

自然環境に配慮した河川整備のための基礎資料 としての熊本県河川の魚類相の特徴の把握

UNDERSTANDING CHARACTERISTICS OF THE FRESHWATER FISH FAUNA OF RIVERS IN KUMAMOTO AS BASIC KNOWLEDGE FOR RIVER IMPROVEMENT IN CONSIDERATION OF RIVER ECOSYSTEM

大内 憲人¹・皆川 朋子²
Akito OUCHI, Tomoko MINAGAWA

¹学生会員 熊本大学大学院 土木建築学専攻 (〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪2丁目39-1)

²正会員 工博 熊本大学大学院准教授 先端科学研究部 社会基盤環境部門 環境保全分野
(〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪2丁目39-1)

The purpose of this study is to clarify the characteristics of the freshwater fish fauna of rivers in Kumamoto as basic knowledge for river improvement in consideration of river ecosystem. We analyzed the fish data of the presence/absence of 39 freshwater fishes of 67 river systems using cluster analysis. These fish data were collected by Kumamoto prefectural government from 1993 to 1999. As a result, the rivers were divided into 6 classifications, and the characteristics of each fish fauna were shown. The fish fauna and the number of fish species of each classification were affected by the river length, the number of classified as flow, presence or absence of the lowland, and the ocean currents.

Key Words : *freshwater fish, fish fauna, classification, river management, Kumamoto*

1. はじめに

生物の分布は、種の環境要求性に代表される生態的側面と、地理的な分断や長距離分散などの歴史的側面が複雑に関係することで形成されている¹⁾。日本の河川の潜在的な魚類の分布に関しては、一級河川における魚類群集の類似度から25のエリアに区分されることがWatanabe (1998)によって示されている²⁾。この中で九州地方は4エリアに区分されており、熊本県は南西部エリアに含まれ、九州のみに生息するカゼトゲタナゴ、セボシタビラを含め絶滅の危険性が高いコイ科タナゴ亜科魚類6種が分布している³⁾。これらの分布は、海水面の低下に伴う大陸との水系の接続等の地史的な背景も含めた⁴⁾地理的・歴史的側面から潜在的に分布するエリアであることと、それらの種に必要な生息環境を満たす低地や平野といった地形的条件が関与している。また、河川は流程に従ってそれぞれの環境に適応した魚類が分布していることが知られている⁵⁾。特に河川における魚類の生物分布に関する情報は、河川整備計画や多自然川づくりを行う際の基礎資料になるものであるが、河川管理者がこのような要因との関係性から魚類分布を理解することは、河川環境に対する理解を深め、それぞれのエリアや流程区

分ごとの特徴的な種や保全地域の抽出等を行う際に役立つものになると考えられる。

現在、各河川における魚類の分布に関して、国土交通省が管理する一級河川においては、1990年から継続的に実施されている「河川水辺の国勢調査」により得られた生物及び環境に関する情報が蓄積・データベース化され、河川整備に活用できる状況にある。既に九州北部の遠賀川水系及び筑後川水系では、魚類分布情報をデータベース化し、地形等の変数等を用いて潜在的な魚類の分布を予測し、多自然川づくりの支援を行うシステムが開発されている⁶⁾。しかし、中小河川においては、魚類等生物の分布や環境に関する情報を整備し、河川整備に役立っている自治体は一部に限られている。本研究で対象としている熊本県内の河川に関しても、2000年度に1990年代に県内で実施された生物調査結果が収集されているが、魚類の分布やその要因に関して整理されておらず、河川管理者が県内の魚類の分布の特徴を理解するための情報が不足している状況にある。

以上を踏まえ、本研究では、熊本県がこれまでに実施した魚類調査データを活用し、県内河川の魚類分布の特徴とこれに関与する要因を整理し提示を目的とする。

2. 方法

(1) 対象データ

本研究では、熊本県が2000年度に実施した「県内河川環境情報作成業務」(平成12年3月)⁷⁾により収集された県内の河川の魚類分布に関するデータを分析対象とした。本業務は県内の生物情報を収集し、河川改修業務へ活用することを目的として実施されたもので、1993～1999年に県内101河川(70水系)を対象とした調査結果が整理されているが、県内河川の魚類相の特徴等の分析は行われていない。

本研究で分析対象とする水系は、河川の大部分が熊本県外を流れる筑後川水系及び1種のみ確認であった水系を省く67水系とした(図-1)。本研究では、特に淡水魚の生息分布に着目するため、確認魚種から、汽水域、河口域、湾岸を主な生息場に行っている魚種、国内外来種(ゲンゴロウブナ、イチモンジタナゴ、ワタカ、ハス、ビワヒガイ、ニジマス、ヤマメ)、国外外来種を除き、さらに1水系のみで確認された魚種を除く計39種を対象に分析することとした。なお、誤同定が含まれる可能性があることが懸念されたキンブナ、ギンブナ、オオキンブナ、フナ属の一種はフナ属として、カワムツB型とカワムツ(型不明)はカワムツとして扱った。ヨシノボリ属に関しては、トウヨシノボリ等の種名が記載されている場合とヨシノボリ属として記載されている場合がみられたが記載どおりに扱った。対象とした39種のうち、最も多くの水系で確認された種は、フナ属で56水系(約84%)、次いでカワムツ54水系(約81%)、ミナミメダカ38水系(約57%)、コイ35水系(約52%)が続いた。一方、特定の水系のみで確認された種はアリアケギバチ、セボシタビラ、カワヒガイなどであった。

調査地点の位置情報については業務報告書⁷⁾を基に座標(緯度、経度)を読み取った。また、魚類の分布に大きく関与する地理・地形的な要因として、幹川流路延長、流程区分や流程区分の数及び標高をとりあげ、QGIS(ver3.8.3)を用いて以下に示す方法により求めた。なお、流路延長や流程区分の数は、魚類の生息環境の多様性に関係し、標高は水温に関与する変数である。

a) 流路延長(幹川流路延長)

流路延長は国土交通省の国土数値情報河道データ⁸⁾を用いて求めた。本研究では幹川流路延長を流路延長とした。

b) 流程区分と流程区分数

a)と同様の河道データ⁸⁾及び、国土交通省の国土数値情報標高・傾斜度5次メッシュデータ⁹⁾を用いて流程区分を行った。まず、河道に500m間隔で点を打ち、その点が重なっている標高メッシュの最低標高をその地点の河道の標高として縦断形状を求めた。流程区分は「山本のセグメント区分¹⁰⁾」での勾配を参考とし、縦断形状を勾配1/60以上、1/60～1/200、1/200～1/400、1/400～1/1000、1/1000～の5つに区分した。

また、各河川において流程区分された数を流程区分数として用いた。

c) 標高

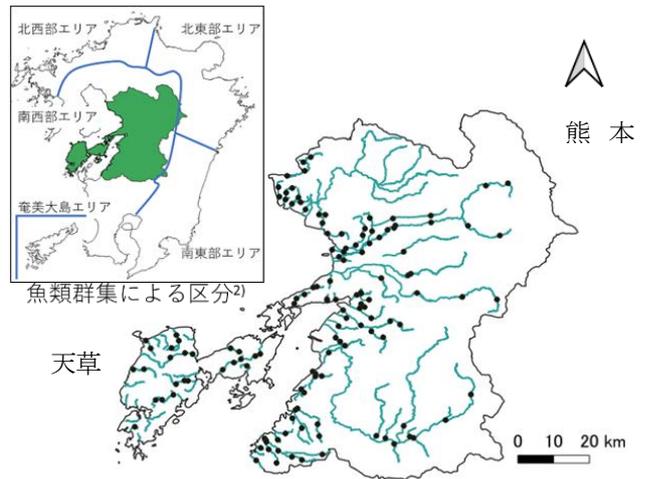


図-1 魚類群集による区分²⁾及び分析対象河川・調査地点(調査地点が不明な地点は除く)

標高は本研究ではb)で求められた河川最上流端の標高として用いた。

(2) 分析方法

各水系において確認された魚種の在・不在の2元データを用いて、ウォード法によるTwo-wayクラスター分析を行うことで各河川と魚種を類型化し、熊本県内の河川における魚類分布の特徴を把握した。また、類型化されたグループごとの魚類群集の特徴と地理・地形的な要因との関係を考察した。

3. 結果

(1) 熊本県内の河川における魚類分布の特徴

Two-wayクラスター分析の結果、水系は大きく4グループ(A, B, C, D)に類型化された。ただし、BとDについては、確認種数と確認希少種に違いがみられたことから、それぞれB1とB2, D1とD2に区分した。魚種は α , β , γ の3グループに類型化された。

図-2に類型化された各グループの水系を示し、表-1に各グループの水系名を示した。グループAの水系(6水系)は主に一級水系とそれに隣接する水系、B1(5水系)は菊池川の北部、B2(14水系)は菊池川南部から球磨川近隣、C(24水系)は天草上島と県南西部、D1, D2は主に天草下島に位置し、D1の9水系中3水系は八代海や上島に面しており、D2の9水系中5水系は天草下島の西岸側の水系であり、各水系グループは地理的にまとまったエリアに区分された。

表-2に区分された魚種グループ(α , β , γ)、各水系グループで確認された魚種、各種の生活史型、及び生活場所を既往文献¹¹⁾を参考に整理し示した。生活史型に関しては中島ら¹¹⁾を参考に純淡水種、通し回遊、両方に区分し、生息場所についても、中島ら¹¹⁾を参考に、恒久的水域、氾濫原水域、両方に区分した。また、熊本県のレッドデータブックくまもと2019¹²⁾、環境省レッドリスト

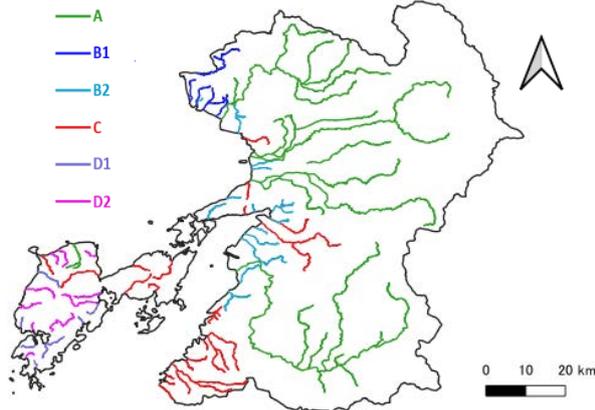


図-2 魚類相により類型化された水系

表-1 類型化されたグループの水系名

河川グループ名	水系名
A	球磨川、内野川、坪井川、菊池川、緑川、白川
B	B1 関川、浦川、行末川、葉切川、境川、 唐人川、除川、大野川、二見川、大鞠川、八枚戸川、鏡川、西浦川、波多川
	B2 流藻川、網田川、水無川、千間江湖川、宮崎川
C	水俣川、氷川、河内川、砂川、赤松川、網津川、袋川、湯浦川 宮浦川、小田浦川、佐敷川、津奈木川、河内川、広瀬川、大見川 志岐川、小津奈木川、浦川、上津浦川、教良木川、田浦川、坂口川、女島川
D	D1 中洲川、中田川、久玉川、路木川、都呂々川、大江川、流合川、早浦川、亀浦川 一町田川、今富川、大宮地川、方原川、下津深江川、上津深江川、桜川、高浜川
	D2 松原川

表-2 各水系グループの確認魚種と各魚種の特性

魚種グループ	和名	学名	水系グループ名				生活史型 ¹⁾			生息場所 ¹⁾			希少種		
			A	B		C	D		純淡水種	通し回遊	両方	恒久的水域		氾濫原水域	両方
				B1	B2		D1	D2							
α	スナヤツメ	<i>Lethenteron</i> sp. S	●					●			●			環境省絶滅危惧Ⅱ類	
	ヤマトシマドジョウ	<i>Cobitis matsubarae</i>	●					●			●			環境省絶滅危惧Ⅱ類	
	シマドジョウ属	<i>Cobitis</i>		●				●			●				
	ウグイ	<i>Tribolodon hakonensis</i>	●		●	●					●				
	セボシタビラ	<i>Acheilognathus tabira nakamurae</i>	●		●						●			環境省絶滅危惧ⅠA類	
	アリアケギバチ	<i>Tachysurus aurantiacus</i>	●								●			環境省絶滅危惧Ⅱ類	
	カワヒガイ	<i>Sarcocheilichthys variegatus variegatus</i>	●								●			環境省準絶滅危惧	
	オヤニラミ	<i>Coreoperca kawamebari</i>	●								●			環境省絶滅危惧ⅠB類	
	ムギツク	<i>Pungtungia herzi</i>	●								●				
	オオヨシノボリ	<i>Rhinogobius fluviatilis</i>	●			●				●					
	ヌマチチブ	<i>Tridentiger brevispinis</i>	●	●	●	●			●		●				
	ヤリタナゴ	<i>Tanakia lanceolata</i>	●	●	●							●		環境省準絶滅危惧	
	モツゴ	<i>Pseudorasbora parva</i>	●	●	●							●			
	アブラボテ	<i>Tanakia limbata</i>	●	●	●								●	環境省準絶滅危惧	
カゼトゲタナゴ	<i>Rhodeus smithii smithii</i>	●	●	●	●						●		環境省絶滅危惧ⅠB類		
カネヒラ	<i>Acheilognathus rhombeus</i>	●	●	●								●	熊本県絶滅危惧Ⅱ類		
ニッポンバラタナゴ	<i>Rhodeus ocellatus kurumeus</i>	●	●	●								●	環境省絶滅危惧ⅠA類		
ツチフキ	<i>Abbottina rivularis</i>	●	●	●							●		環境省絶滅危惧ⅠB類		
イトモロコ	<i>Squalidus gracilis gracilis</i>	●	●	●	●						●				
β	ニホンウナギ	<i>Anguilla japonica</i>	●	●	●	●	●		●		●			環境省絶滅危惧ⅠB類	
	ドジョウ	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	●	●	●	●	●		●			●		環境省準絶滅危惧	
	ゴクラクハゼ	<i>Rhinogobius similis</i>	●	●	●	●	●			●					
	トウヨシノボリ	<i>Rhinogobius</i> sp. OR	●	●	●	●	●			●			●		
	タカハヤ	<i>Phynochocypis oxycephalus jouyi</i>	●	●	●	●	●		●						
	アユ	<i>Plecoglossus altivelis altivelis</i>	●	●	●	●	●		●			●			
	ヨシノボリ属	<i>Rhinogobius</i>	●	●	●	●	●		●			●			
	カワアナゴ	<i>Eleotris oxycephala</i>	●	●	●	●	●		●			●		熊本県準絶滅危惧	
	ウキゴリ	<i>Gymnogobius urotaenia</i>	●	●	●	●	●		●		●				
	ボウズハゼ	<i>Sicyopterus japonicus</i>	●	●	●	●	●		●			●		熊本県要注目種	
シマヨシノボリ	<i>Rhinogobius nagoyae</i>	●	●	●	●	●		●			●				
クロヨシノボリ	<i>Rhinogobius brunneus</i>	●	●	●	●	●		●			●				
γ	コイ	<i>Cyprinus carpio</i>	●	●	●	●	●						●		
	カマツカ	<i>Pseudogobio esocinus</i>	●	●	●	●	●				●				
	ドンコ	<i>Odontobutis obscura</i>	●	●	●	●	●					●			
	ナマズ	<i>Silurus asotus</i>	●	●	●	●	●				●		●		
	オイカワ	<i>Opsariichthys platypus</i>	●	●	●	●	●				●				
	ミナメダカ	<i>Oryzias latipes</i>	●	●	●	●	●					●		環境省絶滅危惧Ⅱ類	
	フナ属	<i>Carassius</i>	●	●	●	●	●						●		
	カワムツ	<i>Candidia</i>	●	●	●	●	●				●				
合計(種数)		39	38	22	22	23	14	20	26	8	5	25	10	7	

2019¹³⁾に絶滅が危惧される種として記載されている種を希少種として示した。魚種グループに関しては、α (19種) はタナゴ類 (ヤリタナゴボシタビラ, アブラボテ, カゼトゲタナゴ, カネヒラ, ニッポンバラタナゴ) が含まれ, β (12種) はウナギ, カワアナゴなどの回遊種が含まれ, γ (8種) はカワムツ, オイカワなど純淡水種のみであり, 比較的によくの河川で確認できる種で構成さ

れていた。

図-3, 図-4に各水系グループの確認種数と確認希少種数の平均値と標準偏差を示す。なお, 図中にはそれぞれ水系グループ間の種数の差異について多重比較検定 (危険率5%) を行った結果を示している。図-5, 6には各グループで確認された魚種の各生息場所別の種数, 生活史

型別の種数を示した。

水系グループAの水系における確認魚種は計38種であり、希少種もボウズハゼを除く16種が確認され、確認種数と希少種数の平均値はともに他のグループより有意に大きかった ($P < 0.05$)。希少種のスナヤツメ、ヤマトシマドジョウ、アリアケギバチ、カワヒガイ、オヤニラミに関してはAでのみ確認され、タナゴ類も九州の在来6種すべて確認された。水系グループBで確認された魚種は計27種、希少種は計12種であり、Aに次いで多く、タナゴも6種確認された。B1の確認種数や希少種数の平均値はB2より有意に大きいですが、タナゴ類はB1、B2ともに4種確認され、氾濫原水域に生息する魚種はそれぞれ7種 (32%) であり、他のグループよりも大きい傾向がみられた。通し回遊の種数については最も少なかった。水系グループCの確認魚種は計23種、希少種は計5種であり、確認種数及び希少種数の平均値はA及びB1より有意に小さかった。また、確認されたタナゴ類は2種で氾濫原依存種は少なかった。水系グループDの確認魚種は計20種、希少種は計5種であり少なかったが、通し回遊の種数はD1、D2それぞれ6種 (36%)、7種 (35%) であり、他のグループより多いことが特徴としてあげられた。D2とD1の確認魚種数はD2の方が有意に大きく、D2のみにカワアナゴが確認される等通し回遊の種数もD1より多かった。

(2) 各水系グループの地理・地形的な特徴

図-7に熊本県の地形区分¹⁴⁾、図-8~10に各水系グループの水系の流路延長、標高、流程区分数の平均値及び標準偏差を示す。また、それぞれグループ間の差異について多重比較検定 (危険率5%) を行った結果を示した。水系グループAの流路延長及び標高の平均値は他グループより有意に大きかった。また、地形区分には低地が含まれ、流程区分数は最も多く、3つ以上の河川のみであった。水系グループBは、流路延長はCやDと同程度であるが、流程区分数はやや大きく、標高は小さい傾向がみられた。B1とB2では、県北部に位置するB1の方が流程区分数は大きいですが、標高は小さい傾向がみられた。水系グループCは、標高はやや大きいですが、流程区分数はD1と同程度に小さかった。水系グループDは、流路延長、標高、流程区分数はCと同定であり、D1とD2ではD2の方がやや標高や流程区分数が大きい傾向がみられた。

4. 考察

熊本県内の河川における魚類分布の特徴と地理・地形的要因との関係について考察する。

各水系の魚類分布データを基に類型化した結果、熊本県内の水系は6つのグループに区分された。グループAの水系の確認魚種数は多く、確認された希少種17種のう

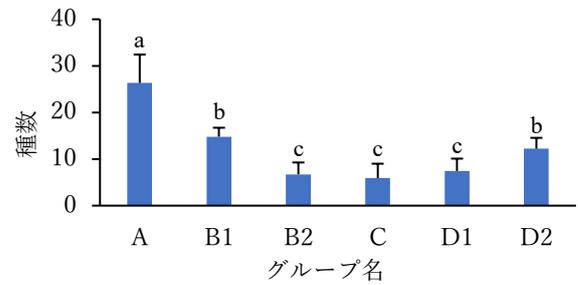


図-3 各水系グループの魚種数 (平均値及び標準偏差)
異なる英字間には多重比較検定 (5%水準) で有意差があることを示す。

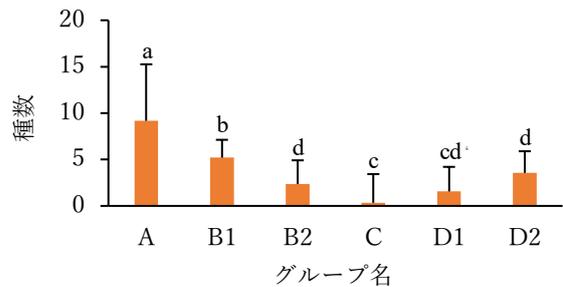


図-4 各水系グループの希少種数 (平均値及び標準偏差)
異なる英字間には多重比較検定 (5%水準) で有意差があることを示す。

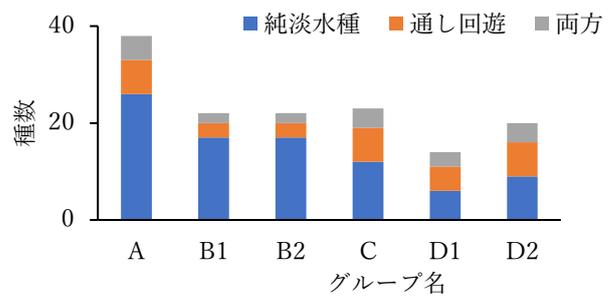


図-5 各水系グループの確認魚種の生活史型別の種数

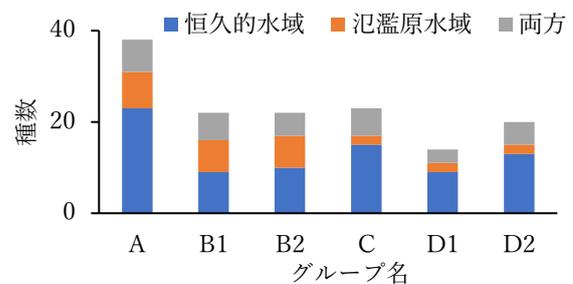


図-6 各水系グループの確認魚種の生息場所別の種数

ち、ボウズハゼを除く16種が分布していた。タナゴ類を含む氾濫原水域に生息する種も多く分布していた (表-1) Aの水系は主に一級水系とそれに隣接する水系であり、これらの水系の流路延長、標高差、流程区分数は他グループより有意に大きかった。一般的に流路延長が大きいほど、様々な生息環境が出現するため、生息魚種数は多いことが知られている⁴⁾¹⁵⁾。また、Aの水系には低地を流れる区間が含まれるため (図-5)、氾濫原水域を生息場所とする種が生息できることから、多くの種が分布していると解釈できる。

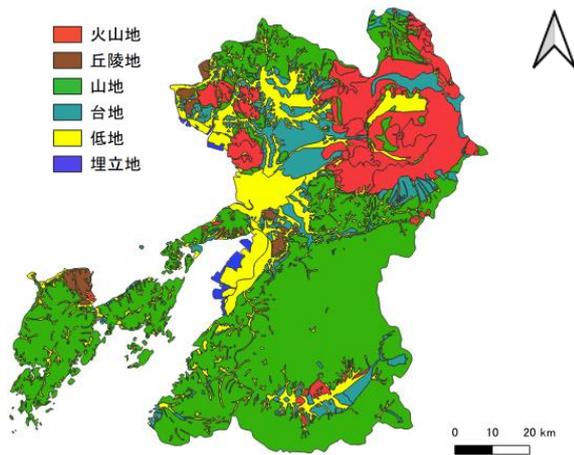


図-7 熊本県の地形区分¹⁴⁾

Bの水系の多くも低地を流れる区間を有しており、氾濫原水域に生息する種が多く、タナゴ類は規模の小さい河川でも出現していた。B1とB2を比較すると、B1の方がB2より確認種数も多く、希少種も多く確認された。両者ともに流路延長は同程度であるが、流程区分数はB1の方が高い傾向がみられ、生育環境が多様であることが関与していると考えられた。また、九州の一級河川を対象とした巖島らによる魚類のエコリージョン区分⁹⁾では、B1は九州北西部エリアに含まれ、本エリアに潜在的に分布している魚種やタナゴ類の種数は多く⁹⁾、生物地理的な要因が関与していると考えられた。B1では他のグループでは確認されているタカハヤが確認されなかった(表-1)。タカハヤは比較的標高の高い場所に生息する種であり、標高差の小さいB1の水系は生息に適した水温域がないことが要因としてあげられた。

Cの水系は、流路延長はB2とほとんど違いはないが、確認種数は他のグループよりも有意に小さかった。要因として、標高差はAに次いで大きいものの、流程区分数が少なく、生息環境の多様性が小さいことが影響していると考えられた。

Dの水系は主に天草を流れる河川であり、確認魚種は通し回遊種が多く出現していた。D2とD1の確認魚種数はD2の方が有意に大きく、ボウズハゼはD1では2水系のみで確認されたが、D2では6水系で確認され、また、カワアナゴはD2のみで確認される等の違いがみられた。D2とD1では流路延長、標高差、流程区分数に差異はみられなかったが、D2の9水系のうち5水系は天草下島の西岸側に位置していた。天草諸島は西岸を南下する逆流が存在し、天草西海岸海域は外海の影響を受けやすいことから¹⁰⁾、カワアナゴやボウズハゼといった回遊魚がD2で特に多く確認されたと考えられた。

図-11に魚種数に寄与する流路延長と確認魚種数の関係を示す。流路延長が大きいほど確認魚種数との間には正の相関関係はみられるが、同じ流路延長であっても類型されたグループにより確認魚種数が異なる傾向がみら

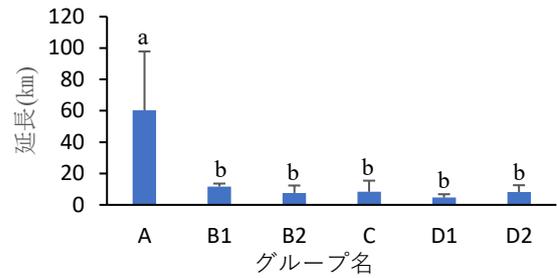


図-8 各水系グループの流路延長 (平均値及び標準偏差)
異なる英字間には多重比較検定 (5%水準) で有意差があることを示す。

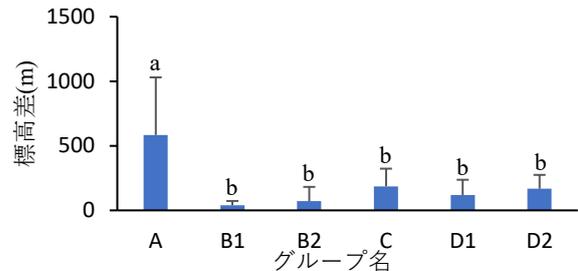


図-9 各水系グループの標高差 (平均値及び標準偏差)
異なる英字間には多重比較検定 (5%水準) で有意差があることを示す。

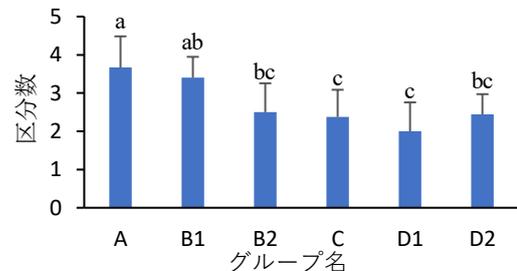


図-10 各水系グループの流程区分数 (平均値, 標準偏差)
異なる英字間には多重比較検定 (5%水準) で有意差があることを示す。

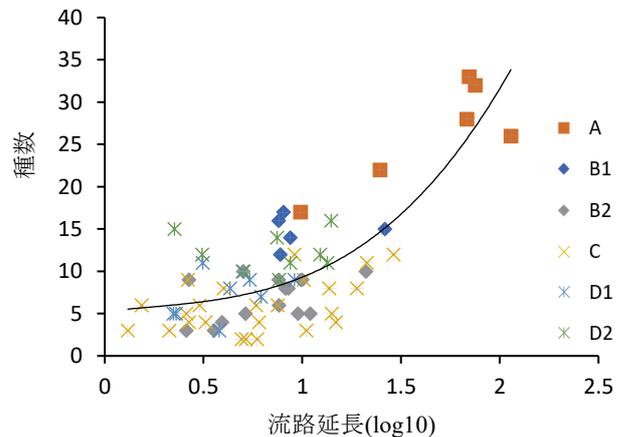


図-11 流路延長と種数の関係

れ、A、B1、D2は、D1、B2、Cよりも大きい傾向がみられた。この傾向は各グループの水系の流程区分数の違いと類似していた。そこで、目的変数を確認種数、説明変数を流路延長、流程区分数、標高として重回帰分析を行い、これらの変数の寄与を確認した。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。結果を以下に示す。

$$y = 0.2263x_1^{**} + 1.9672x_2^* + 2.0052^*$$

($R^2=0.6346$, $** : P<0.01$, $* : P<0.05$)

ここでy：魚種数， x_1 ：流路延長， x_2 ：流程区分数， R^2 ：自由度修正済み修正決定係数である。魚種数には流路延長，流程区分数が有意に寄与し，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，流路延長が 0.66，流程区分数が 0.24 であった。標高については選択されなかった。標高に関しては，水温により生息域が規定される種は確認種の中ではやや冷水を好むタカハヤのみであったため，魚種数への寄与は確認されなかったものと考えられたが，他地域を対象とした場合や広域な地域を対象とした場合には有意な変数として選定される可能性がある。

5. まとめと今後の課題

本研究では，熊本県が実施した県内河川を対象とした魚類調査結果を用いて，県内の河川を魚類相から分類し特徴を把握した。その結果，県内の河川は魚類相から6つのグループに区分され，流路延長等の河川の規模，流程区分数，これに加えて低地を流下する区間の有無，海流の影響等が関与していることを示した。分析に用いたデータは，調査地点数がそれほど多いものではなく，各水系に分布するすべての魚種が過不足なく示しているものではないが，既存に取得されたデータを活用することでも，本研究で示したような県内の河川に分布する魚類相の特徴を大まかにではあるが，把握することが可能であると評価される。各自治体においても過去に取得した生物情報をデータベース化し，さらに今後取得したデータを蓄積し，河川生物の特徴の把握，環境評価及び河川管理等に活用することが望まれる。

また，本研究で使用した熊本県が取得したデータの調査期間は1993～1999年であり，その後，上津浦川，内野川，路木川ではダムの建設や河川改修が進捗し，また圃場整備等の河川周辺も改変され，河川や河川を取り巻く環境は大きく改変されている。現状についてもデータを取得し，今回用いたデータと比較することで河川環境評価や生態系に配慮した河川整備に役立てられるよう，データベース化を図っていきたいと考えている。

謝辞

本研究は，熊本県が取得した貴重な生物調査データを借用させて頂き，実施したものである。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 岩崎貴也，阪口翔太，横山良太，高見泰興，大澤剛士，池田紘士，陶山佳久：生物地理学とその関連分野における地理情報システム技術の基礎と応用，日本生態学会誌 64, pp.183-199, 2014.
- 2) Watanabe K Parsimony analysis of the distribution pattern of Japanese primary freshwater fishes, and its application to the distribution of the bagrid catfishes. Ichthyological Research 45, pp.259-270, 1998.
- 3) 皆川朋子，川野麻美，奈須朝也，池上龍，川本朋慶，林博徳，鬼倉徳雄：熊本県境川におけるタナゴ亜科の生息場評価とこれに配慮した河川改修案の提案，河川技術論文集，第 20 巻，pp.127-132, 2014.
- 4) 中島淳，鬼倉徳雄，松井誠一，及川信：福岡県における純淡水魚の地理的分布パターン，魚類学雑誌，53(2), pp.117-131, 2006.
- 5) 巖島怜，島谷幸宏，中島淳，河口洋一：環境指標のための魚類セグメントエコロジー，水工学論文集，第 53 巻，pp.1189-1194, 2009.
- 6) 遠山貴之，鬼倉徳雄，光益慎也，齋藤康宏：一級水系流域における魚類分布予測モデルの構築と多自然川づくり支援システムの開発，河川技術論文集，第 25 巻，pp.363-368, 2019.
- 7) 熊本県：県内河川環境情報作成業務 報告書 平成 12 年
- 8) 国土交通省：国土数値情報河川データ
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-W05.html>
- 9) 国土交通省：国土数値情報流域メッシュデータ
nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-W07.html
- 10) 川那部浩哉，水野信彦：河川生態学，講談社，pp.20-21, 2013.
- 11) 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方法，河川技術論文集，第 16 巻，pp.449-454, 2010.
- 12) 熊本県：レッドデータブックくまもと 2019-熊本県の絶滅のおそれのある野生動植物-
https://www.pref.kumamoto.jp/kiji_31095.html
- 13) 環境省：環境省レッドリスト 2019
<https://www.env.go.jp/press/files/jp/110615.pdf>
- 14) 国土交通省：50 万分の 1 土地分類基本調査 GIS データ
<http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/inspect/inspect.html>
- 15) 平山琢朗，中越信和：広島県瀬戸内側河川における淡水魚の特性，魚類学雑誌，50(1), pp.1-13, 2002.
- 16) 環境省：日本のサンゴ礁
<https://www.env.go.jp/nature/biodic/coralreefs/reference/mokuji/060205j.pdf>

(2020. 4. 2 受付)