

河道の物理的多様性と生息魚類の 多様性に関する基礎的研究

FUNDAMENTAL STUDY ON THE RELATION BETWEEN THE PHYSICAL DIVERSITY OF RIVER CHANNEL AND THE DIVERSITY OF KINDS OF FISHES

砂田憲吾¹・川村和也²

Kengo SUNADA, Kazuya KAWAMURA

¹フェロー会員 工博 山梨大学教授 大学院医学工学総合研究部 (〒400-8511 甲府市武田4-3-11)

²学生会員 山梨大学大学院工学研究科 (〒400-8511 甲府市武田4-3-11)

In this paper, the relation between the diversity of kinds of fishes and that of physical conditions of fish habitat in river is examined on the assumption that ecological situation respond mainly to physical circumstances of water zone. The diversity of kinds of fishes was assessed by using the Simpson's diversity index calculated from the field data obtained at some key stations in the Fuji River. On the other hand, the diversity of physical conditions of fish habitat was expressed by standard deviations of the channel hydraulic variables, such as water depth and flow velocity, to the averaged values at the stations, and their distributions along several cross sections near to each station were also calculated. Then, the both indices of diversities were compared with each other, and the relation between them was discussed in detail.

The results of this examination showed that more kinds of fishes could inhabit in the section having higher values of the physical diversity of river channel, and it was also shown that the higher diversity of habitation was also good for young fishes. It is concluded that the physical diversity of river channel has possibility of evaluating the conditions of kinds of fishes quantitatively.

Key Words : river environment , diversity of kinds of fishes , physical diversity of river channel

1. はじめに

河川生態環境を評価するさまざまな手法が提案されている。その中でも淡水魚類を評価対象とした IFIM / PHABSIM は、任意魚種の成長段階毎に応じた生息場の動的解析としては優れた点が多いとされている。しかしながら、この方法は各魚種個々についての算定であるため、実河川にみられるような他の魚種との競争、すみ分けなどの相互関係が考慮されていないことや、評価の際の環境指標が独立に扱われていることから、各指標間の相互依存性が無視されているという点も指摘されている¹⁾。

一方、これまでの調査、研究などから魚類の健全な成育のためには、変化に富んだ河道が必要であるといわれている。つまり、河道が複雑であれば、採餌、成長、繁殖、避難など生活史のすべてに対応できる河川環境を整えているということになり、また、そのことが生息生物の多様度を支える基礎となっていると考えることができる^{2), 3)}。

本研究では、この点に着目し、様々な魚種が生息可能であることを「魚種の多様性」、また河道の物理的な複雑性を「河道の物理的多様性」と表現し、一級河川富士川本川で平成 10 年に実施された河川水辺の国勢調査(魚貝類)⁴⁾ および実河道断面量データをもとに、これら多様性を定量化し、両者の基本的な関係を明らかにすることを目的とした。

2. 多様性の定量化について

(1) 魚種の多様性

魚種の多様性を算出する際の基礎データとして、本研究では図-1 に示す一級河川富士川本川にて平成 10 年に実施された河川水辺の国勢調査(魚貝類)結果を使用した。この調査は、時期、地点数では必ずしも充分とはいえないが、投網回数などの採捕条件の面では配慮された調査が実施されており、結果は信頼できるものと考え、調査区間は国土交通省の富士川本川直轄区間内において、

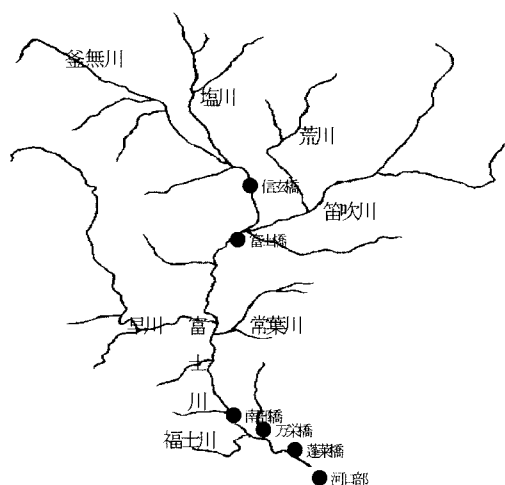


図-1. 富士川本川・主要支川図

- ① 河口部 (河口から 0.0～1.2 km 区間)
- ② 蓬萊橋 (" 9.5～10.5 km 区間)
- ③ 南部橋 (" 29.5～30.0 km 区間)
- ④ 富士橋 (" 62.0～63.0 km 区間)
- ⑤ 信玄橋 (" 76.5～77.6 km 区間)

の計 5 地点について、春季 (5月末～6月初旬) および秋季 (10月末) の 2 回実施されている。今回は採捕地点の河道環境を統一して考察するため、これら調査地点から、河道形態分類における Bb 区間に相当する⁵⁾「蓬萊橋」, 「南部橋」, 「富士橋」の結果を取り出すこととした。

また、この調査によって採捕された魚種は、その採捕数と同時に体長も測定されており、一般的に知られる成長過程を調べることによって、その魚種が「成魚」であるのか、それとも未だ成魚に達しない「未成魚」であるのかの判断も可能である⁶⁾。よって、今回は魚種の多様性を算出する際の分類として、1) 平成 10 年における総採捕数からの評価、2) 季節的な違いとしての、春季・秋季における採捕数からの評価、3) 採捕魚種の体長区分による成魚、未成魚の各採捕数からの評価、という 3 つのパターンについて考えた。

ここで今回は、魚種の多様性を表す定量的指標として数理生態学の分野で有用とされる生物多様性指数の 1 つである「Simpson 多様度」を使用し⁷⁾、その計算結果を、表-1 および図-2 に示す。

$$\text{Simpson 多様度} = 1 - D$$

$$D = \sum n_i (n_i - 1) / N(N - 1)$$

ここに、 n_i ; 採捕地点における種 i の個体数、 N ; 採捕地点における総個体数である。また、 $0 \leq 1 - D \leq 1$ で表され、1 に近いほど、その地域は多様性に富んだ魚類群集を構成していると考えることができる。

表-1. 種の (Simpson) 多様度計算結果表

場所	種数	国勢調査による採捕結果 (四)					魚種の多様性 1-D				
		N	成魚	未成魚	春季	秋季	N	成魚	未成魚	春季	秋季
蓬萊橋	15	364	101	263	89	275	0.783	0.679	0.675	0.844	0.746
南部橋	15	470	187	283	116	354	0.646	0.508	0.299	0.494	0.674
富士橋	11	1245	123	1122	393	852	0.379	0.276	0.259	0.407	0.360

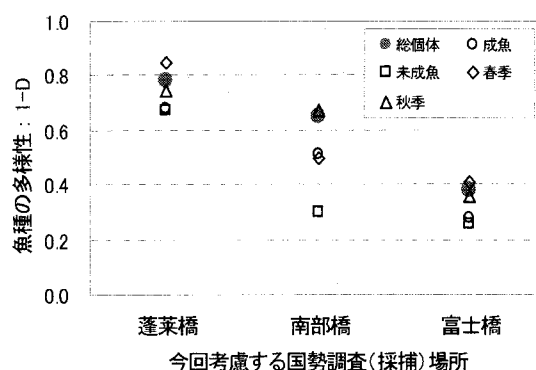


図-2. 種の (Simpson) 多様度計算結果図

この結果から、種の多様度について、蓬萊橋と富士橋は対照的な 2 地点であることが分かる。つまり、蓬萊橋は総個体数、体長区分、季節差などすべての分類において、最も多様な魚類群集を構成していると考えられるのに対し、富士橋は、どの分類においても、ある優占的な種のみが生息しているものと考えられる。つまり、魚種の多様性が高い値を示す蓬萊橋は、富士橋に比べ河道の物理的環境も多様であると推測できる。一方、南部橋は相対的には多様な魚類群集を構成していると思われるが、体長区分での分類において未成魚と判断される魚類群集については、富士橋と同等に低い値を示すこととなった。つまり、成魚と判断できる魚類にとっては、ある程度生息可能な環境を整えているものの、未成魚類にとっては、ある優占的な種以外は生息に困難な環境にあると考えることができる。

このように、魚種の多様性の算出結果からわかる 3 つの調査地点の位置付けとしては、対照的な存在としての「蓬萊橋と富士橋」、その中間的な存在としての「南部橋」というように考えることができる。

(2) 河道の物理的多様性

次に、魚種の多様性に影響を及ぼすと考えられる河道の物理的多様性の算出について考察していく。

河道の物理的多様性の算出には、平成 10 年富士川定期横断測量結果において、河川水辺の国勢調査の実施された区間に該当する断面量データと同年における富士川本川の各水位観測所で測定された流量観測結果から得られる時系列データとしての、豊水、平水、低水、渇水流量を使用した。今回、評価対象とした各調査地点での断面についての一覧を表-2 に示し、また、各調査地点における流量データについては、以下の ①～③におけ

表一2. 今回考慮される断面一覧

調査地点	考慮される断面(距離標)								
蓬莱橋	H73	H74	H75	H76	H77	H78	H79	H80	-
南部橋	H170	H171	H172	H173	H174	H175	-	-	-
富士橋	K37	K38	K39	K40	K41	K42	K43	K44	K45

表一3. 各調査地点における設定流量

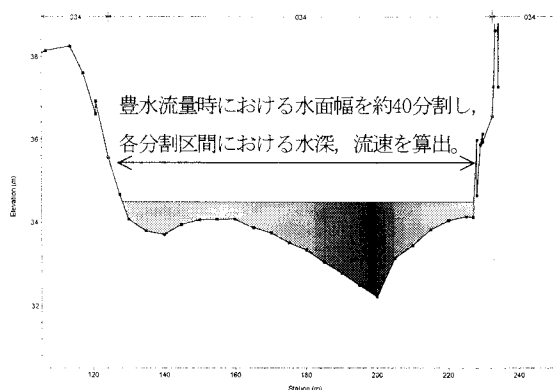
	調査区間 (河口からの距離: km)	豊水 (m^3/s)	平水 (m^3/s)	低水 (m^3/s)	渇水 (m^3/s)
蓬莱橋	9.5~10.5	155	87	45	32
南部橋	29.5~30.0	104	52	12	2
富士橋	62.0~63.0	80	58	39	18

- ① 蓬莱橋—北松野水位観測所
- ② 南部橋—南部水位観測所
- ③ 富士橋—清水端水位観測所

る、流量観測結果を使用した。これら調査地点と水位観測所は近接していることから、各観測所で測定された流量を、各調査地点における流量であると考え、その結果を表一3に示す。このうち、今回は豊水および渇水流量について解析した結果を中心に考察していく。

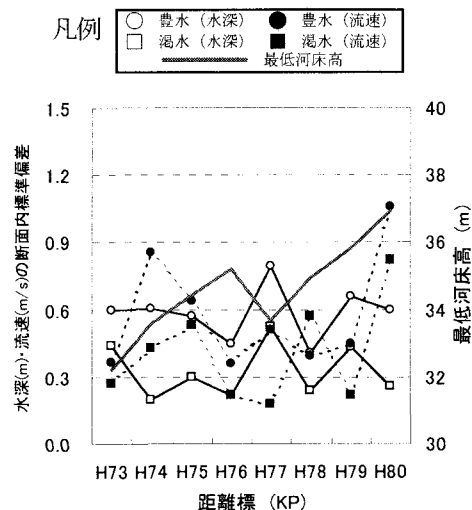
得られた断面量データおよび表からの設定流量から詳細な水位計算を行い、図一3に示すような流下方向における水深と流速の断面内分布を算出し、この結果のとり得る分布の度合いを表す数値として、水深と流速に関する断面内標準偏差をもって、河道の物理的多様性を表す定量的指標とした。その際、断面内分割数としては、各断面における豊水流量時での水面幅を約40分割することとした。よって、分割幅は各断面で異なるが、平均的に2~4mという計算となった。これは、富士川のような大規模河川において横断面内水量分布状況を知るには十分な数値であると考え⁸⁾。

以上のことから、対象となる各断面についての、河道の物理的多様性としての水深と流速に関する標準偏差を計算した結果、および標準偏差の持つ意味を知る目的として、断面量データから、最低河床高(標高)の縦断方向の分布について図一4~6に示す。

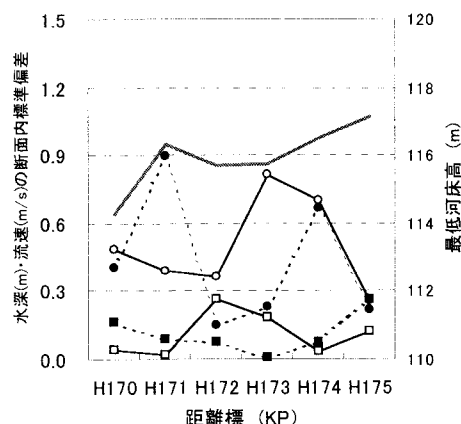


図一3. 水位計算結果の一例(断面図)

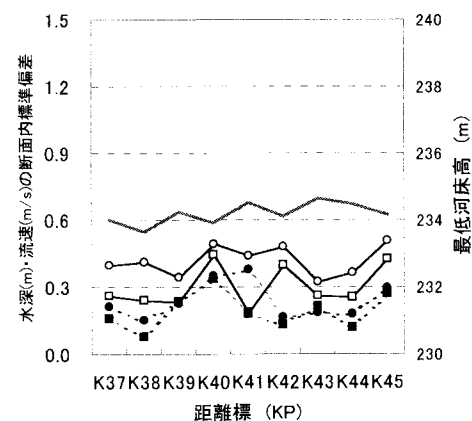
また、魚類の多様性との関係とは別に、富士川本川内における河床構成単位としての瀬・淵構造を河道断面における水深と流速の標準偏差を用いて表すことができることを示すために、富士川河口から約20 kmにある万栄橋周辺における結果を図一7に示した。



図一4. 河道の物理的多様性分布(蓬莱橋)



図一5. 河道の物理的多様性分布(南部橋)



図一6. 河道の物理的多様性分布(富士橋)

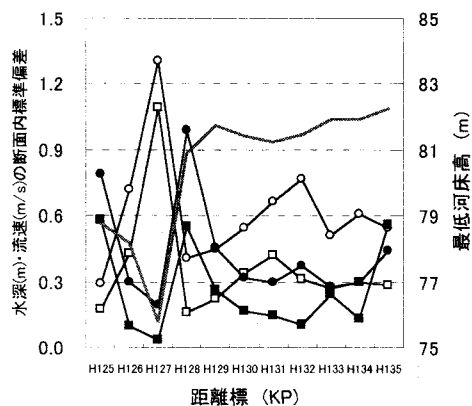


図-7. 河道の物理的多様性分布 (万栄橋)

これら図から以下のようなことが考察できる。

蓬莱橋：断面 H77～H80 の区間において、水深と流速の標準偏差の位相が交互に分布していることが分かる。つまり、流下方向において、断面内の水深分布の度合いが大きければ、流速分布の度合いが小さくなり、逆に流速分布の度合いが大きいと水深分布の度合いが小さくなることを意味している。このことを明らかにするため、富士川調査結果⁵⁾ および現在の状況を観察した結果、水深分布の度合いが大きくなる断面を持つ場所には、「淵」が形成されており、一方、流速分布の度合いが大きくなる場所には「瀬」が形成されていた。特に、H77 断面付近には規模の大きな卓越した淵があり、また H80 に相当する付近には、早瀬が形成されていた。このことより、河床形態が瀬に相当する部分では、河道の物理的多様性としての流速分布の度合いが大きくなるのに対し、淵に相当する部分では水深分布の度合いが大きくなることが確認できた。

南部橋：上記蓬莱橋のような顕著な断面を見ることはできない。しかし、H172～H173 に高低差約 1.0m 程度で小さいながらも深く掘れた箇所があり、豊水流量時に H173 の水深分布の度合いは大きく、逆に流速分布の度合いが小さくなっている。一方、H171 では、流速分布の度合いが大きく、水深分布の度合いが小さい。つまり、蓬莱橋の場合と同様に、H171 には瀬が、H173 には淵が形成されていると考えられるが、現地河川における状況は、H173に規模は小さいながらも淵を見ることはできたが、H171 には早瀬と判断できるような場所を見ることはできなかった。これには、豊水期の約 1/50にまで減少する渇水流量時における河道の物理的多様性の低さが大きく影響していると考えられる。

富士橋：最低河床高の縦断分布からも分かるように、調査区間内において、高低差約 0.5m の起伏はあるものの、縦断的にほぼ平滑な流れとなっており、蓬莱橋で見られたような、水深および流速に関する縦横断方向の分布の度合いはほとんどなかった。このことは、現地河川を観察した結果においても確かめることができた。

万栄橋：この区間で国勢調査は行われていないため魚類の多様性との関係を示すことはできないが、河川距離標 H125～H128 に瀬・淵構造があり、それより上流については縦断的な変動が現れないことが現地河川についても確認できた。

以上の結果から、河道の物理的多様性から見た国勢調査実施区間の位置付けについても、流量増減の影響を受けやすいと考えられる南部橋を除けば、魚種の多様性から見た場合と同様に、蓬莱橋と富士橋は、河道の複雑性について対照的な区間にあると考えることができる。

3. 多様性の算出結果から分かること

ここまで魚種の多様性および河道の物理的多様性の算出結果から、それぞれについて考察してきたが、両者の相関性のある程度を示すことができた。つまり、調査区間の蓬莱橋と富士橋の結果が対照的であったように、年間を通して流量増減による影響が小さく、河道の物理的多様性が高くなる卓越した瀬・淵構造の存在が、魚種の多様性の高さにつながり、一方で、魚種の多様性が低い生息場では、河道の物理的多様性が低い結果となった。

南部橋については、蓬莱橋や富士橋で見られたような顕著な結果を得ることはできなかった。しかし、流量増減による影響を受けるものの、河床形態としての瀬・淵構造が小さいながらも確認できることから、富士橋に比べると、魚種の多様性も未成魚に関する多様性を除いて高くなっていた。

ここで、本研究では、この生息魚の体長区分からの評価としての、未成魚に関する多様性の結果に注目し、以下に考察していく。

一般的に、孵化した魚類の多くは、ある程度の成熟を迎えるまでの間、流れの速い早瀬や、餌供給が多いため種間競争が激しくなる卓越した淵などには出現しにくく、大型魚の侵攻を許さず、有機物などの栄養源が貯留しやすいとされる水深が浅く、流速が遅い岸辺を好んで生息するとされている。つまり、それら未成魚には、これまで考察してきた瀬・淵構造とは、少し様相が異なる場が必要となる。

ここで、魚種の多様性の算出結果に再び注目すると、未成魚の多様性に関して、南部橋と富士橋は同様の結果を得ることとなった。つまり、南部橋は、未成魚の多様性は、富士橋同様低く優占種のみが生息が可能となっている。すなわち、これら両地点には未成魚の生息場、つまり水深が浅く、流速が遅くなる岸辺が、蓬莱橋に比べ少ないことを表していると考えられる。

よって、ここからは河道の物理的多様性としての、断面内における岸辺の評価について考察していく。

ここで、今回は、岸辺の取りうる範囲を知るために、水位計算によって得られた各断面での分割された水深の

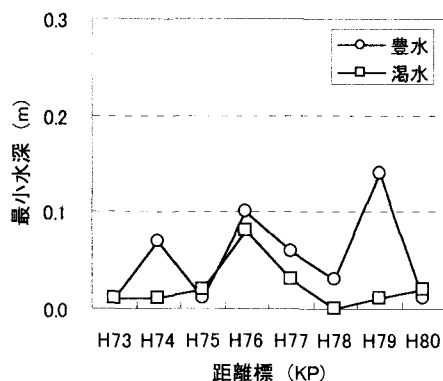


図-8. 断面内最小水深分布 (蓬莱橋)

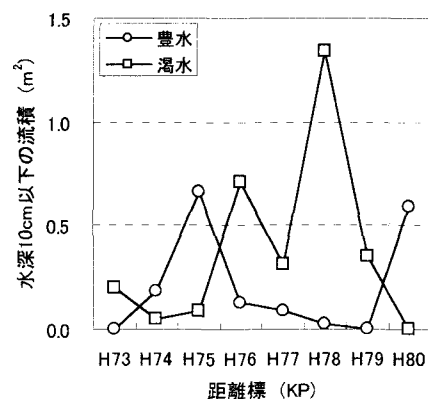


図-11. 水深 10cm 以下の流積 (蓬莱橋)

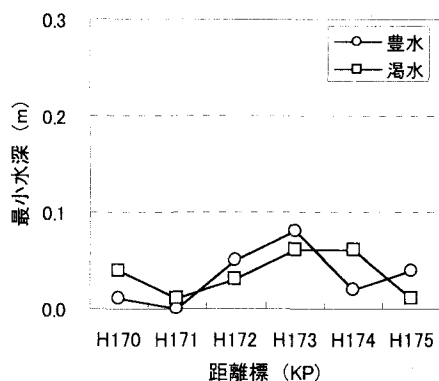


図-9. 断面内最小水深分布 (南部橋)

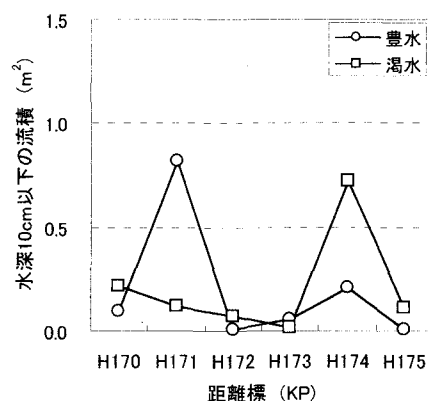


図-12. 水深 10cm 以下の流積 (南部橋)

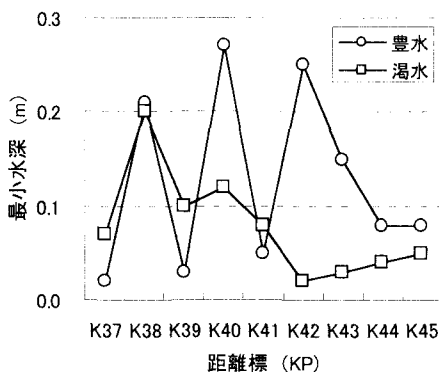


図-10. 断面内最小水深分布 (富士橋)

値に注目し、計算結果から、最も浅くなる水深をその断面での最小水深として、これまで同様、豊水および渇水流量時における、その値の各調査地点の縦断分布を図-8～10 に示した。

これらの図から、蓬莱橋と南部橋の両地点では、流量の増減に関係なく、断面内における約 10cm 以下の水深部が縦断方向に推移しているのに対し、富士橋では、流量増減の影響を受け、渇水流量時に、一部 10cm 以下の区間を形成するが、連続性はなく、全体的に浅い部分は少ないことが分かる。つまり、このことが未成魚の多様度の低さにつながるものと考えることができる。

しかしながら、未成魚の多様性が低い値となっていたのは、南部橋と富士橋であったことを考えると、単純に最小水深の値を取り出すだけでは、岸边の評価にはなり得ないことになる。ここで、蓬莱橋と南部橋の違いを明らかにするために、両調査地点における断面内での水深 10cm を岸边とそれ以外を分ける境界値と考え、10cm 以下の水深部分の断面積(流積)を算出し、その流積の縦断分布を図-11～12 に示す。

この結果から、両地点の大きな違いとして考えられるのが、断面内において岸边と考えられる部分の縦断方向への連続した分布である。蓬莱橋では、豊水流量時に岸边の断面内の大きさおよび縦断方向への連続性も失われるが、流量減少にともない岸边の縦横断方向への広がりが増してくることが分かる。つまり、岸边を好む魚種の生息を可能とする場に広がりを与えることになる。

また、この区間が、河道の物理的多様性の算出によって得られた、瀬・淵構造を形成する区間であることを考えると、成魚の育成にとって重要とされる瀬・淵構造を有する区間には、未成魚および小型魚の育成に重要とされる岸边も同時に存在し、魚類の生活史を全うするだけの良好な環境にあると考えることができる。一方、南部橋の結果からは、流量の増減に伴って、一部岸边が大きく存在する断面もあるが、縦断的な連続性はなく、岸边の生息場としての規模が限られたものになっていること

が分かる。

よって、岸辺の持つ特性を、今回の富士川における水位計算結果から得られた水深に関することのみから評価および考察した結果、断面内における水深の浅くなる場所の有無および横断的かつ縦断的な連続性が重要となってくる事が分かった。つまり、瀬・淵構造の規模が魚類の成育に大きく影響しているのと同じく、岸辺の規模が、未成魚や小型魚の成育および多様性に大きく影響し、そのような岸辺のある流域には、孵化した魚種が再び産卵するまでの、生活史を全うするだけの環境を整えていることにも繋がる。一方で、岸辺のもう一つの特徴として、流速が緩いことが挙げられるが、断面として、瀬を形成する断面内の岸辺は流速が速く、淵を形成する断面内の岸辺では流速が遅くなることから、水深のように比較的分かりやすい違いを確認することができなかった。このことは、岸辺の持つ意味をより深く知るためにも、今後の課題としなければならないと考える。

4. まとめ

本研究では、「複雑な河道を有する流域には多様な魚種の生息が可能である」という考えを、定量的に表現するため、河道構造の複雑性を河道の物理的多様性と表現し、断面内における水深と流速の分布の度合いとしての標準偏差を用いて、もう一方、生息魚類の多様性を、数理生態学分野で活用される生物多様性指数を用いて魚種の多様性と表現し、両者の関係を解析した。その結果、両者の間には、定量的にも相関性を持つことが分かった。また、河床構成単位としての瀬・淵構造も、河道の物理的多様性を使うことによって定量的に表すことができた。つまり、瀬・淵構造を有する断面では、流速および水深に関する多様性がそれぞれ高い値を持ち、瀬・淵構造が顕著になると、多様性としての計算値も高くなることが分かった。一方で、河道の物理的多様性の低い流域には、ある優占的な種のみが生息が可能となり、魚種の多様性も低い値を示すこととなった。

また、これらの解析を進める過程で、断面内における水深の浅くなる岸辺の存在が、魚種の多様性および河道の物理的多様性の関係に大きく影響してくることも指摘することができた。今回は、岸辺のとりうる範囲として、水深 10cm 以下となる部分の断面積を用いることによって評価を行ったが、断面内に岸辺が確認されるということのみで多様性を評価できるのではなく、評価対象となる区間内において、縦断的にも連続した岸辺が必要であり、そのことが、河道の物理的多様性の向上にも繋がり、同時に、様々な魚種にとっても、その生活史を受け入れ

る環境が整えられることより、魚種の多様性の保持および向上の基礎となりうる事が考えられる。

5. 今後の研究方針

今回は、個々の断面内の物理的な多様性を算出し、その結果を流下方向に分布させた図から、対象区間が物理的に多様性に富んでいるかどうかを判断してきたが、今後は、横断的な多様性の縦断方向の変化の割合などから対象区間をなんらかの指標で評価することにより、魚類の多様性との相関性を確かめる必要がある。このためには、解析対象となる河川を増やし、魚類の多様性の評価により影響を与えと考えられる要因を明らかにしていかなければならないと考える。

また、岸辺の評価についても、断面内における多様性との関係を明らかにするために、水深に関する更なる検討および流速に関する検討などが課題として残る。

しかしながら、これらは全て既存のデータを用いた水位計算から河道の物理的多様性を算出したものであって、実際の流況を完全に表しているとは限らない。また、魚類調査も異なる時期に実施されていることから、両者の間の整合性を満たすものであるとも言いがたい。よって、実河川における物理的要因の測定と魚類調査を同時期に行い、計算結果を検証する必要性、および、魚類群集を支えることができる正常流量に関する検討なども今後に残された課題であると考ええる。

参考文献

- 1) 中村俊六・奥田重俊・玉井信行：河川生態環境評価法，東京大学出版会，2001年
- 2) 水産庁・全国内水面漁業協同組合連合会：都市近郊河川漁場改善評価報告書～身近な川と魚の調べ方～，平成6年3月
- 3) 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年
- 4) 国土交通省河川局治水課監修・リバーフロント整備センター編集：河川水辺の国勢調査（魚貝類調査編）平成10年度版
- 5) 国土交通省甲府工事事務所：平成13年度富士川河川調査報告書，平成14年
- 6) 宮地傳三郎・川那部浩哉・水野信彦：原色日本淡水魚類図鑑，保育社，1996年
- 7) E. P. Odum著・三島次郎訳：基礎生態学，培風館，1991年
- 8) 国土交通省河川局監修：国土交通省河川砂防技術基準，調査編，平成9年

(2003. 4. 11受付)