

環境指標のための魚類セグメントエコリジョン

敵島, 怜
九州大学大学院工学府

島谷, 幸宏
九州大学大学院工学研究院

中島, 淳
九州大学大学院工学研究院

河口, 洋一
九州大学大学院工学研究院

<https://hdl.handle.net/2324/15503>

出版情報 : 水工学論文集. 53, pp.1189-1194, 2009-02. 土木学会
バージョン :
権利関係 :



環境指標のための魚類セグメントエコリージョン

SEGMENT BASED ECOREGIONS BASED ON FISH FAUNA FOR BIOLOGICAL INDICATOR

厳島 怜¹・島谷幸宏²・中島 淳³・河口洋一⁴

Rei ITSUKUSHIMA, Yukihiro SHIMATANI, Jun NAKAJIMA, 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非会員 農博 九州大学大学院工学研究院 (〒819-0395 福岡市西区元岡744番地)

⁴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)

The biological indicator should be developed in the ecoregion where biota is relatively identical. Furthermore, as stream biota widely varies from headwater to downstream, it is necessary to define segment based ecoregions where biota is longitudinally identical. In this study, we delineated segment based ecoregions for ten rivers belonging to the northwest Kyushu ecoregion based on the degree of similarity of the fish fauna.

The northwest Kyushu ecoregion was divided into five segment based ecoregions. As a result, fish fauna was more clearly characterized by the differences in community structure between segment based ecoregions than those between watersheds. Moreover, distinguishing segment based ecoregions, enabled us to compare the integrity of fish fauna between watersheds, which had been previously difficult to examine.

Key Words : Ecoregion, TWINSpan, biological integrity, IBI, northwest Kyushu

1. はじめに

Ecoregionとは土壌・気候・植生等が類似し、人為的な影響の程度が同じである地理的領域と定義される¹⁾。生物相の良否(生態学的健全性)の比較は同一のエコリージョン内で行わなければならない²⁾。エコリージョンは環境指標を設定する際に対象とする領域として北米を中心に研究が進められている^{3) 4)}。また,Olsonらは古典生物地理学に基づき地球の陸地生態系を867のエコリージョンに区分している⁵⁾。北米ではエコリージョン内でIBI等の指標を用いて生態学的健全度を評価する研究が多く行われている。米国で開発されたIBIは始め、魚類を対象に開発されたが、河川に生息する大型無脊椎動物^{6) 7)}、付着藻類⁸⁾にも適用されている。日本では国土が南北に長く、島嶼が多いことから地理的・気候的に生物群集が細かく分かれている。従って日本において環境指標を作成し生物多様性を比較する際には、地域の生物相を反映するエコリージョンの概念を活用することが有効と考えられる。

また、河川は流程に従って生物相が大きく異なるため、生態学的健全性の比較を行う際には生物相が類似した一定の区間で行う必要がある。ひとつの流域に着目し生物相の流程区分に伴う変化を調べた研究としてPetryの例が

挙げられる⁹⁾。PetryはブラジルのShinos川において魚類相の縦断方向の変化について調べ、流程区分ごとに指標種を設定した。EsselmanらはベリーズのMonkey川において魚類の縦断方向の分布と地質との関係性を調べた¹⁰⁾。筆者らは九州の一級河川の魚類相と山本のセグメント区分との関係について調べた研究を行い、その有効性を示している¹¹⁾。このような河川の縦断方向の魚類分布パターンを理解し、流程区分ごとに特徴的な種を明らかにする事は河川管理の為に有効な情報となり、保全地域の決定に大きく寄与する¹²⁾。

一方で、流域間で生物相の良否を比較する際にはエコリージョン区分を考慮した流程区分に伴う生物相の変化を考えなければならない。しかし、同一エコリージョン内の複数の流域を対象に生物相の縦断方向の分布を調べた研究は見られない。本研究では複数の流域を対象にして魚類相がどのように区分されるかを調べ、セグメントエコリージョンを設定し、分類された魚類相の特徴について考察を行った。また、区分された同一セグメントエコリージョン内で魚類種数を用い、生態学的健全度の比較を行った。

2. 研究の方法

(1) 対象地域および河川

本研究では既往の九州のエコリージョン区分に関する研究^{13), 14)}における北西部エコリージョンに区分された10河川を対象に行った(図-1)．対象河川の流路延長および流域面積を表-1に示す．

(2) 方法

対象とする10河川136地点で国土交通省が行った水辺の国勢調査結果(1992～2005)で出現した全魚種(汽・海水魚, 回遊魚, 純淡水魚)の採捕有無データを用いてTWINSPAN(Two-Way Indicator Species Analysis : 二元指標種分析)による分析を行い, 魚類相の類似度からセグメントエコリージョンを決定した. 1992年～2005年の間で一度でも生息が確認された種を確認ありとした.

TWINSPAN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¹⁵⁾. 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⁷⁾. 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.

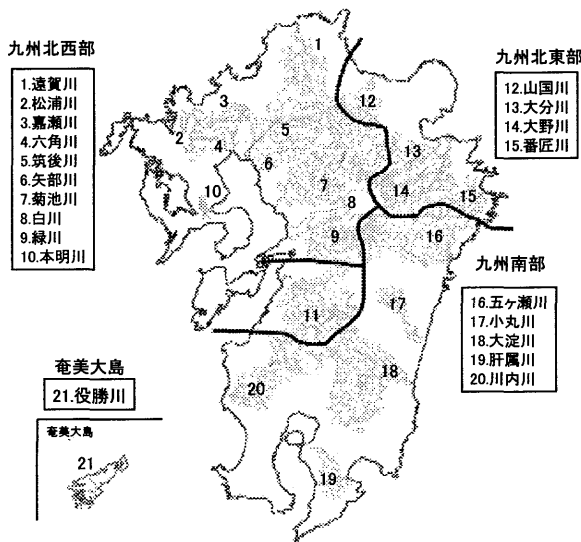


図-1 九州におけるエコリージョン区分

(3) 対象地域の魚類相

表-2は九州の各エコリージョンに属する河川で出現するコイ科(タナゴ亜科を含む), タナゴ亜科, ハゼ科, コイ科・ハゼ科以外の種の平均魚種数を示したものである. この表から対象とする九州北西部では他のエコリージョンと比較し, タナゴ亜科を始めとするコイ科の種数が多く, ハゼ科の種数が少ないことがわかる.

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(km2)
1 遠賀川	61	1,026
2 松浦川	47	446
3 嘉瀬川	57	368
4 六角川	47	341
5 筑後川	143	2,863
6 矢部川	61	647
7 菊池川	71	996
8 白川	74	480
9 緑川	76	1,100
10 本明川	21	87

表-2 各エコリージョンに出現する魚類種数

Ecoregion	北西部	北東部	南部	奄美大島
全種数	34.9±8.3	29.0±1.7	27.2±2.5	12.0±0.0
コイ科	16.5±4.4	10.0±1.9	8.8±1.2	0.0±0.0
タナゴ亜科	3.8±1.9	0.8±0.8	0.2±0.4	0.0±0.0
ハゼ科	8.1±2.0	12.0±1.9	12.0±1.1	8.0±0.0
コイ科, ハゼ科以外	10.3±3.1	7.0±1.4	6.4±1.0	4.0±0.0

3. 結果

対象とした10河川136地点をTWINSPAN分析した結果を図-2 (a) に示す. 全対象地点は第一段階で河口域のAグループとその他の119地点に分類された. 第二段階ではAグループがさらにA1とA2に, 残りの119地点が中流域の70地点と上流域の49地点に分類された. 第三段階では中流域70地点が下流域(Bグループ), 中下流域(Cグループ)の2つに分類され, 上流域49地点が中上流域(Dグループ), 最上流域(Eグループ)に分類された. さらに第四段階ではB, C, Dの各グループがB1, B2, C1, C2, D1, D2にそれぞれ分類された. 分類されたマークの横に () 内で示した数字はこれらのグループに属する地点の数である.

これらの結果をA～Eまでの5つのグループについて図示したものが図-2 (b), A1～D2, Eまでの9グループについて図示したものが図-2 (c) である. 表-3にはA～Eの各グループに出現した純淡水魚・回遊魚を示した. 対象とした河川では52種の純淡水魚・回遊魚, 15種の国内移入種・外来種が確認された. 種数は中下流域のCグループで最も多く, これより上, 下流に向かうにつれて減少する傾向が見られた.

ここでは図-2 (b) および図-2 (c) について詳述する. 図-2 (b) において対象10河川の魚類相は縦断方向に区分されていることがわかる. ここでは特徴的な河川を取り上げ説明する. 松浦川では魚類相はA, C, Dの3つのグループに分類された. 中上流域を示すDグループの2地点が属している支川厳木川は松浦川本川とは異なる急勾配な河川であり主に中流域に生息するコイ, ギンブナ, タナゴ亜科の生息が見られなかった. この分類結果は松浦川の魚類相を良く反映している. 次に筑後川で

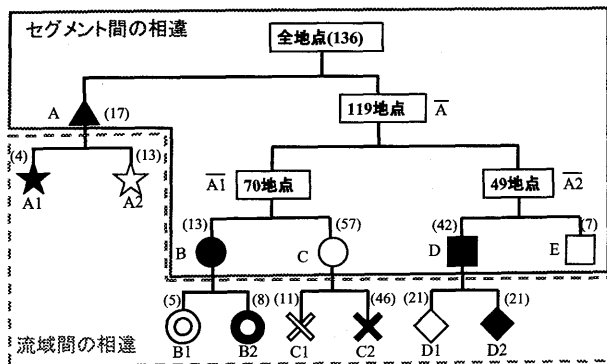


図-2(a) TWINSpanによる分類結果

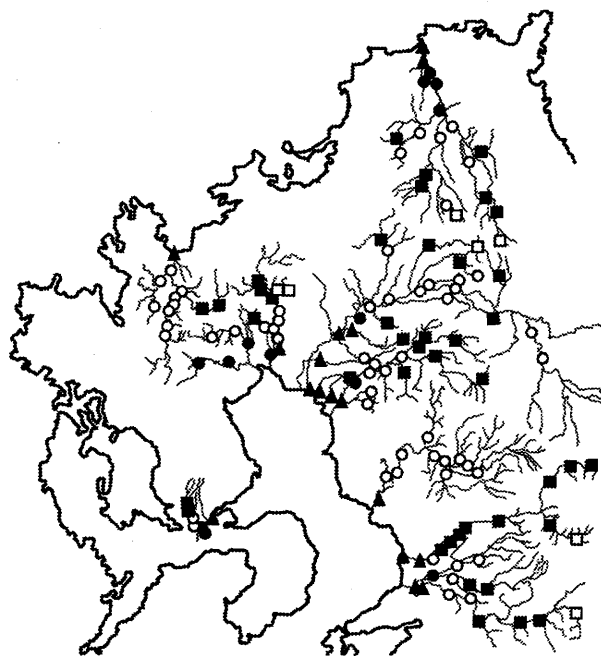


図-2(b) 5グループに分類した結果

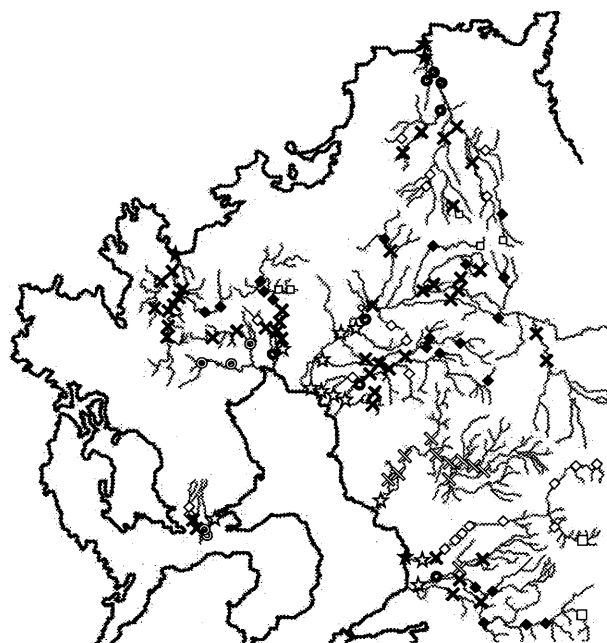


図-2(c) 9グループに分類した結果

表-3 グループA～Eに出現した種

確認種	A	B	C	D	E
スナヤツメ			●	●	
サケ	●				
コイ	●	●	●	●	
ギンブナ	●	●	●	●	●
オオキンブナ	●	●	●	●	
ヤリタナゴ	●	●	●	●	
アブラボテ	●	●	●	●	
ニッポンバラタナゴ	●	●	●	●	
カゼトゲタナゴ	●	●	●	●	
セボシタビラ	●	●	●	●	
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	●	●	●	●	
ゼゼラ	●	●	●	●	
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	●	●	●	●	
ヤマトシマドジョウ	●	●	●	●	
スジシマドジョウ小型種小型	●	●	●	●	
アリアケギハチ	●	●	●	●	
ギギ	●	●	●	●	
ナマズ	●	●	●	●	
ウナギ	●	●	●	●	
アユ	●	●	●	●	
カジカ	●	●	●	●	
メダカ	●	●	●	●	
ヤマノカミ	●	●	●	●	
オヤニラミ	●	●	●	●	
アマゴ	●	●	●	●	●
ヤマメ	●	●	●	●	●
サクラマス	●	●	●	●	●
ドンコ	●	●	●	●	●
カワアナゴ	●	●	●	●	
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	●	●	●	●	
カワヨシノボリ	●	●	●	●	●
ビリンゴ	●	●	●	●	
スミウキゴリ	●	●	●	●	
ウキゴリ	●	●	●	●	
ヌマチチブ	●	●	●	●	
チチブ	●	●	●	●	
種数	26	32	45	30	9
ドイツゴイ	●	●	●	●	
ゲンゴロウブナ	●	●	●	●	
タイリクバラタナゴ	●	●	●	●	
ワタカ	●	●	●	●	
ハス	●	●	●	●	
タモロコ	●	●	●	●	
カダヤシ	●	●	●	●	
ブルーギル	●	●	●	●	
ブラックバス	●	●	●	●	
チカダイ	●	●	●	●	
カムルチー	●	●	●	●	
グッピー	●	●	●	●	
ワカサギ	●	●	●	●	
ビワヒガイ	●	●	●	●	
ニジマス	●	●	●	●	●
種数	9	10	12	5	1

は、河口から20km上流においても河口域のグループに分類された地点がある。筑後川は有明海の大きな干満の差によって感潮区間が23.0kmと長く、20km地点でもスズキ、ボラといった汽・海水魚の出現が見られる。分類結果は筑後川の感潮区間の長さを反映していると考えられる。菊池川の魚類相はAとCの2グループに分類された。菊池川は緩勾配河川であり最も上流域に属する調査地点でも勾配が1/570と比較的緩やかでタナゴ亜科の生息が多く見られる。その結果上流域に生息する魚種によって構成される調査地点がなく、このような分類結果となった。白川はA, C, D, Eの4つに分類されたがCに区分された地点は1地点のみであった。白川は阿蘇山のカルデラ湖が約7万3000年前に欠落して形成された河川であり、急勾配で流域内に支川が少ない河川である。その結果河

川の横断的な繋がりが乏しく中流に生息するタナゴ亜科などが少なくこのような結果となった。

図-2 (c) は9グループに分類した結果を示したものである。河口域のAグループは白川の最下流の調査地点を除くと、日本海流入河川の河口域であるA1と有明海流入河川の河口域であるA2の2つに分類された。また下流域のBグループは六角川、本明川が属するB1とそれ以外のB2に分類された。中下流域のCグループは緑川中流域の1地点以外は菊池川に属するC1とそれ以外のC2に分類された。中上流域のDグループは白川、本明川を中心とするD1とその他のD2に分類される。

図-2 (a) 中に示すように、5グループに分類した場合、魚類相は縦断方向に分類され、セグメント間の相違によって魚類相が区分された。一方、次の段階まで分類し、9グループとした場合には緑川の1地点を除くと菊池川のみで構成されるC1など、流域間の相違によって魚類相が区分された。

このようにエコリージョンを考慮して魚類相を類型化することで、流域間による魚類相の相違に優先し、セグメント間の相違によって魚類相を分類できることが示唆された。以上より九州北西部においては5つのセグメントエコリージョンに区分する事が妥当と考えられる。

4. 考察

(1) 各セグメントエコリージョンの魚類相の特徴

一般に魚類種数は河口からの距離に伴って減少する事が知られており^{10), 16)}、生息地の多様性が増加する事で説明されている¹⁷⁾。図-3はA～Eグループに属する調査地点における平均魚種数を示したものである。九州北西部においても下流から上流へと総魚種数が減少する傾向が見られる。一方で純淡水魚・回遊魚の種数は中下流域のCグループで最も多く上流、下流に向かうにつれて減少する傾向が見られた。BグループおよびCグループの総魚種数はほぼ同程度であるが、Bグループでは汽・海水魚の出現が見られるがCグループでは殆ど見られない。また、AグループとBグループはともに潮の影響を受ける区間であるが、汽・海水魚の占める割合は大きく異なるなど魚類相の構成は大きく異なることがわかる。従って環境指標を作成する際にはこのような魚類相の違いを考慮する必要があり、セグメントエコリージョンの概念が有効と考えられる。

各流程区分を特徴付ける種を特定することは魚類の分布パターンを理解するうえで重要であり、保全地域の設定にも有効である¹²⁾。ここでは各セグメントエコリージョンを代表する指標種について考察を行う。表-4は各セグメントエコリージョンの調査地点に50%以上出現した魚種を示したものである。表中で着色した部分が汽・海水魚を表している。Aグループでは50%以上出現した

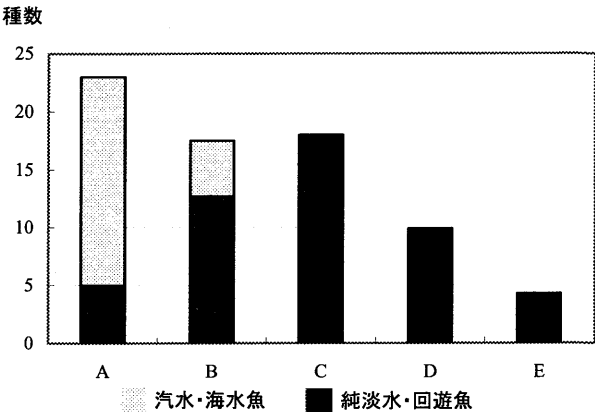


図-3 各セグメントエコリージョンに属する地点に出現した平均魚種数

表-4 各セグメントエコリージョンにおける主な種の出現率 (50%以上)

出現率 (%)	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
A	コイ ヒイラギ サッパ セスジボラ ハゼクチ		スズキ シモフリシマハゼ コノシロ	ボラ ウロハゼ	ギンブナ マハゼ
B	シモフリシマハゼ ウナギ	カマツカ ツチフキ トウヨシノボリ ウロハゼ	ナマズ		コイ ギンブナ オイカワ モツゴ
C	ヤマトシマドジョウ アユ	ヤリタナゴ カネヒラ カワヒガイ	モツゴ ムギツク	ナマズ トウヨシノボリ	ギンブナ オイカワ カワムツ カマツカ イトモロコ ドンコ
D	ギンブナ			タカハヤ ムギツク カマツカ	オイカワ カワムツ ドンコ
E	ドンコ		カワムツ ヤマメ		タカハヤ

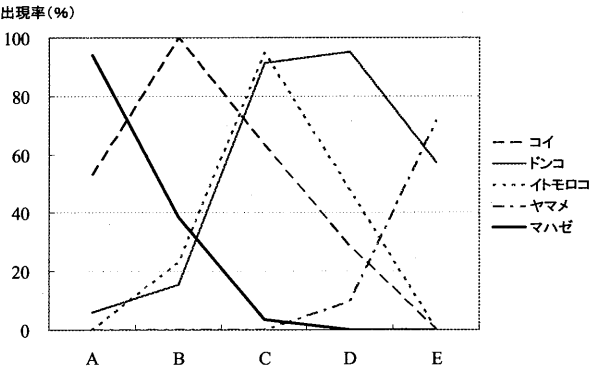


図-4 各セグメントエコリージョンにおける種の出現率

魚種の大半が汽・海水魚であり、良く見られた純淡水魚はコイ、ギンブナであった。Bグループはウロハゼ、シモフリシマハゼといった汽・海水魚の出現が見られる一方でコイ、ギンブナ、モツゴ等のコイ科の魚も多く出現しておりAグループとCグループの中間の魚類相となっている。Cグループではコイ科魚類が数多く見られ、特にヤリタナゴ、カネヒラといったタナゴ亜科が多く見ら

れた。タナゴ亜科は九州北西部で多く見られる種であり(表-2), エコリージョンを区分する事によってこれらの種によって特徴付けられるセグメントエコリージョンを区分する事ができたと考えられる。DグループではA~Cで90%以上の地点で出現が確認されたギンブナの出現率が下がり, 上流域に生息するタカハヤが多く見られる。Eグループでは他のセグメントエコリージョンで生息がほとんど確認されなかったヤマメが確認された。

図-4は各セグメントエコリージョンで指標種となり得る出現確率が90%以上(ヤマメを除く)の種について, 各セグメントエコリージョンにおける出現率を表したものである。ギンブナ, オイカワ, カワムツは多くのセグメントエコリージョンにおいても出現率が高く, 指標種としては不向きなことが伺える。以上より九州北西部の河川は以下の魚種によって特徴付けられると考えられる。

Aグループ: マハゼ, ウロハゼ

Bグループ: コイ, モツゴ

Cグループ: イトモロコ, タナゴ亜科

Dグループ: ドンコ, ムギツク

Eグループ: ヤマメ

(2) セグメントエコリージョンの概念に基づく指標開発の方向性

北米では同一エコリージョン内で魚類等を対象としてIBI(Index of Biological Integrity)を始めとする多くの指標開発が進められ, 実用化が為されている¹⁸⁾。IBIとは河川やその流域における人為の影響を評価するため, 魚類相の多くの特質を統合したもの¹⁹⁾であり, これらの特質を表す測定基準を指数化することで河川環境の健全度を定量的に評価できるものである²⁰⁾。

ここでは「同一セグメントエコリージョン内であれば生物相の良否が比較可能である」という仮説に基づき, 最も魚種数が多く見られた中下流域のCグループを対象に生態学的健全度を評価可能な指標作成の方向性について検討する。ここでの基本概念は, セグメントエコリージョンが同じで, 環境の状況が同じであれば生息する魚類相は等しいというものである。すなわち生息する魚類相は環境の状況を反映していると考えるのである。ここでは魚種数が多いほど環境が良いとして評価を行う。

Cグループで出現した総魚種数(国内移入種・外来種を除く)および氾濫原依存種を対象にこの基本概念を適用する。氾濫原依存種は平常時の生息場や産卵時等, その生活史の一環で氾濫原を利用する種のことである。ここではコイ, ギンブナ, オオキンブナ, ツチフキ, メダカ, ナマズ, ドジョウ, モツゴ, ニッポンバラタナゴ, タイリクバラタナゴの10種を氾濫原依存種とする。タイリクバラタナゴは外来種であるが氾濫原を利用するため氾濫原依存種として数えた。

図-5は九州北西部のセグメントエコリージョンCに属する地点に出現した総魚種数を表したものである。累計

の総魚種数は45種, 平均で18.0種であった。比較的多くの種の生息が確認された河川は菊池川, 松浦川, 六角川であった。一方, 地点における確認種数が少なかった河川として遠賀川, 緑川が挙げられる。また, 筑後川は流域全体で九州最多の55種の純淡水魚・回遊魚が確認されているが中下流域に属する地点での平均魚種数は16.9種であり, 平均の18.0種を下回った。筑後川は九州最大の流域面積を持つ河川であり多様な環境が流域内に存在するが, 各地点でみると魚種数は少なく, 各地点の環境は必ずしも良くないことがわかる。

図-6は九州北西部のセグメントエコリージョンCに属する地点に出現した氾濫原依存種数を表したものである。氾濫原依存種が多く生息する河川は菊池川, 松浦川であり, 少ない河川は遠賀川, 緑川である。九州北西部はタナゴ亜科を始めとするコイ科の種数が多く(表-2), 氾濫原依存種も多く生息しているが, 実際にそれらの種が多く生息している場所は限定されることがわかる。また松浦川では6, 7種が生息する場所がある一方で×の場所もみられ, 同一河川においても氾濫原依存種についての環境状況が異なることがわかる。

このようにセグメントエコリージョンを区分することで, 従来困難であった流域間, あるいは河川内の地点間の比較を行うことが可能となった。

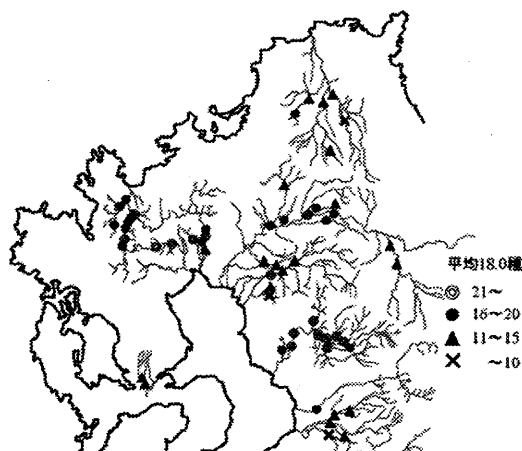


図-5 九州北西部中流域上流部における総魚種数

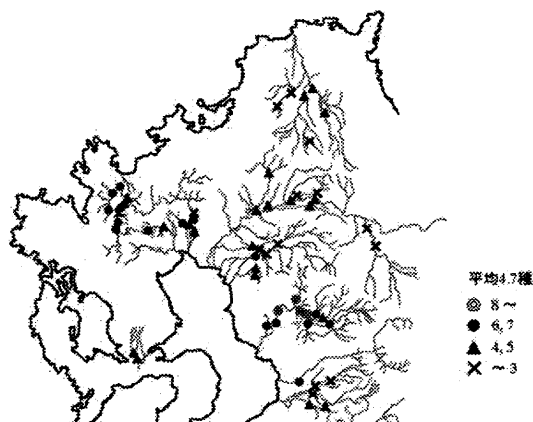


図-6 九州北西部中流域上流部における氾濫原依存種数

5. 結論

本研究は九州北西部エコリージョンにおいて複数の流域を対象としてセグメントエコリージョン区分を行い、出現種数を用いて生態学的健全度の比較を行ったものである。得られた知見を要約すると以下の通りである。

- ①九州北西部は大きく5つのセグメントエコリージョンに区分する事ができ、同一エコリージョン内において魚類相を比較することで流域間の相違に優先してセグメント間の相違により魚類相を類型化することが可能である。
- ②区分された5つのセグメントエコリージョンの魚種数を比較すると、従来の生態学的知見と同様に河口からの距離に従って魚種数が減少した。また、各エコリージョンを特徴付ける指標種として下流から、A: ウロハゼ・マハゼ（ハゼ科）、B: コイ・モツゴ（コイ科）、C: イトモロコ・タナゴ亜科（コイ科）、D: ドンコ、ムギツク、E: ヤマメ（サケ科）が挙げられる。
- ③エコリージョンを考慮したセグメントエコリージョンの概念を用いることで、従来困難であった流域間あるいは同一河川内地点間のある環境に依存する魚種数の比較が可能となることがわかった。

以上のように、今後魚類を生活史、生活スタイル別に類型化し、セグメントエコリージョンの考え方を適用し、生態学的健全度の指標を作成しうることが明らかとなった。

参考文献

- 1) Bailey, R. G.: Ecoregion of the United States, (map), Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Region, Scale 1:7,500,00, 1976.
- 2) Hall, R.K., Wolinsky, G.A., Husby, P., Harrington, J., Spindler, P., Vargas, K. and Smith, G.: Status of aquatic bioassessment in U.S., *Environmental Monitoring and Assessment*, 64, pp.17-30, 2000.
- 3) Crowley, J.M.: Biogeography, *Canadian Geographer*, 11, pp.312-326, 1967.
- 4) Bailey, R.G. and Cushwa, C.T.: Ecoregions of North America, *FWS/OBS-81/29, U.S. Fish and Wildlife Service, Washington, DC, scale 1:12,000,000*, 1981.
- 5) Olson, D.M., Dinerstein, E., Burgess, N.D., Powell, G.V.N., Underwood, E.C., D'Amico, J.A., Itoua, I., Strand, H.E., Morrison, J.C., Loucks, C.J., Allnutt, T.F., Ricketts, T.H., Kura, Y., Lamoreux, J.F., Wettengel, W.W., Hedee, P. and Kassem, K.R.: Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on Earth, *Bioscience*, 51, pp.933-938, 2001.
- 6) Plafkin, J.L., Barbour, M.T., Porter, K.D., Gross, S.K. and Hughes, R.M.: Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: benthic macroinvertebrates and fish, *United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C., USA. EPA/444/4-89-001*, 1989.
- 7) Barbour, M.T., Swietlik, W.F., Jackson, S.K., Courtemanch, D.L., Davies, S.P. and Yoder, C.O.: Measuring the attainment of biological integrity in the USA: a critical element of ecological integrity, *Hydrobiologia*, 422, pp.453-464, 2000.
- 8) Barbour, M.T., Gerritsen, J., Snyder, B.D. and Stribling, J.B.: Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, Second Edition, *EPA/841-B-98-010. U.S. EPA, Office of Water, Washington, DC*, pp.344 1999.
- 9) 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.
- 10) Esselman, P.C., Freeman, M.C. and Pringle, C.M.: Fish-assemblage variation between geologically defined regions and across a longitudinal gradient in the Monkey River Basin, Belize, *Journal of North American Benthological Society*, 25(1), pp.142-156, 2006.
- 11) 厳島 怜, 島谷幸宏, 河口洋一: 魚類相の縦断方向変化とセグメント区分に関する研究, 土木学会, 水工学論文集, vo.152, pp.1147-1152, 2008.
- 12) Bram, G. W. and Piet, H.: Fish zonations and guilds as the basis for assessment of ecological integrity of large rivers, *Hydrobiologia*, 500, pp.157-178, 2003.
- 13) 厳島 怜, 島谷幸宏, 河口洋一: 魚類相からみた九州のエコリージョン区分, 平成18年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 2006.
- 14) Itsukushima, R., Shimatani, Y. and Kawaguchi, R.: Effectiveness of delineating ecoregions in Kyushu region, Japan for establishing environmental indicator, *Landscape ecological engineering*, (未発表).
- 15) 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.
- 16) 玉井信行, 水野信彦, 中村俊六: 河川生態環境工学—魚類生態と河川計画—, 東京大学出版会, 1993.
- 17) Gorman, O. T. and Karr, J. R.: Habitat structure and stream fish communities, *Ecology*, 59, pp.507-515, 1978.
- 18) Karr, J.R., Dudley, D.R.: Ecological perspective on water quality goals, *Environmental Management*, 5(1), pp.55-68, 1981.
- 19) Karr, J.R.: Biological integrity: A long neglected aspect of water resource management, *Ecological applications*, 1(1), pp.66-84, 1991.
- 20) Ganagan, V. and Hughes, R.M.: Application of an index of biological integrity (IBI) to fish assemblages of the rivers Khan and Kshipra (Madhya Pradesh), India, *Freshwater Biology*, vol.40(2), pp.367-383, 1998.

(2008. 9. 30受付)