

報告書概要

技術研究開発課題名	地域課題分野（河川）
技術研究開発テーマ名	流域地質構造が河川景観に及ぼす影響の解明とそれを踏まえた河道設計・管理手法の構築
研究代表者	
氏名	所属・役職
田代 喬	名古屋大学減災連携研究センター・寄附研究部門准教授
共同研究者	
氏名	所属・役職
大石哲也	土木研究所自然共生研究センター・主任研究員
永山滋也	土木研究所自然共生研究センター・研究員
高岡広樹	八千代エンジニアリング株式会社九州支店 (前・土木研究所自然共生研究センター・専門研究員)
戸田祐嗣	名古屋大学大学院工学研究科・教授
<p>【1】背景・課題 河川景観は水流、流砂、地形、植生の相互作用系により成立するが、流域から河川への土砂流入過程や植生域消長と地形変化の連鎖系については依然未解明な点が多いため、体系的に理解するまでには至っていない。また、治水機能を高めていく河川整備においても、地域の風土と密接に関わって成立する多様な河川景観を目標像に見据えながら、設計・管理を進めていくことが求められている。河川への土砂流入レジームを大きく支配する流域地質は、地形や風土の醸成とも密接に関わる要因であるにもかかわらず、今日までの河川整備において陽的に扱われることは無かった。</p> <p>【2】技術研究開発の目的 本研究では、流域地質構造が河川景観に及ぼす影響に着目し、土砂の流入・捕捉、植生の繁茂による河床構造の形成といった一連の連鎖現象の系統的整理を通じて、流域地質に特有な河川景観とその生態的機能の記述を解明すること、それらを踏まえた実効的な河道設計・管理技術を開発することを目的とする。</p> <p>【3】技術研究開発の内容・成果 以上のような背景・課題、目的に鑑み、本研究は、以下の3つのサブテーマにより構成した。 (1) 「流域地質～河川景観連鎖系における支配プロセスの抽出と解明」 (2) 「流域地質に依存する水生生物の生息場所と群集構造に関する実態解明」 (3) 「水理学的・生態学的機能を評価可能な河道設計・管理に資する数値予測ツールの構築」 調査地は、三重県松阪市、多気町、明和町に位置する櫛田川水系を中心としながら、その近隣に位置する東海地方の河川水系を対象とした。櫛田川流域は中央構造線が東西に縦走し、明瞭に異なる表層地質によって構成されることから、流域地質に起因して特性の異なる河川を調査するのに好適である。</p> <p>(1) 流域地質～河川景観連鎖系における支配プロセスの抽出と解明 本サブテーマは、「流域から河道への土砂流出過程の把握」、「空間スケールの階層性に着目した河川景観の解析」に大別される。ここで対象とする空間スケールは、上位から流域、セグメント、河道、河床である。</p>	

(1-1) 流域から河道への土砂流出過程の把握 (文献レビュー)

流域からの土砂流出現象は、流域の規模、地形・地質、地被条件、水文・気象条件、河道の水理特性、さらには人為的諸作用が支配要因とされている (例えば、吉良, 1982)。既往研究としては、貯水池堆砂の経年変化に着目する方法 (例えば、芦田・奥村, 1992; 井上ほか, 1992; 竹林ほか, 1992; 田代ほか, 2012) が多い。芦田・奥村 (1992) は、流域面積の -0.7 乗に対応して比堆砂量が減少する関係を見出し、地域によって異なる傾きを有することを示した。さらに、上流域の崩壊地から発生する土砂量と貯水池堆砂量の間 (井上ほか, 1992) や、上流域の地すべり地形の占有率と年平均堆砂量の間 (田代ほか, 2012) には、比較的良好な相関関係が得られたとする報告があることから、水文・気象条件とともに、地形・地質が土砂流出を支配しているという見方が大勢を占めている。ただし、既往の貯水池堆砂データ解析事例をレビューした竹林ほか (1992) は、集水域特性量や水文量を説明変数とする堆砂量推定式の汎用性は総じて低く、異なる推定式間の相関類似性も見当たらないと結論付けている。このように複雑かつ難解な過程を含む土砂流出現象について、確率過程として解析すべきとする提言もあるが (竹林ほか, 1992)、大規模な多目的ダムの集水域を対象とする以上、地質構成、地被条件が複合的であることから、普遍的な理解が進んでいないとする見解も示されている。降雨・流出などの水文現象、流水によらない地すべりなどの地表変動現象、溪床における土石流や上流河川における移動床現象といった異質のプロセスが複合しているため、流域内の土砂動態を適切に理解するには、関連する素過程を系統的に分離して記述することが重要である。

流域地質は、これまで多くの既往研究において主支配要因に数えられながらも、土砂生産過程への関与が十分に解明されておらず、推定式にも陽的に反映されることが少なかった。最近では、花崗岩など特定の岩石表層における風化作用に着目して土砂生産過程を記述した報告 (堤ほか, 2007)、集水域の表層地質 (村上・山下, 2007; 田代ほか, 2010) やそこでの森林状態 (糸数ほか, 2007; 恩田, 2007) に着目して降雨に対する土砂流出の応答の違いを明らかにした観測事例などが報告されてきた。これらの研究は前述した大局的アプローチに比べ、個別事象の土砂生産機構へのアクセスが容易であり、今後の発展が期待されるどころと言える。

参考文献 (直接引用したもののみ略記。著者名五十音順。):

- 芦田・奥村: 京大防災研年報, 第 17 号 B, pp. 555-570, 1974.
- 糸数ほか: 新砂防, Vol. 60, No. 3, pp. 11-19, 2007.
- 井上ほか: 応用地質, Vol. 33, No. 3, pp. 1-10, 1992.
- 恩田: 土と基礎, Vol. 55, No. 8, pp. 16-19, 2007.
- 吉良: 農業土木学会誌, Vol. 50, No. 12, pp. 1051-1055, 1982.
- 竹林ほか: ダム工学, No. 8, pp. 6-20, 1992.
- 田代ほか: 河川技術論文集, Vol. 18, pp. 399-404, 2012.
- 田代ほか: 水工学論文集, Vol. 54, pp. 667-672, 2010.
- 堤ほか: 砂防学会誌, Vol. 59, No. 6, pp. 3-13, 2007.
- 村上・山下: 水工学論文集, Vol. 51, pp. 959-964, 2007.

(1-2) 空間スケールの階層性に着目した河川景観の解析

・セグメントスケールにおける植生の消長過程に着目した分析

植生の変遷を把握するために地理情報システム (Arc View ver. 9.3, ESRI ジャパン) を利用して航空写真を判読した。この際、輝度、色構成の画像情報をもとに教師付き (最尤法) 分類を行い、画像を草本域・木本域・裸地・水域の 4 つの領域に分類した。一般に、河道は洪水の影響を受けやすく植生変化や地形変化を頻繁に繰り返す低水敷と、低水敷よりも一段比高が高く相対的に洪水の影響を受けにくい高水敷に分けられる。よって、河道内植生の動態を議論する際これらを分離して考える必要がある。天竜川では低水敷と高水敷が比高差や植生帯によって明確に分かれているので、航空写真の目視判読と横断面図を用いることで高水敷・低水敷境界を抽出した。次に、隣接した撮影期間における植生動態を把握するために、新たに侵入した植生域と破壊された植生域を算出した。解析に供する航空写真のうち撮影期間の隣り合うもの 2 カ年分を重ね合わせ、裸地・水域から草本または木本に変わった領域を侵入域、逆に草本・木本から裸地または水域に変わった領域を破壊域とし、抽出した植生域の面積から、低水敷・高水敷それぞれについて植生率、侵入率、破壊率を算出した。

図 1 には、東海地方の一級河川の直轄区間における植生域被覆率の経年変化を示す。図より、増加

傾向にある河川と、比較的安定している河川の大きく2つに分けられる。初期値と比較して最終的な植生変化が5%未満となった庄内川と櫛田川は植生域が安定している河川といえる。これらの河川では変化率も小さく植生の交換は活発でない。一方、その他の河川は植生が増加傾向にある河川といえる。増加傾向を見ると長良川を除き、1970年代から80年代にかけて急速に植生が増加していた。その様相は、天竜川と矢作川では植生が急速に拡大し、その後、縮小するというパターンを繰り返しながら増加しており、豊川、木曾川、長良川、揖斐川では植生拡大期前に植生縮小している年もあるが、植生が拡大し始めると縮小することはほとんどなく一方的に植生拡大が進行していく様子が確認された。以上の分析から、植生拡大の進行状況を4つに分類することが可能になった。すなわち、①植生域が安定している河川、②植生の交換が活発で、侵入と破壊を繰り返しながら徐々に植生が増加していく河川、③植生の交換は活発だが、破壊に対して侵入が卓越しており一方的に植生が増加する河川、④植生はあまり交換されず、侵入のみが大きいため一方的に増加する河川、である。なお、それぞれの類型における対応状況は、①：庄内川・櫛田川、②：天竜川・矢作川、③：長良川・揖斐川、④：豊川・木曾川となった。

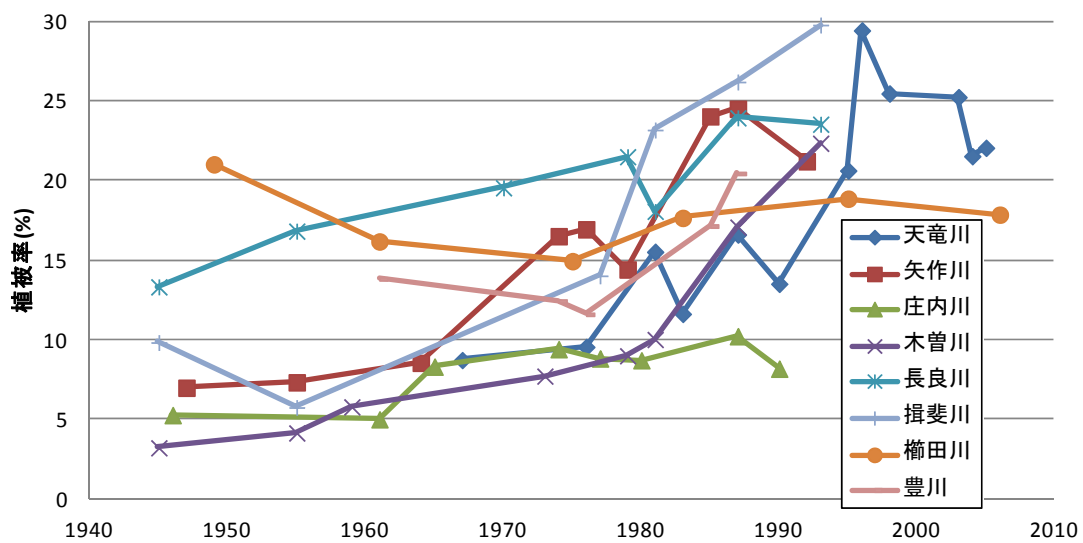


図1 東海地方の一級河川の直轄区間における植生域被覆率の経年変化

・河道スケールにおける河床形態に着目した分析

現地踏査によって河道特性（川幅 B 、勾配 I など）と河床形態（砂堆、反砂堆、平坦河床、遷移河床など）を確認した東海地方の74河川94箇所を対象とし、1年確率降雨量から合理式により算出した流量をもとに、各河床形態に対応する抵抗則を用いて水深（ H ）、流速を計算して分析に要する諸量を得た。図2には、 $B I^{0.2} / H$ と F_r （フルード数）の関係を河道景観、河床形態別にプロットしたものを示す。河道景観としては、「S&P（ステップ・プール）または礫列」、「岩盤」、「岩盤一部露出」、「砂州」、「不明瞭な砂州」、「平坦な河床」の6種類とした。また、砂州発生条件である $B I^{0.2} / H = 7$ 、および Upper regime, Lower regime の目安である $F_r = 0.8$ を境界に、領域Ⅰ～Ⅳの4つに区分した。

図より、砂堆Ⅰは F_r の小さい領域Ⅰ、Ⅳで発生し、平坦河床や反砂堆河床は領域Ⅱ、Ⅲでのみ発生していることが分かる。一方、砂堆Ⅱはすべての領域で見られている。河道景観との対応を見ると、砂堆Ⅰでは、領域Ⅰで「砂州」、領域Ⅳで「岩盤」、「岩盤一部露出」、「平坦な河床」であることが分かる。

砂堆Ⅰでは、それほど流砂が活発な状態ではないが、砂州が発達するほどの川幅がない場合、「平坦な河床」が形成され、さらに、供給土砂量が減少すると「岩盤」化がゆっくりと進行していくものと考えられる。また、砂堆Ⅱは、広範囲に分布しており、すべての河道景観が見られている。砂州発生領域である領域Ⅰ、Ⅱでは、 F_r の上昇に伴い、「砂州」、「不明瞭な砂州」、「S&P または礫列」と変化していることが分かる。一方、領域Ⅲ、Ⅳでは、ほとんど「平坦な河床」であることが分かる。砂堆Ⅱでは、増水時と減水時で河床形態が異なる場合があり、減水時には平坦河床や遷移河床Ⅰの河床形態が発生していると考えられる。反砂堆河床では、領域Ⅱで「S&P または礫列」、領域Ⅲで「岩盤」が

主であることが分かる。反砂堆河床は、流砂が非常に活発な状態であり、ステップ・プールや礫列の形成に大きく関係していると言われている。反砂堆河床において、砂州発生条件を満たす程の川幅が確保されている場合、「S&P または礫列」が形成されるが、川幅が狭い場合は土砂が流出しやすく、岩盤化が進行すると考えられる。

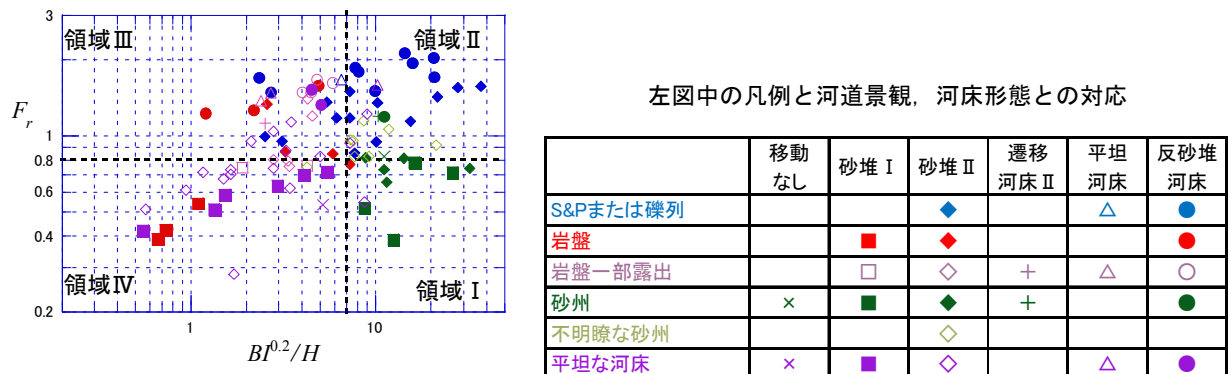


図 2 $BI^{0.2}/H$ とフルード数との関係

・河床スケールにおける河床構造に着目した分析

三重県中部を流れる櫛田川において、集水域が同規模で地質が異なる主要な 6 支川 18 カ所を対象とし、瀬では浮石を構成する大礫 (64-256 mm) を、淵では一定面積 (20cm×20cm)、一定深さ (5cm) の堆積物の特徴を調べた。瀬の大礫については、金属製ブラシで付着物を擦り落としたのち、サイズ (長径・中径・短径) と質量を計測し、扁平度 (=短径/中径)、長短度 (=中径/長径)、形状係数 (=扁平度/長短度) を求めた。さらに、楕円体を仮定して表面積、体積を推定して度 (=体積/質量) を求めた。淵の砂礫については、比重の軽い有機物を除いた後、ふるい試験 (JIS A 1204:2000) を行って粒径加積曲線を作成し、中央粒径 (d_{50})、10 %粒径 (d_{10})、30 %粒径 (d_{30})、60 %粒径 (d_{60}) を求めて均等係数 (d_{60}/d_{10})、曲率係数 ($d_{30}^2/d_{10}d_{60}$) を算定した。ここで、均等係数は粒径加積曲線の傾きを、曲率係数はそのなだらかさを表す。瀬の大礫の扁平度、長短度、形状係数、表面積、密度、淵の砂礫の中央粒径、均等係数、曲率係数については、それぞれ、河川、流程を 2 要因とする、繰り返しのある二元配置分散分析を実施した。図 3 には、櫛田川流域の地質図と調査地の位置図を示す。調査地は、集水域が単相地質区分からなる 3 支川 (蓮川：秩父帯・堆積岩、仁柿川：領家帯・深成岩、相津川：三波川帯・変成岩) と混成した地質区分からなる 3 支川 (月出川、青田川、朝柄川) において、源頭部 (上流)、合流前 (下流) とその中間点 (中流) の 3 流程を選定した。

瀬の大礫に関する計測の結果、扁平度について河川間 ($P = 0.038$) に有意な差が検出され、密度について河川間 ($P < 0.01$)、流程間 ($P = 0.046$) に有意な差が検出された (いずれも二要因間の交互作用は確認されなかった)。ここで有意差が確認された要因ごとに Sheffe's F test を実施したところ、密度について、朝柄川と他の 5 河川との間 (いずれも $P < 0.01$) に、さらに、上流と下流の地点間 ($P < 0.05$) にそれぞれ有意差が検出された。大礫の密度に関し河川間で有意差が生じたのは、一般の岩石よりも比重の小さい未固結堆積物が朝柄川を含む周辺地域に多かったことに起因するものと考えられた。図 4 には瀬の大礫の扁平度について、河川・流程ごとの分布を示す。事後検定における有意差こそ検出されなかったものの、流域地質に三波川帯を含む河川 (相津川、青田川など) では、結晶片岩 (変成岩) の岩体から層状はく離して派生した平たい礫によって瀬の河床が形成されていた。図 5 はその様相を模式的に記したものであるが、三波川帯を流れる相津川 (変成岩) では、結晶片岩の岩体から層状にはがれた平たい石が相津川の川底に「瓦屋根」状に折り重なって堆積し、小さな空隙が形成されている様子が推察できる。

淵の砂礫の粒度分布に関する諸量については、中央粒径について河川間 ($P < 0.01$) に有意な差が検出された (二要因間の交互作用は確認されなかった)。さらに Sheffe's F test を実施したところ、蓮川と仁柿川 ($P < 0.01$)、蓮川と月出川および朝柄川 (いずれも $P < 0.05$)、青田川と仁柿川 ($P < 0.05$) の間に有意差が確認された。領家帯を流れる河川の淵で細粒分が多いのに対し、秩父帯を流れる河川の淵では粗粒分が多いことは既知であったが、ここでもその性質が確認された。

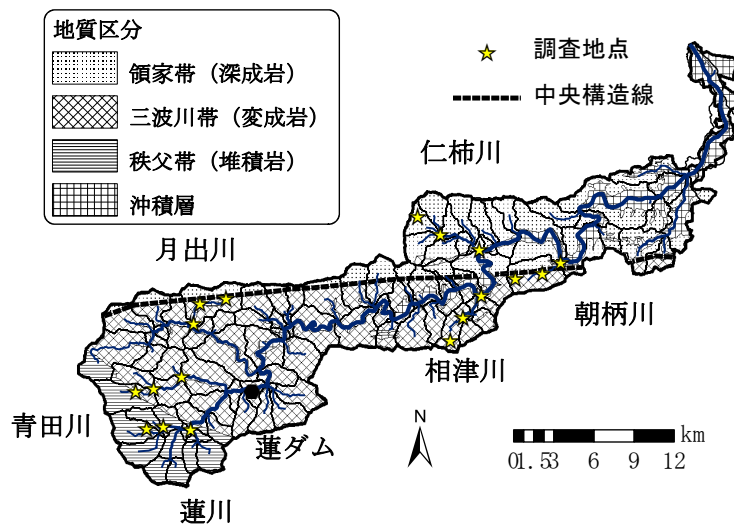


図3 櫛田川流域の地質図と調査地の位置図

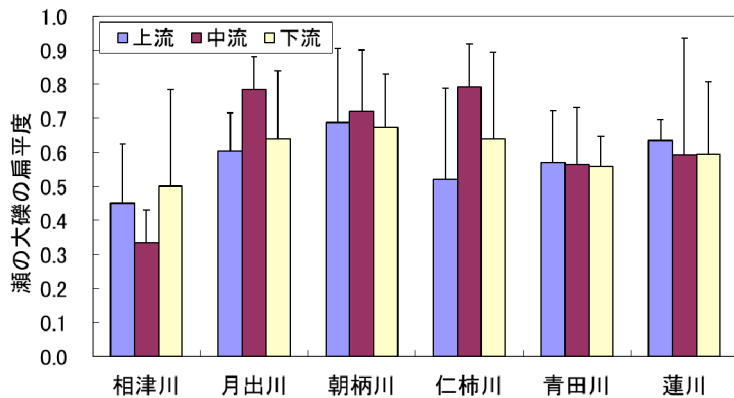
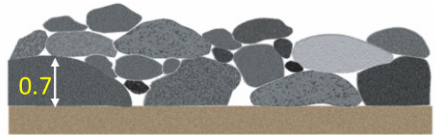


図4 瀬における大礫の扁平度 (平均値±標準偏差)

a) 相津川礫床環境模式図



b) 仁柿川礫床環境模式図

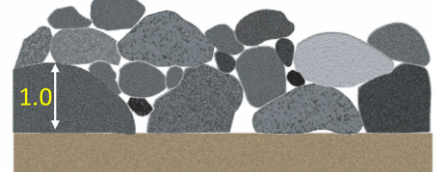


図5 地質で異なる礫床の模式図 (例)

(2) 流域地質に依存する水生生物の生息場所と群集構造に関する実態解明

本サブテーマは、「河川生態系における流域地質のはたらき」、「流域地質が生息場所を介して水生生物の群集構造に及ぼす影響」によって構成される。ここで対象とした生物は、魚類と底生動物であり、空間スケールは主として河道、河床である。

(2-1) 河川生態系における流域地質のはたらき (文献レビュー)

流域地質が生物群集に及ぼす影響は、少ないながらも古くから調査されてきた。自然度の高い山地溪流の調査からは、河川水中の溶存物質が多いと種の多様度が高くなる傾向が見出されており (Egglisshaw and Morgan, 1965; Minshall and Kuehne, 1969), 溶存栄養塩 (Holloway et al., 1998), 粒状有機物 (Egglisshaw, 1968; Krueger and Waters, 1983) や付着藻類 (Lerand and Porter, 2000) といった食物に繋がる要因や浸透圧 (Minshall and Minshall, 1978; Willoughby and Mappin, 1988) などの生理的要因と関連付けて考察されている。また、流域地質が流出水の水温を変化させ、底生動物の成長速度を制御した可能性を指摘した事例 (Huryn et al., 1995; Wiley et al., 1997; Jin and Ward, 2002) や、産出される岩石の違いが河床環境や流路地形を変化させ、サケ科魚類の分布 (Nelson et al., 1992; Hicks and Hall, 2003) や底生動物の群集構造に及ぼす影響を示した事例 (田代・辻本, 2015) が報告されている。

Olson (2012) は、流域地質と底生動物群集の関係性をレビューする中で、水質、栄養物、流路地形、流域水文の4項目が、それぞれ浸透圧調整、食物供給、生息場所調整、水温形成といった4要因

を介して、流域地質が底生動物群集に影響を及ぼす関係を整理した。こうした中から、水中の溶存物質質量 (TDS: total dissolved solids) に対する浸透圧調整を通じた生理的応答が唯一の causal path と結論付け (Olson, 2012), 他の要因に関わる素過程は記述していない。このことは、栄養物、流路地形、流域水文といった他項目が、生産-消費などの生物間相互作用、土砂 (or 砂礫) 輸送に伴う地形形成、降水に起因する水・土砂流出といった地質以外の多要因が輻輳する中で成立することによる。Neff and Jackson (2011) や Shearer and Young (2011) が、流域を跨いだ地域の河川生物群集を解析するに当たり、説明・目的変数の一つとして流域地質を扱ったことはこうした視点に立った展開と言えよう。ただし、包括的に扱う要因が増えると、地質単独による影響の素過程が捉えにくくなるため、現象解明には必ずしも繋がっていないのが現状と認識される。

参考文献 (直接引用したもののみ略記。著者名のアルファベット順.):

- Egglisshaw: *Journal of Applied Ecology*, Vol. 5, pp. 731-740, 1968.
Egglisshaw and Morgan: *Hydrobiologia*, Vol. 26, pp. 173-183, 1965.
Hicks and Hall: *Transactions of the American Fisheries Society*, Vol. 132, pp. 468-482, 2003.
Holloway et al.: *Nature*, No. 395, pp. 785-788, 1998.
Huryn et al.: *Journal of the North American Benthological Society*, Vol. 14, pp. 519-534, 1995.
Jin and Ward: *Hydrobiologia*, Vol. 575, pp. 245-258, 2007.
Krueger and Waters: *Ecology*, Vol. 64, pp. 840-850, 1983.
Leland and Porter: *Freshwater Biology*, Vol. 44, pp. 279-301, 2000.
Minshall and Kuehne: *Archiv für Hydrobiologie*, Vol. 66, pp. 169-191, 1969.
Minshall and Minshall: *Archiv für Hydrobiologie*, Vol. 83, pp. 324-355, 1978.
Neff and Jackson: *Journal of the North American Benthological Society*, Vol. 30, pp. 459-473, 2011.
Nelson et al.: *Transactions of the American Fisheries Society*, Vol. 121, pp. 405-426, 1992.
Olson: Utah State University Dissertation, <http://digitalcommons.usu.edu/etd/1327>, 2012.
Shearer and Young: *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, Vol. 45, pp. 437-454, 2011.
田代・辻本: *応用生態工学*, Vol. 18, No. 1, pp. 35-45, 2015.
Wiley et al.: *Freshwater Biology*, Vol. 37, pp. 133-148, 1997.
Willoughby and Mappin: *Freshwater Biology*, Vol. 19, pp. 145-155, 1988.

(2-2) 流域地質が生息場所を介して水生生物の群集構造に及ぼす影響

水生生物として魚類と底生動物に着目した。ここでは底生動物に関する結果の一部を紹介する。(1) で分析した櫛田川水系における河床構造計測試料から、瀬では大礫から擦り落とされた残渣 (付着物)、淵では堆積物中の粒状有機物から、肉眼で確認できる個体を抽出してそれぞれ瀬・淵の試料とし、顕鏡下で同定して個体数を計数した。種類数の計数にあたり、同地点で下位分類群 (種や属) とこれが属する上位分類群 (亜科や科) が混在した場合には、上位分類群は考慮しないものとした。さらに、遊泳型、固着型、造網型、匍匐型、携巢型、掘潜型の6種類の生活型に分類した。

なお、底生動物については、河川規模、石の大きさなどの生息地サイズによって出現種数や個体数が異なる可能性がある。本研究では、流域地質が河川の底生動物群集に及ぼす影響を扱うため、土地被覆が同様に地質構成が異なり、同等の流域面積を有する対象地点を抽出した。さらに、瀬では大礫の表面積、淵では砂礫を採取した河床面積で除すことによって、各種の個体数密度を求めて解析に用いた。対象地点の総個体数密度、各生活型の個体数密度について、瀬、淵ごとに河川を要因とする一元配置分散分析 (One way ANOVA test) を実施した。

本調査の瀬における採取方法では、遊泳力の強い種や間隙に潜む種が採取できない可能性があることから、淵を対象として各地点における優占種について論じる。地点を通じて優占種となることが多かったのは、オニヒメタニガワカゲロウを含むタニガワカゲロウ属 (4地点)、フタスジモンカゲロウ (3地点) とヒメドロムシ亜科 (3地点) であった。携巢型トビケラは、朝柄川上流 (三波川帯~領家帯)、蓮川中流 (秩父帯) において優占した。タニガワカゲロウ属は月出川中・下流 (領家帯~三波川帯)、相津川下流 (三波川帯)、青田川下流 (三波川~秩父帯) において、フタスジモンカゲロウは相津川上流 (三波川帯)、月出川・仁柿川の上流 (いずれも領家帯) において、ヒメドロムシ亜科

は月出川中・下流(領家帯～三波川帯)、朝柄川上流(三波川帯)で優占した。携巢型トビケラの生息には巢材となる細粒分が必要となるが、三波川帯を流れる相津川では確認されなかったことから、脆い変成岩の砂礫は携巢型トビケラの営巣に不向きで生息を制限した可能性が示唆された。モンカゲロウ属は掘潜型でサイズの一様な細かな砂が堆積した淵に高密度に生息し、ヒメドロムシ亜科は砂地を好んで生息する。本調査では、領家帯に多い風化花崗岩から産出された真砂によって、フタスジモンカゲロウやヒメドロムシ亜科が好む、流れが緩やかな砂地が形成されたものと考えられる。タニガワカゲロウ属は匍匐型で、河床材料の表面に張り付いて流出しにくい扁平な体型を有し、自らの後方の流れの剥離を制御することで抗力を低下させる。一部の調査場所で優占したオニヒメタニガワカゲロウは、体長 5-7 mm と小型で流れがある場所を好むことから、三波川帯変成岩のような扁平な礫が含まれ、流量が相対的に大きな中下流の淵で多かったものと考えられる。

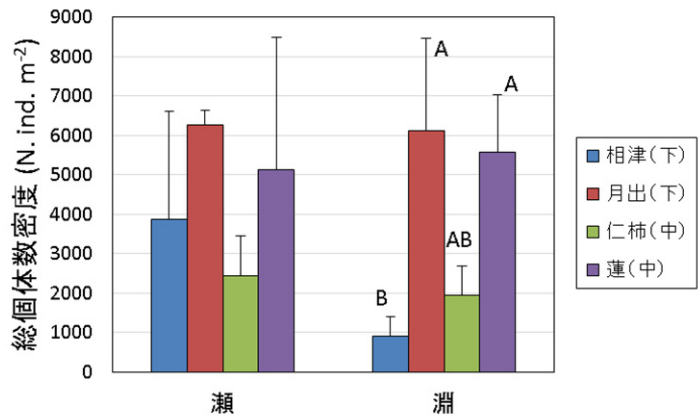


図6 同程度の支川調査地点における個体数密度 (英小文字: Sheffe's F test, $P < 0.05$)

各地点で確認された底生動物の総個体数密度に関し、相津川下流、月出川下流、仁柿川中流、蓮川中流の4地点について、瀬・淵の2景観それぞれに一元配置分散分析を実施したところ、淵において有意な差が確認された ($P < 0.01$)。さらに Sheffe's F test を実施したところ、月出川下流、蓮川中流と相津川下流における淵の総個体数密度の間に有意な差が検出された ($P < 0.01$)。続いて Sheffe's F test を実施したところ、月出川下流、仁柿川中流、蓮川中流と相津川下流の間に有意な差が検出された ($P < 0.01$)。図6には各地点における底生動物の総個体数密度を示す。仁柿川(領家帯)、相津川(三波川帯)、蓮川(秩父帯)は単相地質からなる流域をもつが、このうち、秩父帯を流れる蓮川では、起源が多様な堆積岩により構成されることから、礫の表面形状のみならず、それらが折り重なって生じる間隙についても、より多様な構造を呈しているものと考えられる(図5参照)。こうした河床間隙空間の多様性は、蓮川における総個体数密度を高めたものと推察される。なお、上流域で領家帯、中下流域で三波川帯を流れる月出川においては、河床材料構成が多様になったことが河床間隙空間の多様性を高めたものと考えられ、蓮川と同様に、個体数密度を高めた可能性が示唆された。

(3) 水理的・生態学的機能を評価可能な河道設計・管理に資する数値予測ツールの構築

本サブテーマでは、主として前記(1)の成果を踏まえて構築した「水理・生態条件を予測評価する河道設計・管理支援ツール」に基づき、その適用事例としての「川幅設定が水理・生態条件に及ぼす影響」について考察する。図2などで整理したように、川幅、勾配といった河道特性は河川景観を大きく左右する支配条件である。

流域地質に起因する過程を踏まえた河道設計・管理手法は、①流域地質によって規定される潜在的な河道特性を系統的整理し、②河道特性から水理・生態条件を適切に予測することによって構築できるものと考え、ここでは後者について解説するものである。対象とした生物は、魚類と河畔植生であり、空間スケールは主として河道に限定される。

(3-1) 水理・生態条件を予測評価する河道設計・管理支援ツール

河道設計・管理支援ツールは、対象とする河道に対し水理計算を実施することによって得られる(平常時の)水理条件とそれが支持する生態条件を予測可能なパッケージソフトウェアである。具体的には、iRIC (ver 2.3) をベースとしながら、平面二次元水理・河床変動計算が可能な Nays 2DH (清水・竹林モデル) とこの結果を利用して魚類、河畔植生の生態条件を評価可能な EvaTRiP (土研モデル) の構成となる。以下に、魚類生息場所と河畔植生生育可否に関する評価ツールを概説する。

・魚類生息場所の評価ツール

本ツールは従来の PHABSIM で使用されている選好曲線を活用し、設定した河道断面に対する水深・流速・底質の分布から対象魚種の生息ポテンシャルを計算するものである。魚種別に河道の平面・縦横断形状に対する生息ポテンシャルの大小が理解できるため、瀬・淵の有無や発達具合が魚類の生息にどのような影響を及ぼすかといったポテンシャル評価を数量的に示すことができる。

図 7 には、本ツール適用の流れを概略的に示す。想定した流量に応じて得られる流速、水深などの物理指標 (Microhabitat data) と、対象魚の生息場所としての適性値を 0-1 の値で基準化した適性指数 (Habitat Suitability Criteria あるいは Habitat Suitability Index) を組み合わせることにより、魚種の持つ重み付き利用可能面積 (Weighted Usable Area) の算出が可能となる。

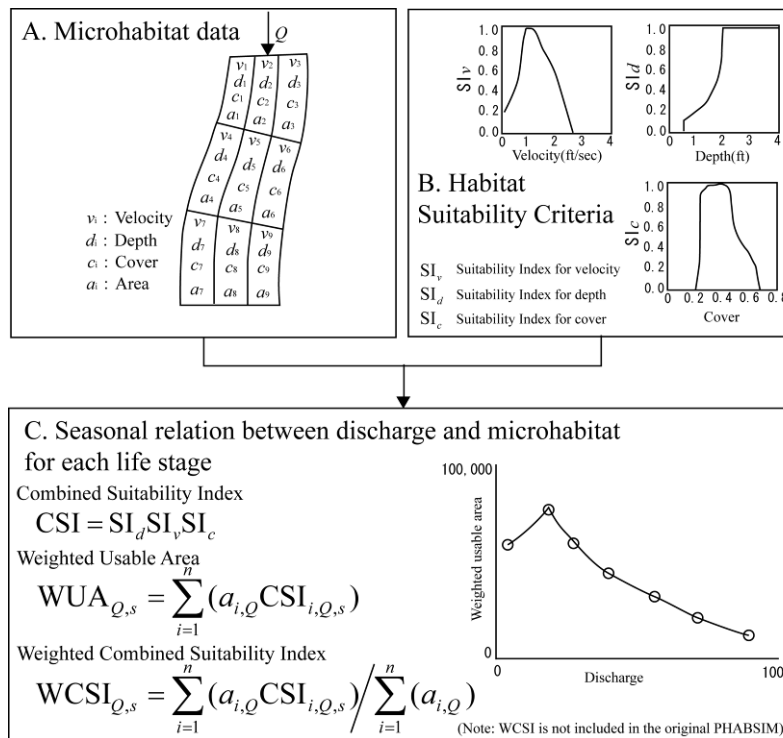


図 7 PHABSIM の計算方法 (Stalnaker, 1994 ; 関根ら, 2007)

・河川植生の生育可否評価ツール

河川植生の評価ツールは、主として河道の維持管理の視点から、植物が過剰繁茂する可能性を評価することが主眼となっているツールである。

図 8 は、本ツールに内包されている、植物定着判定の根拠情報のひとつであり、植物種によって流速と水深を組み合わせた生育可能条件を示す。このほかにより簡易に判定するため、水深による繁茂阻害関数が採用されている。

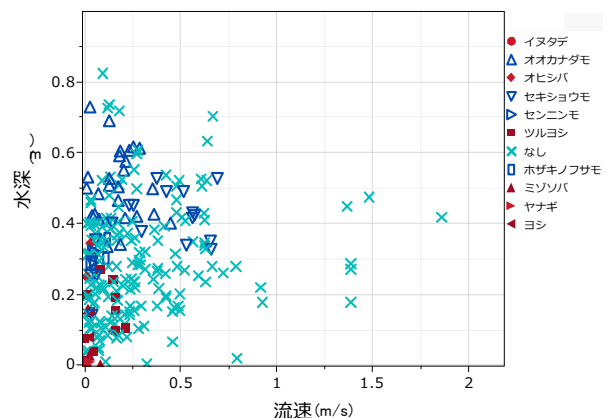


図 8 物理環境を指標とした植物の生育可否

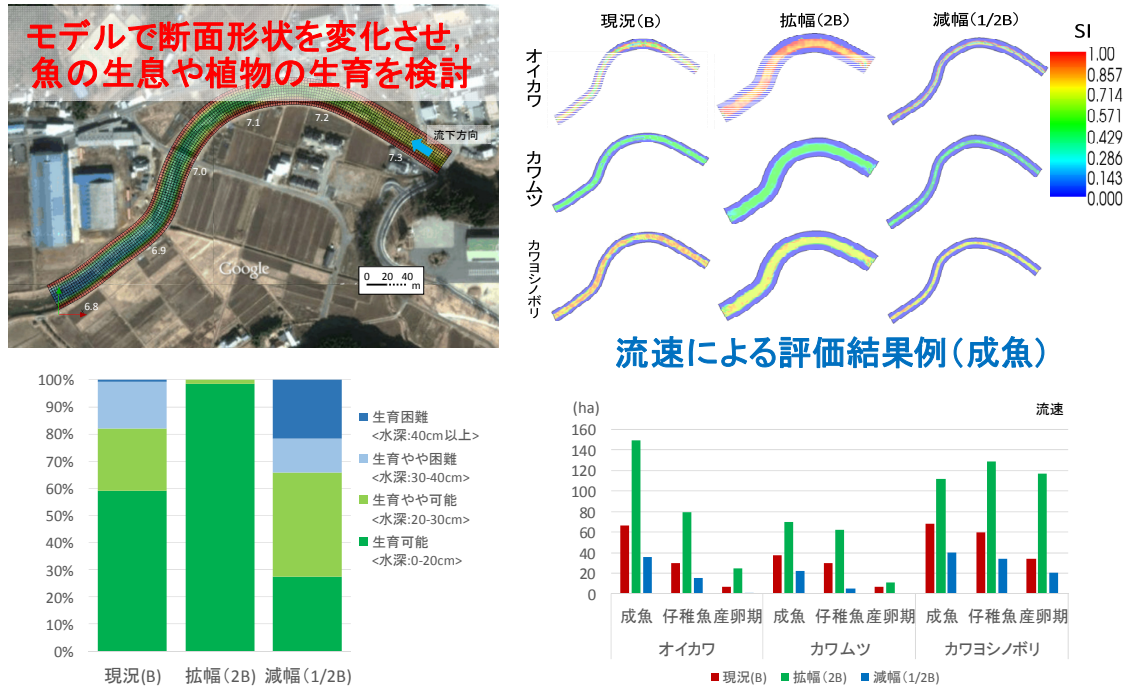
(3-2) 川幅設定が水理・生態条件に及ぼす影響

ここでは、河道特性の一つとして川幅に着目し、これを制御した際に生じうる変化について、実際河道における水理・生態条件の応答を考察する。

図 9 には、左上に示す河道条件下において、オイカワ、カワムツ、ヨシノボリ類の 3 魚種、成魚、仔稚魚、産卵期の 3 段階を対象とした魚類生息場所と、河川植生の生育可否の評価結果を示す。図より、本ケースにおいては拡幅による正の効果が定量的に予測でき、かつ、科学的に判定できることが理解されよう。さらに前記したように、河道特性の系統的整理と結び付けられれば、河道設計・管理

支援ツールを図 10 のように展開することも可能になる。

ここで紹介した河道設計・管理支援ツールについては、流域地質の要因とその影響パスが陽的に含まれていないが、今後、さらに上位の河道特性を規定する類型化としての組み込みが期待される。



植物の生育可能性の評価

魚類の生息可能性評価

図 9 河道設計・管理支援ツールを用いた河道拡幅による生態条件変化の一例

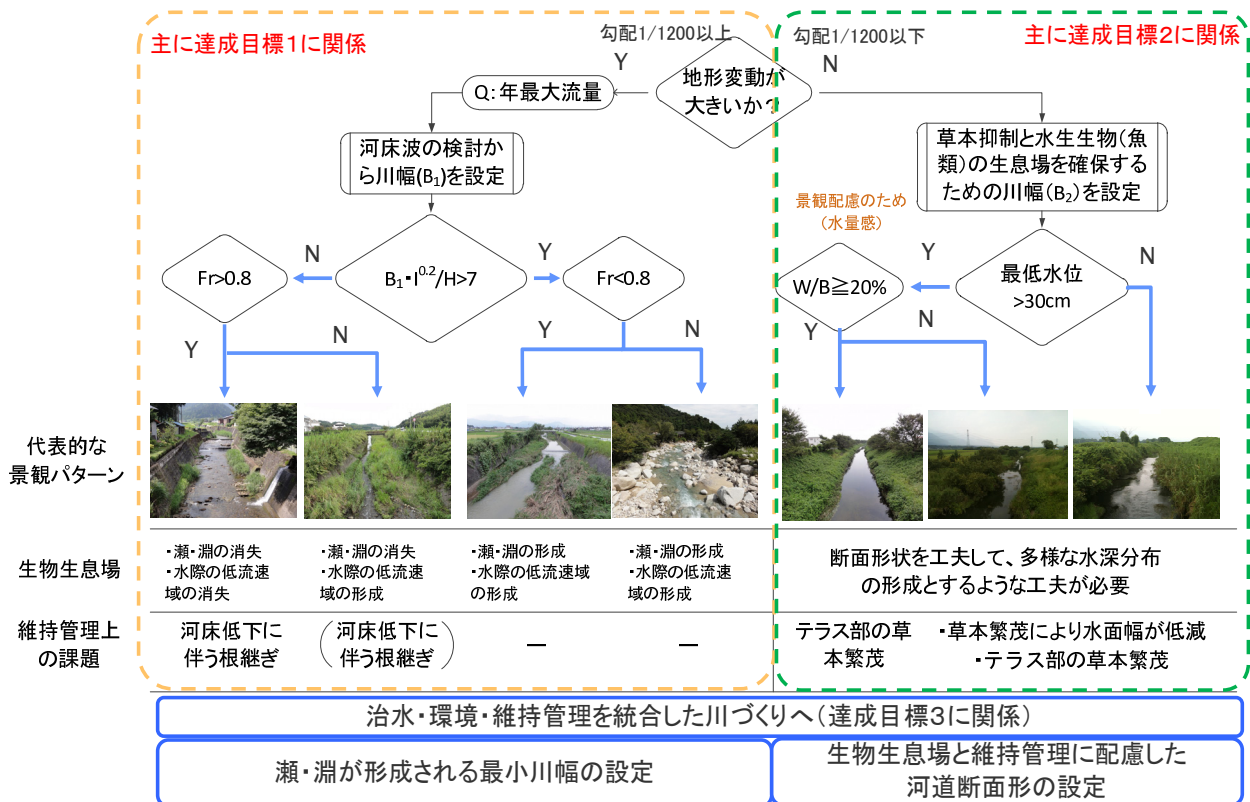


図 10 河道特性の系統的整理と組み合わせた河道設計・管理支援ツールの展開例

【4】今後の課題・展望

本研究では、流域地質が河川景観に及ぼす影響の解明をめざし、そこで得られた成果を以て河道設計・管理手法の構築を試みた。その結果、以上に記述したように、次の3つのサブテーマに沿った成果が得られた。すなわち、(1)「流域地質～河川景観連鎖系における支配プロセスの抽出と解明」、(2)「流域地質に依存する水生生物の生息場所と群集構造に関する実態解明」、(3)「水理的・生態学的機能を評価可能な河道設計・管理に資する数値予測ツールの構築」である。

研究実施に際して対象とした空間スケールは、(1)では、流域、セグメント、河道、河床スケールと多岐にわたったのに対し、(2)では、直接に観察が可能な河道、河床スケールとなり、(3)では、管理・制御が可能な河道スケールになった。すべてのサブテーマに共通するのが河道スケールであることから、自明なように、河道スケールを基準としながら、上位及び下位の空間スケールと関連付けることが、生態系を考慮した河道設計・管理における「鍵」になると思われる。とくに水生生物による生態現象は、河床スケールの重要度が高いことから、河床環境と河道単位の景観要因の関係性記述が肝となろう。本研究で扱った流域地質は、河床環境と河道単位の連鎖系を多様にする要因であることも本研究を通じて再確認できたことと思われる。

本研究では、既往研究のレビューにも注力し、調査研究により得られた成果の一般化を図った。例えば、図11は、流域地質に起因して変化する河川生態系の概念図であるが、密接に連鎖する要因とそれらの相互関係を注視して研究設計する必要があることも本研究で扱った課題の特質と考えられる。ただし、本図にて記載された因果関係には時間的な概念が陽的に含まれていない。例えば、サブテーマ(1)において研究代表者らが扱った（ただし、本概要報告には含めていない）、「貯砂ダム内への土砂流出に及ぼす流域地質、降雨条件の影響」、「人為的創出河床環境への流量変動下における底生動物侵入・定着実験」などで一部調査したが、洪水時の攪乱などに対する応答についても検証が必要な課題であると考えられる。一般に、「地質」スケールは、長期にわたる時間を意味するところでもあり、今後はそうした視点を付与して、流域地質～河川景観に関わる一連のシステムを有機的に把握・分析することが求められると考えられる。

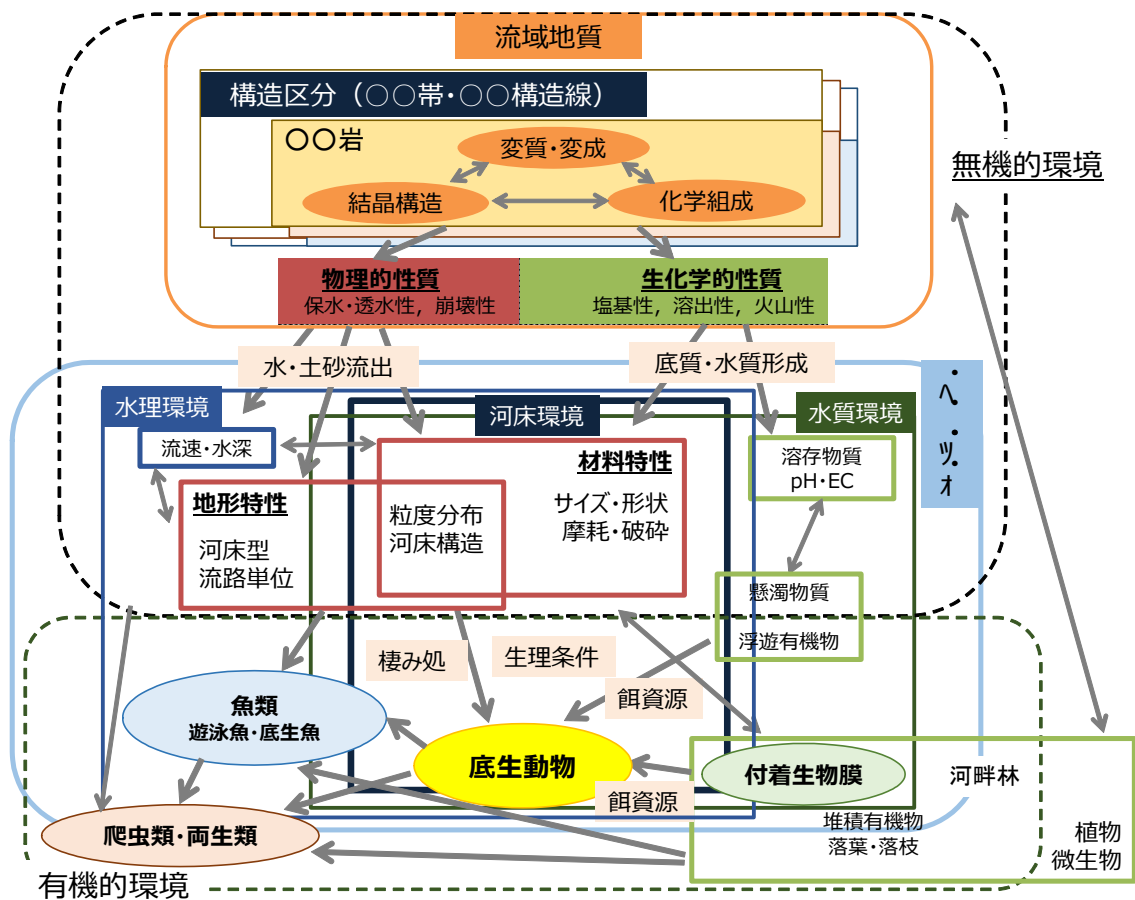


図11 流域地質に起因して変化する河川生態系の概念図