

河川生態系ネットワーク

北海道大学大学院 農学研究院 中村 太士

1. はじめに

生態系ネットワークは、物質や生物の移動を通じて形成されることから、本論では河川生態系を構成する重要なつながりを概説し、それらのつながりの総体を河川生態系もしくは流域生態系のネットワークと考えることにする。

流域に降った雨は、源頭部から山間部の溪流をへて扇状地に至り、自然堤防や三角州を形成しながら海にそそぐ。この間、スケールの異なるさまざまな地形や環境条件をつくりながら、河川生態系を形成している。上流から下流に向かう流れを「流程」と呼ぶが、生物はこの流程に沿って分布域を変えたり、移動したりする。さらに、実際の河川は、流程に沿った「線」の構造としてではなく、溪流が枝分かれした樹状のネットワークとして捉えるべきものである。

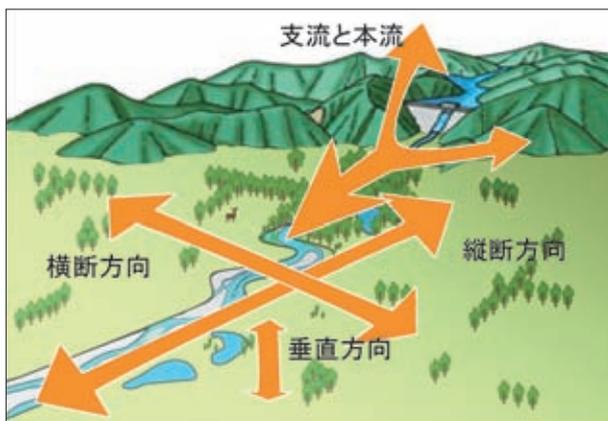


図1 河川生態系の重要なつながり

雨水は表土に浸透し、長い時間をかけて川にしみだし、多くの湧水を形成する。さらに流水は砂礫堆に浸透し伏流水を形成し、物質循環、生物生息場に大きな影響を与える。

そして河川生態系は流水で構成される水域と砂州や砂礫堆、氾濫原などで構成される陸域が、有機物供給、食物連鎖を通じて綿密につながっている。

本論では以上のつながりと人為的影響について、筆者がリーダーを務める河川生態学学会 - 十勝川研究グループの成果を引用しながら概説し、最後に流域を越えたつながりとして、地域づくりへの貢献（人とのつながり）について述べたい。



図2 十勝川の景観

2. 上流と下流（流程に沿ったつながり）

河川は線状の構造をしているため、土砂、有機物、栄養塩などの物質は上流から下流に向かって流下する。一方で多くの生物は上流と下流を行き来する。代表的には魚類があげられ、サケやウナギ、アユなどの通し回遊魚は、海と川を往復するため、上流と下流のつながりは最も重要になる。

また底生動物も、洪水時や増水時にあやまって受動的に流されたり、新たな採餌場所さらに捕食者と出会ったときの逃亡手段として能動的に流下すると言われている。

十勝川では河川環境の復元をめざしてフラッシュ放流を実施している（図6参照）。Koizumi et al. (2013) は、ダムの放水前、放水中、放水後に4本の支流で魚類の個体数を調べ、オショロコマやヤマメといったサケ科魚類が、本流増水中にのみ支流に入り込んできたことを明らかにした。この成果は、釣り人により語り継がれてきた逸話『大雨で河川が大増水した時、溪流魚は小さい枝沢（支流）に逃げ込む』を科学的に示したと同時に、支流と本流によって構成される河川ネットワーク構造が、洪水時の避難場所として機能していることを明らかにした。

3. 地下水と表流水のつながり

日本は火山国であり、火山噴火とともに大地に降った火山灰は透水性の高い表土を形成する。雨

水は表土に浸透し、長い時間をかけて川に浸みだし、多くの湧水を形成する。

一口に湧水と言っても、数十年という長い時間をかけて深い地層を移動し河川から浸みだす地下水と、浅い地層を通して数年で染み出す水など、その起源は様々である。湧水が流量に占める割合も河川によって異なっており、時として支流ごとに水温や流量の季節変化が異なる流域環境が形成される。

この多様な水温や流量の季節変化が河川に棲む生物に大きな影響を与え、湧水特有の種が生育・生息することによって、地域の生物多様性が高まる。十勝川研究でも、流水と湧水環境で生活する水生昆虫の種類は異なっており、湧水環境が保全されることによって、地域全体の多様性（ γ 多様性と称す）が高まることが明らかになっている。

一方で、流量が安定した河川環境は、洪水攪乱を受ける可能性が低く、ニジマスやブラウントラウトなどの外来種が放たれると、広く分散定着してしまう脆弱性を持っている。ネットワークを高めることは、時としてこうした外来種の侵入を容易にすることもあり、注意を要する。

湧水だけではない。川の水は時として礫河原や氾濫原に浸透し、再び河川に戻る伏流水を形成する。礫の間隙を通過する酸素の豊富な伏流水は、窒素などの栄養塩動態や礫間隙に棲む昆虫相、そしてサケ科魚類の孵化率に大きな影響を与えていることが知られている。

サケ（シロザケ）の産卵時期は、9-10月と11-12月にピークを持つ2つのグループに分かれることが知られている。この2つのグループは、産卵環境が異なることが観察され、間隙水の温度の違いが影響していると考えられた。十勝川研究では、砂州に井戸を設置し、間隙水域の分布と水位差、水温変動とサケ産卵床との関係を調べた。その結果、前期群は砂州の上流側、後期群は下流側に集中して産卵していたことが明らかになっている。2つのグループは地下水温度の違いによって孵化するタイミングが調整され、稚魚は翌春、一斉に海に降下するという、きわめて興味深い事実が明らかになっている。

4. 河川と周辺陸域とのつながり

河川と砂礫堆・氾濫原は、食物連鎖や有機物供給を通じて密接につながっている。古くは河畔林樹冠による日射遮断効果による水温や一次生産への影響が研究され、さらに森林から供給される落葉や倒木の分解、倒流木による生息場形成などが

研究され、河川生態系における外来性有機物の重要性が示されてきた。

さらに、羽化した水生昆虫の鳥類やコウモリ類による捕食、遡上したサケのクマによる捕食など、水域から陸域への還元も研究されてきた。十勝川ではこうした水域と陸域のつながりについて、流域レベルで研究を進めている。サクラの開花時期が平均気温の積算温度で決まるように、生物は積算温度で分布域や生活史ステージを変化させる。水生昆虫の羽化のタイミングもこの積算温度によって決まっており、冬暖かくて夏に冷たい湧水環境下では羽化タイミングが早まる。こうした羽化時期のずれは、それを捕食する鳥類やコウモリなどの種組成や季節分布に影響を与えることが明らかになっている。

5. 人為的な影響

ダム建設や河川改修が実施されていない日本の河川は、ほとんど存在しない。そして、これらの人工構造物が、これまで述べてきた様々なつながりを分断し、ネットワーク構造を単純化してきたことは否めない。一方で、生物はこうした人為的景観の中でも水路やため池で構成されるネットワークを巧みに利用しながら生きながらえてきた。

十勝川研究では、これら人為的な景観におけるネットワーク構造が、種や遺伝的多様性に与える影響についても調査してきた。河跡湖における魚類・水生昆虫の種および遺伝的多様性が、河跡湖のサイズや環境のみならず、用水路・河川を介した連結性によってどの程度説明できるか、グラフ理論を用いて検討した。その結果、種多様性について、魚類は流路距離、水生昆虫は直線距離を考慮した生息地ネットワークの構造と関係していた（図3）。

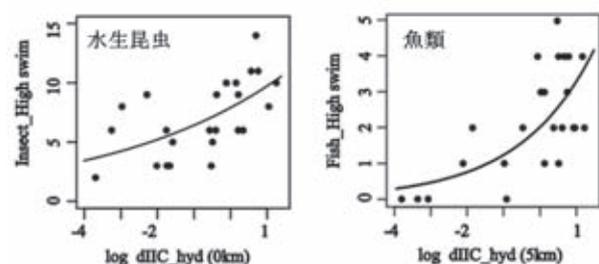


図3 連結性指標と種数の関係（横軸のdIIC_はグラフ理論に基づく連結性指標、縦軸は遊泳能力の高い種群の種数）(Ishiyama et al. 2014)

また、イバラトミヨを対象に、個体数と遺伝的多様性について最も影響を受ける湖沼間の距離を解析した結果、個体数と遺伝的多様性ともに湖沼の連結性とは正の関係があるものの、影響を受ける湖沼間の距離は個体数（5 km）より遺伝的多様性（12.5km）の方が長いことが明らかになっている（図4）

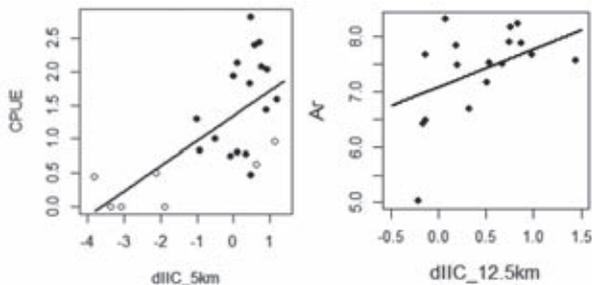


図4 個体数および遺伝的多様性に影響を与える閾値距離 (Ishiyama et al. 2015) (横軸のdIICはグラフ理論に基づく連結性指標、縦軸のCPUEは単位努力量当たりの捕獲個体数、Arは遺伝的(アレル)多様度を指す。)

近年は、河川の人工構造物の改良や運用方法を変えることによって、河川生態系がもつ本来のネットワーク構造を回復する試みも全国で見られるようになってきた。古くは魚道があり、近年では物質の流れの復元をねらって砂防・治山ダムのスリット化（不透過型ダムから透過型ダムへの転換で、堤体に切れ目を入れる方法）が実施されている。さらに、直線化された河川の蛇行化やワンドの造成なども実施されている。

砂礫堆や氾濫原に樹木が侵入・定着し旺盛に繁茂する樹林化現象が全国の河川で問題となっている。十勝川でも樹林化が進行し、森林性鳥類が増える一方、砂礫性鳥類の個体数、種数ともに減少することが明らかになっている（図5）。こうした樹林化に伴う、哺乳類・鳥類の移動、分布域拡大に関して、河畔林や耕地防風林のネットワーク構造が与える影響を解析した。その結果、十勝川流域において河畔林は森林ネットワークを構成する上できわめて重要な役割を果たしていることが明らかになり、動物相の移動に大きく影響していると推定されている。一方で、樹林化による河畔林ネットワークの拡大は、奥山から里山への野生動物の移動を容易くし、エゾシカによる農作物の食害など、農業被害も拡大している。

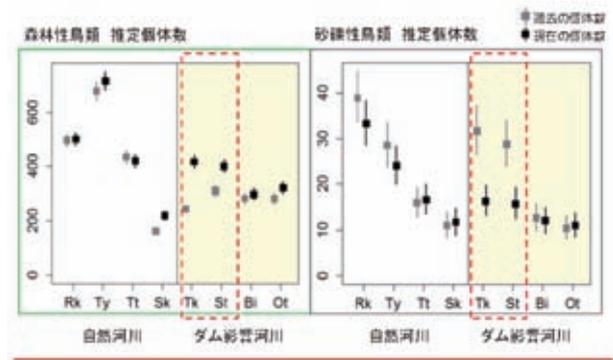


図5 樹林化に伴う砂礫性鳥類の減少 (Yabuhara et al. 2015)

十勝川支流札内川における樹林化は、発芽床として砂礫堆裸地が必要なケショウヤナギの更新も難しくしていた。樹林化を抑え、砂礫河原を回復し、ケショウヤナギの更新動態を維持する目的から、札内川ダムでは、ケショウヤナギの種子散布時期（6月下旬から7月上旬）に合わせて、2012年より毎年、最大放流量 $120\text{m}^3/\text{秒}$ に匹敵するフラッシュ放流を実施している（図6）。この洪水前後の現地調査の結果、扇状地礫床河川で礫が動くための無次元掃流力 $\tau^* > 0.05$ の力が加われば河床変動が発生することが明らかになり、20年に1度発生する大規模洪水と融雪洪水を模倣したフラッシュ放流があれば、洪水攪乱想定範囲内で、ケショウヤナギを中心とした林分がシフティング・モザイク構造を形成し、ケショウヤナギの更新動態は維持されることが明らかになった。



図6 札内川ダムにおけるフラッシュ放流 (2014年6月24日撮影)

6. 流域を越えたつながり

豊岡市円山川でのコウノトリの放鳥や佐渡島でのトキの放鳥など、一度は絶滅した大型の鳥類を人工繁殖によって飼育数を増やし、野外に放たれる試みが近年実施されている。その結果、日本各地で定着や繁殖が報告されている。こうした大型の鳥類の生息場環境を整えるためには、流域内のつながりだけでは狭く、流域間もしくは地域のつながりが重要になってくる。

北海道のタンチョウも同様で、現在1300羽を超え、個体数だけでは安定した個体群を維持できる数になっている。しかし、道外（ロシア）からの移入はほとんど確認されておらず、遺伝的多様性はきわめて低いのが明らかになっている。そのため、環境省も釧路川流域の釧路湿原から道内の他流域にある湿地帯へ、タンチョウ分散計画を立てているが、そのためにも流域間のネットワーク構想が必要になってくる。



図7 千歳川流域の舞鶴遊水地

北海道の千歳川流域では、洪水を抑えるために、現在150～280haにおよぶ広大な遊水地が6か所建設されている。そのうちの一つ、舞鶴遊水地はすでに完成し、湿地景観を呈している（図7）。雪解け時には多くのハクチョウ、マガン、オオヒシクイが集まり、今年はタンチョウも飛来した（図8）。先に述べた湧水の存在がここでも重要になっており、冬季凍らない餌場が確保できれば遊水地

は重要な繁殖場所として機能するだろう。千歳空港に降りて、タンチョウが雪原に舞う姿を見られるのは決して夢物語ではなく、そうなれば多くの観光客が訪れる遊水地になるだろう。タンチョウが生息する自然豊かな景観は、経済的な豊かさ以上に心の豊かさを提供するだろう。そしてその地域が生産する安心安全な農作物は、更なる付加価値をもって消費者に受け止められることは間違いない。河川を通じた生態系ネットワーク構想は、これまでの治水のみならず、自然の豊さを通じて地域社会に貢献できる可能性を持っている。



図8 2016年3月16日に舞鶴遊水地に降りたタンチョウ

7. 引用文献

- Ishiyama N, Akasaka T, Nakamura F (2014) Mobility-dependent response of aquatic animal species richness to a wetland network in an agricultural landscape. *Aquatic Sciences*, 76(3):437-449
- Ishiyama N, Koizumi I, Yuta T, Nakamura F (2015) Spatial network structure and scales differently affect the population size and genetic diversity of the ninespine stickleback in a remnant wetland system. *Freshwater Biology*, 60:733-744
- Koizumi I, Kanazawa Y, Tanaka Y (2013) The fishermen were right: experimental evidence for tributary refuge hypothesis during floods. *Zoological Science*, 30(5): 375-379