

河川生態学術研究の発展と現状を概観する

(国研) 土木研究所水環境研究グループ長 萱場祐一

1. はじめに

令和2年、河川生態学術研究会（以下、学術研究会）は設立から25周年を迎えることとなった。本研究会のプレーヤーとして研究に参画し、河川生態学術研究の発展に貢献された研究者の皆様、そして、研究会運営にご尽力頂いた関係者の皆様に敬意と感謝の意を表したい。

振り返れば、学術研究会発足当初は多自然型川づくりを始めとした様々な環境施策が打ち出され活気に溢れていた時代であった。著者も土木研究所河川環境研究室においてこの熱気を感じつつ生活してはいたが、本格的な生態学との出会いは学術研究会の発足を待たなければならなかった。当時面識すらなかった生態学者と出会い、同一フィールドで議論しながら研究を進める学術研究会のスタイルは“道場的”であり、魅力的だった。当初、用語の違い、スケール感の違い、河川が研究対象なのか、管理対象なのかといった立場の違い等が強く意識されたが、学術研究会の発展とともに、これらのギャップは解消され、現在では河川生態学と河川工学の相互乗り入れもごく普通に行われるようになった。

本稿では、河川生態系の枠組みを一旦整理した上で学術研究会の現在までの歩みを掻い摘んで概観し、今後の研究展望に資することとしたい。

2. 河川生態系をどう捉えるか？

“河川生態系”は生態系生態学、個体群生態学、群集生態学等分野によって捉え方が異なる。ここでは、河川管理との関係性を明瞭にするため河道の物理基盤を柱として辻本らが提案した概念¹⁾に、河道の物理基盤を制御論の視点から整理した山本²⁾の概念を組み合わせ、これに加筆することにより全体の枠組み（案）を設定した（図1）。

本図では水系内のリーチ～セグメントスケールの“ある区間”を想定し、辻本らの考えにしたがって、この区間を物理基盤、生物相、物質循環系の3つに区分した。また、物理基盤の形成プロセスは山本の考えにしたがった。また、当該区間に移動・流入する要素として水・土砂・物質（非生物的）・生物の4つを位置づけ、水は流量と水温・水質に分割し、水系固有の時間変動（レジーム）を考慮した。

物理基盤は生息場と物質循環場を提供し、生物の生息場は生物相を、物質循環場は物質循環系を支え生態的機能が発現する。当初設定された学術研究会の目標を図1との関係で捉えなおすと、それらの目標が概ね河川生態系全体の理解に繋がる構成となっていたことを理解することができる。なお、目標そのものはリバーフロント研究所のHPを参照して欲しい（<http://www.rfc.or.jp/seitai/seitai.html>）。

以下からは、各要素に関連する近年の研究の状況を河川生態学術研究会で実施された研究も含め簡単に振り返って見たい。ただし、河川生態学の様々な領域が関わるため、多くの“抜け”があること、紙面の関係から引用すべき重要な文献の多くを記載できないこと、そして、やや私見めいた記述が含まれていることをご容赦願いたい。

3. 各要素における研究の拡がり現状

3.1 流量・流砂レジーム

流量は人為的改変を受けない河川固有のハイドログラフ（“自然流況”）に関する生態学的研究が進み、流況を分析する手法の研究、流況の指標化が行われるようになった。学術研究会の河川総合研究グループでも、この考えに基づき日本を水文学的に同質な地域に区分する研究が行われた³⁾。

平常時の流量の多寡については魚類の生息に照らした評価が1990年代から本格的に行われるようになり、IFIM（Instream Flow Incremental Methodology）に見られる流量設定を支援する手法が開発された。一方、流量の時間的な増加が引き起こす現象については、学術研究会千曲川において大河川では端緒というべき研究がなされた⁴⁾。また、同時期に、出水の流量規模、出水の季節性、について“河床堆積物の掃流”、“流路の変更や砂州の移動”、“植生の流失・枯死”、“産卵や移動のトリガー”等との関係が整理された⁵⁾。一方、流量が極端に減少する渇水と生態系との研究については我が国では研究が少なく、十分な知見は得られていない。

流砂は降雨や流量に従属的であり、降雨・流量が一定値以上になると流砂量が増大する。近年、ダムからの土砂供給が積極的に行われるようになり、流砂が河床環境等に及ぼす影響の解明が進み、

土砂供給方法への反映が試みられている。学術研究会では多摩川において礫供給を行った際の地形変化と生物相の変化に関する研究が行われ、近年では木津川において聖牛による洪水流と流砂制御による地形管理手法の検討が始まった。

流量・流砂の双方もしくはいずれかの増大が生物に及ぼす影響については、山間地河道において大規模な土砂流出が併発し、河川地形が激変する場合においては生物が消失、回復まで長期間を要することが示されているが⁶⁾、中下流域では高水敷部や流入支川等が避難場として機能することが示唆されており⁷⁾、影響は比較的小さいと推察される。

3.2 水温・水質

水温は水生生物の生理活性、水中の溶存酸素濃度に影響を及ぼす重要な要素であるにも関わらず我が国の河川生態分野ではあまり研究対象とならなかった。近年、気候変動の影響が懸念されるに至り河川総合研究グループにおいて流程に沿った水温の実態や水温形成機構の解明に関する検討が始まっており、その成果が期待される。

水質は自然由来の有機物・無機物 / 溶存態・懸

濁耐の物質の流入に加えて、図-1には記載していないが、人為由来の様々な化学物質の流入にも目を向ける必要がある。流入は平常時と洪水時に分けられるが、河道断面を通過する物質フラックス量は洪水時の流域からの流出、河床堆積物の掃流等により大きくなることが示されている⁸⁾。ただし、このような洪水時のフラックス量の増加が河道の物質循環系にどのように影響するかについては水系の全流程で説明できるレベルには達していない。

3.3 生物の移動

河川を生息場とする生物の移動の実態はバイオリギングの発達により大型の鳥類、魚類等の個体を対象に解明が進んでいるが、底生動物等を含むサイズの小さい個体の追跡は未だ困難であり、アユ等魚道等で定点観測を行っている有用種を除けば移動の実態は推測の域を出ない。一方、数世代スケールでの移動については個体群の遺伝的差異に基づき、遺伝的に交流のある空間を特定する研究が進展してきており、個体群を分断する要因の解明等が可能となりつつある。

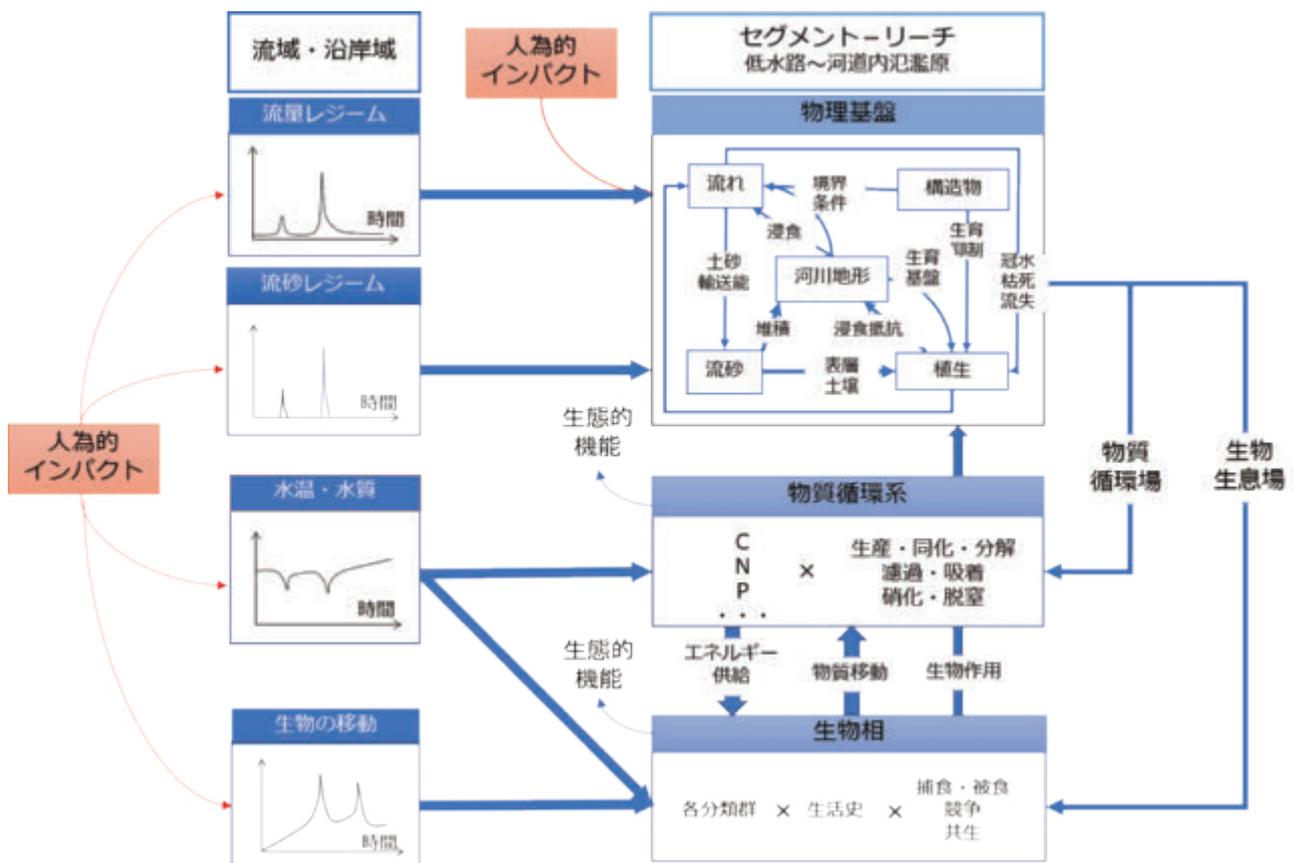


図1 河川生態系の基本的枠組み (案) 文献1)、2) を改変

セグメント～リーチスケールに相当する“ある区間”の物理基盤は物質循環場と生物生息場を提供する。当該区間には流域もしくは沿岸域からの水（流量、水温・水質）・土砂（流砂）、生物のインパクトがあり、それぞれの場が駆動し、生態系の機能が発現する。人為的インパクトは水・土砂・生物、物理基盤に作用し、直接的に、もしくは、物理基盤の変化を介して物質循環系、生物相の応答を引き起こし、生態的機能が変化する。

ところで生物の移動は“物質循環系”にも影響する場合がある。サケ科魚類の遡上は陸域へと栄養塩を回帰させ、陸域の植物の生産に寄与することが明らかになっている⁹⁾。現在、学術研究会総合研究グループの生態系ネットワークに関する研究において遡上する魚類が河川生態系の生物相—物質循環系に及ぼす影響の解明が進められており、成果が期待される。

3.4 物理基盤

物理基盤の形成に関する基本的な理解は河川工学、河川地形学分野における知見の蓄積が進み、基本的なメカニズムに対する認識は概ね一致している。上流から流入する流量・流砂が決まり、かつ、河川の勾配、川幅や低水路幅、河道法線、河床材料、構造物の配置等が与えられれば、瀬・淵構造を含む河川地形がある程度確定することになる。ただし、山間地河道のように流域からの土砂供給の影響を強く受け、河床材料の粒度組成が幅広い流程の物理基盤の形成過程は未だ不明な点が多い（所謂 Aa 型もしくは Aa-Bb 移行帯）。学術研究会の菊池川における研究では流域の地質と瀬淵構造との関係性を解明しており、山間地河道の瀬・淵構造解明に寄与した。

植生分布の予測は地形予測と比較すればその精度は十分とは言えないが、樹林化のプロセスおよび樹林化の制御論の視点も含めて様々な研究が行われ、予測モデルの開発も進んだ。学術研究会では多摩川、千曲川において河床低下に起因する樹林化のメカニズムが検討され、多摩川では安定植生域の拡大モデルが提案された¹⁰⁾。また、北川では植被指数を用いた植生動態モデルの構築が進み、北川固有の植生動態の予測可能性を示した¹¹⁾。ただし、樹林化を含む植生動態予測には人為的利用の減少、外来種の侵入等の影響もあるため、全容解明と予測手法の確立には更なる研究が必要である。

3.5 物質循環系

物質循環系の理解は炭素、窒素等の安定同位体比が用いられるようになって飛躍的に理解が進むようになった。河川では“河川連続体仮説”に基づき陸域および水域由来の一次生産物の相対的重要性が流程別に論じられることが多かった。また、“洪水パルス仮説”においては氾濫原への冠水が一次生産力を高め下流河道の生態系を支えることが仮説として示された。学術研究会では千曲川において、餌資源の由来が陸域・水域の比較に基づき検討され、物質とエネルギーの流れを比較的広い

領域において明らかにする試みがなされた。また、木津川では物理基盤が形成する砂州等の個々の要素の機能を窒素循環といった視点から明らかにする試みが行われた。その後、千曲川では水域における瀬淵を流下方向に連なるコンパートメントと見立て、有機物の一次生産と動態に二次生産を加味したモデルの構築と実測が進んだ。

このように、河川の中に頻出する瀬淵、砂州等の物理基盤要素の潜在的な機能に関する理解は進みつつあるが、流入するフラックスによってどの程度の機能が発現するのか、また、各要素の配置によって機能の発現がどのように変化するかについての定量的な評価は今後の課題となっている¹⁾。

3.6 生物の生息場と生物相

日本では可児らの研究により瀬淵等の水域内の生息場所については相当の知見があったように思うが、大河川を対象として水域・陸域の双方の生息場のタイプと分布、生物相との関係を調査した例は少なかった。

学術研究会では多摩川、千曲川、木津川、北川のような礫床・砂床河川の生息場を対象とした研究に続き、標津川の旧河道、岩木川のヨシ原、菊池川における河道内氾濫原と堤内地の農業用排水路を対象とした研究が行われ、生息場所に関する理解は河道から横断方向に拡大していった。生息場の連結性という視点では、十勝川における河川—水路—湿地間の魚類・底生動物を対象とした検討において、分類群によって生息場の連結性の評価方法に差異があること等が明らかとなった¹²⁾。また、従来の河川地形学等ではあまり扱わなかった瀬淵より小さいスケールの微生息場については学術研究会多摩川において河床の微構造と底生動物との関係の把握が行われるなど研究の進展が見られた。さらに、河床間隙内、湧水が関わる生息場についても木津川で河床間隙内の生物相の把握が、十勝川で湧水が関与する生息場に関する研究が行われた。

3.7 各要素に対する人為的改変の理解

河川改修、自然再生事業等の伴う人為的改変が河川生態系に及ぼす影響・効果を実際に明らかにしていくアプローチも学術研究会ならではの取組であった。多摩川における礫河原再生、千曲川・菊池川における河道掘削、北川における激特事業、標津川における再蛇行化、札内川におけるフラッシュ放流等様々な人為的インパクトに対する河川生態系のレスポンスの把握が行われてきた。何れも個別の河川を対象としたものではあるが、詳細

なメカニズムの解明を行っており、他河川におけるインパクトレスポンスを推測する上で大いに参考になる。今後、図-1に示した人為的インパクトに対する各要素のレスポンスを整理し、総括しておくことはこれからの河川管理にとって有益な情報となるだろう。

4. おわりに

25年の間に日本は本格的な人口減少時代を迎え、高齢化率が上昇、世界的には気候変動の影響が確実となり水災害が頻発するようになった。河川を取り巻く社会・自然的背景の変化（人為的インパクトの変化）は変革期と呼べるほど大きく、河川生態系の将来も過去からの外挿によって予測することは困難になりつつある。

もとより社会・自然的背景の変化に伴う河川生態系の応答は直接的な経路、間接的な経路の双方を介して生じる。耕作放棄地を含む河川利用の減少、気候変動に伴う低水流量や水温の変化といった直接的な影響に加えて、高水流量増大に対して選択された治水方式が河川生態系に及ぼす間接的な影響を予測することも必要になるだろう。特に、間接的な経路については、従来型の河道掘削に加えて、広く流域で貯留する、もしくは氾濫原に遊水する方法を選択することによる河川生態系への影響を流域レベルで予測することが大切になる。また、流域治水への傾斜を高めることは流域や氾濫原での自然環境の復元にも繋がることから、流域-河川空間が有する環境負荷に対するレジリエンスを高めることにも繋がるかも知れない。現況の河川の理解に留まらず、様々な人為的インパクトの変化を想定し、将来予測を行うこと、そして、この結果を先んじて河川管理に反映することは変革期においてより一層大切になると考える。学術研究会の更なる発展に期待したい。

参考文献

- 1) 辻本哲郎・尾花まきこ・井上佳菜：砂州景観の生態的機能から見た河川環境管理の目標設定. 河川技術論文集, 15, pp.13-18, 2006.
- 2) 山本晃一：沖積河川-構造と動態-. 報堂出版, 東京, 2010.
- 3) 渡辺裕也・吉村研人・赤坂卓美・森照貴・三宅洋：全国河川の流量レジーム特性と決定要因. 応用生態工, 21 (2), pp.75-92, 2019.
- 4) 沖野外輝夫：洪水攪乱と千曲川生態系. 日本生態学会誌, 52, p.273, 2002.
- 5) 皆川朋子・河口洋一・萱場祐一・尾澤卓思：流量変動が河川環境に果たす役割と実験的検討-流量増加に伴う河床付着物の掃流と魚類の遡上について. 土木技術資料, 44 (10), pp.32-37, 2002.
- 6) 津田松苗・小松典：伊勢湾台風4年後の吉野川の水生昆虫群集. Japanese Journal of Ecology, 14 (2), pp.43-49, 1964.
- 7) Koizumi, I., Kanazawa, Y. and Tanaka, Y. : The fishermen were right: experimental evidence for tributary refuge hypothesis during floods.. Zoological Science, 30, pp.375-379, 2013.
- 8) 海老瀬潜一：汚濁物質の降雨時流出特性と流出負荷量. 水質汚濁研究, 8 (8), pp.31-36, 1985.
- 9) Helfield, J. M. and Naiman, R. J. : Effects of salmon-derived nitrogen on riparian forest growth and implications for stream productivity . Ecology, 82, pp.2403-2409, 2001.
- 10) 藤田光一・李參承・渡辺敏・塚原隆夫・山本晃一・望月達也：扇状地礫床河道における安定植生域消長の機構とシミュレーション. 土木学会論文集 747/ II -65, pp.41-60, 2003.
- 11) 杉尾哲・傳田正利・坂本正己：植被指数の定量解析による河川敷の植生管理の検討. 河川技術論文集 19, pp. 453-458, 2014.
- 12) Ishiyama, N., Akasaka, T. and Nakamura, F. : Mobility-dependent response of aquatic animal species richness to a wetland network in an agriculture landscape. Aquatic Sciences 76, pp.437-449, 2014.