

◆ 特集：環境に配慮した河道計画・設計 ◆

河川におけるハビタットの空間スケールと河道計画への利用

萱場祐一* 天野邦彦**

1. はじめに

ハビタット (habitat) とは「生物が生活史のある段階で利用する形態的に一定のまとまりを有する特定の場所」と定義される¹⁾。河川に生息する生物は一般にハビタットを介して保全・再生を行うことが多いので、ハビタットの種類や生態的な機能、各ハビタットと河道特性との関係等、ハビタットに関する広範な知見は河川環境を管理する上で不可欠である。

ハビタットは生息環境そのものではなく、生息環境を場所に投影する点に特徴がある²⁾。河川に生息する水生生物に限定すれば、形態的にまとまりがあり、生息環境が比較的均質と考えられる水の流れ (瀬や淵) や植物帯等が代表的なハビタットである。河床や河岸の凹凸 (微地形) は川の中で流れに対する境界条件として働き、瀬や淵の分布や構造を規定するから、微地形をどのように把握し、操作するかは、河道計画の中で自然環境を扱う場合に重要な視点となる。

ハビタットの空間スケールは対象とする生物によって異なるが、底生動物になると石1個の凹凸から始まり、魚になると石と石との組み合わせから河床形状や河岸の凹凸、鳥類でもなわばりを持っている場合には数十m²程度にまで広がるかもしれない。しかし、それでもなお、河道計画のスケールから見ると非常に小さい空間スケールを有しており、河川に依存する生物のハビタットを河道計画の中に取り込むためには技術的課題を幾つか解決しなければならない。本報では、このようなハビタットの空間スケールの実態を特に河川中流域の瀬・淵構造を対象にして、実河川における調査データを元に説明し、次に、階層性を考慮することによりハビタットを河道計画に取り込む方法について、その基本的な考え方を記述する。

2. 流程別に見たハビタットの生態的重要性

流程によって出現するハビタットや生態的に重要なハビタットは異なる。ここではまず、魚介類を対象として流程別にどのようなハビタットが重

要になるかを記述していこう。なお、流程とハビタットとの関係性については Vannote らが提案した河川連続体説が参考になる³⁾。

まず、川を横断方向に水域、水際域、氾濫原と大まかに分類する。水域の代表的なハビタットは瀬・淵構造であり、水際と比べると流速が速く、水深が大きい。水際域には河畔林や水際植物、水際の入り組みによって形成される淀みや水際に沿って出現する浅い水域が見られる。上流から中流までは水域と水際域におけるハビタットが主要な構成要素だが、より下流に移ると、水際域の外側に氾濫原が広く分布するようになる。現在は河道の高水敷上、堤内地側の旧河道等にしか氾濫原の痕跡を認めることができないが、元来氾濫原上には起伏があり、出水時は微低地に沿って細流やわんど、たまりが出現していたであろう。生態的に重要となるハビタットも当然のことながら流程によって異なる。図-1は、各流程で重要となるハビタットを概念的に示した。上流では河畔林とAa型の瀬・淵構造^{注)}が重要となるが、下流に移るにつれ、瀬・淵構造の生態的重要性は薄れ、氾濫原に分布する水域の重要性が高まる。本研究で

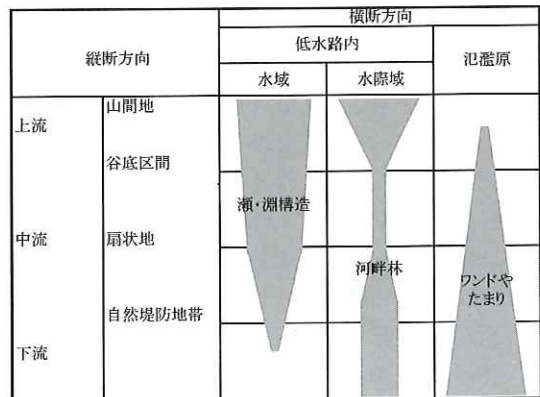


図-1 流程別に見たハビタットの生態的重要性の概念図

注) 溪流に見られるように階段状に瀬・淵が連続するタイプをAa型、中流域に見られるような瀬が白波立ち、その下流に淵がある場合をBb型と呼ぶ。正確な定義については文献10)を参照してほしい。

は中流域に分布するBb型の瀬・淵構造^{注)}を対象として河道計画との関係について述べる。Bb型の瀬・淵構造は中流域において欠くことのできない重要なハビタットであるだけでなく、出水時の流水と流砂の相互作用によって形成されるため河道特性との関係が深く、河道の平面・縦横断計画、すなわち、河道計画の中で保全・再生方法を考える必要があるからである。

3. 瀬・淵構造の空間スケール

(1) 調査方法

実河川における瀬・淵構造とそのハビタットの空間スケールを明らかにするため、河道内微地形測量を実施し水域内に見られるハビタットの長さ等を明らかにした。対象としたのは表-1に示す4河川である。

瀬・淵構造の把握は、みお筋に沿った河床と水面高の縦断測量に適宜横断測量を組み合わせを行った^{4), 5)}。図-2に測量方法を概念的に示した。縦断測量は平均水面幅程度の間隔で実施し、更に水面勾配や河床勾配の縦断方向の変化点で行った。この方法により瀬・淵の分布や瀬・淵構造の詳細を把握することができる。測量をしながら、隣り合うハビタットと明瞭に区別でき、一つのハビタットと認識できるものについては目視により早瀬、平瀬、淵、とろの4つのハビタットタイプに特定した⁶⁾。また、各ハビタットの代表地点で横断測量を実施した。調査範囲は、交互砂州が明確な場合には、砂州1波長の半分(交互砂州前縁部から次の前縁部)を最低区間長として、できるだけこれより長く調査区間を設定した。交互砂州が明確でない場合は、ある早瀬の上流端から次の早瀬の上流端までを最低区間長とし、同様に調査区間長を設定した。

(2) 結果

微地形測量結果の一例として牧田川一之瀬地区における平面図・横断図(図-3(上))、みお筋に沿った縦断図(同(下))を示す。一之瀬地区では交互砂州が発生し、平面図上で早瀬に当たる部分が交互砂州の前縁部に当たる。とろの延長が比較的長く、平瀬、早瀬が短いこと、また、平瀬、早瀬の順番に水面幅が小さくなり、水面勾配が急になっていくことが理解できる。このような、全調査区間における各ハビタットの構造を比較するため、各ハビタットの水面勾配、無次元水面幅、

表-1 調査対象河川と調査地域の概要

河川名	調査地区名	調査区間の概要						
		集水面積 (km ²)	平均河床勾配* (1/%)	低水路幅 (m)	延長 (m)	平均水面幅 (m)	平均水深 (m)*	代表粒径 dr** (mm)
牧田川	下多良	101.21	1/174	33	266	12.44	0.54	49.24
牧田川	一之瀬	90.56	1/227	63	407	20.57	0.49	72.21
朝明川	朝明	53.34	1/901	31	286	12.69	0.51	6.66
朝明川	上条	44.67	1/333	65	391	14.10	0.54	20.38

* みお筋に沿った平均値を示している。

** 平瀬における表層粒径

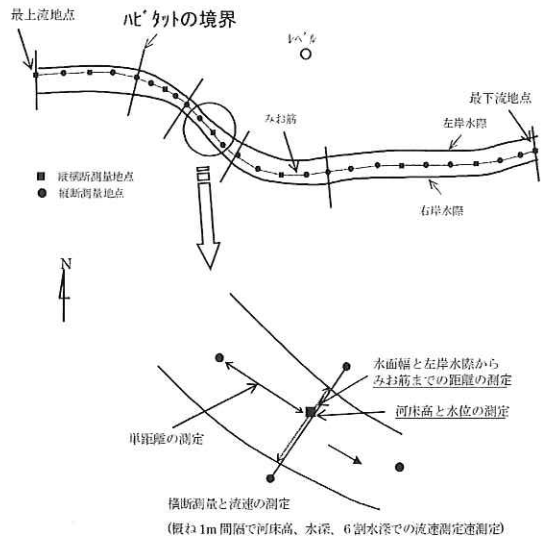


図-2 河道内微地形の調査概念図

無次元延長について示す(図-4)。ここで、無次元水面幅とは各ハビタットで測定した平均水面幅を、無次元延長とは各ハビタットの縦断方向のみお筋に沿った長さを、それぞれ各調査地区における水面幅の平均値で除した値を意味する。瀬・淵構造が平均年最大流量に基づく河道特性によって規定されていることを前提とすると、無次元化は低水路幅による方が合理的な気もするが⁷⁾、実際に形成されている河道内微地形は平均年最大流量によって形成された後、中小出水により変形されている場合があり⁸⁾、低水路幅により無次元化することの積極的理由が少ない。また、平常時のハビタットの構造が調査時点での流量に影響を受けることも水面幅により無次元化する理由となっている。例えば、流量が減少すると河道内微地形の影響を受けハビタットの区分が明瞭になるが、流量が増加し水面幅が大きくなると、局所的な河床勾配の影響が水面上に現れにくくなり、個々のハビタットの延長が長くなる傾向にある。従って、

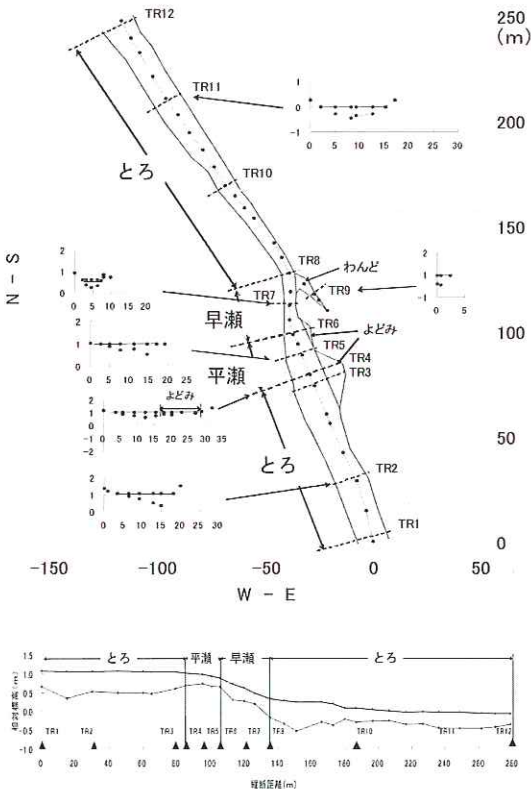


図-3 牧田川一之瀬地区における平面図・横断面図(上)及び縦断面図(下)。TRは横断測量を実施した地点を示す。

調査当日の水面幅により各ハビタットの延長を無次元化することには一定の合理性があると考えられる。

さて、具体的に各ハビタットの構造と空間スケールを見てみよう(図-4)。各ハビタットの水面勾配には明瞭な違いが見られ、早瀬から淵にむかって徐々にハビタット別の平均水面勾配に有意な差が見られる(One-way ANOVA, Scheffe's F test, 平瀬と淵以外は $P < 0.01$ 、平瀬と淵は $P < 0.05$)。なお、無次元水面幅はどのハビタットも概ね1となり明確な傾向が認められなかったが、無次元延長には一定の傾向が認められた。無次元延長はとろで最も長く平均水面幅のおよそ4倍となり、他のハビタットタイプと有意な差が見られた(One-way ANOVA, Scheffe's F test, とろと淵以外は $P < 0.01$ 、とろと淵は $P < 0.05$)。とろ以外のハビタットの無次元延長の平均値は概ね1~2の範囲にあり、特に早瀬の無次元延長は1程度と小さいことが解る。このように、水域に見られるハビタットの延長はとろで比較的長いですが、それ以外のハビタットは水面幅程度の間隔でタイプを変

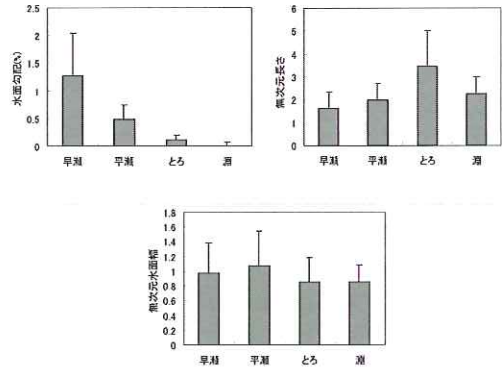


図-4 水域における各ハビタットの水面勾配, 無次元延長, 無次元水面幅

えている。Arendは水域に見られるハビタットの長さを平均水面幅と同程度と述べているが⁹⁾、本調査はこれと同様の結果となった。

(3) 考察

対象区間におけるハビタットの分布と個々のハビタットの構造は、当該区間に生息する魚介類の種類、体長、個体数等を予測する上で基本的な情報となる。中流域の水域に見られるハビタットは水面幅程度の間隔で水面勾配が変化する構造を有しているから、魚介類の生息状況を予測するためにはこの程度のスケールでハビタットの調査を行うことが必要となる。

図-5に、ハビタットの空間スケールと既存の地形測量によって把握できる範囲との比較を概念的に取りまとめた。ただし、図中の空間スケールの大きさは目安であり、特に、ワンドやたまり、瀬淵構造の大きさは川の規模によって異なるだろう。水生生物のハビタットには石の表面の凹凸や浮石、沈石のように小さいものが含まれるが、あまり小さい空間スケールは実態把握が困難だけでなく、操作性が低いため河川管理の対象として馴染まない。瀬・淵構造やワンド、たまり等が実務上管理可能なハビタットの空間スケールと考えられるが、現在実施している定期縦横断測量はこのスケールを把握できない場合が多い。例えば、

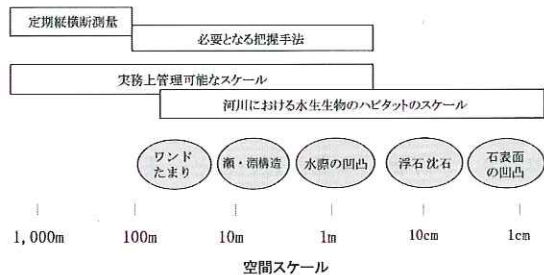


図-5 水生生物の空間スケールと必要となる把握手法

国土交通省が管理する区間の場合概ね200～500mの間隔で横断測量を実施しているが、ハビタットの分布や構造を把握できない場合が多い。実際にこの程度の間隔で測量した結果に基づき縦断図を描いてみると、図-3(下)に示したような瀬・淵構造を確認することは難しい場合が多い。

ハビタットの実態が明らかにならなければ、ハビタットの保全や再生を前提とした河道計画の立案も困難であるから、今後、瀬・淵構造程度の空間スケールを低コストで把握する方法の開発が急務となるだろう。

4. ハビタットを河道計画に取り込むために

4.1 川の階層性とハビタットの構造

瀬・淵構造の空間スケールが小さいことは理解できるが、このような小スケールの構造を河道計画に取り込むにはどうすればよいだろうか。これを考える際のポイントは、瀬・淵構造は河道内に確率的に分布や構造が決まるわけではなく、対象区間の平面形状や縦横断形状、集水域から対象区間に流入する水量や土砂の量によってある程度決定論的に分布や構造が決まってくることを理解することにあるだろう。例えば、河道の湾曲により外岸側に局所洗掘が発生することは河川技術者であれば周知の事実であるが¹⁰⁾、局所洗掘は生態学的には淵に相当し、淵への落ち込み部が早瀬に相当する。また、集水域からの土砂供給量が極端に少ない場合には、瀬・淵構造の発達が不十分となり、河川改修等で河道を直線化し、河床を平坦化した場合には長期間にわたり瀬と淵の形成が見られないことが確認されている¹¹⁾。このように、ある空間構造がより大きな空間構造によって規定される現象は、河川の階層構造として河川生態学分野でも認識されており、河川生態系を合理的に管理する場合の有効な概念として利用されている¹²⁾。しかし、中流域の瀬・淵構造と河道の平面形状・縦横断形状との関係を定量的に関連付けた研究は乏しく、瀬・淵構造等水域のハビタットを合理的に保全・再生するための具体的な河道計画は明確になっていない。

次に、河道の縦横断計画によって、水域に見られるハビタットがどのように変化するかを、具体例に見ることとする。平面形状が瀬・淵構造に影

表-2 対象地区の河道特性

河川名	調査地区名	河道特性量						
		河床勾配	低水路幅(m)	水深(m)	代表粒径(mm)	川幅水深比	粒径水深比	無次元掃流力
新境川	米野地区	1/588	20.6	2.1	35	10	60	0.061
員弁川	本郷地区	1/206	18.8	1.1	26	17	42	0.124
員弁川	川合地区	1/227	38.3	1.3	41	31	31	0.081
牧田川	一之瀬地区	1/218	63.5	1.3	72	48	18	0.051
朝明川	上条地区	1/332	65.1	0.8	20	85	38	0.069

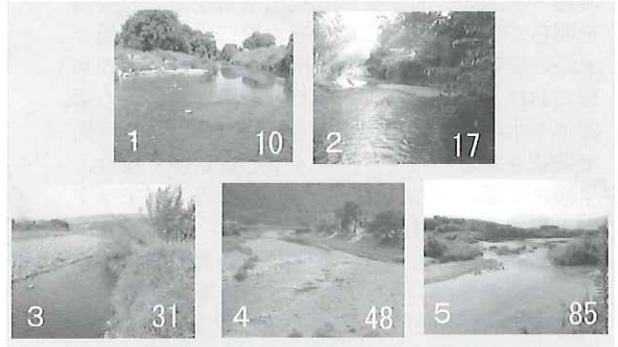


写真-1 調査を実施した4河川5区間の状況
上段左から1. 新境川米野, 2. 員弁川本郷,
下段左から3. 員弁川川合, 4. 牧田川一之瀬,
5. 朝明川上条

響を与える点についてはご承知の方が多いと思うので(例えば、川が湾曲することによって外岸側に局所洗掘域が発生し、これが淵になる等)、ここでは、低水路の平面形状は直線で、川幅の変化によって水域のハビタットがどのように変化するかを取り上げる。

4.2 川幅水深比とハビタットの物理特性

(1) 調査方法

対象河川は三重県を流れる朝明川上条地区、員弁川本郷地区、川合地区、岐阜県を流れる牧田川一之瀬地区、新境川米野地区の4河川5地区である(表-2、写真-1)。一部の地区は表-1における対象地区と重複している。いずれの河川も直線上の平面形状を有しているが、川幅水深比が異なり1→5(写真左下番号)と川幅水深比(写真右下番号)が大きくなっていく。ここで、川幅水深比とは低水路満杯流量時の平均水深に対する平均川幅の比を示し、当該区間の川幅が川を形成する流量規模に対して相対的に小さいか、大きいかを示す。現地調査の方法は概ね図-2で説明したとおりであるが、ここでは各ハビタットの物理特性を詳細に検討するため、各ハビタットの代表横断面で概ね1m間隔で流速(6割水深)と水深の測

定を行った。また、この結果を基に各横断測量断面の通過流量を算定した。更に、各調査地区の河道特性量を把握するため、低水路を含む河道全体の横断測量を数断面実施し、低水路幅、低水路水深等を把握した。また、瀬において河床材料調査を行い、河床材料の粒径加積曲線及び代表粒径 d_r を得た。

(2) 解析方法

ここでは、川幅水深比の変化がハビタットの物理特性に及ぼす影響を定量的に評価するため、川幅水深比が大きくなるにつれて、みお筋における流速・水深の分布がどの程度広がるか、その実態を明らかにする。ここで、みお筋に沿った流速と水深の変動特性は、縦断方向（流れ方向）への水域におけるハビタットの多様性と関連し、例えば、流速や水深の変動の幅が大きくなれば、対象区間で確認されるハビタットタイプの数が増え、早瀬、平瀬、とろ、淵といった異なるハビタットが出現する可能性が高くなる。

みお筋における流速・水深は、各縦断測量地点における値を用いた。ただし、各縦断測量地点では流速の実測値がないため、各縦断測量地点における水深と水面幅の実測値から各縦断測量地点の断面積を推定し、各ハビタットの代表断面通過流量から、連続の式を用いて流速を推定している。また、各調査地区における流速・水深の相对比较を行うために、流速と水深を各調査地区のそれぞれの平均値で無次元化し、水深・流速の分布図を作成した（図-6）。更に、川幅水深比との関係を定量的に見るため、各地区の水深・流速の変動係数を算定し、両者の関係を明らかにした（図-7）。なお、変動係数とは、対象地区の水深（流速）の標準偏差を平均値で除したものと表すことができる¹³⁾。水深・流速の変動係数はみお筋における縦断的な流速・水深の変動の大きさを示す尺度と考えることができる。

(3) 結果

各調査地区において流速と水深の平均値によって無次元化した流速と水深の分布を示す（図-6）。図中には川幅水深比の値を示した。川幅水深比が増加するに従い、水深・流速の分布域が拡大する傾向が確認できる。分布域の拡大は流速、水深に関して一定の傾向が見られ、川幅水深比が小さい場合には1付近に集中し、大きくなるにつれて、低流速・高水深領域及び低水深・高流速領域に拡大し、川幅水深比の増加に伴い、流速と水深の分布が広がっていくことが理解できる。

次に、川幅水深比と流速と水深の変動係数の関係を見てみよう（図-7）。変動係数は川幅水深比が増加するにつれて上昇し、川幅水深比との間に

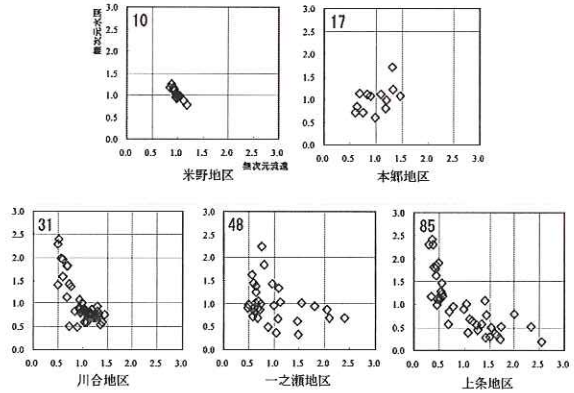


図-6 各調査地区における無次元流速と無次元水深の分布状況
各調査地区の図版位置は写真-1と同じである。

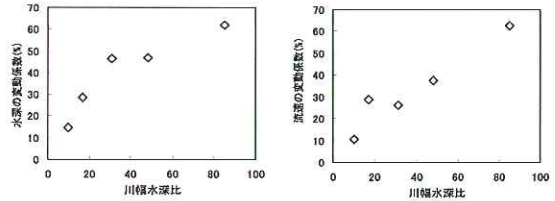


図-7 水深と流速の変動係数(%)と川幅水深比との関係

一定の傾向が見られる。川幅水深比が最も小さい米野地区では、変動係数が最も小さく、縦断方向の水深・流速の変化に乏しいことが理解できる。

(4) 考察

既往の研究から、早瀬、平瀬、とろ、淵における流速と水深の分布域は、高流速・低水深から低流速・高水深へと推移することが明らかになっているので⁹⁾、図-6及び7の結果は、川幅水深比が増加するにつれて河道内に多様なハビタットが現れることを意味している。

川幅水深比の増加が水域のハビタットの多様性に寄与するメカニズムを説明する体系的な理論はないが、平面形状が直線的な河道では、出水時に形成される砂州が瀬・淵構造に影響を及ぼすことが知られている¹⁴⁾。各調査区間の砂州発生の有無を黒木・岸の交互砂州等の発生領域区分図に基づき判定すると¹⁵⁾、各調査地区の水域におけるハビタットの多様性が砂州の発生とどのように関わっているかを考察することができる。表-2に示す河道特性量を用いて砂州発生の有無を判定すると、米野地区は単列砂州発生・非発生境界に位置し、それ以外の地区は砂州が発生する領域に区分できる。直線河道において砂州が発生しない場合には、河床は平坦となり水深・流速の分布や変動係数が低下する。実際に現地状況を見ると、米野地区

では河床が平坦で砂州が未発達であったが、川幅水深比が比較的大きい一之瀬地区、上条地区では明瞭な砂州が発生し、砂州の発生の有無が水域におけるハビタットの多様性に寄与していることが実感的できる。ただし、砂州発生の有無だけでは、米野地区以外の調査地区において川幅水深比の増加が水域のハビタットの多様性に寄与することを十分説明していない点に問題がある。これについては川幅水深比が増加すると砂州波高そのものがどのように変化するかが重要な視点となるだろう。川幅水深比と砂州波高との関係についての研究事例はそう多くないが、黒木らの砂州波高に関する理論的研究の中で、砂州波高は砂州非発生領域・発生領域境界付近で小さく、川幅水深比が増加し複列砂州の発生領域区分に近づくとき次第に大きくなることを報告している¹⁰⁾。従って、米野地区を除く4地区が同様の砂州発生領域に区分されたとしても、川幅水深比が増加するにつれて砂州波高が大きくなり、結果として、流速・水深分布域の拡大を促した可能性がある。

5. おわりに

瀬・淵構造は河川中流域において不可欠なハビタットである。河道計画の中で合理的に瀬・淵構造の保全・再生を行うには、これらのハビタットの分布・構造と河道特性との関連を明らかにする必要がある。本研究では、川幅水深比との関連という限定された内容にしか言及していないため、具体的に河道計画を立案するための情報としては不十分である。しかし、空間スケールが小さく対象とされてこなかった瀬・淵構造を河道計画の中で扱う可能性を示すことはできたのではないだろうか。

問題となるのは、このような空間スケールを対象とした微地形調査結果が少なく、河道特性値との関連付けを行うことができないことにある。今後、小さな空間スケールの地形等を低コストで把握する手法の開発が必要である。

参考文献

- 1) 萱場祐一、島谷幸宏：河川におけるハビタット概念とその分類，土木技術資料，41，7，pp.32-37，1999年
- 2) 岩波生物学事典（前川恒雄他編集），岩波書店，東京，pp.689，1994年
- 3) Vennote, R.L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R. and Cushing, C. E. : The river continuum concept, Canadian Journal of Fisheries Aquatic Sciences 37, pp. 130-137, 1980.

- 4) 萱場祐一、千葉武生、力山 基、河口洋一、尾澤卓思：ハビタットアセスメントにおける河道内微地形の把握手法に関する研究．河川技術論文集第8，pp.191-196，2002年
- 5) 萱場祐一、千葉武生、力山 基、尾澤卓思：中小河川中流域における魚類生息場所の分布と構造．河川技術論文集，9，pp.421-426，2003年
- 6) 水野信彦、御勢久右衛門：河川の生態学．築地書館，東京，pp.5-13，1993年
- 7) 山本晃一：沖積河川学．山海堂，東京，1994年
- 8) 内島邦秀・早川 博：流量が減少した場合の交互砂州の変形特性．水理講演会論文集，31，pp.683-688，1986年
- 9) Arend, K. K. : Macrohabitat Identification. In Aquatic Habitat Assessment (ed. Bain, M. B and Stevenson, N. J.), pp. 75-94, American Fisheries Society, Maryland, 1999.
- 10) 例えば、島谷幸宏、萱場祐一、皆川朋子：中小河川改修と河川自然环境．土木研究所資料第3453号，1996年
- 11) 皆川朋子、島谷幸宏：河川改修後の自然景観の変化に関する一考察．土木計画学研究論文集，13，pp.493-502，1996年
- 12) 江戸謙顕、東正剛：生物と環境（多賀光彦監修，片岡正光，田中俊逸編集）．三共出版，東京，pp.67-115，2002年
- 13) Sokal, R. R. and Rohlf, F. J. : 生物統計学（藤井宏一訳）．共立出版株式会社，東京，1999年
- 14) 例えば、Takahashi, G. : A study on the Riffle-Pool Concept. 地形，11，4，pp.319-336，1990年
- 15) 黒木幹男・岸 力：沖積河道の流路形態の領域区分に関する研究．水理講演会論文報告集，26，pp.51-56，1982年
- 16) 黒木幹男・岸 力：砂州波高に関する理論的研究．水工学論文集，36，pp.1-6,19，1992年

萱場祐一*



独立行政法人土木研究所水循環研究グループ河川生態チーム主任研究員
Yuichi Kayaba

天野邦彦**



独立行政法人土木研究所水循環研究グループ河川生態チーム首席研究員、工博
Dr. Kunihiko Amano