

氾濫原依存種保全の観点からみた 高水敷緩傾斜掘削の評価-菊池川を事例として-

EVALUATION OF EXCAVATED GENTLE SLOPE OF FLOOD-CHANNEL
FROM THE VIEWPOINT OF CONSERVATION OF FLOODPLAIN-DEPENDENT
SPECIES IN THE KIKUCHI RIVER

上杉幸輔¹・伊東麗子²・皆川朋子³
Kosuke UESUGI, Reiko ITO, Tomoko MINAGAWA

¹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)

²非会員 株式会社九州開発エンジニアリング 技術部 (〒862-0912 熊本県熊本市東区錦ヶ丘33番17号)

³正会員 工博 熊本大学大学院准教授 先端科学研究部 環境科学部門 水圏環境分野
(〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪2丁目39-1)

We focused on flood channel excavation that forms a gently sloping surface for preventing redeposition of soil and investigated a flood channel that has passed more than 2 years after the excavation to evaluate the riparian area's function as habitat of floodplain-dependent species (plants, fishes) in the Kikuchi river.

As a result, floodplain dependent species were found due to be created an area its relative elevation from ordinary water level is low and an intricate river side. It was found from the result that the excavation had a good influence on creating habitats of floodplain dependent species and the stumpig contributes to create the fluvial lagoon. However it was suggested that exclusion of an alien species must also be considered in addition to conservation of floodplain dependent species because some alien species invaded and became established.

Key Words : floodplain dependent species , flood channel excavation , plants, fishes, the Kikuchi river

1. はじめに

氾濫原は、魚類の産卵場や仔稚魚の生息場、植物の生育場としての機能を有しており、動植物にとって重要な役割を果たしてきた。しかしながら、堤防整備や堤内地の市街化により河川と氾濫原は分断化し、氾濫原的環境は改変・消失し、氾濫原的環境は河道内（堤外地）に限定されつつある¹⁾。これらにより氾濫原的環境に依存して生育生息する動植物（以下、氾濫原依存種）が激減しており、氾濫原的環境の再生は緊急に対処すべき課題とされている²⁾。氾濫原的環境の再生においては、市街化した堤内地において氾濫原を再生させることは難しいことから、河道内で氾濫原的環境を保全・創出することが求められ、各地でワンドやたまりの創出が行われている。

一方、河川整備においては、地球温暖化による降雨強度の増加が見込まれ、高水敷切り下げ等による治水対策の必要性が高まっている。しかしながら、高水敷掘削に

関しては、数年程度で土砂が再堆積し、河積阻害となる植生の侵入を助長する³⁾などの課題が指摘されている。このことから、近年、土砂の再堆積や植生遷移の抑制を考慮し高水敷を緩やかな勾配で切り下げる方式（以下、緩傾斜掘削）が菊池川をはじめ、いくつかの河川で実施されている。このような緩傾斜掘削を環境面からみると、水域と陸域を結ぶエコトーンが創出され、氾濫原依存種の生息に寄与する可能性がある。これまで緩傾斜掘削に関しては、掘削後の植生遷移の状況、切り下げ厚と植生変化の関係などに関しては報告されているが⁴⁾⁵⁾⁶⁾、氾濫原依存種の生息場としての観点からは評価されていない。また、魚類の生息場としての評価に関する報告はほとんどみられない。

そこで本研究では、治水・環境面から期待される高水敷緩傾斜掘削のあり方や設計に活かすための基礎的知見を得ることを目的に、熊本県を流れる菊池川で実施された緩傾斜掘削を例に、環境面に着目して氾濫原依存種は植生、魚類を対象に生育生息場としての評価を行った。

2. 研究対象地区と緩傾斜掘削の概要

菊池川は、熊本県阿蘇市深葉（標高1,041m）に源を発し有明海に注ぐ、幹川流路延長71km、流域面積996km²、支川数69の一級河川である。本研究では、氾濫原依存種が多く生育・生息するセグメント2-1における高水敷緩傾斜掘削工事が実施された区間で、河口から29~30.4kmの鍋田地区（河床勾配約1/1000）と27.2~28kmの西牧地区（河床勾配約1/500）を対象とした。鍋田地区では2010~2013年、西牧地区では2013年に、それぞれ右岸高水敷の緩傾斜掘削（掘削勾配1:50）が実施された（図-1、2）。

3. 研究方法

(1) 植生

植生の分布状況と環境要因を把握するため、鍋田地区では測線を29km地点から0.1km毎に16本、西牧地区では27.2km地点から0.1km毎に9本設定した（図-1）。各測線上に水際から5~10m間隔でコドラート（1m×1m）を設置し、出現種の同定と5%ピッチで被度の記録を行い、被度が5%以下の植物は確認種の同定のみ行った。

また、植物の生育環境を把握するため、表層土壌の含水率、粒度組成、標高を測定した。表層土壌は、コドラート内の表層から約5cmの土砂を採取し、実験室に持ち帰った。標高は、コドラート中央においてRTK-GPS測量（Trimble R4 GNSS）を行い測定した。鍋田地区は2015年10月22、23日に、西牧地区は2016年10月20日に調査を実施した。

緩傾斜掘削後の植生の特徴を把握するため、植生調査より得られた各コドラート内の植物の被度を用いてTwo-way クラスタ分析（重心法）を行った（PC-ORD ver.6）。その際、コドラート内の被度が5%未満、出現頻度が5未満の植生は除いて解析を行った。また、植物とこれに関与すると考えられる環境要因（比高差、摩擦速度、河床材料等）との関係について検討した。平水位からの比高差は、掘削後の横断測量データを用いて平水流量時（21.6m³/s）の水理計算を行い平水位を求め、現地調査で得られた標高との差（平水位比高）を算出した。また、摩擦速度については、平均年最大流量時（1422.5m³/s）の水理計算を行い摩擦速度を算出した。なお、水理計算には、河川シミュレーションソフトiRIC（ver.2.2 Nays2D）を用いた。

(2) 魚類

水際域に一区間15m~25mで水際から1mの範囲の調査区間を、鍋田地区では6区間（E1, E2, E3, E4, E5, E6）、西牧地区では3区間（L1, L2, L3）を設定し、エレクトロフィッシャー（スミスルート社 LR-20B）とたも網を用いて魚類を採捕した。また、鍋田地区の水際域に

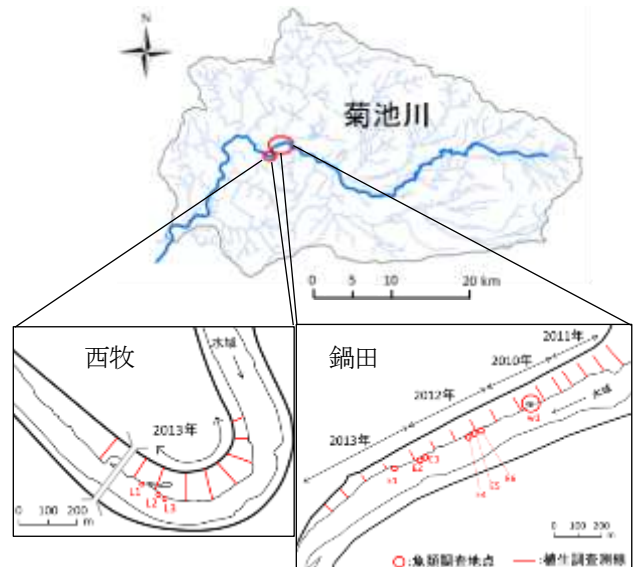


図-1 調査対象地点

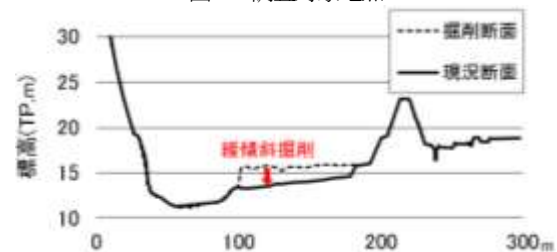


図-2 緩傾斜掘削後の横断面図（29.8km地点）

は、浸食によって形成されたワンドが確認されたことから、W1（ワンド）として魚類を採捕した。また魚類の生息に関与する環境要因として、水温、DO、水深、流速、河床材料（巨礫、大礫、中礫、細礫、砂以下）、入り組み度（直線距離に対する水際線延長の比）、水際植生率を測定した。入り組み度はUAVを用いて撮影した空中写真からキルビメーターを用いて水際線延長を測定し、直線距離との比で算出した。調査は、鍋田地区は2015年10月に、西牧地区は2016年1月に実施した。また、入り組み度に関しては、撮影した空中写真及び国土交通省菊池川河川事務所が1984年、1996年、2005年、2011年、2013年に撮影した空中写真（菊池川管内航空レーザ測量、国土交通省菊池川河川事務所）から水際線延長を測定し経年変化についても把握した。

氾濫原依存種の生息環境要因を把握するため、目的変数を氾濫原依存種の種数、説明変数を氾濫原依存種の生息に影響を与えると考えられる平均水深、平均流速、河床材料の割合（砂以下）、入り組み度として重回帰分析を行った（エクセル統計2010）。説明変数の選択にあたっては、ステップワイズ法の変数増減法を用いた。

4. 結果

(1) 植物（氾濫原依存種）の生育場としての機能評価

植生調査の結果、鍋田地区で87種が確認され、うち氾

濫原依存種が9種確認された(表-1)。ここで、本研究では攪乱に依存して生育する種として、氾濫原依存植物を湿性の1, 2年生植物とした。重要種は、熊本県の準絶滅危惧種に選定されているセイタカヨシ、環境省の準絶滅危惧種、熊本県の絶滅危惧Ⅱ類に選定されているタコノアシの2種であった。外来種は23種確認され、そのうち、特定外来生物であるオオフサモ、ナガエツルノゲイトウ、ブラジルチドメグサ、ミズヒマワリの4種を含む生態系被害防止外来種が17種確認された。特に、鍋田地区の水際のほぼ全体にわたってナガエツルノゲイトウ、ブラジルチドメグサ、ミズヒマワリの3種が繁茂している状況が確認された(写真-1)。西牧地区では、50種が確認され、うち氾濫原依存種が6種、外来種が17種確認された。水際に特定外来生物の繁茂は見られなかった。

植物群落についてTwo-wayクラスター分析により類型化を行ったところ、調査地点がTypeA~Gの7タイプに分類された。先行の研究⁸⁾⁹⁾で植生の分布に影響を与えるとされている物理環境(平水位比高、摩擦速度、河床材料)についてタイプごとに示す(図-3)。TypeA, B, Cは平水位比高が高く(それぞれ約1.22m, 0.97m, 0.82m),

TypeE, F, Gは平水位比高が低く(それぞれ約0.12m, 0.31m, 0.32m), A-D, E, F, G間, B-E, G間, C-E間に危険率1%で, B-F間, C-G間に危険率5%で有意な差がみられた(Tukey-Kramer法)。TypeDは平水位比高が約0.46mでありTypeA~CとTypeE~Gのおよそ中間であることからTypeA~Cは陸域, TypeDは水際域から陸域にかけての遷移帯, TypeE~Gは水際域に生育する種に分類できる(表-2)。摩擦速度に関しては, TypeA, Bが小さく(それぞれ約0.087m/s, 0.10m/s), TypeDが大きい(約0.15m/s)地点であり, A-C, D, E, F間, B-C, D, E間, D-G間に危険率1%で, A-G, B-F, C-G間に危険率5%で有意な差がみられた(Tukey-Kramer法)。河床材料は, TypeCのみ粗く, 他のタイプは約80%以上を砂以下の河床材料が占めており, 細かい土砂が堆積していた。また, タイプごとに指標値(IndVal値)を算出し指標種の選定を行った(表-2)。なお, ここでは, 裸地もそのタイプを特徴づけるものとして他の植物と同様にIndVal値を算出した。TypeAではアレチハナガサをはじめ陸域に生育する外来種の優占が確認された。TypeBは主に陸域に生育し他種との競合に強く, 洪水に対する抵抗力も強い⁷⁾

表-1 確認された氾濫原依存種

和名	学名	鍋田地区	西牧地区
アキノウナギツカミ	<i>Persicaria sagittata</i> (L.) H.Gross var. <i>sibirica</i> (Meisn.) Miyabe	● (8)	
クサネム	<i>Aeschynomene indica</i> L.	● (1)	
ケイヌビエ	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P.Beauv. var. <i>aristata</i> Gray	● (8)	
ゴキヅル	<i>Actinostemma tenerum</i> Griff.	● (7)	● (2)
タマガヤツリ	<i>Cyperus difformis</i> L.		● (1)
チョウシタデ	<i>Ludwigia epilobioides</i> Maxim.	● (3)	
ムカキビ	<i>Odontobutis obscura</i>	● (24)	● (8)
ミゾソバ	<i>Persicaria thunbergii</i> (Siebold et Zucc.) H.Gross	● (23)	● (1)
ムシクサ	<i>Veronica peregrina</i> L.		● (1)
ヤナギタデ	<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Delarbre	● (59)	● (16)
ヤノネグサ	<i>Persicaria muricata</i> (Meisn.) Nemoto	● (1)	

○は確認された地点数



写真-1 ブラジルチドメグサの繁茂 (鍋田地区)

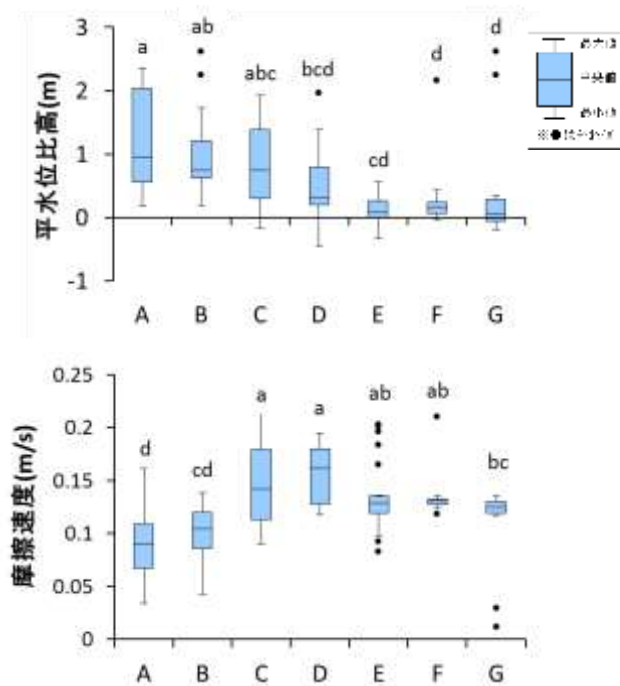


図-3 タイプ毎の平水位比高(上)と摩擦速度(下)

表-2 区分された植生タイプの優占種

Type	優占種	IndVal値	分類
A	アレチハナガサ	42.2	陸域
B	オギ	76.1	
C	裸地	75.1	
D	ツルヨシ	87.0	遷移帯
E	ヤナギタデ	64.6	水際域
F	キシュウスズメノヒエ	90.2	
G	ミゾソバ	68.5	

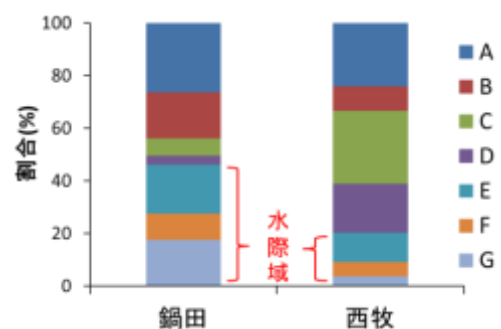


図-4 鍋田、西牧地区におけるタイプ割合

オギが優占した。TypeCには優占種ではないが、コド
ラート内の植被率が低い裸地が分類された。TypeDは水
際から砂質の湿地にかけて生育するツルヨシが優占した。
TypeEは氾濫原依存種であるヤナギタデが優占した。
TypeFはすべての地点でキシウスズメノヒエが確認さ
れ、湿性植物のヤナギタデ、タコノアシも確認された。
TypeGは多くの地点で氾濫原依存種のみゾソバが確認さ
れ、特定外来生物であるブラジルチドメグサ、ナガエツ
ルノゲイトウ、ミズヒマワリも確認された。図-3と表-2
より、氾濫原依存種は主に水際域（TypeE~G）に生育し、
平水位比高が約0.3m以下、摩擦速度が約0.1~0.4m/sの領
域で生育していることが確認された。また、鍋田地区の
調査地点の約50%が氾濫原依存種が主に生育する水際域
（TypeE~G）に分類されたのに対し、西牧地区は約20%
であった（図-4）。

(2) 魚類（氾濫原依存種）の生育場としての機能評価

a) 魚類の生息状況

鍋田地区の水際、ワンド、西牧地区の水際で確認され
た魚類を表-3に示す。鍋田地区の水際では13種、うち氾
濫原依存種¹⁰⁾がスナヤツメ、ツチフキ、ドジョウ、ミナ
ミメダカ、ヤリタナゴ、ギンブナ、コイ、ドンコの8種
確認され、西牧地区の水際では6種、うち氾濫原依存種
がツチフキ、ギンブナ、ドンコの3種確認された。氾濫
原依存種のうち重要種はスナヤツメ（環境省：絶滅危惧

Ⅱ類）、ツチフキ（環境省：絶滅危惧ⅠB類）、ドジョ
ウ（環境省：情報不足）、ミナミメダカ（環境省：絶滅
危惧Ⅱ類）、ヤリタナゴ（環境省、熊本県：準絶滅危惧）
の5種であった。

b) 氾濫原依存種の生息要因把握

氾濫原依存種の生息要因を把握するために、水際部と
ワンドの魚類調査の結果を用いて行った重回帰分析の結
果を以下に示す。

$$y = 10.0423x_1^{**} + 0.1686x_2^{*} - 11.9852^{**}$$

$$(R^2 = 0.7352, *, P < 0.05, **, P < 0.01)$$

ここで、y: 氾濫原依存種の種数、 x_1 : 入り組み度、 x_2 : 平均
水深（cm）、 R^2 : 自由度修正済み修正決定係数である。
重回帰分析の結果、氾濫原依存種の種数には入り組み度
と平均水深とは有意に正の関係を示した。また、説明変
数が目的変数に与える影響の大小を表す標準偏回帰係数
の値は、入り組み度（ x_1 ）が0.83、平均水深（ x_2 ）が0.52
であった。図-5に各調査区（ワンド（W1）を除く）の氾
濫原依存種の種数と寄与が大きかった入り組み度との関
係を示す。入り組み度が1.3以上で氾濫原種数が最大の6
種となっていることが読み取れる。

図-6に鍋田地区の水際全体の入り組み度の経年変化を
示す。高水敷の緩傾斜掘削が実施されるまでの約30年間
は入り組み度に大きな変化はみられないが、緩傾斜掘削
が行われた2010年以降入り組み度は大きく増加したこと
がわかる。

表-3 確認魚種

和名	学名	備考	鍋田地区							西牧地区		
			E1	E2	E3	E4	E5	E6	W1	L1	L2	L3
スナヤツメ*	<i>Lethenteron reissneri</i>	環境省：絶滅危惧Ⅱ類	●									
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	●				●		●			
ミナミメダカ*	<i>Oryzias latipes</i>	環境省：絶滅危惧Ⅱ類	●					●				
ヤリタナゴ*	<i>Tanakia lanceolata</i>	環境省、熊本県：準絶滅危惧種						●				
ギンブナ*	<i>Carassius auratus langsdorffii</i>		●	●	●	●	●	●	●		●	
コイ*	<i>Cyprinus carpio</i>							●				
ドンコ*	<i>Odontobutis obscura</i>		●	●	●	●	●	●	●	●		●
オイカワ	<i>Zacco platypus</i>			●	●	●	●	●			●	●
カマツカ	<i>Pseudogobio esocinus</i>									●	●	●
カワムツ	<i>Nipponocypris temminckii</i>		●			●	●	●	●	●	●	●
トウヨシノボリ	<i>Rhinogobius kurodai</i>					●	●	●				
カダヤシ	<i>Gambusia affinis</i>	生態系被害防止外来種(特定外来生物)	●	●	●	●	●	●	●			
カワスズメ	<i>Cichlidae</i>	生態系被害防止外来種			●		●	●				
氾濫原依存種			6	3	3	2	4	6	4	2	2	2
氾濫原依存種以外			2	2	3	4	5	4	2	2	2	2

*: 氾濫原依存種

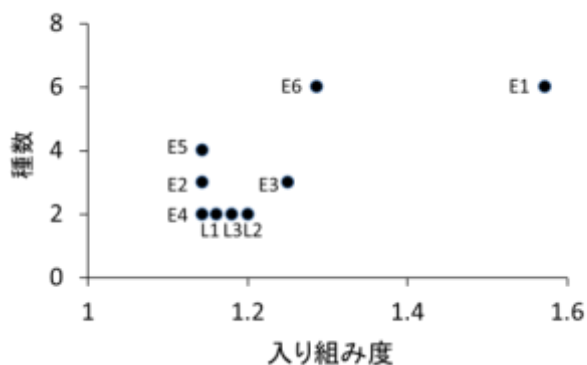


図-5 氾濫原依存種の種数と入り組み度の関係

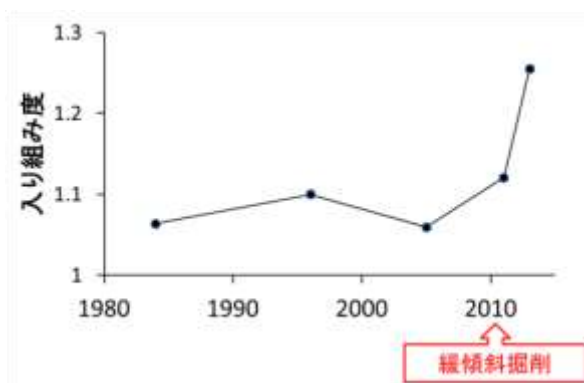


図-6 鍋田地区の入り組み度の経年変化

5. 考察

(1) 植物（氾濫原依存種）の生育場としての機能評価

a) 氾濫原依存種の生育状況及び植生遷移

氾濫原依存種は鍋田において9種確認され、氾濫原依存種の生育場として機能していることが明らかになった。一方、西牧では氾濫原依存種が6種確認されたものの、ヤナギタデ、ヌカキビを除く4種は1地点または2地点でしか確認されなかった。Two-wayクラスター分析の結果からも、氾濫原依存種の生育が確認された水際域（TypeE~G）に分類されたのは主に鍋田の調査地点であり、西牧は裸地が維持されているTypeC、ツルヨシが優占するTypeDに多く分類されたことがわかる。これは、鍋田より西牧の方が河床勾配が急であり、同じ比高でも西牧の方が摩擦速度が大きくなり、出水時の攪乱により氾濫原依存種が流失し、洪水に対する抵抗力の強い⁷⁾ツルヨシだけが流されずに残っているためと考えられる。つまり、河床勾配が急で、摩擦速度の大きい西牧の水際は、鍋田に比べ氾濫原依存種の生育場としての機能は低いことが示唆された。ただし、鍋田の水際は植物が密生しており、今後土砂がさらに堆積し、現在は陸域で優占しているオギや陸生の外来種が水際域に侵入し遷移が進むことで氾濫原依存種の生育場が失われる可能性も考えられる。さらに、鍋田水際では木本種のオオタチヤナギの生育も確認されており、今後出水により攪乱・更新されなければ樹林化が進むと考えられる。つまり、氾濫原依存種の生育場創出も目的に高水敷を掘削する際には、生育に適した平水位比高まで掘削するだけではなく出水時の掃流力も併せて考慮し、河床勾配の緩い地点では水際に構造物を設置するなど掃流力を増大させる工夫が必要であると考えられた。

b) 水際域における外来種の繁茂

鍋田地区の水際のほぼ全体を特定外来生物であるナガエツルノゲイトウ、ブラジルチドメグサ、ミズヒマワリの3種が覆っていることが確認された。これら3種の繁茂の一因として、繁殖力が強いこと、植物体断片からの再生力が強く洪水によってながされてもすぐに繁殖する¹¹⁾ことが挙げられる。さらに、本調査でブラジルチドメグサは比高が高くても湿地的な環境があればそこに侵入・定着できることが確認され（図-8）、今後在来種の生育場を消失させる可能性がある。一方、西牧では水際にこれら3種の繁茂は見られなかった。西牧は、より強い掃流力がかかるため侵入・定着できていないものと考えられる。このように、ブラジルチドメグサをはじめ水際に生育する特定外来生物の繁殖が著しい菊池川などの河川では、掘削の傾斜や掘削に適した場所の選定など侵入抑制に関する知見を得ておく必要があると考えられた。

(2) 魚類（氾濫原依存種）の生息場としての機能評価

水際（E1~E6, L1~L3）及びワンド（W1）では、9種

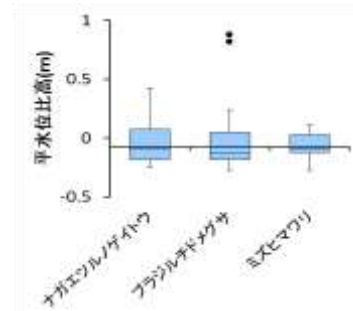


図-8 特定外来生物3種の生育箇所の平水位比高



図-9 nMDSの結果

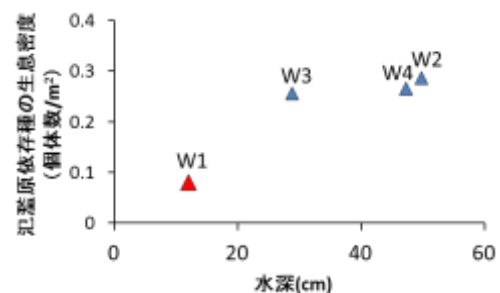


図-10 氾濫原依存種の生息密度と水深の関係

の氾濫原依存魚種が確認された。また、重回帰分析より、氾濫原依存種の生息には、入り組み度や平均水深が寄与していることが示された。高水敷を緩傾斜掘削することにより水際域に出水時に作用する外力が増大し、水際が浸食され入り組みが創出され、それが氾濫原依存種の生息に正に寄与するものと考えられることができる。

緩傾斜掘削後の水際域の浸食により形成されたと考えられるワンド（W1）の魚類群集の特徴を明らかにするため、水際（E1~E6）、菊池川におけるたまりやワンド（S1~S7, W2~W4）における確認魚種の生息密度を用いて非計量多次元尺度構成法（nMDS）による序列化を行った。結果を図-9に示す。なお、S1~S7, W2~W4のデータは、筆者らがそれぞれ2013年12月¹²⁾、2015年12月¹³⁾に調査を実施した結果を用いている。また、W2~W4は本研究で対象とした西牧地区の下流側（河口から27km



写真-2 W1形成箇所の掘削前後の様子（空中写真：国土交通省菊池川河川事務所撮影）

地点）にあり、氾濫原依存種の生息場創出を目的に2014～2015年に人工的に造成されたワンド（以下、造成ワンド）である。図-9からW1の魚類群集は水際部や造成ワンドの群集と類似していることが読み取れる。しかしながら、W1における氾濫原依存種の生息密度はW2～W4よりも小さく、これには水深が関与し、氾濫原依存種の生息にとって水深0.3m以上が望ましいと考えられた（図-10）。以上のように緩傾斜掘削後の水際には氾濫原依存種が生息できるワンドが形成されうる可能性があるが、水深が小さいため氾濫原依存種の生息密度は小さいことが示された。対象地区は1/50の勾配で掘削されているため、水深が大きいワンドは形成されにくいと考えられた。

次に、このワンド（W1）の形成過程について考察する。W1が形成された箇所の掘削前後の様子を写真-2に示す。造成前の2005年の空中写真において、W1は樹木（木本類ヤナギ科）が繁茂していた場所であったことが確認できる。この樹木は緩傾斜掘削時に伐根され、造成されたものと考えられる。樹木が伐根され、その後土砂で埋め戻された場所は、周りよりも地盤が緩く浸食され、ワンドが形成されやすいと推察された。これらの知見は氾濫原依存種保全を考慮した高水敷掘削の設計に活かすことができる基礎情報となるものと考えられる。今後、水際域に水深が0.3m以上のワンドが形成され維持されうる横断形状や水際域のデザインについて検討する必要があると考えている。

6. まとめ

本研究では、菊池川鍋田地区、西牧地区で実施された高水敷緩傾斜掘削を対象に、植物及び魚類の氾濫原依存種の生育生息場としての機能評価を行った。以下に得られた結果を列挙する。

- ① 植物：緩傾斜掘削後の水際域では氾濫原依存種が9種確認され、平水位比高が約0.3m以下、摩擦速度が約0.1～0.4m/sの条件下で生育していた。しかしながら、水際域には、特定外来生物ナガエツルノゲイトウ、ブラジルチドメグサ、ミズヒマワリの繁茂が確認され、侵入抑制に関する知見を早急に得る必要性がある。
- ② 魚類：氾濫原依存種8種の生息が確認され、入り組み及び水深がそれらの生息種数に正に寄与している。
- ③ 緩傾斜掘削後、樹木が伐根された場所が洗掘されワ

ンドが形成されうる可能性があるが、水深0.3m以上確保するための横断形状や水際域のデザインの検討が必要である。

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方々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) 永山滋也，原田守啓，萱場祐一：高水敷掘削による氾濫原の再生は可能か？～自然堤防帯を例として～，応用生態工学17(2)，pp.67-77，2015。
- 2) 鷲谷いづみ：氾濫原湿地の喪失と再生-水田を湿地として活かす取り組み，国際環境研究協会「地球環境」，第12巻1号，pp.3-6，2007。
- 3) 平川隆一，渡邊訓甫，杉尾哲，中田哲二，小南考輝：北川の大規模河川改修が川坂地区の砂州地形と流況に及ぼす影響，河川技術論文集，第17巻，pp.143-148，2011。
- 4) 福原達人，江藤秀和，今徳美里，郭晃成：遠賀川河川敷の自然再生事業造成裸地における初期植生遷移，福岡教育大学紀要，第63号，第3分冊，pp.99-108，2014。
- 5) 中西宣敬，坂之井和之，永井儀男：植生管理を目的とした高水敷切り下げ効果の検討，リバーフロント研究所報告，第20号，pp.8-15，2009。
- 6) 田村和也，浅見佳世，赤松弘治，中尾昌弘，野村利己，塚西豊志：河床掘削工事における植生復元手法の提案，ランドスケープ研究65(5)，pp.591-594，2002。
- 7) 末次忠司，藤田光一，服部敦，瀬崎智之，伊藤政彦，榎本真二：礫床河川に繁茂する植生の洪水攪乱に対する応答，遷移および群落拡大の特性-多摩川と千曲川の礫河原を対象として-，国土技術政策総合研究所資料，第161号，pp.1-148，2004。
- 8) 田頭直樹，傳田正利，萱場祐一：新たな空間指標「群落クラスター」を用いた植生動態の再現・予測手法の開発，河川技術論文集，第21巻，pp.301-306，2015。
- 9) 白水由季，島野光司：千曲川，梓川の河畔植生とその環境条件，日本生態学会誌59，pp.1-12，2009。
- 10) 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法，河川技術論文集，第16巻，pp.449-454，2010。
- 11) 角野康郎：日本の水草，文一総合出版，東京，2014。
- 12) 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。
- 13) 岡村麻矢，上杉幸輔，皆川朋子：菊池川における氾濫原依存魚種保全に向けた河道内氾濫原水域タイプ分類の氾濫原依存魚種生息場としての機能評価，環境システム研究，vol.72，pp.336-342，2016。

(2017. 4. 3受付)