

15. 寒地河川をフィールドとする環境と共存する流域、河道設計技術の開発

研究期間：平成18年度～22年度

プロジェクトリーダー：寒地水圏研究グループ長 許士裕恭

研究担当グループ：寒地水圏研究グループ（寒地河川チーム、水環境保全チーム、流域負荷抑制ユニット）
技術開発調整監付（寒地技術推進室）

1. 研究の必要性

寒冷地域である北海道は年間降水量の半分程度を降雪が占めており、融雪時の流出機構や結氷現象が河川環境に与える影響は大きく、旧河道が多く残されている等の固有の河川環境を有する。また、北海道は日本の食糧基地であり、他県に類を見ない広大な農地等の土地利用形態も有している。さらに、近年北海道の主要な産業として北海道の自然環境を生かした観光が注目を集めており、自然環境の一端を形成する良好な河川及びその周辺の環境の多様性の確保やそれらの保持、再生と農業の持続的発展との共存が重要な課題となっている。以上を踏まえ、国民の安全と流域の土地利用を踏まえた良好な河川環境創出のための河道設計技術の開発が望まれている。

2. 研究の範囲と達成目標

本重点プロジェクト研究では、治水と環境が並立する流域の河道設計技術を開発するために、寒冷地フィールドを対象範囲とし、以下の達成目標を設定した。

- (1) 治水安全度を向上させつつ河川環境の再生を試みる技術の開発
- (2) 魚類の生活史を通じた生息環境における物理環境を定量的に評価する技術開発
- (3) 河川下流域の生態系を支配する塩水遡上の結氷時における挙動の解明
- (4) 大規模農地を中心とする流域から流出する環境負荷の抑制技術の確立
- (5) 河道の形成機構の解明と、河道内等から発生する流木による橋梁閉塞の対策の確立

3. 個別課題の構成

本重点プロジェクト研究では、上記の目標を達成するため、以下に示す研究課題を設定した。

- (1) 蛇行復元等による多様性に富んだ河川環境の創出と維持の手法の開発（平成18年度～22年度）
- (2) 冷水性魚類の自然再生産のための良好な河道設計技術の開発（平成18年度～22年度）
- (3) 結氷時の塩水遡上の現象解明と流量観測手法の開発（平成18年度～22年度）
- (4) 大規模農地から河川への環境負荷流出抑制技術の開発（平成18年度～22年度）
- (5) 河道形成機構の解明と流木による橋梁閉塞対策等への応用に関する研究（平成20年度～22年度）

4. 研究の成果

本重点プロジェクト研究の個別課題の成果は、以下の個別論文に示すとおりである。なお、「2. 研究の範囲と達成目標」に示した達成目標に関して、平成18～22年度に実施してきた研究と今後の課題について要約すると以下の通りである。

(1) 蛇行復元等による多様性に富んだ河川環境の創出と維持の手法の開発

本研究では、流下能力確保のための直線化された河道と、流れの多様性確保のための湾曲河道とを併せ持った『2way河道』の自律的維持を実現するため、標津川上流において実際の河跡湖（旧蛇行河道）を利用して整備・通水された試験施工箇所を追跡調査とそれから得られたデータの解析、さらに今後実施が計画されている標津川下流区間を模した水理模型実験を行った。得られた主な知見を以下に示す。

- 1) 通水初期、旧蛇行河道を接続するために新たに掘削を行う区間では、大規模な河岸浸食が発生することとなるが、

15 寒地河川をフィールドとする環境と共存する流域、 河道設計技術の開発

分岐点の水衝部となる箇所には護岸を敷設することで2way河道の分流機能は十分維持されるとともに、通水後2～3年程度の期間を経て徐々に河道は安定状態となり、河岸浸食の速度も時間経過とともに緩やかになることがわかった。

- 2) 蛇行河道と直線河道の分岐点下流（直線河道側）に分流堰を設置することで、蛇行河道へ分配する流量を適切にコントロールすることが可能であることがわかった。
- 3) 大規模な洪水を受けると蛇行区間では大幅な土砂堆積が生じ、一時的な河道埋没傾向を示すこととなるが、分流堰の高さが適切であれば、その後、平水・融雪出水等の通水が1年以上継続することで堆積した土砂は徐々に蛇行区間から排出され、やがて元の河道状況へと復元されることがわかった。
- 4) 分流堰の分流効果によって、平水流量時、直線河道を流れる流量が大幅に減少することで、堰下流の蛇行河道側において大規模な砂州が形成されることとなる。この砂州上ではやがてヤナギが侵入し、毎年20cm程度の成長速度で樹林化傾向を強める。樹林化したヤナギは、洪水期、主流となる直線河道の河積を阻害し水位上昇を招く可能性があるため、河道の設計に際しては、この点を十分に考慮した流下能力の検証が求められる。
- 5) 標津川下流域の蛇行復元予定区間を対象とした水理模型実験においては、蛇行復元試験地で観測されている現象がある程度良好に再現され、上記1)～4)の知見が当箇所においても十分適用可能であることが示された。また、これまで計画されていた堰高（H堰：0.8m、J堰：1.0m）を10cm下げることによって、分流堰下流に形成された砂州の攪乱を促進し、砂州上におけるヤナギの樹林化を抑制する効果があることが示唆された。さらに、この堰高であっても蛇行区間の埋没を回避するために必要な掃流力が十分確保されることがわかった。
- 6) 蛇行河道へ分配される流量と河床高との応答関係を明らかにし、蛇行河道の埋没は、分配流量（流量配分比）を適切に設定することで回避可能であることがわかった。また、非定常流量下における、2way河道の水理量を平面2次元的に解析可能な計算モデルを開発し、当モデルを用いた解析によって、蛇行河道に適切な流量配分をもたらす分流堰高の設計・管理基準（工法）を明示的に示すことが可能となった。
- 7) 洪水時、2way河道の蛇行区間では、総流量が40～60m³/sを超えた時点を境に、流量・流速はともに急速に低下し始め、出水ピーク時には非常に緩やかな流れが形成されることがわかった。これは、2way河道の蛇行区間が、洪水時、水生生物にとっての貴重な退避・休息場となり得ることを示唆するものであり、また、当河道方式が豊かな生物生息環境の創出に適した河道設計手法であることを示す特徴の一つであると考えられる。

(2) 冷水性魚類の自然再生産のための良好な河道設計技術の開発

本研究では、河川における生活期間が1年以上と長く、成長に伴い河川の上流から河口まで移動して生息し、河川環境の影響を受けやすいサクラマスを対象魚種として、幼魚期、越冬期、降海期、親魚の遡上・産卵期の各生活期に応じた詳細な評価が可能となる手法開発、及び寒冷地域生物の生息全体につながる河川環境の創出・復元のための河道設計技術の確立を行った。本報告の主な知見は以下のとおりである。

- 1) 産卵環境に関しては、産卵床が集中しやすい物理的条件が、「河床形態区分が砂州形成領域」かつ「相対河床勾配（ i/ia ）<1.0」であることを明らかにし、魚類の産卵床に最適な河道設計を提案した。
- 2) 越冬環境に関しては、「餌の量」や「エネルギー転換率の低さ」の要因から、サクラマス幼魚が巨石下流などの流れが緩やかな河川空間へ長距離移動を行うことを確認した。さらに、「サクラマス幼魚の良好な越冬環境」と「この流れの緩やかさの物理的特性」の関係を明らかにし、フルード数などを用いた物理的評価モデルを確立した。
- 3) 遡上・降海期における河川横断工作物周辺での連続性の確保に関しては、水理模型実験等の結果を踏まえ、「堰堤水通しからの降海時落下プールの最適な水深」や「魚道上流部の土砂堆積を抑制する効果的な水制工の配置」を明らかにした。

(3) 結氷時の塩水遡上の現象解明と流量観測手法の開発

本研究は、結氷時の塩水遡上の現象解明および結氷時の流量観測手法の開発のために、結氷時の感潮域における流量観測に関する研究、塩水遡上抑制対策に関する研究、氷の形成過程に関する研究の3項目に区分して段階的に研究を進め、得られた主な知見は以下の3点である。

- 1) 結氷時の感潮域においてADCPの測定時間を長くしても、その観測期間の横断面流量の精度は向上しない。非定常流

15 寒地河川をフィールドとする環境と共存する流域、 河道設計技術の開発

れである結氷時の感潮域においてADCPの測定時間を1測定当り10秒とすれば、ある瞬間の横断面内の平均流速に近づき、その観測期間の横断面流量の精度が向上する事が分かった。感潮域における平均淡水流量を観測する場合には、満潮時または干潮時に流量観測を実施することが望ましいことが分かった。

- 2) 従来から用いられている1次元2層流モデルに界面の形状抵抗を考慮した数値計算モデルを構築した。このモデルによる計算結果は、強混合型の塩水楔を形成する網走川においてさえ水位および流速が観測値と一致することが確認された。透過性構造物の塩水遡上抑制効果について、1ヶ月間の数値計算の結果から、小潮から大潮にかけては効果が大きく、大潮から小潮にかけては効果が小さいと分かった。本研究で構築した数値計算モデルは、一部簡便化が施された1次元計算であるものの、現地における塩水流速を十分な精度で再現可能であり、透過性構造物の透過率を選定する際の検討に資すると言える。
- 3) 結氷時の現地観測結果から、氷板と晶氷の経時変化を5つに分類してその挙動を把握した。また、河川管理上問題となるアイスジャミングの原因である氷板の形成過程において、晶氷が流下する河川では”晶氷の氷化”が氷板の増加に寄与する可能性が、氷底の摩擦速度と水温を判定基準とした氷板厚変動計算により示唆された。さらに、気温、水温、有効水深を独立変数とする実用的な氷板厚計算式を開発し、測定値との比較から係数 α 、係数 β を適切に設定する事により、氷板の形成から解氷までを精度良く再現可能である事を示した。河川結氷時の流量を流水面積、水面幅、 C 値から連続的に推定する新たな手法を開発した。

(4) 大規模農地から河川への環境負荷流出抑制技術の開発

本報告では、大規模な酪農地帯を抱える流域での水質保全技術として、草地管理手法や河畔域と排水路内での水質浄化手法の検討、水質保全対策が進んだと仮定した場合の河川・湖沼の水質予測等を行い、下記のことを明らかにした。

- 1) 肥料散布状況を把握するため、肥培かんがい施設が整備された2戸の酪農家において、携帯型GPSを用いた計測を行った。また、調査圃場における施肥標準と実際の施肥量とを比較し、施肥量の適否を検討した。その結果、調査対象の2戸の農家では、施肥標準を大きく上回るような過剰施肥はなかった。
- 2) 土壌浸入能が小さい傾斜草地表面からの肥料成分流出を抑制する対策を検討するため、傾斜草地を模擬した室内実験用草地と、実際の傾斜草地において、ふん尿スラリーを散布したのちに散水を行い、表面流出の量と水質を調査した。その結果、草地表面に切り込みを入れることにより、草地表面に散布したふん尿スラリー肥料成分の表面流出を抑制できることが明らかとなった。実際の草地表面に切り込みを入れる作業は、既存の装置（スパイクエアレータ）をトラクターで牽引することで対応できるため、取り組みやすい対策と考えられる。
- 3) 北海道東部の大規模酪農地域における河川の全窒素濃度（平水時）と土地利用条件の関係について検討した。その結果、酪農に由来する汚濁負荷発生量に関係する土地利用条件（飼養頭数密度、草地割合、河畔草地割合）が増大するほど、平均濃度は上昇し、濃度変動（標準偏差、変動係数）が大きくなることを明らかにした。
- 4) 草地酪農地域の緩衝林帯の機能として、既存林を対象とした検討では、草地からの表面流去水に含まれる汚濁負荷物質は、緩衝林帯の土壌に浸入させることで、全窒素で60%、全リンで95%濃度低下することを明らかにした。また、土壌に浸入した表面流去水に含まれる硝酸態窒素濃度は、地下水が土壌中を横方向に25m浸透する過程で、流入時の20%以下、または0.1mg/L以下まで低下することを明らかにした。
- 5) 草地酪農地域に整備された水質浄化池の機能調査として、平水時と降雨出水時の浄化効果の検証を行った。その結果、平水時における濃度低下率 $((1 - \text{流出濃度} \div \text{流入濃度}) \times 100)$ は全窒素で17%、全リンで15%と算出された。降雨出水時については、出水ピーク全体の負荷量と比較すると、全窒素で約4%、全リンで約6%、浮遊土砂で約30%の負荷量が削減されており、水質浄化池の持つ沈砂機能により土砂成分で大きな効果が確認された。
- 6) 草地酪農地域に整備された緩衝林帯の機能調査として、ライシメータを設置して水質負荷の低減効果を定量評価した。その結果、全窒素の負荷削減目標を50%に設定した場合は緩衝林帯の必要幅が10~15m程度であることなど、当該地域において土砂緩止林を整備するにあたり、負荷削減率目標に見合った緩衝林帯の幅を決定することが可能となった。
- 7) 草地~緩衝林帯~排水路の土地利用状況を反映した水文・水質過程を表現可能な流出解析モデルを開発した。このモデルを用い、河畔の草地の両側30mを緩衝林帯として整備したときの水質浄化効果を計算した結果、降雨時に全

窒素で5~8割程度の負荷削減効果があると推測した。

- 8) 草地周縁に整備された河畔緩衝林帯で樹木の生育状況と土壌物理性の調査を実施した。緩衝林帯は隣接する草地に比べて高い浸入能を示したが、表層土壌の物理性は良好な状態ではなかった。また、樹木の生存率は平均すると当初の計画を上回っていたが、低い箇所もみられた。以上のことから、緩衝林帯の整備と維持管理手法として、造成時に土壌表層を30cm程度耕起してから植樹することや、獣害避けの柵の設置と植樹後数年間の下草刈りの実施を提案した。
- 9) 流量・水質データから得たL-Q式を用いて、風蓮川流域の4地点における2008年度夏期のSS、全リン、全窒素の流出負荷量を算出し、この値から各種土地利用の原単位を概算した。さらに、風蓮川流域での発生負荷量割合と流域内にある水質保全対策のなされた小流域における対策前後でのL-Q式の差異から、流域全体で水質保全対策が実施されたと仮定した場合、風蓮湖への全窒素の流入量が低減すると推定した。
- 10) 閉鎖性海域の水質変動を再現・予測するため、風蓮湖において水質・底質・流動等の現地調査を行い、それらを再現する数値モデルを構築した。また、現地において水域の基礎生産量を見積もるために必要な各種生物パラメータを取得し、それを用いて低次生態系モデルでの計算を行い、再現性を向上させた。これを用い、陸域からの汚濁負荷を低減する対策を講じた場合の水質変動の予測を試みた。流量および流入負荷量以外は同条件で比較を行い、対象対策の効果を評価した。検討対象の時期は、夏期および融雪期とした。その結果、対策を講じた場合には風蓮川流入部においてCODの大幅な低下が見られ、出水の最大流量時にその差が最大となっており、陸域での対策の効果が顕著に現れていることがわかった。

(5) 河道形成機構の解明と流木による橋梁閉塞対策等への応用に関する研究

急流河川の多い日本では、洪水時にしばしば大量の流木が発生し、橋梁など河道内構造物に集積して河道閉塞などの被害をもたらす。海域まで流下した流木は漁業被害や航行被害を引き起こす。本研究では、橋脚周辺の流木集積機構の解明を目的として橋梁周辺における流木の挙動監視調査を行い、また、河畔林の流木補足機能に着目し、実験水路において河畔林粗密と分布位置の違いによる流木流下実験を行った。さらに谷底平野を形成する中小河川において、その地形の成り立ちの解明を目指したほか、流木流下機構にも影響をもたらす流路の固定化に関連して、水理実験を通して水みちの形成機構の解明を目指した。これまでに明らかになったことは以下の通りである。

- 1) 平成21年7月の沙流川平和橋における観測では、水位のピークに対して、流木流下本数のピークは約4時間前に発生しており、平成19年5月のパンケシュル川更生橋の融雪出水時の観測においても、水位のピークに対して、流木流下本数は約3時間前に最も多くなっている。さらに平成22年度8月に行われた尻別川留産橋での観測結果と、平成22年8月に行われた額平川アブシトエナイ橋における観測結果でも同様に水位のピークが到達する以前に、流木の流下本数のピークが現れる傾向を示した。このことから、流木は洪水初期に最も多く発生する傾向があると考えられる。これは、過去洪水で発生し河道内に堆積していた流木が洪水初期に再移動することによるものと推察できる。
- 2) 河畔林なし、河畔林有(密)、河畔林有(粗)の3ケースで流木流下実験を行い、流木の集積状況(流下本数に占める堆積本数の割合)は、0.2%、12.7%、1.0%であった。河畔林なしの場合、流木は全量砂州上を通過してしまい、河畔林(密)の場合、通水開始時から上流側で捕捉する。また上流側河畔林を通過した場合でも砂州上を流下し下流側河畔林で捕捉されていた。河畔林(疎)の場合、河畔林(密)と同様の傾向であったが、下流側河畔林を通過する量も多かった。今回の実験により、河畔林密度の違いにより流木の捕捉傾向が異なることが確認された。また砂州上での河畔林位置を、前縁全体、上流側のみ、下流側のみ、植生なしとした実験では、河畔林植生が存在する領域で生じる流速低下が周辺で過度の上昇をもたらす、これにより流木が水路中央に押しやられ、流木の捕捉域から遠ざけられる状況が確認された。以上より、河畔林による流木捕捉を期待する場合には、その河畔林の粗密のみではなく、流れ場への影響が重要である可能性が示された。
- 3) 実際の谷底平野として厚別川周辺を対象とした2重フーリエ解析を行い、周辺の地形が谷全体に広がる大規模な出水と、年一回規模の出水の両者の影響を受けていることが示された。
- 4) 流路固定化の一因となる水みちの形成に関して、水理実験の結果から、洪水からの減水期におけるハイドログラ

15 寒地河川をフィールドとする環境と共存する流域、 河道設計技術の開発

フの形状が影響を有し、低流量の期間が長いハイドログラフでは水みちの形成が進行することが示された。