

ニホンウナギの生息状況からみた 中小河川水際域の評価—福岡市樋井川流域を対象に—

EVALUATION OF THE RIVER EDGE SUCH AS HABITAT OF AUGULLIA JAPONICA IN THE HII RIVER AT FUKUOKA CITY

皆川朋子¹・鶴野亜和²

Tomoko MINAGAWA, Ataka TSURUNO

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

²非会員 福岡県田川県土整備事務所 (元 熊本大学工学部) (〒825-0002 福岡県田川市大字伊田4543-1)

This study is focused on Japanese eel (*Augullia Japonica*) which is designated as an endangered species and conservation is urgently required. We conducted surveys for evaluate river shoreline of Japanese eel habitats in the Hii River flowing through Fukuoka city. The density of Japanese eel was largest in sections of articulated concrete mattress + boulders section, in order of natural vegetation river section, large tension block section, concrete block section. It was confirmed that many individuals of various sizes with the standards length of 10 to 70 cm were inhabited in the articulated concrete mattress + boulders section and natural riparian section. In addition, it was shown that the proportion of boulders, oversized blocks, underwater roots, and vegetation covers positively correlated to the population density of Japanese eel. In particular, it was revealed that monotonous watershed area was improved when boulders were installed, and the population density of Japanese eel was increased. However, setting up boulders is merely a coping improvement method, so it is more important to essentially restore the health of rivers.

Key Words : *Augullia Japonica*, , river edge, improvement, boulder, habitat

1. はじめに

ニホンウナギ *Anguilla japonica* の漁獲量は1960年代約3500トンであったが、1970年代以降減少傾向にあり、2011年には230トンにまで減少し¹⁾、2013年には環境省により絶滅危惧ⅠB類に指定され保全は急務となっている。

ニホンウナギの研究は、水産分野において養殖に関する研究²⁾、産卵場がグアム島の西側沖のマリアナ海域であること⁴⁾や前レプトケファルス期の仔魚に関する研究⁵⁾など生態に関する研究等が報告されている。河川における生息場や保全に関する研究は、絶滅危惧種に選定されて以降着目され、ニホンウナギの漁獲量の減少率と人工護岸率との間に正の相関が認められること、ブロックや蛇籠などの設置された区間では、それらが作り出す間隙がニホンウナギの住処になっていることが指摘されている⁵⁾。水際域に関しては、ニホンウナギのみならず魚類やその他生物の生息場としての重要性が認識されているが、特に中小河川では川幅拡幅等により環境が大きく改変されるケースが多いため、生物の生息場としての配慮

した整備を行うことが強く求められている⁶⁾。これまで水際域の整備に関しては、コンクリートブロック護岸の設置は、河床構造の一様化や流速の増加をもたらし、魚類の生物多様性を低下させること⁷⁾や、河川の直線化や護岸等の改修工事により、流速及び水深の単調化が生じ、魚類が減少した事例が報告され⁸⁾⁹⁾、生物の生息にとって負の影響を及ぼすことが広く認識されている。また接続ブロック護岸は、魚巢機能や避難場所としての機能があること¹⁰⁾、自然河岸(植生帯)は、水生植物帯は仔稚魚にとっては餌場であり¹¹⁾、水中カバー率が高くなるほど魚類の生息量が多くなる傾向にあること、陸上カバーが存在している区間は存在していない区間より、魚類の生息量は多くなる傾向にある¹²⁾ことが報告されている。しかし、ニホンウナギに着目したものは前述した報告等に限られ、生息場に関する定量的知見は限られている。

そこで本研究では、河川改修によって大きく改変されてしまうケースが多い中小河川の水際域を対象にニホンウナギに配慮した河川改修を行うための知見を得るため、水際域とニホンウナギの生息状況との関係に関する定量

的知見を得ることを目的とする。

2. 対象河川

樋井川は、福岡県福岡市城南区と南区にまたがる油山（標高 597m）に発し、糖塚川、駄ヶ原川、一本松川、七隈川等の支川を合わせ博多湾に注ぐ幹線流路延長12.9km、流域面積29.1km²の二級河川である（図-1）。上流域が黒雲母花崗岩からなる砂河川であることから、魚類の生息場としての水際域への依存度が大きく、また、落差の大きい堰等がなく遡上障害が生じていないと考えられることから、水際評価の調査対象河川として選定した。

樋井川の魚類相に関しては、福岡県が平成26年により、ニホンウナギをはじめ、福岡県の絶滅危惧種に選定されているアユ（*Plecoglossus altivelis altivelis*）、環境省の絶滅危惧Ⅱ類と福岡県の準絶滅危惧種に選定されているミナメダカ（*Oryzias latipes*）の重要種3種を含む19種が確認されている。

3. 研究方法

樋井川における水際域のタイプは、主に、コンクリートブロック護岸区間（タイプA）、大型張りブロック区間（タイプB）、大型張りブロックの全面に巨礫が設置されている区間（タイプC）、自然河岸（土羽、植生、巨礫などで構成）の区間（タイプD）の4つの水際タイプに区分された（写真-1、表-1）。本研究では、この4タイプの水際域を対象にニホンウナギの生息状況と環境調査を行い、ニホンウナギの生息場として寄与する環境要因を定量的に評価した。なお、樋井川に設置されている大型張りブロック（タイプB、C）の一つあたりの礫（擬石）の大きさは径30cm程度、礫間は約15～20cm程度であり（写真-2）、タイプCの前面に設置されている巨礫は径50cm程度であった（写真-3）。

（1）調査区の設定

事前調査によりニホンウナギの生息が確認された区間で、かつ、エレクトロフィッシャーによる魚類の定量調査が可能な河口から3.5km～6.5kmまでを対象区間とした。この区間において、1調査区を水際線延長10m、水際から流心方向1mの範囲として合計46区を設定した。表-1に水際タイプ別調査区数を示す。各水際タイプの調査区は9～16区である。

（2）魚類調査及び環境要因調査

各調査区において、エレクトロフィッシャー及びタモ網を用いて魚類を採捕しその場で同定を行い、魚種ごとに撮影した画像から個体数、標準体長を計数、計測した。なお、調査を行う際は、各調査区間への魚類の移動を防ぐため調査区内をネットで囲い、調査員3名が下流か上

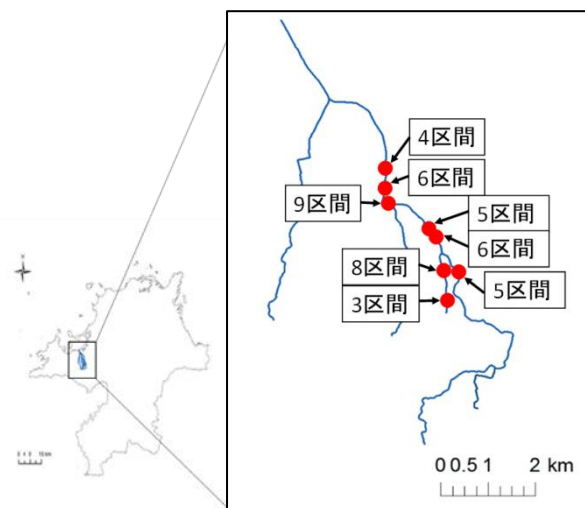


図-1 対象河川及び対象地点樋井川流域



写真-1 水際タイプ



写真-2 大型張りブロックの水際域（タイプ）



写真-3 大型張りブロック前面に設置された巨礫（C）

表-1 水際タイプ

水際タイプ	水際の状況	調査区数
A	コンクリートブロック護岸	10
B	大型張りブロック護岸	16
C	大型張りブロック護岸＋前面に巨石	9
D	自然河岸	11

流に進みながら電気ショッカー、タモ網を用いて採捕した。

環境要因については、魚類の生息に関与すると考えられる環境要因を考慮し、水深 (cm)、流速 (cm/s)、河床材料、水質、水中根 (水中に根が露出している)、水中植生 (沈水植物と抽水植物)、巨礫、植生カバー (陸上植生による、水際から30cm以上水面が覆われている)、水面幅等について測定した。水深、流速、河床材料は、各調査区間に等間隔に3側線設定し、各測線上の2点 (水際から0.5m, 1m) で測定した。水深はスタッフを用い、流速はプロペラ式流速計 (VR-301, KENEK Co., Tokyo, Japan) を用いて水深の60%の位置において、各地点3回計測し平均値を算出した。河床材料は50cm×50cmコドラートを河床に設置し、コドラート内に占める巨礫 (256mm以上)、大礫 (64~256mm)、中礫 (4~64mm)、細礫 (2~4mm) 砂 (2mm以下) の面積割合を10%ピッチで目視により読み取った。水中根、水中植生、巨礫、植生カバーについては、区間長に占めるそれぞれの割合 (10%ピッチ) を目視により読み取り%で示した。調査は、2016年11~12月の平水時に実施した。調査地点の水深は30cm程度、流速は10cm/s程度であった (表-2)。また、水温・水質について水質計 (HORIBAU-52) を用いて測定したところ、水温は13.7~15.1℃, pHは7.4~7.8, DOは9.9~12.1mg/l, 電気伝導度は0.19~0.22ms/cm, 濁度0~0.8NTUであった。

(3) 解析方法

水際タイプ別に採捕されたニホンウナギの生息密度及び標準体長を比較した。次に、環境要因の特定及び重要度の把握を統計的な基準をもとに行うため、一般化線形モデル (GLM) によるロジスティック回帰モデルを用いてRver.3.1.0を用いて解析した。一般化線形モデルは、目的変数の分布が正規分布でない連続変数、カテゴリカル変数の場合でも使用でき、目的変数と説明変数の関係が簡単な線形式でなくても、リンク関数を介在させることによって説明変数の一次式である線形予測子と目的変数の予測値の関係を目的に応じて使用できるようにしている¹⁴⁾。また、GLMはリンク関数による変換前の状態でモデル化が行われるため、パラメータの係数推定値の意味をそのまま解釈することができる。本研究のGLMの解析では、生物の応答をよく表すとされるロジスティック回帰を用いている¹⁵⁾。ここで、リンク関数としてロジット変換を用いると次の式で表される。

$$\text{logit}(p) = \log \left(\frac{p}{1-p} \right) \quad (1)$$

$$\text{logit}(p) = A_0 + A_1x_1 + A_2x_2 + \dots \quad (2)$$

ここで p : ある事象の起こる確率, x_i : i 番目の説明変数, A_0 : 切片, A_i ($i \geq 1$) : 説明変数 i の線形予測パラメータである。

今回作成したモデルでは、目的変数をニホンウナギの出現が認められた場合は1、認められなかった場合は0とした2値データとした。目的変数が0, 1の2値データであることから、確率分布を離散型分布である二項分布と仮定した。説明変数は、各調査地点におけるコンクリートブロックの割合 (%), 大型張りブロックの割合 (%), 水中根の割合 (%), 水中植生の割合 (%), 巨礫の割合 (%), 陸上植生カバーの割合 (%), 水深 (cm), 流速 (cm/s), 河口からの距離 (km) とした。また、環境調査の結果、河床材料は、砂河川であるため、調査地点ごとに顕著な違いはみられず、ニホンウナギの在、不在には影響しないと判断し説明変数には組み込まなかった。なお、GLMで用いた説明変数に関しては、すべての組み合わせで相関係数の絶対値が0.7未満であることを確認し、多重共線性がないことを確認した。環境要因の採用、非採用については赤池情報量規準 (AIC, Akaike1974) を基準とし、すべての環境要因の組み合わせでAICを算出し、最も小さな値をベストモデルと選択した。また、作成したモデルの精度を検証するため、ROC曲線分析を実施した。ROC曲線分析は二値変数と連続変数の関係性の解析に用いられ、曲線下面積 (AUC : area under the curve) を算出し、その値から、モデルのあてはまりの良さを検討できる¹⁵⁾。AUCが0.7以上であればそのモデルの目的変数を良く説明していると考えることができ、0.5未満では説明力はないと判断されている¹⁴⁾。

さらに、タイプDの自然河岸区間 ($n=11$) を対象に、目的変数をニホンウナギの生息密度、説明変数はGLMの結果を踏まえ、水中根 (%), 水中植生 (%), 巨礫 (%), 植生カバー (%) とする重回帰分析を行った。



写真-4 自然河岸 (タイプD) における要素

4. 結果

(1) ニホンウナギの生息密度及び標準体長

調査の結果、ニホンウナギを含む15種の魚類が確認され (表-2)、ニホンウナギはすべての水際タイプで出現し、46区間中21区間、計30個体採捕された。図-2に各水際タイプにおけるニホンウナギの生息密度の平均値及び

表-2 出現魚種

和名	学名	
タカハヤ	<i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	
カワムツ	<i>Candidia temmi</i>	
オイカワ	<i>Zacco platypus</i>	
ドンコ	<i>Odontobutis obscura</i>	
ヨイノボリ	<i>Rhinogobius</i>	
カマツカ	<i>Pseudogobio esocinus</i>	
ミナミメダカ	<i>Oryzias latipes</i>	環境省:VU*
ドジョウ	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	環境省:情報不足、福岡県:VU*
ニホンウナギ	<i>Anguilla japonica</i>	環境省・福岡県:EN*
ナマズ	<i>Silurus asotus</i>	
フナ	<i>Carassius Langsdorfi</i>	
ブルーギル	<i>Lepomis macrochirus</i>	特定外来生物
マハゼ	<i>Acanthogobius flavimanus</i>	
チチブ	<i>Tridentiger obscurus</i>	
ボラ	<i>Mugil cephalus</i>	
		EN*:絶滅危惧ⅠB類
		VU*:絶滅危惧Ⅱ類

標準偏差を示す。タイプAは 0.01 ± 0.031 個体/m²、タイプBは 0.04 ± 0.05 個体/m²、タイプCは 0.17 ± 0.15 個体/m²、タイプDは 0.06 ± 0.07 個体/m²であり、タイプCとタイプA間に有意差が検出され、タイプCの生息密度はタイプAより大きかった(Steel-Dwass法, $P < 0.05$)。また、有意差は検出されないが、タイプB及びタイプDの生息密度はタイプAより大きい傾向がみられた。

標準体長については、タイプAは34.1cm(1個体のみ)、タイプBは 25.04 ± 3.71 cm、タイプCは 34.2 ± 16.41 cm、タイプDは 32.37 ± 12.54 cmであった。図-3にタイプ別に標準体長のヒストグラムを示した。タイプA及びBでは、20~30cmの比較的小さな個体のみが確認されたのに対し、タイプC及びDでは、小さな個体からタイプA及びBでは確認されなかった50cm以上の大きな個体も多く確認された。

(2) ニホンウナギの生息に関与する環境要因

表-3にGLMによるモデル選択の結果を示す。ベストモデルのAUCは0.899であり、ニホンウナギの出現をよく説明していると判断された。ベストモデルには、大型張りブロック(%)、水中根(%), 巨礫(%), 植生カバー(%)の4つの要因が選択され、すべて正の回帰係数であり、これらの割合が大きい場所にニホンウナギが出現する確率が高くなることを示した。

また、タイプC(自然河岸)を対象とした重回帰分析の結果を以下に示す。

$$y = 0.0004x_1 - 0.001x_2 + 0.0014x_3^{**} + 0.0007x_4 + 0.02$$

$$(R^2 = 0.36, P < 0.05)$$

ここで x_1 : 水中根(%), x_2 : 水中植生(%), x_3 : 巨礫(%), x_4 : 植生カバー(%), R^2 : 決定係数, **: $P < 0.01$ である。ニホンウナギの生息密度には巨礫(%)が有意に正に寄与し、有意ではないが水中根(%)と植

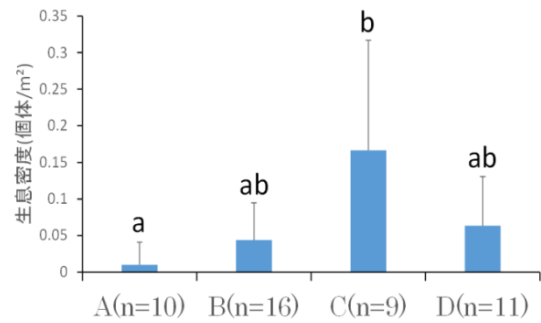


図-2 ニホンウナギの生息密度

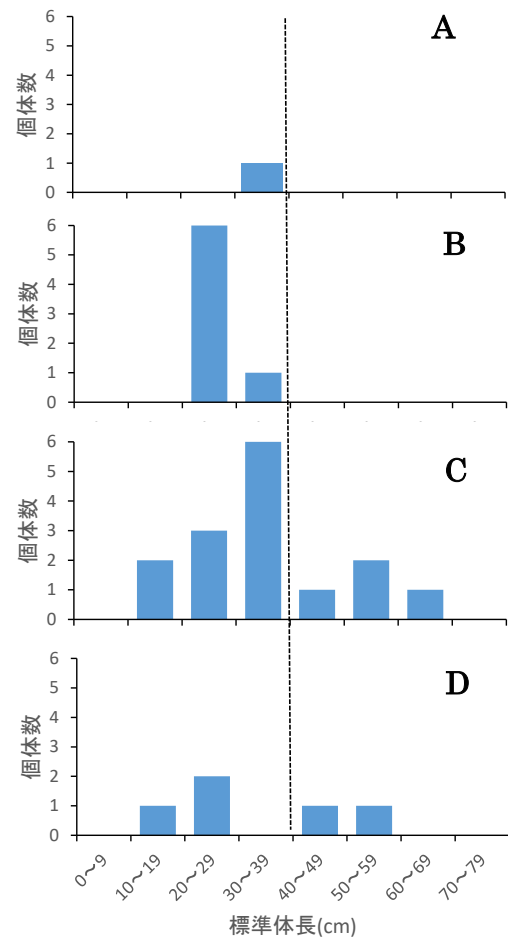


図-3 ニホンウナギの標準体長ヒストグラム

表-3 モデル選択の結果 (GLM)

	ニホンウナギ
Intercept	-5.982
コンクリートブロック	—
接続ブロック (%)	2.621
水中根 (%)	0.684
水中植生 (%)	—
巨礫 (%)	0.664
植生カバー (%)	0.040
水深(cm)	—
流速 (cm/s)	—
河口からの距離 (km)	—
AUC	0.899

生カバー (%) は正、水中植生 (%) は負に寄与していた。また、標準偏回帰係数の値は、 x_1 が0.05、 x_2 が-0.14、 x_3 が0.6、 x_4 が0.24であり、ニホンウナギの生息への影響度は巨礫 (%) が最も大きく、次いで植生カバー (%)、水中植生 (%)、水中根 (%) の順であった。

(3) 魚類全体の出現種数及び生息密度

図-4、5にニホンウナギを含めた各水際タイプの出現種数、生息密度をそれぞれ示す。出現種数については、水際タイプ間に有意差は検出されなかったが（一元配置分散分析、 $F=1.18$ 、 $p=0.33$ ）、タイプAは他のタイプよりも小さい傾向がみられた。生息密度はタイプAとB間のみに有意な差が検出され（ $P<0.01$ ）、タイプBの生息密度はタイプAより大きかった。また、有意差は検出されないが、タイプCとDはタイプAよりも生息密度が大きい傾向がみられた。

5. 考察

ニホンウナギの生息密度は、大型張りブロック+巨礫（タイプC）がコンクリートブロック護岸（タイプA）より有意に大きく、また、有意差は検出されないものの、大型張りブロック（タイプB）及び自然河岸（タイプD）より大きい傾向がみられた。また、ニホンウナギの生息に関与する要因は一般化線形モデル（GLM）より、大型張りブロック (%)、水中根 (%)、巨礫 (%)、植生カバー (%) が選択され（表-3）、自然河岸（タイプD）を対象とした重回帰分析では巨礫が有意に寄与する要因として選択された。両者ともに巨礫は共通して選択されており、樋井川においては巨礫間に形成される隙間がニホンウナギの主な生息場として機能しているものと評価された。また、大型張りブロックも寄与する要因として示されたが、小さなサイズの個体が多く（図-3）、写真-3に示したように生息空間が礫と礫のごく限られた間隙のみであるためと考えられた。しかしながら、タイプCのように大型張りブロックの前面に巨礫が設置されている場合、小さなサイズの固体から50cm以上の大きな個体まで様々な体長の個体の生息が確認できた。このことは単調な水際域においてニホンウナギの生息場の改善を図る場合、礫の設置が有効であることを示すものと評価される。ただし導入にあたっては、その河川の本来あるべき環境や生息場の多様性等を考慮した上で適切に配置する必要がある。

また、巨礫周辺ではオイカワやカワムツの稚魚が多く確認された（写真-5）。礫の設置により流速が低減され、稚魚の生息に適した空間が形成され、ニホンウナギにとって良好な餌場として機能している可能性が示唆された。

一般化線形モデル（GLM）により、巨礫の他、水中

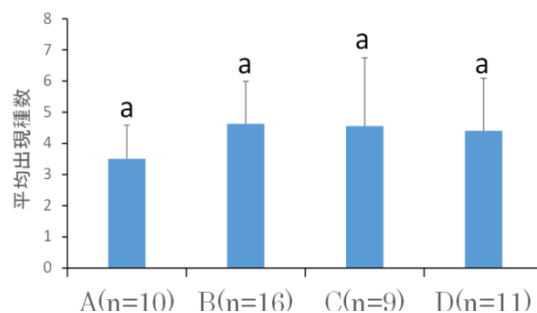


図-4 タイプ別魚類確認種数

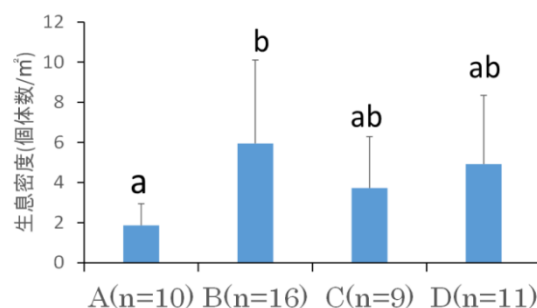


図-5 タイプ別魚類密度



写真-5 巨礫周辺の稚魚



写真-6 コンクリート護岸(左)とその上部に植生が繁茂したコンクリート護岸(右)

根 (%)、植生カバー (%) が選択された。既往の研究においても植生カバーは魚類の生息量に正に作用する要因であることが報告されており¹⁰⁾、ニホンウナギの生息に対しても同様に正の効果があるものと考えられる。写真-6にコンクリートブロック護岸において、唯一ニホンウナギの生息が確認された区間（右）と生息が確認できなかった区間（左）を示す。コンクリートブロック護岸であっても、その上部に植生が生育できる空間が確保されることが、ニホンウナギの生息にとって重要であると考えられた。水中根については、住処となりうる他、一般的に水生昆虫の生息量が多いことから、餌場としての価値も有している可能性がある。

ニホンウナギを含め魚類の生息状況については、各タイプの出現種数に有意差は検出されなかったが（図-4）、大型張りブロック（タイプB）の生息密度は前面に巨礫を設置したタイプCよりも大きい傾向がみられ（図-5）、タイプCにおいて生息密度が最も大きい傾向を示したニホンウナギとは傾向が異なっていた。ニホンウナギは他の種と比較し体長が大きい間隙への依存度が大きいことだけでなく、対象河川である樋井川が砂河川であり、河床に礫が少なく、また、河川改修が進捗し、本来の水際や河岸が大きく減少していることも要因としてあげられた。

なお、本研究では樋井川を対象に調査を行い、ニホンウナギの生息にとって巨礫が正に作用することを示したが、巨礫がニホンウナギの生息にとって必須の要素ではなく、あくまで、改変された環境下における生息場修復の一要素として扱ったものである。巨礫の設置は対処的な改善手法にすぎず、本質的に河川の健全性の回復を図っていくことがより重要である。

6. まとめ

本研究では、水際域とニホンウナギの生息状況との関係に関する定量的知見を得ることを目的に、福岡市を流れる樋井川を対象に調査を行った。その結果、ニホンウナギの生息密度は、大型張りブロック+巨礫区間が最も大きく、次いでタイプ自然植生河岸区間、大型張りブロック区間、コンクリート護岸区間の順であった。標準体長に関しても大型張りブロック+巨礫区間および自然河岸区間には10～70cmの様々なサイズの個体が多数生息していることが確認されたが、コンクリートブロック区間および大型張りブロック区間は、体長が20～30cm程度の小さな個体のみであった。また、巨礫、大型張りブロック、水中根、植生カバーの割合がニホンウナギの生息に正に寄与していることが示され、特に巨礫の設置は、単調な水際域においてニホンウナギの生息場の改善を図る際の有効な改善手法になりうる可能性があることが示唆された。ただし、巨礫の設置は対処的な改善手法にすぎず、本質的に河川の健全性の回復を図っていくことがより重要である。

謝辞

熊本大学河川流域デザイン研究室の学生には調査において多大なるご協力を頂きました。深く謝意を表します。なお、本研究は、文科省文科省戦略的創造研究推進事業、「分散型水管理を通じた、風かおり、緑かがやく、あまみず社会の構築」の一環として実施したものである。

参考文献

- 1) 独立行政法人水産総合研究センターウナギ総合プロジェクトチーム：ニホンウナギの資源状態について，2012.
- 2) 増田賢嗣，今泉均，小田憲太朗，照屋和久，薄浩則：飼育下のニホンウナギ *Anguilla japonica* 仔魚は最速で131日齢までに変態しうる，日本水産学会誌，第77巻，pp.416-418. 2011.
- 3) 塚本勝巳，望岡典隆，Micheal J. Miller，小山純弘，渡邊俊，青山潤：西マリアナ海嶺のウナギ産卵場に出現したニホンウナギ産卵場らしき映像，日本水産学学会誌，第80巻，pp.532, 2014.
- 4) 山本喜一郎，山内皓平，盛岡孝朗：ウナギ前レプトケファルス期の仔魚について，日本水産学会誌，第41巻，pp.29-34, 1975.
- 5) 板倉光：人為的環境改変と関連したニホンウナギの資源生態学的研究，東京大学環境学研究系自然環境学専攻博士論文，2014.
- 6) 公益財団法人 リバーフロント研究所ハンドブック：多自然川づくりポイントブックⅢ，公益社団法人 日本河川協会，2011.
- 7) 井上幹生，中野繁：小河川の物理的環境構造と魚類の微生息場所，日生態会誌，44巻，pp.151-160, 1994.
- 8) 島谷幸宏，小栗幸雄，萱場祐一：中小河川改修前後の生物生息空間と魚種相の変化，水工学論文集，第38巻，pp.337-144, 1994.
- 9) 神尾章記，渡辺亮一，山崎惟義，島谷幸宏，河口洋一，渡辺健一：裂田の溝における護岸改修工事が魚類生息環境に与える影響，水工学論文集，52巻，pp.1153-1158, 2009.
- 10) 中村良一，関根雅彦，橋口麻美，樋口隆哉，今井剛：室内実験による護岸ブロック魚類保全効果の検討，環境工学研究論文集，45巻，pp.507-515, 2008.
- 11) 日下部敬之，佐野雅基，矢持進，鍋島靖信，有山啓之，唐沢恒夫：大阪湾南部の垂直護岸に出現した仔稚魚，水産増殖，42巻，pp.121-126, 1994.
- 12) 渡辺亮一，山崎惟義，島谷幸宏，河口洋一，兼重俊介，神尾章記：裂田水路内における水際および水路内植生が魚類の生息量に与える影響，水工学論文集，52巻，pp.1153-1158, 2008.
- 13) 金明哲：Rによるデータサイエンス，森北出版，pp.157-159, 2007.
- 14) 久保拓弥，粕谷英一：「個体差」の統計モデリング，日本生態学会誌，56(2), pp.181-190, 2006.
- 15) J. Pearce, S. Ferrier : Evaluating the predictive performance of habitat models developed using logistic of habitat regression, Ecological Modelling, vol.133, no.3, pp.225-245, 2000.

(2018. 4. 3 受付)