土砂供給量の変化に対応した部分拡幅工法の計画手法に関する研究

研究予算：運営費交付金
研究期間：平 30～令 3
担当チーム：自然共生研究センター
研究担当者：中村圭吾、林田寿文、
河野誉仁（専）

【要旨】
本研究では、土砂供給量の変化に対応する部分拡幅工法の計画手法を確立することを目的とし、全国 11 河川 24 地点のデータを収集及び分析と拡幅改修事業の実施河川における河川環境の追跡調査と数値シミュレーションを用いた検討を行った。その結果、拡幅・湾曲・直線について河川地形、物理環境および魚類相の関係を明らかにした。また、土砂供給量や植生分布の遷移といった経年的な変化を考慮した部分拡幅工法の効果検討を行い、部分拡幅工法の適切な配置や形状の決定法と河道計画への導入に向けた考え方の整理を行った。
キーワード：部分拡幅、数値解析、現地観測

1. はじめに

平成 2 年の「『多自然型川づくり』について」の通達以来、多自然川づくりに関する留意事項や工法の工夫等は数多く整理され、共有されるようになってきたが、課題の残る川づくりも依然多いのが現状である。特に中小河川では、土地利用等の制約から限られた川幅で深い単断面河道への改修がおこなわれることがあり、環境の単調化や洪水流を早く流すことで下流域の水災害を誘発することが懸念される。そのため治水と環境の調和した川づくりの取り組みが求められている。近年、環境創出面から有意性のある技術の一つとして「部分拡幅工法」が注目されている。海外では Local river widening と呼ばれ、直線化された河川での部分的な拡幅によって護岸等による拘束を除去し、川の営力によって河川環境を改善する取り組みとして盛んに実施されている。スイスの Thur 川（低平地）[1]やイタリアの Mareit 川（山地～扇状地）等を対象に、多様な環境の創出に成功している [2]。国内でも自然再生を企図した河川改修で拡幅が実施されており、部分的拡幅部が特徴的な環境の形成に寄与しているという報告がある [3]。

一方で、部分拡幅は中小河川において頻発する豪雨災害における「土砂・洪水氾濫」による被災状況から、土砂対策としても注目されている。国土技術政策総合研究所資料「河床変動計算を用いた土砂・洪水氾濫対策に関する砂防施設配置検討の手引き」[4]によれば、「土砂・洪水氾濫」による被害が発生しうる扇状地や谷底平野、下流平野、支川の合流部等を対象に、砂防堰堤等の土砂流送制御を目的とした施設により河道内に土砂を捕捉することを目指している。つまり出水後の河道での土砂負荷分散を期待する動きであり、近年の局所集中豪雨の発生の頻発に鑑みれば、河道がそのような機能を一定程度担保するための技術的検討が必要だろう。

治水と環境の両立を目指した国土交通省の「中小河川に関する河道計画の技術基準について」の解説書である多自然川づくりポイントブック III[5]において、川幅の拡大については、旧河道部の活用、片岸拡幅による対岸の保全に加え、「被災によって広がった川幅はできるだけ維持する」ことを推奨している。この意図は自然の特性やメカニズムよる良好な環境形成を狙ったものである。一例として、step-pool を呈する山地渓流の五ヶ瀬川水系山附川では湾曲部の側岸侵食を受けたスペースを存置した災害復旧がなされ [6]、その後の環境形成も良好である。一方、扇状地区間で同様に湾曲外岸侵食部を利用した整備を行った岩手県・雫石川では、続く出水によって部分的に被災を生じており、部分拡幅が必ずしも技術的に容易でないことを示している [7]。さらに、部分拡幅による効果は、上流からどの程度土砂が供給されるかに強く依存している [8]。上流からの土砂量は発災直後には多量に供給され、その後低減していくという特徴があるが、そのような時間的変化を加味した検討は不十分である。

こうした背景から、本研究では、土砂供給を踏まえた適切な部分拡幅工法の計画手法を確立することを目的として、中小河川を対象とした部分拡幅工法の実態

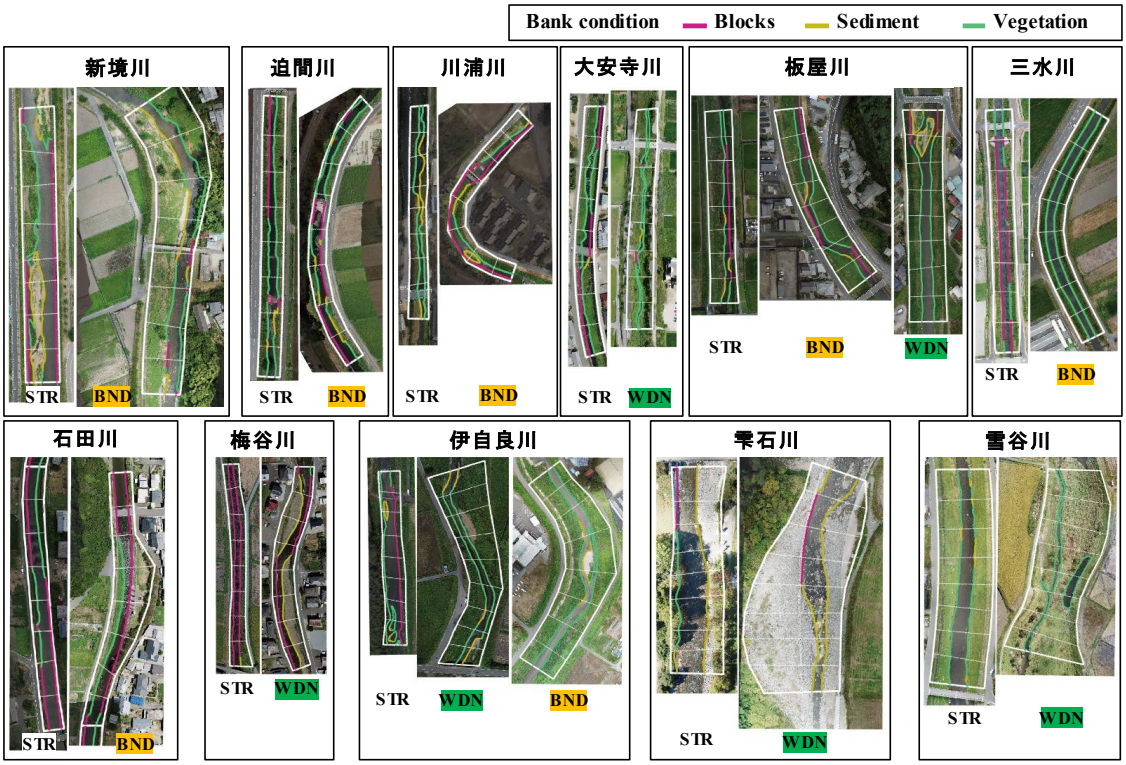


図-1　調査区の河川平面形（UAV による空撮画像から得たオルソ画像、白太枠は対象範囲、白線は計測断面を示し河岸を護岸、土砂、植生カバーの 3 種類で示す）。

評価と、土砂供給量といった経年的な変化を考慮した部分拡幅工法の効果検討を行い、部分拡幅工法の適切な配置や形状の決定法と河道計画への導入に向けた考え方の整理を行う。

2. 部分拡幅工法の実態評価

部分拡幅工法は河道の平面形状を改変することで、河床地形の変動とそれに伴う瀬淵や植生の定着といった環境形成を狙うものである。曲がりや拡幅などの河道の平面形状と河床地形との関係性は河川工学上の関心事であり古くから研究がある。近年は高い信頼性を得た平面二次元河床変動計算モデルが普及し環境分野も含めて幅広く展開されている。しかしながら、災害復旧のプロセスを考えたときには、曲がりや拡幅など平面形変化に対する応答という視点で、地形の応答だけではなくハビタットや生物相も含めての知見が必要となる。例えば川幅曲率比に対する洗掘量の関係 [9]などの既往の知見は基本的に直轄河川のような大河川を対象としており、中小河川での研究事例は少ない。また、河道の一部を拡幅する部分拡幅については検討事例が少なく [7]、ハビタット形成等環境面に関する報告 [10]もあるが国内の事例は少ない。そのため、中小河川の特に山間地から扇状地区間に焦点を絞った河道平面形と環境面も含めた河道特性の応答の把握が必要と

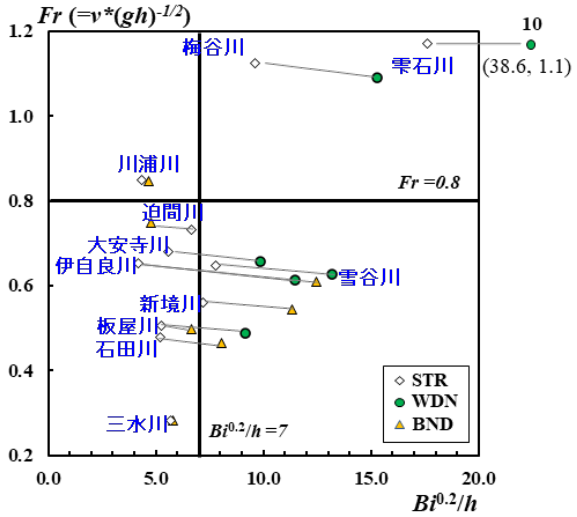


図-2　各観測地点における推定洪水流量に基づく川幅パラメータ（$Bi^{0.2}/h$）と Froude 数（Fr）

なっている。そこで本章では、中小河川の多地点を現地調査し、直線部、曲線部、拡幅部という平面形タイプごとに比較することで、河川地形、物理環境および魚類相との関係性を明らかにすることを試みた。

2.1　方法

2.1.1　対象区の設定

現地調査において設定した調査区の河道平面形を図-1 に示す。なお、図中には水際部の状態として、護岸

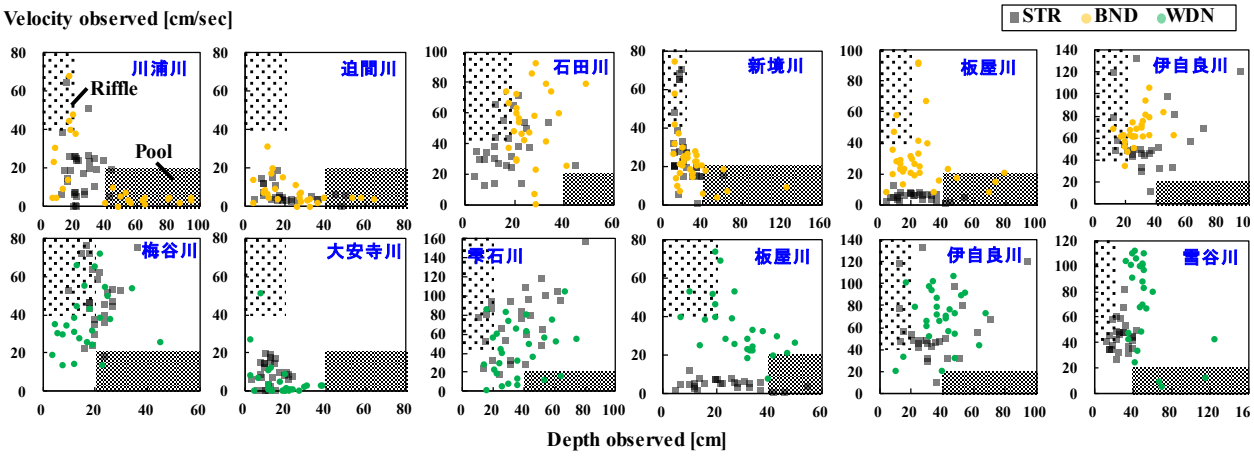


図-3　地点別の水深流速関係（黒：直線部、黄：曲線部、緑：拡幅部、一部河川のデータを省略）

（Blocks）、裸地（Sediment）、植生（Vegetation）を示している。調査区は対象河川の直線部（STR）、それから近傍の湾曲部（BND）、拡幅部（WDN）に対応する箇所を選定した。岐阜県と岩手県における河床勾配 1/70～1/400 程度の 11 の中小河川を対象とし、24 地点の縦断距離およそ 200m を調査区とした。

2.1.2　現地調査

河道平面形状の相違に対し、地形、流水環境、魚類相の応答を把握することを目的に、現地にて①地形と地被の調査、②水深・流速分布の計測、③魚類の採捕を行った。一連の調査は今後のデータの集積を意識し、なるべく簡易としている。調査完了に要する時間は調査員 4 名で 90 分程度である。

①については、UAV で撮影した空中写真を画像解析によって 3 次元化する方法で行った。まず、区域内を取り囲むよう標点を施す。次に標点を 3 次元座標値として出力可能なレーザー距離計（Leica Geosystems 製、DISTO S910）を用いて測量する。ここでは、反射シートを利用することで測定距離を 200m 程度まで伸ばした。測量後、UAV（DJI 製、Mavic Pro）を用いて対地高度 70m 程度で垂直および浅い角度での空撮を行った。この方法では、水面下の地形は厳密には得られないが、河道形状を大まかに把握する上では十分であり、②の物理環境計測がそれを補足する。②の水深と流速の計測については、①の標点を基準とした 9 つの測定断面で水域の 3 点、計 27 点を基本に電磁流速計（ケネック製、LP-20）を用いて計測した。二次流路等がある場合は適宜補足した。③魚類の採捕では、調査員 2 名がタモ網およびサデ網を用いて 30 分間採捕し、魚種と体長を計測した。

2.1.3　分析

撮影した空中写真を SfM 解析が可能なソフトウェア（Agisoft 製、Photoscan Professional）で解析し、点群データを生成、DEM およびオルソ画像を得た。これを GIS ソフトウェア（QGIS Ver. 3.4）に取り込み、水際部の状態（護岸、裸地、植生）を抽出した。法線の曲がりを表すパラメータとして、9 つの設定断面の中心点座標から最小二乗法を用いて区間の曲率半径（r）を算出した。

2.2　河道平面形の変化が物理的環境に与える影響

2.2.1　調査地点の環境形成に関するリーチスケール量

河道平面形を変化させると、局所的に中規模河床波の形成状態が変化し、それがさらに小さなスケールの物理環境や生息生物の状態に影響するものと考えられる。**図-2** はリーチスケールの視点から調査地点を俯瞰するために示すもので、各調査地における洪水時流量における川幅に関するパラメータ（$Bi^{0.2}/h$）と Froude 数の関係を示している。同じ河川同士を補助線で結んだ（注：事前事後という意味ではない）。大石ら[5]は、多数の中小河川におけるこれらのパラメータの分布と河道の様子の分類（河道景観と呼ぶ）との関係性から、健全な砂州の河道景観の形成の目安（$Bi^{0.2}/h$ =7）を示している（洪水時流量の算定方法については、大石ら[11]を参照）。これを見ると、直線部の調査地点はおおむね $Bi^{0.2}/h$<7 であるが、拡幅部ではそれより大きくなり 7 を上回っている。すなわち、直線部では砂州が発生しにくいが、拡幅部では局所的に発生できる条件になっている。一方、曲線部については、$Bi^{0.2}/h$ の変化は小さいが、一部は拡幅も伴っており、直線部より値が大きいものもある。

2.2.2　瀬淵の形成

河道の拡幅や蛇行の保全、再生することで、流水環境における生息場の多様性を生み出すことにつながる。ここでは、河道平面形と流水環境の対応関係を概観するため、図-3 に区域において観測された水深と流速の散布図を示す。便宜的に、瀬、淵の目安として、水深 20cm 以下かつ流速 40cm/s 以上を「瀬」、水深 40cm 以上かつ流速 20cm/s 以下を「淵」とし、図中にそれらの値の範囲をハッチで示している。

同一河川での直線部と比較すると、曲線部（図-3 上段）では、「淵」に相当する水深の大きい箇所が見られる。それに対し拡幅部（図-3 下段）では淵の領域が直線部に比べて多少多いものの、その水深は必ずしも大きくない。渡邉ら[12]は、淵の形成すなわち河床洗掘は、交互砂州性の洗掘と湾曲による二次流に起因する洗掘とに分けられ、現地河川の分析から、前者を切片、後者を川幅曲率半径比（B/r）に対する傾きとした線形関係が見られることを述べている。本研究の結果もこれに対応しており、拡幅部では交互砂州性の洗掘に限定されることから、相対的に淵を得にくく、曲線部では同じ川幅でも淵を得やすいことが本調査結果から分かった。

ただし、曲線部で必ず淵ができているわけではなく、例えば石田川では、河道内に固定砂州が付いているが、みお筋が外岸側の護岸に寄って速い流れとなっていた。曲がりの緩急と淵の形成について図-4 に示す。この図では、曲率半径川幅比（r/B）を横軸に、観測水深の最大値について同じ河川の直線部での値との比（H_{max}/H_{maxs}）を縦軸にとり、前述の便宜的な淵の条件が得られたものに赤丸をつけた。また、図には河道計画において湾曲による水深上昇を見込む目安である[13] r/B=10 のラインと、既往の知見との比較のため模型実験と現地データ等から得られた目安線[9]を付記した。これを見ると、r/B <10 では、H_{max}/H_{maxs} が 1 以上の相対的に深い箇所を持つ河川が多くその多くが「淵」の条件を満たしていることが分かる。多少のばらつきは伴うが、淵の形成という環境の観点からも r/B <10 は一つの目安として有効であるだろう。

拡幅部について見ると「淵」ほどではないが、全体として低流速、大水深になる傾向があり（図-3 下段）、直線部の環境が単調である場合（板屋川）は、流況の多様性は大幅に改善される。雪谷川は他と傾向が異なっており「淵」も一部見られるが、大部分が高流速・大水深となっていた。現地では、拡幅した断面全体に土砂が堆積しさらに草本植物が繁茂することで、みお筋幅が拡幅していない区間の幅よりも狭くなるまで縮

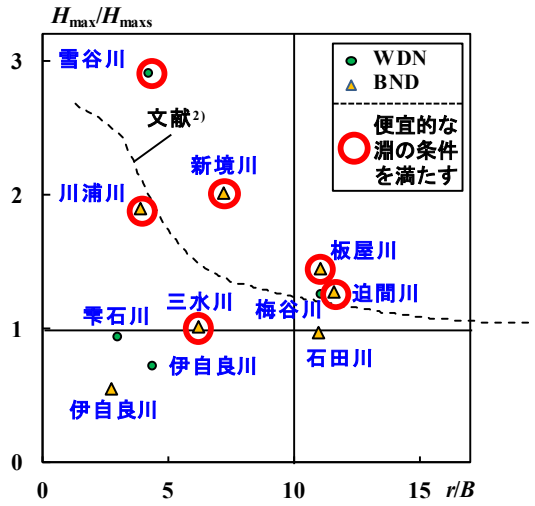


図-4　曲線部・拡幅部における水深最大値（直線区間の水深最大値との比：H_{max}/H_{maxs}）と曲率半径川幅比（r/B）との関係

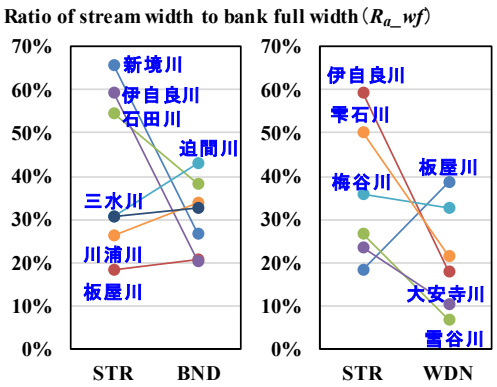


図-5　調査区間における川幅に対するみお筋の幅の比

小していた。拡幅部の川幅縮小は、元の川幅や摩擦速度に戻るように生じるのが典型的な例であり[14]、直轄河川等では拡幅された低水路部への細粒土砂の堆積をきっかけに植物定着と合わせて縮小が生じる例が報告されている[15]。雪谷川では、堆積土砂に粗いものも含まれており、細粒土砂に加え掃流砂による砂州形成の効果も複合し、著しいみお筋縮小が生じたのではないかと考えられる。このように、拡幅の程度によっては狙いの瀬淵環境が形成されない場合が見られる。現在、河床変動計算やそれに基づく植物消長モデルの進展により植生定着の予測はかなり高いレベルにまで到達しているが、長期的予測は依然課題も多いため、現地データの蓄積が今後も重要となる。

2.2.3　河岸および植生

曲がりや拡幅によって発生する砂州は自然河岸を形成し、植物の定着の基盤となる。これらは生息場要素

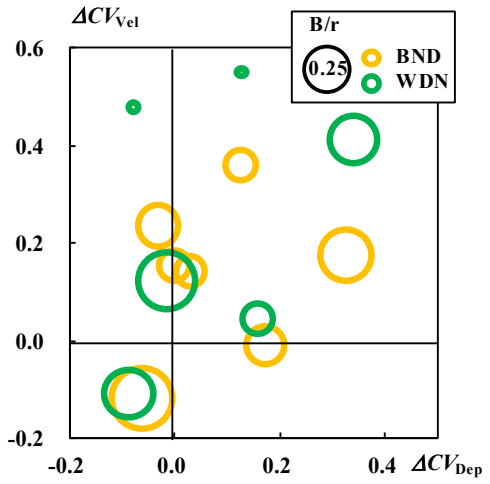


図-6　水深・流速の付加量と川幅法線曲率半径比の関係

としても重要であるが、水域環境の形成要因ともなる。図-5 は、調査区における川幅に対するみお筋幅の比を直線部と曲線部、拡幅部で比較したものである。まず曲線部に注目すると、落差工がある迫間川を除けばみお筋幅比が直線部に比べて小さく、固定砂州によりみお筋が狭くなることが分かる。拡幅部についても同様であるが曲線部よりその傾向が強くなり、大安寺川や雪谷川では 10%を下回るほどに小さくなっている。図-1 に示すように、こうした河川では、河岸のほとんどが植生河岸の割合がほぼ 100%になっており、河道全幅で草本植物が繁茂し、みお筋の極端な縮小との関係性が示唆される。

2.2.4　平面形の変化が流水環境の多様性にもたらす影響

直線部に対して平面形の変化を引き起こすことで、単純には流水環境の多様性が増加することが想定される。ここでは、直線部に対して河道平面形変化部の環境の多様性の相違を検討することで、平面形変化がもたらす影響を検討する。まず、水深、流速の観測値より、直線部における流速と水深の変動係数（標準偏差/平均値、$CV_{Vel,\ STR}$、$CV_{Dep,\ STR}$）を算出する。次に、直線部と曲線部もしくは直線部と拡幅部を合わせたデータに対し同様に変動係数を求める（例えば、$CV_{Vel,\ STR\&BND}$ など）。そして、曲線部や拡幅部が存在することで、直線部と比べてどの程度、流速や水深に関する特性が多様化するかを評価するために、上記で求めた値の差分を求め（例えば、$CV_{Vel,\ STR\&BND} - CV_{Vel,\ STR}$）、流速もしくは水深変動の付加量（$\Delta CV$）とした。この付加量が大きいことは、直線部だけより、曲線部や拡幅部が存在する方が、環境の変異性が大きいことを意味する。図-6 は、両軸に水深、流速の付加量を河川ごとにプロットし、プロットの大きさを曲がりの急さを表す B/r に対応させて示したものであり、付加量の大きさと河道の曲がりの程度との関係性を把握できる。これより、水深、流速の変異性が高い第一象限に大きなプロットが多く、曲がりによって環境変異性がもたらされることが示唆される。一方、変異性が大きくてもプロットが小さい場合や（曲がりが緩い）、変異性が小さいのに曲がりが急な場合もあり、必ずしも曲がりが環境の変異性をもたらすわけではないことも分かる。これまでに見たように、曲がりは淵の形成しやすさを促すなど、特定の環境を発生させるが、河道内の流水環境は植物の侵入などにも影響されていた。また、直接的には検討していないが、施工からの時間経過や出水の経験の影響も受け、同じ平面形状でも観測される環境には幅があるものと考えられる。

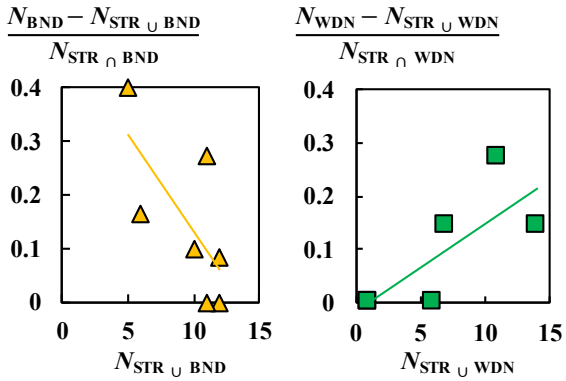


図-7　直線部および平面変化部の出現種のうち河道平面形変化部にのみ確認された種数の割合。（左：曲線部、右：拡幅部）

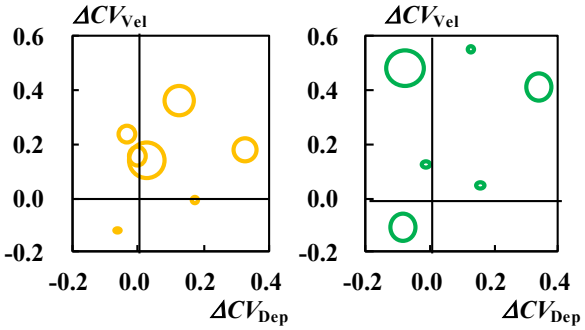


図-8　水深・流速の付加量と確認魚種の特異性の関係（左：曲線部、右：拡幅部）

2.3　河道平面形の変化による魚類群衆の変化

魚類調査の結果、全体で 32 種の純淡水魚が採捕され、3 種の国内・国外外来種が含まれていた。直線部より曲線部もしくは拡幅部において種数が多くなった河川は 11 河川の中で 6 河川であり、平面形が複雑であれば単純に種数が多くなるというわけではなかった。そこで、本研究では限られたデータであることを認識しつつ、在来の純淡水魚（29 種）を対象に次のような

検討を試みた。

曲線部および拡幅部が存在することによる魚類群集の変化を評価するために、直線部、曲線部、拡幅部で見つかった種数を N_{STR}、N_{BND}、N_{WDN} とし、各河川の直線部と曲線部もしくは直線部と拡幅部で共通して見られた種数を求めた（$N_{STR\cap BND}$ および $N_{STR\cap WDN}$）。そして、曲線部のみ（$N_{BND}-N_{STR\cap BND}$）もしくは拡幅部のみ（$N_{WDN}-N_{STR\cap WDN}$）で見られた種数と、直線部と曲線部（$N_{STR\cup BND}$）、および直線部と拡幅部（$N_{STR\cup WDN}$）をまとめた総種数を算出した。**図-7** 左は「直線部と曲線部をまとめた総種数：$N_{STR\cup BND}$」と、「この総種数に占める曲線部のみで見られた種の割合：（$N_{BND}-N_{STR\cap BND}$）/ $N_{STR\cup BND}$」の関係性をプロットしたもので、同図右は拡幅部（N_{WDN}）を対象に示したものである。この図は横軸の値が大きければ、対象河川で見つかる種の数が多いことを示しており、縦軸の値が大きければ、その河川の中で直線部では見つからないが、曲線部（もしくは拡幅部）で見つかる種の割合が高いことを示している。また、**図-8** は**図-6** と同様に、水深、流速の付加量ΔCVを両軸にとり、プロットの大きさで**図-7** の縦軸、すなわち平面形変化部にのみ出現した種の割合を示している。

まず**図-7** 左に注目すると、曲線部については負の相関が見られ、対象河川で見つかる魚種数が多いほど、曲線部のみで見つかる魚種の割合は小さく、曲線部に生息する種の多くが直線部でも見られたことを示している。そして、その河川で見つかる魚種数が少ない場合には、曲線部のみで見つかる魚種の割合が高く、直線部では見つからない種が曲線部に生息していたと解釈できる。曲線部のみで見られる種の割合は、流速および水深の付加量が大きな河川で高くなっていた（**図-8** 左）。つまり、魚種が多く生息するような河川では、曲がりによって生じる環境（例えば、淵）が、直線部にも存在することで多様なハビタットを有していた可能性が示唆され、曲線部のみで見られる種があまりいなかったものと考えられる。一方、生息する魚種が少ない河川では、直線部には存在していない物理環境を曲線部が有していたことで、曲線部のみで見られる種が存在し、その河川での種の増加に寄与していたものと考えられる。

拡幅部（**図-6** 右）においては、傾向が逆になっており、種数が多い河川の方が拡幅部で特異的に見つかる種が多くなっていた。これは魚種数が少ない河川では、拡幅を行った場合、必ずしも種数の増加をもたらすわけではないことを示している。一方、魚種数が多く、

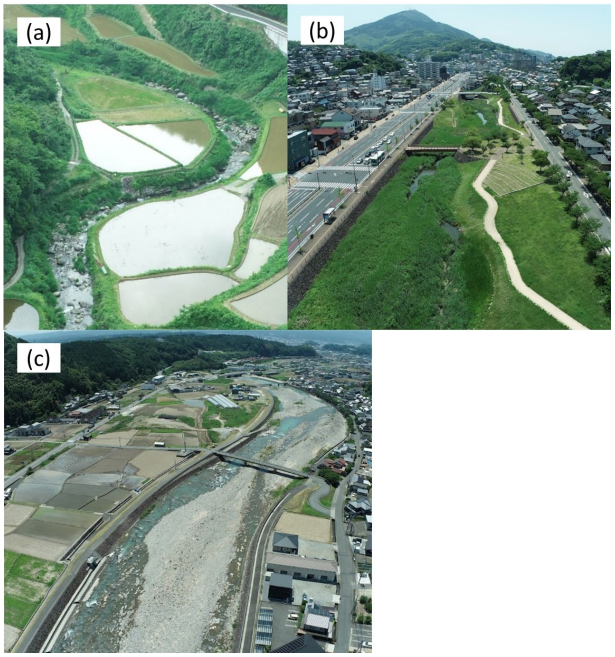


図-9　対象地　(a)山附川、(b)板櫃川、(c)花月川

環境が良好であることが想定される河川では、拡幅部が存在することで、さらなる種の追加が期待される。**図-7** 右において、付加量が多い河川ほど、拡幅部のみで見つかる種の割合が高くはなっておらず、拡幅による流速・水深変動の付加は、曲線部とは異なる影響を魚類群集に及ぼしている可能性が考えられる。河川において優占的ではない魚種は、環境が劣化していないことを前提として、局所的な淀みや砂地で見つかることがあり、マイクロスケールで形成される特殊な環境に依存している場合がある。種数の多い河川で拡幅が行われ、このような特殊な環境が創出された場合にのみ、直線部には生息していなかった種が拡幅部で見つかったのかもしれない。このように、曲線部と拡幅部では直線部に対する応答が異なっており、平面形の変化による流速や水深の多様化が魚類群集に及ぼす影響について、個別に捉えていく必要があるものと考えられた。

2.4　まとめ

本章では、中小河川における河道平面形の変化に対する物理環境および生息魚類のインパクト・レスポンス関係の把握を試みた。得られた結果を以下にまとめる。

① 直線部と拡幅部、曲線部を比較し、淵の形成に着目して関係性の評価を行った。淵は曲線部では見られるが拡幅部では少ない。淵ができる湾曲の目安は水位上昇の目安でもあるr/B <10と対応している。

② 拡幅部では、淵の形成には顕著に影響しないが、特

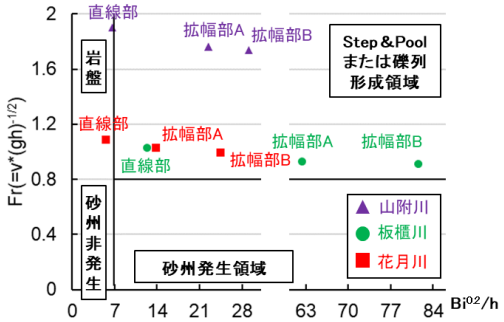


図-10　対象となる部分拡幅部の河道景観区分 [11)]

表-1　各対象河川の解析条件

	山附川	板櫃川	花月川
地形	数値標高モデル (2021)	計画断面 (2007)	計画断面 (2017)
流量 (m^3/s)	25*6回	37*5回	640*3回
河床変動	無	有	有
給砂	-	無	平衡流砂量
下流端水位	等流水深		
粗度係数 ($m^{-1/3}s$)	0.035		
河床材料	100mm単一		調査結果 (2017)

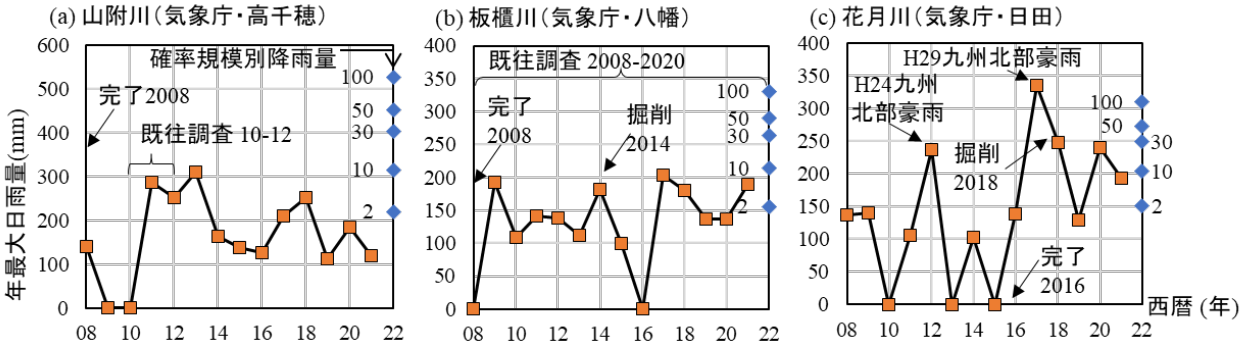


図-11　(a)山附川、(b)板櫃川、(c)花月川における近傍観測地点の日降水量と確率規模、および人的操作

に元の環境が単調である場合には流水環境の多様性が大きく増加する。一方、大幅に拡幅された場合は土砂堆積と植物侵入によってみお筋縮小の影響を受け、狙いの瀬淵環境が形成されない場合がある。

③ 得られた魚類相データを直線部と平面形変化部で比較することにより、直線部のみに比べて平面形の変化があることで流速・水深が多様化する一方、曲線部と拡幅部とでは創出されるハビタットが異なり、生息する魚類の反応性に違いがあることが示された。

3. 河川環境の経年変化を踏まえた中小河川における部分拡幅工法の考察

2 章において、11 の中小河川での事例をもとに、河道の部分拡幅工法による物理的環境の変化と魚類群集の反応について整理された。本章においては、部分拡幅による改修から 10 年程度が経過し、土砂供給量や勾配の異なる区間を対象に追跡調査を実施し、拡幅による治水上、環境上の変化と河川特性の関係性を検討すると共に、拡幅部に生じる地形や生物生息場、植生の流失といった河川環境の事前予測・評価の妥当性を検討した。

3.1　方法

3.1.1　対象河川

本研究では、山附川（宮崎県高千穂町）、板櫃川（福岡県北九州市）、花月川（大分県日田市）を対象とした（図-9）。それぞれ河床勾配が 1/20～1/100 の急流河川での拡幅事例である。平均年最大流量に対して、山附川は射流、板櫃川・花月川は常射混在流れとなる。川幅パラメータとフルード数による河道景観区分 [11)]（図-10）に照らすと、山附川・花月川について、対象区間前後の直線部では「岩盤河床」、拡幅部では「Step＆Pool または礫列」となる。板櫃川では直線部、拡幅部いずれも「Step＆Pool または礫列」領域となっている。調査対象とする拡幅部は、拡幅の平面形状（湾曲・直線拡幅）などによる特徴的な区間を設定しており、直線部はリファレンスとして隣接する区間から抽出した。

3.1.2　追跡調査

現地と資料調査による地形や生物等の追跡調査を実施した。現地では空撮による地形測量、魚類相及び植生分布調査を実施した。空撮にはドローン（DJI Phantom4 RTK）を用い、対地高度 50m、重複率 80%で連続撮影し、SfM-MVS 解析ソフトウェア（Agisoft Metashape）を用いてオルソ画像と数値標高モデルを作成した。魚類調査では、100m 間隔で 3～4 地点設定した長さ 40m の調査区でエレクトリックショッカーによる採捕を行い、種名を同定後、体長、個体数を計測

表-2　魚類調査の結果。採捕及び環境 DNA メタバーコーディング法による種検出結果を統合。

山附川			板櫃川			花月川		
調査年(西暦)	10-12	21		09	19, 21		14	21
ｳﾅｷﾞ	○	○	ｵﾔﾆﾗﾐ	○	○	ﾔﾏﾄｼﾏﾄﾞｼﾞｮｳ	○	○
ﾔﾏﾒ	○	○	ﾖｼﾉﾎﾞﾘ属	○	○	ｱﾕ	○	○
ﾄﾞﾝｺ	○	○	ｵｲｶﾜ	○	○	ｵｲｶﾜ	○	○
ﾀｶﾊﾔ	○	○	ｶﾜﾑﾂ	○	○	ｶﾜﾑﾂ	○	○
ｶﾜﾑﾂ	○	○	ﾄﾞﾝｺ	○	○	ﾑｷﾞﾂｸ	○	○
ｳｸﾞｲ	○	-	ｺｲ	○	○	ﾀｶﾊﾔ	○	○
ﾆｼﾞﾏｽ	-	○	ﾌﾅ属	○	○	ｳｸﾞｲ	○	○
			ﾑｷﾞﾂｸ	○	○	ｲﾄﾓﾛｺ	○	○
			ｲﾄﾓﾛｺ	○	○	ｶﾏﾂｶ	○	○
			ﾅﾏｽﾞ	○	○	ﾄﾞﾝｺ	○	○
			ｲｼﾄﾞｼﾞｮｳ	-	○	ｶﾜﾖｼﾉﾎﾞﾘ	○	○
			ｱﾕ	-	○	ｷﾝﾌﾞﾅ	○	○
			ﾐﾅﾐﾒﾀﾞｶ	-	○	ｱﾘｱｹｷﾞﾊﾞﾁ	-	○
			ﾌﾞﾙｰｷﾞﾙ	-	○	ｺｲ	-	○
			ﾓﾂｺﾞ	-	○	ｳﾅｷﾞ	-	○
			ｶﾏﾂｶ	-	○	ﾅﾏｽﾞ	-	○
			ｳﾅｷﾞ	-	○	ﾄﾞｼﾞｮｳ	-	○
			ｻｸﾗﾏｽ	-	○	ｻｸﾗﾏｽ	-	○
						ｵﾔﾆﾗﾐ	○	-

し、補足として環境 DNA メタバーコーディング法による魚種検出を実施した。植生分布調査では、目視確認とオルソ画像を比較し植生分布図を作成した。

資料調査では、各河川の拡幅事業の計画図面、測量図面、環境調査成果等の資料を収集し、拡幅の目的、当時の環境、整備後の維持管理の実施状況等を整理した。出水履歴については近傍の雨量・水位・流量観測所のデータを整理した。過去の航空写真・衛星写真は国土地理院地図 HP および Google Earth Pro の閲覧機能を用いた。

3.1.3　数値解析による評価

平面二次元河床変動解析を用いた水理検討を行った。計算条件を**表-1** に示す。事前の環境変化予測の妥当性検討に鑑みて、実績流量ではなく、平均年最大流量をピークとし平水流量から単調に増減少する三角形のハイドロを繰り返し与えた。平均年最大流量と繰り返し回数は表に示す通りである。さらに平水流況に対する瀬淵分類と、出水流況に対する WOI（Wash-Out Index）[16]による植生流失評価を行った。瀬淵分類では、現地空撮から得た 3 次元地形に対して流況を計算し、瀬淵を分類する水深・流速の閾値を現地状況に適合するよう調整した。計算には iRIC Software の河床変動計算ソルバ Nays2DH、および環境評価ソルバ EvaTRiP Pro を用いた。

3.2　結果と考察

図-11 に各対象河川近傍の降雨観測所の年最大日雨量と観測所における確率規模別降雨量を示している。**表-2** に各河川における魚類調査結果を、**図-12** に各河川の植生分布から抽出した河道における植生被度の割合を示す。以下、個別の河川の説明の中で適宜参照する。

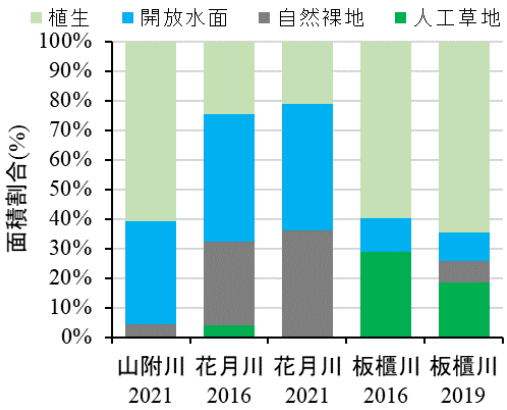


図-12　植生分布図に基づく河道内の植生被度

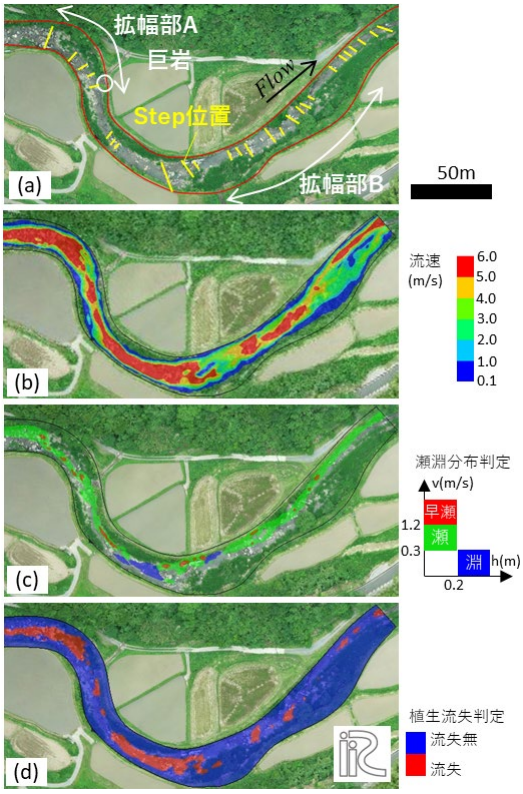


図-13　山附川における(a)オルソ画像、(b)流速、(c)瀬淵判定、(d)植生流出判定

る。

3.2.1　山附川（I=1/20）

a) 整備の特徴と履歴

山附川は流域面積 8.1km^2、勾配約 1/20 の step-pool を呈する山地河川である。2005 年の台風 14 号により被災し改良復旧工事が実施され 2008 年に完了した。河岸侵食部を活用した拡幅と、転石・巨岩を護岸や河床安定のために利用している点が特徴的であり、自然の営力により自律的に Step-Pool 構造を形成することを狙った。平均川幅は 5~6m から 10m に拡幅され、河床は洪水後の形状を尊重している。

山附川では 2008 年の工事完了後、2011 年の確率規模 1/10 の洪水を挟む形で 2010 年から 2012 年にかけて劉 [17]による調査が実施された。その後、2012、2013 年に確率規模 1/10 に近い出水が生じているが、それから 2021 年まで大出水を経験していない。また、工事完了以後、河道掘削などの大きな人為改変は行われていない。

b) 河床地形、水理環境

山附川では 2021 年においても河道内に Step-Pool が明瞭に形成されていた。一部、護岸基礎の露出が見られたが、2008 年と比較して総じて顕著な河道の変状はなかった。山附川では外岸侵食部を河道として拡幅しているが、湾曲部に典型的な内側ではなく、拡幅した外岸側に土砂が堆積している箇所が多くみられた。解析流速は流心部で約 6m/s に達するが、拡幅部や一部の湾曲部で流速が 2m/s 程度に減速していた（**図−13** (b)）。減速区間は Step が形成されている個所とおおむね対応していた。

既往調査では 2011 年に発生した確率規模 1/10 の出水を挟んで step 間隔は減少傾向（7~11m から 6~7m）にあり、河道の移動性が依然としてあることが示唆された [17]。2021 年の空撮オルソ画像から step 間隔を計測すると、対象区間では 15~16m 程度となり、前回調査（2011 年 10 月）から増加していた。この値は、近傍の自然河川の値（10~13m）[17]をやや上回る値であり、依然として河道の移動性があることが示唆される。

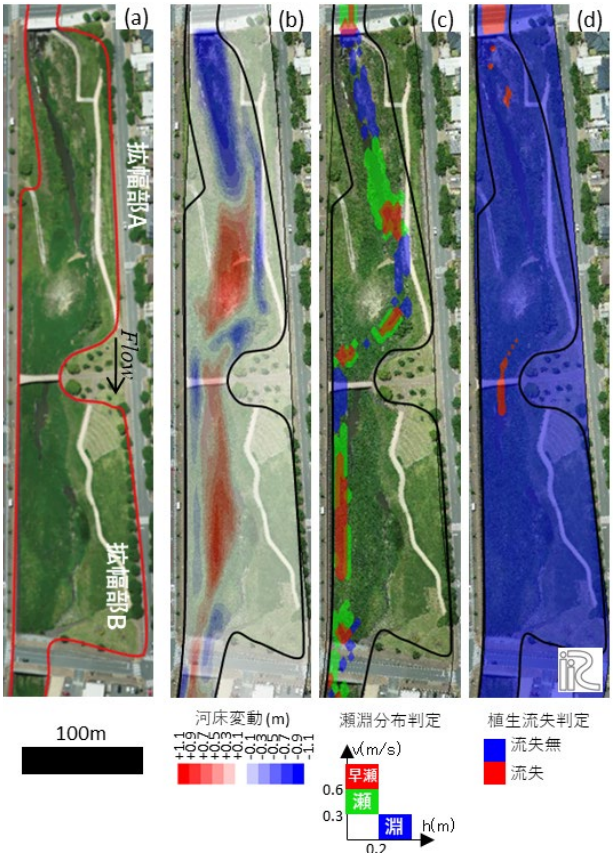
拡幅部 A 出口の水衝部には直径約 5m の巨岩が存置されている。ここでの解析流速をみると、洪水流が巨石に衝突することで流心が内岸側へ偏心している。これにより河岸付近の土砂堆積が促進させることで外岸侵食を防止する効果を発揮している。

c) 魚類

2021 年調査では 2012 年の調査とほぼ同種の魚類が確認された（**表−2**）。2011 年の出水を挟む既往調査でも魚種数に差はないものの生息密度は増加傾向であった。ただし、既往研究におけるリファレンスサイトの密度よりも低くなっていたことから、魚類相は回復途上であると考えられた [17]。2021 年の本研究の調査ではカワムツとドンコが各 1 個体と生息密度が低かったが、魚種に変化はなかった。整備後 10 年程度経過した現在においても同様の魚種が生息可能な環境を維持していると考えられる。

d) 植生

2021 年調査では、66 科 168 種（木本：50 種、シダ植物：21 種、一年生草本：36 種）が確認された。河道



図−14 板櫃川における(a)オルソ画像、(b)流速、(c)瀬淵判定、(d)植生流出判定

法肩にはケヤキやエノキといった代表的な渓畔林や多年生草本、河道にはツルヨシが優占しているが、水面や裸地も多く確認でき、河道における開放水面、裸地の割合は 35.5%であった（**図−12**）。整備直後の 2010 年には、ツルヨシとアメリカセンダングサの被度が高く、2012 年には出水を経てアメリカセンダングサが大幅に減少しツルヨシの被度が増加した [17]。これに対し、2021 年の調査では対象区間の河道内のツルヨシの被度は 23.0%であり、出水直後だった 2012 年の 20.4%からわずかに増加したが大きな差はなかった。ツルヨシの分布は主に拡幅部に堆積した土砂上であった。ここでは、拡幅による洪水流の減速によって植生流失可能性は低く評価されており（**図−13** (d)）、現地の状況と一致した。一方で、みお筋部の一部も流失無と判定されており、近年出水が小さく攪乱が弱いにも関わらず水面幅は河道幅に対して 20%程度確保され、流路が明瞭に確認できる状態であった。

3.2.2 板櫃川（I=1/70）

a) 整備の特徴と履歴

板櫃川は流域面積 13.1km^2、勾配約 1/70 の都市域を貫流する急流河川である。「水辺の楽校プロジェクト」

の一環として、河道拡幅とあわせて親水性のある水辺に整備された。約 350m の拡幅区間のうち、橋梁を挟んで上流側（拡幅部 A）と下流側（拡幅部 B）に分かれて拡幅されている。みお筋部を平坦にしつつ、直径数 10cm の石を配置することで流路の変動と流況の多様性を引き出す狙いで設計された。2008 年に工事完了し、北九州市による継続的なモニタリングが実施されている。

板櫃川では工事完了以後 2009、2014、2017、2018、2021 年に確率規模 1/10 程度の大きな出水を経験している（**図-11** (b)）。2014 年に、拡幅部 A 下流右岸側と拡幅部 B 左岸側の河床掘削が実施された。みお筋部を除く公園部については草刈が毎年実施されている。他の 2 つの事例と異なり上流にダム（河内ダム）が存在する。

b) 河床地形、水理環境

北九州市の調査結果によると、工事完了後 2009、2010 年にかけての出水により、拡幅部 A の上流側が侵食し淵が形成された。この淵は経年的に徐々に拡大した。また、拡幅部 A の下流側は堆積域となり、流路の移動や澪筋の縮小が生じた。高比良ら [18]によると、2009 年の時点でみお筋部の堆積によって存置していた石が埋没している。2021 年でも拡幅部では水面上に現れるような石がわずかにしか確認できなかった。拡幅部 B では断面縮小部（橋梁）付近に淵が形成され、その下流では経年的に堆積傾向となって、2015 年には澪筋の分岐や縮小が生じ、水流が不明瞭な湿地的な環境に遷移した。2021 年の調査時の状況は、拡幅部 A 上流側に 1m の落差工が設置されたことを除けば 2015 年から大きな相違はなかった。

計画地形に対して河床変動計算を適用したところ、給砂ありの条件では、拡幅部Aの上流側で現況とは逆に堆積域となった。ダムの存在を念頭に給砂なしの条件で再計算したところ、現況と対応する計算結果が得られた（**図-14**(b)）。計算結果では、1 回目の出水後に拡幅部 A 上流部での洗堀と直下での堆積が見られ、拡幅部 B では徐々に低水路部全域に堆積した。給砂なしの条件のため、拡幅部 A の侵食土砂がその下流に堆積し、さらに拡幅部 B に輸送され緩やかに堆積している。瀬淵分布をみると、拡幅部 A では洗堀による淵や流路の左岸への移動が計算され現況と一致する（**図-14** (c)）。一方、拡幅部 B では右岸沿いに早瀬の形成が示されており、現況に見られる左岸寄りの流路や淵、湛水域を再現できなかった。

c) 魚類

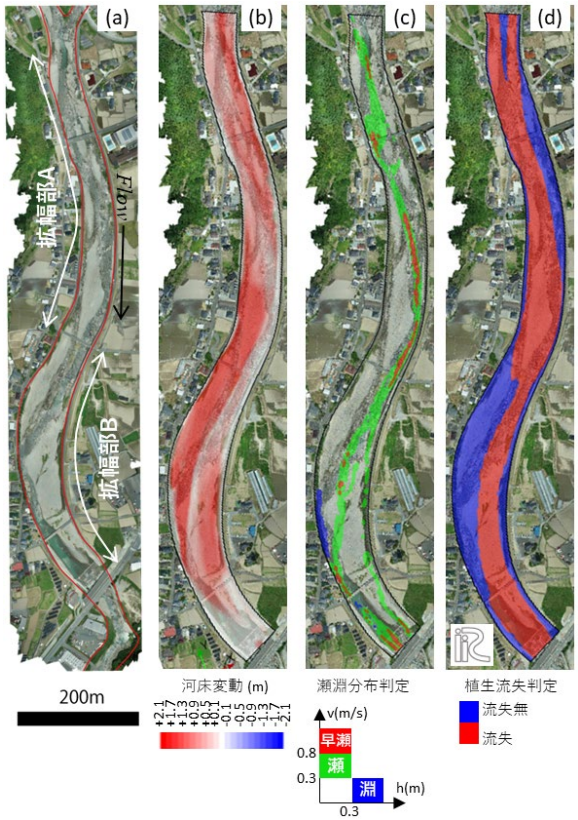


図-15 花月川における(a)オルソ画像、(b)流速、(c)瀬淵判定、(d)植生流出判定

本研究の調査では、既往調査で確認された魚種に加えて、アユ、イシドジョウ、ミナミメダカが確認された（**表-2**）。指標種となっているオヤニラミはいずれの調査でも確認された。多様な魚種の生息環境が整備後から現在に渡り形成されていることがうかがえる。

d) 植生

北九州市の調査によると、2008 年の工事完了後、1 年後には全体がオオオナモミ群落やイヌビエ群落といった一年生草本群落に覆われた。2 年後にはタチスズメノヒエ群落などの多年生広葉草本群落やツルヨシ群落に遷移した。2014 年に河床掘削が行われたが、翌年には 2008 年の工事完了後と同様の植生の遷移が生じた。

2020 年の河道内の開放水面の面積割合は 10%程度であり、2016 年時点と変化がなかった（**図-12**）。拡幅部 A の下流側では、2016 年、2020 年にかけて一年生草本群落が優占し、自然裸地も確認できる。一方で、拡幅部 B においては、2016 年は主にセイタカアワダチソウ群落や多年生広葉草本群落が優占し、2020 年には主としてツルヨシ群落である単子葉草本群落が優占した。2021 年には拡幅部 A は拡幅部 B に比べて植生繁茂が顕著でなかったが、WOI による植生流失判定では拡幅部全体で流失無と評価された（**図-14** (d)）。拡幅部

A では土砂の侵食・堆積による攪乱の影響が大きく、拡幅部 B では緩やかに堆積することが植生繁茂の差に影響したと考えられる。

3.2.3　花月川（I=1/100）

a) 整備の特徴と履歴

花月川は大分県を流れる流域面積 67.0km^2、勾配約 1/100 の河川である。2012 年 7 月の豪雨により堤防越水が発生したことを受けて、洪水時の流速の低減や遊砂地としての機能を狙いとして、延長約 1.2km に渡って左岸側に引堤され、川幅 40m から 70m へ拡幅された。工事は 2016 年度に完了した。

その翌年 2017 年に確率規模 1/100 を上回る大出水（平成 29 年 7 月九州北部豪雨）が発生した（図-11 (c)）。拡幅部 B では多くの土砂（およそ 2.3 万 m^3）を堆積させたことで下流での被害が軽減された。貯留した土砂の撤去は翌年の 2018 年 6 月に実施された。その後も、2018、2020 年に 1/30 に迫る豪雨が生じ、2018 年には再度河道掘削が実施された。

b) 河床地形、水理環境

掘削工事がほぼ完了した 2016 年においては、上流の拡幅部 A では明瞭でない砂州があり、下流の拡幅部 B は法線の緩やかな湾曲に伴い内岸砂州が生じていた。また、流路上で露岩箇所が散見された。2017 年の大出水直後の写真では、拡幅部 A の砂州が一部欠損しており、侵食域であったと推定された。拡幅部 B では土砂の堆積とともに、洪水が直進的に流れることで内岸側にも流路が形成された。堆砂除去後の 2018 年 12 月では下流側の外岸流路が埋められ内岸流路のみとなるが、2020 年 11 月には流路が埋まり 2016 年同様の外岸へ向かう流路へ変化している。

河床変動計算の結果では、拡幅部 A よりも拡幅部 B で堆積が卓越し（図-15 (b)）、拡幅部 A では不明瞭な砂州、拡幅部 B では内岸砂州が発達した。また、平水時は砂州上をみお筋が蛇行する砂州横断型の瀬淵形成が予測され、2021 年の状況とよく対応した（図-15 (c)）。

c) 魚類

2021 年の本研究での調査において、2016 年の確認種のほぼ全てを確認し、さらにウナギやアリアケギバチ、ヤマトシマドジョウが確認された（表-2）。瀬淵の分布などにも顕著な差がないことから、良好な生息環境が形成されていると考えられる。

d) 植生

植生分布には、施工後の 2016 年から 2021 年にかけて際立った変化はなかった（図-12）。2021 年の花月川では、河道面積の 21%を植生が占めており、開放水面・裸地が卓越している。確認された群落としては、上流側にツルヨシ群落が、下流側に一年生草本群落が認められた。ツルヨシ群落は河岸沿いで流れが緩く、植生流失判定（図-15 (d)）でも部分的に流出しないと判定された箇所に分布しており、評価との対応が良好だった。

花月川の拡幅部は、現時点に限れば植生管理の点で良好な状態にあるように見える。拡幅以前の 2009 年の空中写真からは河道を植生が覆っていることが確認できた。また、2016 年から 2021 年までには、複数回の大洪水の発生と堆積土砂掘削が生じている（図-11 (c)）。そのため、現状の植生の少ない状態は、これらの近々のインパクトの影響が相当に大きいと考えられるため今後の変遷を注視していく必要がある。

3.3　まとめ

本章では、中小河川で実施された 3 つの部分拡幅工法の事例を収集し分析を行った。以下に、中小河川の特性に応じた部分拡幅工法の機能をまとめる。

a) 土砂堆積特性

Step-Pool を呈する河川では砂州河道に見られる特性と異なる点がある。山附川では、洪水の直進性が高く大きな土砂を伴って外岸に衝突しながら流れ、外岸が洗堀されず堆積傾向となる場合が多く見られた。巨岩を拡幅部に存置することで土砂堆積が促進され河岸を防御していた。拡幅部では流速が減速し土砂を堆積させることで、Step-Pool の形成にも関与する。

板櫃川と花月川は同程度の勾配帯の河川であり、部分拡幅部が堆積域となる点は共通であったものの、土砂供給量や洪水外力の相違によって堆積・侵食の特性が異なっていた。板櫃川は供給土砂が少ないために拡幅部内に侵食域を形成しそれが下流へ再堆積し安定化することが示唆された。花月川では拡幅による掃流力低下と緩湾曲による内岸堆積の双方の効果により、洪水時の土砂捕捉効果が高められている特徴がみられた。

b) 魚類

いずれの拡幅部でも、整備後の早い段階で確認された魚種が 2021 年でも確認され、回復した魚類相が維持されていることが確認された。

c) 植生

部分拡幅の実施にあたっては、河道内の植物の過剰な繁茂が懸念される。山附川、花月川においては植生の繁茂は顕著ではなく、開放水面や裸地が一定の割合確保される管理上望ましい状態となっていた。山附川では 2013 年以来大きな出水がなく、出水による流失も一部生じないと判定されつつも、維持管理なしに良

好な状態を保持している。step 間隔が以前より拡大しており、河床の変動性があることも一つの要因である可能性がある。板櫃川では、拡幅部の堆砂に伴って旺盛に植生が繁茂している。これは前述の河床の安定化と流況が大きく影響している。

4. 部分拡幅工法の計画手法の提案

拡幅部の施工後の環境は、流量や勾配、川幅等による河川景観区分[11]や中規模河床形態の発生領域区分[19]等のマクロ的視点の事前評価と概ね対応しており、局所的な拡幅であっても変化の方向性を見定める上で有用である。また、より定量的な予測として平面 2 次元河床変動解析とその結果を用いた瀬淵環境、植生定着可能性の評価を実施し、現況と比較することでこれらの有効性を検証した。

河床変動解析は、板櫃川や花月川のような砂州河道であれば適応性が高いことが分かった。しかしながら、板櫃川では植生繁茂に起因してみお筋の再現が不十分だったため瀬淵形成の評価にも影響した。そのため、植生が容易に定着する条件では注意を要する。植生の定着可能性は、WOI の流失可能性評価と大部分で整合しており、この手法が有効であることが示された。

これらの評価は土砂供給量の大小にも依存する。板櫃川での検討にあるように、給砂有の条件が必ずしも適合するとは限らないため、流域状況を勘案しながら境界条件を設定する必要がある。

（空白行）

参考文献

1) Eduardo J. Martin, Masahiro Ryo, Michael Doering and Christopher T. Robinon: Evaluation of restoration and flow interaction on river structure and function: *Channel widening the Thur River*, Switzerland, water, 10, 439, 2018.

2) Ellen Wohl, Stuart N. Lane and Andrew C. Wilcox: The science and practice of river restoration. *Water Resources Research*, 51(8), pp.5974-5997, 2015.

3) 大槻順朗、森照貴、林田寿文、中村圭吾、萱場祐一：中小河川の中山間地から扇状地区間における河道平面形状による魚類生息場および種の特性の比較、河川技術論文集、Vol.25、pp. 399-404、2019.

4) 国土交通省　国土技術政策総合研究所：河床変動計算を用いた土砂・洪水氾濫対策に関する砂防施設配置検討の手引き（案）、国土技術政策総合研究所資料、第1048号、2018.

5) 多自然川づくり研究会：「多自然川づくりポイントブックIII」中小河川に関する河道計画の技術基準；解説、公益社団法人　日本河川協会、2011.

6) 劉義濤、島谷幸宏、山下奉海、佐藤辰郎、池松伸也：多自然川づくりによる山地渓流河道の洪水による階段状河床形の変化、河川技術論文集、Vol.18、pp.83-88、2012.

7) 大槻順朗、大石哲也、萱場祐一：中山間地河川の部分拡幅部における被災分析と軽減手法および環境評価に関する事例研究、河川技術論文集、Vol.24、pp. 185-190、2018.

8) Aufleger M., Gems B. and Klar R.: Flussaufweitungen als flussbauliche Methode – Grundsätze und Werkzeuge, *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, Vol. 64, pp.363-378, 2012.

9) 山本晃一: 沖積河川: 構造と動態、技報堂出版、2010.

10) Rohde, S., Schütz, M., Kienast, F., Englmaier, P.: River widening: an approach to restoring riparian habitats and plant species. *River Research and Applications*, Vol. 21(10), pp. 1075-1094, 2005.

11) 大石哲也、高岡広樹、原田守啓、萱場祐一：中小河川改修時の川幅設定が河道の景観に与える影響、土木学会論文集B1(水工学) 、Vol.70、No.4、I_997-I_1002、2014.

12) 渡邊康玄、長谷川和義、北條紘次: 河川データによる河床洗掘の水理要因に関する検討、水工学論文集、 Vol. 34、pp. 313-324、1990.

13) 財団法人国土技術研究センター（編）：河道計画検討の手引き、山海堂、2002.

14) 山本晃一、藤田光一、佐々木克也、有澤俊治: 低水路川幅変化における土砂と植生の役割、河道の水理と河川環境シンポジウム論文集、pp. 233-238、1993.

15) 藤田光一、John A. Moody、宇多高明、藤井政人: ウォッシュロードの堆積による高水敷の形成と川幅縮小、土木学会論文集、Vol. 551、pp. 47-62、1996.

16) 田中規夫、八木澤順治、福岡捷二：樹木の洪水破壊指標と流失指標を考慮した砂礫洲上樹林地の動態評価手法の提案、土木学会論文集B、Vol.66、No.4、pp.359-370、2010.

17) 劉義涛：山地渓流における自然環境配慮型の河川工法の評価に関する研究、九州大学学位論文、2013.

18) 高比良光治、島谷幸宏、久岡夏樹、河口洋一、佐藤辰郎、池松伸也：板櫃川で実施された多自然川づくりの魚類生息環境からみた評価、河川技術論文集、第17巻、pp.395-400、2011.

19) 黒木幹男、岸力：中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究、土木学会論文報告集、第342号、pp.87-96、1984.

A STUDY ON PLANNING LOCAL RIVER WIDENING FEATURE CHANGES OF SEDIMENT SUPPLY

(blank line)

Research Period: FY2019-2021
Research Team: Aqua Restoration Research Center
Author: NAKAMURA Keigo
HAYASHIDA Kazufumi
KONO Takanori

(blank line)

Abstract: The aim of the study is to establish a planning method for a local river widening that responds to changes in the river environment, including sediment supply. Data from 24 sites on 11 rivers nationwide were collected and analyzed, and follow-up surveys and numerical simulations were conducted on rivers where widening and rehabilitation projects were implemented. As a result, we clarified the relationship among river topography, physical environment, and fish fauna for widening, curving, and straightening, and summarized the issues involved in installing partial widening. We also clarified the sediment deposition trend, biological habitat formation, and their changes over time in the partially widened area, summarized the mechanism of geomorphic change and the environment formed in the partially widened area, and proposed a design method for the partially widened area using numerical analysis.

(blank line)

Keywords: Local rover widening, small-medium sized rivers, channel planning, numerical simulation, field observation