

## 近年の研究成果①十勝川

# 河川景観ネットワークの連結性と時空間変化(十勝川)

## -湧水と氾濫原の変化が生物群集に与える影響に注目して-

北海道大学 中村太士

## 1. はじめに

十勝川流域では、様々な治水対策が実施され、少なからず河川の環境に影響を与えてきた。特に、上流と下流の連結性はダムによって分断され、河川と氾濫原、周辺農地との連結性は、築堤や河道の直線化等によって失われた(写真1)。

このプロジェクトでは、河川景観ネットワークの歴史的、流域的变化を、景観要素の連結性と生物相の応答の観点から解析し、その頑強性と脆弱性を評価することを目的とした。また、連結性の中でも特に、地下水と河川水のつながり、すなわち「湧水の役割」さらに堤内池沼も含めた「氾濫原の変化が陸域・水域生物に与える影響」について検討した。



写真1 十勝川の景観(北海道開発局提供)

当時、河川景観とか連結性という言葉は、国際誌には登場していたが、日本では本格的に研究されていなかった。流域景観や連結性を具体的に考

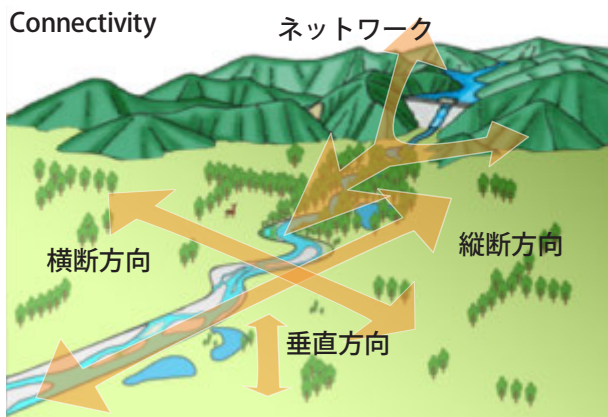


図1 河川景観と連結性

えた時、3つの連結性に注目することとした。一つは上流と下流の連結性、もう一つは河川と氾濫原の連結性、そして地下水・地中水と河川水との連結性である(図1)。また、支流と本流のネットワークについても検討することにした。さらに、洪水攪乱の頻度や規模、構造物によって、これらの連結性が時間的にどのように変化するか、も重要なテーマとなった。

## 2. 流域環境形成における湧水の役割

十勝川水系では、流域環境形成において、湧水河川の存在が河川および周囲の生物生息環境を考える上で極めて重要な要因となっている。そこで、湧水環境が河川性生物および河川に依存している陸生生物の生息、および生物多様性の維持にどのような影響を及ぼしているのかを検討した。

湧水河川と非湧水河川において、酸素・水素安定同位体比、細粒土砂の堆積状況、底生動物の種組成、羽化のタイミング等について違いを検討した。その結果、湧水は、標高の低い扇状地面に降った雨が扇端部で湧出していること、さらに湧水と非湧水河川における底生動物の種組成、羽化量、羽化タイミングは大きく異なることが示された。

羽化昆虫の主要な陸上捕食者であるコウモリ類は、季節ごとに羽化量の多い河川へ集団で移動していることが示された。このことから、コウモリ類は、河川ネットワークレベルで採餌効率が上がるような捕食行動をとっていることが示唆された。

本川、湧水河川、二次流路および氾濫原水域のシロザケ稚魚の生育場としての機能を評価した。その結果、流下餌量の少なさにも関わらず、湧水河川でのシロザケ密度および胃の膨満度は他と比べて高くなっており、稚魚期の生育場として重要であることが示唆された。

シロザケの産卵時期は9-10月と11-12月にピークを持つことが知られている。水温変動とサケ産卵床との関係を調べた結果、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た。また、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ことが明らかになった。

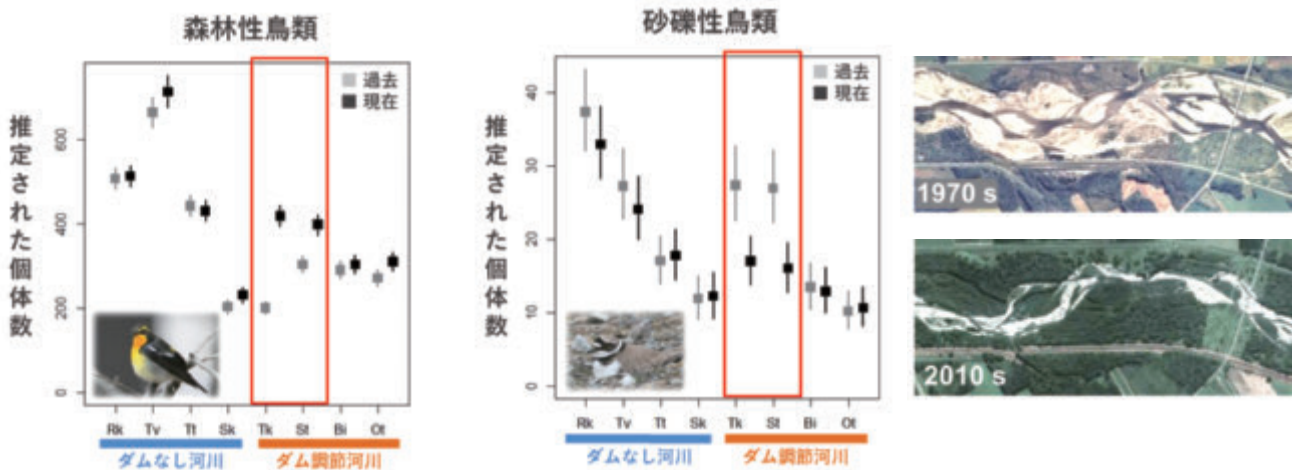


図2 河道の樹林化に伴う鳥類相の変化 (Yabuhara et al. 2015)

札内川本川とその流入河川（湧水）では類似したカゲロウ科の水生昆虫の生息が確認された。これらの種は外部形態からは判別ができないほど形態が類似していたが、羽化時期には1か月前後のずれが認められた。詳細な遺伝解析を実施したところ、これらのカゲロウ類は遺伝的に分化しており、別種であることが強く示唆された。

### 3. 氾濫原環境の変化が生物相に及ぼす影響

十勝川水系では、流況の安定化に伴い、もともと頻繁に氾濫していた河道に樹木が定着している。また、市街地からの排水流入に伴う河川の富栄養化の影響も懸念されている。こうした氾濫原・河川環境の変化が、生物多様性、ひいては生態系機能にどのような影響を及ぼすのか検討した。

森林性および砂礫性鳥類の個体数と生息地面積の関係をモデル化した。これにより、過去の空中写真から生息地面積の情報を得ることで、過去の鳥類個体数を推定できるようになった。この手法により、過去と現在の鳥類個体数を比較したところ、砂礫性鳥類の個体数が著しく減少していることが明らかになった (Yabuhara et al. 2015)。

森林性鳥類の分布を規定する要因を様々な季節ごとに調べた。その結果、森林性鳥類の分布規定要因は季節に応じて異なっており、繁殖期は河畔林、越冬期は針葉樹林で個体数が多く、分散期は連結性が高い森林で個体数が多く出現していた。さらに、群集の類似度解析を行った結果、繁殖期の河畔林の森林性鳥類の種構成は他の森林のものとは大きく異なることが明らかとなった (Yabuhara et al. 2019)。

哺乳類、鳥類、昆虫の移動、分布域拡大、および農業被害に対して、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調査した。グラフ理

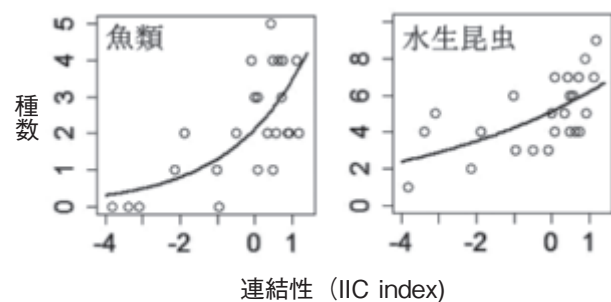


図3 湖沼の連結性と水生生物の多様性 (Ishiyama et al. 2014)

論を用いた解析の結果、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た。

氾濫原に残存する湖沼群の生物相を調べたところ、希少性の高い生物が多数生息することが分かった。さらに、水路・河川による河跡湖間のつながりの程度（連結性）が、残存湖沼群の水生生物の種および遺伝的多様性に及ぼす影響について検討した。その結果、流路ネットワーク構造の連結性が高くなるほど、魚類および水生昆虫の種多様性が増加することが明らかになった (Ishiyama et al.

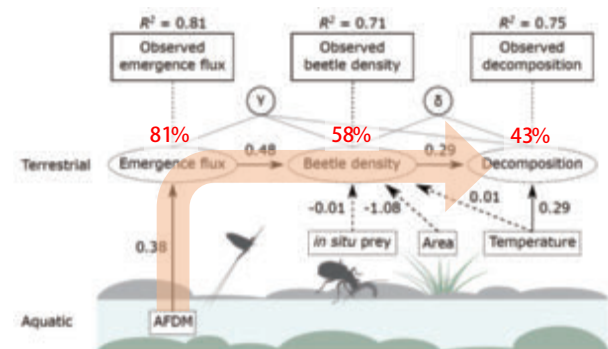


図4 河川の富栄養化が陸域の分解速度に与える影響 (Terui et al. 2018)



2014)。また、イバラトミヨの遺伝的多様性は、個体数と比べて、より広い空間スケールの連結性によって影響を受けることが示唆された (Ishiyama 2015)。

富栄養化に伴う食物網構造の変化を安定同位体比によって調べた。その結果、富栄養化によって、食物連鎖長（藻類から始まり、魚類に終わる生食食物連鎖）が短絡化することが示された。

砂礫堆に生息するオサムシ科甲虫類は、種による違いはあるが、ほとんどの種が河川由来のエサ資源に依存することが明らかになった。そのため、富栄養化に伴う羽化昆虫量の増加は砂礫堆上の甲虫密度を高めることがわかった。さらに、富栄養化による甲虫密度の増加に伴い、陸域の死骸分解速度も著しく早まることが明らかになった (Terui et al. 2018)。

#### 4. 人工放流による河川生態系の応答と復元

十勝川支流札内川では、ケショウヤナギの保全、ならびに樹林化した氾濫原に礫河原を再生するため、ケショウヤナギの種子散布時期に合わせて人工放流が実施されており、この事業にプロジェクトとして協力した。

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（写真2）。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、さらにその年代分布が定常状態を仮定できる指数関数的な減少傾向をもつことが明らかになった (Nakamura et al. in press)。



写真2 ダムからの人工放流（2014年6月24日）

河畔林の定着から成長、洪水による破壊を組み込んだ水理モデルが完成した (Nagata et al. 2014)。このモデルを使って、人工放流による中規模かく乱が河川構造に及ぼす影響を数値シミュレーションにより検討した。その結果、中規模かく乱により動的に維持される河道幅が拡張し、若齢の樹木も増えることが予測された。また、流路が収束している箇所（節）と発散している箇所（腹）に注目した網状河道の維持機構に関する水理的検討も行った。その結果、1) 節腹が河道の連続した平面形状を再現すること、2) 節腹の移動により旧川が取り残されること、3) 節腹に対応して瀬淵構造が形成されることが明らかになった。

さらに、こうしたフラッシュ放流を実験と位置づけ、魚類や底生動物、陸域の昆虫の変化も調べている。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、ダムや堰堤により河川のネットワーク構造が断たれると洪水期に溪流魚の逃げ場がなくなり、個体数の減少など個体群に負の影響を与えることを示唆している。

人工放流に対する砂礫性昆虫（オサムシ科）の応答を調べたところ、放流直後から個体数の迅速な回復が見られた。また、オサムシ科甲虫による砂礫上での死骸分解速度についても、個体数の回復が迅速であったため、大きな低下は観察されなかった。さらに水生昆虫の応答を調べたところ、出水にともなう羽化量およびベントスの明瞭な減少が認められた。

#### 5. 河川整備・管理への活用

以上の成果から、十勝川流域の生物多様性の維持・管理において、鍵となる景観要素、連結性のあり方、そしてそれらの空間スケールが明らかになった。これらの情報は、河川管理の際に優先的に対処すべき景観要素や連結性タイプの特定に有効である。以下に、河川整備・管理への活用について述べる。

十勝川水系は、湧水および氾濫原環境を中軸とした河川景観ネットワークを形成しており、生物多様性を支える基盤となっている。しかし、この基盤を揺るがす脅威として、以下の三つの要因が浮き彫りになった。すなわち、人による流況改変、

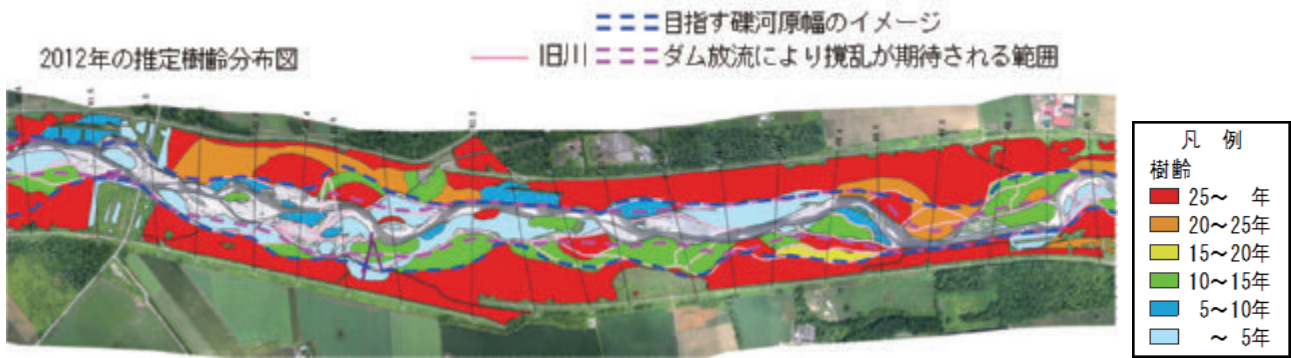


図5 河川氾濫原内の地形面年代分布と洪水攪乱想定範囲 (Nakamura et al. in press)

生息地ネットワークの分断化、排水流入による富栄養化である。

① 流況改変：流況改変に伴う氾濫原環境の変化（樹林化）は、砂礫堆というユニークな生息地の減少をもたらすだけでなく、森林パッチネットワークの改変を通じて農業被害の増加にもつながる可能性が示唆された。このような問題に対し、人工放流による流況レジームの部分的な復元が、これらのインパクトを軽減するひとつの手段として有効である（動的に維持される河道幅の拡張）。札内川では、2012年より人工放流が継続して行われているが、その効果はケショウヤナギの生息地再生のみならず、より広範な生物相・生態系サービスの改善に貢献すると思われる。生物相および河道の長期的モニタリングが不可欠ではあるが、今後も継続することが望まれる。

② 生息地ネットワークの分断化：氾濫原に残存する湖沼群には希少性の高い生物が多く生息するにも関わらず、氾濫頻度の低下に伴う生息地ネットワークの分断化が著しい。本プロジェクトの成果から、残存する湖沼群の連結性は、農地用水路のような人の作った移動経路によっても十分維持される可能性が示唆された。その際には、保全対象となる分類群や階層（種多様性、個体数、遺伝的多様性）を明確にし、保全目標に応じて優先的に保全する連結性タイプや空間スケールを選ぶ必要がある。

③ 富栄養化：市街地からの排水流入は、河川内食物網構造の改変をもたらすことがわかった。また、河川-陸域をまたがる生物の移動を通じ、砂礫堆のような陸域生態系の生物相および機能へも波及することが分かった。これらの成果を踏まえると、河川と河畔を分離した生態系として扱うのではなく、相互に結ばれた一つのセットとして捉える必要がある。今後、富栄養化を含む河川水汚染の影響評価を行う際には、河川内環境だけでなく、河畔環境も含めた包括的な視点が必要だろう。

## 6. おわりに

本研究プロジェクトを通じ、湧水および氾濫原環境の重要性が明らかになった。その一方で、河道の改変、富栄養化および流況変化に代表される人為的影響により、その構造と機能が大きく変わりつつあることも示された。

今後進むであろう人口減少は、流域の土地利用の大半を締める耕作地の放棄などをもたらし、栄養塩負荷や雨水流入のプロセスを大きく変化させると考えられる。また、気候変動に伴う台風豪雨などの極端なイベントの増加は、これまで考えられなかったような流況レジームをもたらす可能性も十分にある。今後は、こうした大局的な流域環境の変化に対し、生物相がどのような応答を示すのかを明らかにし、工学的な知見と合わせて現実的な河川管理のあり方を探る必要があるだろう。

## 7. 主な発表論文（国際誌）

- Nakamura, F., Watanabe, Y., Negishi, J., Akasaka, T., Yabuhara, Y., Terui, A., Yamanaka, S., and Konno, M. (in press) Ecological Engineering.
- Yabuhara, Y., Yamaura, Y., Akasaka, T., Yamanaka, S., and Nakamura, F. (2019) Forest Ecology and Management 454: 117-140.
- Terui, A., Negishi, J., Watanabe, N., and Nakamura, F. (2018) Ecosystems 21: 772-781.
- Koizumi I., Tanaka Y, and Kanazawa Y. (2017) Ichthyological Research 64: 353-356.
- Koizumi I, Kanazawa Y, Yamazaki C, Tanaka Y and Takaya K (2017) Ichthyological Research 64: 197-203
- Terui A, Akasaka T, Negishi JN, Uemura F, Nakamura F. (2017) Ecological Research 32: 27-35.
- Ishiyama N, Sueyoshi M, Watanabe N, Nakamura F. (2016) Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 26: 416-428.
- Ishiyama N, Koizumi I, Yuta T and Nakamura F. (2015) Freshwater Biology 60: 733-744.
- Ishiyama N, Sueyoshi M & Nakamura F (2015) Royal Society Open Science 2: 150033.
- Yabuhara Y, Yamaura Y, Akasaka T, Nakamura F. (2015) River Research and Applications 31: 109-119.
- Nagata, T., Watanabe, Y., Yasuda, H., Ito, A. (2014) Earth Surface Dynamics 2: 255-270
- Ishiyama N, Akasaka T, Nakamura F. (2014) Aquatic Sciences 76: 437-449.
- Koizumi I, Kanazawa Y, Tanaka Y. (2013) Zoological Science 30: 375-379