

## 8.5 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

研究予算：運営交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：自然共生研究センター

研究担当者：萱場 祐一、大石 哲也、永山 滋也

【要旨】河道掘削の方法に関連して、高水敷掘削後の土砂堆積プロセスと流量変動特性との関係を検討し、高水敷掘削面における細粒土砂の堆積に対して、継続時間の長い小流量（平水流量の数倍～10倍程度）の寄与が比較的大きい可能性が示唆された。また、たまり内におけるイシガイ類の分布と生息場特性を検討し、イシガイ類の生息には、水域上空が河畔樹木に覆われない水域幅（少なくとも10m以上）が必要であることが分かった。評価手法の適用と改善に関連して、実務を重視した簡易な氾濫原環境評価手法とその表現方法を提示した。さらに、本研究全体に関わる課題として、原始的氾濫原と河道内氾濫原について洪水攪乱の観点からレビューを行い、高水敷掘削による氾濫原再生の意味と課題について整理した。

キーワード：氾濫原生態系、自然再生、河道掘削、高水敷切下げ、低水路拡幅

### 1. はじめに

河川が形成する氾濫原は物質循環や生物多様性にとって重要な場である<sup>1)</sup>。我が国の直轄河川区間は、主に河川中下流部に位置しており、かつて広大な氾濫原を有していた。しかし、現在、氾濫原は堤外地に制限され、流送土砂量や流量等の変化に伴い、著しく変質してきている<sup>2)</sup>。それゆえ、氾濫原の保全や再生は希求の課題であり、治水対策と調和する現実的な対策や保全・再生手法の開発が求められている。

多くの直轄河川では、河床低下に伴う陸域の固定化と樹林化による流下能力の低下が問題となっている。その対策として、多くの場合、河道掘削（高水敷の切下げや低水路の拡幅）が実施されている。河道掘削は氾濫原環境の創出と調和的であり、治水と環境の両立を図る手法として期待される<sup>3)</sup>。本研究課題では、①再生すべき氾濫原を有する河川および区間を抽出する技術を開発するとともに、②氾濫原の再生に資する河道掘削の方法を提案し、③個別河川への適用と手法の改善を行うことを目的とする。

平成26年度は、河道掘削の方法と提案(②)に関連して、様々な高さで高水敷掘削が行われている揖斐川において、掘削後の土砂堆積プロセスと流量変動特性との関係について検討を行った。また、水生生物にとって適正な水域形状（本年度は特に水域幅）を理解するため、指標生物となるイシガイ科二枚貝（イシガイ類）を対象とし、氾濫原水域（たまり）

における分布および生息場特性について検討を行った。個別河川への適用と手法の改善(③)に関しては、実務者の視点から氾濫原環境の現状評価をより簡便に行う手法とその表現方法を検討した。本研究全体に関わる課題として、高水敷掘削が創出する氾濫原的な環境の特徴を、洪水攪乱の観点から整理し課題を抽出した。

### 2. 研究方法

#### 2.1 河道掘削の方法と提案(②)

##### 2.1.1 掘削後の土砂堆積プロセスと流量変動特性との関係

氾濫原的環境の創出を目的とした高水敷掘削の計画・設計のための知見を蓄積するため、前年度に引き続いて、木曾川水系揖斐川をケーススタディとして、高水敷掘削後の再堆積物の鉛直構造と粒度組成に着目した現地調査を行った。また、調査区間を対象に河床変動解析を行い、土砂の再堆積が進む河川流量の幅について検討した。木曾川水系揖斐川の32-39kpでは、主に河積の拡大を目的として、2001年から2007年にかけて低水路に面した高水敷の掘削が実施されている(図1)<sup>4)</sup>。施工年度及び掘削高さの設定が異なる工区毎にA～O地区と名付けられ、木曾川上流河川事務所によるモニタリングが実施されている。調査区間の河床勾配は約1/3300程度であるが、区間上流端付近が河床勾配約1/1700程度の区間との勾配変化点にあたり、低水路流心部の河床材

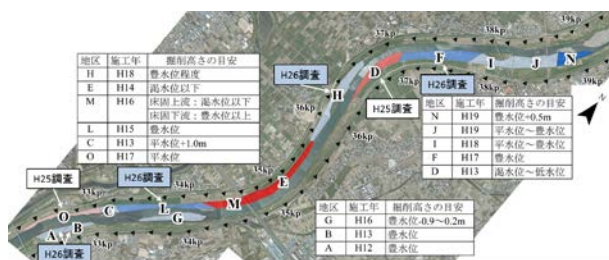


図 1. 木曾川水系揖斐川における調査区間と高水敷掘削箇所および諸元

料は区間内で大きく変化する。区間上流側では粗砂・細礫が主体であるのに対し、下流側では細砂・中砂が主体となっている。

高水敷掘削後の土砂堆積に伴う微地形形成プロセスを検討するため、掘削後に再堆積した堆積物の鉛直構造と粒度組成を把握するため、掘削地における層序を調べるとともに、各層のサンプリングを行い、土質粒度試験を行った。前年度調査を行った 2 地区（D、O 地区）に加え、本年度は豊水位に相当する高さで掘削が行われた 5 地区（A、B、F、H、L 地区）の調査を行った。また、土砂の再堆積と流量の関係性を検討するため、近傍の水位観測所データから出水履歴を把握した。昨年度に引き続き、一般的な河床変動解析モデルを用いて、掘削後の地形に対して複数規模の出水を想定した計算を行い、解析結果に基づいて、土砂の堆積が進む流量の幅について詳細に検討した。

### 2.1.2 イシガイ類の分布・生息場特性に着目した氾濫原水域の幅の検討

木曾川水系木曾川の自然堤防帯（セグメント 2-2）に存在する 1 つのたまりで、イシガイ類の採捕、物理環境の計測を行った。設定した 6 本の横断測線上に等間隔で調査コドラート（1m×1m）を設定した。横断測線上のコドラート数は、横断測線の長さ（m）の整数部分と一致させた（10.7m なら 10 コドラート）。コドラート数は合計 85 個となった。各コドラートにおいてイシガイ類の採捕を素手で行い、採捕個体の分類群を特定した。また、各コドラートにおいて水深（cm）、泥厚（cm）、有機物量（g）、枝インデックス（0-4）、樹木カバリの有無を測定した。枝インデックスは、枝が存在したサブコドラート（コドラートを 4 等分したもの）の数として記録した。樹木カバりは、コドラートの上空に河畔樹木の枝の張り出しがあるかどうかで判断した。

イシガイ類の生息数に与える各環境変数の影響を

検討するため、イシガイ類生息数を応答変数、各環境変数を説明変数とし、線形および非線形モデルを構築した。各環境変数について、最も優れたモデルを AIC によって選びだし、そのモデルの統計的優位性を尤度比検定により決定した。また、有機物量に与える河畔樹木の影響を検討するため、有機物量を応答変数、枝インデックスを説明変数とする線形、非線形モデルを構築し、同様に AIC によるモデル選択と尤度比検定を行った。さらに、樹木カバリの有無が有機物量の差異を生じさせるか検討するため、樹木カバリのあったコドラートとなかったコドラートの間で、有機物量についてクラスカル-ウォリス検定を行った。

## 2.2 個別河川への適用と手法の改善 (3)

### 2.2.1 実務を重視した氾濫原環境評価とその表現手法の検討

石狩川、木曾川、木津川、斐伊川、筑後川の 5 河川を対象に、氾濫原水域におけるイシガイ類の有無データを取得した。これまでの成果から、イシガイ類にとって良好な氾濫原水域は、河床勾配に関わらず（1/1000～1/5000 の範囲）、冠水頻度が高い場所であることが分かっている。本年度は、実務者がより直感的に理解できる指標として、冠水頻度と相関が強い平水位比高を用いて、イシガイ類が生息した水域との関係を検討した。

河川管理者が治水上の検討を行う際、縦断 1km ごと、左右岸別に示された流下能力図を用いることが多い。これと対比できる形で、氾濫原環境の現状やポテンシャルを示すことができれば、整備計画の策定や見直しを行う際に、治水と同じ土俵で氾濫原環境の整備を議論できるようになる可能性がある。そこで、氾濫原環境の現状とポテンシャルを示す流下能力図に類似した形式の図を検討した。ここでは、これを氾濫原環境能力図と称する。良好な氾濫原環境を判断する指標として、上述の平水位比高の結果を用いた。

### 2.3 洪水攪乱から見た高水敷掘削の意味と課題 (全体)

原始的な氾濫原は、現在のように堤防の間に挟まれた狭い領域ではなく、より広範に及んでいた。それゆえ、原始的氾濫原と現在の河道内氾濫原における洪水攪乱の特性は大きく異なるものと考えられる。この違いを認識することは、河道内氾濫原において

氾濫原依存の生物や環境を整備していく上で重要である。そこで、洪水攪乱の重要な項目として、冠水頻度、作用外力、土砂堆積速度に焦点をあて、河道内氾濫原(高水敷掘削地)におけるこれらの特徴を、原生的氾濫原のそれらと比較した。なお、この内容は、総説論文<sup>2)</sup>として発表したものを簡略したものである(参考文献はそちらを参照)。

### 3. 研究結果

#### 3.1 河道掘削の方法と提案(②)

##### 3.1.1 掘削後の土砂堆積プロセスと流量変動特性との関係

昨年度の堆積物調査から、平水位相当の掘削区では、下層に掃流砂が観測された(図2)。これは、掘削後の堆積初期段階では、掘削面の高さがまだ低いため、出水時に、掃流力の大きな流れが掘削面に生じ、砂が乗り上げたことを示唆する。本年度対象とした豊水位相当で掘削した5地区では、全体にシルト・粘土といったウォッシュロードが主体であった(図2)。これは、堆積初期段階から、掘削面が高いため、掃流砂が乗り上げるほど強い流れが掘削面に生じず、比較的穏やかな冠水によってウォッシュロードが堆積したことを示唆する。以上の結果は、掘削高さによって、堆積プロセスが異なることを示している。

ただし、A地区、B地区においてのみ、下層に掃流砂由来の礫混じり砂の層が確認された(図2のA1L)。今回調査した5地区のうちこの2地区のみは、平成14年に記録された計画高水規模の出水を経験している。掃流砂由来の砂層は、この時の堆積物と推定され、ごく短期間に堆積が進んだものと考えられる。それ以外の大部分の堆積層は、比較的均質であった。

次に、再堆積の進行と河川流量との関係性を検討するため、掘削直後の河道地形を再現した地形モデルに対して、平水流量から計画高水規模までの複数の段階の流量を設定した河床変動計算を実施した。解析結果によれば、高水敷掘削面における土砂の堆積・侵食は、流量の規模が大きいほど顕著であるが、比較的少ない流量であってもわずかながら堆積が進むことが確認された。高水敷掘削面は容易に冠水すること、微高地を形成する土砂の粒径は非常に細かく、中小出水でも浮遊することなどがその原因と考えられた。そこで、1年間における各流量規模の継続時間を近傍の水位観測所における時刻水位観測記

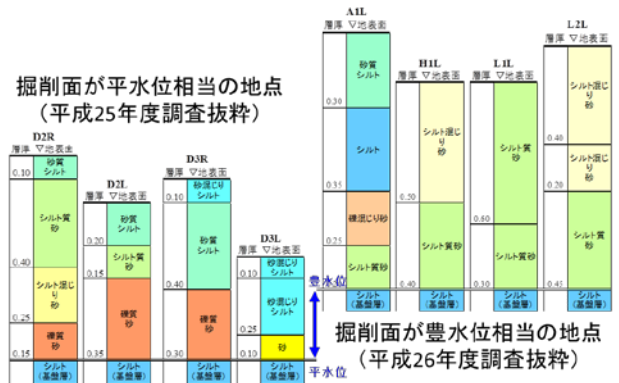


図2. 堆積物の層序と掘削高さの関係

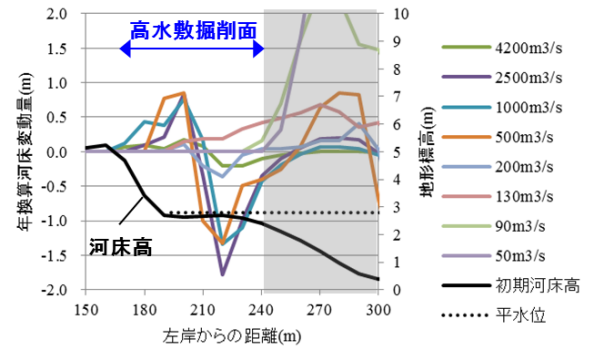


図3. 年換算河床変動量に対する各流量の寄与。揖斐川36.9kpにおける試行。[50m³/s≒平水流量、2,500m³/s≒平均年最大流量、4,200m³/s≒計画高水流量]

録から算出して、年換算の河床変動量を算出した(図3)。その結果、流量の大きい出水ばかりではなく、平水流量の数倍~10程度の流量(130m³/sや500m³/s)であっても、継続時間が長いために、全体の堆積量に占める寄与の割合は大きい可能性が示唆された。

##### 3.1.2 イシガイ類の分布・生息場特性に着目した氾濫原水域の幅の検討

イシガイ類の生息数は水深が増大するほど多くなり、堆積有機物量が増えると急激に少なくなった(図4)。また、有機物量は枝インデックスが大きいコドラートで多く、樹木カバーのあるコドラートで有意に多くなる傾向を示した(図5)。

昨年度成果から、イシガイ類は水深70cmを超える場所ではほとんど生息していないことが分かっている。本年度成果は、水深50cm程度までであれば、より深い場所の方がイシガイ類の生息に適していることを示している。有機物の堆積はイシガイ類に負の影響をもたらした。有機物量は枝のある場所、樹木カバーのある場所で多く、河畔樹木からの落下による枝葉の直接供給が、イシガイ類の水域内分布を

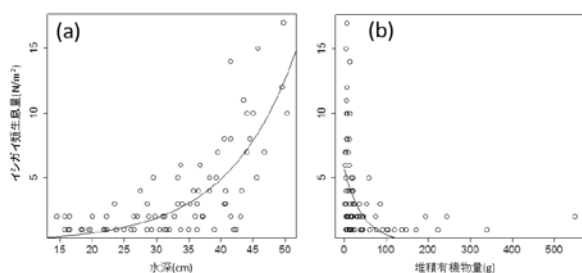


図4. イシガイ類生息量と(a)水深、(b)堆積有機物量との関係

制限している可能性が示唆された。

以上の結果から、イシガイ類の生息可能な水域となる条件の一つとして、河畔樹木が成長し水域上空に張り出してきても、水域が完全に覆われてしまわない幅を確保することが必要であると提言される。河畔樹木が成熟している本調査水域の横断測線上では、兩岸から合計約10mの樹木カバーが観測された。これは、樹林化する氾濫原においては、水域幅が10m以上確保されることで、イシガイ類の生息水域として長く機能する可能性を示唆する。

### 3. 2 個別河川への適用と手法の改善 (③)

#### 3.2.1 実務を重視した氾濫原環境評価とその表現手法の検討

5河川において、合計212個の水域におけるイシガイ類生息有無データを取得し、うち67個の水域でイシガイ類の生息が確認された(石狩川:4/22水域、木曾川:23/55水域、木津川:21/80水域、斐伊川:7/25水域、筑後川:12/30水域)。生息水域と非生息水域の平水位比高を比較すると、生息水域の平水位比高は1m以下に偏る傾向が見られ、それ以上の平水位比高の水域にイシガイ類が生息するのは稀であった(図6)。このことから、良好な氾濫原的環境を含む簡易指標として「平水位比高1m以下」を使用することとした。

検討した氾濫原環境能力図として、木津川(1~38kp)の例を図7に示す。横軸はキロポスト、中央より上側は右岸、下側は左岸を示しており、1km区間ごとに以下の項目を集計し、積み上げの棒グラフと折れ線グラフで視覚化している。なお、氾濫原水域(ワンドやたまり)については、横軸(キロポスト)を対応させる形で、別のグラフで表現している。

①低地環境(破線):平水位比高1m以下の陸域の

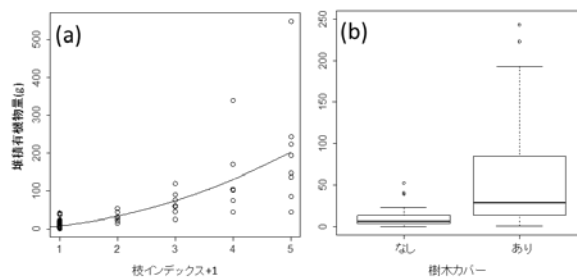


図5. 堆積有機物と(a)枝インデックス、(b)樹木カバーとの関係

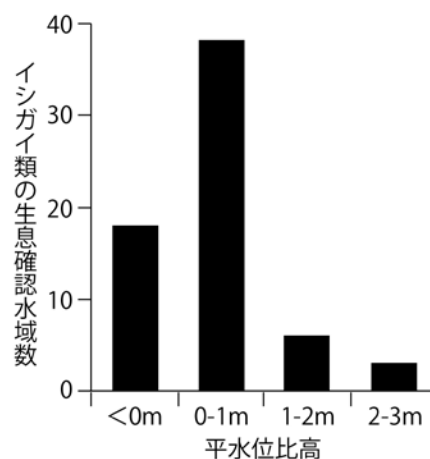


図6. 平水位比高別に見たイシガイ類の生息確認水域数

面積を示す。航空レーザー測量に基づく地形データと水理計算による推定平水位を用いて、平水位比高1m未満の陸域のポリゴンデータを作成し、算出。

②本川:本川的面積を示す。航空写真もしくは河川環境基図データの「開放水面」SHPデータから本川部を抽出し、ポリゴンデータを作成して算出。

③攪乱環境:出水時の攪乱強度が大きい場所として、1年生草本と自然裸地を合わせた合計面積を示す。航空写真もしくは河川環境基図データの植生図SHPデータから1年生草本と自然裸地を抽出し、ポリゴンデータを作成して算出。

④安定環境:攪乱強度が小さく相対的に安定した場所として、1年生草本を除く植生の合計面積を示す。航空写真もしくは河川環境基図データの植生図SHPデータから1年生草本以外の植生を抽出し、ポリゴンデータを作成して算出。

⑤人工利用地:人工的な土地利用地の面積を示す。航空写真もしくは河川環境基図データの植生図SHPデータから人工的な土地利用地を抽出し、ポリゴンデータを作成して算出。



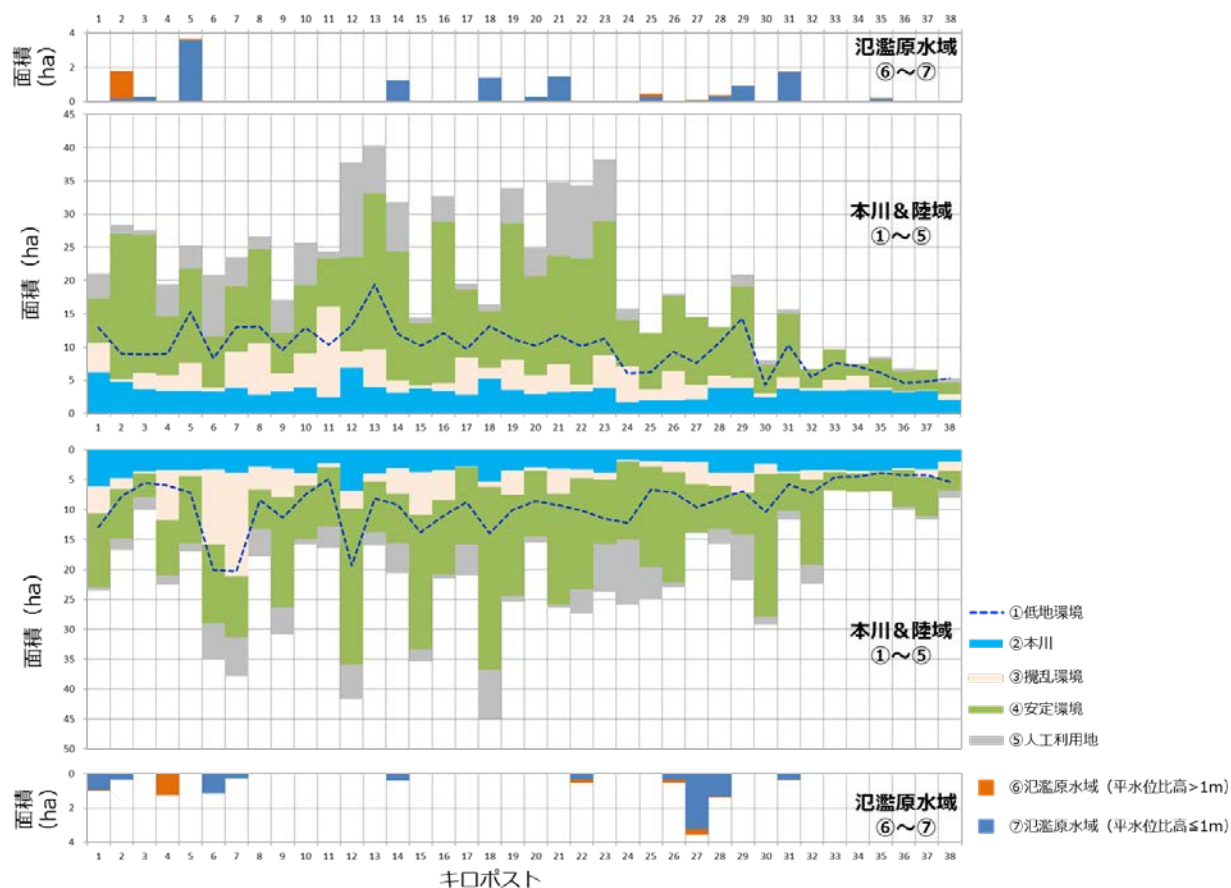


図7. 木津川0～38kpにおける氾濫原環境能力図の例

⑥氾濫原水域（平水位比高>1m）：イシガイ類の生息ポテンシャルが低い水域の面積。

⑦氾濫原水域（平水位比高≤1m）：イシガイ類の生息ポテンシャルが高い水域の面積。

過年度の成果から、イシガイ類は、冠水頻度は高い（平水位比高が小さい）が、同時に攪乱強度が低い安定した水域に多く生息することが確認されている。これを氾濫原環境能力図に当てはめて考えると、安定した自然植生の領域（安定環境：緑色バー）のうち、平水位比高1m以下の低地部分（低地環境：破線）が、イシガイ類の生息水域を形成できる可能性が高い場所と期待される。ここで注意が必要なのは、低地環境には攪乱環境（肌色バー）も含まれるので、前者が後者の面積を上回り、かつ安定環境も存在する場合、期待できる面積が多くある区間と判断されることである。また、イシガイ類の生息に関する現状の評価としては、平水位比高1m以下の水域（青色バー）の多い区間が、生息ポテンシャルの高い区間と判断される。

木津川の例では、右岸1～6kpや右岸12～30kp付近、また左岸12～30kp付近にかけて、安定した低地環境が多く存在し、イシガイ類の生息水域を形成できる可能性が高い区間と期待される。右岸1～6kpには、平水位比高1mを超える水域が多い区間（2kp）と1m以下の水域が多い区間（5kp）が存在する。例えば、前者では、水域の冠水頻度が高まるように、高水敷の切り下げや導水路（出水時の流路）の整備といった対策が考えられ、後者は保全区として位置付けることが考えられる。右岸12～30kpや左岸12～30kpも、イシガイ類の生息水域を形成できる可能性が高い区間と判断されるが、水域のない区間も多いことから、安定した低地環境内において水域を造成し、生息水域を増やすことが考えられる。

低地環境の面積が大きくても、攪乱環境の面積も大きい場合、低地環境のほとんどは自然裸地や1年生草本の繁茂する攪乱強度の大きい場所であると考えられるため、イシガイ類の生息水域を確保する区間としては不適であると判断される。木津川の例では、例えば、右岸11kp、左岸6～7kpがこの典型で

ある。このような区間では、イシガイ類ではなく、広い砂礫河原とそれに依存する生物を保全対象と捉えるべきだと考えられる。

### 3.3 洪水攪乱から見た高水敷掘削の意味と課題(全体)

海外における自然河道の研究事例から、河岸満杯となる状況は、概ね1~2年に1度生起していた。後背湿地への氾濫は、河岸満杯を超えて発生すると仮定すれば、原生的氾濫原における後背湿地の冠水頻度は、河岸満杯の発生頻度よりやや低いと考えられる。一方、国内では、昭和40年代のデータに基づくと、低水路の河岸満杯の発生頻度は、概ね2~3年に1度よりやや高い程度と考えられた。以上から、原生的氾濫原と昭和40年代の河道内氾濫原の冠水頻度に大きな違いはなかったと考えられる。ただし、多くの河川で河床低下が進んだ現在の河道内氾濫原の冠水頻度は、以前よりも低くなっていると考えられる。

原生的氾濫原では、氾濫した流れは広く拡散する。一方、河道内氾濫原では、洪水流は堤外地に集中するため、流量の増加に伴う水深の増大が相対的に大きくなる。また、河道を直線的に改修しているため、河床勾配が急になっている。それゆえ、河道内氾濫原における洪水時の作用外力(例えば、河床面せん断力)は、原生的氾濫原に比べて大きいと考えられる。

原生的氾濫原における土砂の堆積速度は1~10mm/year程度であり、海外でも国内でも大差はない。しかし、高水敷掘削を行った場所では、5~

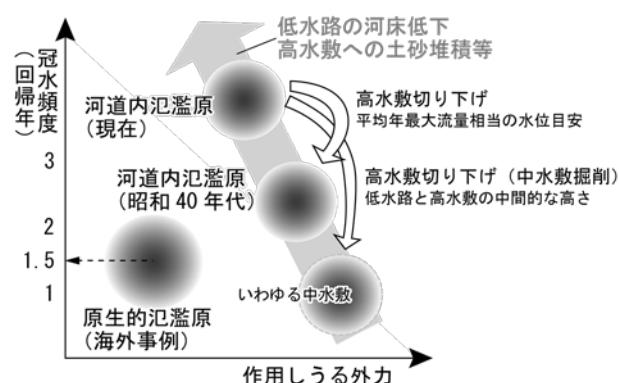


図8. 冠水頻度(回帰年)と作用しうる外力から見た、河道内氾濫原における高水敷掘削の位置付け。Y軸の値が大きいほど、1年あたりの冠水回数は少ない。永山・原田<sup>2)</sup>を一部改変。

10cm/year程度の堆積速度が観測され、原生的氾濫原に比べて1オーダー大きい。

以上の議論を高水敷掘削による河道内氾濫原の再生という観点から整理する(図8)。高水敷の掘削は、河床低下によって拡大した河道内氾濫原の比高を是正し、原生的氾濫原に類似した昭和40年代の冠水頻度、またはそれ以上の冠水頻度の場を創出する操作である。しかし、これらの掘削面では、洪水外力は大きく、土砂の堆積速度も速い。この傾向は、より低く掘削された(中水敷掘削された)場所より強いことが予想される。このように、高水敷の掘削は、冠水頻度の面では原生的氾濫原と同程度かそれ以上の状態に戻す操作であるが、そこに生じる作用外力と土砂の堆積速度は、原生的氾濫原のそれらよりはるかに大きく、物理的に不安定な場を創り出す。それゆえ、氾濫原的な環境は、高水敷掘削後、一時的にこそ形成されるものの、それを長期間維持することは困難であることを、我々は基本的な認識として持たなければならない。

### 4. まとめ

本年度(平成26年度)は、河道掘削の方法に関連して、高水敷掘削後の土砂堆積プロセスと流量変動特性との関係を検討した。また、水生生物に適した水域形状(特に水域の幅)を把握するために、たまり内におけるイシガイ類の分布と生息場特性を検討した。評価手法の適用と改善に関連して、実務を重視した簡易な氾濫原環境評価手法とその表現方法について検討を行った。さらに、本研究全体に関わる課題として、原生的氾濫原と河道内氾濫原について洪水攪乱の観点からレビューを行い、高水敷掘削による氾濫原再生の意味と課題について整理した。これらより、以下のことが分かった。

- 1) 豊水位相当の掘削面では、平水位以下の掘削面とは異なり、堆積初期段階から穏やかな冠水に伴いウォッシュロードが堆積することが分かった。
- 2) 高水敷掘削面への土砂の再堆積過程において、小流量(平水流量の数倍~10倍程度)でも、継続時間が長いために、堆積への寄与が大きい可能性が示唆された。
- 3) 氾濫原水域の周辺に成育する樹木は、水域内へ枝や葉を落とし、イシガイ類の生息を制限し、水域内分布に影響を与えていた。そのため、イシガイ類が長期にわたって生息するには、河畔樹木が成

熟しても、上空に張り出した枝に覆われない水域幅（少なくとも 10m 以上）が必要であることが分かった。

- 4) 5 河川における検討から、イシガイ類は平水位比高 1m 以下の水域に生息している傾向が強かった。これを氾濫原環境の簡易指標として用い、流下能力図と類似の形式で氾濫原環境を評価する氾濫原環境能力図を作成した。河川整備計画の策定や見直しにおいて活用が期待される。
- 5) 高水敷掘削は、冠水頻度の面では原生的氾濫原と同程度かそれ以上の状態に戻す操作であるが、作用外力と土砂堆積速度は原生的氾濫原よりはるかに大きく、物理的に不安定な場を創り出す。それゆえ、氾濫原的な環境は、高水敷掘削後、一時的にこそ形成されるものの、それを長期間維持することは困難であると考えられた。

今後は、開発・改善した氾濫原環境の評価手法を個別河川に適用し検証するとともに、より直感的に理解が可能となるよう氾濫原環境能力図を改善する必要がある。また、高水敷掘削後において、掘削手

法や河川の特성에応じた地形の応答、形成される水域の特徴および消長などを整理し、個別河川で得られている知見を一般化し、掘削手法を改善、提案する。

#### 参考文献

- 1) Tockner & Stanford: Riverine flood plains: present state and future trends, Environmental Conservation Vol.29, pp.308-330, 2002
- 2) 永山滋也・原田守啓・萱場祐一 (2015) 高水敷掘削による氾濫原の再生は可能か?～自然堤防帯を例として～. 応用生態工学 17: 67-77.
- 3) 根岸淳二郎・萱場祐一・佐川志朗 (2008) 氾濫原の冠水パターンの変化とその生態的な影響～淡水性二枚貝の生息状況の観点から～. 土木技術資料 50(11): 38-41.
- 4) 原田守啓・永山滋也・大石哲也・萱場祐一 (2015) 揖斐川高水敷掘削後の微地形形成過程. 土木学会論文集 B1 (水工学) 71(4): I\_1171-I\_1176.

## DEVELOPMENT OF METHOD FOR FLOODPLAIN RESTORATION BY MANIPULATING GEOMORPHOLOGY OF RIVER

**Budget:** Grants for operating expenses, General account

**Research Period:** FY2011-2015

**Research Team:** Aqua Restoration Research Center

**Author:** Yuichi Kayaba, Tetsuya Oishi, Shigeya Nagayama

**Abstract:** Relationship between sedimentation process and flow fluctuation was examined in excavated flood-channels. Contribution of low flow rate to annual fine sedimentation was high in excavated flood-channels. To understand the width of floodplain waterbodies (FWBs) suitable for freshwater mussels, distributions and microhabitats of mussels within the FWBs were examined. As a result, >10 m width of FWBs, which was not covered by riparian trees intensively providing organic matters to FWBs, was necessary for inhabitation of mussels. In addition, we suggested a simple assessment method for floodplain environments which can be used in river management, and proposed a graph style that expresses present state and potential of floodplain environments in every 1-km river sections. Moreover, we reviewed features of flood disturbance in natural and artificial (inter-levee) floodplains to provide future perspectives on floodplain management applying the flood-channel excavation.

**Key words:** floodplain pond, natural-levee, excavation of flood-channel, mussel habitat, channel expansion