

積雪寒冷地河川における水理的多様性の持続的維持を可能にする河道設計技術の開発

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：寒地河川チーム

研究担当者：平井康幸、永多朋紀、赤堀良介

【要旨】

札内川では、治水上の要請から護岸や水制工などの河川改修工事が流域各所で行われてきた。近年、流路の固定化と植生の樹林化が進行し、札内川の特徴であった礫河原が急速に消失しつつある。流路の固定化は河道内の流況を単調化し、水生生物の生息環境を悪化させる可能性があるほか、河道内植生の樹林化は洪水期の水位上昇を招くため、治水・環境両面から早急な対策が求められている。本研究は、過去の河道形状や水量等の経年変化の体系化と数値解析とを組み合わせ、河川環境の変化要因の解明を試みた。その結果、洪水発生頻度の低下と樹林化との因果関係が確認された一方で、河岸の拡張形状による樹林化抑制効果も示唆された。

キーワード：札内川、樹林化、河川生態系評価、河道変遷

1. はじめに

札内川は、河道内に広がった礫河原の上に複列の砂州が形成されていることが知られている（図-1）。このような河道では、出水毎に流路の移動と河床の更新が繰り返されるため、治水上の要請から、河道安定化策として流路を河道の中心方向へと誘導するための水制工が流域各所で敷設されてきた。しかし近年、流路が固定化された河道内では、砂州の横断方向の波数の減少や河道内植生の樹林化が目立つようになり、これらの現象と呼応するように札内川の特徴であった礫河原が急速に消失しつつある。このような河床形態の変遷は、河道内の流況を単調化し水生生物の生息環境を悪化させる可能性があるほか、これに伴い生じる河道内植生の樹林化は洪水時の流下阻害ともなるため、治水・環境両面から根本的な解決が求められている。しかし、現状では札内川にこのような河道変遷をもたらされた要因やその物理機構はほとんど明らかにされておらず、生物相に与える影響についても、これを定量的に評価するための指標は十分に開発が進んでいない。

本研究では、河川改修工事等の履歴や水理・水文学の経年変化を整理し、河川環境の変化との因果関係を検証するとともに、数値解析を用いてその支配的な要因の解明を試みる。また、河川環境の変化が生物相に与えた影響を定量的に評価するための準備段階として、生物量と物理量に関する現地調査を行い、その結果をもとにした選好度解析から両者の対応関係について検討を行った。



図-1 昭和 53 年の河道状況 (KP0/34～0/37)

2. 河川環境の変化

河川環境の変化要因としては、ダム建設や河川改修等の人為的なもの、または水文・気象などの自然由来のものが考えられる。以下これらの河道内インパクトと河道変遷との因果関係について検証を行う。

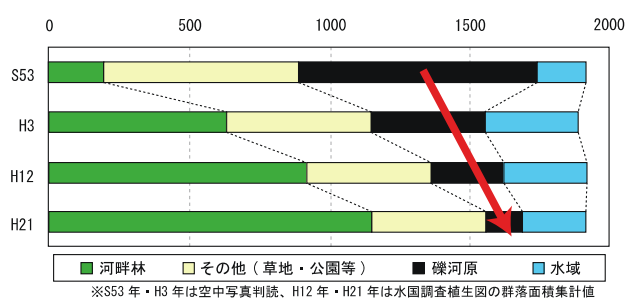
2. 1 河道内植生の樹林化

図-2 に示す航空写真は、昭和 53 年と平成 22 年の河道状況を比較したもので、撮影範囲は札内川中流 KP0/32～0/37 の中札内橋上下流 5km 区間である。これらの写真および河川工事履歴などから推定される当該区間の河道変遷の経過を以下に述べる。

本格的な河川改修工事が行われる前の昭和 53 年当時の河道内には、礫河原が広がり複列砂州の網状流路が形成されていた。河畔林は低層かつ疎らであることから、当時は河床の攪乱や流路の更新が定期



図-2 河道状況の変化（昭和53年～平成22年、戸蔦別川合流点より上流、KP0/32～0/37）



※S53年・H3年は空中写真判読、H12年・H21年は水国調査植生図の群落面積集計値

図-3 水制工設置数と礫河原幅の変遷
(直轄管理区間、出典：北海道開発局)

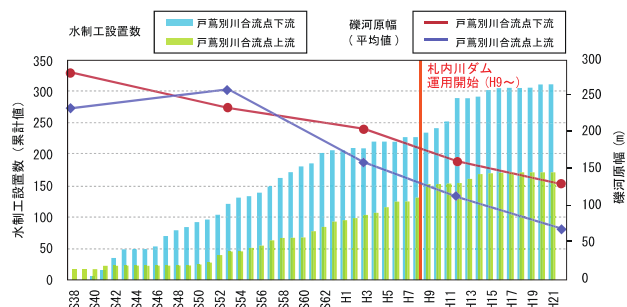


図-4 河畔林及び礫河原等の面積変化 (ha)
(直轄管理区間、出典：北海道開発局)

的に繰り返されていたものと推察される。その後、昭和50年代後半から平成初期にかけて多数の護岸・水制工が敷設されるとともに、大規模な高水敷整備が為されたことで、低水路内を流路が蛇行し得る横断幅(流路幅)が大きく縮小することとなった。平成9年には札幌川ダムの供用が開始され、その後平成10年代後半から流路の固定化と単列砂州化が急激に進行し始め、これと同時に河道内植生の樹林化が顕著に現れることとなった。

図-3は河畔林と礫河原の過去30年間の面積変化を示している。河畔林等が河道内に占める面積の変化からも河道内植生の樹林化と礫河原の減少は明らかで、過去30年間では河畔林は約6倍に増加する一方、礫河原は約1/5に減少したことが既往の調査によって確認されている。

2.2 護岸・水制工の設置状況

このような河道状況の変化がもたらされた要因の一つとして、河川改修等の人為的なインパクトの影響が考えられる。図-4は戸蔦別川との合流点KP24.5の上下流区間における水制工設置数の変化を示している。図から、両区間ともに昭和30年代後半から徐々に水制工の敷設が始まり、その後設置数の増加に伴って礫河原が減少していった様子が見てとれる。

図-5は平成21年時点における札幌川流域の護岸・水制工の設置状況である。枠で囲まれた範囲が図-2の撮影範囲に相当し、護岸・水制工・高水敷の整備によって流路幅の縮小が最も顕著に現れている区間でもある。札幌川で見られる護岸施工の大きな特徴は、下流域の市街地周辺を除く多くの箇所では護岸と水制工が組み合わせられた形で設置されているこ

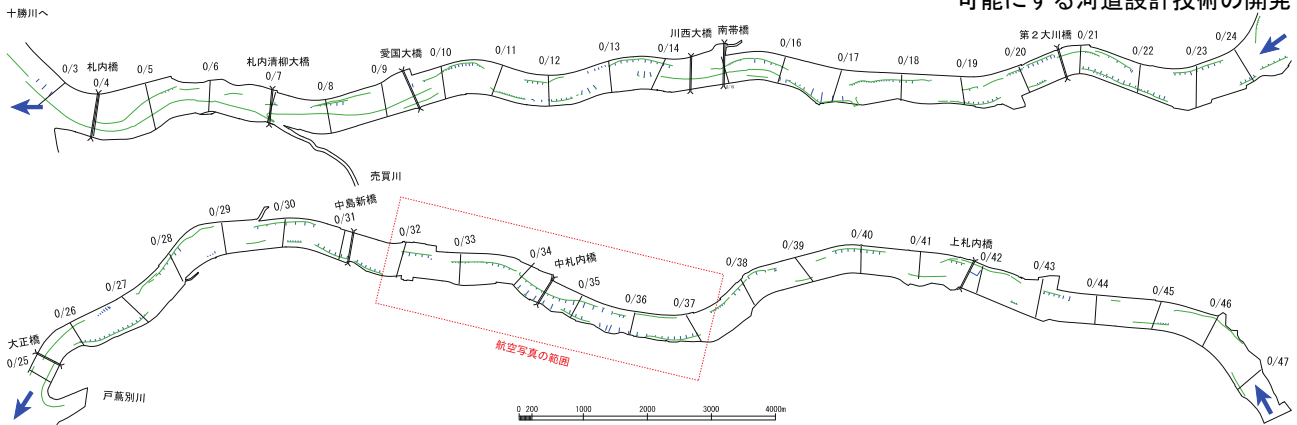


図-5 護岸水制工の設置状況（平成 21 年時点）

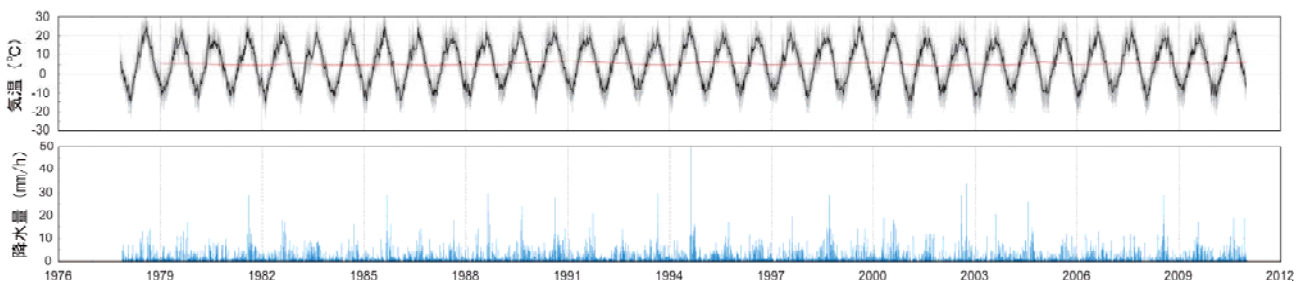


図-6 気温・降水量の変遷（上札内観測所，気象庁アメダス，昭和 53 年～平成 22 年：32 年間）

とである。これは、水制近傍の土砂堆積を促進し水衝部の河床洗掘を防ぐことを目的とした工法であるが、水制裏に堆積した土砂がやがて低水路内を高水敷化し、植生の侵入を促すとともにその後の樹林化を誘発したと思われる箇所が多く存在する。このことは水制工の設置と河道内植生の樹林化の因果関係を十分説明し得るもので、このような護岸と水制工の組合せによる人為的な流路幅の縮小も、河道内の樹林化をもたらした一つの要因であると推察される。

2. 3 水理・水量の変遷

図-6 は上札内観測所の過去 32 年間の気温と降水量の変化を示している。図からは、近年急激に進行しつつある河道内の樹林化との因果関係を結ぶような特筆すべき変化は見受けられない。

次に、上札内水位流量観測所 KP41.8 及び札内川ダムにおける過去 43 年間の流量とダム流入量から算出した出水発生頻度の変化を図-7 に示す。この図は、ピーク流量が $100\text{m}^3/\text{s}$ を越えた回数を $100\text{m}^3/\text{s}$ 間隔で年毎にそれぞれ累計したもので、ピーク流量の規模は色の濃さで表されている。上段が上札内観測所の流量データから集計したもので、下段は札内川ダムの流入量から同様に行ったものである。

上段に示す上札内観測所は、調査区間同様に札内川ダムと戸蔦別川合流点の中間に位置しているため、ダムの供用開始以降は、ダムによる洪水調節の影響

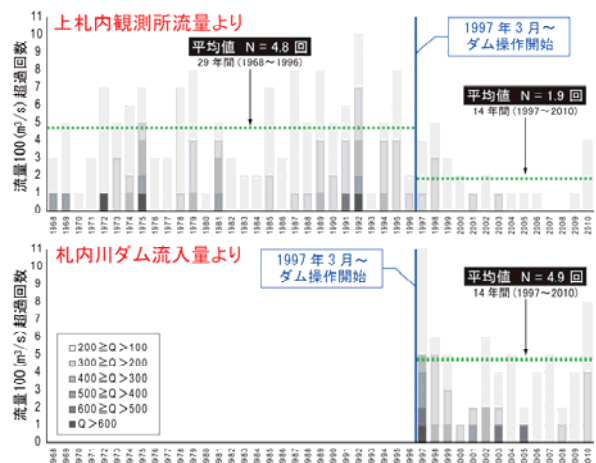


図-7 出水発生頻度の変化（戸蔦別川合流点上流）

を直接的に受けることとなる。図から平成 9 年を境に出水発生頻度に明らかな違いが見受けられ、 $200\text{m}^3/\text{s}$ 前後の中規模出水の発生頻度が大きく減少するとともに、 $300\text{m}^3/\text{s}$ を越えるような比較的大きな出水は過去 18 年にも亘って 1 度も発生していなかったことがわかる。先に述べたように降雨量には目立った変化が無かったことから、これは洪水調節の影響によるものと考えられる。

下段に示す札内川ダムの流入量は、概ね上札内観測所の流量と一致することから、当該流量を仮にダムが無かった場合の出水発生頻度に見立てて両者を比較することが可能である。ダムの供用開始以前の

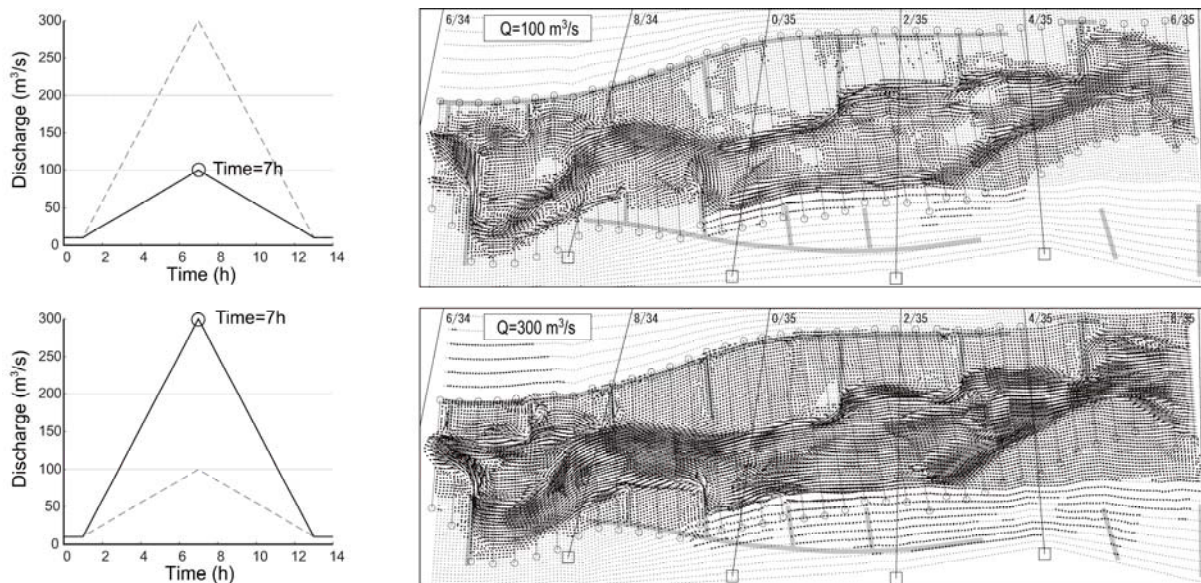


図-8 流況解析結果（左図：流量ハイドロ、右図：ピーク流量時の流速ベクトル図）

29 年間における平均出水発生頻度は年間 4.8 回であるのに対し、ダムの供用開始以降はその約 4 割にあたる 1.9 回にまで減少している。一方、ダム流入量の 14 年間の平均は 4.9 回と、ほぼダムの供用開始以前のものとして一致しており、ダムによる洪水調節によって年間の出水発生頻度が本来の 4 割程度に抑制されていることがわかる。出水発生頻度やその規模の低下は、河床攪乱の頻度や規模を低下させるものと考えられ、樹林化との因果関係は十分考えられる。

3. 河床形態の形成要因

3. 1 出水規模と低水路河岸の拡縮形状

出水頻度および規模の低下と河道内植生の樹林化との因果関係を検証するため、ピーク流量の大きさのみを変えた簡易的なハイドロ形状を 2 パターン与え、各解析結果について比較検証を行った。解析には iRIC の Nays-2D ソルバーを用い、河床形状は平成 23 年の出水後に測定された横断測量データを用いた。また、植生条件は同時期に撮影された航空写真から推定し、粒径は同じく河床材料調査から得られた d_{60} を与え、単一粒径の下で計算を実施した。各ピーク流量時の流速ベクトル図を図-7 に示す。

3. 1. 1 Q=100

解析結果から、流量 $100\text{m}^3/\text{s}$ の条件では当該区間の中州部分は一部浸水しない箇所も出るなど、概ね 30cm 以下の水深であった。流速分布から、主流は低水河岸や水制工の先端付近に沿った形で 2 つの流れが形成され、中州部分の流速は比較的緩やかになることがわかった。河床変動量から、流量 $100\text{m}^3/\text{s}$ 規

模の出水では中州部分の攪乱は少なく、左右岸に沿った 2 つの主流路で若干の河床低下が見られた。これらのことから、当該区間に関しては融雪出水規模の流量では、比高差を高める方向に河床が変化するものと推察され、低水路内全体を攪乱し樹林化した植生の更新を図ることはできないものと推察される。

3. 1. 2 Q=300

流量 $300\text{m}^3/\text{s}$ の条件では水制裏を含め低水路全体が冠水し、中州部分の水深は 1m 程度に達した。流量 $100\text{m}^3/\text{s}$ の時と同様に、兩岸に沿った 2 つの流れが主流となって高流速部を形成するが、中州部分の流速が相対的に高くなっていることがわかる。また、兩岸に沿う 2 つの流れの平面線形は拡縮型の形状を成しており、高橋、安田¹⁾が指摘するように、当区間で形成された中州はこのような河岸の拡縮形状によって作られた強制砂州の成分であると考えられる。すなわちこのような河岸の拡縮形状が維持されている状態であれば、たとえ河床の攪乱を伴った場合でも、現在の複列砂州の河床形態は持続的に維持されていくものと考えられる。流量 $300\text{m}^3/\text{s}$ では中州部分は大きく攪乱を受けることから、前節で述べたように、 $300\text{m}^3/\text{s}$ 規模の洪水が過去 18 年間にも亘って一度も発生しなかったことが、河道内植生の樹林化と単列砂州化を促進したものと推察される。

また、このような洪水時でも、水制裏の流れは非常に緩慢であるため、河床攪乱の効果は兩岸に設置された水制工の先端に挟まれた範囲に限定される。



図-9 水生生物調査区間（中札内橋上流、KP6/34～6/35、L=1km）

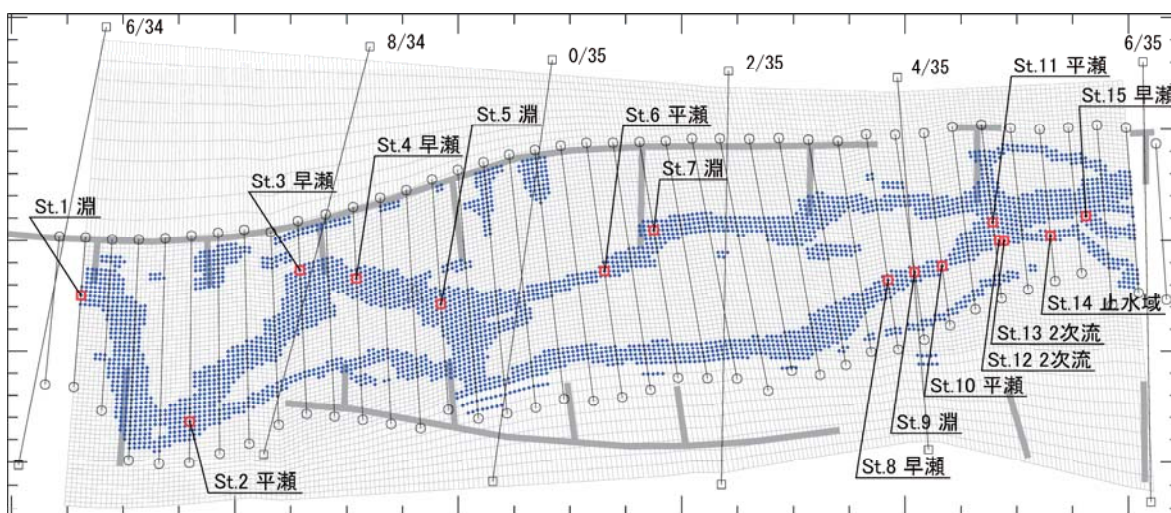


図-10 生物調査プロットと調査時の流水面位置（解析結果）

4. 河川環境調査

札内川の河川環境は、複列砂州が河道内全域を占めていた昭和50年代当時と比べ、現在は、河川改修工事や植生の樹林化などに伴う流路の単列化が急速に進行し、流況の単調化に伴う生物生息環境の悪化が懸念されている。しかし、上記で述べたような河床形態の変化が、生物相に対してどのような影響を及ぼしているかは推測の域を出ず、物理環境に対する生物相の応答を精度良く説明し得る指標無くしては、生物面からみた河川環境の現状把握は難しい。

本研究では、このような課題を解決し得る河川生態系評価モデルの構築に向け、その準備段階として、生物量と物理量との相関分析を行う。対象とする物理量は、同一流域であっても上下流域で流況が異なるような場合や他の河川でも十分適用できるよう、空間的な特性を含まない無次元量を対象に、生物量（生息密度）との相関を見ることとした。

4. 1 調査概要

調査区間を図-8に、各調査プロットを図-9の□で示す。水生生物の採集は、4m四方の方形区を計15箇所現地に設定し、プロット全体を網で包囲した後、電撃捕獲器やサデ網等を用いて行った。また、図-9の青点群は水理解析より得られた流水面位置である。同時期に撮影された図-8との比較から、このような複列状の複雑な流路を成す河道であっても、十分な精度の水理解析結果が得られることを確認した。

4. 2 調査結果

捕獲された魚類のうち約85%はハナカジカ、フクドジョウ、スナヤツメの3種の底生魚が占め、遊泳魚は止水域で捕獲されたイバラトミヨと水制工周辺で捕獲されたニジマス、ヤマメの3種であった。このうち1箇所のみでしか生息が確認されなかったイバラトミヨとヤマメについては、分析対象からは外し、残りの4種について各調査プロット内における

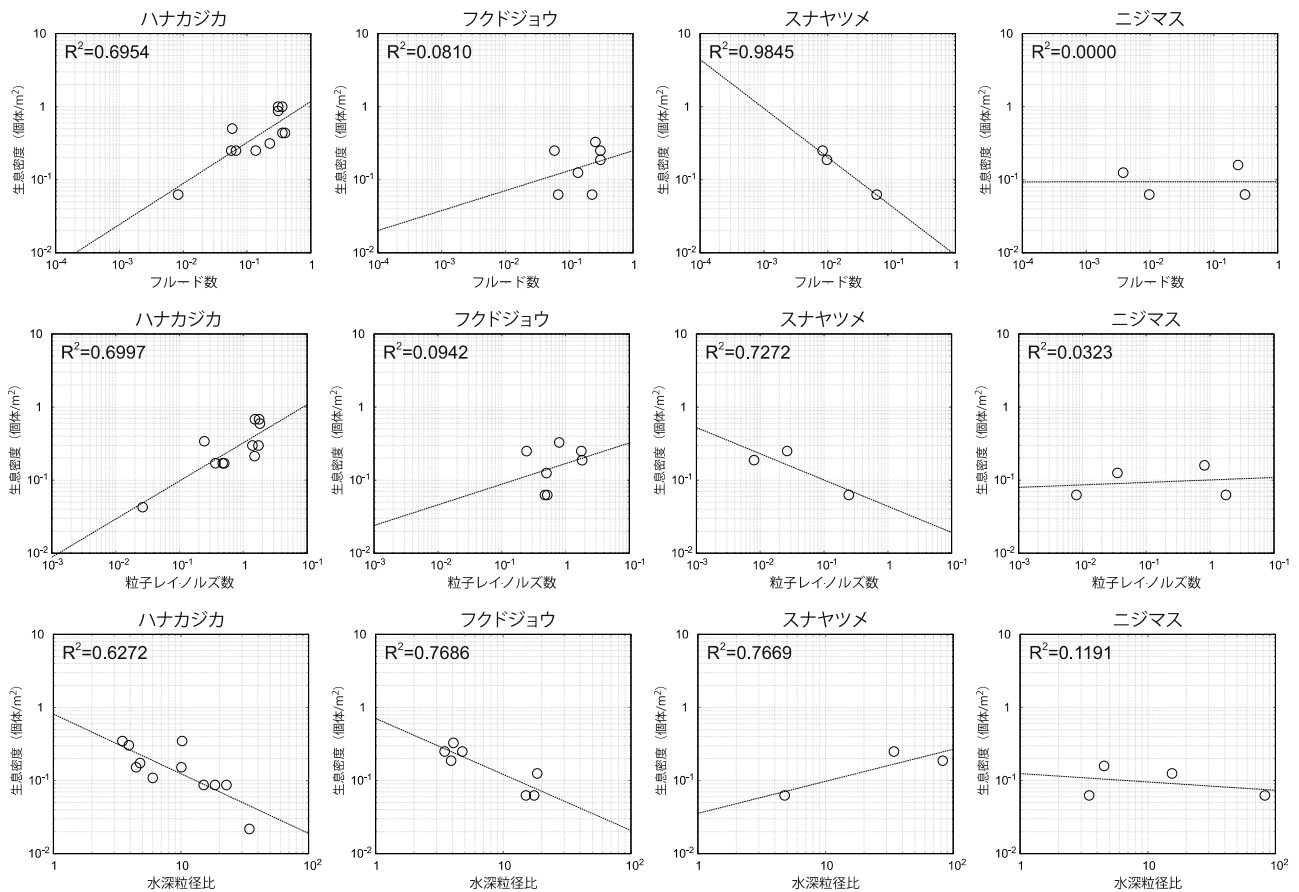


図-10 生物量（生息密度）と物理量（無次元量）の相関分析結果

生息密度と、プロット内で計測された物理量との相関を求めた。

生物量との対応を見る無次元量としては、今回、フルード数、レイノルズ数、粒子レイノルズ数、水深粒径比、無次元掃流力について検討を行い、中でも比較的高い相関を示したフルード数と水深粒径比および粒子レイノルズ数について図-10 にその結果を示す。相関分析の結果、水深・流速・粒径との単純な相関に比べ、これらを組み合わせて無次元化された水深粒径比やフルード数の方がより高い相関を示すことがわかった。ただし、遊泳魚に関してはどの物理量に対しても有意な相関は見られなかった。

5. まとめ

本研究では、河川改修等の履歴や水流量の経年変化を整理し、河川環境変化との因果関係を検証するとともに、数値解析を用いてその支配要因の解明を試みた。その結果、河道内植生の樹林化に関しては、水制工の設置やダムによる洪水調節が大きく影響しており、特に $300\text{m}^3/\text{s}$ 規模の洪水発生頻度の低下が樹林化を促進したものと推察された。しかし一方で、

水制工の配置や低水河岸の平面線形を拡縮形状とすることで、複列砂州の状態を自然創出し、これを持続的に維持することが可能であることも同時に示唆され、単列砂州化に伴う流況の単調化に対しては、一定の抑制効果を期待できるものと推察される。

さらに、河川環境の変化が生物相に与えた影響を定量的に評価するための準備段階として、生物量と物理量に関する相関分析を行い、両者の対応関係を調べた結果、水深・流速・粒径との単純な相関に比べ、これらを組み合わせて無次元化された水深粒径比やフルード数の方がより高い相関を示すことがわかった。今後、生物調査の回数を重ね、信頼性の高い指標の作成とそれを用いた生態系評価モデルの構築へと繋げていく必要がある。

参考文献

- 1) 高橋玄、安田浩保：「複列砂州の維持条件に関する一考察」、水工学論文集、第56巻、2012
- 2) 藤田康介、山口里実、鈴木英一：「札内川における水制工法を主とした河道安定化対策と河道変遷」、土木学会北海道支部論文報告集、第69巻、2011

A STUDY ON DESIGN TECHNIQUE OF RIVER CHANNEL THAT CAPACITATE TO SUSTAINED CONSERVATION OF HYDRAULIC DIVERSITY IN THE RIVER FOR SNOW COVERAGE AND COLD REGION

Budged : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : River Engineering Research Team

Author : HIRAI Yasuyuki

NAGATA Tomonori

AKAHORI Ryouusuke

Abstract : In Satsunai River, a lot of groins have been built as countermeasures of stabilizing the water channels for the purpose of flood control. But recently, vegetation has expanded and gravel riverbeds, are rapidly disappearing in such channels fixed because of the said countermeasures. Stabilization of channels might simplify the hydraulic characteristics and deteriorate habitat conditions of water species, and growth of vegetation causes increase of flood water levels, therefore immediate countermeasures are being required. In this study, numerical simulations, in combination with analysis of secular changes in channel shapes and hydraulic characteristics, are conducted to elucidate primary factors of river environmental change.

Key words : Satsunai River, tree growth, river ecosystem assessment, river course change