

8. 河川生態系の保全・再生のための効果的な河道設計・河道管理技術の開発

研究期間：平成 23 年度～27 年度

プロジェクトリーダー：水環境研究グループ グループ長 池田茂

研究担当グループ：水環境研究グループ（河川生態、自然共生研究センター）、
寒地水圏研究グループ（寒地河川、水環境保全）

1. 研究の必要性

近年、河川環境の保全・再生に対する社会的要請が高まる一方で、頻発する洪水に対する河道設計のあり方が模索されている。また、限られた予算の中で効率的に維持管理を行う管理方法の確立も急がれている。今後は、環境、治水、維持管理を一体的に捉え、河道設計・管理技術を確立していくことが必要と言える。しかし、これを実現するための技術的課題は数多く残されている。ここでは、課題を大きく 3 つに整理して概説する。①基礎的知見の不足：流域内における様々な人為的インパクトは河床材料、流量、水質・土砂などの様々な影響を改変し、生物群集に影響を及ぼすが、このプロセスには未解明なものも多く、河道設計・河道管理技術に反映するだけの知見が不足している。②環境評価・目標設定に関する知見の不足：保全・再生を行うには既存の知見を最大限に活用し、現況の河川環境の健全度評価、この結果に基づく目標設定が必要である。しかし、これらの知見は不足しており、適切に環境評価・目標設定を行うことができない。③河道設計・河道管理技術の不足：環境・治水・維持管理を統合化する要素技術の開発は始まったばかりであり、現場に適用できる技術が不足している。

以上から、本プロジェクトでは、「2. 研究の範囲と達成目標」に示す研究を実施し、これらの課題の解決と河川生態系の保全と再生に資する効果的な河道設計・河道管理技術の開発に資する。

2. 研究の範囲と達成目標

本重点プロジェクト研究では、河川等が人為的インパクトにより変化し、物理環境変化を介して河川生態系に影響を及ぼすプロセスの解明を行う。また、現象が社会的に顕在化し、解決すべき課題と認識されているものについては、具体的な対策技術の提案を行う。一方、これらの研究は、河川における個別の場所を対象とした現象の理解と対応に留まる可能性が高い。そこで、本プロジェクトでは、流域スケールで河川を俯瞰した際に保全すべき箇所、再生すべき箇所を明確にすることを目的として、河川環境を広域情報から評価し、保全・再生箇所を抽出する技術の提案を行う。また、具体的に河道を設計・管理する際の技術も併せて開発し、具体的な川づくりを視野に入れた研究を実施する。本研究における研究の達成目標を以下に示す。

- (1) 物理環境変化による河川生態系への影響解明
- (2) 河川環境の評価技術の開発
- (3) 生物生息場を考慮した河道設計・河道管理技術の開発

3. 個別課題の構成

本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) 物理環境等を指標とする河川環境評価技術に関する研究（平成 23～27 年度）
- (2) 寒冷地汽水域における底質及び生物生息環境改善に関する研究（平成 23～27 年度）
- (3) 冷水性魚類の産卵床を考慮した自律的河道整備に関する研究（平成 23～27 年度）
- (4) 河川生態系と河川流況からみた樹林管理技術に関する研究（平成 23～25 年度）
- (5) 河川地形改変に伴う氾濫原環境の再生手法に関する研究（平成 23～27 年度）
- (6) 積雪寒冷地河川における河岸耐性及び浸食メカニズムと多自然河岸保護工の機能評価技術に関する研究（平成 23～27 年度）

4. 研究の成果

本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、本5年間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とおりである。

(1) 物理環境変化による河川生態系への影響

① 汽水域の底質・濁質環境が生物生息環境に及ぼすインパクトとその機構解明（個別課題(2)）

汽水域として湖沼および河川下流域において、水質・底質調査、機器観測、浮遊懸濁物分析等を実施した。その結果、水域への濁質供給は融雪や降雨時などの出水に伴うもの、および浅水部の底質の巻き上げに由来するものであることがわかった。水質調査結果から濁度と栄養塩濃度は相関性があり、濁質の供給によって栄養塩濃度が上昇する傾向が確認された。これより濁質供給要因や拡散範囲を把握した。また、河川流入点の沖合側では浮遊懸濁物はほぼプランクトンで構成され、底質の細粒化も抑制されていることが確認された。シジミの生息範囲を比較すると、沖合側が好適環境であることが推察された。これより濁質を指標とし、そのインパクトによって、底質・水質が汚濁され、生物生息環境が悪化していることが推察された。また、天塩川下流域の汽水沼において水収支を把握するため、連続的な流量観測を実施した結果、河川流量の増加によって塩水遡上が抑制され、淡水化が進行することが明らかとなった。さらに超音波流速計（ADCP）を用い、取得される音波の反射強度を利用して、水中の濁度空間分布推定手法を開発した。推定式の改良を行った結果、2個の係数を設定することで、濁度の経時的な連続推定及び空間的な濁度分布推定を可能とした。

② サケ科魚類の産卵場の視点からの河床材料の分級作用を評価（個別課題(3)）

豊平川を対象とした現地調査の結果、波高が高く樹林化した砂州により低水路が狭窄した区間では、そうではない砂州よりも、粒径が粗い傾向であることが確認され、樹林化していない砂州においても、砂州内の流況により河床材料の分布が異なることが確認された。また、水理実験により、砂州移動に伴い、外岸部の砂州深掘れの深度において、粒径が粗い層が縦断的に連続することが確認された。なお、護岸の粗度による砂州形状、分級状況の違いについても確認したが、砂州形成が成される流量においては大きな差異は確認されなかった。豊平川、漁川において縦断的な河床材料と産卵床分布の関係を検討した結果、50%粒径がシロザケ体長の1/10である80mm以下でかつFredle指数が5mm以上の区間に産卵床が多く分布していることが確認された。また、産卵床の分布を平面的に見た場合、砂州前縁部に多く分布していた。これは砂州地形により生じる局所的な水位差が、砂州前縁部で湧出する浸透流を発生させ、産卵環境に寄与しているためと考えられる。礫厚と水温との関係を石狩川上流部で調査した結果、礫厚が1m程度の区間において、砂州前縁部における河床内の水温が河川水と同程度に低く、卵の孵化に必要なと言われている積算温度を満たさなかった。一方で、礫厚が3m程度および20m以上の区間では、河床内の水温が高く、孵化に必要な積算温度を満足する箇所が混在することが確認された。

③ 樹林成長や群落形成に影響を与える物理・化学的要因の解明（個別課題(4)）

樹林化の要因となる主な種としてハリエンジュ（*Robinia pseudoacacia* L.）に着目した検討を行った。ハリエンジュの成長量（バイオマス）と物理環境（主に河床変動量）との関係性、ハリエンジュの成長量（バイオマス）と化学的要因（栄養塩類）に関する検討を行った。その結果、河床変動量が0.2m以下になると、ハリエンジュの侵入・成長（バイオマス）が急激に増加することを明らかにした。また、ハリエンジュの侵入に伴い河床変動量が減少することを明らかにした。更に、河床変動量が0.5m以下になると土壌窒素含有量の増加することを明らかにした。これらを一連の流れとすると、河床低下等により河川の河床変動量が低下すると、貧栄養の環境にも適応できるハリエンジュの侵入が始まり、河床が安定化する。次に、ハリエンジュは、その高い窒素固定能力により成長・枝葉の形成を行い、落葉時、リター（主に葉）の供給とそれに伴う土壌中の窒素含有量が上昇すると考えられる。この一連の流れにより、ハリエンジュにとってより好適な環境が形成され、土壌が肥沃化、その後のハリエンジュの成長が促進されると推定された。ハリエンジュの抑制のためには、河道掘削により高水敷を切り下げて冠水頻度を上昇させてハリエンジュの侵入を抑制する、または、維持管理においてハリエンジュを定期的に伐採し、再萌芽を抑制する方法が考えられる。

④ 伐採方法や伐採後の流況変化が河川植生・周辺環境に与える影響の解明（個別課題(4)）

8. 河川生態系の保全・再生のための効果的な 河道設計・河道管理技術の開発

伐採方法や伐採後の流況変化が、河川植生・周辺環境に与える影響の解明のため、河道特性の異なる 2 河川、阿賀野川水系阿賀川宮古地区（セグメント 1、平均川幅 350m、河床勾配 1/300）、五ヶ瀬川水系の野地区（セグメント 2、平均川幅 350m、河床勾配 1/1000）において、主に数値計算を用いて検討を行った。野地区においては、計算上、樹林を配置したことにより護岸水衝部（台風出水時の破壊箇所）の流速が低減した。これは、樹林の配置により出水時の流線が変化し、右岸側の河岸に沿った流れが形成され、護岸破壊箇所の前部で流れが剥離し、護岸での流速の低減が生じたためと考えられる。野地区のような、河床勾配が緩い湾曲河道の場合、樹林伐採の影響は、流向に大きな影響を与えることが示唆された。宮古地区においては、計算上樹林を伐採した設定により、出水時の流路が分岐点、水域面積が増加した。それに伴い水面勾配が増加し、区間全体の流速が上昇したと考えられる。これらの結果は、セグメント 1 とセグメント 2 の河川では、樹林伐採に伴う流況変化が異なり、河川植生や周辺環境への影響が異なるため、樹林伐採による樹木管理は、流況変化を事前に検討する等の慎重な対応が必要であることを示した。

(2) 河川環境の評価手法の開発

① 河川環境の評価技術の提案（個別課題(1)）

河川環境を評価する場合に、個別の種の生育・生息環境を評価するのは、生物分類群（生物種）が膨大な数になり極めて困難である。そのため、本研究では、「代用指標」の概念を導入し、一定区域に生育・生息する生物種の状態を代表する生物種を選定し、その種の生育・生息する物理環境を把握し河川環境を評価する手法を提案した。本評価手法を実施するためには、全国の河川において同一とみなせる手法で経時的にデータを蓄積したデータが必要となる。本研究では、国土交通省の河川における生物センサスデータである「河川水辺の国勢調査」を用いて、生物生息と物理環境を関連付け河川環境を評価する手法を開発した。代用指標としては、陸域においては、「植物群落と生育種の関係性」（以下、植物インベントリ）、氾濫原（特に水生動物）においては「イシガイ類」、水域においては、生態特性に着目した魚類分類群（「瀬淵性種」、「水際性種」、「河床性種」、「氾濫原性種」及び「水田性種」）を提案した。その結果、植物インベントリを用いることにより特定区域における河道掘削時に保全すべき場所の可視化を可能としたこと、氾濫原においては、1000 m²以上のワンド・たまりがイシガイ類の生息を保証すること、水域においては、瀬淵性種、水際性種、氾濫原性種の各グループについては河床低下、自然水際率等に基づき、それぞれのグループに対する影響度を評価できる可能性が示唆された。

③ 生物生息場を考慮した河道設計・河道管理技術の開発

① 汽水域の生物生息環境の保全・改善に資する底質環境改善手法の構築（個別課題(2)）

汽水域の代表的生物であるヤマトシジミの生息環境を評価・管理することを目的として、湖沼及び河川において調査を行った。湖沼域のシジミ生息環境を湖内の濁質拡散や水質影響によって評価可能であると想定し、数値流動モデルを構築した。なお、本研究で対象とした網走湖は冬期間結氷するため、結氷影響をモデルに反映する必要がある。構築したモデルは水面近傍の水温や濁度等を結氷現象も含めて算出可能であり、これにより複数年の連続計算が可能となった。次に河川域において、対象とした天塩川においてシジミの生息には底質環境の影響が小さいことが示唆された。天塩川の塩水遡上は 2 相流を形成して河口から 20km 上流まで到達することを確認し、シジミの生息数を比較すると、塩水との接触頻度が重要であると推定された。そこで、標高毎の塩水接触頻度を推定するため、ADCP を用いて塩淡境界標高の時間変化を把握する手法を開発した。また支川域の水収支解析から、支川への塩分供給は本川合流部の塩淡境界標高が重要であることが判明した。これらを基に支川上流部の塩分環境を本川流量によって推定する手法を開発した。これらの手法により、本川上流部 1 地点の流量データによって流域の塩分環境を時間・空間的に推定可能となり、下流域の塩水環境把握の省力化を実現した。

② 産卵環境の保全・再生のための河川整備手法（河道掘削形状、護岸形状等）の提案（個別課題(3)）

砂州地形が浸透流の発生の観点から産卵環境に重要であるため、平均年最大流量時において、砂州の発生条件を満足する川幅であることが必要となる。水理実験により、岩盤上の覆礫厚が砂州波高の半分程度であり、岩盤の粗度が低い場合、砂州深掘れの露岩部が伸びて拡大することが確認された。一方で、覆礫厚が砂州波高程度の場合は、砂州深掘れによる露岩部は拡大せず、砂州が安定して流下することが確認された。そのため、覆礫や河道掘削においては、礫床の維持の観点から、礫厚を砂州波高程度確保する必要がある。

8. 河川生態系の保全・再生のための効果的な 河道設計・河道管理技術の開発

河床内の水温が産卵環境条件を満足するためには、地下水などの滞留時間が長い浸透流が河床内に侵入可能となるよう、河岸部などで礫が分断されていないことが重要である。また、外気温により浸透流の水温が、産卵環境に悪影響を及ぼすほど低下しない礫厚が確保されることも重要である。この礫厚条件を1次元熱伝導計算により検討した場合、浸透流よりも上部に2m程度の礫厚が必要となるが、今後さらに詳細な検討が必要である。

平面2次元河床変動計算および3次元浸透流計算により河道改修後の流速、水深、河床材料、浸透流を把握し、これを用いてPHABSIMによる解析を行うことにより、産卵適地の将来予測が可能であることが確認された。この解析手法を用いることで、詳細な河道掘削形状の検討が可能となると考えられる。

③ 効果的な樹林管理技術の提案（個別課題(4)）

(ア)全国河川での樹林化の要因となる樹種は、ヤナギ類、ハリエンジュ、タケ類であること、(イ)樹林管理の方法は伐採・除根が多いが、これらの方法では、萌芽再生する問題があること、(ウ)ヤナギ類に対しては、環状剥被及び覆土が、タケ類に関しては除根後の天地返し及び土砂掘削が萌芽再生を抑制できること、(エ)ハリエンジュに対しては環状剥被が萌芽再生を抑制できる効果が一定程度あるが限界があること、以上の4点を明らかにし、効果的な樹林管理技術の方向性を示した。上述の成果を事例集として取りまとめ、全国の河川管理者に配布するとともに、国土交通省と共同で説明会を実施した。また、樹林管理行為時の費用とその後の追加維持費用を考慮したコスト比較を行い、効果的かつ経済的な樹林管理方法を検討した。その結果、樹林管理行為時に環状剥被を導入することで、その後の追加維持費用を削減することが可能であることを明らかにした。

④ ワンド・タマリ等の氾濫原環境再生手法の開発（個別課題(5)）

直轄河川で得られる既存データを活用し、簡易かつ面的に河道内氾濫原環境を評価するためのプロトコル（手順）を作成した。プロトコルとして、氾濫原環境指標生物・イシガイ類の生息場特性を表す統計モデルを用いる方法を示した。複数河川を対象としたスクリーニング用の汎用モデルと、個別河川で精緻な評価を行なうための個別モデル（木曽川、木津川）を構築した。他の個別河川を対象とする際には、モデル構築手法を含む本研究の評価プロトコルを活用できる。

氾濫原環境の再生と親和的である河道掘削に着目し、イシガイ類生息場（ワンドやたまり）創出の観点から効果的な掘削高さ、掘削面に再生すべき微地形について検討した。揖斐川での検討結果から、濁水位～平水位の高さで高い効果が確認され、少なくとも10年程度は生息場として機能していた。また、そうした低い掘削地では、湿地性を含む昆虫類の多様性が高まることが実験河川での検討から示された。掘削後の微地形形成過程の検討結果から、掘削面上の本川沿いに自然堤防状の高まりを初期設定することで、早期に湿地的な環境を創出できることが期待された。また、木曽川での検討結果から、イシガイ類のワンド内分布と微生物場特性から適性水域幅を解明した。

木曽川で抽出された再生適性地において、掘削高さと水域幅を考慮した掘削を行うことで、イシガイ類の生息可能な水域を創出できた。これにより、提案した評価プロトコルと掘削手法の妥当性が確認された。

⑤ 多自然河岸保護工の機能評価及び設計技術の開発（個別課題(6)）

多自然河岸保護工の環境保全・復元効果を適切に評価し、その効果を長く維持するためには、中長期的な河道変化を予測した上で、工法選定や施設配置計画等の妥当性を確認する必要がある。本研究では、多自然河岸保護工に関する追跡調査を行い、洪水外力に対する構造的安定性や中長期的な河道変化に対する機能の持続性等を検証した結果、「多自然」という観点から当初期待した効果を発揮していない事例や、施工後に滞筋が固定化されて樹林化が進んだと思われる事例等が認められた。このため、中長期的な河道変化を考慮した施設配置計画の重要性を提示するとともに、多自然河岸保護工を計画・設計する際の留意事項（案）をとりまとめた。

また、河岸の侵食特性を把握するため、(1)蛇行流路の発達に伴う河岸侵食メカニズムの解明や、(2)植生の被覆効果や植生の消長を考慮した河床変動解析モデルの開発を行った。(1)については、音更川の堤防被災をもたらした蛇行発達は、河道の湾曲形状に起因した固定砂州をトリガーに蛇行流が洪水時に河岸侵食を伴いながら下流側へと伝搬する過程で生じたものであることがわかった。(2)については、札内川における経年的な植生動態を当該モデルで計算したところ、良好な再現結果を得るとともに、年最大規模の洪水流量の減少が河道内で維持され得る礫河原の面積に対して支配的な影響を及ぼしていることを示した。

DEVELOPMENT OF CHANNEL DESIGN AND MAINTENANCE TECHNIQUES FOR CONSERVATION AND RESTORATION OF RIVER ECOSYSTEMS

Research Period: FY2011-2015

Project Leader: Director of Water Environment Research Group

IKEDA Shigeru

Research Group: Water Environment Research Group

(River Restoration, and Aqua Restoration Research Center)

Cold-Region Hydraulic and Aquatic Environment Engineering Research Group

(River Engineering Research Team

and Watershed Environment Engineering Research Team)

Abstract : It is highly necessary to evaluate, conserve, and restore healthy ecological functions of rivers and lakes to maintain local wildlife community and its ecosystem function. On the other hand, flood protection and channel maintenance have been important social issue. Thus we must incorporate ecological aspect into channel design and maintain. In this project, three achievement goals are set to satisfy this necessity for the development of channel design and maintenance method harmonious with river ecosystem and its community ; 1) Fundamental recognition between anthropogenic impacts and the response of aquatic organisms, which will be applied for the development of channel design and maintenance. 2) Proposal of new aquatic techniques of systematic conservation planning method for rivers, 3) Development of channel design and maintenance method that can be applied for the segments for alluvial fan, natural levee and brackish water.

Key words : river ecosystem, anthropogenic impacts, systematic conservation planning, channel design and maintenance