログラムである。地形データ (x, y, z 座標)、粗度係数を入力データとし、水境界条件を指定し、地形メッシュを出力する。

R2D\_Mesh は、地形メッシュファイルを入力データとし、三角形メッシュ、流入条件等を設定し、流況解析ファイルを出力する。本研究では River2D プログラムを用いて、流況解析を行い、ヨシノボリの WUA を算出する。

#### 4・2 本河川に適用する選好曲線<sup>8,9)</sup>

魚類の生息環境を決める物理的な要素として、流速水

深及び底質が選ばれることが多い。

流速はエネルギー利得、水深は捕食者など他生物と、底質の構成材料は産卵、稚魚の成長とそれぞれ深い関係がある。

魚種ごとに上記の物理的な要因に対する適正度を表した曲線で、その魚種に最も適する条件であれば適正度は 1、最も適さない条件であれば適正度は 0 とし、その間を直線で結んだものである。場合によっては不適 (0) と、適 (1) の 2 値のみ、あるいは利用可能 (0.5) を加えた 3 値をとるものもある。

本研究では参考文献<sup>10)</sup>より種選好曲線を用いた。ヨシノボリの選好曲線と写真を図 8~11 に示す。ここでは、生物調査から一年を通して生息が確認できたヨシノボリを対象とした。ヨシノボリの特性としては、河川中流から下流に生息し、川底が岩、小石、あるいは礫底の場所を好む。また、雑食性で、主に稚魚、小魚、昆虫、底生生物、付着藻類の植物質を捕食する。

#### 4・3 流況解析

喜瀬川北河原井堰において、平成 22 年 9 月 26 日に堰周辺を測量した。喜瀬川北河原井堰周辺の地形図を図 12 に示す。なお、標高は堰右岸の天頂部を 10 m とした時の高低差を示している。

北河原井堰では、春から夏にかけ上流側に農業用水を貯水するために堰が起立し、秋から冬にかけて堰が倒伏している。本研究では、平成 22 年 9 月 16 日を堰起立時、平成 22 年 12 月 10 日を堰倒伏時とした。River2D の流況解析の領域は北河原井堰の下流側とし、堰起伏時、堰倒伏時の境界条件で流況解析を行った。表 3 に各境界条件を示す。

図 13 は北河原井堰下流側の流況解析である。コンターは水深、ベクトルは流速を示している。堰起立時の最大水深は 0.47 m、堰倒伏時の最大水深は 0.35 m であった。水深の深い場所では流速が遅くなっており、水深の浅い場所では流速が速くなっている。これは流量がほぼ一定なので、連続の式  $Q = vA$  より、横断方向の断面積が小さければ流速が速くなるからである。また、堰倒伏時で

表 3 境界条件

起立時	流量(m <sup>3</sup> /s)	0.0625
	上流端水面高さ(m)	7.262
	下流端水面高さ(m)	7.638
倒伏時	流量(m <sup>3</sup> /s)	0.0856
	上流端水面高さ(m)	7.516
	下流端水面高さ(m)	7.648

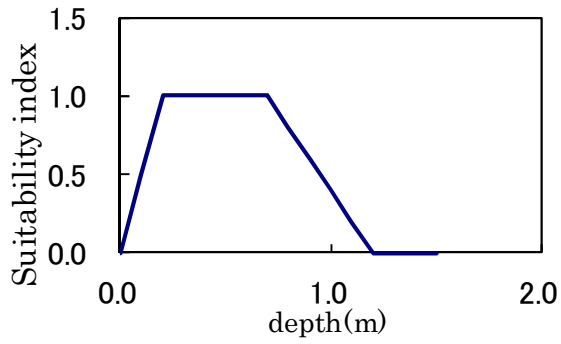


図8 ヨシノボリの選好曲線(水深)

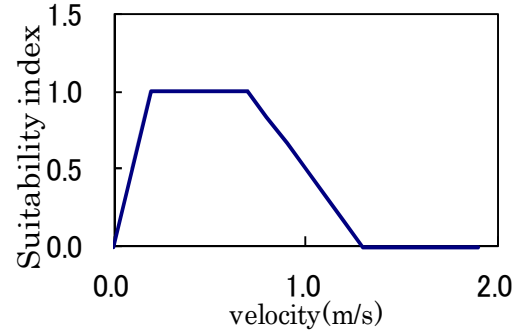


図9 ヨシノボリの選好曲線(流速)

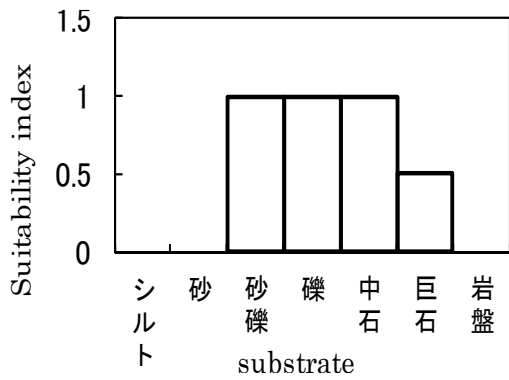


図10 ヨシノボリの選好曲線(底質)



図11 ヨシノボリ

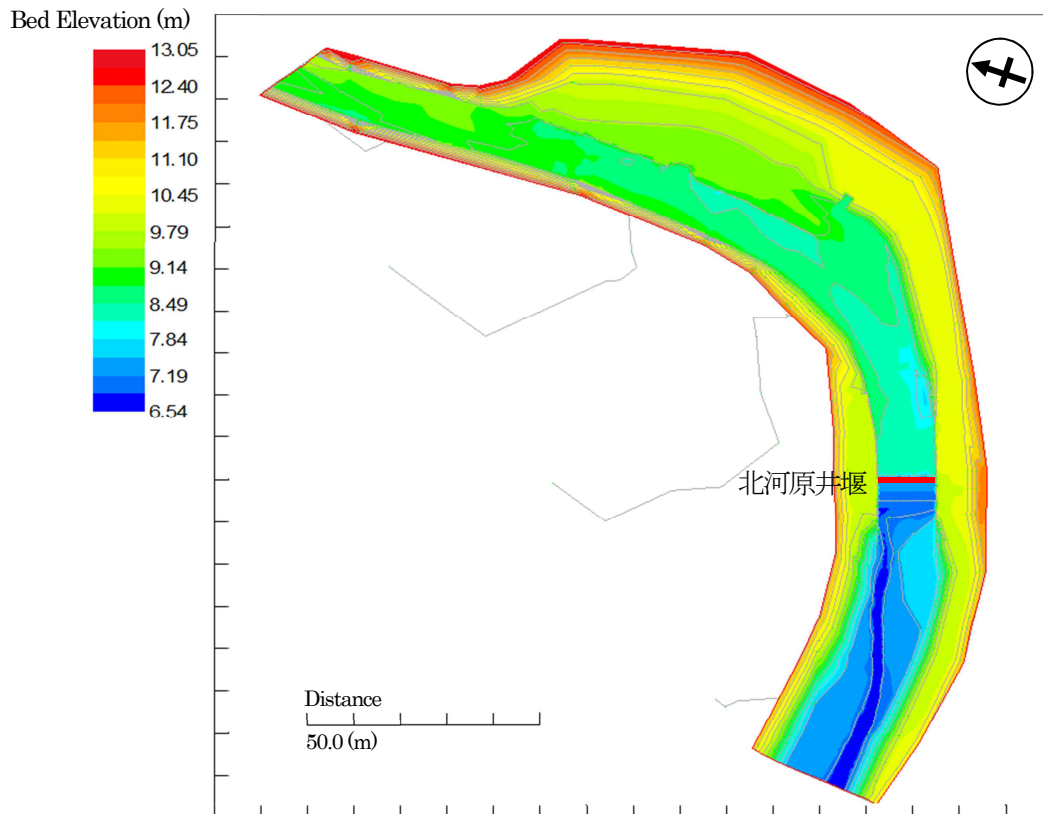


図12 喜瀬川北河原井堰周辺の地形図

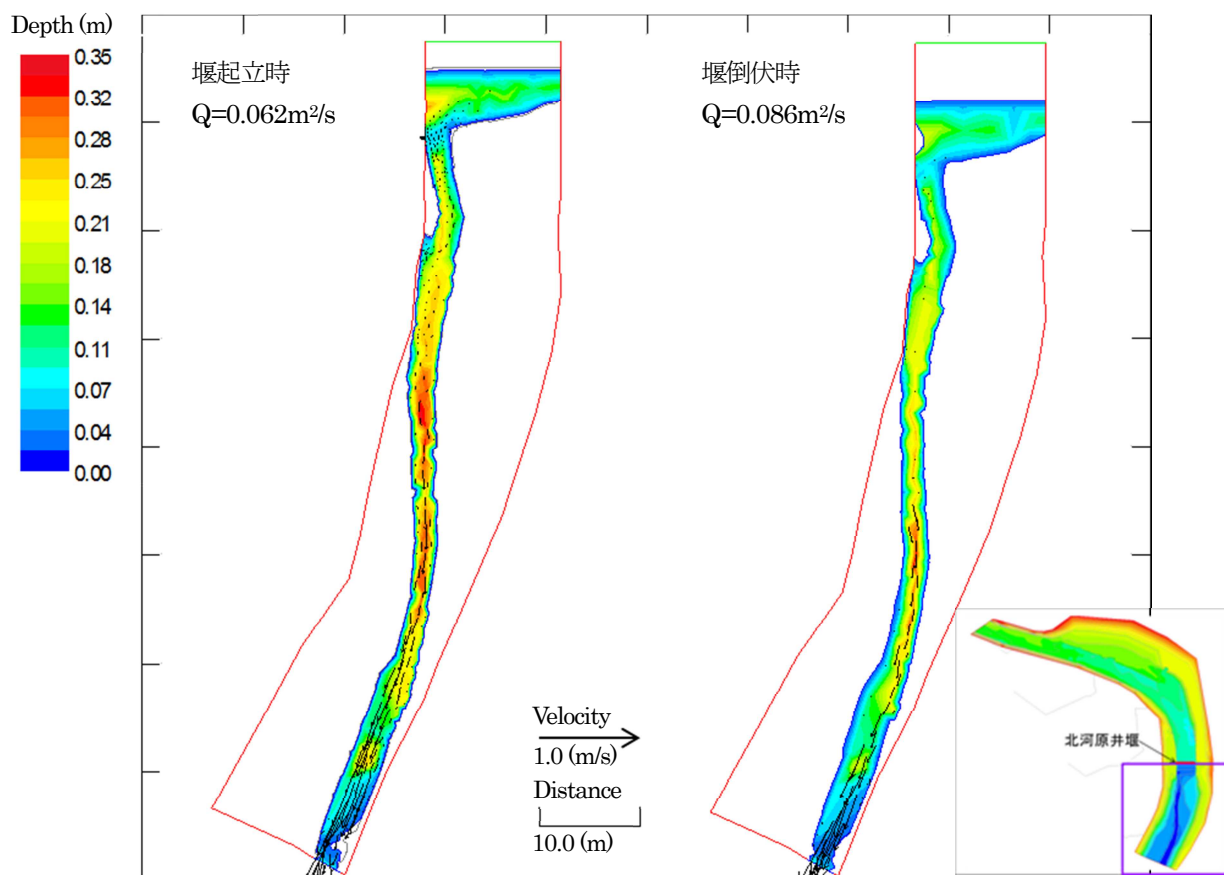


図13 喜瀬川北河原井堰下流側における流況解析（水深、流速ベクトル）

は、堰起立時に比べ、流速が大きくなっている。横断方向の断面積が一定なので上述の連続の式より、流量が大きければ流速は大きくなるからである。

境界条件である流速は、実測0.493 m/s に対し、流況解析では0.458 m/s となったことから、流況解析結果は、現況を再現できていると言える。

#### 4・4 生息場評価

River2D を用いて、ヨシノボリの WUA を求めた。北河原井堰下流側のヨシノボリの WUA コンターを図 14 に示す。

北河原井堰下流側では、Total Area=1060.2 m<sup>2</sup> に対して、堰起立時の WUA=38.6 m<sup>2</sup>、堰倒伏時の WUA=41.2 m<sup>2</sup> であり、どちらも WUA は Total Area に比べ低い結果となった。ヨシノボリは下流側において、利用できる面積が少ない。これは全体の面積 (1060.2 m<sup>2</sup>) に対して、堰起立時の水面積=262.5 m<sup>2</sup>、堰倒伏時の水面積=301.3 m<sup>2</sup> であり、全体の面積に対する水面積の割合がそれぞれ 24.8%、28.4% と小さいからである。

堰起立時では中間から下端にかけて水色になって WUA が上端付近より大きくなっていることがわかる。

堰倒伏時では同じ箇所でも黄色く、また赤く表示されている箇所もあり、堰起立時より WUA が大きくなっている。堰起立時の流量が 0.062 m<sup>3</sup>/s に対して、堰倒伏時の流量は 0.086 m<sup>3</sup>/s と大きく WUA も大きくなっている。よって、WUA を大きくするには流量を増加させたいと考えられる。また、WUA が小さくならないよう堰が起立しても、下流側には一定の流量が流れるように管理しなければならない。

下流側の WUA の分布図と生物量調査を比較する。ヨシノボリは底生魚であるため、移動量が少なく WUA と生物量との関係を比較しやすいと思われる。調査で一番多くヨシノボリが採取されたのは下流側の中間から下端にかけてであり、図14のWUAの値が高い所と一致する。

WUA を増加させるには流量を増やす、底質を礫あるいは砂礫に替えるなどが考えられる。本研究では、ヨシノボリの WUA しか計算していないが、喜瀬川にはヨシノボリのほかにも多種の魚類が生息しており、対象とする魚種により選好曲線は異なるので、それぞれ対象とする生物に適した河川環境を創出していく必要がある。

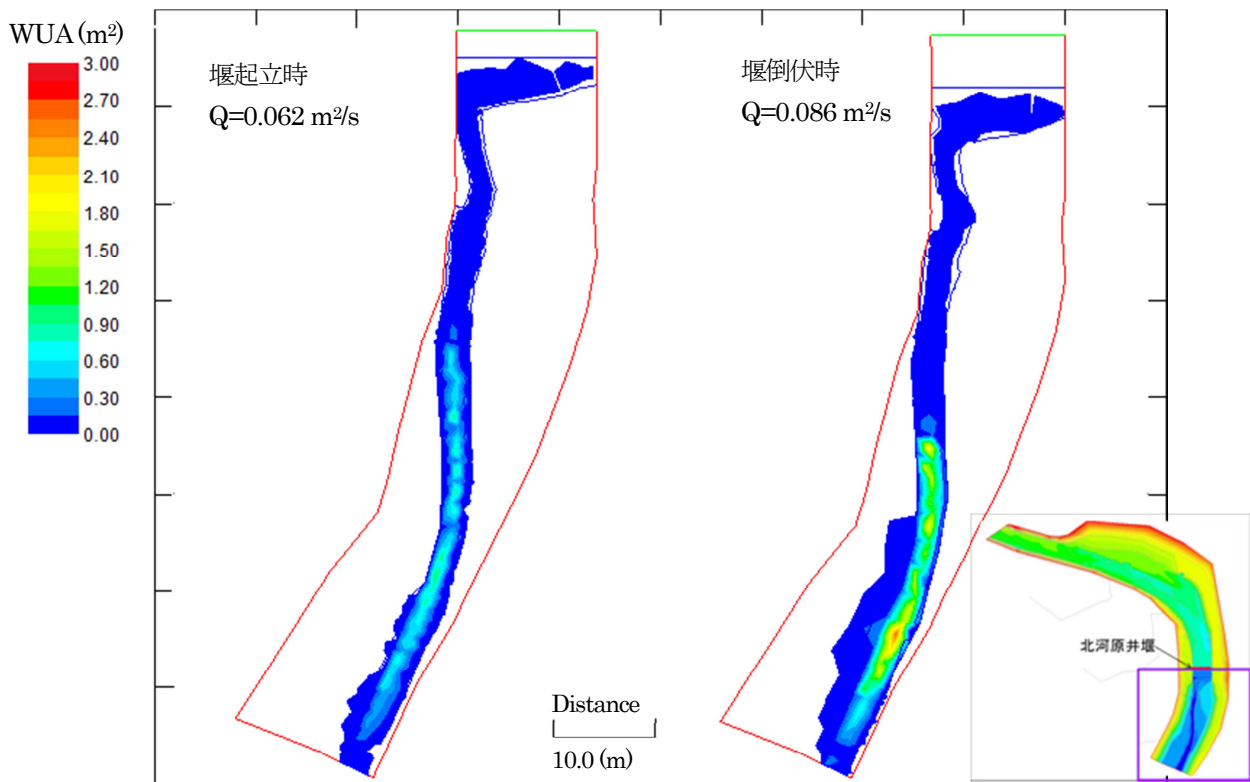


図 14 喜瀬川北河原井堰下流側におけるヨシノボリの WUA コンター

## 5. おわりに

本研究では、平成 22 年度の夏季と冬季の現地調査結果をもとに、喜瀬川北河原井堰付近の魚類生息環境評価を行った。得られた結論を以下に示す。

- 1) 現地調査より、水質汚濁に対し強い耐性を示すコイ科の魚が大量に生息し、多様性に乏しい環境であった。喜瀬川では有機汚濁が進み、それに適する事のできる種類しか生息できないのが現状である。
- 2) WUA の結果から喜瀬川北河原井堰の下流側では瀬や淵がヨシノボリにとって生息しやすい場所となっている。しかし、流量が少ないため利用できる場所は非常に小さく限られている。

今後は、他の魚種についても魚類生息場の環境評価を行い、多様な魚種が生息できる流量管理手法を提案するとともに喜瀬川にとって流水の正常な機能が維持される流量を示していきたい。

## 参考文献

- 1) 喜瀬川水系河川整備計画、兵庫県、平成 18 年 1 月
- 2) ひょうご・人と自然の川づくり事例集、兵庫県、pp.53～56、2004
- 3) 環境省ホームページ：  
<http://www.env.go.jp/> (平成 23 年 1 月 13 日)

- 4) 技術科@スクールホームページ：  
[http://www.gijyutu.com/ooki/kankyuu/kensa/suishi\\_tsu.html](http://www.gijyutu.com/ooki/kankyuu/kensa/suishi_tsu.html) (平成 23 年 1 月 13 日)
- 5) 中島重旗ら：水環境工学の基礎、森北出版株式会社、p48、1994
- 6) 玉井信行・奥田重俊・中村俊六：河川生態環境評価法、東京大学出版会、pp.175～180、2000
- 7) 河合茂・神田佳一・和田清・鈴木正人：河川工学、コロナ社、pp.175～177、2001
- 8) 中村俊六：IFIM 入門、リバーフロント整備センター、pp.148～150、1999
- 9) 土木学会：環境工学公式・モデル・数値数、土木学会、pp.362～364、2004
- 10) 中村俊六：IFIM 入門、リバーフロント整備センター、pp.140～141、1999