

ダム設置河川における魚類相と環境特性 —徳島県勝浦川における調査から—

佐藤陽一¹・岡部健士²

¹非会員 理博 徳島県立博物館（〒770-8070 徳島市八万町 文化の森総合公園）

²正会員 工博 徳島大学教授 工学部建設工学科（〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1）

徳島県下を流れる2級河川勝浦川において、発電取水のためにダム下流に生じた減水区間における魚類の生息状況と環境との関連を、多様性の観点から探るための調査を実施した。その結果、調査地域内において17種が確認された。地点ごとに出現魚種とその出現頻度が異なり、減水区間では種多様度が低い傾向がみられた。また、各地点を構成する環境を、水理特性を表す変数を中心とした17個の変数によって評価したところ、6つのタイプに分類できた。減水区間において種多様度が低いのは、環境タイプ頻度から求めた環境多様度が低いだけでなく、種多様度の低いトロ的な環境タイプが優占しているためであることが示唆された。

Keywords: stream fishes, dam, flow-regulated reach, species diversity, environmental type

1. はじめに

河川にダムが設置されると、ダム湖が生じることにより、流水環境から止水環境へと変わり、魚類群集が大きく変化したり、ダムの上下流に生息する魚類にとっては降河や遡上の際の移動障壁となるだけでなく、様々な影響が生じることが知られている^{1),2)}。とくに発電用水を確保するために設置されたダムの下流では、次のような影響が生じることが考えられる。1) 流量が著しく減少した減水区間を生じることにより、生息空間そのものが大幅に減少したうえに、流速が遅くなり止水的となる。2) 上流から土砂が供給されないために、底質の組成が粗粒化・単純化したり、洪水の頻度が少ないために河床表面の有機物を多量に含んだ堆積物がフラッシングされず、底質環境が悪化しやすい。3) 逆に、大きな洪水時にはダム湖からの取水位置によって、高温水や低温水が極めて短い時間に放水されるため、急激な温度変化を生じ、魚類のような変温動物にとっては影響が大きい。4) さらに、流域に汚濁源がある場合には、減水により希釈効果が働かないために、相対的に汚濁負荷が増加し、水質および底質の悪化を招きやすい。このように、減水区間に生

息する魚類にとっては、大変きびしい環境であることが予想される。

ところが驚くべきことに、日本ではおびただしい数のダムが建設されているにもかかわらず、これまで河川生態系の構造や機能、生物群集に与える影響を評価するための基礎的研究はほとんど行われてこなかった³⁾。まして、減水区間における魚類の生息状況と環境の実態を明らかにしたうえで、それがどのような機構でもたらされているのかに関する定量的調査はなされていないのが現状である。

このような状況の中で、徳島県では多目的ダムの設置された県中東部を流れる勝浦川において、豊かな河川環境を再生する目的で、2001年度よりダムからの河川維持放流を計画している。これに関連して徳島県は、(社)土木学会に対し勝浦川の河川環境調査を委託した。筆者らの研究グループ(代表:岡部健士)はこれを受けて、1999年度より6カ年の計画で水文、水理、水質、水生生物などの面から総合的な調査を実施しているところである。この一環として筆者らは、減水区間を中心とした魚類と河川環境との関連を探索するための調査を担当している。この調査は緒についたばかりであるが、まず手始めに、魚類相および河川環境の

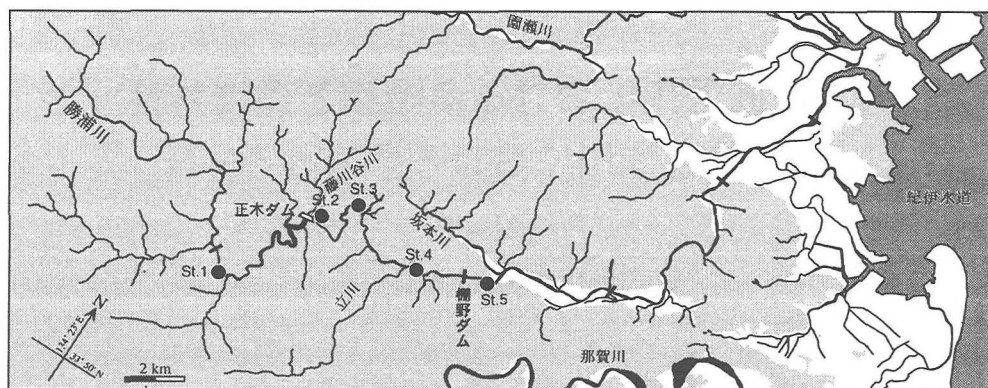


図-1 勝浦川水系および調査地点。白抜きは平地を示す。

特性を総合的に把握するために、多様性の観点から評価することを試みた。環境を評価するための項目としては、減水区間におけるもっとも顕著な特徴である、流量の減少がもたらした水理特性に特に注目した。

2. 調査概要

(1) 調査地の概況

勝浦川は、四国山地の雲早山を源流とし、徳島県内を流れ紀伊水道に注ぐ幹線流路延長49.6 km、流域面積224 km²の2級河川である(図-1)。流域の中程に位置する勝浦盆地と下流域の平野部を除く、約9割の区間で山地を流れている。河口から31.7 km地点に多目的ダムの正木ダムが設置されており(有効貯水量1,190万m³)、ここで取水された発電用水は約8 km下流の勝浦発電所までバイパスされている。そのため正木ダムから発電所までの間は流量が少ない減水区間となっている。平水時についてみると、ダム湖直上における平均流量は約5 m³/secであるが、減水区間の福川地区(St. 3、後述)における流量は約1 m³/secであり、およそ1/5の流量となっている。減水区間には、藤川谷川と立川の2本の主要な支川があり(図-1)、これらのうち、立川では発電用水を取水し、先の勝浦発電所まで導水しているため、平水時の合流流量はきわめて少ない。従って減水区間の流量は、正木ダム直下流で合流する藤川谷川の流量とほぼ同等とみなすことができる。

調査地点はすべて山間溪流的な景観の場所に位置し、減水区間に3地点(St. 2～4)と、比較のために非減水区間の調査地点として、正木ダム湖上流(St. 1)と勝浦発電所下流(St. 5)に各1地点を設けた。なお、

勝浦川発電所より下流500 mに、発電所からの放水による水位変動を緩和する目的で設置された可動ゲート式逆調整ダムの棚野ダムがある。最下流のSt. 5は、棚野ダムより約900 m下流で、勝浦盆地に入る直前に位置している。

調査地域の水質は、1998年9月および1999年8月の調査によると、どの地点においてもBODは2 mg/l以下の値を示しており、これは生活環境に係わる環境基準のAAないしA類型に相当する⁴⁾。この類型はまた水産1級に相当し、イワナ、ヤマメ等貧腐水性水域の水産生物に適した水質とされている。しかし、支川の藤川谷川および減水区間のSt. 3では、特に大きな値とはいえないものの、他地点に比較してBOD、リン酸イオン、亜硝酸態窒素、および硝酸態窒素の濃度が高く、周辺集落からの生活排水や農業排水等の流入による影響と考えられる⁴⁾。

(2) 調査方法および調査日

地点ごとに、少なくとも1つ以上の瀬と淵からなるセットを含むように、河道に対しほぼ直角な横断線を約5 m間隔で20～31本設定し、流路の縦横断形状をレーザービーム式デジタルトランシットにより測量した(ただし、St. 1の上流側5本については、中央部に比較的大きな砂州を介在するため、左岸側と右岸側を別々の流路として扱った)。そして横断線ごとに次の項目を記録・計測した。すなわち、出現魚種、流れによる波の状態、河床表面の石の状態、底質の粒度階級、底質表面の有機性微細粒子(FPOM: fine particle organic matter)⁵⁾またはシルトの沈積状態、糸状藻類の有無、水際植物によるカバーの有無、抽水性植物の有無、および水深の9項目である。

出現魚種については、スノーケリングによる目視観

察によって若魚～成魚について、個体数ではなく、出現の有無を記録した。これは本調査地のように規模がある程度大きな河川において、すべての種を対象として個体数を計数することは時間的・労力的に困難だからである。とくに石や岩の間隙に入り込む底生魚の個体数の把握は、信頼性が乏しい。本調査で行ったように、地点ごとに多数の横断線を設定し、これらの横断線ごとに出現の有無を記録する半定量的調査は、適用できる条件の幅が広い。なお、本調査に先立ち、1997～1998年にかけて勝浦川水系全域において、採集を主体とした定性的な魚類相調査を実施し、調査地域に出現する魚種を十分に把握しておいた^(9,7,8)。

次の7項目については、順序尺度変数として記録した。流れによる波の状態は、(0)ほとんど波立たない、(1)しわのような波、および(2)白波の3つに分けた。河床表面の石の状態については、大礫程度の石の底質マトリックスへの埋没の程度を表すため、(0)沈石か、(1)浮石かを記録した。底質の粒度階級区分は山本(1994)⁹⁾を参考にし、(0)泥(1/16 mm以下)、(1)砂(1/16～2 mm)、(2)細礫(2～4 mm)、(3)中礫(4～64 mm)、(4)大礫(64～256 mm)、(5)小巨礫(256～512 mm)、(6)中巨礫(512～1024 mm)、(7)大巨礫(1024～2045 mm)、および(8)岩または岩盤(2045以上)に分け、優占的な状態を記録した。底質表面のFPOMまたはシルトについては、(0)沈積していない、および(1)沈積しているの2つに分けた。糸状藻類は、石や岩の表面にカワシオグサ *Cladophora glomerata* などの糸状藻類が、(0)繁茂していない、および(1)繁茂しているの2つに分けた。糸状藻類については、事前調査において、とくに減水区間で大量にみられ、底生魚の生息に影響している可能性が考えられたので、調査項目として加えた。水際植物によるカバーは、水際線外側から水面上に張り出し、水面までおよそ1 m以内に達している植物によるカバーが、(0)無し、(1)片岸にのみ有り、および(2)両岸に有りの3段階に分けて記録した。ツルヨシなどの抽水植物については、水際植物によるカバーと同様に3段階に分けて記録した。抽水植物も水際植物同様にカバーとしての機能を有しているが、同時に流速の緩和や水中捕食者からの隠れ場所の提供など、水中における空間構造に変化を与える点が異なるため、別項目とした。なお、波の状態、底質表面のFPOM・シルトおよび糸状藻類については、横断線を左岸側・中央・右岸側に3分割して記録し、うち2分割を占める優占的な状態を代表値とした。底質粒度についても同様に横断線を

3分割して記録したうえで、それぞれに与えた値の平均値を四捨五入した整数値を代表値とした。

水深は、水面幅や地形の複雑さを考慮しつつ、横断線あたり5～15個の測点を設け、測深棒で測定した。流量評価のため、調査地点ごとに水面幅がほぼ一様で、流れの湾曲や偏りの少ない場所に別に1横断線を設定し、約1 m間隔で水深計測と電磁流速計を用いた水深中間点における流速計測を実施した。

今回の調査では、横断線ごとの流速計測は実施しなかったが、代表断面において流量が計測されているので、その結果と横断線ごとの水深データからManning式に基づいて、流速の横断分布を計算によって求めた。その際、横断線ごとの水深データ数を統一するために、内挿法によって11点(水面幅の狭い調査地点)または21点(水面幅の広い調査地点)の新たな水深データを作成し、これらの点ごとに流速を算出した。

調査は1999年9月28日から10月2日にかけて実施した。調査前の3日間は無降雨日であり、調査期間中の降雨はなかった。なお、本年は降雨量が多く、St. 1に近い徳島気象台の観測点(福原旭)の月別降雨量について、1987～1997年の11年間の平均値と比較すると、3～9月が連続して平均値を上回っていた。調査に先立つ9月初～中旬にかけては雨日が多く、合計737 mmの降雨量があり、9月の平均降雨量475 mmを大きく上回っていた。これに伴い、9月には正木ダムのゲートから3回にわたり放水がなされた。そのため減水区間の河床は十分にフラッシングされていたと考えられる。実際、1997年9月に予備的に魚類相の定性的調査を実施した際には⁶⁾、減水区間においてFPOMの堆積や糸状藻類の繁茂が広範囲に見られたが、本調査時には両者ともきわめて少なかった。

(3) データ解析の方法

調査地点の魚類相を、種多様性の観点から総合的に評価するために、種ごとの出現頻度(出現横断線数)から森下の β 指数を求めた^{10,11)}。この指数は0以上の値をとり、少数の種の出現頻度が突出して大きくなるほど小さな値となる。したがってこの指数が大きいほど複雑な群集、逆に小さいほど単純な群集とみなすことができる。次に地点間の魚類群集の類似度を求め、これにクラスター分析を適用することにより、地点のグルーピングを行った。類似性の尺度として順位相関係数の1つであるKendallの τ 係数を用い、 β 指数と同様に種ごとの出現頻度データから算出した¹²⁾。この係数は、通常の相関係数と同様に-1～+1の値をとり、

表-1 地点別出現魚種と出現頻度、より上流側（St. 1）に出現する種からより下流側（St. 5）に出現する種まで順番に配列した。ドットは出現していないことを示す。

種		St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	合 計
タカハヤ	<i>Phoxinus oxycephalus jouyi</i>	1	.	.	.	.	1
アマゴ	<i>Oncorhynchus masou ishikawae</i>	1	.	.	.	.	1
ヌマチチブ	<i>Tridentiger brevispinis</i>	11	10	3	1	.	25
オイカワ	<i>Zacco platypus</i>	20	30	25	21	16	112
ウグイ	<i>Tribolodon hakonensis</i>	20	25	11	27	22	105
カワヨシノボリ	<i>Rhinogobius flumineus</i>	20	30	25	29	20	124
アユ	<i>Plecoglossus altivelis altivelis</i>	18	16	5	17	1	57
カワムツB型	<i>Zacco temminckii</i>	16	25	21	29	14	105
カマツカ	<i>Pseudogobio esocinus esocinus</i>	6	1	3	5	1	16
ムギツク	<i>Pungtungia herzi</i>	2	13	19	13	14	61
オオヨシノボリ	<i>Rhinogobius</i> sp. LD	.	20	11	26	17	74
スゴモロコ	<i>Squalidus chankaensis biwae</i>	.	19	.	1	1	21
ギンブナ	<i>Carassius auratus langsdorffii</i>	.	1	4	1	5	11
ニゴイの1種	<i>Hemibarbus</i> sp.	.	.	3	3	12	18
ギギ	<i>Pelteobagrus nudiceps</i>	.	.	3	1	.	4
シマドジョウ	<i>Cobitis biwae</i>	.	.	.	.	9	9
シマヨシノボリ	<i>Rhinogobius</i> sp. CB	.	.	.	.	2	2
合 計		115	190	133	174	134	746
横断線数		20	31	25	29	22	127

両群集間に類似性が完全になく0となる。

環境特性をあらわす変数として、横断線ごとに上述の7項目の順序尺度変数に水面幅、断面平均水深と局所水深の変動係数、断面最大水深、断面平均流速と局所流速の変動係数、断面最大流速、横断面積、フルード数、河床勾配の10項目からなる水理特性評価のための変数を加えた。フルード数は波の伝播速度と断面平均流速との比で、1より小さな値の場合を常流といい、1を越える場合を射流という。射流に近い状態では激しい水面動揺を生じることから、瀬の状態を客観的に評価するための変数として用いた。河床勾配は、ある横断線の上下流に隣接した2断面の平均河床高の差と両者の距離の比として表し、下流方向への勾配をプラスとし、その逆勾配をマイナスとした。

環境特性を評価するために、まず因子分析を用い、各変数間の関係を調べた。その過程で得られた横断線ごとの第3因子までの因子スコアに対してクラスター分析を適用することにより、横断線の環境タイプ分けを行った。次に変数ごとに環境タイプの平均値などを検討することによって、各環境タイプの性格づけを試みた。環境の多様性を評価するために環境タイプの頻度データに対し、上に述べた森下の β 指数を適用し、これを環境多様度とした。最後に、種多様度と環境特性との関係を検討した。

3. 魚類相

調査区間に出現した魚類は17種で（表-1）、これらはすべて事前調査で確認された種によって占められていた^{6),7),8)}。地点ごとの出現種数、下流方向への累加種数および表-1の出現頻度分布から求めた種多様度を図-2に示した。

河川における出現魚種数は、一般に上流ほど少なく、下流ほど多い傾向があるが¹³⁾、今回の調査でも同様の傾向がみられた。最上流部のSt. 1の10種から下流部のSt. 4と5の13種まで単調に増加している。しかし、出現種の累加曲線は減水区間のSt. 3から4にかけて平坦になっており、この区間で新たな種が出現していないことを示している。St. 3とSt. 4の出現種の違いは、上流のSt. 2ですでに出現しているスゴモロコがSt. 3では出現していないことだけで、あとはすべて共通している（表-1）。この累加曲線の同様な傾向は、1997年における魚類相の定性的調査によっても確認されており⁹⁾、減水区間の魚類相の貧弱さが示唆されていた。

種多様度は、種数と同様、最上流部のSt. 1で最も低く、最下流部のSt. 5で最も高くなっている。ただし、単調には増加せず、累加曲線の挙動に対応するかのよう、St. 1から2の間でいったん増加したのち、St. 3と4で再び減少に転じているのが特徴的である。St. 1では出現種数が少ないうえに、全地点を通して出現頻度の高いオイカワ、ウグイ、カワヨシノボリおよびカワムツB型だけでも66%と大部分を占め、タカハヤ

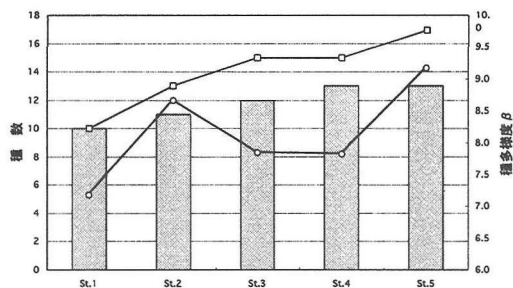


図-2 地点別魚類種数 (バー), 下流方向への累加種数 (□) および種多様度 β (○).

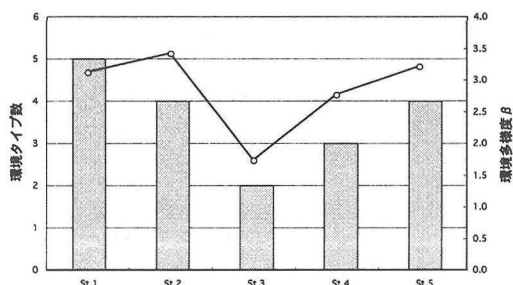


図-3 地点別環境タイプ数 (バー) と環境多様度 β (○).

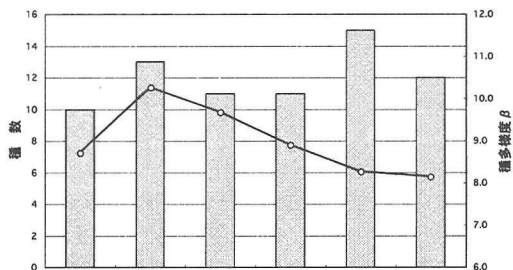


図-4 環境タイプ (A～F) 別出現魚種数 (バー) と種多様度 β (○).

やアマゴ、ムギツクなどはきわめて低い頻度で出現しているにすぎず、単純な群集構成となっている。これに対し St. 5 では、高頻出種の構成は St. 1 と同様であるが、種数が多いだけでなく、ムギツクやオオヨシノボリ、ニゴイの一種、シマドジョウなどの出現頻度も比較的高いために、相対的に複雑な群集構成となっているといえよう。一方、減水区間の St. 3 と 4 では、種数的には隣接した St. 2 あるいは 5 とほとんど差がないにもかかわらず種多様性が低いのは、これら 4 地点にはほぼ共通した高頻出種 (オイカワ、ウグイ、カワヨシノボリ、カワムツ B 型、ムギツク、オオヨシノボリ)

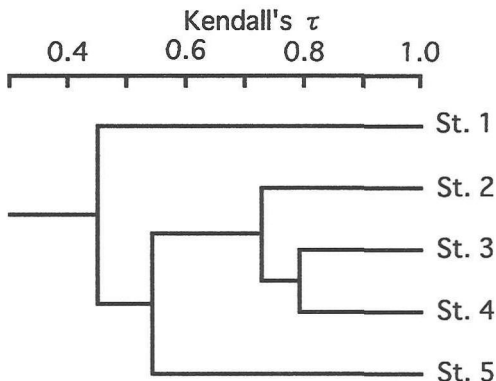


図-5 調査地点別魚類相のクラスタリング (非加重群平均法による。なお、Ward法によっても同一の結果が得られている)。

以外の出現頻度が、St. 4 のアユを除いてひじょうに低いのである。St. 2 では出現種数は 11 種で、St. 1 に次いで低いが、カマツカとギンブナの 2 種を除いて比較的バランスの取れた出現頻度傾向を示しているために種多様度の値が高くなっている。

なお、第 2 章 (2) で述べたように、本調査実施直前には例年に比べて降雨量が多く、これに伴い正木ダム・ゲートからの放水が行われた。1997 年における調査⁶⁾と今回の調査について、調査地点が同一の St. 1～4 について出現種数を比較すると、正木ダム上流の St. 1 では 11 種→10 種でほとんど変化がないのに対し、減水区間の St. 2 では 8 種→11 種、St. 3 では 7 種→12 種、および St. 4 では 8 種→13 種であり、今回の調査時には、これら 3 地点すべてにおいて出現種数が増えている。これは減水区間の河床がフラッシングされたことにより、FPOM や糸状藻類が取り除かれるなどして、生息環境が改善されたためと思われる。このフラッシングが魚類相に及ぼす具体的な機構については今後の研究課題であるが、もし今回の調査時点においても 1997 年レベルの流量で、フラッシングがほとんど生じていなかったとしたら、上の出現種数の推移から見て、減水区間の種多様度はさらに低くなったと思われる。

最後に、魚類相の地点間の異同を把握するために、表-1 の出現頻度分布データから τ 係数⁸⁾を求め、クラスター分析を行った (図-5)。St. 3 と 4 が 1 つのまとまったグループを作っており、累加種数曲線や種多様度で述べた地点間類似の傾向が裏付けられている。これら 2 地点にさらに St. 2 も合わさって減水区間の 3 地点が

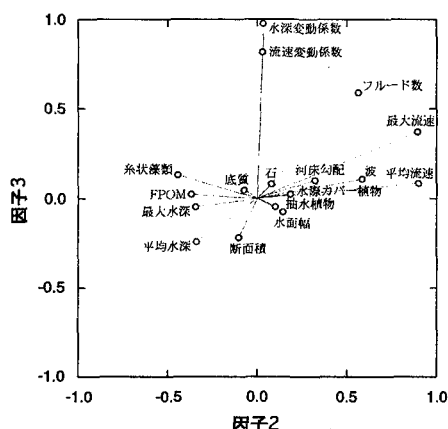
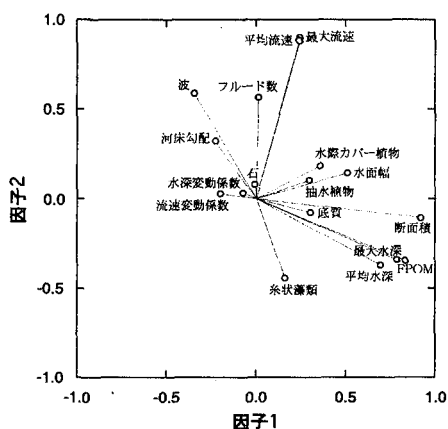


図-6 因子分析（反復主因子法）による環境特性変数間の関係。第3因子まで求め、うち第1因子—第2因子（左図）および第2因子—第3因子（右図）について、バリマックス回転後の直交解プロットを示す（Bartlettのカイ二乗 $P < 0.0001$ ，第3因子までの固有値の累積変動率0.522）。

明瞭なまとまりを作っていることがわかる。

4. 環境タイプの分類と環境特性

減水区間の魚類相のまとまり、とくにSt. 3と4における魚類相の高い類似性（図-5）と低い種多様度（図-2）には共通した要因が関与していることが予想される。そこで環境特性との関連を検討するために、まず環境特性を示すと考えられる17個の変数間の関係を因子分析を用いて解析した。図-6は、第3因子まで求めた変数のプロットである。この図と斜交解構造行列や相関行列を合わせて検討した結果、因子1は深さの軸を、因子2は流れの速さの軸を、そして因子3は深さや流れの変動の大きさの軸を表していると考えられた。

このことをさらに明確にするために、変数間の相関行列に対しクラスター分析を適用した結果を図-7に示す。それによると変数はI～IVのグループに分けることができ、これらのグループは図-6で示された因子分析による変数間の構造によく適合していることがわかる。すなわち、グループIは因子1に、グループIIは因子2に、そしてグループIIIは因子3にそれぞれほぼ対応した変数群となっている。最後のグループIVは、因子分析の共通性統計量（SMC）の値が比較的小さなものが多く、したがって他の変数との相関が弱く、因子数をもっと増やした場合に第4因子以降の軸に係わってくる変数からなっている。

次にこれらの変数群によって構成される因子空間と

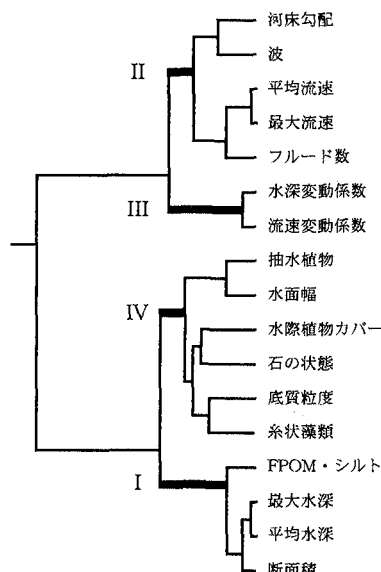


図-7 17個の環境特性変数間の相関係数に基づくクラスタリング（Ward法による）。因子分析の結果（図-6）に対応したI～IVのグループに分かれる。

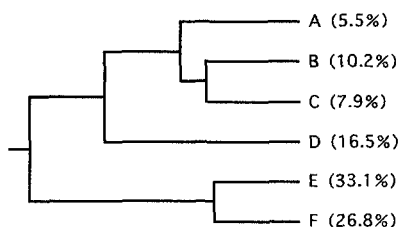


図-8 因子スコアに基づく全調査地点127本の横断線のクラスタリング（Ward法による）。括弧内は、各タイプに含まれる横断線の割合を示す。

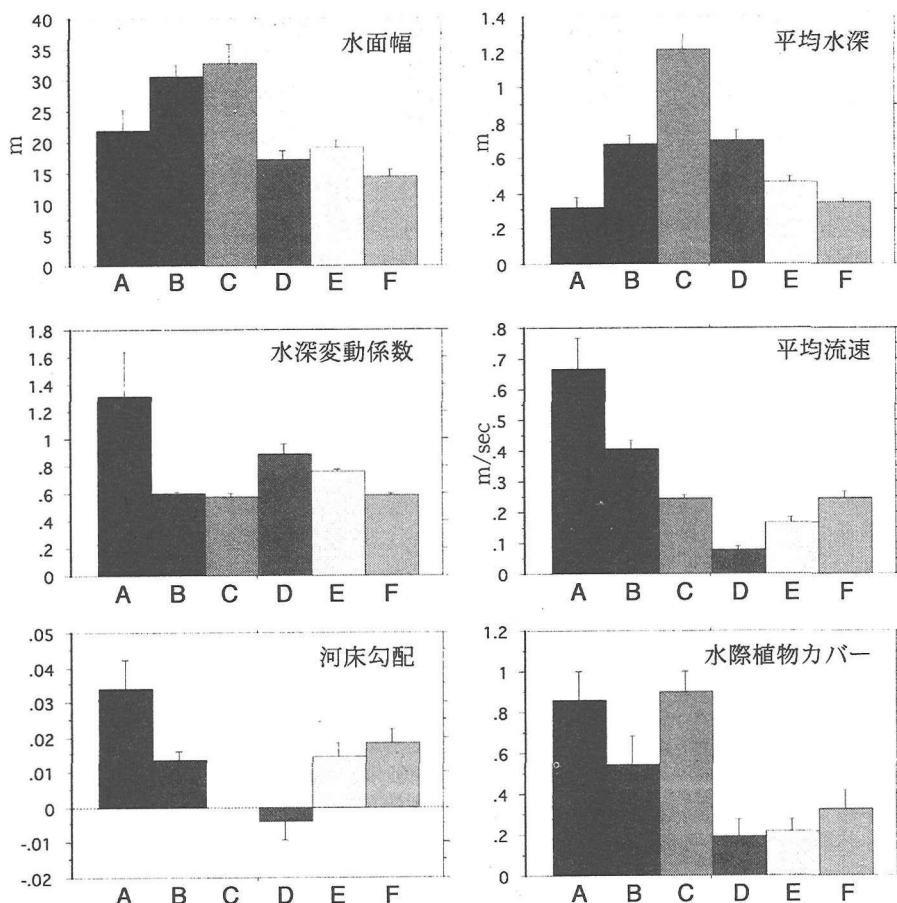


図-9 17個の環境特性変数のうちの6個の変数の環境タイプ(A～F)別平均値とその標準誤差。

個々の横断線とが、どのように係わっているのかを検討してみた。ここには示していないが、因子分析の過程で得られた因子スコアを用いて、各横断線を因子1～3の空間にプロットしてみると、地点ごとに比較的にまとまる傾向が観察されたことから、地点ごとに特徴的な環境特性をもっている可能性が示唆された。そこで横断線ごとの因子スコアに対してクラスター分析を適用し、横断線の環境タイプの分類を試みた。その結果が図-8である。すべての横断線を示すと煩雑になるので、ここでは簡略化して表している。各横断線は、A～Fの6つのグループからなる環境タイプに分類され、大きくはA～DのグループとEとFからなる2つのグループに分かれている。数的には全172本の横断線のうちE・Fに類別されるものが60%を占め、A～Dは40%にすぎない。

これらの環境タイプが具体的にどのような環境特性

と関連しているのかを、環境タイプでラベリングした横断線を、上に述べた因子空間へ再プロットした図(ここには示していない)や、変数ごとの平均値グラフ(図-9に一部を示す)から検討してみた。その結果、各タイプの環境は次のように性格づけられよう。

タイプA(早瀬)：水面幅は比較的大きいが、断面積は小さい。水深はひじょうに浅く、流れがかなり早い。水深と流速の変動が大きい。勾配が急で、白波が立っており、フルード数がとくに大きい。水際にはカバーや抽水植物が多い。

タイプB(平瀬)：水面幅が広く、断面積は中程度。水深も中程度で、流れは早い。勾配も中程度で、水面が波立っている。カバー植物や抽水植物がみられる。

タイプC(大型の淵)：水面幅が広く、断面積が大きい。水深がかなり深く、流れは遅い。勾配はほとんど水平で、水面は波立たない。河床表面はFPOMやシ

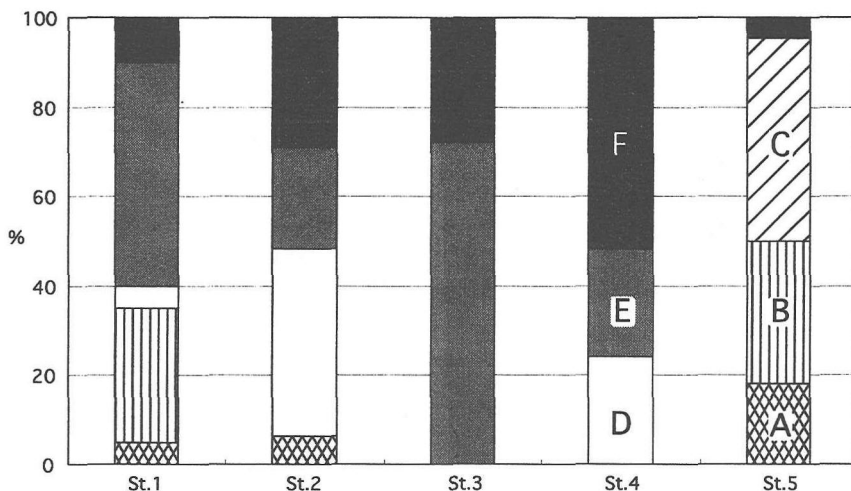


図-10. 地点別の環境タイプ (A～F) 構成比.

ルトによって覆われている。カバー植物や抽水植物が多い。

タイプD (小型の淵)：水面幅は小さく、断面積も小さい。水深は中程度で、流れはひじょうに遅い。しかし、水深・流速ともやや変動が大きい。勾配は逆勾配かほとんど水平。水面は波立たない。河床表面にFPOM・シルトと糸状藻類が多い。カバー植物と抽水植物は少ない。

タイプE (淵状のトロ)：水面幅は小さく、断面積も小さい。水深はやや浅く、流れは遅い。しかし、流速の変動はやや大きい。勾配は中程度で、水面はあまり波立たない。抽水植物がやや多い。

タイプF (瀬状のトロ)：水面幅は小さく、断面積も小さい。水深はひじょうに浅く、流れは遅いが、タイプEよりやや早い。勾配はやや大きく、水面は波立っている。

5. 環境特性と種多様性との関係

魚類相、とくに種多様性と環境特性はどのように関わっているだろうか。この点を検討するために、上で求めた横断線の環境タイプに基づいて、地点ごとの総合的な環境特性を明らかにすることを試みた。

図-3は、地点ごとの環境タイプ別横断線頻度データから算出した多様度指数 β で、環境の多様度を示している。出現する環境タイプ数にほぼ対応して環境多様度も増減していることがわかる。環境多様度はSt.3でもっとも低く、次いでSt.4で低い。一方、環境多様度

がもっとも大きいのはSt.2で、出現する環境タイプ数はSt.1よりも1つ少ないが、環境多様度はいくぶん大きな値を示している。

この図-3の環境多様度を図-2の種多様度と比較してみると、環境多様度曲線の増減にはほぼ対応して、種多様度曲線も増減しているようにみえる。ただし、増減の程度はそれほど明瞭な対応関係を示していない。また、St.1は例外で、環境多様度は高いが、種多様度は逆に低くなっている。このことは、種多様度の違いは環境多様度の違いによってある程度は説明できそうであるものの、これだけでは説明できないことを示しているものと考えられる。

そこで、今度は各地点における環境タイプの構成を調べてみた。図-10に示すように、地点ごとに出現する環境タイプの種類やその構成比に偏りがあることがわかる。St.1, 2, 5では4～5種類の環境タイプが出現しているのに対し、St.3, 4では2～3種類にすぎない。構成比でみると、とくにトロとみなされたタイプEとFの占める割合は、St.3 (100%)とSt.4 (76%)で高く、次いでSt.1 (60%)で高い。逆に、St.2 (52%)における割合はやや低く、St.5 (5%)ではわずかである。

このタイプEとFの占める割合と、図-2の種多様度とを比較してみると、EとFの占める割合の大きなSt.3, 4およびIでは種多様度も低くなっていることがわかる。そこでEとFの割合に対し、種多様度 β をプロットしてみると (図-11)、 $R = -0.71$ の負の相関がみられた。ただし、相関係数に対するBartlett検定のP値は0.175となっており、そのような相関があると断定で

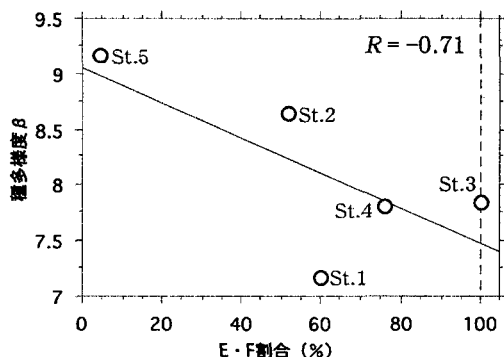


図-11. 各調査地点における環境タイプEとFの占める割合に対する種多様度 β .

きるほどには小さいとはいえない。その原因のひとつとして、調査地点数が5地点と少ないことが影響していると思われる。我々は、次章で述べるように、タイプEとFが減水区間における種多様度の低下に重要な役割を果たしていると考えている。本調査は現在も継続中であることから、降雨量の変動などに伴い、同一地点でも今回とは多少異なった環境特性や種多様度を示すことが予想され、今後、新しく得られるデータを合わせて解析することにより、より明瞭な傾向を把握できると期待している。

そこでここでは、タイプEとFの占める割合が大きいほど種多様度が低くなるという予想を、別な面からみることにする。EとFの割合が増すほど、種多様度が低くなるということは、EとFが優占することによって環境多様度が低下することの影響以外に、EとFそのものの種多様度が低い場合も考えられよう。もし、EとFの種多様度が低ければ、EとFの占める割合の高い地点では、それに伴い種多様度も低下することが予想されるためである。

そのことを確かめるために、今度は環境タイプ別に種多様度を求めてみた。出現種数も合わせて図-4に示した。これによると、種多様度は $B > C > D > A > E > F$ の順で低くなっており、上記の予想によく適合しており、タイプEとFそのものの種多様度の低さが、St. 3, 4および1における種多様度の低さに関与していることを示している。また、タイプEとF以外では、タイプAとDの種多様度もどちらかという低い値を示しているが、タイプAはどの地点でも構成比がひじょうに小さいこと(図-10)、タイプDの構成比はSt. 2 (42%)で比較的大きいものの、図-3に示したように、このタイプDも含めた環境タイプの多様性が、かえってこの地点の種多様性を高めている可能性がある。

る。

なお、タイプEとFでは種多様度が低いにもかかわらず、逆に出現種数は多くなっている(図-4)。とくにタイプEでは15種と、他のタイプに比べて突出している。しかし、タイプEとFで種数が多いのは、6種類の環境タイプの中で、EとFが占める割合が大きく(図-8)、従って調査地の面積(本調査の場合は横断線数)が増大するにつれて出現種が増加することに対応しているからであろう。その一方で、オイカワやカワムツB型、ウグイ、ムギツク、アユ、オオヨシノボリ、カワヨシノボリなどの特定種が優占的に出現しているために(表-1)、逆に種多様度が低くなっている。

6. まとめと今後の展望

本調査結果をまとめると、次のようになる。

- (1) 勝浦川に設置された多目的の正木ダム下流に生じた減水区間に3地点、減水区間の上下流に各1地点の合計5地点の調査地点を設定し、地点ごとに20～31本の横断線を設け、流路の縦横断形状を測量すると共に、横断線ごとに出現魚種および9項目の環境特性を記録した。流速データについては、地点ごとに別に1横断線を設け、この断面形状と流速分布から、各横断線の流速分布を計算によって求めた。
- (2) 調査地点ごとに出現魚種とその出現頻度パターンが異なり、それに応じて種多様度も異なっていた。とくに減水区間の下流側2地点(St. 3, 4)と非減水区間の最上流地点(St. 1)において低い値を示した。
- (3) 各横断線の環境タイプを、環境特性を示す17個の変数に基づいて、因子分析とクラスター分析を併用することにより分類した。その結果、A～Fの6タイプに分類でき、各タイプは、早瀬(A)、平瀬(B)、大型の淵(C)、小型の淵(D)、淵状のトロ(E)、および瀬状のトロ(F)に相当すると考えられた。
- (4) 魚類相、とくに種多様性と環境特性との関係を調べるために、環境タイプの頻度分布から環境のバリエーションの多寡の指標である環境多様度を地点ごとに求めた。この環境多様度と種多様度とを比較した結果、環境多様度の増減にほぼ対応した種多様度の増減がみられた。すなわち、環境多様度が高い地点では種多様度も高く、逆に環境多様度が低い地点では種多様度も低くなっていた。ただし、例外もあり、環境多様度だけでは種多様度の違いを説明できないと考えられ

た。

(5) そこで、各地点を構成する環境タイプの種類とその出現頻度を調べてみると、トロとみなされたタイプEとFの占める割合が高い地点では、種多様度も低い傾向にあることが示唆された。さらに、環境タイプ別に種多様度を調べてみると、タイプEとFで最も低い値を示すことが判明した。このことは、先のタイプEとFの占める割合が高い地点ほど、種多様度も低くなる傾向を裏付けていると考えられた。

(6) 以上の(4)と(5)から、種多様度は、環境多様度の違いだけでなく、各環境タイプの有する種多様度の違いも影響している可能性が高いと考えられた。

最後に、魚類の種多様性に变化をもたらす環境タイプの構成が、なぜ地点ごとに異なっているのか、とくに減水区間に位置するSt. 3と4について、なぜ環境多様度が低いだけでなく、種多様度の低い環境タイプEとFが優占しているのかについて、試案を記しておきたい。

第4章で述べたように、両タイプとも水面幅は小さく、水深も浅く、流速が遅いという共通した、いわゆるトロ¹⁴⁾としての特徴をもっている。これらの特徴は、すなわち流量が小さいことを示しているが、両タイプが優占するSt. 3と4は正木ダム下流に生じた減水区間に位置しているので、これは当然といえよう。興味深いのは、両タイプ間の違いはとくに大きいとは言えないものの、同じトロ的な環境であっても、タイプEは淵的であるのに対し、タイプFは瀬的であることである。他のA～Dのタイプはそれぞれ早瀬、平瀬、大型の淵と小型の淵といったように、比較的特徴がはっきりしていることと対照的である。これらことから考えられるのは、流量がもっと大きければ(すなわち上流にダムがなかったとしたら)、タイプEはタイプCやDのようなはっきりとした淵に、そしてタイプFはタイプAやBのようなはっきりとした瀬を形成するのではないかということである。もしこれが正しいとすると、ダムによって流量が減少した結果、メリハリの利いた淵・瀬構造が消失し、環境が単純化したうえに、種多様度の低いトロ的な環境が広がった結果、魚類の種多様性も減少した可能性があることになる。

このシナリオは、現時点では仮説にすぎない。しかし、ダム建設によって流量が減少することにより、早瀬や平瀬などの河床型の面積比が大きく変わることや¹⁴⁾、トロは淵にくらべて生息魚種数や個体数が著しく少ないことが知られていることから¹⁵⁾、我々はこのシナリオの可能性は高いと考えている。本調査では、同

じ減水区間のSt. 2では、環境多様度も種多様度もむしろ高いのはどうしてか、減水区間ではないダム上流のSt. 1における種多様度の低さも同様な機構で説明できるのか、そしてトロとみなされたタイプEとFで種多様性が低くなるのはどうしてかなど、検討すべき課題も多い。しかしながら、我々は以上のような作業仮説の上に立って今後の調査を進めることは、十分意義があると考えている。

謝辞：調査にあたって、徳島県土木部河川課、同徳島土木事務所および同正木ダム管理所から多大な協力を得た。糸状藻類の同定には(有)河川生物研究所の洲澤多美枝・洲澤 譲の両氏のご助力を得た。以上の方々に感謝する。

参考文献

- 1) 水野信彦(1972)：魚類の生態学的研究。水野信彦・御勢久右衛門，河川の生態学，築地書館，pp. 103-214。
- 2) 森 誠一(1999)：ダム構造物と魚類の生活。応用生態工学，Vol. 2, No. 2, pp. 165-177。
- 3) 中村太士(1999)：ダム影響評価の背景と課題―特集を編集するにあたって―。応用生態工学，Vol. 2, No. 2, pp. 101-102。
- 4) 上月康則・児島正幸(1999)：水質調査。河川環境調査委員会編，河川環境調査 勝浦川：勝浦郡上勝町～勝浦町，平成12年3月。(社)土木学会，pp. 4-1-27。
- 5) 竹門康弘(1995)：淡水域の動物による「棲み場所改変」と種間関係。竹門康弘・谷田一三・玉置昭夫・向井 宏・川端善一郎，棲み場所の生態学。平凡社，pp. 67-94。
- 6) 佐藤陽一・高橋弘明・洲澤 譲(1998)：勝浦川の魚類相。徳島県立博物館研究報告，No. 8, pp. 25-66。
- 7) 佐藤陽一(1999)：魚類調査。河川環境調査委員会編，河川環境調査 勝浦川：勝浦郡上勝町～勝浦町，平成11年3月。(社)土木学会，pp. 8-1-8。
- 8) 佐藤陽一・岡部健士(2000)：魚類調査。河川環境調査委員会編，河川環境調査 勝浦川：勝浦郡上勝町～勝浦町，平成12年3月。(社)土木学会，pp. 7-1-9。
- 9) 山本晃一(1994)：沖積河川学：堆積環境の視点から。山海堂，470 pp。
- 10) 木元新作(1976)：動物群集研究法I―多様性と種類組成―。共立出版，192 pp。
- 11) 木元新作・武田博清(1989)：群集生態学入門。共立出版，198 pp。
- 12) 小林四郎(1995)：生物群集の多変量解析。蒼樹書房，194 pp。
- 13) 水野信彦(1993)：河川魚類とその生態。玉井信行・水野信彦・中村俊六編，河川生態環境工学：魚類生態と河川計画。東京大学出版会，pp. 52-62。
- 14) 水野信彦・御勢久右衛門(1972)：河川環境とその調査法。水野信彦・御勢久右衛門，河川の生態学，築地書館，

pp. 4-22.

15) 水野信彦 (1995) : 魚にやさしい川のかたち. 信山社, 135

pp.

FISH FAUNA AND ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS IN THE REACH INCLUDING A DAM: A CASE STUDY IN THE KATSUURA RIVER, TOKUSHIMA

Yoichi SATO and Takeshi OKABE

The relationship between fish fauna and physical environmental factors was studied in the reach including a dam, in the Katsuura River, eastern Shikoku Island, Japan. We set five investigational stations: three in regulated low-flow portion below Masaki Dam and two in unregulated portion in the river. The first station of unregulated portion was located upstream of the dam reservoir. The second station of unregulated portion was located below the outlet of the hydroelectric power plant settled at 8 km downstream from the dam. Each station consists of 20-31 transverse lines to observe the occurrence of fishes and to measure the environmental factors.

In total 17 species were recognized in five investigational stations. We attempted to examine the species diversity, and both combination and diversity of six environmental types classified by 17 environmental factors on the transverse lines in each station. The tendency of low species diversity was observed in the regulated portion, corresponding to the low environmental diversity. Furthermore, the abundance of certain environmental types and low species diversity in certain environmental types also corresponded to the low species diversity in the regulated portion. These two findings suggest that the species diversity of stream fishes was affected by both the environmental diversity and the species diversity subsisted in each environmental type.