

新しい中小河川改修と生態系の応答，河道地形の変化に着目して

New Approach of Stream Modification and the Response of Ecosystem
Associated with Stream Geomorphology

萱 場 祐 一 (かやば ゆういち)

㈱土木研究所 自然共生研究センター 上席研究員

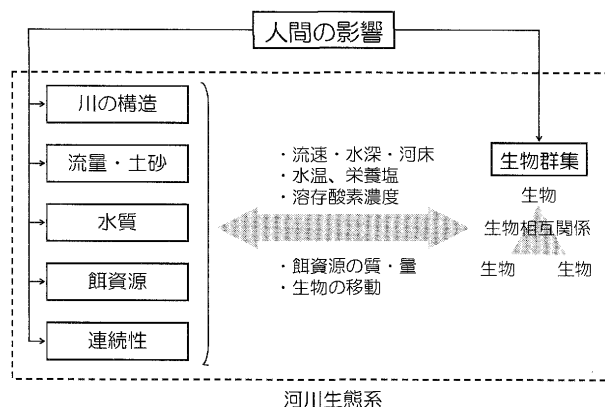
1. はじめに

河川改修，流量の制御，土砂供給量の減少，河畔林の伐採等河川には様々な人為的インパクトが加わり，場合によっては河川生態系の劣化，生物多様性の損失をもたらすことがある。直線化，河道の掘削，護岸の設置等を伴う中小河川改修は川の規模に対する改変の程度が大きいため，河川生態系への深刻な影響が懸念されてきたが，近年，多自然川づくりの推進に伴い河川生態系への影響は軽減されつつある。特に，平成20年3月に通知された「中小河川における河道計画の技術基準」は，河川の構造の劣化を防止し，河川生態系を保全する上で有効な計画論として機能する可能性が高い。

本報では，河川生態系の保全といった観点から本基準の特徴を概説し，併せて，今後解決すべき問題点を整理する。

2. 河川生態系の支配要素

河川生態系は，流速，水深，川底の材料，川岸の植物，水温，餌資源（有機物）の質や量，栄養塩濃度，溶存酸素濃度，生物群集の構造等，河道の平面，砂州の配置，流域の地形，土地利用等様々な要素が関与しながら形成される。これらの要素をどのように整理するかについて定まった方法があるわけではないが，既往の研究¹⁾，今まで提起された河川生態系に関連する理論^{2)~4)}を参考に，著者は，①河川の構造，②流量と土砂およびそのレジーム，③水質，④餌資源，⑤連続性，の五つに区分することにしている⁵⁾（図—1）。河川中流域を対象とした場合には河川改修で②~④が直接改変されることは少なく，①川の構造，⑤連続性が注視すべき要素となる。具体的には河道の直線化，河床掘削，護岸の設置等に伴う河川構造の変化，そして，落差工の設置等に伴う分断化がインパクトとなり河川生態系が劣化する。ここで，①川の構造とは，河川の平面・縦横断形状，瀬・淵や河岸の形状・植物，河床間隙等を示し，瀬・淵構造，河床間隙等小さいスケールの構造は生物の生息場所としての役割があり，河道の平面形状等大きなスケールの構造は河道地形の支配要因として働き，瀬・淵等生息場所の形成に寄与することが知られている⁵⁾。以下では①川の構造を取り上げ，中小河川における多自然川づくりの現状を説明しよう。



図—1 河川生態系の支配要素

人間活動の影響は図左側の五つの要素のいずれかを經由して河川生態系に影響を及ぼす。中小河川改修では主として川の構造経路を介した生物群集の応答経路となる。

3. 中小河川における多自然川づくり

3.1 河道計画の技術基準

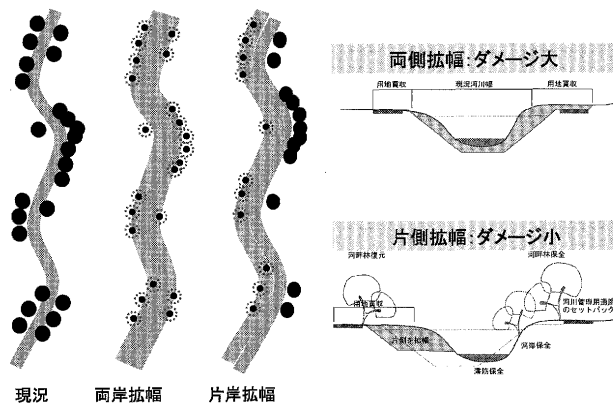
平成20年3月に「中小河川における河道計画に関する技術基準」が通知され⁶⁾，また，この解説本として「多自然川づくりポイントブックⅡ」（以下，PBⅡ）が発行された⁷⁾。本基準およびPBⅡでは，流域面積200 km²以下，掘込・単断面河道を対象としている。計画高水位の設定，河道の平面，縦横断計画を対象として具体的な手法を示している。ここでは，以下に示す三つを技術基準の特徴として解説しよう。

最初の特徴は，改修後の流速の増加を抑制するために現況流量に対する改修目標流量の比率に応じて河道を拡幅することを基本とし，河床の掘り下げを原則として認めていない点にある。これは，河床掘削を実施すると河床下の岩が露出し底生性の生物の生息が困難になることに加え（写真—1），より大きな水深で流量を流下させることになるため掃流力の増加に伴う縦断方向の土砂流送量の不均衡が生じ河床低下を引き起こす可能性があるからである。また，拡幅を行った場合には，後述するように川幅水深比が増加して河道地形の空間的異質性が上昇し，河道内に多様な生息場所を保全しやすいといった点も重要な視点となる。

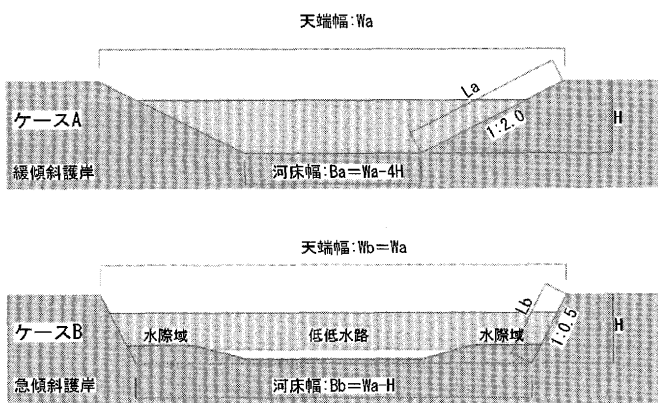
二番目の特徴は，河床幅が川の深さの3倍以上確保できない場合には，河岸を立てて河床幅を確保すること



写真一 河床掘削に伴う露岩化
河床掘削により基岩が露出した河川。一旦露岩化すると礫層の回復は難しく、底生性の生物への影響は大きい。



図一 片岸拡幅の概念⁷⁾
河畔林が分布する河岸等環境が良好な河岸は片岸拡幅により人為的な改変を避けることが重要である。



図二 河床幅が狭い場合の対応方法
河床幅が川の深さの3倍に満たない場合には(上)、河岸を2割勾配とせず河岸を立てて河床幅を確保する(下)。この際、河床を平坦にせず、みお筋(低水路)を確保すると良い。



写真二 土谷川における片岸拡幅の例⁷⁾
片側を拡幅することによって山付部を保全したため、斜面林や水際部の自然が保たれている。山付部は、天然河岸のまま残し、護岸を整備していないことからコストダウンにもつながっている。

を推奨している点にある。これは最初のポイントと関連するが、河床幅を狭めると河床形状が単調となり、後述するように瀬・淵構造や水際部の形状が単調になってしまうからである(図一2)。以前は陸域と水域間を移動する生物の移動経路を確保することを理由に2割法面が推奨される場合もあったが、近年の研究から法勾配が比較的急でも法面に凹凸があれば、カエルやカメ等の生物の移動が可能になることが示されており、生物の移動といった観点から法面を緩勾配とする必要性は河床幅の確保に対して相対的に小さくなっている。

最後の特徴は、拡幅時に両岸を比較して相対的に環境が良好な河岸を保全するために片岸拡幅を推奨している点にある(図一3)。特に、片岸が山付きになっている河川においては、河畔林が分布する良好な河岸を保全できるだけでなく、護岸の設置を片岸のみとできるためコスト削減につながる場合もある(写真一2)。

3.2 技術基準に基づく改修と河道地形の応答

それでは、このような技術基準に基づく河川改修は中小河川の構造にどのような影響をもたらすかを、主として河道地形を中心に考えてみよう。前述したように川幅は「大きなスケール」の構造に該当し、川幅の拡大は河

道地形の変化を介して「小さいスケール」に該当する瀬・淵等生息場所の構造に影響を与える。ここでは、川幅の変化に伴う河道地形の応答を縦断・横断方向の生息場所の構造の変化として捉えてみよう。ここで、縦断方向の変化とは、例えば、平常時に見られる川の流心(最も水深の大きなライン)に沿った川の地形の変化を示し、瀬・淵構造の発達の程度を議論することが可能となる。一方、横断方向の変化とは、流心に直角なラインに沿った地形変化を示し、水際部の発達の程度を議論することができる。ここで、水際部とは、河岸域の影響を受けて流心部とは異なる物理特性を有する領域であり、一般に流速・水深が小さく、河床材料は流心と比較して細かい。瀬・淵構造同様、水際部の存在は多様な魚類・甲殻類の生息に重要な要素であり、中小河川改修においては瀬・淵同様優先的に保全すべき対象となる。

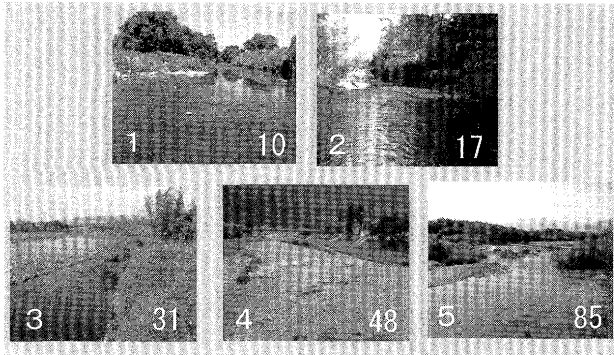
今、ある河床勾配を有する直線河道を想定すると、河道地形の多様性は川幅の大小によって支配され、川幅が小さ過ぎる場合には縦断・横断方向の地形の異質性が低下し、瀬・淵構造、水際部が未発達となるが、川幅が拡大すると河道地形は起伏が大きくなり、縦断・横断方向の地形の異質性は上昇する。

例えば、表一1に示す河道特性を有する河川において、

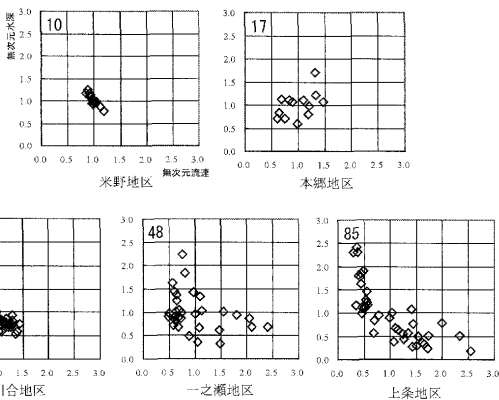
論 説

表一 1 調査実施河川の河道特性

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	無次元流速
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

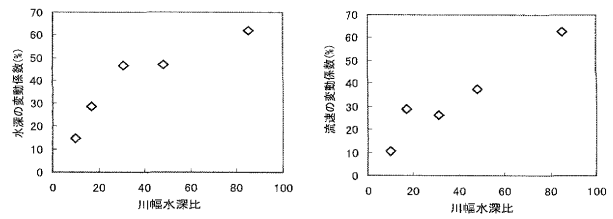


写真一 3 調査を実施した4河川5区間の状況
上段左から1.新境川米野, 2.員弁川本郷, 下段左から3.員弁川川合, 4.牧田川一之瀬, 5.朝明川上条 (右下の数値は川幅水深比を示す。)



図一 4 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一 1 と同じである。(左上の数値は川幅水深比を示す。)

平常時に河道の流心(水深が最も大きいライン)に沿って水深と流速を測定し、それぞれの平均値で無次元化した値をプロットすると、川幅水深比(川幅/洪水時の水深)の増加に伴い、その分布域が拡大していくことを確認できる(写真一 3, 図一 4)。流速が大きく、水深が小さい領域が瀬、流速が小さく、水深が大きい領域が淵と捉えることができるので、本結果は川幅水深比の増加に伴い瀬・淵構造が発達してくることを示している。次に、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する。ここで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して表し、水深・流速の変動係数の大きさは流心部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なる。結果を見ると川幅水

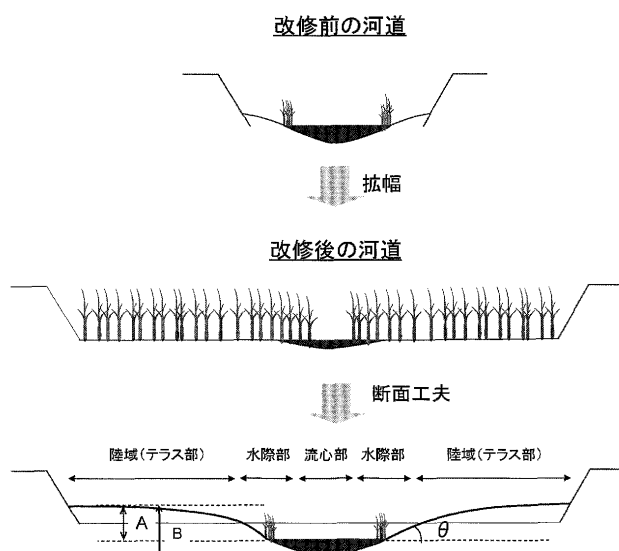


図一 5 水深と流速の変動係数(%)と川幅水深比との関係

深比の増加と共に流速と水深の変動係数が増加し(図一 5)、瀬・淵構造の発達は川幅水深比と関係することが理解できる。

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⁹⁾。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¹⁰⁾、各調査地区の縦断方向の河道地形の異質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。表一 1 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、米野地区は交互砂州発生・非発生の境界に位置し、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・流速の分布域は限定される。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河道地形の空間的異質性に寄与していることを実感できる。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瀬・淵構造の発達に寄与することを十分説明できない。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重要な視点となる。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次第に大きくなることを報告している¹¹⁾。したがって、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だろう。

このように、拡幅は砂州の発生・発達を介して河道地形の縦断的異質性を高める可能性があるが、水際部の形成にも有効な方法となると考えられる。これについては具体的なデータがなく川幅水深比と水際部の量的関係を示し得ないが、川幅水深比が小さく砂州の発生が見られない場合には河岸前面に堆積域はなく法勾配の急な河岸前面に水面が接続する形態となるが、砂州の発生が有る場合には河岸前面に緩やかな横断勾配を有する堆積域が形成され、その領域は流心部や陸域とは環境の異なる水際部として機能するだろう。



図一六 河道拡幅時の横断形状の設定の考え方

4. 多自然川づくりにおける課題

今まで述べてきたように、新しい技術基準は河道地形の空間的異質性を高め、瀬・淵構造、水際部といった生物の生息場所の確保、河川生態系の保全に有効な手法と言えるが、拡幅に伴う課題も指摘されている。

拡幅が大きく、拡幅に際して改修前のみお筋だけを残し、それ以外の部分を平坦な形状として設定すると、同一流量における河床に働く掃流力が著しく減少する場合がある。この場合、河床の移動機会が減少して砂州形状の発達抑制されるだけでなく、河道への細粒土砂の堆積と植物の侵入が生じて、流心部における瀬・淵構造の不明瞭化と魚類・甲殻類の生息場所に影響を及ぼす可能性がある。また、河道内に広範に繁茂する植生は粗度の上昇と河積阻害を引き起こすだけでなく、人間の利用の観点からも好ましくない状態となり、除草にかかるコストが増大する可能性もある(図一六)。したがって、目標流量が現況流量に対して大きく、掃流力の減少が著しい場合には河道断面形状の設定を工夫し、初期横断形状として陸域、水際部、流心部を設定することが必要になる。ただし、どの程度の掃流力であればこのような工夫を行うべきか、そして、工夫を行う場合には河道全体に対してそれぞれの領域をどのような比率で設定するか、更に、陸域の高さ(図中のA, B)、水際部の横断勾配(図中の θ)をどのように設定するかについては今のところ明らかになっていないのが現状である。今後、河川生態系の保全、維持管理の両面から合理的な河道横断面の設定手法を考える必要があるだろう。

5. おわりに

本報では、「中小河川に関する河道計画の技術基準」

を取り上げ、多自然川づくりにおける本基準の有効性と課題を河道地形の変化といった観点から整理した。

片岸拡幅を基本とし河床幅を広くとることにより、良好な環境要素を保全し、川の地形形成作用を活かした川づくりを実践できることが可能となったが、河道の合理的な横断面形状の設定手法に課題が残った。また、本報では説明しなかった課題として、拡幅した河岸における河岸処理方法、特に、どのような護岸工法を採用するかについては今後明確な考え方を提示する必要があると考えている。更に、本報では中小河川改修が河川生態系に及ぼす影響を、河道の平面・縦横断形状の変化→瀬・淵、水際部の変化、といった川の構造の変化を介した経路として説明したが、より詳細には、河道の平面・縦横断形状の変化→河床材料の粒径や間隙といったより細かい川の構造の変化、河畔からの落葉の供給や付着藻類の生産の変化(餌資源の変化)等他の経路を介して河川生態系に影響を及ぼす可能性もある。今後、より詳細な検討を行い、合理的な河川改修方法を考えていく必要があるだろう。

参 考 文 献

- 1) 島谷幸宏：河川環境の保全と復元，鹿島出版会，2000。
- 2) 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*, Vol. 37, pp. 130~137, 1980.
- 3) Junk W. J., Bayley, P. B. and Sparks, R. E.: The flood pulse concept in river-floodplain systems, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, Vol. 106, pp. 110~127, 1989.
- 4) Townsend, C. R., Scarsbrooke, M. R. and Doledec, S.: The intermediate disturbance hypothesis, refugia, and biodiversity in streams, *Limnology and Oceanography*, Vol. 42, pp. 938~949, 1997.
- 5) 萱場祐一：河川生態系を理解するための基礎知識，土木技術資料，Vol. 52, No. 2, pp. 52~53, 2010.
- 6) 国土交通省河川局：中小河川における河道計画に関する技術基準について，2008。
- 7) 多自然川づくり研究会編：多自然川づくりポイントブックⅡ，「川の営みを活かした川づくり」，国土交通省河川局河川環境課・治水課・防災課(編集協力)，2008。
- 8) 萱場祐一・天野邦彦：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，土木技術資料，Vol. 46, No. 6, pp. 40~45, 2004。
- 9) Takahashi, G.: A study on the Riffle-Pool Concept, *地形*, 11, pp. 319~336, 1990.
- 10) 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。
- 11) 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。

(原稿受理 2010.5.26)