事例研究 CASE STUDY

愛媛県重信川に造成された氾濫原生息場所における魚類群集

藤原 結花¹⁾・内田 有紀²⁾・川西 亮太²⁾・井上 幹生^{2)*}

1) 愛媛大学理学部 〒790-8577 愛媛県松山市文京町 2-5

2) 愛媛大学大学院理工学研究科 〒790-8577 愛媛県松山市文京町 2-5

Yuka FUJIWARA¹⁾, Yuki UCHIDA²⁾, Ryota KAWANISHI²⁾, Mikio INOUE^{2)*}:
Fish assemblages in floodplain ponds created by a habitat rehabilitation
project in the Shigenobu River, Ehime Prefecture. *Ecol. Civil Eng.* 18(2),
127-137, 2015

1) Faculty of Science, Ehime University, 2-5 Bunkyo-cho, Matsuyama, Ehime 790-8577, Japan

2) Graduate School of Science and Engineering, Ehime University, 2-5 Bunkyo-cho, Matsuyama, Ehime 790-8577, Japan

Ecology and
Civil Engineering
応用生態工学

Abstract: In an intermittent reach of the Shigenobu River (Ehime Prefecture, southwestern Japan), two floodplain ponds (Matsubara Spring and Hirose-gasumi wetland) were created in 2006-2007 as a part of a habitat rehabilitation project. Fish assemblages and habitat characteristics of the two created ponds were investigated in 2008, and compared with those of ten pre-existing spring-fed ponds (reference ponds). Structural characteristics (canopy shade, cover habitat, substrate, and bank condition) of the two created ponds were similar to those of the reference ponds. The created ponds were characterized by lower values of water level fluctuation, indicating that the created ponds can function as stable, permanent habitats in the intermittent reach. The number of fish species in the reference ponds ranged from 4 to 14 species, while that in the two created ponds was 13 and 9. This indicates that most of the major fish species had colonized the newly created ponds, although total fish density in both created ponds was low relative to that in the reference ponds. Overall, our data suggest that the two ponds created by the habitat rehabilitation project provide suitable habitats for freshwater fishes. However, exotic largemouth bass (*Micropterus salmoides*), which can have strong negative effects on native biota, was found in a created pond (Hirose-gasumi). Management of the created ponds should include consideration of this invasive species.

Key words: floodplain habitat, freshwater fish, habitat rehabilitation, intermittent river, Shigenobu River

はじめに

扇状地から沖積低地にわたる河川中下流域の氾濫原には、後背湿地や河跡湖およびそれらに付随する細流といった様々な水域が形成される(中村 2013)。このような氾濫原生息場所は、河川中下流域における魚類個体群の

生産性や群集多様性を維持するうえで重要である(Junk et al. 1989; 中村 2013)。現在の日本においては、原生的な氾濫原生息場所はほとんど残されていないが、水田や水路、溜池といった農業水系網が氾濫原水域の代替生息場所として機能していると言われている(久米・森 2012; 遊磨 2013)。

愛媛県松山市近郊を流れる重信川の中流域には「泉」と通称される小規模な湧水池が多数点在している。これ

2015年3月17日受付, 2015年6月1日受理

*e-mail: inom@sci.ehime-u.ac.jp

らは18世紀頃より灌漑目的のために開発されたものであるが(愛媛県立博物館 1995), その多くは現在でも使用されており, 湧水池からの自噴水は水路によって灌漑期には水田へと導かれ, 灌漑期以外は重信川本流または支流へと排水される。水路によって結ばれたこれら湧水池や水田, 溜池等からなる水域ネットワークは, 重信川中流域において氾濫原水域の代替生息場所として機能してきた可能性がある。しかし近年, 湧水池自体の埋め立てや水路のコンクリート化などにより, その水域環境は大きく変化している(藤原ほか 2014)。

国土交通省松山河川国道事務所は, 重信川における自然再生事業の一環として, 重信川の河道近傍において湧水池と湿地の造成を行った。前者は1950年代に埋め立てられた泉の再生を, 後者は霞堤の氾濫域を利用した湿地の造成を試みたものである。ともに重信川へと繋がる池の造成がなされており, これらは氾濫原生息場所の一種とみなしうる。このような生息場所造成の効果を検討することは, 今後の自然再生事業のための基礎資料として極めて重要である。本報告では, まず, 造成直後における造成水域の環境特性と魚類群集を既存の湧水池と比較し, 魚類の生息環境としての造成水域の特徴を検討した。

方 法

調査地概況

重信川は, 流域面積 445 km², 幹川流路長 36 km の一級河川である。扇状地が発達した典型的な天井川であり, 中流域では河道は網状流路を呈し, 伏流により表流水が頻繁に枯渇する間欠流区間となる(Kawanishi et al. 2013)。このような水理条件から, 河川水の取水は難しく, 古くより湧水池を掘削して伏流水を得ることで灌漑用の水を確保してきた。これらの湧水池は, 水表面積 50-1000 m² 程度の小規模なものであるが, 18 世紀からこれまでに 100 以上が掘られており(愛媛県立博物館 1995), 重信川周辺に水域ネットワークを形成している。自然再生事業による水域の造成が行われたのは, このような, 湧水池が数多く点在する網状・間欠流区間である(Fig. 1)。

自然再生による造成水域

自然再生事業により造成された水域は, 松原泉および広瀬霞と呼ばれる2つの池である(Fig. 2)。重信川では, 「水と緑のネットワークづくり」を一つの基本方針として, 2003 年頃より自然再生に向けた取り組みが始まった。松原泉の造成は, 1950 年代に埋め立てられた湧水池と小川の復活を意図したもので, 重信川右岸の高水敷に直径 20 m 程度の池を掘削し, 池から流れる水を重信川へ導水する小川を整備したものである(Fig. 2; 平木

Fig. 1. Location of the study ponds. Site abbreviations are listed in Table 1. ●, Reference (pre-existing) ponds; △, Newly created ponds

Fig. 2. Schematic illustration of the newly created ponds (Matsubara Spring and Horose-gasumi wetland) by a habitat rehabilitation project in the Shigenobu River.

2007). この池は、その上流側に掘られた取水井戸を水源とし、井戸から自噴する伏流水を、地下に埋設した導水管を通して池へと導いている。取水位置は、発生頻度が5年に1度の渇水時における地下水位に相当するように設定されており、また、地下水位が取水位置よりも低下する場合は、さらに上流側に位置する別の水源から導水するための設備も備えられている。池から流れ出た水は、長さ350mの小川を経て重信川の低水路へと流出する。なお、池からの水が再度浸透して伏流（枯渇）することのないよう、池と小川の水底地下部には遮水シートを埋設している。松原泉の整備は2004年に始まり2006年に完了した。

広瀬霞は、霞堤開口部の氾濫域に長さ約100m、幅10-30mの浅い皿状の池を造成することにより湿地の再生を試みたものである（Fig. 2）。この霞堤は松原泉の対岸の上流側約300mに位置する。造成以前は、この氾濫域は雑草が繁茂する草叢となっており、その中に堤内の湧水池からの水を重信川へと排水する水路が敷かれていた。自然再生後の現在では、その水路は新たに造成された池の上流端に接続しており、池の水源はその水路からの流入水と池の水底部からの湧出水に依存している。池からの水は幅1m程度の水路を介して重信川の低水路へと流出する。水分を保持し湿地的な環境を維持するために、池の岸辺付近では地下部に遮水シートを埋設している。また、池中央部は、異常渇水においても完全に水が枯渇することのないよう、周囲の水底面からさらに1mほど深く、四角い箱状（一辺4-5m）に掘削されている。広瀬霞の整備は2006年に始まり2007年に完了した。

広瀬霞における自然再生事業前の魚類データ

著者らは、広瀬霞で自然再生事業が行われる前にあたる1998-1999年の期間中に、霞堤開口部の氾濫域に存在した水路（以下、本報告においては「旧広瀬水路」と呼ぶ）において魚類調査を行っていた。調査を行っていたのは重信川の河道に流れ込む直前の部分であり、現在の自然再生地の一部に相当する。本報告では、この調査データを広瀬霞における自然再生前の魚類群集として、自然再生後の造成水域における魚類群集との比較に用いる。

1998年当時の旧広瀬水路は、水路幅1.5m程度、水深20-30cmの水路であった。コンクリートによる護岸は施されておらず、水底には砂、砂利が堆積し、水際は周辺の植生によって覆われていた。1998年10月、12月、1999年4月、6月、および8月の5回にわたり、この水路に長さ15-20mの調査区間を設定し、魚類の個体数を調査した。調査は電気漁具（スミス・ルート社、Model 12B型）を用いて行い、3回繰り返し採捕による除去法（DeLury 1951）によって魚種毎に個体数を推定した。推定個体数を調査区間面積で除し、生息密度（個体数 m^{-2} ）とした。

既存の湧水池

造成された松原泉および広瀬霞の環境特性と魚類群集を既存の10の湧水池と比較した（Fig. 1; Table 1）。これら10個のうち、夫婦泉、小泉（名称不明の泉だが、ここでは小泉と呼ぶ）、役所泉、および龍沢泉の4つは水路を介して重信川本流に繋がるが、残り6つの湧水池（弁天泉、鷹巣泉、日下泉、舟入泉、五反地泉および大割泉）は重信川の支流である内川に繋がる。これらの湧水池の大きさは水表面積30-900 m^2 の範囲にあり、湧出水が豊富で水位が安定しているものから水位変動が大きい

Table 1. General description of the study ponds. Abbreviation is given in parenthesis. Koizumi is an unnamed pond and it is a provisional name we use.

Study pond	Area (m ²)	Water level ^a (cm)			Water temperature ^b (°C)	
		Mean	SD	CV (%)	Summer	Winter
Created						
Matsubara (Mat)	225	71	3.9	5.4	20.9-24.9	14.2-17.0
Hirose-gasumi (Hi)	2254	153	18.0	11.8	19.5-29.0	12.2-18.2
Reference						
Meoto (Me)	877	67	16.8	25.1	18.8-24.2	16.8-20.0
Koizumi (Ko)	78	171	26.8	15.6	16.9-22.2	16.8-18.3
Yakusho (Ya)	460	237	124.4	52.5	17.4-24.9	15.3-17.7
Tatsusawa (Tat)	317	132	49.2	37.3	16.0-19.6	14.2-17.2
Benten (Be)	152	108	2.1	1.9	18.7-21.8	18.6-19.6
Takanosu (Tak)	224	96	21.5	22.4	21.3-28.4	14.4-18.4
Kusaka (Kus)	370	193	4.6	2.4	17.7-21.5	17.0-19.2
Funairi (Fu)	35	202	51.9	25.7	19.0-22.9	17.0-18.6
Gotanchi (Go)	374	81	53.2	65.4	17.2-23.0	17.0-19.5
Ohwari (Oh)	349	166	103.6	62.3	18.7-21.3	13.0-18.3

^a Maximum water depth measured at approximately 10-day interval during the period from 25 June 2008 to 10 January 2009.

^b Summer: 6 July–17 September 2008; Winter: 25 November 2008–5 March 2009

く頻繁に枯渇するものまで様々なものを含んでいる (Table 1; Fig. 3). また、岸部や底質の状態といった点においても、この地域に見られる湧水池の特性を網羅している (藤原ほか 2014 参照).

魚類調査

造成された松原泉と広瀬霞および既存の湧水池における魚種毎の生息密度を把握するために、2008 年の 7–8 月 (夏季) と 10 月 (秋季) に潜水観察による調査を行った. 各湧水池に、その長軸に垂直になるような幅 1 m のベルト状のトランセクトを 5–8 本設定し、トランセクト上で観察された魚類の個体数を魚種毎に記録した. そして、観察個体数を観察面積で除し、生息密度 (個体数 m⁻²) とした. この調査を夏季、秋季のそれぞれの期間中に 5 回行った. ただし、透明度の低下や水位低下によって調査を行えない時もあった. 広瀬霞と五反地泉では夏季には 1 度も調査を行うことができなかった. 鷹巣泉、大割泉、および役所泉では夏季には 2–4 回、広瀬霞では秋季に 3 回しか調査できなかった.

環境特性の計測

2008 年 6 月から 2009 年 1 月までの期間中に水位を、2008 年 6 月から 2009 年 3 月までの期間中に水温を継続的に測定した. 水温については各湧水池に最高最低温度計を設置し、およそ 10 日毎に、その期間中における最低水温と最高水温を記録した. 水位についても基本的に

10 日に 1 度の頻度で、定点で水位を観測し、その値を最大水深に変換した. この期間中に観測された最大水深の変動係数 (coefficient of variation, CV% : 標準偏差 × 100 / 平均値) を水位変動の指標として用いた (Table 1). 水温については、夏季 (7–9 月) と冬季 (11–3 月) のそれぞれにおける最高と最低水温を調査地概況を示すために用いた (Table 1).

湧水池の物理的特性を表すために、湧水池の長軸方向に垂直なトランセクトを 5–8 本設け、これを基に底質、カバーおよび樹冠被覆に関する調査を行った. 底質については、トランセクトに沿って 30 cm 毎に評価し、それぞれの 30 cm 区間を、デトリタス (detritus : 植物遺骸など有機堆積物)、砂-砂利 (sand-gravel : 粒径 20 mm 未満の砂礫)、礫 (pebble-cobble : 粒径 20–250 mm)、巨礫 (boulder : >250 mm)、またはコンクリート面のいずれかに分類して記録した. そして、全トランセクトに占めるそれぞれの底質の割合 (%) で表した. 魚類の隠れ場所となりうるカバーについては、(1) 水面から 50 cm 以内に張り出した陸上植生、(2) 水中の水草およびブッシュ状の植生、(3) 倒木および巨礫の 3 つをカバーとみなし、トランセクト上でこれらの占める長さを記録し、それぞれの占める割合 (%) を概算した. 湧水池上空の樹冠被覆についても、トランセクト上に占める長さを記録し、被覆割合 (%) を概算した. また、岸辺の状態を

Fig. 3. Water-level fluctuation of three pre-existing ponds, Gotanchi, Funairi, and Benten (examples of highly variable, intermediate, and stable hydrological conditions, respectively), and the two newly created ponds, Matsubara and Hirose-gasumi. Coefficient of variation (%) of water level is indicated in the parentheses.

(1)護岸されていない素堀り, (2)石積み護岸, および (3)コンクリート護岸の3つに分類した。それぞれの長さを計測し, 全周囲長に対する割合(%)で表した。素堀りのものの水際部はほとんど植生で覆われていた。これらの調査を, 2008年の7月と11月に行った。ただし, 岸部の状態に関する調査は7月または11月のどちらか一度しか行っていない。また, 魚類調査と同様に, 7月には水位や透明度の低下により調査を行えなかったものもある。

造成水域と既存湧水池との比較

松原泉および広瀬霞の環境特性と魚類群集を既存の湧水池と比較することにより, それら2つの造成水域の特徴付けを行った。一般的には, 湖や池といった島状の生息場所においては, 他水域からの隔離度(魚類の供給源からの距離)と生息場所のサイズがそこに形成される魚類群集特性を決める重要な要因とされているが(Taylor 1997; Magnuson et al. 1998), 重信川の湧水池の魚類群集では, 重信川本流からの距離(供給源からの距離)と

水位変動（環境の変動性）が群集形成過程において強い影響力を持つことが明らかになっている（Uchida & Inoue 2010）。よって、まず、重信川からの距離、水位の安定性（最大水深の変動係数）、および池の水表面積に着目して造成水域と既存湧水池とを比較した。また、それ以外の環境特性を総合的に把握して比較するために主成分分析（principal component analysis：PCA）を用いた。変数には、樹冠被度、底質特性としてデトリタス、砂-砂利、および礫それぞれの割合、カバー割合（植生被覆、水草・ブッシュ、倒木・巨礫の3タイプを合計したもの）、および岸部の状態（素掘り割合とコンクリート割合）の7変数を用いた。それぞれの変数について、7月と11月に得られた値の平均値を使用し、逆正弦変換を施して解析に用いた。この解析はSPSS（ver 13.0J, エス・ピー・エス・エス社、現在は日本アイ・ビー・エム社）を用いて行った。

魚類群集の比較については、総種数と総生息密度を基に、造成水域と既存湧水池とで比較した。総種数は調査期間中に確認された魚種の総数、総生息密度は各調査時に得られた総生息密度の平均値である。前述のように、湧水池の魚類群集構成に対しては重信川からの距離と水位変動が強く影響するため、比較にあたってはそれら2つの要因を考慮した。

結 果

旧広瀬水路の魚類

1998年から1999年の期間中、旧広瀬水路では総計8種の魚類が採捕された（Table 2）。しかしながら、季節的な変動はかなり大きく、5回の調査のうち、1998年

12月と1999年4月の2回では魚類は全く確認されなかったのに対して、1999年8月では8種が確認され、総生息密度は1 m²あたり22個体とかなり高い値を示した。このとき採捕された魚類の大部分はタカハヤであった。

環境特性の比較

新たに造成された松原泉と広瀬霞（created ponds）を既存湧水池（reference ponds）と比較すると、両造成水域はともに重信川からの距離が近く、水位変動が小さいということによって特徴付けられた（Fig. 4）。水位の変動係数で見ると、10個の既存湧水池のうち7つが20%を越える値を示したが、松原泉と広瀬霞は、それぞれ、5%、12%と低い値であった（Fig. 3, 4；Table 1）。サイズを表す水表面積で見ると、松原泉は他の湧水池に比べてやや小さめだが、広瀬霞は既存の湧水池に比べてかなり広いことが示された（Fig. 4）。

湧水池の環境を表すために行った主成分分析によって抽出された第1主成分（PC 1）は、樹冠被度および岸辺における素掘り割合との正の相関、礫割合との負の相関によって特徴付けられた（Table 3）。第2主成分（PC 2）は、底質に関する変数との関係が強く、デトリタス割合との負の相関、礫割合との正の相関によって特徴付けられた。第3主成分（PC 3）は、主に岸辺のコンクリート護岸割合を反映した軸であった。これらによる散布図を見ると（Fig. 5）、松原泉、広瀬霞ともに、既存湧水池の分布範囲に含まれており、両池と既存湧水池の間には顕著な差が無いことを示している。松原泉、広瀬霞ともに、他の湧水池に比べて第3主成分スコアが低い値となっているが、これは、両池の岸辺にコンクリート護岸が施されていないことを反映したものと思われる。

Table 2. Density (N m⁻²) of each species in the past Hirose ditch in the sampling months during 1998-1999 (pre-rehabilitation). Blank indicates that no fish were caught.

Latin name	Common name	1998		1999		
		Oct.	Dec.	Apr.	June	Aug.
<i>Zacco platypus</i>	Oikawa					1.38
<i>Nipponocypris temminskii</i>	Kawamutsu					0.05
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	Takahaya	0.04			1.15	17.74
<i>Carassius auratus</i>	Gin-buna					0.21
<i>Odontobutis obscura</i>	Donko	0.52				1.51
<i>Cobitis</i> sp. BIWAE type A	Oh-shima-dojyou					0.74
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	Dojyou	0.04				0.20
<i>Tanakia lanceolata</i>	Yari-tanago					0.05
	Total density	0.60	0.00	0.00	1.15	21.97
	Number of species	3	0	0	1	8

Fig. 4. Pond area, water level fluctuation, and distance from the Shigenobu River for each study pond. Mat, Matsubara Spring; Hi, Hirose-gasumi.

Table 3. Results of principal component analysis. Factor loadings of each habitat variable and contribution of each principal component (in parenthesis) are shown.

Habitat variable	PC 1 (34.9%)	PC 2 (21.0%)	PC 3 (15.0%)
Canopy shade (%)	0.778	0.245	0.336
Substrate (%)			
Detritus	0.625	-0.622	0.033
Sand-gravel	0.648	0.493	0.139
Pebble-cobble	-0.703	0.531	0.000
Total cover (%)	-0.006	-0.461	0.489
Bank condition (%)			
Earth bank	0.681	0.466	-0.235
Concrete revetment	-0.266	0.260	0.788

魚類の比較

調査期間中、造成水域を含む12の湧水池において、総計22種の魚類が確認された (Table 4)。広範囲に分布する種はオイカワ、カワムツ、タカハヤ、ギンブナの4種であり、出現頻度で見るとギンブナは12湧水池のうち10で、それ以外の3種は全ての湧水池で生息が確認された。各湧水池における出現種数は、既存湧水池で

Fig. 5. Principal component ordination plot for the study ponds. Mat, Matsubara Spring; Hi, Hirose-gasumi.

は4種 (五反地泉) から14種 (小泉) の範囲であった。造成水域である松原泉では13種と高い値を示した。広瀬霞では9種が確認され、既存湧水池と対比すると、中程度の種数であった。また、旧広瀬水路と比べると1種多い結果となった。旧広瀬水路で確認されたが広瀬霞では確認されなかったものは、ドンコ、ドジョウ、およびヤリタナゴの3種であった。逆に、広瀬霞で新たに確認されたのはコイ、ナマズ、オオヨシノボリ、およびオオクチバスの4種であった。

種数と総生息密度については、概して、重信川からの距離および水位変動と弱い負の関係にあり、川からの距離が近いほど、また、水位変動が小さいほど種数、総生息密度ともに高くなる傾向が見られた (Fig. 6; ただし、有意水準5%で有意な相関は、種数と水位変動の関係のみ)。これら水位変動と距離を考慮して造成水域の種数および生息密度を評価すると (Fig. 6)、松原泉の種数では、川からの距離および水位変動が同程度の既存湧水池と比べても遜色ない高い値であることが示された。一方、広瀬霞では、川から非常に近く水位変動も比較的小さいことを考慮すると、これらの条件が同程度の湧水池と比

Table 4. Fish species found in each study pond, listed in descending order of occurrence. Study ponds are listed in descending order of the number of species from left to right within each pond category (Created: newly created ponds by rehabilitation; Reference: pre-existing ponds). Symbols indicate fish density ($N m^{-2}$): ●, ≥ 1 ; ◎, 1.0–0.1; ○, 0.1–0.01; +, 0.01–0

Latin name	Common name (Occurrence ^a)	Created		Reference									
		Mat	Hi	Ko	Kus	Tat	Be	Me	Oh	Tak	Fu	Ya	Go
<i>Zacco platypus</i>	Oikawa (12)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	◎
<i>Nipponocypris temminckii</i>	Kawamutsu (12)	◎	○	●	◎	◎	○	+	◎	+	◎	+	○
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	Takahaya (12)	○	◎	●	◎	●	●	●	◎	◎	●	●	◎
<i>Carassius auratus</i>	Gin-buna (10)	◎	◎	◎	●	○	●	+		●	◎		◎
<i>Odontobutis obscura</i>	Donko (9)	○		○	○	+	◎	+	○	○	○		
<i>Cyprinus carpio</i>	Koi (7)	○	○	◎	◎		◎			○	○		
<i>Cobitis</i> sp. BIWAE type A	Oh-shima-dojoyou (7)	○	◎	○		○		+		+		+	
<i>Silurus asotus</i>	Namazu (7)	+	+	○	+		+	+			○		
<i>Rhinogobius fluvialtilis</i>	Oh-yoshinobori (6)	○	+	◎	+	●		+					
<i>Pseudogobio esocinus</i>	Kamatsuka (4)	+				+		+	+				
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	Dojoyou (4)	○		○					○			+	
<i>Rhinogobius flumineus</i>	Kawa-yoshinobori (4)			○	◎	◎	+						
<i>Rhinogobius</i> sp. CB	Shima-yoshinobori (4)	○		◎	+	◎							
<i>Tridentiger brevispinis</i>	Numa-chichibu (3)	+		+		○							
<i>Oryzias latipes</i>	Minami-medaka (3)						●	+	+				
<i>Anguilla japonica</i>	Nihon-unagi (3)					+	+		+				
<i>Lepomis macrochirus</i>	Bluegill (2)				○		○						
<i>Micropterus salmoides</i>	Largemouth bass (2)		○				○						
<i>Pseudorasbora parva</i>	Motsugo (2)				○					+			
<i>Tanakia lanceolata</i>	Yari-tanago (1)			+									
<i>Carassius cuvieri</i>	Gengorou-buna (1)				◎								
<i>Plecoglossus altivelis</i>	Ayu (1)					+							
Number of species		13	9	14	13	13	12	10	8	8	7	5	4

^a Number of pond where the species was found

べて種数はやや低めであることが示された (Fig. 6). また同様に, 総生息密度については松原泉, 広瀬霞ともに, 距離および水位変動条件が同程度の既存湧水池と比べてやや低めに位置することが示された (Fig. 6).

考 察

自然再生事業により造成された松原泉と広瀬霞の環境を既存の湧水池と比較した結果, 樹冠被度, 底質, カバー, および岸辺の状態という測定項目から見る限り, 既存の湧水池と類似した環境条件であることが示された (Fig. 5). 造成水域の特徴としては, 松原泉, 広瀬霞ともに水位の安定性が高いことが示され (Fig. 3, 4), また, 広瀬霞では既存湧水池と比べて面積が大きいことも特徴として挙げられる. これら水位の安定性と生息場所サイズは魚類群集の多様性を決める主要な要素であり, 一般

的には, 安定性が高いほど (Horwitz 1978; Schlosser 1987), また, 生息場所サイズが大きいほど (Taylor 1997; Magnuson et al. 1998), 生息種数は豊富になるとされている. このことから, 今回の自然再生事業により, 魚類の生息場所としては好条件を備えた水域が造成されたと言えるであろう. 特に, これらの造成が行われた河川区間は, 表流水がしばしば枯渇する間欠流区間であるため, 枯渇しにくい水域の重要度は高い. 松原泉では, 5年に1度の渇水位に設定された取水位置や地下水位低下時のための別水源の確保, および遮水シートによる伏流の防止といった水量確保への配慮が, 高い水位の安定性をもたらしている. 広瀬霞では, 完全な枯渇をできる限り避けるために掘られた中央部の掘り下げ部位が水位の確保に寄与しているものと思われる.

魚類調査の結果, 松原泉では13種, 広瀬霞では9種の魚類が確認された. 松原泉は既存湧水池の中でも最も

Fig. 6. Total density and number of species in each study pond in relation to distance from the Shigenobu River and water level fluctuation. Mat, Matsubara Spring; Hi, Hirose-gasumi.

魚種の豊富な湧水池の一つと言える。松原泉で確認された13種は、出現頻度の高さでの上位14種からカワヨシノボリを除いた13種に相当し (Table 4)、既存湧水池に生息する魚類の大部分が確認されたことになる。広瀬霞では、出現頻度上位9種のうちのドンコを除く8種が確認されており、湧水池の主要生息魚種を網羅していると言える。ただし、広瀬霞が重信川本流に近接していることと、水位の安定性が比較的高いことを考慮すると、広瀬霞の魚種数はそれらの条件に対してはやや低めとみなされることが示された。また同様に、総生息密度では両水域ともに既存湧水池に比べて低めであることも示された。

本調査は2008年に行ったものであり、今回のデータは松原泉では完成から2年後、広瀬霞では完成の翌年のデータにあたる。Detenbeck et al. (1992) による攪乱後の魚類群集の回復に関する総説や、河川の淵から魚類を除去し、その後の移入・回復過程を検討した Lonzarich et al. (1998) の野外実験によれば、種数の回復は総生息密度の回復に先行して達成されることが示唆されている。今回の松原泉でのデータは、そのような既存知見と合致する。松原泉では造成後2年が経ち、種数では既に十分に移入していたが、総個体数ではまだその収容力に達していない段階だったのかもしれない。広瀬霞のデータは

造成の翌年のものであり、種数、総個体数ともに十分な移入が達成されていない段階を捉えたものであると解釈される。

重信川の高水敷に造成された松原泉は新たな生息場所の創出とみなされるが、広瀬霞では造成以前から水路が存在していたことから、水域生息場所の改変とみなすこともできる。そのような観点から、造成された広瀬霞と旧広瀬水路とで魚類群集を比較すると、出現種数では造成後に1種の増加となったが、一部に生息魚種の入れ替わりが見られた。造成後の広瀬霞では、旧広瀬水路では記録されていないコイ、ナマズ、オオヨシノボリおよびオオクチバスの4種が確認された。これらのうち、オオヨシノボリを除く3種はいずれも体サイズが大型の魚種であり、狭く水深の浅い旧広瀬水路がより広い池状水域に改変されたことで、これら大型種の生息が可能になったものと思われる。

一方で、造成後の広瀬霞では、旧広瀬水路で確認されていたドンコ、ドジョウおよびヤリタナゴの3種が見られなくなり、池の造成によってこれらの種が排除されたようにも見える。しかしながら、旧広瀬水路では総計8種もの魚類が確認されているものの、種構成および生息密度の変動は極めて大きく、1998-1999年に行われた5回の調査のうち2回では魚類は1個体も確認されてい

い. このことから, 旧広瀬水路で見られた魚類群集は下流(重信川)または上流(湧水池)から機会的に移入した個体によって構成されていたものと思われる. つまり, 当時見られた8種の魚類はいずれも旧広瀬水路に定着していたものとは考えにくい. これらのことを考慮すると, 広瀬霞での自然再生事業(水路から池への環境改変)が, ドンコ, ドジョウおよびヤリタナゴの生息地の損失につながったと言いはれ難いであろう. 特にヤリタナゴについては, 1998-1999年の5回の調査のうちの1回でごく低密度(採捕個体数は1個体)で確認されているだけであり, かつ, 1998年以降, 多くの湧水池でその消失が確認されている(藤原ほか 2014). よって, 今回広瀬霞でヤリタナゴが確認されなかったのは, 重信川周辺水域の全体傾向を反映したものと思われる. また, ドンコとドジョウについては, 今回の私たちの調査では確認されなかったものの, 国土交通省による再生事業後のモニタリング調査では, 広瀬霞での生息が確認されている(国土交通省四国地方整備局松山河川国道事務所 私信).

以上, 総じて見ると, 松原泉と広瀬霞は, (1)間欠流区間近傍にあって安定的な水域生息場所を提供しており, また, (2)造成後1-2年の段階で, 他の湧水池に見られる魚種の多くが移入していたことから, 魚類にとっては良好な生息場所として機能していると言えるであろう. ただし, 今回のデータから一点懸念されることは, 広瀬霞において早くもオオクチバスが確認されていることである. 重信川周辺の湧水池でオオクチバスが見られるのは珍しいことではないが, 湧水池に定着する(再生産によって個体群が維持される)例は少ないようである(藤原ほか 2014). 定着阻害要因として, 池サイズの小ささや水温の低さ, 枯渇頻度の高さ等が考えられるが, 広瀬霞の場合, サイズが大きく水位の安定性も比較的高いため, 他の湧水池と比べるとオオクチバスが定着する可能性は高いと推測される. そして, 一度定着すると, その影響は非常に大きい. 森之本泉という湧水池では, オオクチバスの定着により, 他の魚種がほとんど消滅したことが示唆されている(藤原ほか 2014). 今後, オオクチバスの管理には注意を払っていく必要がある.

謝 辞

本研究を進めるにあたり, 愛媛大学に所属していた角崎嘉史氏および小寺信義氏には野外調査のお手伝いやご助言を通して多大なるご協力をいただきました. 国土交通省四国地方整備局松山河川国道事務所からは本自然再

生事業に関する情報をいただきました. 心より感謝申し上げます. また, 有意義なご指摘を下さった2名の査読者にも感謝いたします. 本研究の一部は, 河川環境管理財団(美化・緑化)および環境省環境研究総合推進費(S9)による研究助成により行われたものです.

摘 要

愛媛県松山市近郊を流れる重信川の中流域には小規模な灌漑用湧水池が多数点在している. これらの湧水池は, 水田や河川と用水路でつながっており, 重信川周辺における氾濫原水域の代替生息場所として機能してきた可能性がある. しかし近年, 水路のコンクリート化等により, その環境は大きく変わりつつある. そのような中, 国土交通省による自然再生事業の一環として, 重信川の河道近傍において2006年と2007年に, それぞれ, 湧水池(松原泉)と湿地(広瀬霞)の造成がなされた. 本報告では, 造成直後の2008年における, これら2つの造成水域の環境特性と魚類群集を, 10個の既存湧水池と比較することにより, 魚類の生息場所としての造成水域の特徴を検討した.

樹冠被度, 底質, カバー(魚類の隠れ場所), 岸辺の状態, および水位の安定性を計測して比較したところ, 造成水域の特徴として, 松原泉, 広瀬霞ともに水位の安定性が高いことが示された. 魚類調査の結果, 松原泉では13種の魚類が確認され, 既存湧水池の中でも最も生息魚種が豊富な湧水池の一つであることが示された. 広瀬霞では9種の魚類が確認され, 既存湧水池で見られる主要な生息魚種は移入していることが示された. これらのことより, 今回造成された2つの水域は, 魚類にとっては良好な生息場所として機能していると考えられた. ただし, 広瀬霞ではオオクチバスの生息が早くも確認され, 今後, その管理には注意を払う必要があると考えられた.

引用文献

- DeLury D.B. (1951) On the planning of experiments for the estimation of fish populations. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* **8**: 281-307.
- Detenbeck N.E., DeVore P.W., Niemi G.J. & Lima A. (1992) Recovery of temperate-stream fish communities from disturbance: a review of case studies and synthesis of theory. *Environmental Management* **16**: 33-53.
- 愛媛県立博物館 (1995) 重信川周辺の泉とその生物Ⅱ. 愛媛県立博物館自然科学普及シリーズ 15. 愛媛自然科学教室, 松山.

- 藤原結花・内田有紀・川西亮太・井上幹生（2014）灌漑用湧水池における魚類群集の変化—護岸改修と外来魚に着目した10年前との比較—。応用生態工学 **16**: 91-105.
- 平木茂（2007）重信川自然再生事業「松原泉再生箇所」。四国技報 **7**(13): 20-22.
- Horwitz R.J. (1978) Temporal variability patterns and the distributional patterns of stream fishes. *Ecological Monographs* **48**: 307-321.
- Junk W.J., Bayley P.B. & Sparks R.E. (1989) The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Special Publications in Fisheries and Aquatic Sciences* **106**: 110-127.
- Kawanishi R., Inoue M., Dohi R., Fujii A. & Miyake Y. (2013) The role of the hyporheic zone for a benthic fish in an intermittent river: a refuge, not a graveyard. *Aquatic Sciences* **75**: 425-431.
- 久米学・森誠一（2012）水田・水路生態系における魚類研究の現状と課題：特集を企画するにあたって。応用生態工学 **15**: 269-271.
- Lonzarich D.G., Warren M.L., Elger-Lonzarich M.R. (1998) Effects of habitat isolation on the recovery of fish assemblages in experimentally defaunated stream pools in Arkansas. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **55**: 2141-2149.
- Magnuson J.J., Tonn W.M., Banerjee A., Toivonen J., Sanchez O. & Rask M. (1998) Isolation vs. extinction in the assembly of fishes in small northern lakes. *Ecology* **79**: 2941-2956.
- 中村太士（2013）氾濫の生態的意義。「河川生態学」（中村太士編），pp.191-198. 講談社，東京。
- Schlosser I.J. (1987) A conceptual framework for fish communities in small warmwater streams. In: "Community and evolutionary ecology of North American stream fishes" (eds. W.J. Matthews & D.C. Heins), pp.17-24. University of Oklahoma Press, Norman.
- Taylor C.M. (1997) Fish species richness and incidence patterns in isolated and connected stream pools: effects of volume and spatial position. *Oecologia* **110**: 560-566.
- Uchida Y. & Inoue M. (2010) Fish species richness in spring-fed ponds: effects of habitat size versus isolation in temporally variable environments. *Freshwater Biology* **55**: 983-994.
- 遊磨正秀（2013）農業地帯の水系ネットワーク。「河川生態学」（中村太士編），pp.206-215. 講談社，東京。