

動く川に宿る“ざわめく自然”： 木曾三川水系の氾濫原環境の実態と保全

岐阜協立大学 地域創生研究所 森 誠一

河川中・下流域は、多様に変動する物理場をもつ氾濫原環境によって構成され、人間活動によって最も改変・抑制され負荷を受ける水域であり、河川環境の整備・管理においていくつもの検討課題が存在している。本稿では、木曾川水系の河川生態学術研究から得られた成果をもとに、流域治水（国交省、2021）を視野に置き検討すべき事項や課題を紹介する。なお、当該水系における氾濫原環境の保全を含めた知見には、個々の焦点に沿った多角的な蓄積がある（森編、1999；片野・森編、2005；椿ら、2008；田代ら、2010；渡辺・前畑編、2011；渡辺・森編、2016；応用生態工学会編、2019；森、2021）。

1. “人新世”の河川環境と流域治水

18世紀後半の産業革命後の工業・技術化の加速的な増進は、地球レベルで生態系や気候に影響を及ぼし、環境変動が一般的にも実感されるようになってきた。こうした人類による地球環境のトレンドに大きく影響を及ぼした状況は、完新世である典型的要件と本質的に位相が異なり新たな地質年代として“人新世”とされる（Crutzen, 2002）。とりわけ温暖化のような気候変動は降水量や降水形態に変化をもたらし、また海面上昇を伴うとされ、河川流況の質・量に影響を与え、生物の生息場に変化を引き起すだろう。実際に、ゲリラ豪雨のような突発的局所降雨や線状降水帯による集中豪雨が頻発しており、それらは当然、顕著な流量変動となって河川生態系にも影響を及ぼすと容易に予測できる。

生物はおそらく地史的・進化的な時間の中で、この3世紀にわたる“人新世”での環境変化以上の劇的な変化を経験しており、絶滅に至るほどの影響はないのかもしれないし、逆に思いのほか脆弱であるかもしれない。ただ、例えば2011年に発生した三陸大津波は、近代化した多種多様の燃料や雑排水に満ちた市街地を破壊し瓦礫とともに混濁しながら生物の生息地に押し寄せ、“人新世”以前にはない性質の人為的負荷を河川環境に与えたであろう。ここでは付加的となるが、下流氾濫原域においては上流からの流況だけでなく、汽水域・塩害の拡張や河口閉塞に関連する津波・高潮や海面上昇など海水遡上による影響も視野に入れておくべきである。

我が国の河川は現在、ほぼすべて人間活動によって改変・抑制された集水域を流れ、治水・利水を中心とした社会資本の整備目標を達成するために様々な形で整備・管理されている。“人新世”のもと河川環境における物理的激変は、明治期にデ・レーケ（1873年～1903年に滞在）が指導した近代治水事業に始まるとし

てよく、その結果、もちろん人間生活の安心・安全は工学的成果とともに大幅に向上した。しかし一方で、治水事業に加えて乾田化や水路網の耕地整理などにより生態系の分断化や孤立化が生じ、河川環境の劣化は時として深刻に顕在し続けてきた。その軽減や復元を追求するため、1990年代後半から多自然川づくりなど自然再生に繋がる検討・事業化がされる段階になったといえる。

さらに直近の課題として気候変動というグローバルな背景のもとに、我が国においては近年、“流域治水”の検討がされているが、これは直ちにダム・堤防や掘削などのハード施工を意味しない。それをもって国土強靱化への寄与を目的とするならば、“流域環境”への視線を包含しなければならない。なぜなら“流域治水”の対象は、自明ながら堤内域の市街地、農地・工場などの用地も含まれ、これまでの“河道治水”より遥かに対象範囲も関係者も拡大化し、支流や水路網など流域一帯の水環境にも関与し、抜本的な環境改善につながり得るからである。これは、例えば遊水地の設置に治水面のみならず、環境面としての機能をもつ可能性を示している。むしろ、この流況変化は堤内地において悪水の増大も懸念され、その対応措置には住民心理や流域の歴史・文化を取り込んだ根拠ある説明や効果検証に依拠する順応的実施が必至といえる。

流域環境は、人間生活の向上や要求を満たす水資源や生物多様性などの生態系サービスを提供してきたが、その現在は水質と生態系の根幹に負荷を与える人為的活動によって多くの脅威を招き、それは時間の経過とともに増大し続けている（Vorosmarty et al., 2010; Allan et al., 2021）。この健全性の維持や保全は、社会的共通資本としても持続可能な未来のため喫緊の課題であり、その検討や解決に向けた作業が必須となっている（宇沢・大熊、2010；Bunn, 2016）。

2. 流水系と流砂系としての河川と氾濫原環境

河川は、水源から河口までの縦断方向、支流や水辺から氾濫原の横断方向、さらに地下水域の垂直方向への連続的な水および砂の物理的な移動現象の総体である。言い換えれば、河川は降水や湧水をしばしば溜めつつ高所から低所に集水し流れる流水系であると同時に、侵食と堆積を繰り返して土砂を搬送する流砂系の地形でもある（森、2010）。この2つの系はもちろん別々の独立系ではなく表裏一体の関係にあり、流水系だけとすれば水道管や導水管と同じで、水という液体物質の移動を意味する現象となる。つまり、流砂系があることが河川の顕著な特性ともいえ、“人新世”における河川環境の人為的変動は、平地となる沖積帯の河道内

で、網目状流路やワンド・入江に分割される氾濫原環境において明示される。水生生物は、こうした流水系と流砂系からなる生息環境に進化的時間を経て適応し、河川生態系を構成してきた。

河川環境のうちで変動域の規模が大きい氾濫原は、河川の水位上昇によって生じる流域の浸水域を意味し、水位の増減と水域の拡幅・縮退をおよそ定期的・確率的に繰り返す本流と連続する領域である。世界最大級の河川氾濫原は南アメリカのアマゾン川流域といえ、その河川環境の瀬淵や蛇行などの空間的多様性に加えて、特に水位変動によって時間的に変化する氾濫原において、地球上で最も豊富な淡水魚相が形成されている (Araujo-Lima & Goldberg, 1997)。このアマゾン低地だけでも北アメリカ大陸全体の合計の約3倍ともいわれる生物多様性は、おもに流域の熱帯雨林とともに進化し、特に周辺の広大な氾濫原は果物や種を食べる魚の進化に比類のない機会を提供してきたといえる。南アメリカのコロソマ (*Colossoma*) に代表される魚種は、冠水域の水面に落ちる落下果実 (溪流における落下昆虫のように) を食べ、果実食性魚類とも呼ばれる。こうした果実食性魚類は、氾濫原が雨期に冠水した植生帯に移動して落下果実を食して成長し、また一方で種子の分散に寄与する。

むろん、構造平野を流れる世界的大川と、規模の小さい沖積平野を流れる我が国の多くの河川の成立過程はまったく異なるが、水位変動によって形成される氾濫原に適応した生物が誕生している。それらはアマゾン川では先述のコロソマであり、木曾川においてはイタセンパラ (コイ科タナゴ類) が典型であり、氾濫原性魚類といえる。後者では水位の上昇と冠水頻度に加えて、それに伴う土砂移動は河床高など物理場に関与し、生物生存・生育に関わる重要な微環境に影響する。この河川区域は、水位上昇によって水域の横方向および縦方向に高い接続性を維持し有機物・栄養分の捕捉や多様な生物の生息場をもたらす、生物移動を促進させる生態系を形成する。

特に、沖積氾濫原という河川地形は、流水と流砂の2系動態が同時的かつ典型的に生じる境界領域といえる。そもそも河川の堆積作用が主たる要因で形成される沖積平野においては、河川が自律的に伸張して平地を下流方向に拡張していくことを意味する。つまり、堆積作用によって自身の流長を伸張させるが、それは単に線的な長さだけでなく横断方向の水域変動を可能とし面的に拡大し、かつ同時に淡水生物の移動交流する生息範囲を広げている。

むろん現在、我が国では、本来の氾濫原がないよう治水管理が第一義的に事業化されており、ここでの検討対象域は、河道整備後の堤外域に限られる“河道内氾濫原”となる。つまり、平水時の河川敷を含め入り江、連結細流、ワンド・タマリや後背湿地を占め、出水時に冠水する区域となる。この中・下流域の平地流における土砂動態は、ダム・堰の堆砂や人為的取水・排水など、おそらく関与する変数の未定を含めて測定困難であり、明瞭な予測ができないと思われる。あるいは角哲也氏 (2021) が流域を土砂生産域と土砂堆

積域から位置付けた構成 (図1) に従えば、主要な河川管理としてダム事業が常態化している現状、土砂管理は浚渫を含め排砂を中心とした土砂還元が検討はされている。しかしながら、土砂堆積域の扇状地より下流域の土砂動態についての把握はあまり展開されておらず、その時々状況に応じた後追いの解釈に留まっているように思える。それゆえにこそ、生物の重要な生息場を提供する河道内氾濫原域において、自然的攪乱と人為的インパクトの相互関係の検証が必要となっている。

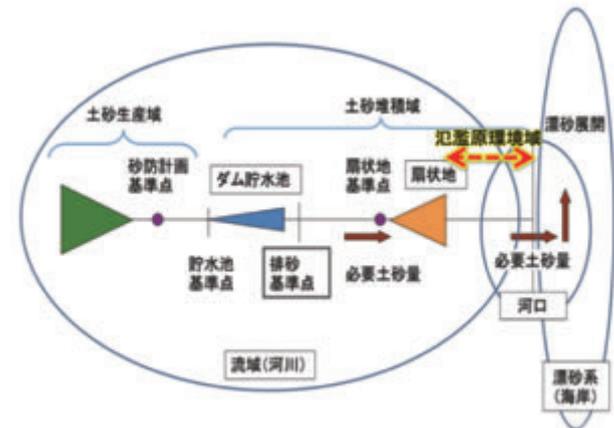


図1 流砂系土砂管理の概念図。角哲也氏 (2021) の作成図に加筆。

3. 木曾川水系の河川生態

河道内氾濫原域を形成する典型的な河川の木曾三川は、濃尾平野周縁の山麓域に扇状地を発達させつつ、江戸期から現代までは干拓を含め自律的伸張し、下流一帯に平野を形成させた主要因であり、本来的に広大なデルタ・氾濫原や潤沢な伏流水・湧水といった環境特性をもった日本最大級の河川水系である。当流域は、淡水魚類をはじめ多くの固有種群が生息する生物地理学的に貴重な地域であり、保全上の価値も緊急性も高い。特に希少種であるイタセンパラ、ネコギギ、ハリヨ (いずれも種もしくは生息地が国指定天然記念物) などの淡水魚をはじめ日本有数の豊かな淡水生物相を構成し、進化的かつ保全上重要な種・集団が分布する。

生物によって好適な生息場は異なり、河道内氾濫原における生物多様性を最大化するためには、連結性 (冠水頻度や攪乱強度) に関わる広い環境傾度が必要となる。連結性が中～低の領域にも重要な生態的機能があることを認識し、その領域を確保することが望まれる。例えばワンドごとの魚類群集は、物理環境条件と要因分析をした結果、概して他の水域と接続する水域数、冠水頻度、本川との連結性・孤立性によっていくつかに類型化できた。これは無理にすべてを高い連結性を有する領域に誘導 (掘削等により低い地盤高を創出) する必要はなく、河道内氾濫原が陸域化している現在の状況や管理コストに照らしても調和的な保全対策が求められることを意味する (図2)。

木曾川には、中流域の24キロ地点から上流約15kmの堤外地に氾濫原環境 (この流程区間を氾濫原区域とする) が発達し、大小様々な百数十カ所のワンドやた

まりが存在する。これらの水域は増水時に物理的攪乱を受け、冠水することで流心域と接続し、生物のランダムな移出入の機会となり生息場の更新が認められ、多様な環境が現出するのである。

魚類の生息場として氾濫原区域を効果的に保全するためには、空間スケールごとの自然のおよび人為的な環境変動に応答する魚類が繁殖成功する要件の解析が肝要である。氾濫原環境の現状や改善事業を評価する上で、イタセンパラは年魚であり、産卵母貝として二枚貝が最重要の生息環境であることから繁殖成功の解析がしやすく、国指定天然記念物でシンボリックな発信力をもっている。なお、確認ともなるが、現在のようにイタセンパラは堤外域のワンドに特化して生息する訳ではなく、1990年代までは堤内地の池沼や農業水路など残存的な氾濫原環境の水域で継続的に確認されている。



図2 木曽川右岸氾濫原環境の2007年よりの変遷とワンド造成（国交省木曽川上流河川事務所資料）。

4. 環境改善としての河川管理事業

木曽川中流域の氾濫原区域におけるワンド・たまり水域は小型化し総個数は増加していたが、その水域総面積は減少し、生物の生息場として量的にも質的にも劣化傾向にあった。特に、調査ワンド50カ所ほどは最近10年間で二枚貝が減少し、浅所化・底泥化などワンド環境は全体的に劣化傾向が認められた。これは、低水路・高水敷の二極化や樹林化が進行する中で、生息場としてのワンドに寿命があることを示している。

木曽川水系の自然再生関連の事業成果も含めた現状把握を踏まえて、イタセンパラを中心とした生息環境の改善を目的に加えた盤下げ（高水敷掘削）が、国交省木曽川上流河川事務所によって実施されている。その後、人工造成を含めた微地形変化に伴い新規に形成されたワンドには二枚貝が定着し、イタセンパラの産卵が高い割合で確認されて良好な生息場となった。ただし、現状の河川流況においてワンドの寿命を踏まえると、研究結果から盤下げは例えば10年間隔で周期的に繰り返していく必要があるといえる（図3）。つまり、流路が固定化され、砂の供給量も制限された河道条件下で、川の営力に依存した新規水域の形成がほぼ見込めない現況において、河道掘削などを通じた生息場を造成促進する積極的な働きかけがいるだろう。

この積極的な働きかけには、主たる治水整備メニューである河道掘削を利用した「循環的氾濫原再生」として、ゾーニングと掘削回帰年に基づき定期的に掘削しつつ、

常に区域内に新鮮なワンドが存在する継続的な管理検討が肝要である。なお、高水敷掘削は濁水位～平水位高のどの高さで実施すればよいかは、氾濫原区域内の上下流や本流との比高差などで異なり、今後の重要な検討課題である。さらに、多少でも自然の営力に依拠する氾濫原再生のためには、対処療法的な河道掘削だけでなく、流域全体における土砂堆積域の再構築による環境維持事業の広域的・長期的な検討に努める必要がある。

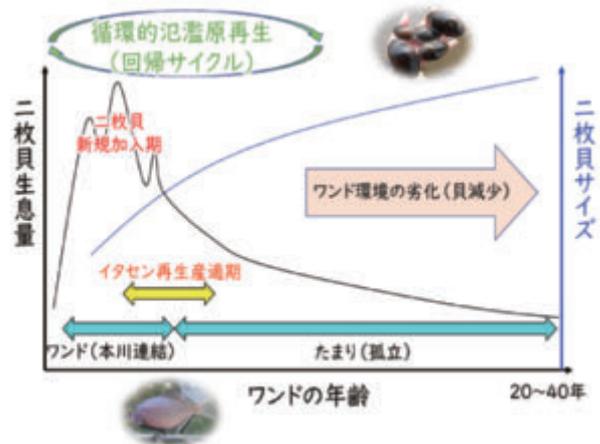


図3 ワンド経年劣化と生物生活史を考慮した循環的氾濫原再生の概念図（永山滋也作図）。

また、根本的ではないものの、有機物を含む底泥浚渫や樹木伐開等を組み合わせることで、広範な盤下げを行わずとも一定の改善効果が望めることを示唆した。さらに暫定的知見ではあるが、木曽川の縦断連続水位観測から、木曽川大堰（馬飼頭首工）の湛水域が、直上流に位置する氾濫原区域の冠水特性に与える好適な影響については十全な検討の価値があるだろう。つまり、この氾濫原環境の保全は、治水・利水管理事業の今後と一体的な親和性をもち得る可能性を期待させる。

なお本稿では指摘するだけとなるが、生物多様性の保全対応は、世代存続つまり個体の繁殖成功が最終目的であり、その最適化する環境条件の追究を求め、それを基盤にした環境改善と効果検証の実施に尽きる。環境改善の高度化において、生息環境の最適化を繁殖成功率等の計測から判定しない場合、土本的力点に偏重したままの多自然川づくりなどは不十分であり続けるだろう。

5. 遺伝解析から見えていくつかの実態

イタセンパラの環境DNA分析のサンプリング手法の最適化と精度検証を行い、稚魚期から産卵期にかけて時系列の環境DNA分析結果を合わせ、本流—ワンドおよびワンド間の移動特性を検討した。その結果、産卵初期9月の出水と連動して成魚の移動分散が示されたが、一方で、再生産に寄与しない「無効分散」の実態も明らかになった。この無効分散を減らし、イタセンパラの再生産効率を高めるには、本川と連結した既存ワンドの保全のみならず、河道掘削等による新規ワンドの形成や生息場シフトを促進する積極的な働きかけが必要である。

また、集団遺伝学的解析によって、イタセンパラはワンド群間で自由交流が保たれておらず、また左・右岸間でも遺伝的組成が異なり、流心の低水路が両岸間のランダムな移動交流を阻害・低下する影響が示された。さらに興味深いことに、近年自然形成された中洲のワンド集団は両岸の中間的な遺伝的組成を示し、中洲の存在は岸間の交流維持への寄与を示唆した(図4)。大規模河川における河道掘削・低水路化は、両岸間の生物移動の阻害をもたらすと想定され、イタセンパラの健全性を長期的に担保するためには、河川横断方向のコリドー機能を検討する必要がある。特に今回、開発した全ゲノム配列データを用いた歴史集団動態解析から、イタセンパラは縄文海進期に減退し、縄文海退後の平野形成による淡水域の面的に広がりとともに分布拡大したと示唆された。すなわち、本種がまさに進化的にも氾濫原性魚類ということを示している。

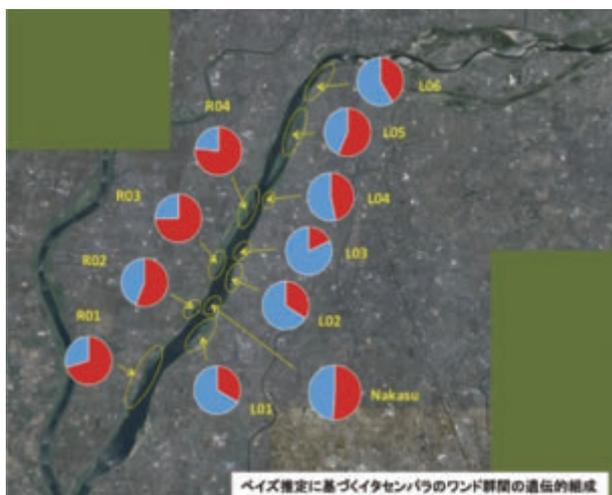


図4 ベイズ推定に基づくイタセンパラのワンド群間の遺伝的組成(山崎裕治作図)。Nakasu(中洲)は2010年以降に顕著に堆積化しワンドが形成されている。

さらに、陸生哺乳類の外来種ヌートリアの影響が摂餌行動の夜間撮影から、イタセンパラの繁殖環境として最重要である二枚貝の生息への影響が検討された。その結果、ヌートリアの糞DNA分析によって二枚貝の食害が裏付けられ、二枚貝の再生産効率が悪化し、ひいてはイタセンパラの繁殖に負の影響が懸念された。以上のように、気候変動を含む地史的および人為的改変などの時間スケールに応じて、生息場の変化と生物応答との多様な連関が遺伝解析によって把握された。

6. 動く川に“ざわめく自然”は宿る

河川生態系の生物群集は、物理的環境や餌資源などの地域条件に適応した生物から構成され、種間・種内相互作用を通じて複雑に多様化する“ざわめく自然”として現れる(森, 2009)。ここで、木曾川中・下流域の河道特性を踏まえてイタセンパラの集団動態を中心に上述してきたように、攪乱更新の水域性質をもつ氾濫原区域の物理的な環境変動における生息実態を明示した。換言すれば、“ざわめく自然”は流路、河床、比高が変動し、中洲の発生など氾濫原環境が動的平衡に維持される「動く川」に生起することを意味する。

しかしながら「動く川」という河川の自動性が低い現状、河川環境管理は「動かせる川」として循環的氾濫原再生すべき範囲、掘削深、周期などの精度向上が求められる。実際に、木曾三川水系では河川管理による環境改善の事業化と効果検証において、それを支援する仕組みづくりが関係省庁や自治体、研究機関などを交えて構成されている。その多様な主体による合意協議の過程をもって、目指すべき河川環境目標は継続的に検討される。

こうした合意過程を保つ交流の場を構築することは、流域治水の具体において極めて重要である。なぜなら流域治水には、いわば堤内地がどのように・どこまで出水を引き受けるかという合意の場が必須であり、同時にそれは流域環境への視野を導きさせる。今後も、その視野を深め広げつつ、「動く川」の志向に寡少でも寄与する氾濫原環境の機能など、横断方向に自由移動ができる連続性への追究を続けていきたい。

参考文献

- 宇沢弘文・大熊孝編. 2010. 社会的共通資本としての河川. 東京大学出版会
- 応用生態工学会編. 2019. 河道内氾濫原の保全と再生. 技報堂出版
- 片野修・森誠一編. 2005. 希少淡水魚の保全と未来. 信山社
- 国土交通省 HP. 2021. 特定都市河川浸水被害対策法等の一部を改正する法律(流域治水関連法)
- 森誠一編. 1999. 淡水生物の保全生態学. 信山社サイト
- 森誠一. 2009. 保全の未来. 関西自然保護機構会誌, 31: 13—26.
- 森誠一. 2010. 日本川国論. 秋道智也・小松和彦・中村康夫編「水と環境」所収. 233-274. 勉誠出版
- 森誠一. 2021. 木曾川水系の河川史と生物多様性保全に向けて. RIVER FRONT.92: 12-15.
- 田代喬・古畑寿・辻本哲郎. 2010. 木曾川の感潮ワンドにおける底生動物群集. 陸の水. 43: 61—69.
- 椿涼太・古畑寿・辻本哲郎. 2008. 水制群を含む木曾川下流域の出水時の流れ構造とワンド地形の変遷. 水工学論文集, 52: 691-696.
- 渡辺勝敏・前畑政善編. 2011. 絶体絶命の淡水魚イタセンパラ. 東海大学出版会
- 渡辺勝敏・森誠一編. 2016. 淡水魚保全の挑戦. 東海大学出版部
- Allan D, Castillo MM. & Capps KA. 2021. Stream Ecology. 3rd ed. Springer
- Araujo-Lima C. & Goldberg M. 1997. So fruitful a fish. Columbia Univ. Press
- Bunn SE. 2016. Grand challenge for the future of freshwater ecosystems. Front Environ. Sci., 4:1-4.
- Crutzen PJ. 2002. Geology of Mankind. Nature, 415: 23.
- Vorosmarty CJ, McIntyre PB, Gessner MO. et al. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. Nature 467: 555-561.