

## 水田農業地帯の水資源が持つ生態環境維持機能の評価法

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 独立行政法人農業工学研究所 公開日: 2024-03-01 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 増本, 隆夫, 久保田, 富次郎, 松田, 周, 高木, 東 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24514/0002000057">https://doi.org/10.24514/0002000057</a>

## 水田農業地帯の水資源が持つ生態環境維持機能の評価法

増本隆夫\*・久保田富次郎\*・松田 周\*・高木 東\*\*

目 次	
I 緒 言 .....	81
対象地域の概要と水文・魚類生息場調査 .....	81
1 対象地域の概要 .....	81
2 水文と魚類生息場調査 .....	82
水路ネットワーク図による魚類生息環境評価法...	83
1 水路ネットワーク図の作成 .....	83
2 魚類生息環境の評価 .....	83
水文指標を用いた生態環境評価法 .....	85
1 水文指標の考え方 .....	85
2 ユニット評価指標の提示 .....	85
3 接続指標と環境指標の算定法 .....	86
4 水文指標の具体的な評価方法 .....	87
5 ユニット評価指標を用いた評価結果 .....	87
V 結 言 .....	88
参考文献 .....	89
Summary .....	90

## 緒 言

農業用水と農業は、生産活動を通じて生態系の保全に資するという水資源維持機能を有している。また、多様な生態系の保全をはじめとする健全な水資源の維持・保全は、地域の活性化につながる可能性を持つ。それらの因果関係を明らかにするためには、特に農村地域の流水環境によって維持されている生態系の特質およびその流水環境との関係を解明することが重要である。

そこで、本研究では、農村地域の用排水路系において流量、流速等の水文要素を把握し、そこで維持されている魚類の生息実態を調査解明するとともに、それらの成果を踏まえて水文要素を指標とした水資源維持機能の評価手法を開発する。特に、水田農業地域を対象として、各種水文要素とそこで維持されている魚類の生息実態を調査するとともに、地域が持つ水資源維持機能を説明するための水文指標や水路ネットワーク図による評価法について検討した結果について述べる。

水路やその中の水と生態環境について、これまでに多くの研究が積み重ねられるとともに魚類が持つ環境選好性について種を特定した取り組みが行われてきた（関根ら、1994、楊ら、1999、2000、中村、1999、山嶋ら、2000、松尾ら、2000）。ここでは、魚の行動モードを考慮した評価検討も行われ、次いで水生生物の利用（徳山・

池内、1998）や鳥類（糸魚川ら、1998）を対象とした検討、またメダカの環境応答モデル（平松ら、2003）の開発が行われた。さらに、魚の動きを物理的数値モデルで説明しようとした試み（Anderson et al., 1998）も始まっている。一方で、生態環境に絡む水文観測の方法（GEORGIA Adopt-A-Stream）や水田の畦畔上の植生の検討（有田ら、1998）が行われている。広い視点からの検討としては、流量変動との関係（清水・小池、1998）、親水からの視点（土屋、1999）、河川行政と生態系保全の検討（辻本、1999）、農業農村整備事業での取り組み指針（食料・農業・農村政策審議会、2002）、水田灌漑が持つ多面的機能の観点（Masumoto, 2003、日本農業土木総合研究所、2003）などの取り組みがある。このような状況の中で、魚類生態や生態環境の総合的な評価方法は、一連の研究報告（玉井ら、1993、金ら、1996、玉井ら、2000）に纏められているが、農業地域、特に水田流域の水資源が持つ生態環境の維持機能の定量化や評価法については、いまだ検討されておらず、若干の試みが低湿地（Trudy et al., 2000）や都市近郊用水路（西岡ら、2000）で見受けられるに過ぎない。

なお、本研究の一部は、交付金プロジェクト研究「農村経済活性化のための地域資源の活用に関する総合研究（農村経済活性化）」の支援を受けた。

## 対象地域の概要と水文・魚類生息場調査

## 1 対象地域の概要

対象地区は、利根川支川小貝川の福岡堰の受益地であり、茨城県水海道市、伊奈町、藤代町、谷和原村等の約3,000haの農地が広がっている地帯である。小貝川には、福岡堰の下流に岡堰、豊田堰があり、関東三大堰と呼ばれ

\*地域資源部水文水資源研究室

\*\*地域資源部上席研究官

平成15年12月26日受理

キーワード：魚類生息域、水文指標、水路ネットワーク、水資源の時空間分布、農業用排水路、生態環境評価

ているが、福岡堰で取水された水は2本の幹線用水路(台地部裾野を這う台通用水路と小貝川に沿って流れる川通用水路)で地域内の農地に運ばれる。さらに、幹線用水路の水は、支線・末端用水路により分配され農地(水田主体)で利用されたのち、余剰水は末端排水路、小排水路により集められ、排水河川の中通川に集まり、伊丹水門を通過して小貝川に戻っていく。伊丹水門は、洪水時には、小貝川からの洪水流入を防止するため閉じられるが、常時は解放されている。

Fig. 1は、調査地区のうち水文調査を行った台通用水路と中通川を中心に、地区の概要と土地利用を示している。東方の台地上や集落近傍には畑地が存在しているが、大半は水田が広がっている。図中にみられるように中通川沿いには集落が点在し、中通川中・下流の宅地も含めて、集落からの生活排水も中通川に流入している。

当地域では、十分な用水が確保されているために、優良稲作地域が形成され、聞き取り調査によれば米の収量(籾重)は排水の悪いところで、570kg/10aから、収量の多いところで600kg/10a(コシヒカリ)~720kg/10a(キヌヒカリ)となっている。



Fig. 1 対象流域の概要

Outline of a research area in a target basin

2 水文と魚類生息場調査

a 水文調査

水文調査は、2000~2002年度に排水河川の中通川(A, B, C地点)ならびに支線排水路(No.1~5)で月1回の頻度で行った(Fig.1参照)。そこでは、各地点で横断面を設定し、断面内の水深や流速分布の計測を行い、平均流速および流量等を算出した。また、2001年には、流速分布と植生繁茂の関係を明らかにするために、対象流域外に位置する茨城県土浦市乙戸川において断面流速分布の計測も行った。また、その過程では、特に灌漑期・非灌漑期を区別した水文量の把握を試みた。

流量調査の直前に雨の降った場合には排水流量が多い場合もあったが、月毎の流量値は平均として処理した。

なお、当地区の農業用水の水利権は灌漑期のみを設定されており、4/25~8/31の4ヶ月間強であるが、排水の状況が若干悪い川通幹線用水路掛かりの農地では、8/25前後に短縮されることもある。

b 魚類生息調査

魚類生息調査は、灌漑期と非灌漑期に、排水河川(上下流2ヶ所)、支線排水路(5ヶ所)および幹線用水路(2ヶ所)において行い(観測地点はFig.2とTable4の脚注参照)、調査地点の流況に応じてタモ網、投網、刺網、電気ショッカー等を用いて魚を捕獲した。さらに、上記水文観測を行った全地点において、植生の状況や魚類以外の生態系の生息・存在の有無を観察した。捕獲された魚類は、種名、個体数、全長、体長を現地で記録し、不明のものはサンプルとして持ち帰り同定した。

Table 1 切断特性の評価指標

Evaluation indices of "Discontinuous Unit Characteristics"

		切断記号は、水門や低水路、落差工などによる水路網の切断特性を表す
	要因	接続性(G,L,P), 切断の属性(D,V)
主属性	G(水門) L(低水) P(ポンプ)	A: (常に接続) B <sub>1</sub> : 増水時に接続することがある B <sub>2</sub> : 人為操作で接続することがある C: 常に切断
	D: 落差 V: 流速	落差の大きさ(m) 流速(m/s)
	副属性	添え字で付加情報を表す s(スクリーン)

Table 2 ユニット特性の評価指標

Evaluation indices of "Unit Characteristics"

ユニット特性記号	
	ユニット番号 水路の用途と規模 ・ I: 用水路 ・ D: 排水路(排水河川を含む) 添え字1~3は水深と水路幅の関数で水路の規模を示す。
	水路の材質・底質 ・ C: コンクリート水路・S: 土水路 ・ G: 砂利・砂等 添え字で底質等を表す ・ m: 泥, s: 砂, r: 岩 ・ v: 植生あり, w: 水草あり
	接続性 ・ A: 常に他のユニットと接続されている ・ B <sub>1</sub> : 増水時に接続することがある ・ B <sub>2</sub> : 人為操作で接続することがある ・ C <sub>1</sub> : 常に他のユニットから切断されている(一方向) ・ C <sub>2</sub> : 常に他のユニットから切断されている(両方向)

当地区における最近の生物変化としては、現地農家における聞き取り調査から、農薬の利用量を減らしたことによりザリガニが増えたとの報告もあった。また、幹線水路には、非灌漑期に干涸らびたタニシやシジミの貝殻が多く存在していた。

c 水路網の接続性調査

用排水路及び河川の規模や水域の接続性など、魚類生息場を規定する水路網のネットワーク構造作成のための現地調査を行った。特に、水路網の接続性の調査は、2.5千分（一部2.5万分）の1の地形図を頼りに、水文調査や魚類生息調査時に現地において実際の接続状況を調べた。

水路ネットワーク図による魚類生息環境評価法

1 水路ネットワーク図の作成

a 水路ネットワーク図

水路システムをネットワークとして捉える方法（島ら，2001，2003）を改良し、用排水路や河川からなる水路網の図示に用いる記号群（Table 1），並びにその暫定的な分類評価基準を用いて対象地区に適用して、灌漑期と非灌漑期それぞれについて水路ネットワーク図を作成した（例えばFig. 2 およびFig. 6 参照）。ここでは魚類の生息域となる水路網をゲートや落差工、または水路諸元の違いなどにより個別の単位ユニットに分類している。特徴としては、水路の特性を 水路の用途と規模，水路の材料と底質（土水路の場合），接続性の観点から特性を評価して、ネットワークの個々のユニットを分類している。対象地区に適用し得られた用排水路ネットワーク図をFig. 2（非灌漑期）に示す。ただし、灌漑期のものは、後述のFig. 6 となる。対象として地区のスケールは福岡堰から伊丹水門にいたる約12kmである。水路網は、図中の魚類生態系の切断を表す切断記号（ゲートや落差工等）（Table 1）と類似の水路断面を持つ連続水路の特性を表すユニット記号（Table 2）などを用いて評価できる。

b 灌漑期と非灌漑期別の水路ネットワーク図

前述の水路ネットワーク図を灌漑期・非灌漑期など水文環境の異なる時期別に作成すると、対象地区における魚類生息場の接続性や生息域等の把握が容易になる。灌漑期と非灌漑期では、幹線・支線用水路で流況が大きく変わり、特に非灌漑期において水路ユニットが分断されたり、魚類生息可能域が消滅するなどの特徴が見られた。すなわち、ネットワーク図により用排水路網における魚類生息場の接続性や生息域の植生等の把握が容易になり、水路網や各水路ユニットの持つ特性の一覧性が向上した。

2 魚類生息環境の評価

a 水質特性

調査地区の水質（非灌漑期）について、溶存酸素と電気

伝導度、pHでみると上流の農業用水でそれぞれ8.3mg/l、23.2 mS/m、8.8、下流側の排水河川でそれぞれ、6.4mg/l、33.0mS/m、7.5であった（Table 3）。調査地区内では、地域から流出する生活排水や農業排水等により下流にいくほど汚濁が進んでいるが、少なくとも非灌漑期における水質は魚類の生息に深刻な問題を生じないレベル

Table 3 魚類生息調査地点の水路ユニットと水質特性  
Characteristics of fish habitat at study sites

ユニットNo.	U <sub>1</sub> (根通用水)	U <sub>4</sub> (中通川上流)	U <sub>5</sub> (中通川下流)
水路断面 (幅×最大水深.m)	14×0.7× 280(水域長)	2.3×0.8	13×0.9
流量 (m <sup>3</sup> /s)	0	0.012	0.379
漁具	投網 タモ網	刺網 電気ショッカー タモ網	刺網 電気ショッカー タモ網
水温( )	8.5	10.2	10.0
PH	8.8	7.3	7.5
EC(mS/m)	23.2	30.3	33.0
DO(mg/l)	8.34	7.53	6.37
濁度(NTU)	17.8	14.3	58
備考	孤立ユニット	上流	下流

(注) 2001年非灌漑期に測定

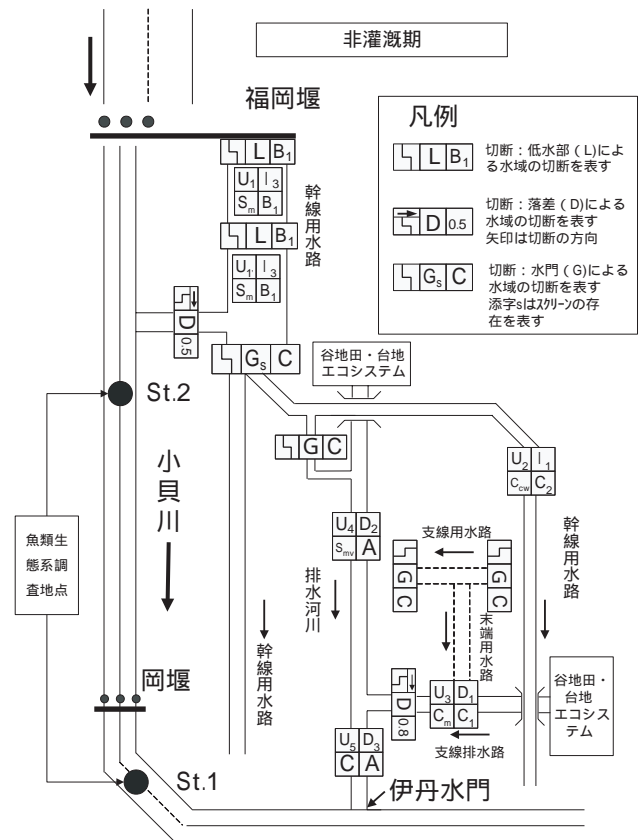


Fig. 2 魚類生息域からみた農業用排水路ネットワークの例（福岡堰農業用排水路系統，非灌漑期）

Examples of Agricultural irrigation and drainage network during non-irrigation period (Fukuoka headwork of the Kokai River system)



であると考えられる。

b 魚類生態の比較

魚類生息調査を行った結果を纏めるとTable 4 のようになる。捕獲された魚種を印で示し、特に捕獲匹数で20%以上を示すものをで表している。小貝川の捕獲魚類は参考として建設省(現、国土交通省)が1995年に行った結果を例示している(建設省, 1997)。ここで、小貝川における2箇所の調査地点(St.1とSt.2)はFig. 2に表示されている。また、前述の各調査地点で捕獲された魚類は、計測された体長を成魚の一般的体長と比較して、魚類の成長段階の違いと生息場所の違いを検討した。

その結果、本地区の魚類生態系は接続河川(小貝川)と比較すると概ね共通する魚種が生息しているが、モツゴ、タモロコなど小型の魚種の一部は、河川でなく用排水路網にのみ生息していることが確認できた(Table 4)。また、農業用排水路に生息する魚類は、河川と同じ魚種でも体長が小さいものが生息しており、農業用排水路が稚魚を含む小型魚類の生息域になっていることが分かった。

さらに、排水河川での調査から植生の有無が魚類の生息と深く関わることも明らかになった。特に、幹線用水路や支線用水路では、非灌漑期に通水が行われず(Fig. 5 (a)(b)参照)、浅瀬による水域の分断や水域の消滅により、魚類生息場の維持が難しい状況であった。

c 流速分布と魚類の住みやすさ

平水時及び増水時の小河川断面において流速分布を詳細に測定し、水路形態や植生による断面流速への影響を調査し、魚類の生息環境との関連について考察した。

前記の乙戸川(土浦市)と稲岡地区(つくば市)において、平水時及び増水時の小排水河川の柵渠と土水路で詳細な流速分布を測定した。土水路では岸近傍に繁茂したマコモなどの植生の存在により増水時に流速が低減される効果が確認された(Fig. 3)。さらに、前述したように中通川での生態系調査においても流速分布に関して同様の結果が得られたが、流水横断面の位置の違いによる捕獲数から流速が低減された岸近傍が魚類の生存場として機能していることも確認された。

Table 4 調査地区の魚類生息の比較  
Comparison of fish habitat in the study area

水路属性 種名	農業用排水路(福岡堰受益地)				小貝川		体長 (cm)	
	非灌漑期		灌漑期		St1	St2	成魚	U <sub>4</sub>
	U <sub>1</sub>	U <sub>4</sub>	U <sub>5</sub>	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	U <sub>4</sub>	
コイ								30-90 9.5-37.0
ゲンゴロウブナ								25-35 6.6-12.8
ギンブナ								15-25 9.2-18.3
オイカワ								8-14 7.4-19.2
モツゴ								7 8.2
カワヒガイ							-	12
タモロコ								6-8
カマツカ								12-20
ニゴイ								35-45 8.4-34.3
イトモロコ							-	5-7 6.0-7.3
スゴモロコ								8
ドジョウ								10-15
ナマズ								60
ブルーギル								22 3.1-10.2
オオクチバス								40-60 8.9-15.3
トウヨシノボリ								3-7

U<sub>1</sub>, U<sub>2</sub>: 幹線用水路1, U<sub>2</sub>: 幹線用水路2 (Fig. 2 参照) U<sub>3</sub>: 支線排水路, U<sub>4</sub>: 排水河川上流, U<sub>5</sub>: 排水河川下流  
 : 捕獲された魚種 : 20%以上を占める魚種 - : 記録対象外

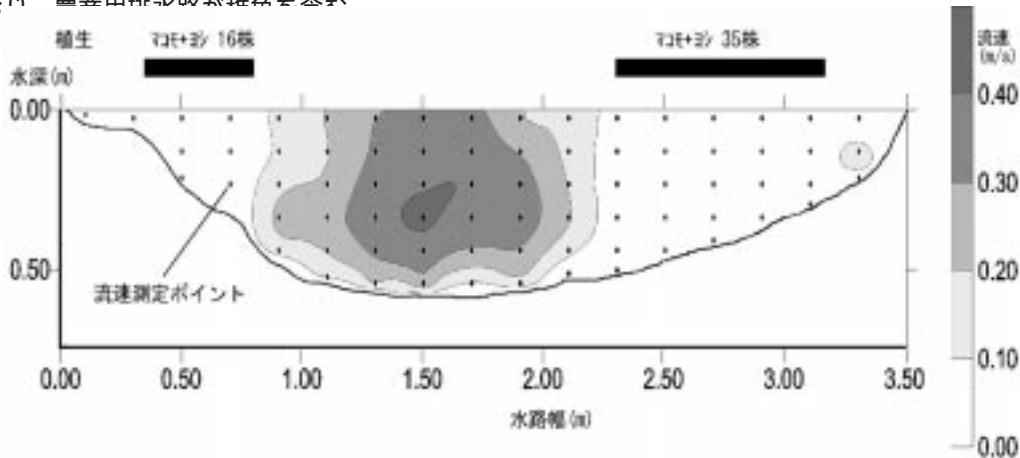


Fig. 3 小水路における植生と断面流速の関係(端・久保田, 2001私信)  
(乙戸川, 植生は水路長さ0.5m当たりの株数)

Relation between vegetation and velocity distribution in a river channel (Hata and Kubota, 2001)  
(Otto River, the density of vegetation: counted as the number of stumps)

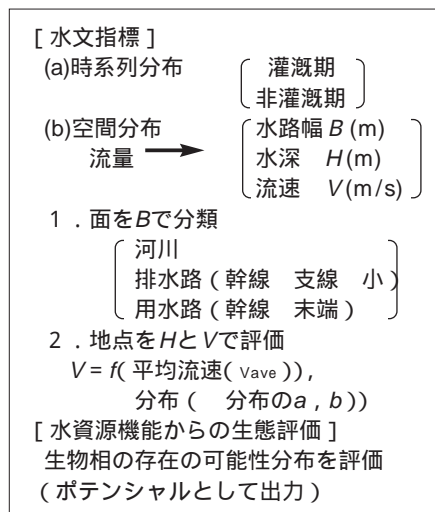


Fig. 4 水文指標と生態評価

Hydrologic indices and evaluation of ecosystem

水文指標を用いた生態環境評価法

1 水文指標の考え方

流域や水路系における魚類生息域と水文特性を結びつける水文指標を考案した(高木ら, 2003)。本指標は、魚類の存在可能性を評価するためのもので、灌漑期・非灌漑期における水深等の各種水文要素の時系列分布と水路系の繋がりと水路断面内の流速分布といった空間分布により求まる(Fig.4)。

a 時系列分布

農村地域における水文指標として、灌漑期と非灌漑期の違いが重要である。農業用水は、対象流域の福岡堰受益地区にみられるように、灌漑期間のみ取水され用水路に通水される。Fig.5は流量観測の結果を月毎の平均値(水深と平均流速)として表したもので、幹線用水路(台通用水)の典型例のように、4~8月間にのみ水が存在しており、非灌漑期には全く水は流れないことが分かる。すなわち、用水路は通年を通した魚類生息場としては、適当でなく一時的な生息域としてのみ利用されていることは明らかである。排水路については、時系列でみると灌漑期および梅雨の時期に流量が多くなっていることも特徴である。

b 空間分布

次に、地域の水文指標として必要となるものは、流量の空間分布である。この指標では、河川、用水路と排水路の違い、またそれぞれの規模が重要である。それぞれの線は水路幅(B)、水深(H)と流速(V)から決まるが、Bの水路幅で河川や用排水路の面(線)的規模を評価する(Fig.4)。この中で、排水路は幹線排水路、支線・小排水路、さらに用水路は幹線から末端水路等の違いが評価される。

次に、各地点を水深(H)と流速(V)で評価する。ただし、地点流速は流量に換算できる平均流速と前述した断面内の流速分布の両者が指標になる。

c 流速分布の評価

魚類は、2cに示したように、断面内に植生などにより流速の低くなる場所に存在することや、そのため洪水時でも中央部と岸周辺部に流速の差が生じていることが重要である。すなわち、河道内の流速分布が一様でないほど魚類の生息環境として望ましいと考えられる。そこで、流速分布を次式の分布で評価する。

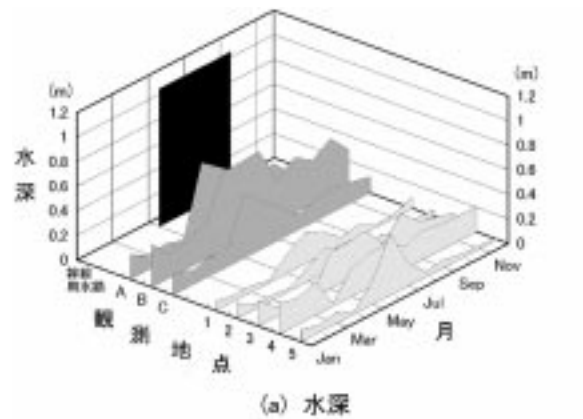
$$f_v(x) = b / (a \cdot [bx] a^{-1} e^{-bx}) \quad (1)$$

ここに、x: 水路内の地点流速, a: 形状パラメータ, b: 尺度パラメータ, : ガンマ関数である。このとき、両パラメータは平均と分散が分かれば次式で決めればよい。

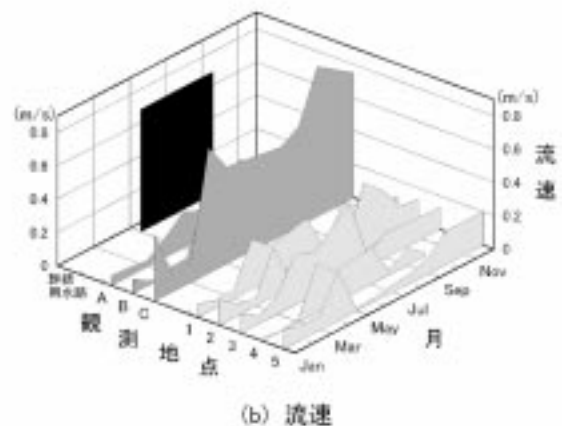
$$\left. \begin{aligned} a &= m^2 / \sigma^2 \\ b &= m / \sigma^2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Table 5 調査地区の各観測地点における流速分布の評価  
Evaluation of velocity distribution at observation points in the study area

調査地点 パラメータ	A地点	B地点	C地点	大通用水路
	排水河川			幹線用水
a	0.36	1.13	1.46	21.6
b	8.43	16.60	3.88	208.0



(a) 水深



(b) 流速

Fig.5 水文指標(水深, 流速)の時系列分布  
(福岡堰流域, 地点A, B, Cは排水河川U<sub>5</sub>,  
地点1~5は支川排水路U<sub>3</sub>)

Temporal distribution of hydrologic indices (water depth and velocity) at the Fukuoka Headwork Watershed (Points A, B, C: drainage river U<sub>5</sub>, Points 1 - 5: drainage channel U<sub>3</sub>)

ここに、m: 平均値, σ<sup>2</sup>: 分散である。この分布は、a = 1で流速の小さい領域が卓越し、bが大きくなれば一般的な分布に近づく。これを灌漑期の実際の観測値に適用すると、Table 5のような結果が得られる。すなわち、A地点のa = 0.36, b = 8.4, 幹線用水路のa = 21.6, b = 208を比べると、魚類にとって流速の小さい場所が多く、しかも断面内の流速分布が多様であるA地点が住みやすいと評価できる。

2 ユニット評価指標の提示

ある水路区間(水路ユニット)の魚類生態系の生息環境

Table 6 ユニット評価指標を用いた魚類生息環境ポテンシャルの評価法  
Evaluation method of fish habitat environment potentials using unit evaluation indices

指標	接続指標	環境指標	水文指標
項目	河川本川からの接続性	環境要因が魚類生態に及ぼす影響	水文要素が魚類生息環境に及ぼす影響
評価対象	用排水路ネットワークの切断特性から下記の評価ランクに従って評価	$E = (M \times Q \times VEG \times \dots)^{1/N}$	$Y = \text{別表 (4)式}$
評価式 / 方法	用排水路ネットワーク図の接続特性記号 (Table 1) で評価	$M$ (材質・底質) $Q$ (水質) $VEG$ (植生) .....	$B$ (水路幅) $H$ (水深) $V$ (流速) (流速分布)
評価項目	用排水路ネットワーク図の接続特性記号 (Table 1) で評価	$M$ (材質・底質) $Q$ (水質) $VEG$ (植生) .....	$B$ (水路幅) $H$ (水深) $V$ (流速) (流速分布)
カテゴリー	4段階	6段階	6段階
内容	河川と水路ユニットの接続性	水路ユニットの環境評価	水文要素の評価
評価ランク	5 : 抵抗なし 3 : 抵抗小 1 : 抵抗大 0 : 未接続	5 : 良好 4 : やや良好 3 : 普通 2 : やや不良 1 : 不良 0 : 不可	5 : 良好 4 : やや良好 3 : 普通 2 : やや不適 1 : 不適 0 : 不可
備考	用排水路ネットワーク図より評価 (例えばFig.2)	水路ユニット特性調査により評価	水文水資源調査により評価

注：灌漑期・非灌漑期別に評価する。

ポテンシャルを「ユニット評価指標」を用いて評価する。ユニット評価指標は、接続条件、環境条件、水文条件の諸点を総合的に評価するためのものである。それぞれの各条件は、接続条件は水路ネットワーク図の作成、環境条件は水路ネットワークの特性調査 (Table 1, 2 参照), また水文条件は前述項目 1 を用いて評価する。

そこで、総合的な評価指標は以下で示される。

$$U(\text{ユニット指標}) = \{C(\text{接続指標}) \times E(\text{環境指標}) \times Y(\text{水文指標})\}^{1/3} \quad (3)$$

すなわち、魚類を対象とした生態系の評価は、(3)式により生物相の存在の可能性をポテンシャルとして評価する。

ここでは、全ての指標を 0 ~ 5 で評点付けを行い (段階付け)、各指標値を同じ重みで掛け合わせる。

### 3 接続指標と環境指標の算定法

生息環境ポテンシャルの評価に用いる接続指標と環境指標を Table 6 に示す。接続指標は水路ネットワーク図の算定により河川と水路ユニットの接続性が魚類等の生息に最も関連することが分かっているので、それを評価する。水路ユニット毎にゲートの抵抗性 (スクリーン等の幅を評価し魚類の移動を阻害していないかどうか) や落差工により生態系が寸断されていないかを検討する。さらに、環境指標では、同様に水路ネットワーク図に記入した水路ユニットの中の特性調査情報を用いて、水路の材質、水路内の雨

Table 7 水文指標の評価法  
Evaluation method of hydrologic indices

評価値	水文指標			(分布の a と b)
	H (水深)	B (幅)	V (流速)	
5	Xm以上	3BL 以上	3BL cm/s未満	
4	-	-	-	
3	10cm以上	BL / 2 ~ 3BL	3 ~ 10BL cm/s	
2	-	-	-	
1	10cm未満	-	10BL cm/s以上	
0	0	BL / 2未満	-	

(注) BLは魚体長

Table 8 調査地区における生息環境ポテンシャルの評価結果  
Evaluation results of potentials of fish habitat environment in a study area

	灌漑期			(評価結果)	非灌漑期			(評価結果)
	接続指標	環境指標	水文指標	ユニット指標	接続指標	環境指標	水文指標	ユニット指標
小貝川	5	3.6	5.0	4.5	5	3.6	5.0	4.5
根通用水(幹線1)	5	3.6	4.7	4.4	1	3.6	5.0	2.6
幹線用水路2	3	1.4	2.9	2.3	0	1.4	3.2	0.0
支線用水路	3	1.4	2.2	2.1	0	0.0	0.0	0.0
末端用水路	3	1.4	4.2	2.6	0	0.0	0.0	0.0
支線排水路	1	2.1	4.2	2.1	1	3.0	3.2	2.1
中通川上流(排水河川)	5	3.6	5.0	4.5	5	3.6	5.0	4.5
中通川下流(排水河川)	5	3.0	4.7	4.1	5	3.0	5.0	4.2

水の水質、植生の状況などを評価する。評点は0～5の6段階で、各要素の積で表す。

4 水文指標の具体的な評価方法

水文指標の評価法は、Table 6の右欄の纏めのように(Fig. 4および1参照)、水路幅、水深、平均流速、流速分布などの水文要素をそれぞれ0～5の6段階で評価し、最終的にはマトリックスの形式で次式の値を算出する。

$$Y(\text{水文指標}) = (B \times H \times V \times \quad)^{1/4} \quad (4)$$

ここに、 $B$ ：水路幅(m)、 $H$ ：平均水深(m)、 $V$ ：平均流速( $m \cdot s^{-1}$ )、 $\quad$ ：流速分布(パラメータ $a, b$ で評価)である。それぞれの要素は、Table 7に従って0～5の6段階で評価するが、実際には4段階の評点を与える。具体的には、指標として、魚体長(体高)、限界流速、流速体長などが関連してくる。まず、水深 $H$ に関しては、魚類の遊泳に必要な最小水深 $H_{min}$ は、体高によって規定され、それは

$$H_{min} = 2 \times (\text{体高}) \quad (5)$$

で表せる(中村, 1995)。また、河川における魚類生態研究会が行った調査から、最小水深として10cmは確保することが必要なことから、10cmをここでの水深の基準とする(2003, インターネット検索)。次に、水路幅 $B$ に関しては、魚類の遊泳に必要な最小幅は、魚体長を $BL$ とすると、 $BL/2$ 程度である。また、休息場所として必要最小限の広さは、長さ(2～4 $BL$ )×幅( $BL/2$ )程度、回転しながらの休息を考えるのであれば長さ(3 $BL$ )×幅(3 $BL$ )程度であることから、指標の基準的な値として $BL/2$ と3 $BL$ を考える。最後に、流速 $V$ について、魚類の生息にふさわしい流速として、各魚種の巡航速度より遅い流速を想定すると、コイやブルーギルで4～5 $BL/s$ 程度、オイカワ、ウグイ、カワムツなどで2～3 $BL/s$ 程度である(ダム水源環境センター, 1998, 九州地方建設局, 1997)。また、魚の突進速度を限界流速とすると、その値はコイやブルーギル、オイカワ、ウグイ、カワムツなど多くの遊泳魚で約

10 $BL$ 程度であるとの同上の研究成果から、流速について3 $BL$ および10 $BL$ を基準値とする。

その結果、各評価要素の閾値はTable 7のように纏められる。

5 ユニット評価指標を用いた評価結果

a 灌漑期と非灌漑期の比較

これまで提示してきた指標を用いて事例地区の魚類生物

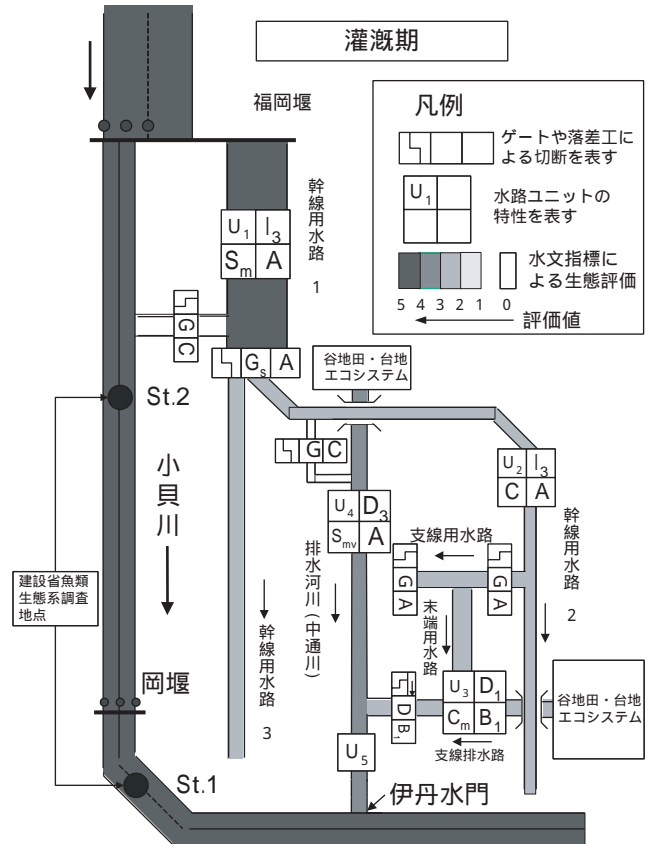


Fig. 6 灌漑期の農業用排水路ネットワークとユニット評価指標による評価結果  
Examples of Agricultural irrigation and drainage network during irrigation period and evaluation results using unit indices



相の存在可能性分布を評価した。対象地区の用排水路ネットワーク図は、水文指標の評価の項で述べたように非灌漑期 (Fig. 2) と灌漑期 (Fig. 6) に大きく区別したが、それぞれについて各代表水路ユニット毎に各指標の評価を行い調査地区における生息環境ポテンシャルの算定を行った。これらを実地した結果を灌漑期と非灌漑期に分けて Table 8 に例示している。

#### b 評価結果の図化

上記で得られた結果の一部を Fig. 6 の灌漑期におけるネットワーク図に白黒の濃淡で示している。排水河川である中通川は農業用幹線排水路あるいは地区の排水河川としての役割を担っているが、魚類生息からみると住みやすいネットワーク環境を持っていることが分かる。非灌漑期には通水が行われない幹線用水路と排水路の違い、水路の規模による (末端, 小, 支線, 幹線など) 違いも評価されており、実際にサンプルを取った魚類生息の調査結果と比較すると、指標がうまく実態を表すことが確認できた (Fig. 7)。

### 結 言

農業用排水路系における魚類生息環境と水資源の関係を明らかにするために、水文指標 (水路の水路幅, 水深, 平均流速, 流速分布, それらの時系列変化および水路の空間分布) と水路ネットワーク図を用いた接続性を考慮した評価手法を提案し、事例地区に適用した。

具体的には、調査対象地区 (茨城県小貝川福岡堰受益地) において、非灌漑期ならびに灌漑期の水路網内の主要地点における魚類生息調査, 水流量調査, ならびに用排水路及び河川の規模や接続性など魚類生息環境を規定する水路網のネットワーク構造の把握を目的とした現地調査を行った (2002~2004年度)。すなわち、まず用排水路系における魚類の年間を通じた生息環境を明らかにするとともに、平水時及び増水時の小河川断面において詳細な流速分布を測定し、水路形態や植生による断面流速への影響を調査し、魚類の生息環境との関連について考察した。次に、水路網評価法を改良し、対象地区において水路網評価を試みた。さらに、水文環境 (灌漑期・非灌漑期の違い) や流量時系列変化, ならびに水路幅, 水深, 流速で構成される水文指標を案出し、その後用排水系において、それらを指標とした水資源が持つ魚類生息環境維持機能の評価手法を提示した。

得られた主要な結果を要約すると以下ようになる。

1) 用排水路や河川からなる水路網の図示に用いる記号群, 並びにその暫定的な分類評価基準を示し, 対象地区に適用して用排水路ネットワーク図を作成した。また, 魚類生息調査を行い, 接続河川と農業用排水路における魚類分布の違いについて明らかにした。さらに, 平水時及び増水時の小排水河川の柵渠と土水路での詳細な流速分布測定が

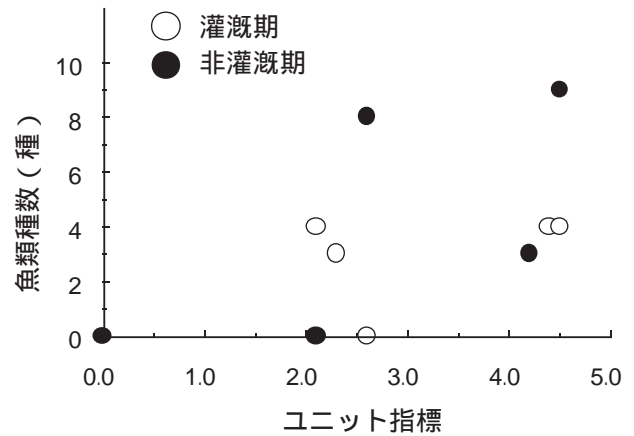


Fig. 7 生態環境評価値と魚類調査結果との比較

Comparison between evaluated indices of ecosystems and observed fish habitat

ら、土水路では岸近傍に繁茂したマコモなどの植生の存在により増水時に流速が低減される効果を確認した。

2) 対象地区において、「河川本川 - 幹線用水路 - 支線用水路 - (圃場) - 支線排水路 - 幹線排水路 (排水河川) - 河川」の連続性を考慮した水文特性および魚類生態系に関する調査を行った。そこで、接続性および水路構成要素 (ユニット特性) から連続水路系を評価し、灌漑期・非灌漑期を通じた用排水路網評価図を作成した (Fig. 2: 非灌漑期用, Fig. 6: 灌漑期用)。これにより、魚類生息場の接続性や生息域の植生等の把握が容易になった。

3) 本地区の魚類生息状況は接続河川 (小貝川) と比較すると概ね共通する魚種が生息しているが、モツゴ, タモロコなど小型の魚種の一部は、河川でなく用排水路網にのみ生息している。また、農業用水路系に生息する魚類は、河川と同じ魚種でも体長が小さいものが生息しており、農業用排水路システムが稚魚を含む小型魚類の生息域として重要な役割を果たしていることが分かった。さらに、植生の有無が魚類の生息と深く関わることも明らかになった。

4) 最後に、流域や水路系における魚類生息域と水文特性を結びつける水文指標を考案した。本指標は、魚類生物相の存在可能性を評価するためのもので、灌漑期・非灌漑期における水深等の各水文要素の時系列分布と水路系の繋がりや水路断面内の流速分布といった空間分布により決まる。これらの指標を用い事例地区の魚類生物相の存在可能性分布 (ポテンシャルとして) を評価し、サンプルとした魚類生息環境の調査結果を分布図にあてはめると、指標がうまく実態を表していることが分かった。

## 参考文献

- 1) Anderson, James, Joshua Hayes, Pamela Shaw, Richard Zabel (1998): Columbia River Salmon Passage Model: Theory, Calibration and Validation, 220p
- 2) 有田博之・藤井義晴編著(1998): 畦畔と圃場に生かすグラウンドカバープランツ - 雑草抑制・景観改善・農地保全の新技术 -, 農山漁村文化協会, 170p
- 3) ダム水源地環境整備センター編(1998): 最新魚道の設計 - 魚道と関連施設, 信山社サイテック, 581p
- 4) GEORGIA Adopt-A-Stream (2000): Visual Stream Survey, 78p
- 5) HATA, Kenji (2002): Perspectives for Fish Protection in Japanese Paddy Field Irrigation Systems, JARQ 36(4), 211-218
- 6) 平松和昭・福田信二・四ヶ所四男美(2003) ファジィ推論によるメダカの環境応答モデルの開発, 農業土木学会論文集, 228, 65-72
- 7) 糸魚川孝榮・池内幸司・徳山英二(1998): 河川環境を指標する種の選定手法の検討, リバーフロント研究所報告, 第9号, 184-194
- 8) 建設省河川局河川環境課(1997): 平成7年度河川水辺の国勢調査年鑑(河川版)魚介類調査, 底生動物調査編
- 9) 金 亨烈・玉井信行・松崎浩憲(1996): 流量増分生息域評価法における生息数基準に関する研究, 水工学論文集, 40, 151-156
- 10) 九州地方建設局河川部魚道検討会(2001): 魚道設計考資料(案)
- 11) Masumoto, Takao (2003): Multi-functional Roles of Paddy Irrigation in Monsoon Asia, 第3回世界水フォーラム(WWF3)「農業, 食料と水」論文集, S1-8-1-S1-8-12
- 12) 松尾光郎・関根雅彦・楊 継東・浮田正夫(2000): 行動モードを考慮した魚の環境選好性に関する実験的研究, 土木学会第55回年次学術講演会, 16-17
- 13) 中村俊六(1995): 魚道のはなし - 魚のすみよい川づくり - 魚道設計のためのガイドライン, 山海堂, 225p
- 14) 日本農業土木総合研究所(2003): モンスーン・アジア水田かんがいの多面的な役割, 「水土の知」を語る(Vol.3)農業用水を考える その2, 146-182
- 15) 西岡健太郎・倉田健悟・上月康則・佐良家康・佐藤陽一・福田 守・村上仁士(2000): 都市近郊用水路網内のメダカの生息環境に関する統計解析, 土木学会第55回年次学術講演会, 18-19
- 16) 中村義治(1999): 水系生態系研究のパラダイムと戦略 河口域生態系機能回復計画, 「流域・沿岸域の環境管理はいかにあるべきか」報告書, 流域・沿岸環境管理研究会, 27-38
- 17) 関根雅彦・浮田正夫・中西 弘・内田唯史(1994): 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, -29, 177-186
- 18) 島武男・田中良和・向井章江・中達雄(2004): 魚類に対する農業水路生態環境評価 ネットワーク性を考慮した魚類生息環境評価手法の開発 (投稿準備中)
- 19) 島武男・田中良和・中達雄(2001): 農業用水路に生息する魚種と生息環境の調査, 平成13年度農業土木学会講演要旨集, 782-783
- 20) 清水康生・小池達男(1998): 流量変動が河川環境の維持形成に果たす役割に関する研究, リバーフロント研究所報告, 第9号, 21-34
- 21) 食料・農業・農村政策審議会農村振興分科会農業農村整備部会技術小委員会(2002): 環境との調和に配慮した事業実施のための調査計画・設計の手引き, 88p
- 22) 高木 東・久保田富次郎・松田 周・増本隆夫(2003): 水文指標と水路ネットワークによる魚類生態系の評価, 平成15年度農業土木学会大会講演要旨集, 454-455
- 23) 玉井信行・奥田重俊・中村俊六編(1993): 河川生態環境工学 - 魚類生態と河川計画 -, 東京大学出版会, 312p
- 24) 玉井信行・奥田重俊・中村俊六編(2000): 河川生態環境評価法 - 潜在自然概念を軸として -, 東京大学出版会, 270p
- 25) 徳山英二・池内幸司(1998): 水生生物を用いた河川環境評価手法の開発, リバーフロント研究所報告, 第9号, 123-141
- 26) Trudy J. Olin, J. Craig Fischenich, Michael R. Palermo (2000): Wetlands Engineering Handbook, U.S. Army Corps of Engineers, Sections 1-8
- 27) 土屋十囀(1999): 都市河川の総合親水計画, 信山社サイテック, 235p
- 28) 辻本哲郎(1999): 人工洪水による河川の生態系保全機能維持の試み, JSCE, Vol. 84, 104-107
- 29) 山嶋佳代子・関根雅彦・佐々木 丞・浮田正夫(2000): 河川生息環境評価のための魚の行動圏の現地調査, 土木学会第55回年次学術講演会, 20-21
- 30) 楊 継東・関根雅彦・浮田正夫・今井 剛(1999): 行動モードを考慮した魚の環境選好性に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.636, -13, 35-45
- 31) 楊 継東・関根雅彦・浮田正夫・今井 剛(2000): 魚の行動モードを考慮した河川生息環境評価手法に関する研究, 土木学会第55回年次学術講演会, 22-23

## An Evaluation Method of Water Resources in Paddy Regions to Preserve Ecological Environments

MASUMOTO Takao, KUBOTA Tomijiro, MATSUDA Shuh and TAKAGI Azuma

### Summary

Agricultural water and agriculture itself possess the functions of water resources preservation in that agricultural production activities using those resources contribute to the preservation of ecosystems. In addition, there is a strong possibility that sound and sustainable maintenance and/or preservation of water resources functions, such as biodiversity of ecosystems, lead up to the viability of rural areas. In order to clarify its cause and effect relation among them, in particular, it is important to understand the characteristics of ecosystems that are preserved by the water-use environments and to verify the relation of those ecosystems with those water-use environments in rural areas. This paper, therefore, aims at examining hydrologic factors such as discharges and velocities in irrigation and drainage channels in rural areas and the actual conditions of fish ecosystems in the areas under status quo and, based on the outcomes of those investigations, proposes to develop an evaluation method of water resources function by using of hydrologic indices. Especially, as the target of paddy areas in low-lying agricultural region, the results of hydrologic conditions and the surveys on fish ecosystems are presented and those of evaluation methods using hydrologic indices and the mapping methods of channel networks to explain water resources functions of the target areas are discussed.

Key Words : fish ecosystem, hydrologic indices, channel network, time and space distribution of water resources, irrigation and drainage channel, ecological evaluation of fish habitat