

魚がすみやすい川について考える

独立行政法人 土木研究所 自然共生研究センター 所長 萱場 祐一

1. 魚がすみやすい川とは何ですか？

「魚がすみやすい川とは何ですか?」、この質問は漠然としており答えることが極めて難しい。質問の中に、質問を発している主体が抜けているし、どのような魚を対象としているかも明確でない。また、どのような川、どの流程を対象としているかが不明だからである。主体が明確になれば魚の種類もある程度絞り込むことが可能となる。水産業者であれば生業に関係のある種となるし、地域住民の場合にはメダカが対象種となることもあるだろう。また、特定種の保全活動を実施している団体の場合はそれがハリヨであったり、アユモドキであったりするかもしれない。

しかし、「魚がすみやすい川」という言葉が使われる文脈を考えると、このような主体や対象魚種をきっちりと限定して使われていない場合が多い。豊かな河川環境を魚類の生息といった観点から漠然と捉えた緩やかな表現と感じる。地域住民、様々な活動団体、生態学者・生物学者、工学者、河川管理者等が「魚がすみやすい川」に抱いている意識のギャップを取りあえず棚上げし、ディスカッションしながら、「よい川をつくっていきましょう」という合言葉のような気もする。

もし、生物多様性のみを重要とするなら、この合言葉に代わるもう少し直接的な表現が可能だが、実際に人間が川に求めているのは生物多様性だけではないのも事実である。地域住民が求める川の姿を日本全体で積分しても、日本全体の淡水魚に関する多様性が向上するという保証はどこにもない。多様性の問題と実際に川に求められている機能との整合性については、河川環境に責任ある人達が情報を十分に発信し、議論を深めていかなければならない重い課題である。

このような「魚がすみやすい川」に関わる目標論とは別に、川の生態系をどのように評価して魚のすみやすさを判断するのか、そして、その結果を基にどのように川の自然再生を図っていくのか、といった課題も重く現場に突きつけられている。適切な診断技術があってこそ治療も可能となるが、現状は川

て川の治療方針を決めることができない。診断技術を向上させるためには、診断ツールの開発も重要だが、川の医者としての河川技術者の資質を向上させることの方が優先的課題と感じる（市販の風邪薬で川

の健康が回復するのであれば話は別だが）。本報では、この点を鑑み、「魚がすみやすい川」の診断に必要な川の見方について私見を述べてみたい。川の医者としての資質向上に少しでも役立てば幸いである。

既往の研究も参考にはしているが、かなり独断の部分もあるかもしれないがご容赦いただきたい。

2. 川の生態系を規定する要素を考える

川の生態系を規定する要素と生態系のプロセスとの関係を整理してみよう。河川管理の実務を考えた場合、人為的な影響を受けやすい要素を取り上げ、これらと生態系のプロセスとの関係を考えると都合がよい。ここでは人為的な影響を受けやすい要素として①川の構造、②流量・土砂・水質とそのレジーム、③生物や物質の移動（連続性、つながり）、④生物の移入、の4点に分けて考えてみたい。図-1にこの4点の項目と生態系のプロセスとの関係を示した。ただし、生態系のプロセスは複雑なものをかなり簡略化して示しているため、正確性を欠いている点があるかもしれない。図中では、生物の生息を規定するプロセスとして、流速、水深、底質といった物理環境に関する項目、水温、溶存酸素といった水質に関する項目、餌資源に関する項目、そして、生物と生物の競争の4の視点を描いている。①～④はこれらのプロセスを規定する要素と考えられ、河川

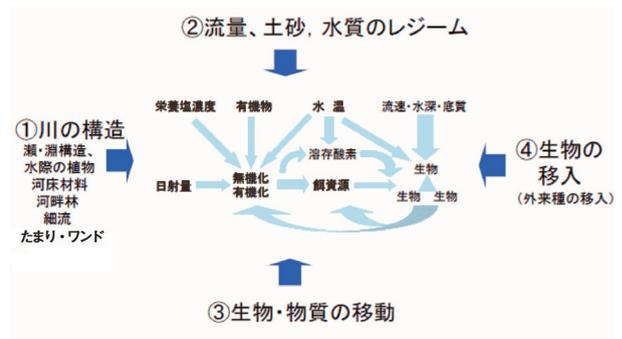


図-1 川の生態系は何によって規定されるのか？

環境を管理する際の主要な操作対象となる。

重要な点は、①～④の中で①と②は確実ではないにしても測定することがある程度可能な要素であることだ。河川生態系のプロセスそのものの把握は物理量や水質と生物の生息との関係を除き非常に難しく、餌資源の外部からの流入量や内部生産量の把握、生物による餌の取り込みと食物連鎖網の把握となるとほとんどお手上げである。把握できることは、①と②に関わる個々の要素、流速・水深、水質等、生息する生物状況にしか過ぎない。ただ、①と②の要素も川の構造については把握がある程度可能だが、土砂の動態になると難しくなってくる。

河川生態系の理解とは、科学的に把握できる数少ない情報から推し量る行為であり、このためには、生態系に関する高い調査能力だけでなく、河川生態系に関する幅広い知識が不可欠である。

河川生態系の要素として抽出した4つの項目について説明を加えよう。

①川の構造は、河床形状、河岸の形状、氾濫原内の微地形といった形に関するものだけでなく、水際の植物や河畔林等生息場所を構成する様々な要素が含まれる。河川改修における主要な操作対象であり、魚のすみやすい川を考える際に最も意識される要素と言えるかもしれない。

②流量・土砂・水質とそのレジームは、上流から流れてくる水の量、土砂・水質だけでなく、そのレジームを含む概念である。レジームという言葉は日本語になりにくいいためそのまま表記したが、日本語に訳すると「対象とする流域固有の流量等の時間変化」とでも言うべき内容かもしれない。流域の降雨、地形・地質、土地利用、土壌等により流出してくる水や土砂の量とその時間変化はその流域固有のものであり、生物も当該流域のレジームに適応進化して生き残ってきている。春先の出水でコイが遡上、産卵したり、春先に水位が上昇したたまりでイタセンパラの仔魚が二枚貝から浮出してたまりの生息場所を先んじて利用したりするのはこのようなレジームの重要性を示す代表的な例であろう(小川他、2000)¹⁾。また、流域に風化花崗岩が分布する場合には、砂河川となり大きな出水後は河床が砂で埋もれてしまうのも流域固有のレジームと考えてよいかもしれない。

③生物や物質の移動(つながり)は、上流一下流一海、本川一支川一水田がつながることにより生物や物質が移動できるかどうかを示す。魚の移動は、回遊魚だけでなく淡水魚も生活史の各段階で広範に

移動する場合があるから、魚のすみやすい川を考える場合には、水域間のつながりを確保することは重要である。栄養塩類や有機物等の物質は川の上流から下流に向かって一方向に流下することが基本となるが、途中でダムや堰があれば、その中で物質が変換されるからつながりだけでなく流下の仕方が問題になる。例えば、ダム湖内で栄養塩類がプランクトンに変換されてダム下流に放流される場合には、ダム下流の餌資源の量や質、生産速度が変化することが予想され、結果として魚の生息に影響を及ぼすかもしれない。

④生物の移入は、捕食一被食といった直接的な競争と資源を巡る間接的な競争に影響を及ぼす。魚食性の外来種の導入は、日本における魚の直接的な競争関係を変化させ、在来魚のすみにくい川へと変質させる大きな要因である。

さて、河川に対する人間の影響が小さかった時代には、①～④の項目は長い年月にかけて大きく変化することはなかった。しかし、近年人間の河川に対する関与が大きくなるにつれ、①～④の変化が河川生態系を変質させ、魚のすみにくい川となる原因をつくり出す場合もある。「魚がすみにくい川」を「魚がすみやすい川」へと再生するためには、原因を取り除くことが有効な手法であるから、①～④の項目のいずれかが、どの場所でいつ頃から代わってきたかを知っておくことは重要である。①～④の変化は国、河川、流程によって違いがあり、例えば昨年、オーストラリアで開催された学会River Research and Applicationsでは、南東部を流れるMurray川、Darling川における生態系の変化が、①川の構造的な変化ではなく、②流量レジームの改変によって引き起こされている可能性が数多く報告されていた。日本の場合は、①～④の幾つかの項目が複合的に変化して影響を及ぼしている場合が多いと考えられ、今後具体的な川を対象にして検討を行い、魚をすみにくくしている原因の解明が必要となるだろう。

ただし、上流、中流、下流といった流程別に、①川の構造、②流量レジームがどのように変化するかについては幾つかの理論があり(例えば、Vannoteらの河川連続帯説²⁾やJunkらのFlood Pulse Concept³⁾、Townsendらの底生動物に関する中規模攪乱仮説⁴⁾、いずれも参考文献に記載)一般論として整理することができる。これらの理論は人為的な影響がない場合を想定しているから、川の生態系を診断し、評価する場合のリフェレンス(参考)としての性格を有

し、自分が対象としている川の生態系の状態や魚のすみやすさを診断するための教科書として活用することができる。

3. 流程別に見る河川生態系の特性

では、流程別に河川生態系がどのように変化するか、2.で述べた①河川の構造と②流量レジームとの関係を交えながら話を進めよう。この話は既にいろいろな場で紹介され、聞き飽きた内容もあるかもしれないが、念のために一通り説明していくことにする。

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。水域の代表的な生息場所は瀬・淵構造であり、相対的に流速や水深が大きい。縦断方向に水面幅程度以上のスケールを保ちながら瀬や淵が交互に出現する。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が中心だが、集水域から下流側になると、水際域の外側に氾濫原が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ワンド、たまりが出現していた。

出現する生息場所の種類や分布が流程によって異なることは、魚のすみやすい川を考える上で重要な視点である。また、生息場所の種類や分布は流速、水深、底質、水温、溶存酸素といった物理・化学量に関連するだけでなく、餌資源の供給形態を変化させるため(Vannote et al, 1980)⁵⁾、生息場所の変化は2つの側面から生物の生息に影響を与えることになる。

図-2は上流から下流に向かって、横断方向に見られる生息場所の生態的な重要性がどのように変化するかを概念的に示したものである。

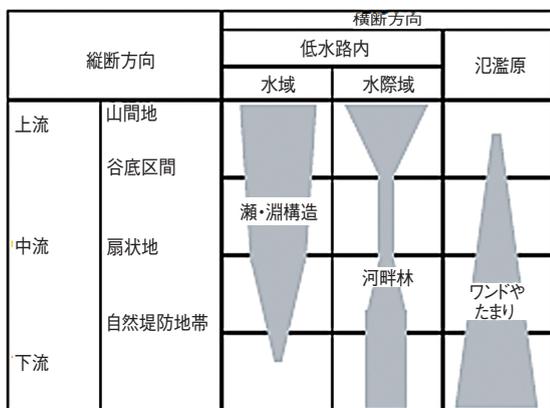


図-2 河道内水域、水際域、氾濫原の生態的機能の重要性と縦断方向への変化

上流は氾濫原に乏しく、水際域と水域の生息場所が魚類の生息にとって重要な要素である。川幅が狭く河畔林が張り出すため水面に届く日射量は少なく、水温と栄養塩類濃度が低いため内部生産量が低く抑えられる。このため、魚類は外部で生産された餌資源、例えば、落葉→水生昆虫→魚といった連鎖網や落下昆虫に依存することになる。また、上流域に見られるステップ&プール河道、すなわち、Aa型の瀬・淵構造は急勾配な河川における流れのエネルギーを散逸し、河道内に静穏域を確保して生息場所を確保する。倒木もまた重要な川の構造の一部であり、魚類の生息場所として機能することが多くの研究で明らかになっている((Inoue & Nakano, 1998)⁶⁾; Urabe & Nakano, 1998⁷⁾; 阿部・中村, 1999)⁸⁾。上流域では水域と水際域が河川生態系を支えている。

上流から中流にかけては、河岸が拘束されている場合が多く洪水時の川幅は水深と比べて小さい(川幅水深比が小さい)場合が多い。河畔林の重要性は依然として高いが、河床に届く日射量が増加することで付着藻類の生産性が高くなり、それらに依存する生物(例えば、アユやオイカワ)も増加してくるだろう。河道は谷底平野上を蛇行しながら流れ、河道の湾曲部の外岸側に淵が、落ち込み部に瀬を形成する。縦断方向の物理環境の異質性は相変わらず高く、瀬・淵構造が魚のすみやすい川にとって重要な役割を果たす。

中流から下流に移るにつれ様相は変化していく。川幅が大きくなり河原が広がる環境が出現する。水際の河畔林が持つ生態的機能は相対的に小さくなり、代わって、河床まで日射が届き、栄養塩類濃度や水温も上昇して内部生産(付着藻類や水際の植物)による餌資源の供給が重要となる。扇状地河川における瀬・淵構造には適切な区分があまりないが、基本的には砂州の前縁部を瀬、その落ち込みを淵とするBb型の瀬・淵構造とそう大きく変わらない。依然として縦断方向への物理環境の異質性が高い。

より下流へと移行すると、氾濫原が広がり、横断方向の空間的な異質性が大きくなっていく。水域では瀬・淵構造がBb型からBc型へと変化し、縦断方向への水深や流速の変化が乏しくなってくる。上流から中流までは、栄養塩類や有機物は上流から下流に向かう一方の流れであるのに対し、氾濫原を有する下流域は本川と氾濫原、すなわち横断方向に栄養塩類と有機物が流れと生物の双方を介して移動する(Junk et al, 1989)⁹⁾。出水時に氾濫原に輸送され

る栄養塩類は氾濫原内の生産に利用され、かつ、氾濫原が広大な生息場所を提供することにより、生産された餌資源は高次の消費者、例えば、鳥類やほ乳類にまで効率良く利用される。魚の生息にとっても氾濫原の重要性は既に指摘されているところであり、産卵～仔稚魚の成育場所として機能することが知られている (Lusk et al. 2001)¹⁰⁾。近年日本においても氾濫原を再生する試みが始まってきているが、事業の実施に当たっては、生息域や冠水条件の確保といった物理的側面だけでなく、氾濫原が横断方向への物質と生物の移動、そして、氾濫原を豊かな基礎生産の場としながら、高次の消費者にこれをボトムアップしていく場と強く認識する必要があるだろう。

次に、流量等のレジームが生態系に及ぼす影響を考えてみよう。流量が増加すると、河床に堆積した有機物や河床付着物の下流への流出が発生し、より大きな規模の洪水になると河床材料の掃流が始まり、地形の変化、植生の破壊、河原の更新が生じる (皆川ら、2001)¹¹⁾。低水路が固定されていない場合には低水路の外岸側に浸食、内岸側に堆積が生じ、低水路の移動 (channel migration) が生じる場合もある。洪水は種の多様性増加にも寄与する。例えば、洪水に伴う攪乱頻度が非常に少ないと、固着性の底生動物が増加し、逆に攪乱頻度が大きいと移動性の底生動物が増加する。中程度の攪乱を与えた場合には、双方の底生動物が生息することにより種の多様性が増加することが知られている (Townsend et al, 1997)¹²⁾。また、洪水によって氾濫原が冠水すると空間的に散らばるハビタットを連結し、水生生物や物質の移動が促進されることは前述したとおりである。

幾つかの洪水が持つ生態的機能を列挙したが、これらの機能はどの流程でも同じ働きを持つわけではない。一般に河床勾配の大きい上流から中流にかけては、洪水時の掃流力が大きく、河床材料の移動や河岸を構成する材料の移動に伴う動的な攪乱が重要となる。谷底平野上の河川は横方向の拘束が強く低水路の移動が抑制されているが、扇状地に移ると低水路の移動が活発になり、川幅の大きさによって交互～網状の砂州が出現し、植生遷移が抑制され、河原が維持される。より下流に移ると洪水の発生時期の規則性や予測可能性が高まることが指摘されている (Petts, 1998)¹³⁾。このため、氾濫原に依存する水生生物は、出水による冠水と氾濫原上のハビタットの連結を活用しながら生き残ってきている。下流域では同じ季節にじわじわと水が冠水していくことこ

そ生態的機能を維持する鍵となっている。

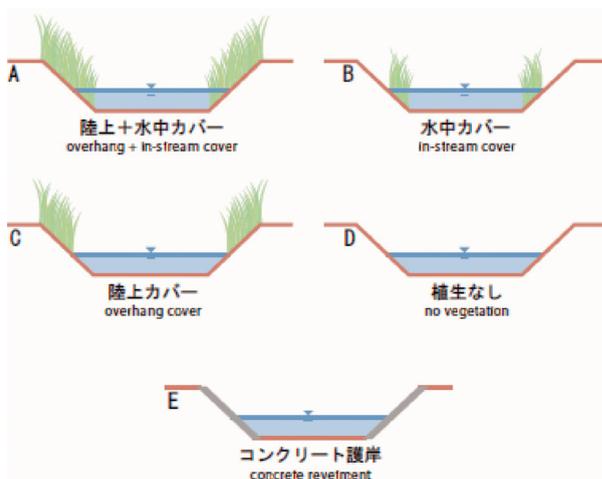
このように、①川の構造、②流量レジーム、については上流～下流の各流程において、固有の特性を有している。魚のすみやすい川を考える場合には、最低でもこのような各流程が有している特性を踏まえ、これを参考として川づくりの計画を立案することが必要となる。ただし、実際に事業を実施する場合には、このような考えを参考にしながら、個々の河川を調査し、どのような川の構造を示しているのか、どの程度の攪乱の頻度や規模を有しているかを調査して、事業を少しずつ実施しながら効果を確認する、順応的な手法が不可欠である。

しかし、実際に調査を行い、構造と攪乱を把握し、生態的機能にまで結びつける一連のプロセスは非常に難しく、今後の取り組むべき重要な研究課題となっている。

4. 川の構造を生態的機能に置き換える

川の構造や攪乱が具体的にどのような生態的機能と結びついているかを把握すると、川の構造や攪乱を再生する際の意義を理解し、事業の実施が容易になる。川の構造や洪水攪乱の生態的機能を明らかにする試みは自然共生研究センターの実験河川でも実施しているので、ここでは水際植物の機能の一部を解明した実験を紹介しよう。

水際に植物があると「魚がすみやすい」と漠然と感じているだけの場合が多いが本当はどのように機能しているのだろうか？ 水際の植物を注意深く見ると、①水面より上の法面から繁茂している部分、②水中から繁茂している部分の2つに分けることができる。①の部分は水面を覆い、魚類にとっては捕食圧を下げる効果があるだろう。一方、②は捕食圧を下げる効果も考えられるが、流速を下げる効果も期



図一3 実験河川で再現した水際の繁茂状態

待できる。どちらの部分が魚の生息に効いているかを実証的に明らかにするため、図-3に示す対照区を実験河川内に造成し、魚類の生息調査を実施した(河口、2003)¹⁴⁾。

結果は、全て覆っているAタイプで最も生息量が大きく、次いで水中から繁茂するBタイプ、Cタイプ、Dタイプ、Eタイプの順となった。水面を覆うCタイプは捕食圧を下げるカバー効果を期待したが、実際には水中部から繁茂する植物が流速を低下させる効果が生息量の増加に寄与しているようである。水中に植物がない場合の水際近傍の流速は概ね20cm/sに対し水中に植物がある場合は概ね7cm/sであった。前者の流速は人間の感覚からするとかなり小さいと感じるが、実験河川内に生息していた魚の身になると最適な流れではなかったようである。

紹介した例は、水際植物という川の構造の生態的機能の解明を試みた事例と位置付けることができるが、実験の実施時期も限定されており、水際植物の持つ機能を全て解明したことにはなっていない。しかし、構造と機能とに関するこのような知識を習得すれば、川の姿の中に様々な魚の生息場所が浮き上がり、今まで平面的であった川が立体的に、生き活きと見えてくることになるだろう。洪水攪乱についても同様のことが言える。広い河原が目映れば、洪水攪乱の頻度や規模が頭をよぎり、生物の豊富な氾濫原を見れば、そこに春出水で冠水した状況を想像できるようになるのかもしれない。

魚のすみやすい川を実現するためには、本来その川の持つべき構造や攪乱を維持しているのかをよく見極め、失った構造と攪乱を再現していくことが基本的な考え方となるだろう。勿論、冒頭に述べた③生物や物質の移動、④生物の移入、も魚のすみやすい川を実現するために考慮すべき必要不可欠な要素であることを最後に付け加えておく。

5. おわりに

多自然型川づくりが始まり既に10年以上の歳月が経過した。多自然の「多」は単調の「単」に対する強力なアンチテーゼとして働き、「魚のすめない単調な川づくり」からの脱却には大いに貢献してきたような気がする。しかし、個々の地域や流程固有の多

様性の「多」はどれだけ意識されてきたであろうか。川の個性を尊重する時代に入り、我々技術者は川の個性を河川生態系という観点も踏まえて読み解かなければならないという重い課題を突きつけられている。

【参考文献】

- 1) 小川力也・長田芳和、紀平肇(2000):淀川におけるイタセンパラの生息環境(総説).大阪教育大学紀要, 49, 1:33-55.
- 2) 5) Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R. and C.E. Cushing(1980): The river continuum concept, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37: 130-137.
- 3) 9) Junk W. J., Bayley, P. B. and Sparks, R. E.(1989): The flood pulse concept in river-floodplain systems, *Canadian Journal Special Publication of Fishery and Aquatic Scienc*, 106: 110-127.
- 4) 12) Townsend, C.R., Scarsbrooke, M.R., and Doledec, S., (1997) The intermediate disturbance hypothesis, refugia, and biodiversity in streams. *Limonology and Oceanography*, 42, 5:938-949.
- 6) Inoue, M. and S Nakano(1998): Effects of woody debris on the habitat of juvenile masu salmon (*Oncorhynchus masou*) in northern Japanese streams. *Freshwater Biology*: 1-16.
- 7) Urabe, H. and S Nakano (1998): Contribution of woody debris to trout habitat modification in small streams in secondary deciduous forest, northern Japan. *Ecological Research*, 13:335-345.
- 8) 阿部俊夫・中村太士(1999): 倒流木の除去が河川地形および魚類生息場に及ぼす影響. *応用生態工学*, 2: 179-190.
- 10) Lusk S., Halacka Kl., Luskova V., and Horak V. (2001): Annual dynamics of the fish stock in a backwater of the River Dyje. *Regulated Rivers: Research and Management* 17:571-581.
- 11) 皆川朋子・清水高男・島谷幸宏(2001): 流量変動が生物に及ぼす影響に関する実験的検討. *河川技術に関する論文*, 6:161-166.
- 13) Petts, G.E.(1996): Sustaining the Ecological Integrity of Large Floodplain Rivers. In: *Floodplain Process* (ed. Malcolm G. A., Des E. Walling and Bates P.D.): 535-552. John Wiley & Sons Ltd. West Sussex.
- 14) 河口洋一(2003): 水辺の植物が河川性魚類の生態に及ぼす影響. *海洋と生物*. 149, 25, 6: 452-459.