

魚類相の縦断方向変化とセグメント区分 に関する研究

A STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN LONGITUDINAL CHANGES
OF FISH FAUNA AND SEGMENT CLASSIFICATION

巖島 怜¹・島谷幸宏²・河口洋一³

Rei ITSUKUSHIMA, Yukihiro SHIMATANI and Yoichi KAWAGUCHI

¹ 学生会員 九州大学大学院工学府 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地)

² フェロー会員 工博 九州大学大学院工学研究院 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地)

³ 正会員 学術博 九州大学大学院工学研究院 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地)

A large number of studies have been made on longitudinal changes of fish fauna, however, the relationship with the engineered viewpoint is little known. The purpose of this paper is to investigate relationship between longitudinal changes of fish fauna and segment classification defined from the viewpoint of flood control.

We focused on 15 rivers in Kyushu and run TWINSpan analysis to divide the fish fauna longitudinally and compared segment classification.

The result of analysis showed that segment classification is largely corresponded with longitudinal changes of fish fauna and the values of longitudinal gradient which is the boundary of longitudinal fish fauna classification are 1/2000, 1/1000 and 1/100.

Key Words : fish fauna, longitudinal gradient, TWINSpan, transverse structure

1. はじめに

魚類相の縦断方向の変化は全河川について共通の現象であり, 下流に行くにつれ種数が増加することが認められている¹⁾. この現象は下流に行くにつれてハビタットの多様性が増すことによって説明されている²⁾. 縦断方向の魚類相の変化を議論するうえで過去の50年間は2つの議論が支配的であった. 一つは西欧の biozonation 仮説であり, 他方は北米の species addition 仮説である. Biozonation 仮説では, 温帯に属する河川は源流から河口に至るまで縦断方向に4つの区間に区分され, 各区間は主要な指標種の存在によって特徴付けられる³⁾. Species addition 仮説では, 縦断方向の魚類相の変化は魚種が増えていくことによるハビタットの増加を反映していると述べている⁴⁾⁵⁾⁶⁾. また, 過度に人為的なインパクトを受けた河川では本来の縦断方向の生物相の変化が認識できなくなっている⁷⁾.

日本における河川の縦断方向の区分としては河川地形をもとにした可児の区分法がある⁸⁾. 可児は一つの蛇行区間に着目し, 1 蛇行区間に多くの瀬や淵が出現する上流部の地理的特徴を A 型, 1 蛇行区間に瀬と淵が一つずつしか現れない中・下流域の地理的特徴を B 型とした. 可児はさらに一組の瀬と淵を景観単位と呼び, この景観単位が生物の生息状態に関しても成立することを明らかにしている.

治水上の河川の類型化の研究として, 河床勾配がほぼ同一で河床材料や河道の種々の特性が似た区間をセグメントと呼び, 区分を行った山本の研究がある⁹⁾. 山本は山間部を流下する区間をセグメント M, 扇状地を流下する河道区間をセグメント 1, その下流で粗砂あるいは中砂を河床材料に持つ自然堤防に相当するセグメント 2, その下流で細砂あるいはシルトを河床材料に持つデルタ区間に相当するセグメント 3 というように河川を区分した. 山本はセグメントごとにその特

徴が大きく異なることは、それを存在基盤とする河川生態系もセグメントごとにその特徴が大きく異なり、セグメントは河道の特徴の単位であると同様に、河川生態系空間区分の単位であるという見解を示している。しかし、それを裏付ける研究は見られない。

そこで、本研究では流呈ごとに魚類相が区分されるか検討し、区分された魚類相と山本が示したセグメント区分との関係性について明らかにする。

2. 研究の方法

(1) 対象河川の概要

本研究では九州内の15の一級河川を対象とした(図-1)。各河川の流域面積、流路延長を表-1¹⁰⁾に示す。本研究では本明川(流路延長21km, 流域面積87km²)から筑後川(流路延長143km, 流域面積2,860km²)まで様々な大きさの流域スケールを持つ河川を対象とした。

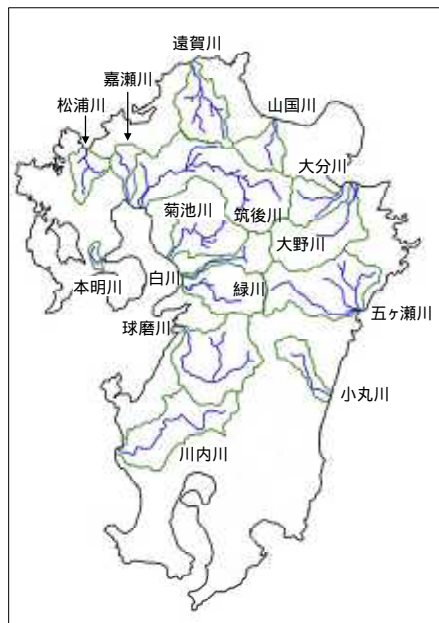


図-1 対象河川

表-1 対象河川の流路延長、流域面積

河川名	流路延長(km)	流域面積(km ²)
筑後川	143	2860
菊池川	71	996
大分川	55	650
嘉瀬川	57	368
緑川	76	1100
五ヶ瀬川	106	1820
松浦川	47	446
遠賀川	61	1026
川内川	137	1600
白川	74	480
大野川	107	1465
球磨川	115	1880
小丸川	75	474
本明川	21	87
山国川	56	540

(2) 方法

国土交通省が1992年から2004年に行った水辺の国勢調査の各河川3回の魚介類調査のデータを用いた。外来種、移入種を除く純淡水魚、回遊魚の各地点の各種の確認の有無を解析対象とした3回の調査で一度でも捕獲されていれば、確認ありとした。

15河川における各調査地点間の魚類相の類似度を測るためにTWINSPAN分析(Two-Way Indicator Species Analysis: 二元指標種分析)を行った。TWINSPAN分析とは、分類のための多変量解析の一手法で、クラスター分析が類似したデータを群にまとめていく集約的手法であるのに対し、一組のデータを次々と小群に分けていく手法(分割的方式)である¹¹⁾。Hillらが生物群集の分割に応用し、地点の構成種スコアからある種に着目して、その種の出現量から地点を分割する方法として開発した生物の分類分けのための統計的手法の一つである¹²⁾。異なる地点における値を統計的に処理することで、結果的に似た調査地点を集める事ができる。TWINSPANの計算には、PC-ORD ver4 (MjM Software Design)を使用した。

なお、筑後川、菊池川についてはコイ科のみを対象にTWINSPAN分析を追加した。

各調査地点のセグメントは以下の区分に従って決定した。ただし、山本のセグメント3に代わり、下流区間は生物との関係が強いと考えられる感潮区間をセグメントTとして区分した。

セグメントT: 感潮区間

セグメント2: 河床勾配が1/5000~1/400の区間

セグメント1: 河床勾配が1/400~1/60の区間

セグメントM: 河床勾配が1/60以上の区間

3. 結果

15河川に属する各調査地点を対象にTWINSPAN分析を行った結果、セグメント区分と魚類相区分の関係性について、以下の全体的な傾向が見られた。

セグメント区分と魚類相区分がよく対応した河川
筑後川、緑川、松浦川、川内川、山国川、
五ヶ瀬川

セグメント区分と魚類相区分があまり対応しなかった河川
菊池川、大分川、嘉瀬川、遠賀川、大野川、
小丸川

魚類相区分が入れ子状であり、セグメント区分と一致しなかった河川
白川、球磨川、本明川

表-2 筑後川の名調査地点で確認された魚種

セグメント	T	2-2	2-1	1				
魚類相区分	△	■	□	◇				
調査地点	St.1	St.2	St.3	St.4				
確認魚種								
ヤツメウナギ科	スナヤツメ コイ ギンナ							
タナゴ亜科	ヤリタナゴ アブラボテ セボシタビラ カゼトゲタナゴ カネヒラ							
	カワヒガイ オイカワ カワムツ ヌマムツ タカハヤ ウグイ モツゴ ムギツク セゼラ カマツカ ツチフキ ニゴイ イトモロコ コウライモロコ							
	ドジョウ科	スジシマドジョウ小型種 ヤマシマドジョウ						
	ギギ科	アリアケギハチ						
	カジカ科	ヤマノカミ						
ナマス科	ナマス							
ウナギ科	ウナギ							
アユ科	アユ							
メダカ科	メダカ							
スズキ科	オセニラミ							
ハゼ科	ドンコ ウロハゼ カワアナゴ オオヨシノボリ トヨシノボリ カワヨシノボリ ヌマチチブ							
	種数	2	13	22	28	23	18	14

及び St.2 ~ St.7 に区分され、その区分に大きく寄与したのがオイカワで St.1 はオイカワが確認されないことを、St.2 ~ St.7 は確認されたことを示している。次に St.2 ~ St.7 は、St.2 及び St.3 ~ St.7 に区分されたことを示しており、最終的に St.1, St.2, St.3, St.4 ~ St.5, St.6 ~ St.7 の 5 グループに区分されることを示している。

なお、図中に示された種名は TWINSPAN 分析の結果、分類に最も寄与した種であり、その種が持つ符号と同符号を記されたグループはその種が確認され、異符号が記されたグループはその種が確認されなかったことを示している。

(1) 筑後川

筑後川は九州内で最多の 51 種の純淡水魚・回遊魚の生息が確認された河川である。特にタナゴ亜科が 5 種と多いことが特徴である(表-2)。ここでタナゴ亜科とはヤリタナゴ、アブラボテ、セボシタビラ、カゼトゲタナゴ、カネヒラの 5 種を指す。St.2 と St.3 の間には潮止め堰の筑後川大堰が、St.4 ~ St.7 間には恵利堰、山田堰、大石堰、夜明ダム、三隈堰がある。TWINSPAN 分析の結果、筑後川の魚類相は縦断方向に 5 つのグループに区分された(図-2(a))。最下流の St.1 は汽・海水魚で魚類相が構成され、純淡水魚は確認されなかった。感潮域の St.2 ではタナゴ亜科の生息が確認されずコイ科の種数に乏しかったが、ヤマノカミ、ウナギなどの回遊魚が多く確認された。St.3 はカワアナゴ、ヨシノボリ類などハゼ科の種数に富んでいた。St.4 は 7 地点の中で最も多い 28 種の魚類が見られ、タナゴ亜科をはじめとするコイ科が多く確認された。また、St.4 と St.5 の間には恵利堰があるが、St.5 で確認された 23 種のうち 21 種が St.4 と一致しており、両者の魚類相に大きな差は見られなかった。St.6, St.7 ではタナゴ亜科の種数に乏しく全種数も St.4, St.5 と比較して少なかった(表-2)。

セグメントとの対応をみると、セグメント T が 2 つに分かれて区分され、セグメント 2-2、セグメント 2-1 およびセグメント 1 はそれぞれ 1 つの区分となった。このように筑後川では、魚類相区分とセグメント区分が良く対応した。

(2) 大分川

大分川は瀬戸内海に流出する河川で、筑後川など有明海、東シナ海に流出する河川と魚類相が異なりハゼ科の種数が 12 種で九州内でも比較的多い河川である。一方、生息が確認されたタナゴ亜科はアブラボテのみでタナゴ亜科の種数に乏しい(表-3)。主要な横断構造物は St.2 と St.3 間の府内堰、St.4 と St.5 間の国分井堰がある。TWINSPAN 分析の結果、大分川の魚類相は縦断方向に 4 つのグループに区分された(図-3(a))。最

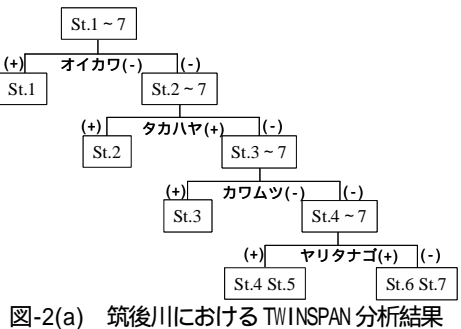


図-2(a) 筑後川における TWINSPAN 分析結果

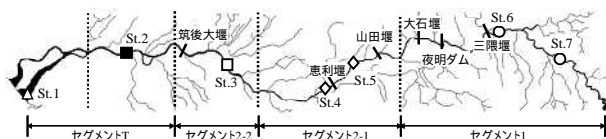


図-2(b) 筑後川におけるセグメントと魚類相区分

ここでは、セグメント区分の区切れと魚類相区分の区切れがどの程度一致しているかということ、セグメント区分と魚類相区分が良く対応した河川、対応しなかった河川の判断基準とした。入れ子状に魚類相が区分された 3 河川を除く 12 河川中、一致した程度が高い 6 河川をよく対応した河川とし、残りの 6 河川をあまり対応しなかった河川とした。

ここでは上記の ~ からそれぞれ筑後川、大分川、球磨川の 3 河川を取り上げ詳述する。3 河川の魚類相を表-2 ~ 表-4 に、TWINSPAN 分析の結果を図-2(a) ~ 図-4(a)に、セグメントと魚類相の関係を表したものを図 2(b) ~ 図 4(b)に示す。また、15 河川についてまとめたものを図 5 に示す。

図-2(a)を例に TWINSPAN 分析結果の表示の仕方を説明する。上から順に図を見ると、St.1 ~ St.7 は、St.1

表-3 大分川の各調査地点で確認された魚種

		セグメント						
		T		2		1		
魚類相区分	調査地点	△	□	◇	○	○	○	○
確認魚種	調査地点	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7
ヤツメウナギ科	スナヤツメ							
	コイ							
	ギンブナ							
	アブラボテ ↓ タナゴ亜科							
コイ科	オイカワ							
	カワムツ							
	タカハヤ							
	ウグイ							
	モツゴ							
	ムギツク							
	カマツカ							
ドジョウ科	ドジョウ							
	ヤマトシマドジョウ							
ナマス科	ナマス							
ウナギ科	ウナギ							
アユ科	アユ							
メダカ科	メダカ							
	ドンコ							
	ウロハゼ							
	カウヨシノボリ							
	カワアナゴ							
	ウキゴリ							
	ピリンゴ							
	ゴクラクハゼ							
	シマヨシノボリ							
	オオヨシノボリ							
	トウヨシノボリ							
	ヌマチチブ							
	チチブ							
	種数		5	12	16	20	9	14

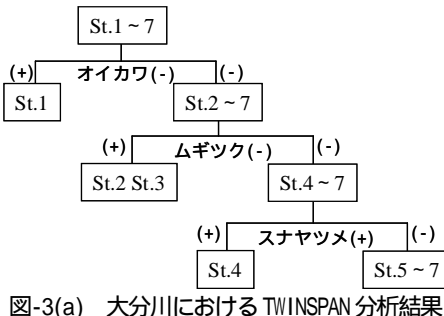


図-3(a) 大分川における TWINSPAN 分析結果



図-3(b) 大分川におけるセグメントと魚類相区分

下流の St.1 はウグイ、ウロハゼなどの回遊魚で魚類相が構成され、純淡水魚は確認されなかった。感潮域の St.2 およびセグメント 2 の St.3 では St.1 と同様に回遊魚が多く確認されたがコイ科の生息も見られた。St.2 ~ St.3 間には府内堰があるが、St.2 で生息が確認された 12 種のうち 9 種が St.3 でも見られた。St.4 では全調査地点中最多の 20 種が確認された。特にコイ科は 6 種が確認された。St.4 ~ St.5 間には国分井堰があり、St.4 では確認種数が 20 種であったのに対し堰上流の St.5 では 9 種と魚種数の減少が見られた。St.5 ~ St.7 ではハゼ科の種数が少なく出現魚種数もセグメント 2 区間に属する地点よりも少なかった。

表-4 球磨川の各調査地点で確認された魚種

		セグメント															
		T				2				1							
魚類相区分	調査地点	△	△	△	△	△	△	△	△	□	○	○	○	○	○	○	○
確認魚種	調査地点	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.8	St.9	St.10	St.11	St.12	St.13	St.14	St.15	St.16
コイ	ギンブナ																
	アブラボテ																
コイ科	オイカワ																
	カワムツ																
	タカハヤ																
	ウグイ																
	モツゴ																
	ムギツク																
	せせら																
	カマツカ																
	コイ																
	イトモロコ																
ドジョウ科	ドジョウ																
	ヤマトシマドジョウ																
	ナマス																
	ウナギ																
	アユ																
	ヤマメ																
	ドンコ																
	ピリンゴ																
	ウロハゼ																
	ゴクラクハゼ																
	シマヨシノボリ																
トウヨシノボリ																	
カウヨシノボリ																	
ヌマチチブ																	
チチブ																	
種数		9	15	12	11	9	15	17	15	15	12	17	16	15	16		

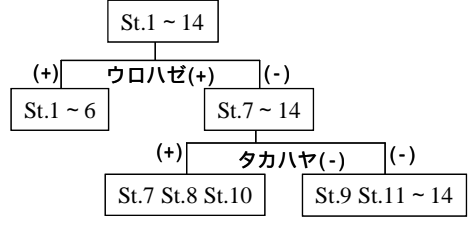


図-4(a) 球磨川における TWINSPAN 分析結果

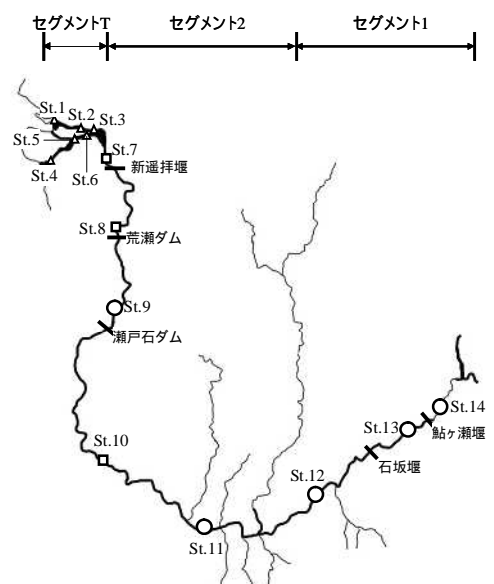


図-4(b) 球磨川におけるセグメントと魚類相区分

セグメントとの対応をみると、セグメント T およびセグメント 2 が 2 つに区別され、セグメント 1 が 1 つに区別された。このように大分川では魚類相区分とセグメント区分が完全には対応していなかった (図-3(b))。

(3) 球磨川

球磨川は出現魚種数が 25 種と少なく、コイ科やハゼ科の種数に乏しい河川である (表-4)。また、横断構造物が多いことが流域の特徴である。St.7 ~ 14 間に荒瀬ダム、瀬戸石ダムをはじめとする横断構造物が数多く

見られる。TWINSPAN 分析の結果、球磨川の魚類相は縦断方向に大きく 3 つのグループに、入れ子状に区分された(図-4(a))。St.1~St.6は魚類相に大きな差はなくギンブナ、オイカワなどの純淡水魚の他にアユ、チチブといった回遊魚が確認された。St.7,St.8,St.10では多くのコイ科の生息が確認された。St.7~St.8間には新遙拝堰があるが、15種が一致しており両者の魚類相に差はほとんどなかった。St.13, St.14は河床勾配がそれぞれ 1/280, 1/190と St.9, St.10~St.12に比べて急勾配であるが魚類相は類似していた。セグメントとの対応をみると、セグメント T 区間およびセグメント 1 区間に属する調査地点はそれぞれ 1 つに区分された。セグメント 2 区間は入れ子状に区分され、魚類相区分とセグメント区分が対応していなかった(図-4(b))。その理由として、横断構造物による湛水の影響で St.7~St.14では魚類相に大きな差がなく 1 種の確認の有無が区分に大きく寄与することが考えられる。

4. 考察

魚類相の縦断方向の変化およびセグメント区分との関係性について考察し、魚類相の観点からのセグメント区分を提案する。

15 河川のセグメント区分と魚類相区分の関係性を示したものを図-5に示す。また、15 河川の魚類相の縦断方向の変化を考える際に重要となる 9 の魚種の出現地点の河床勾配を示したものを図-6に示す。図-7には魚類相が縦断方向に連続して変化した 12 河川の魚類相区分と河床勾配の関係性を示した。

(1) 魚類相の縦断方向変化

魚類相の縦断方向変化についての研究はいくつかあり、本研究においても 15 河川中 12 河川について魚類相が縦断方向に区分され、大規模な堰を有する河川についても魚類相の縦断方向の変化が確認された。ただし、白川、本明川、球磨川においては魚類相の変化が入れ子状になっている(図-5)。その原因として、堰やダムなど横断構造物による湛水の影響が考えられる。湛水によって上流域でもセグメント 2 で現れるような止水域ができると魚類相は下流の魚類相となり当該セグメントが持つ環境とは異なる環境となったことが考えられる。

Huet はヨーロッパの緩勾配河川を源流部から河口まで 4 つの区間に区分し、各区間は上流からサケ科のブラウントラウト、カワヒメマス、コイ科のバーベル、ブリーム の 4 種によって特徴付けられるとした。TWINSPAN 分析で分類に寄与した種を参考に、ギンブナ、オイカワ、カマツカ、ヤリタナゴ、アブラボテ、ピリンゴ、ウロハゼ、チチブ、ヤマメの 9 種の 15 河川

セグメント	T	2-2	2-1	1	M
筑後川	[1] [2]	[3]	[4 5]	[6 7]	
菊池川	[1]	[2] [3]	[4 5 6]		
大分川	[1] [2]	[3]	[4]	[5 6 7]	
嘉瀬川	[1]	[2 3 4]		[5]	[6 7]
緑川	[1]	[2 3]		[4 5 6]	[7]
五ヶ瀬川	[1 2]	[3 4 5 6 7 8]			
松浦川	[1]	[2 3]	[4 5 6 7]		
遠賀川	[1]	[2 3 4]		[5]	[6]
川内川	[1 2] [3]	[4 5 6 7]	[8 9 10]	[11]	
白川	[1 2]	[3 4 5 6 7]	[8]	[9 10]	
大野川	[1 2] [3 4]	[5 6]	[7]		
球磨川	[1 2 3 4 5 6]	[7 8 9 10]	[11]	[12 13 14]	
小丸川	[1 2]	[3]	[4 5]	[6 7 8]	
本明川	[1] [2]	[3]	[4]	[5 6]	[7]
山国川	[1]	[2]		[3 4 5 6]	

図-5 15 河川のセグメント区分と魚類相区分

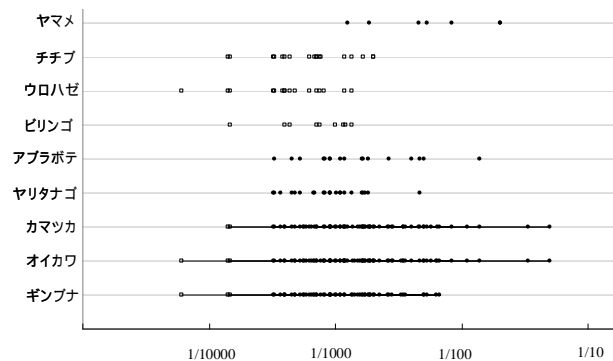


図-6 代表的な種の出現地点の河床勾配

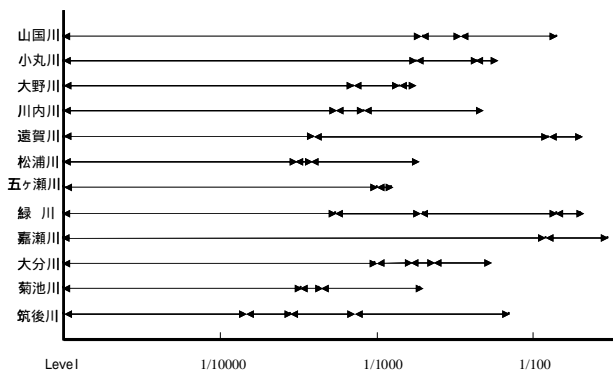


図-7 12 河川の魚類相区分と河床勾配

における出現地点の河床勾配を示したものが図-6である。この図から、九州の河川の魚類相は上流からサケ科(ヤマメ)、コイ科(オイカワ、ギンブナ、カマツカ、タナゴ亜科)、ハゼ科(ウロハゼ、ピリンゴ、チチブ)によって特徴付けられると考えられる。

(2) 魚類相の縦断方向の変化とセグメント区分の関係性

セグメント区分と魚類相の分類が完全に一致したの

は筑後川，緑川，川内川の3河川であり，魚類相区分と山本のセグメント区分は概ね対応していた。

各セグメントについてみると，セグメント1とセグメント2の境界で魚類相が分かれた河川が9河川あった。また，筑後川および川内川はセグメント1区間内でも魚類相が2つのグループに分類されていた。両河川においてもこの2つのグループの魚類相は大きく異なることから，感潮区間が長い河川ではセグメント1区間は海の影響を強く受ける河口域と海の影響があまり強くない感潮区間に区分されると考えられる。一方，セグメント2とセグメント1の境界で魚類相が分かれた河川は6河川であった。

また，川内川や松浦川のセグメント2区間のように長いセグメント区間では魚類相は同一セグメント内においても2つのグループに区分され，大分川や本明川のように短いセグメント2区間を持つ河川においては，上流または下流のセグメントの調査地点に類似した魚類相を持つことが分かった。

以上を考慮し，魚類相の縦断方向の変化に対応したセグメント区分を提案する。図-7は14河川の魚類相区分と河床勾配の関係を示したものである。この図から4河川（筑後川，菊池川，松浦川，遠賀川）で1/2000付近で魚類相が区分されていることがわかる。また，1/1000付近では8河川（筑後川，大分川，五ヶ瀬川，川内川，大野川，小丸川，山国川）で魚類相が変化し，上流域では1/100程度で嘉瀬川，緑川，遠賀川の3河川で魚類相が変化している。山本のセグメント区分では1/5000~1/400がセグメント2区間となっており，魚類相の変化を規定するには充分でない。以上より1/2000~1/1000，1/1000~1/100の区間で魚類相が区分されると考えられる。

5. 結論

本研究は，流域スケールでの魚類相の縦断方向の変化について調べ，魚類相の分類の区分と山本が示したセグメント区分の関係性について調べたものである。得られた結果を要約すると以下ようになる。

魚類相の縦断方向の変化は15河川中12河川で確認され，人為的なインパクトをある程度受けた九州の河川についても魚類相が縦断方向に複数のグループに分類されることが分かった。

TWINSPAN分析の結果から，九州の河川の魚類相を上流から大きく3つに区分した場合，各区間を特徴付ける種は上流からサケ科，コイ科，ハゼ科であると考えられる。

セグメント3区間が長い河川については，魚類相は海の影響を強く受ける河口域と海の影響がそれほど強くない感潮区間の2つに分類される。

本研究より得られた魚類相に関するセグメント区分は以下のとおりである

- 魚類セグメント A : 1/100 ~
- 魚類セグメント B : 1/1000 ~ 1/100
- 魚類セグメント C : 1/2000 ~ 1/1000
- 魚類セグメント D : 感潮区間
- 魚類セグメント E : 河口域

なお本研究では魚類の出現状況に基づき統計処理のみで魚類セグメントを区分したが，河川形状等の物理環境と魚類セグメントを付き合わせた検討を行い，どのような物理環境によって生物が区分されているのかを明らかにする必要がある。

参考文献

- 1) Petry, A. C. and Schulz, U. H.: Longitudinal changes and indicator species of the fish fauna in the subtropical Sinos River, Brazil, *Journal of fish biology*, 69(1), pp.272-290, 2006.
- 2) Gorman, O. T. and Karr, J. R.: Habitat structure and stream fish communities, *Ecology*, 59, pp.507-515, 1978.
- 3) Huet, M.: Profiles and biology of western European streams as related to fish management, *Transactions of the American Fisheries Society*, 88, pp.155-163, 1959.
- 4) Sheldon, A. L.: Species diversity and longitudinal succession in stream fishes, *Ecology*, 49, pp.193-198, 1968.
- 5) Hocutt, C. H. and Stauffer, J. R.: Influence of gradient on the distribution of fishes in Conowingo Creek, Maryland and Pennsylvania, *Chesapeake Science*, 16, pp.143-147, 1975.
- 6) Evans, J. W. and Noble, R. L.: The longitudinal distribution of fishes in an east Texas stream, *American Midland Naturalist*, 101, pp.333-342, 1979.
- 7) Bram, G. W. and Piet, H.: Fish zonation and guilds as the basis for assessment of ecological integrity of large rivers, *Hydrobiologia*, 500, pp.157-178, 2003.
- 8) 可児藤吉: 可児藤吉全集, 思索社, 1970.
- 9) 山本晃一: 構造冲積河川学 その構造特性と動態, 山海堂, 2004.
- 10) 国土交通省九州地方整備局, 国土交通省国土地理院, 九州地方の古地理に関する調査: 古の文化と豊かな自然, 2002.
- 11) 嶺田拓也, 山中武彦, 浜崎健児, 生物・社会調査のための統計解析入門: 調査・研究の現場から (その8), 農業土木学会誌, 73(3), pp.221-226, 2005.
- 12) Hill, M. O.: TWINSPAN, a FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes, *Cornell university*, 1979.

(2007.9.30 受付)