

九州の一級河川における 河川環境の総合的な把握手法の検討

SYNTHESIZED UNDERSTANDING OF ENVIRONMENTAL FEATURES OF MAIN RIVERS IN KYUSHU

杉尾 哲¹・宮崎貴紅子²
Satoru SUGIO and Kikuko MIYAZAKI

¹フェロー会員 工博 元宮崎大学 工学部土木環境工学科 (〒889-2192宮崎市学園木花台西1-1)

²正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社九州支社 (〒819-0007福岡市西区愛宕南1-1-7)

This paper described the result of synthesized understanding of river environment using Quantification theory Type III and Cluster analysis. The twenty one river environment factors consist of physical, chemical, biotic, and river aesthetic were collected from 49 investigation points situated in twenty rivers categorized as main rivers in Kyushu. The result of quantitative analysis showed the classifications based on three quantitative axes, namely: riparian longitudinal location-axis (first axis), migration-axis (second axis), and diversity-axis (third axis), while the result of cluster analysis showed that 49 investigation points were classified into six groups. This study clarified that the particle size of river bed, benthic organism, ASPT and transparency gave high contribution on the first axis; the migration of aquatic animal and existence of weir were on the second axis; while flow and habitat structure condition highly contributed on the third axis.

Key Words : *classification of river environment, riparian longitudinal location, migration, diversity, aesthetic factor, quantification theory type III*

1. はじめに

九州地方は台風上陸数が非常に多く、近年は記録的な豪雨による甚大な河川災害が連続して発生している状況にあり、各地で大規模な河川整備が進められている。その整備で河川の環境上の特性を保全する川づくりが求められている。一方、河川環境に係る様々なデータが定期的に蓄積されているものの、その結果から河川の環境上の特徴を総合的に把握することができていない。

本研究では、蓄積された河川環境データを活用して河川環境の現状を総合的に把握するとともに、河川整備による環境改善効果を予測する手法の検討を目的とする。

2. 河川環境の把握手法

(1) 河川の環境上の特徴の表現

我が国においても河川環境を評価するために様々な手法が開発されつつある。生態系を通じて河川環境を判断するHEP, IFIMやPHABSIMなどの「河川生態環境評価」¹⁾、「河川の健全性」を評価するIBI-J²⁾があ

る。また、河川物理環境の特徴を評価するRHSやHQA³⁾等がある。

本研究で提案する手法は次の2点で既往のものと異なっている。1つは、これまでの手法が、物理的、化学的、生物的要素から評価するのに対し、日本人の川に対する独特な感性を重視して感覚的要素を取り入れている点である。2点目は、複数の河川環境を対比することにより、個々の河川環境の特徴を際立たせて認識する点である。すなわち本手法は、多くの要素で構成した河川環境を表現する軸を定義し、河川の総合的な環境を定量的に表現することによって環境上の特徴を把握するものである。

(2) 分析方法

分析方法は、数量化理論第Ⅲ類とクラスター分析を用いた。

数量化理論第Ⅲ類は、外的基準のない質的な説明変量を用いる多変量解析であり、我が国の行動科学などの研究分野で多く適用⁴⁾されてきた。外的基準がないという点で量的変量を用いる主成分分析法に相当する。

本研究では、数量化理論第Ⅲ類によって多くの要

素で構成した河川環境を表現する軸を定義し、各軸に対する調査地点のサンプルスコアにより、調査地点の環境上の特徴を総合的に把握する。さらに、サンプルスコアのマハラノビスの汎距離を計算し、ウォード法を適用したクラスター分析により、調査地点の類型化を行う。

3. 調査対象河川の概要と調査内容

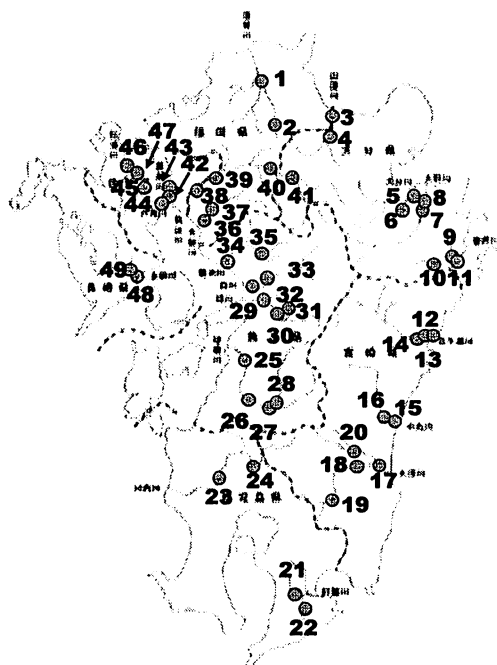
(1) 調査対象河川の概要

本研究では、図-1に示す九州の一級河川を調査対象とした。20水系の流域面積は、89～2863km²(平均998km²)、幹川流路延長21～143km(平均74km)である。流域の年降雨量は1903～3284mm(平均2401mm)と全国平均を上回り、台風上陸回数も多いため、出水による自然撓乱は非常に大きい。

調査地点は、直轄区間を対象とし、各種調査の有無なども考慮しながら、その河川の典型的な河川環境がみられるような場所を国土交通省の事務所と協議して選定した。その結果、1水系あたり2～4箇所で合計49箇所であり、感潮域である河口から、中流・上流域の地点を含む。

(2) 調査項目

これまでの南九州と沖縄の中小河川を対象とした



1:遠賀1, 2:遠賀2, 3:山国1, 4:山国2, 5:大分1, 6:七瀬1, 7:大野1, 8:乙津1, 9:番匠1, 10:久留須1, 11:堅田1, 12:五ヶ瀬1, 13:大瀬1, 14:大瀬2, 15:小丸1, 16:小丸2, 17:大淀1, 18:大淀2, 19:大淀3, 20:本庄1, 21:肝属1, 22:高山1, 23:川内1, 24:川内2, 25:球磨1, 26:球磨2, 27:球磨3, 28:川辺1, 29:緑川1, 30:緑川2, 31:御船1, 32:白川1, 33:白川2, 34:菊池1, 35:菊池2, 36:矢部1, 37:矢部2, 38:筑後1, 39:筑後2, 40:筑後3, 41:筑後4, 42:嘉瀬1, 43:嘉瀬2, 44:六角1, 45:牛津1, 46:松浦1, 47:厳木1, 48:本明1, 49:本明2

図-1 調査地点の位置図

河川環境の把握手法の基礎研究においては、比較的容易に測定できる調査項目を中心に14項目を選定して調査した⁶⁾。本研究においては、対象地点が直轄区間であるために蓄積された基礎情報が多いことと、比較的規模の大きい河川空間であることから、上記の基礎研究で採用した調査項目を見直した。

本手法は複数河川を比較する解析が特徴であるため、地域属性となるような情報を除き、性格の違いを表現できる調査項目として、物理的、化学的、生物学的および感覚的要素の21項目を選定した。

(3) 調査内容

平成19年8月17日～9月30日にかけて49箇所の現地調査を行った。表-1に示す調査項目の21項目のうち、水際、水辺林の状態、付着藻、音、風景、透視度、匂いの7項目は現地調査を行った。他の14項目は、国交省の各事務所が蓄積している平成18年度測量横断、平成6～17年度河床材料調査の最新版、平成13～17年度の過去5年間の流量観測と水質調査、平成12～17年度河川水辺の国勢調査(底生動物・魚類)と河川環境情報図の最新版などを用いた。

a) 物理的要素

河床材料は、調査地点付近の河床の平均粒径 D_{60} を用いた。その値は0.004～410mmの範囲であり、岩河床は最大値と同等として扱った。フルード数は、長方形断面の $v/(gh)^{0.5}$ を用い、調査地点を中心とした200m間隔の上下流3測線の平水流量時における平均水面幅を算出して、平均水深と平均流速を求めて算出した。その値は0.05～0.5であった。川幅水深比は、平水流量時の $BI^{0.2}/H$ を用い、その値は2～336であった。流況の安定性の指標として河状係数(最大流量/最小流量比)を用いた。その値は82～8194であり、最小流量が0の場合は最大値と同等として扱った。流れや水域の状態は、河川環境情報図を用いて、調査地点を中心に低水路幅の10倍程度(約1～4km)の範囲を確認した上で、調査地点を含むリーチ単位で調査した。湧水は、河川環境情報図には記載されていなかったため、河川調査や事務所の情報から判断した。水際や水辺林の状態は、調査地点の横断方向を見渡して判断した。海とのつながりは、河川水辺の国勢調査(魚類)流程分布図等より、河口から調査地点までにある横断工作物の有無により判断した。

b) 化学的要素

有機物汚濁の指標となるBODは0.5～3.1 mg/L、CODは0.8～5.8 mg/Lであった。調査地点の約7割でBODが1.0mg/L以下であり、汚濁の序列が難しかったためCODを用いた。富栄養状態の指標となるT-Nは0.3～7.4 mg/L、T-Pは0.01～0.3 mg/Lであった。両者の相関係数が高かったため評価項目としてはT-Nを用いた。溶解性物質の指標となる電気伝導度ECは8～2853mS/mであった。

c) 生物的要素

指標水生生物による指標は、国勢調査(底生動物)の定性調査結果を用い、4つの水質階級ごとに決めら

れた30種類の指標生物⁶⁾により判断した。底生動物については河川水辺の国勢調査の定量調査結果を用い62種類の生物につけられたスコアよりASPT(Average Score Per Taxon)⁷⁾を算出した。その値は2~8であった。なお、感潮域のASPTは出現種を対象に含まないため、最小値と同等として扱った。魚介類種数は、国勢調査(魚類)で確認された魚類およびエビ、カニ、貝類の種数を集計した。その値は13~73の範囲であった。また、魚類、エビ、カニ類の中で、淡水域と海域を回遊する生物種数を、評価項目とした。このうち魚類は一般的な生態から、通し回遊魚と周縁性淡水魚⁸⁾を対象とした。その値は2~24であった。付着藻は、水際の河床を観察し判断した。

d) 感覚的要素

音は、水際に立って目を閉じ1分間に感じる音で判断した。風景は、水際に立ち上下流を見通して判断した。透視度は、直径3cmで長さ1.3mの亚克力筒を用いて測定した。匂いは、採水した河川水を蓋付き300mLの瓶に半分ほどいれ、蓋をして激しく振ったのち、開栓と同時に匂いをかいで判断した。調査時の気温は23~38℃、水温は21~33℃程度であった。

以上の感覚的調査は、筆者を含む4名で実施した。

4. 分析結果

(1) アイテムカテゴリーの設定

本研究では調査項目に質的変量と量的変量が混在するため、量的変量をカテゴリー化した上で数量化理論第Ⅲ類により分析を行った。

a) 量的変数のカテゴリー区分

量的変量は、表-1に示したアイテム番号に○印のあるフルード数や魚介類種数などの9項目である。

数量化理論第Ⅲ類の解析においては、サンプルがある特定のカテゴリーに偏った場合は、スコアの類似性が高まるため、サンプルが原点付近に集中して理解しにくくなる。そのため量的変数のカテゴリー

区分の境界値を試行して、サンプルが分散するように区分することとした。

まず、標準偏差および四分位により最上・最下位を設定し、平均値を境界に4区分した場合で試算した。標準偏差を用いた場合では、最上・最下位のカテゴリーはより原点から離れるので、軸の特徴を把握するのには好都合であるが、中間のカテゴリーは原点付近に集中する傾向がみられた。一方、四分位の場合は、最上・最下位のカテゴリーの位置関係が縮小され、原点付近のサンプルはやや疎らとなった。しかし、両方法とも同様な位置関係となつて逆転等は生じなかった。このことから、本手法ではサンプルの座標位置を明瞭に表現し理解することが重要であるため、量的変量は四分位によって区分した。

b) 質的変数のカテゴリー区分

量的変量は均等に区分することができたが、質的変量ではサンプル数に偏りが生じた。特にサンプル数が2個以下のカテゴリーは、そのカテゴリースコアの信頼性が低くなるため、前後のカテゴリーへ統合した。透視度のⅢはⅡへ、風景のⅣはⅢへ、音のⅣはⅢへ、海とのつながりのⅢはⅣへ統合した。この統合によって一部のサンプルは座標位置が原点方向へ移動したが、最終的な類型化には影響しなかった。なお、水域の状態Ⅰ、匂いⅣ、付着藻Ⅳは、反応したサンプルがなかった。

(2) 数量化理論第Ⅲ類による

河川環境を表現する軸の解釈

数量化理論第Ⅲ類では、カテゴリーおよびサンプルの相関が最大となる場合の固有値を求め、固有値の大きな順に軸ごとのスコアを求める。また相関係数の2乗は固有値として表わされるため、固有値によって軸の重要性を理解した⁹⁾。

まず、データの一部に不足があった乙津1、川内2、厳木1の3地点を除いた46サンプル、21アイテム(78カテゴリー)を用いて分析した結果、固有値が0.2

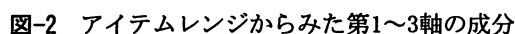
表-1 評価項目とカテゴリー区分

種別/番号/アイテム	カテゴリーⅠ	カテゴリーⅡ	カテゴリーⅢ	カテゴリーⅣ
物理的要素	1 河床材料	岩河床または D ₅₀ 50mm 以上	D ₅₀ 50mm 未満	D ₅₀ 25mm 未満
	2 フルード数	0.36 以上	0.36 未満	0.29 未満
	③ 川幅水深比	23 未満	40 未満	66 未満
	④ 河状係数	200 未満	400 未満	900 未満
	5 流れの状態	瀬と淵が連続	瀬・淵のどちらかがある	平瀬が続く、ほぼ均一な流れ
	6 水域の状態	湧水等の本流以外の水源をもつ湿地や水域がある	本流のほかに、ワンドやたまり状の水域もある	副流路や支川合流がある
	7 水際の状態	陸域～水域まで植生が連続	陸域のみ植生	緩勾配で砂や礫などの裸地
	8 水辺林の状態	水辺林が水面に突出し連続	水辺に連続する	疎らである
	9 海とのつながり	河口より堰・床止工なし	魚道が有効な堰・床止工あり	魚道が有効でない堰あり
化学的	⑩ T-N	0.65 未満	1.0 未満	1.4 未満
	⑪ COD	1.6 未満	2.3 未満	2.8 未満
	⑫ EC	11 未満	15 未満	25 未満
生物的	13 指標水生生物	きれいな水の指標カケラなど	少し汚い水の指標カケラなど	汚い水の指標カケラなど
	⑭ 底生動物	平均スコア (ASPT) 7.3 以上	7.3 未満	6.8 未満
	⑮ 魚介類種数	30 以上	30 未満	24 未満
	⑯ 回遊生物種数	15 以上	15 未満	10 未満
感覚的	17 付着藻	茶褐色	緑色・緑色系状	表面シルトが覆う
	18 音	自然の音のみ(心が落ち着く)	自然の音が多い	人工的な音が多い
	19 風景	草、木、砂州(干潟)	草、砂州(干潟)	コンクリートなど人工物が目立つ
	20 透視度	100cm 以上	100cm 未満	75cm 未満
	21 匂い	全く匂わない	何か匂うが気にならない	いやな匂いがする

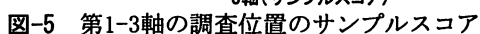
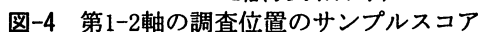
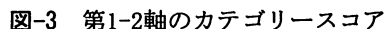
レンジが大きくかつ軸に対して順序性をもつカテゴリは、各軸を形成する主要成分である。第1軸と第2軸で表現したカテゴリスコアを図-3に、第1～3軸で表現した調査地点のサンプルスコアを図-4および図-5に示す。以下に、これらの図から判定した軸の解釈を述べる。

なお、レンジが小さかったアイテムは、以下のとおり軸との関係性がみられた。CODやT-N濃度が低いカテゴリーは正側に、濃度が高いIVは負側に位置した。

	固有値	寄与率	累積寄与率	相関係数
第1軸	0.36	13%	13%	0.60
第2軸	0.23	8%	22%	0.48
第3軸	0.21	8%	29%	0.46
第4軸	0.19	7%	36%	0.43
第5軸	0.18	6%	43%	0.42
第6軸	0.15	6%	48%	0.39
第7軸	0.13	5%	53%	0.36



第2軸は、図-2に示すとおり海とのつながりと回遊生物の項目のレンジが大きく、図-3のカテゴリーの座標位置も軸方向に順序性があった。図-4では第2軸の負側にダム等があり回遊生物が少ない筑後4や大淀3などの調査地点が位置した。第2軸の正側には、堰や床止工が少なく回遊生物が多い大瀬1などの調



査地点が位置した。したがって、第2軸は海との連続性を表現する軸であるといえる。

第3軸は、レンジが大きいアイテムが多いが、軸方向に順序性があるのは水域と水際の状態、匂いであった。図-5の調査地点の座標位置は、第3軸の負側に多様な水域や水際をもつ川辺1や筑後1などの調査地点が位置し、正側に取水堰の湛水域といった単調的な高山1や白川1などの調査地点が位置した。したがって、第3軸は水辺の多様性を表現する軸であるといえる。

以上の結果から、九州の一級河川における環境上の特徴は、縦断的な特徴、海との連続性および水辺の多様性によって総合的に把握できることが明らかになった。

(3) クラスタ分析による調査地点の類型化

調査地点の第1～3軸のサンプルスコアを用いてクラスタ分析を行った結果を図-6に示す。

6クラスターで分類して、各グループに属するサンプルの特徴を比較すると、AとBグループは海との連続性と水辺の多様性ともに良好な環境であり、CとDグループは水辺が多様であるが海との連続性がやや劣り、EとFグループは環境または生物相が単調であるなど、各グループの特徴が抽出できた。また、10クラスターに分類した場合、C～Fグループは縦断的な特徴などにより、更に小グループに分類できた。

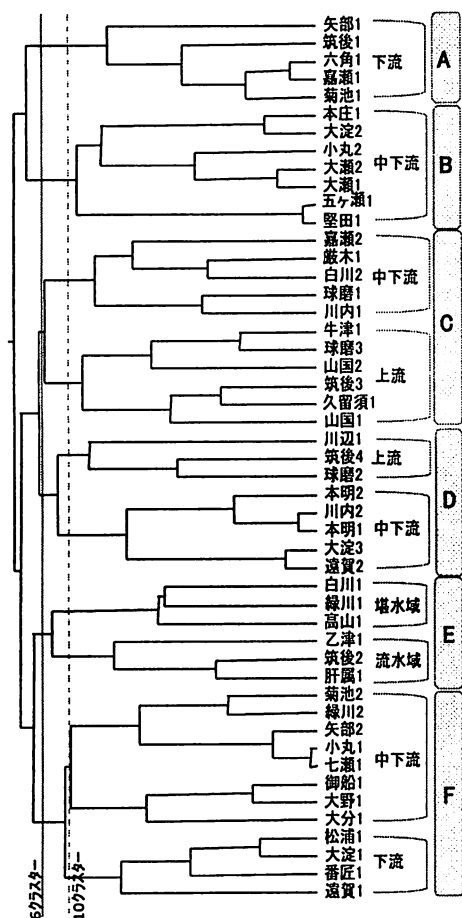


図-6 第1～3軸クラスタ分析結果

5. 結果

(1) 九州の一級河川の特徴の把握

図-6に示した6つのグループ毎に第2軸と第3軸のサンプルスコアの平均値を求めて図-7に、類型と位置図を図-8に示す。ここで、現在の河川環境のうち、例えば水質が改善して底生動物が多様になる場合を想定して、評価項目の改善による河川の環境上の特徴の変化を検討した。その結果、Eグループは環境を改善するとFグループ方向へ向かい、FグループはBやCグループの方向へ、またDグループの一部はC方向へ向かった。このことから、基本的には全調査地点はA～Dの4つのグループに属し、海との連続性や水辺の多様性が劣化したものがEとFグループに属していると考えた。

各グループの主な性格は

- ・Aグループ：有明海に流入する河川の汽水域に位置し、ガタ土のために高濁度であるが、多様な水域や水際をもち魚介類種数が豊富である。
- ・Bグループ：九州東部の河川の中下流域に位置し、礫河床の瀬淵の多様な流れがみられ、開放的な礫河原、礫河床で清流の表情をもち、魚介類種数も豊富で、海との連続性が最も良い。
- ・Cグループ：水質は良好であるが回遊生物がやや少なく海との連続性がやや低いといった特徴をもつ上流的な環境である。または、水質は悪くはないが、海との連続性はBとDグループの間期的な特徴となる中下流的な環境である。
- ・Dグループ：上流域に位置し多様な水辺をもつが、

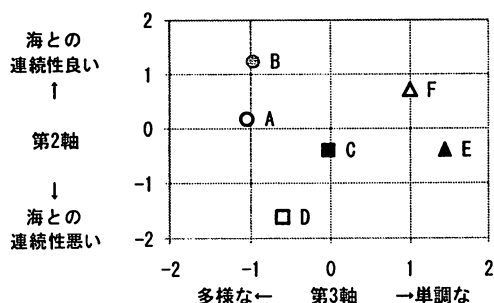


図-7 第2-3軸のサンプルスコアのグループ平均

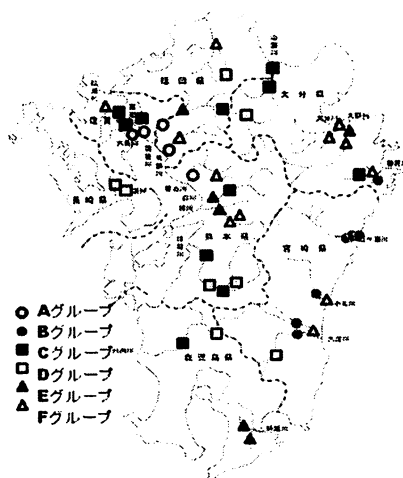


図-8 全調査地点の類型と位置図

魚介類種数や回遊生物が少なく、海との連続性が最も悪い環境である。山間部の市街地の影響を受けた水質やダム・横断工作物の存在など人為的影響も共通する。

- ・ Eグループ: 水質が悪く、生物種数なども少なく、水際が人工的、あるいは堰堤水域の存在などで流れが単調的であるなど、河川環境と生物相の両方が単調である。
- ・ Fグループ: 水質が良いとはいえないが、多様な流れや水域が存在し海との連続性は悪くないなど、物理的および化学的要素はある程度多様であるが、魚介類種数が少ない、あるいはASPTが低いなど、生物相がやや単調である。

以上のように、九州の一級河川における代表的な調査地点の環境上の特徴を把握することができた。

(2) 河川環境の改善効果の予測

本研究で求めたカテゴリースコアを用いて、環境改善を図る河川事業を想定して、その改善効果を試算した。

肝属川は、調査結果によると水質が悪く水辺も人工的で生物相が比較的単調である。肝属川水系河川整備基本方針¹⁰⁾にこれらの改善に努力することが記載されている。肝属1地点において水質の改善対策を実施してT-N、CODがランクアップし、その結果としてASPT、匂いがランクアップした場合を想定して試算した。その結果、図-9に示すように、図中の現況の位置から①水質改善の位置へ移動するが、Eグループを脱することはできなかった。そこで、魚介類種数および回遊生物種数が支川の高山1地点並みにランクアップすると想定して試算したところ、図-9の②魚介類増に移動してFグループの方向へ向かった。このことから、Eグループであった肝属1地点は、水質の改善対策を実施して、その結果として生物的要素や感覚的要素が改善された場合にFグループに属するようになると予測される。

以上のように、河川環境を改善する河川整備を検

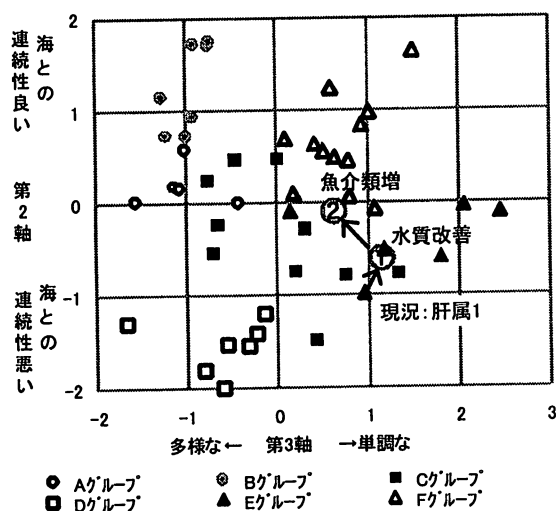


図-9 第2-3軸を用いた改善効果の評価

討する際に、整備後の改善効果を定量的に予測できることが確認された。

6. まとめ

本研究により、九州の一級河川における河川環境の現状を総合的に把握できた。また蓄積された河川環境のデータを有効活用できることを確認できた。

以下にこれらの結果をまとめる。

- ・ 九州の一級河川における河川環境の特徴は、縦断的特徴、海との連続性および水辺の多様性によって総合的に把握できる。
- ・ 縦断的特徴の表現には、河床材料、指標水生生物、ASPTおよび透視度の項目が強く関係する。
- ・ 海との連続性の表現には、海とのつながりと回遊生物の項目が強く関係する。
- ・ 水辺の多様性の表現には、多くの項目が関係するが、水域と水際の状態、匂いの項目には順序性がある。
- ・ 九州の一級河川における代表的な調査地点の環境上の特徴を把握できた。
- ・ 本研究で求めたカテゴリースコアを用いることで、環境改善を図るための河川事業の整備後の改善効果を定量的に予測できた。

謝辞: 本研究は、社団法人九州地方計画協会より平成19年度研究支援を受けた。また調査にあたっては、国土交通省九州地方整備局および各事務所の方々、研究室学生に協力頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 玉井信行, 奥田重俊, 中村俊六: 河川生態環境評価法, 東京大学出版会, 2001
- 2) James R. KARR, Eriko MORISHITA, ROSSANO: 河川の健康を守るー人間の健康維持の実験経験から学ぶ, 応用生態工学 4(1), 3-18, 2001
- 3) 大石哲也, 天野邦彦, 尾澤卓思: RHS・HQAの適用による円山川河川環境評価の検討, 応用生態工学 8(2), 179-191, 2006
- 4) 岩坪秀一: 数量化法の基礎, 朝倉書店, 1987
- 5) 杉尾哲, 早田陽介, 漆林奉晃: 河川環境の総合的な評価の検討, 河川技術論文集, 第13巻, pp. 285-290, 2007.
- 6) 環境省: 全国水生生物調査対象種, <http://w-mizu.nies.go.jp/suisei/chosa/shihyou/taisyo.html>
- 7) 緒方健, 谷田一三: 水生昆虫から河川環境を判定するー日本版平均スコア法の紹介, 昆虫と自然 41(8), 2006
- 8) 玉井信行, 水野信彦, 中村俊六: 河川生態環境工学, 東京大学出版会, 1993
- 9) 菅民郎: 多変量解析の実践(下), 現代数学社, 1993
- 10) 国土交通省河川局: 肝属川水系河川整備基本方針, <http://www.qsr.mlit.go.jp/osumi/river/houshin/pdf/kihonhoushin.pdf>, 2007

(2009. 4. 9受付)