

菊池川において氾濫原依存魚種保全を目的に 造成された伏流水流入ワンドの有効性評価

EVALUATION FOR FLOODPLAIN DEPENDENT SPECIES CONSERVATION ON ARTIFICIAL OFF-CHANNEL HABITAT INFLOW GROUNDWATER AT THE KIKUCHI RIVER

皆川朋子¹・岡村麻矢²・鬼倉徳雄³・林博徳⁴・島谷幸宏⁴

Tomoko MINAGAWA, Maya OKAMURA, Norio ONIKURA,
Hironori Hayashi, Yukihiro SHIMATANI

¹正会員 工博 熊本大学大学院准教授 自然科学研究科 環境共生工学専攻社会環境マネジメント講座
(〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪2-39-1)

²学生会員 熊本大学大学院 社会環境工学専攻 (〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪2丁目39-1)

³非会員 九州大学大学院 生物資源環境科学府 アクアフィールド科学研究室 (〒811-3304 福岡県福津市津屋崎 4-46-24)

⁴正会員 九州大学大学院 工学研究院 環境社会部門
(〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地 819-0395 福岡市西区元岡 744 番地ウエスト 2 号館)

This study aims to acquire basic knowledge for the conservation of floodplain dependent species at the Kikuchi river. We investigated water quality, physical environment and fish of the artificial off-channel habitat inflow of groundwater has been constructed in March 2014. The artificial off-channel habitat was confirmed that it is functioning as the habitat of *Cobitis kaibara* and *Lethenteron reissneri* the floodplain dependent species by inflow of groundwater.

Key Words: floodplain, artificial waterbodies, floodplain dependent species,

1. はじめに

国土開発に伴う氾濫原の改変・消失による氾濫原依存種への負の影響を鑑み、河道内において氾濫原的環境としてのワンドやたまり（以下、河道内氾濫原水域とする）の創出が各地で試みられ、魚類の再生産、仔稚魚の生息場としての機能が認められている¹⁾²⁾。一方、課題として、土砂の堆積による埋没や外来種の侵入が報告されている³⁾⁴⁾。

本研究で対象としている熊本県北部を流れる菊池川においては、1947年から2009年までに、砂州上及び支川合流部の河道内氾濫原水域がそれぞれ約42%、40%に減少し、二次流路はほぼ消失した⁵⁾。さらに、堤内地においても圃場整備に伴う用水路の直線化、河岸のコンクリート化によって、氾濫原依存種の生息場は大きく改変され、氾濫原依存種への負の影響が懸念されている。このような中、治水対策としての高水敷切り下げ工事に伴い、氾濫原依存種の保全に資するためのワンドが2014年に造成された（以下、造成ワンドとする）。造成ワンドは、国土交通省河川砂防技術研究開発地域課題分野（河川生態）の一貫として氾濫原依存種の保全を考慮した河道整備の

あり方を検討するための基礎知見を得るため、河道内氾濫原水域の環境構造と生物生息場としての機能の解明を目的に試験的に造成されたものである。

河道内氾濫原水域の環境構造や生息生物は、これまでに本流との接続性（本流と接続しているか、孤立しているか）、位置（上流側、下流側等）、冠水頻度、形状等により異なる⁶⁾⁷⁾ことが示されている他、ワンドへの伏流水の流入についても重要な要因の一つであると考えられる。造成ワンドは、伏流水の流入に着目し、これを考慮し造成されたものであり、水質の維持が図られる他、伏流水の流入が少ないワンドとは異なる氾濫原依存種の生息場としての機能が期待される。これまでワンド等の河道内氾濫原水域の多くは、タナゴ類の保全や出水時の避難場、稚魚の生息場等を目的として造成されているが、伏流水流入ワンドの造成事例や機能評価はほとんど示されていない。そこで本研究では、菊池川において伏流水流入を意図して造成された伏流水がワンドを対象に、環境構造、氾濫原依存種の生息状況及び環境要因との関係を明らかにし、氾濫原依存種保全の観点から機能評価を行い、造成ワンドの有効性を考察した。

2. 伏流水流入ワンド（造成ワンド）の概要

造成ワンドは、セグメント2-1（平均河床勾配約1/2000）の区間における、河口から27.4km付近右岸に造成された（図-1）。本地点は、2013年度に高水敷切り下げ工事が行われた区間内から、河川からの伏流水の流入が期待できる場所として選定された。ワンド下流端に開口部があり本川と接続しており、幅約2m、延長約80mの水路状の区間（以下、水路部）と、その上流側の長径約40m、短径約30mの池状（以下、止水域）の区間からなる。平常時の水深は水路部では約20cm、止水域では60cm、河岸の傾斜は1:0.5～1程度に設定された。

ワンドが造成された区間の河川縦断方向の水位は、瀬を挟むことによって、上下流で約0.5mの差が生じるが、ワンドは開口部が下流端にあり、ワンド内の水面勾配は小さいことから、ワンド内では大きな水位差は生じないと予測される。そのため、河川水位とワンド水位の水位差により、河川からワンドへ流入する伏流水の発生が期待できる。伏流量はワンド規模に比べ小さく、ワンド内の水面勾配の変化は生じにくい。そのため河川とワンド内の水位差は維持され、伏流水のワンドへの流入は継続すると予測される。なお、本区間における瀬は、空中写真による判読から1971年～1984年の間に人工的に造成されたものである。

写真-1に造成直後（2014年3月）及び1年後（2015年3月）の状況を示した。水路部下流側には流水域がみられることから、ワンド内に伏流水が流入していることが確認できる。

3. 方法

（1）調査方法

造成ワンドへの伏流量、ワンド内の環境及び氾濫原依存種の魚介類生息状況に関する定量的データを2014年7月から2014年12月まで概ね月1回の頻度で取得した。調査は、造成ワンド上流側の池状の止水域（止水域）、水路部は、上流側の止水域（水路部上流）と下流側の流水域（水路部下流）に区分し実施した。

水質に関しては、それぞれ区間の中央部において水質計（HORIBA U-52）を用いて水温、濁度、DO、電気伝導度（EC）を3回測定し、その平均値を算出した。また、同位置で採水し、冷暗所で保管して実験室に持ち帰り、SS及びVSSを測定した。物理環境については、各区間に3側線を設定し、水面幅を測定し、水深、流速、河床材料は側線中央部で測定した。流速はプロペラ式流速計（VR-301, KENEK Co., Tokyo, Japan）を用いて、6割水深流速を3回測定し平均値を算出した。河床材料は、50cm×50cmコドラートを設置し、巨礫（240mm以上）、大礫（64～240mm）、中礫（4～64mm）、細礫（2～

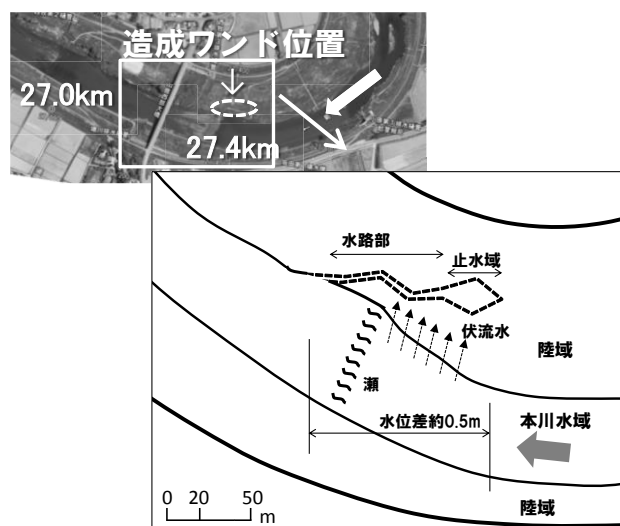


図-1 造成ワンド位置及び平面図



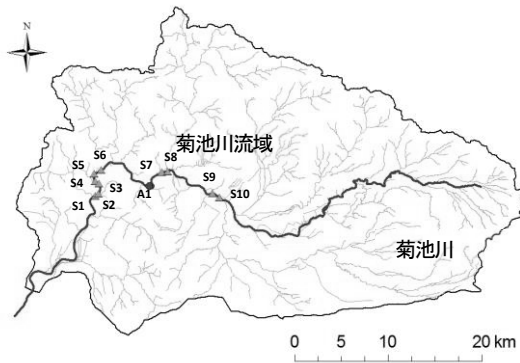
写真-1 造成ワンド（左：造成直後、右：1年後）

4mm）、砂（2mm以下）の面積割合を5%ピッチで読み取った。水際植生は各区間の水際に占める植生の位置をスケッチし、その割合を読み取った。ワンドへの伏流水流入量は、造成ワンドから本川への流出量で代替することとし、水路部下流の流水域に3側線設置し流量観測を行い平均値を算出した。

魚類は1名がエレクトロフィッシャー（スミスルート社 LR-20B）を操作し、2名がタモ網（目合い5mm）で採捕した。採捕した魚類はその場で種を同定し、魚種ごとに写真撮影し、画像から個体数の計数及び標準体長の計測を行った。なお、タナゴ亜科Acheilognathinaeについては、現場あるいは写真からの稚魚の同定が困難であったため、すべてタナゴ類として扱った。なお、二枚貝については、鋤簾を用いて採捕したが、全調査を通して採捕されなかった。

（2）解析方法

造成ワンドの氾濫原依存種生息場としての機能を評価するため、魚類群集の特徴とこれに関与する環境要因について、DCA解析（Detrended Correspondence Analysis：除歪対応分析）をPC-ORD6を用いて行った。用いたデータは、調査から得られた2014年12月における造成ワンドの各魚種の生息密度、環境データ、及びここで示した調査方法と同様の方法で2013年12月に取得した菊池川セグメント2-1に分布するワンド及びたまり10ヶ所（S1～S10）のデータ³⁾である。DCA解析は、地点間の種構



○:造成ワンド(A1) △:ワンド(S1~S10)

図-2 造成ワンド及びワンド・たまりの位置

成の違いを2, 3の主要な変数に要約し, 2次元または3次元空間にプロットする序列化手法であり, 調査地点が持つ種構成を視覚的に把握することができ, 序列化手法の中で最も実際の事象を良く表すといわれている⁸⁾⁹⁾. 図-3に調査地点に最も近い水位観測所(菰田観測所; 河口から23km地点)における水位を示した. ワンド・たまりS1~S10と造成ワンドのデータはそれぞれ2013年と2014年に取得されたものであるが, 伴に調査前に1年確率規模程度の出水を経験しており(図-3), 両年の出水の影響に顕著な違いはないものと判断し解析に用いた.

また, 魚類調査の結果, 造成ワンドでは, 他のワンド・たまりで確認されなかった流水性の氾濫原依存種であるアリアケスジシマドジョウ及びスナヤツメの生息が確認された. そこで, 流水性の氾濫原依存種に着目し, 伏流水流入や生息環境要因との関連を明らかにするため, 2種を対象にそれぞれ生息密度を目的変数, 水質・物理環境データを説明変数としてGLMによるポアソン回帰モデルによる解析を行った. 説明変数は, 既往研究¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾を踏まえ, かつ, 各説明変数間に多重共線性を考慮し, 砂, 細礫の割合, 水深, 流速, 流速の二乗項, 水温, DO, SSとして解析した. 環境要因の採用, 非採用については赤池情報量規準(AIC, Akaike1974)を使ってすべての環境要因の組み合わせでAIC算出し, 最も小さな値をベストモデルとして選択した.

4. 結果

(1) 造成ワンドの環境

図-4に測定された造成ワンドからの流出量と菰田観測所における同日の水位を示す. 調査時の流出量は約2~7 l/s であり, 本川水位と連動し変化していた. 水深(平均値)は水路部上流では0.3~0.7m, 水路部下流では0.1~0.2m, 止水域では約0.6~0.8mであり(図-5), 水路部下流の流速は最大で約0.2~0.4m/sであった. 水温は調査期間を通して本川より2~4℃程度高い傾向がみられたが, 夏季においても顕著な水温の上昇はみられなかった(図

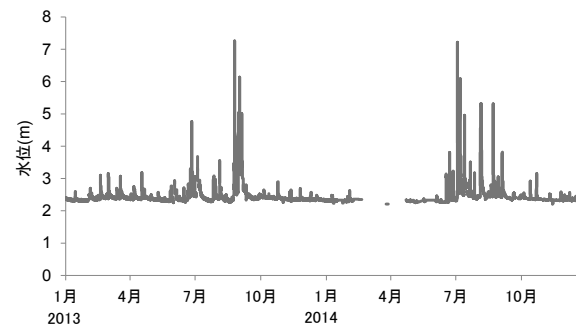


図-3 水位(菰田観測所, 河口から23km地点)

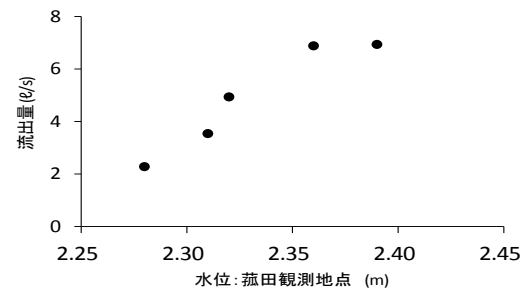


図-4 ワンドからの流出量と本川水位との関係

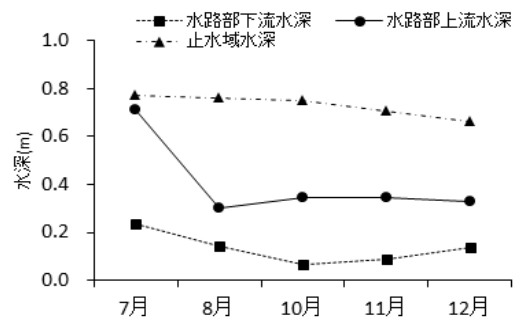


図-5 造成ワンドの水深

-6). ECは7月を除き本川よりも造成ワンドが小さく, 水路部下流区が最も小さい値を示した(図-6). SSに関しても本流より小さかった. DOは止水域及び水路部上流において小さいが, 水路部下流は比較的大きかった(図-6). 河床材料は水路部では砂が優占したが, 時間の経過に伴い細礫及び中礫の割合がやや増加する傾向がみられた. 止水域では上流端付近においてシルトが堆積している箇所がみられた.

(2) 魚類の生息状況

表-1に造成ワンドの水路部, 止水域の確認魚種, 2013年12月におけるワンド・たまりS1~S10における確認魚種, 及びそれらの河川水辺の国勢調査(調査年; 1996, 2001, 2006年, 調査地点; セグメント2 -1区間4地点)における確認状況を示す. 造成ワンドでは, 計17種類の魚類が確認され, アリアケスジシマドジョウ *Cobitis kaibara*, スナヤツメ *Lethenteron reissneri*, タナゴ亜科 *Acheilognathinae*, ツチフキ *Abbottina rivularis*, ミナミメ

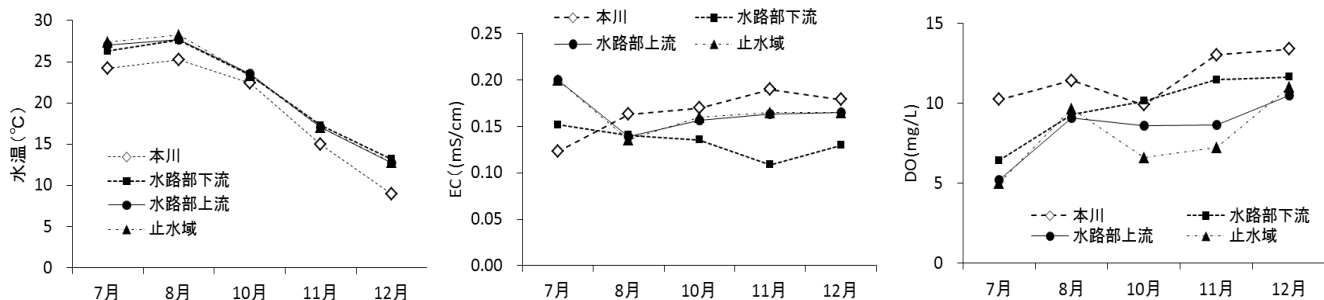


図-6 造成ワンド及び本川の水温, EC, DO

表-1 確認魚種

和名	学名	造成ワンド										既存ワンド S1～S10**	河川水 辺の国 勢調査 ***
		水路部					止水域						
		7月	8月	10月	11月	12月	7月	8月	10月	11月	12月		
アリアケトスジシマドジョウ *	<i>Cobitis kaibara</i>	●	●	●	●								環境省：絶滅危惧ⅠB類
スナヤツメ*	<i>Lethenteron reissneri</i>		●	●	●	●							環境省：絶滅危惧Ⅱ類 熊本県：準絶滅危惧種
タナゴ亜科 *	Acheilognathinae	●		●			●			●		●	環境省、熊本県：絶滅危惧種
ツチフキ*	<i>Abbottina rivularis</i>	●	●	●	●	●		●	●		●	●	環境省：絶滅危惧ⅠB類
ドジョウ *	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>		●			●						●	環境省：情報不足
ミナメダカ *	<i>Oryzias latipes</i>	●				●			●				環境省：絶滅危惧Ⅱ類
ギンブナ *	<i>Carassius auratus langsdorfii</i>				●				●		●	●	
コイ *	<i>Cyprinus carpio</i>										●	●	●
ドンコ *	<i>Odontobutis obscura</i>		●	●	●	●		●	●			●	
イトモロコ	<i>Squalidus gracilis gracilis</i>	●	●	●			●	●				●	●
オイカワ	<i>Zacco platypus</i>	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●
カマツカ	<i>Pseudogobio esocinus esocinus</i>	●	●	●	●	●					●	●	
カワムツ	<i>Zacco temminckii</i>			●								●	●
ムギツク	<i>Pungtungia herzi</i>			●									●
オヤニラミ	<i>Coreoperca kawamebari</i>										●		
カダヤシ	<i>Gambusia affinis</i>				●	●		●	●	●		●	特定外来生物
カムルチー	<i>Channa Argus</i>										●		要注意外来生物
ブルーギル	<i>Lepomis macrochirus</i>										●	●	特定外来生物

* 氾濫原依存種¹³⁾

** 2013年12月調査

*** 河川水辺の国勢調査確認種 (調査年: 1996, 2001, 2006, 調査地点: セグメント2-1区間の調査地4地点 (白石頭首工下流, 竈門大橋, 山鹿大堰下流, 分田橋))

ダカ *Oryzias latipes* の計5種は環境省により絶滅危惧種に指定されている種, カダヤシ *Gambusia affinis*, ブルーギル *Lepomis macrochirus* の2種は特定外来生物, カムルチー *Channa Argus* は要注意外来生物に指定されている種であった。氾濫原依存種¹³⁾は, アリアケスジシマドジョウ, スナヤツメ, タナゴ亜科, ツチフキ, ドジョウ *Misgurnus anguillicaudatus*, ミナミメダカ, ギンブナ *Carassius auratus langsdorfii*, コイ *Cyprinus carpio*, ドンコ *Odontobutis obscura* の計9種であった。なお, 外来種にも氾濫原依存種は存在するが, ここでは国内・国外外来種を除いた在来種のみを氾濫原依存種として示している。

氾濫原依存種のうち, アリアケスジシマドジョウとスナヤツメは, 流水性の氾濫原依存種¹³⁾であり, 造成ワンド水路部下流の流水域で多く確認された。アリアケスジシマドジョウに関しては7月には抱卵個体, 8月には稚魚が多く確認されたが (図-7), 11月には1個体のみ, 12月には確認されなかった。スナヤツメに関しては, 8月から12月までの間に水路部下流において, 8月は6個体,

10月は2個体, 11月及び12月は各1個体が確認された。

(3) 造成ワンドの魚類群集の特徴と環境要因

DCA解析の結果を図-8に示す。砂州上のワンドS1, S2, S3, S4, S6及び砂州上のたまりS5は第4象限に, 高水敷上のワンドS8, S9及び高水敷上のたまりS10は第1象限に, 高水敷上のワンドS7は第2象限にプロットされ, 魚類群集構造は氾濫原水域のタイプ別⁵⁾に異なる傾向がみられた。造成ワンド止水域と水路部上流は, S1~S6に近い位置にプロットされたが, 水路部下流は, それらとは異なり, 第3象限と第4象限の間にプロットされ, その魚類群集には流速が寄与していた。

GLMによる解析結果を表-2に示す。アリアケスジシマドジョウのモデルに選択された説明要因は, 水温, 流速, 流速の二乗項, スナヤツメは, 流速, DO, 流速の二乗項が選択された。

5. 考察

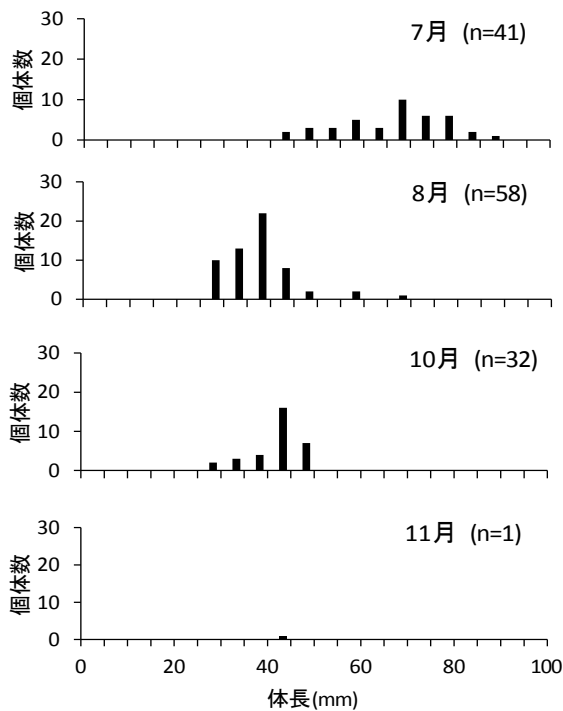


図-7 アリアケスジシマドジョウの標準体長ヒストグラム

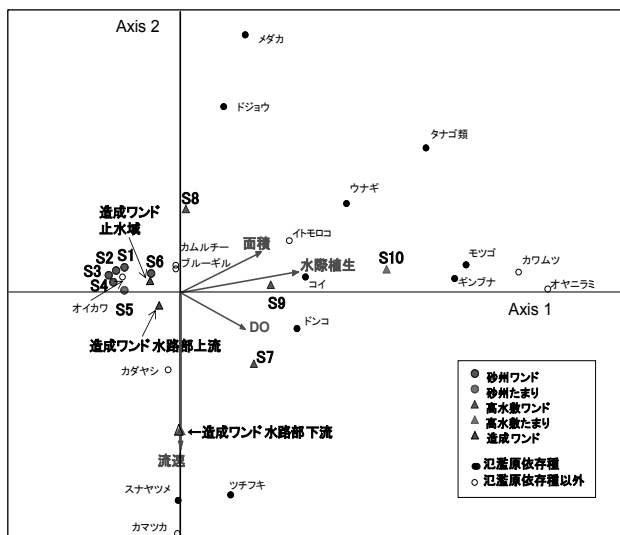


図-8 DCA解析の結果

造成ワンドからの流出量は本川水位に対応して変化し（図-4），設計の意図通りにワンド内に河川水が伏流しているものと考えられた。また，夏季におけるワンド内の水温に大幅な上昇はみられず，EC，SSに関しては本川よりもワンドの方が小さい傾向がみられる等（図-6），伏流水の流入によってワンド内の水温の上昇が抑制され，水質が維持されているものと考えられた。

造成ワンドでは，造成からわずか9ヶ月後の2014年12月までの間に氾濫原依存種9種を含む計17種の魚種が確認された。セグメント2-1区間における河川水辺の国勢調査地点で確認されている氾濫原依存種は4種のみであるが，造成ワンドでは，これらに加え，ツチフキ，ミナミメダカ，ドンコ，アリアケスジシマドジョウ，スナヤ

表-2 GLMによるモデル選択結果

Response variable	Explanatory variables	
	アリアケスジシマドジョウ	スナヤツメ
(Intercept)	-34.475 ***	-1.343
水温	19.713	-
DO	-	-1.203
SS	-	-
細砂	-	-
砂	0.065 ***	-
流速	11.688 ***	22.114 *
流速の二乗項	-5.890 ***	-10.568 *
AIC	219.6	41.3

Significance level of parameters

*** : $P < 0.001$, * : $P < 0.05$

表-3 氾濫原依存種の生息環境，好適流速，産卵環境¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾

和名	好適流速		生息場所		産卵環境		
	流水	止水	恒久的水域	氾濫原水域	植生域	泥底	砂礫底 二枚貝
アリアケスジシマドジョウ	●			●			●
スナヤツメ	●			●			●
タナゴ亜科	●			●			●
ツチフキ		●		●		●	
ドジョウ		●		●		●	
ミナミメダカ		●		●	●		
ギンブナ	●	●	●	●	●		
コイ		●	●	●	●		
ドンコ	●	●	●	●	●		

ツメの5種が確認された（表-1）。また，造成ワンドで確認された氾濫原依存種のうち，アリアケスジシマドジョウとスナヤツメは流水性の種であった。DCA解析の結果からも，造成ワンド水路部下流は，S1～S10のワンドやたまりとは異なる魚類群集が形成されていることが示された。既存のワンドやたまりでは止水性の氾濫原依存種が主に確認されたのに対し，造成ワンドでは止水性の氾濫原依存種に加え，流水性の氾濫原依存種の生息場として機能していることが確認された。現在，河道に二次流路がほぼ消失していることから⁵⁾，伏流水が流入するワンドの造成は，特に流水性の氾濫原依存種の保全に寄与するものと期待される。

表-3に氾濫原氾濫原依存種9種の生息環境，好適流速，産卵環境¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾を示す。アリアケスジシマドジョウに関しては，7月には産卵場として，8月には稚魚の生育場として機能していることが示唆された（図-7）。シマドジョウに関しては砂礫底に産卵することが知られ，寒冷的な時期には植生カバー率の高い水域に移動することが報告されている¹⁰⁾。GLMによるモデル選択においては，水温，砂の割合，流速が選択されており，水温が高い7月に砂が優占するワンド水路部下流の流水域に侵入し産卵場として利用し，その後，稚魚が生息場として利用し，水温が低下する11月以降はワンドから移動したのと考えられた。これまでアリアケスジシマドジョウの産卵場について定量的に示されている研究はなく，造成ワンドの流水域が産卵場として利用されていることが示唆されたことは，今後，絶滅危惧IB類であるアリアケスジシマドジョウの保全を図る上で有用な知見になるものと評価される。一方，スナヤツメに関しては，DO，流速が選択

された。スナヤツメの生息には細かい砂材料及び比較的高い溶存酸素濃度の水、緩やかな流速等が必要であることが報告されており¹¹⁾¹²⁾、流速に関してはこれらと一致していた。DOについては負の回帰係数として選択されたが、その要因として、DOは水温に影響を受けるため、スナヤツメが多く確認された8月は水温が高くDOは低く、1個体のみ確認された11月、12月は水温が低くDOが大きいたことが影響したものと考えられた。砂の割合は選択されなかったが、調査地点において砂の割合のばらつきが小さいことが要因として考えられた。

造成ワンドにおいても、多くの河川でワンド造成における課題としてあげられている外来生物が確認された。菊池川においては、造成ワンドで確認した2種の特定外来生物、1種の要注意外来生物の他に、特定外来生物ではブラックバス*Micropterus salmoides*、要注意外来生物ではグッピー*Poecilia reticulata*、ナイルティラピア*Oreochromis niloticus*及びジルティラピア*Tilapia zillii*が河川水辺の国勢調査により確認されている。これらの種の生息場、産卵場にならないよう配慮した設計を行う必要がある。

また、造成ワンドではワンド本川側（左岸側）の一部において、出水時の土砂移動に伴う埋没が確認されている。伏流水の流入が期待でき、かつ、ある期間持続するワンドの造成場所について今後検討していく必要がある。

6. まとめ

本研究は、菊池川において伏流水流入を意図して造成されたワンドにおける氾濫原依存種の生息状況、及び成立している環境構造との関係を明らかにし、氾濫原依存種保全の観点から機能評価を行い、造成ワンドの有効性を考察した。その結果、以下が明らかになった。

- ①河川水位とワンド水位に水位差が生じる場所にワンドを造成することにより、伏流水が流入するワンドが形成された。
- ②伏流水流入により、水温、水質の維持が図られた。
- ③伏流水流入によりワンドに流水域が形成され、止水性の氾濫原依存種のみでなく、流水性の氾濫原依存種であるアリアケスジシマドジョウ及びスナヤツメの生息場として機能した。特にアリアケスジシマドジョウに関しては産卵場及び稚魚の生息場として機能することが示唆された。
- ④水路部流水域の魚類群集は、造成ワンドが含まれるセグメント2-1における10ヶ所のワンド・たまりとは異なるものであり、氾濫原依存種の保全に貢献するものと考えられた。
- ⑤ワンド造成における課題として外来種の侵入と土砂に

よる埋没をあげた。

以上の知見は、今後菊池川のみならず氾濫原依存種保全を目的としたワンド造成のための設計に有用な情報を提供するものと考えられた。

謝辞：菊池川における空中写真や測量データ等、多くの資料を提供して頂きました国土交通省菊池川河川事務所の皆様、現地調査にご協力頂きました熊本大学流域環境デザイン研究室の皆様に深く感謝の意を表します。なお、本研究は、国土交通省河川砂防技術研究開発地域課題分野（河川生態）の一部として行われたものである。

参考文献

- 1) 中島淳, 江口勝久, 乾 隆帝, 西田高志, 中谷祐也, 鬼倉徳雄, 及川信：宮崎県北川の河川感潮域に造成した人工ワンドにおける魚類、カニ類、甲虫類の定着状況。応用生態工学, No.11, pp.183-193, 2008.
- 2) 傳田正利, 天野邦彦, 辻本哲郎：一時的水域の魚類群集多様性向上への寄与とそれを支える物理環境に関する研究, 土木学会論文集, Vol.62, pp.340-358, 2006
- 3) 君塚芳輝：多摩川中流域人工造成ワンドの推移と魚類相, 環境工学研究論文集, 第35巻, pp.285-293, 1998.
- 4) 綾史郎：河川環境の現況と課題—淀川の水辺から—, ながれ 31, pp.3-12, 2012.
- 5) 皆川朋子, 恒崎大輔：菊池川河道内氾濫原の水域再生のための基礎研究, 河川技術論文集, 第20巻, pp.271-276, 2014.
- 6) Negishi JN, Sagawa S, Kayaba Y, Sanada S, Kume M, Miyashita T: Mussel responses to flood pulse frequency: testing the role of local habitat conditions, *Freshwater Biology*, 57, pp.1500-1511, 2012
- 7) 都築隆禎, 竹下邦明, 三橋弘宗, 石井正人：高水敷掘削によるワンド造成の効果と本川への接続形状が生物群集に及ぼす影響, 河川技術論文集, 第16巻, pp.173-178, 2010.
- 8) 山中武彦, 浜崎健児, 嶺田拓也：生物・社会調査のための統計入門：調査・研究の現場から(その9)—序列化する(対応分析, 除歪対応分析, 正準対応分析)—, 農業土木学会誌, 第73巻, pp.319-324, 2005.
- 9) 加藤和弘：生物群集分析のための序列化手法の比較研究, 環境科学会誌, 第8巻, pp.339-352, 1995.
- 10) 永山滋也, 根岸淳二郎, 久米学, 佐川志郎, 塚原幸治, 三輪芳明：農業用の水路における季節と生活史段階に応じた魚類の生息場利用, 応用生態工学15(2), pp.147-160, 2012.
- 11) 小林朋道：樋門近くの河川敷に創出された水辺へのスナヤツメとアカハライモリの定着・繁殖, 鳥取県立博物館研究報告, pp.1-5, 2010.
- 12) 渡辺亮一, 山崎惟義, 島谷幸宏, 河口洋一：裂田水路における河床材料の変化が絶滅危惧種スナヤツメに与える影響に関する研究, 環境工学研究論文集, 第44巻, pp.67-73, 2007.
- 13) 中島淳, 島谷幸宏, 巖島怜, 鬼倉徳雄：魚類の生物学的指数を用いた河川環境の健全度評価, 河川学論文集, 第16巻, pp.449-454, 2010.

(2015. 4. 3受付)