様式－1

土木研究所資料　第４１５９号　多自然川づくりにおける河岸・水際部の捉え方　平成22年2月　独立行政法人土木研究所

ＩＳＳＮ　０３８６－５８７８
土木研究所資料　第４１５９号

土 木 研 究 所 資 料

多自然川づくりにおける河岸・水際部の捉え方

平成22年2月

独立行政法人土木研究所
水環境研究グループ自然共生研究センター

Copyright © (2010) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

様式－2

土 木 研 究 所 資 料
第 4159 号　2010 年 2 月

多自然川づくりにおける河岸・水際部の捉え方

（独）土木研究所水環境研究グループ
自然共生研究センター　上席研究員　萱場祐一
自然共生研究センター　研　究　員　佐川志朗
自然共生研究センター　交流研究員　宮下哲也
中部地方整備局
木曽川上流河川事務所調査課　専　門　官　大森徹治
（元中部技術事務所　環境共生課　環境技術係長）
中部技術事務所　環境共生課　環境技術係長　相川隆生

要　旨：

自然共生研究センターは、自然環境と人間との共生に関する研究とその結果の普及を目的として平成 10 年 11 月に設立された。

本資料は、重点プロジェクト研究「水生生態系の保全・再生技術の開発」の 1 テーマ「多自然川づくりにおける河岸処理技術に関する研究」（平成 18～22 年度）において、自然共生研究センター実験河川および実河川で行った研究の成果および既存研究を踏まえ、河岸・水際部の定義、景観上、自然環境上の機能を解説し、更に、河岸・水際部を保全する際の考え方、具体的方法をとりまとめたものである。

キーワード：**多自然川づくり、河岸処理、河岸、水際部、河川景観、護岸、保全方法**

目　次

1　はじめに ····· 1
2　本資料の用い方 ····· 2
3　河岸と水際部に関する基本的事項 ····· 3
3.1　河岸・水際部の概念と定義 ····· 3
3.2　知っておくべき自然環境の基礎知識 ····· 5
3.2.1　河岸・水際部の役割を整理する ····· 5
3.2.2　河岸の役割と見方 ····· 6
3.2.3　水際部の役割と見方 ····· 15
3.2.4　河岸・水際部における環境要素の特徴と役割 ····· 19
3.2.4.1　河畔樹木の機能 ····· 19
3.2.4.2　浸透水の機能 ····· 22
3.2.4.3　空隙の機能 ····· 22
3.2.4.4　水際植物の機能 ····· 23
3.2.4.5　水際部の空隙の機能 ····· 28
3.2.4.6　ポケット状の水域の機能 ····· 34
3.2.4.7　淵の機能 ····· 37
3.3　知っておくべき景観の基礎知識 ····· 41
3.3.1　基本的な知識 ····· 41
3.3.1.1　視点場と河川景観の要素 ····· 41
3.3.1.2　河川景観の横断方向の変化 ····· 42
3.3.1.3　明度・彩度 ····· 43
3.3.1.4　テクスチャー（肌理） ····· 46
3.3.1.5　見かけの大きさ ····· 46
3.3.1.6　「まとまり」に関する原則 ····· 48
3.4　流程別に見る河岸・水際部の特徴 ····· 49
3.4.1　山間地区間 ····· 49
3.4.2　谷底平野区間 ····· 50
3.4.3　扇状地区間 ····· 52
3.4.4　自然堤防帯その１ ····· 54
3.4.5　自然堤防帯その２ ····· 55
3.4.6　感潮域～汽水域 ····· 56
3.5　まとめ ····· 57
3.5.1　流程別に見た河岸・水際部の役割 ····· 57
3.5.2　流程別に見た横断方向の景観の変化 ····· 59

4　河岸・水際部の計画・設計に関する基本的事項 …… 61
4.1　３つの基本原則 …… 61
4.2　河岸処理の流れ …… 63
4.2.1　河岸処理手法選定のフローの例 …… 63
4.2.2　影響を回避するケース …… 64
4.2.2.1　法線形状の変更により回避する …… 64
4.2.2.2　片岸拡幅により回避する …… 65
4.2.3　影響の回避ができないケース …… 66
4.2.3.1　河岸防護が必要でない場合の対応 …… 66
4.2.3.2　河岸防護が必要な場合の対応 …… 67
5　護岸を設置する場合の留意点 …… 68
5.1　護岸工法の捉え方 …… 68
5.2　露出タイプ護岸の概要 …… 76
5.2.1　概要 …… 76
5.2.2　使用材料と景観上の配慮事項との関係 …… 77
5.2.3　河岸前面の堆積域の形成判定 …… 78
5.3　実際の工夫 …… 82
5.3.1　法面における工夫 …… 82
5.3.1.1　工夫の考え方 …… 82
5.3.1.2　実際の工夫 …… 83
5.3.2　水際部における工夫 …… 93
5.3.2.1　工夫の考え方 …… 93
5.3.2.2　実際の工夫 …… 93
5.3.3　水域－陸域間の生物の移動経路に関する工夫 …… 97
5.3.3.1　工夫の考え方 …… 97
5.3.3.2　実際の工夫 …… 97
6　おわりに …… 98
参考文献…… 99

1　はじめに

河岸は水域と陸域の遷移領域であり、河川風景、生物の生息場所にとって極めて重要な場所と考えられています。このため、河川改修、災害復旧により人為的改変を行う場合には、環境に配慮した工法を採用し、人為的改変による影響の軽減を行ってきました。特に、河岸の緑化や水際部の空隙確保を意図した護岸工法は自然環境への影響の軽減効果が高いと考えられ、数多くの護岸ブロックが開発され、河岸の保全に用いられてきました。

しかし、これらの工法を採用した箇所を見ると、緑化が不十分で白い法面が露出し河川風景を台無しにしている例も散見されます。また、自然河岸をよく観察すると、その構造は多様であり、緑化、空隙の確保といった視点だけで河川風景や生息場所を保全できないことが理解できます。河岸を保全するためには、自然河岸が有する多様な構造とその機能を理解し、また、これらの特性が流程（例えば、上流、中流、下流）によって異なることを基礎知識として知ることも必要です。更に、人為的改変による影響を軽減するためには、適切な護岸工法の選択といった自然河岸が有していた「機能の代替」だけでなく、質の高い河岸については法線形状を変更して「影響の回避」を試みる等より広い視点から河岸・水際部を保全することも重要です。

本資料では、河岸・水際部を対象とし、既往の調査・研究を取りまとめ河川風景、生物の生息場所を保全するための基礎知識を体系的に取りまとめました。また、具体的な保全方法の考え方を示すとともに、護岸を設置する際に留意すべき工夫を取りまとめました。本資料には、研究途上にあり河岸の保全上の必要性が不明瞭な項目も一部含まれていますが、ご一読頂き、河岸・水際部の保全計画、護岸構造の検討、更には、護岸工法の開発や評価等に活かして頂ければ幸いです。



写真 1.1　自然河岸と人為的に改変された河岸の対比

自然河岸には多様な構造が見られます。緑化や空隙の確保は河岸・水際部保全の一手法でしかありません。また、生物の生息に配慮しても白い法面の露出、河畔林の消失は河川風景、河川生態系の劣化を引き起こします。良好な自然河岸を見極め、広い視点から保全を図ることが多自然川づくりには不可欠です。

2　本資料の用い方

(1)本資料の特徴

本資料では、良好な河岸を効果的に保全するために、今まで漠然と定義されていた河岸を河岸と水際部に分けて、それぞれに見られる環境要素とその機能を取りまとめました。取りまとめは、自然環境と河川景観の２つについて行い、前者については自然共生研究センターで実施してきた研究内容を取りまとめ、後者については既往の文献から河岸、水際部に関する内容を抽出し整理しました。また、これらの知見を背景としながら、実際に保全を図る場合のポイントを整理し、影響の回避・低減・代替といった観点から保全に至る考え方、具体的な工夫を提示しました。

提示に際しては、河岸・水際部の特徴や保全方法等の知見を一般論として述べた後「データは語る」として当該知見を裏付ける研究成果を具体的に記載しました。「データは語る」は事例的な扱いになりますが、一般論として述べた内容の科学的裏付けの一つとしてご覧頂ければと思います。また、一般論として述べた内容は、「データは語る」で示した研究成果、既往の研究、観察結果等を総合的に踏まえて導いたものですが、今後の研究の進捗によっては内容が変化する可能性があります。この点については予めご了承頂きご一読下さい。

(2)本資料が対象とする河川

対象河川は以下を想定しています。

- 単断面もしくは単断面に近い中小河川

本資料では単断面もしくは単断面に近い中小河川を想定していますが、景観、自然環境に関する基礎知識は複断面河道の大河川であっても低水護岸であれば基本的な考え方の適用は可能と考えています。

(3)対象となる技術者等

計画・設計段階を想定していることから、特に、

- 計画・設計の発注者となる河川管理者
- 護岸をデザインする建設コンサルタント
- 二次製品を供給するメーカー

を対象としています。また、研究成果をトピックスとして扱っていること、また、一部、施工に関わる部分もありますので、

- 川に関心のある学術者、一般の方々
- 施工に関わる技術者

も参考にできる部分があります。

3　河岸と水際部に関する基本的事項

3.1　河岸・水際部の概念と定義

水際は陸と水とが接する境界であり、“水際線（汀線）”つまり線として理解されています。水際より陸域側の水域の影響を受ける範囲、水際より水域側の陸域の影響を受ける範囲はエコトーンとなり、この双方は水際部と定義できます。水際部の陸域部は土壌水分が多く湿性の植物が繁茂し、水際部の水域部は陸域の影響を受けて、流速、水深、照度、川底の材料は小さくなる傾向にあり、流心とは異なる環境を呈しています。このため、遊泳能力が小さい水生生物、暗がりや砂、泥を好む水生生物の生息場所となり、水域における瀬・淵構造とともに保全すべき重要な場所となっています。

一方、河岸とは低水路の側岸に対応しているところであり（単断面河道の場合は河道そのもの)、その法先と法肩の比高は大きく、法勾配は一般的に大きくなります。河岸材料は河床勾配により異なり、例えば、扇状地河川では礫、砂から構成され粘着性や植被に乏しく、他方、自然堤防帯ではシルトから構成され粘着性が高く植物の繁茂は旺盛です。

河岸と水際部は、河岸前面に堆積域が存在しない場合には、概ね同所的となりますが、河岸前面に堆積域が形成される場合には、河岸から離れた位置に水際部が存在します。同所的とならない場合には、河岸を改変しても改修後に堆積域が再度形成される場合が多く、「水際部」と水際部に依存する生物に対する影響は小さいでしょう。一方、同所的な場合には、河岸の改変は河岸と水際部の双方を劣化させる可能性があるため前者と比較してより慎重な対応が必要となるでしょう。

河岸と水際部を区別することは河岸、水際部の保全・修復を考える際に重要な視点の一つですから、河岸と水際部が同所的となる場合、ならない場合の条件を河道特性との関係からしっかりと理解していく必要があります（5 章にて説明)。

ところで、河岸・水際部は同所もしくは近傍に位置しているため重複する機能を有しています。このため「河岸の機能」「水際部の機能」という整理をすると重複する機能の扱いが難しくなります。そこで、本資料では便宜上、河岸を「水際より陸域側の法肩までの部分」とし、水際部を「水際より水域側の部分」と定義しますので留意して下さい（図 3.1)。

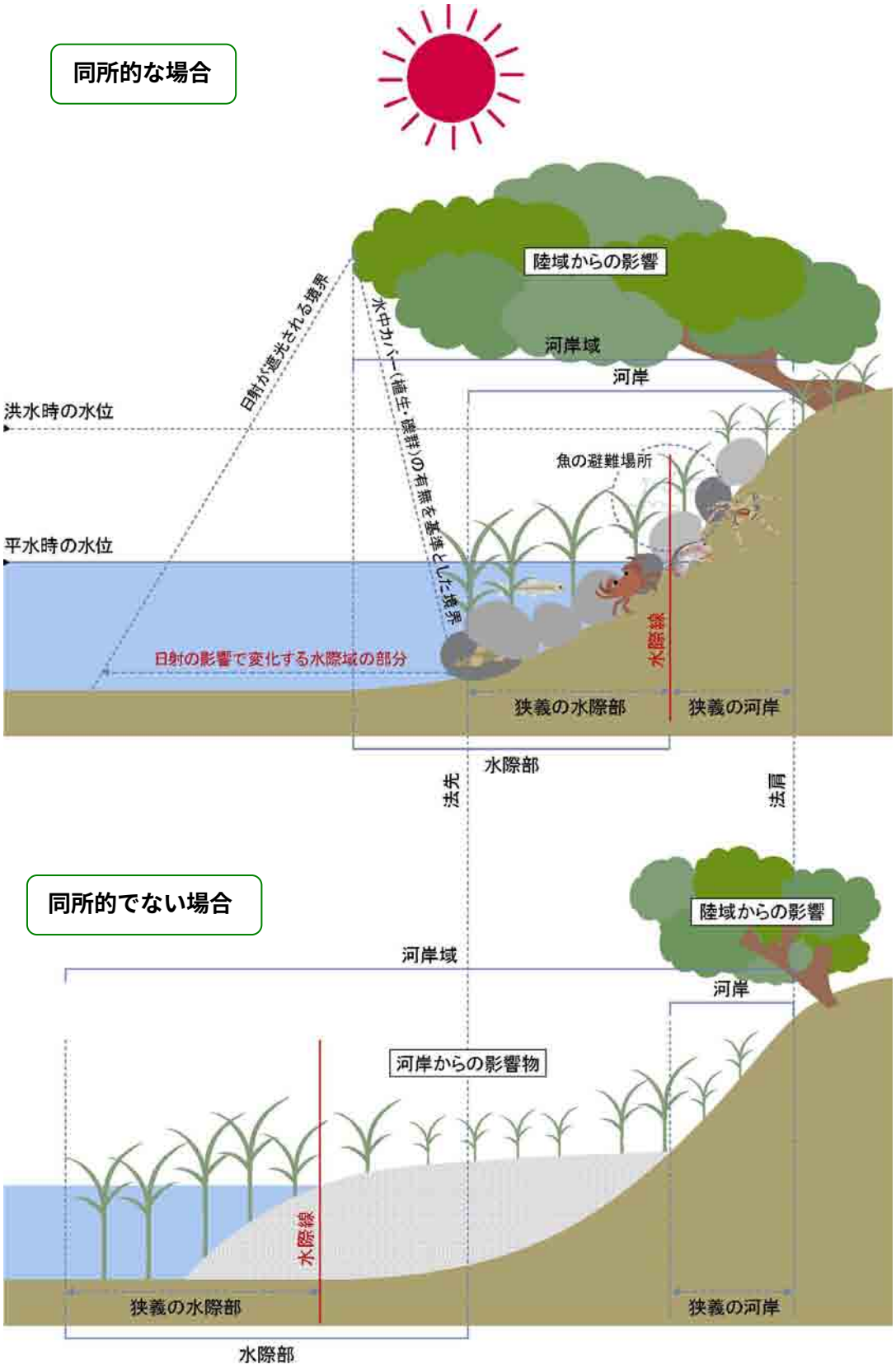


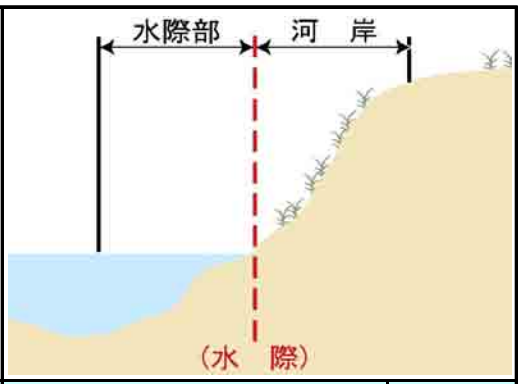
図 3.1　河岸と水際部が同所的な場合（上）、河岸と水際部が同所的でない場合（下）

3.2　知っておくべき自然環境の基礎知識

3.2.1　河岸・水際部の役割を整理する

河岸・水際部は景観保全上重要な要素であると共に、陸生、水生生物にとって不可欠な生息場所です。ここでは、河岸と水際部の２つを対象として、平常時、洪水時の双方について、生物の生息に対する役割をまとめました（表 3.1）。

表 3.1　河岸･水際部の平常時と洪水時の役割比較

概 要 図					
役割区分		平 常 時			洪 水 時
		生息・繁殖場所		移動経路	避難場所
		水 際 部	河　岸	河　岸	河　岸
魚類	遊泳魚･底生魚	○	―	―	○
甲殻類･両生類･爬虫類		○	○	○	―
水生昆虫	水生(成虫時)	○	―	―	―
	陸生(成虫時)	○	○	―	―
陸上動物	土壌動物	―	○	―	―
	哺乳類	―	○	○	―

○：当該機能を満たす場合が多い
×：当該機能を満たさないことが多い、－：機能として該当しない
注）ここでは、河岸、水際部いずれも狭義の河岸、狭義の水際部のことを示す。

3.2.2　河岸の役割と見方

(1)河岸の役割

①生息場所としての役割

背後地から水が浸みだし湿潤状態が維持されている河岸は、河岸法面の比較的広い範囲がエコトーンとなりサワガニなど陸・水の両者で生息できる多様な生物が生息しています。ホタルやカワゲラなどの水生昆虫は、河岸を蛹としての生息場や羽化する場所として利用しています。また、自然河岸では、トビムシやワラジムシなど土壌に依存している生物の生息場所となっており、これらを餌資源とするクモなども生息しています。さらに、食物連鎖で上位に位置する陸生のトカゲ、ヘビ、トガリネズミといった肉食性の生物の生息場所ともなっています。また、河岸に繁茂し水面にオーバーハングする樹木は水際部の生息環境の向上に寄与することが確認されています。

②移動経路としての役割

陸域から水域、水域から陸域に移動する生物の横断方向の移動経路として利用され、特に、背後地に山林等の環境がある場合には河岸の移動経路としての役割が大きくなります。移動経路としての利用の可能性は法勾配だけではなく、河岸の材質などに影響を受けることが知られています。特に、冬季の越冬場などとして河岸を利用しているサワガニやカエル、季節的移動をするカメについては、移動経路としての役割が必要であると考えられます。

③避難場所としての役割

平常時の水際部は洪水時に水深や流速が大きくなり水生生物の避難場に対する役割は期待できません。一方、洪水時に河岸は流心と比較して低流速域となり、また、濁りも小さくなるため水生生物の避難場所として利用される可能性が高くなります。例えば、河岸法面を覆う植物、河岸に形成される凹状のワンドは実験河川等のデータから避難場として利用されることが明らかにされています。

(2) 河岸の見方　－自然の河岸と改変された河岸を比較してみよう。

自然の河岸とコンクリートブロックを設置した改変された河岸それぞれについて、水際部と法面部の物理環境特性を見比べてみましょう。自然の河岸は水際・法面部ともに植物、湿り気、枯葉などの有機物が多く、法面の起伏が大きいです。また、法肩に河岸を覆うように河畔林があり、全天空に対して開放する面積比率を表す開空率が小さいです。開空率が小さいことから法面表面への日射も抑制され、法面温度の変動が小さいという環境特性をもっています（図 3.2 左）。一方、改変された河岸は植物、湿り気、有機物が少なく、法面の起伏が小さく、法肩の河畔林は伐採され、開空率が大きくなり、日射が抑制されず法面温度の変動が大きいという自然河岸とまったく異なった物理環境特性を持っていることがわかります（図 3.2 右）。これらの自然河岸で見られる環境特性は、河岸法面の生物の生息場所、そして、水域と陸域との生物の移動経路の確保に重要な要素となることが明らかになってきています。従って、自然河岸を人為的改変する場合には、法面の緑被率、湿り気、起伏の大きさや法面への日射抑制を促す河畔林等の有無を確認することは、当該河岸の環境の善し悪しを簡易に評価するための物差しになります。

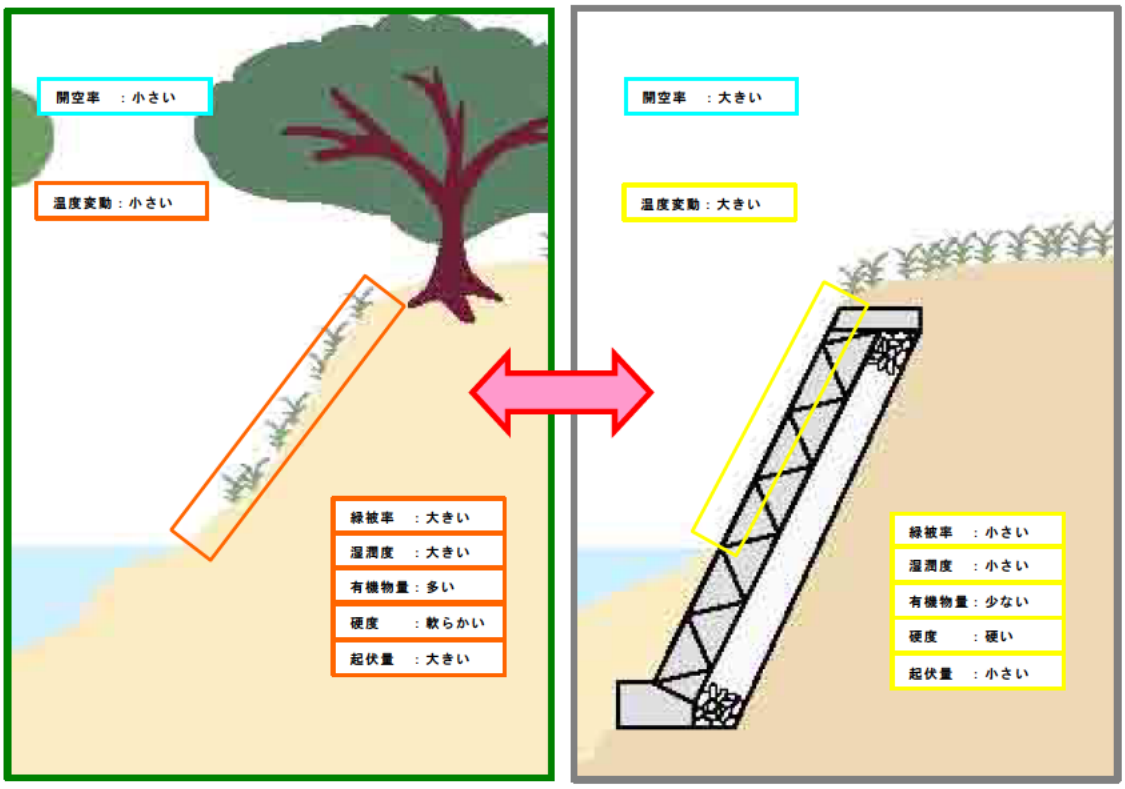
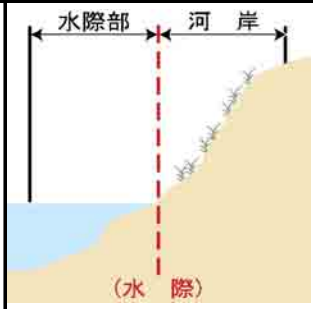
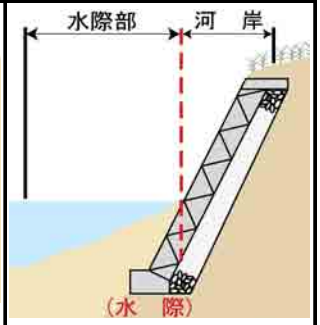


図 3.2 自然河岸と改変された河岸の違い

自然の河岸（左）と改変された河岸（右）の物理環境特性の違いを示しています。

護岸が露出する場合の河岸法面における生物の生息場所を形成する条件を考えるために、物理環境と生育・生息している生物について、自然河岸と改変された河岸において、比較を行いました。(表 3.2)。

表 3.2　河岸形式の違いにおける物理環境および生物の生育・生息場としての利用

河岸形式			自然河岸		改変された河岸	
概 要 図						
河 岸 区 分			水際部	河　岸	水際部	河　岸
物理環境	水際の入り組み		○	○	×	×
	多様性(形状,柔軟性)		○	○	×	×
	堆積物の有無(土砂･有機物等)		○	○	×	×
	湿潤状態	保水性(河岸表面)	―	○	―	×
		透水性(浸透水配慮)	―	○	―	×
	表面温度の抑制		―	○	―	×
	河畔林の保全		○	○	×	×
生育生息繁殖	植物	抽水植物	○	―	×	―
		コケ植物	―	○	―	×
		草本類	―	○	―	×
	魚類	遊泳魚･底生魚	○	―	×	―
	甲殻類･両生類･爬虫類		○	○	×	×
	水生昆虫	水生(成虫時)	○	―	×	―
		陸生(成虫時)	○	○	×	×
	陸上動物	土壌動物	―	○	―	×
		哺乳類	―	○	―	×
移動経路	甲殻類･両生類･爬虫類		―	○	―	×
	陸上動物	哺乳類	―	○	―	×
避難場所	魚類(遊泳魚,底生魚)		―	○	―	×

河岸に生育・生息する生物について見比べてみると、自然河岸においては、ホタルなどの水生昆虫の幼・成虫や土壌に依存して生活をするトビムシなどの土壌動物やそれらを餌資源としているクモなどが生息場所として利用しており、更に上位食者となるモグラやトガリネズミ、カエルなどにも利用されます。加えて、水際部はサワガニやカメなどにも利用されます。一方、改変された河岸では、土壌動物の生息場所となる土壌環境がなく、水分条件、植物の生育等が劣っている、生物の生息場所として適していない状態であることがわかります。まだ事例的な理解に留まっていますが、配慮すべき工夫については、①湿潤状態を維持すること、②柔らかい材料を確保すること（土壌）、③温度変動を抑制すること、④植物の繁茂を促すことが法面部に確保すべき条件となりそうです。

データは語る　～生物はどのような河岸を好んでいるのか？～

生物が生息場所や移動経路として利用する河岸にはどのような物理環境特性があるのかを秋季に調査した結果について紹介します。

調査は三重県を流れる一級河川宮川水系の注連小路川において、河岸形式の異なる５調査区（１：空積ブロック護岸、２：練積ブロック護岸、３：空石積護岸、４、５：自然河岸）を選定しました（写真１）。

１調査区につき方形区（50×50cm）を水際部と法面部に分け、１０方形区設定。設定した方形区ごとに、粘着トラップおよび見つけ採りによる生物の採取と物理環境特性として土壌の構成材料・硬度および植生状況、湿潤度、表面温度などについて計測を行いました。

採取した生物を飛翔性（飛んで移動：ハエ目、ハチ目など）および非飛翔性（歩いて移動：クモ目、サワガニなど）に分けてみました。また、採取された生物と物理環境特性との関係を分類・回帰樹木によって解析しました。

その結果、自然河岸および空石積護岸は非飛翔性の生物が70%以上を占め、コンクリートブロックによる河岸は飛翔性の生物の割合が 50%以上を占めていました（図 1）。



写真1　調査区および調査区概要

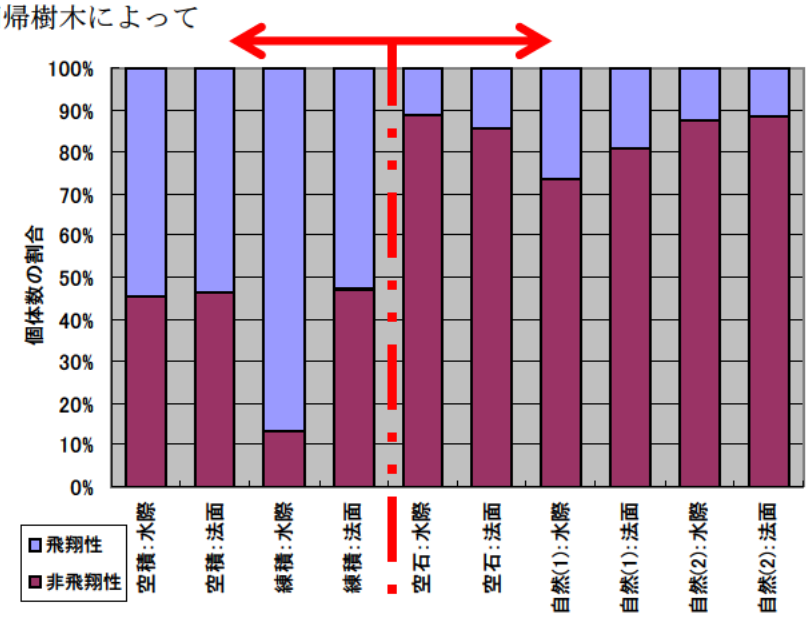


図1　採取した生物の割合

また、分類・回帰樹木によって飛翔性生物には温度変動の大きさが影響しており(図 2)、非飛翔性生物については、法面の湿潤度が影響していることが確認されました（図 3)。しかしながら、計測した各物理環境要因の間には相関関係の強いものがありました。非飛翔性生物について見ると、湿潤度が高く、土壌が柔らかく、植生が多く、温度変動が抑制されているような環境が生息場所として必要な条件であると解釈できます。このような条件を満たしている自然河岸では改変された河岸に比べ、土壌に依存する生物が多く確認され、それらを餌資源としているクモ目などが多く確認されています。また、春季調査の結果では、自然河岸は改変された河岸に比べ、生物の多様性が高く、種数が多いという結果が得られています。

今回のような小さなスケールにおける河岸を生息・利用している生物と物理環境との因果関係を解明していくことが新たな河岸処理手法の開発に必要不可欠であると考えます。

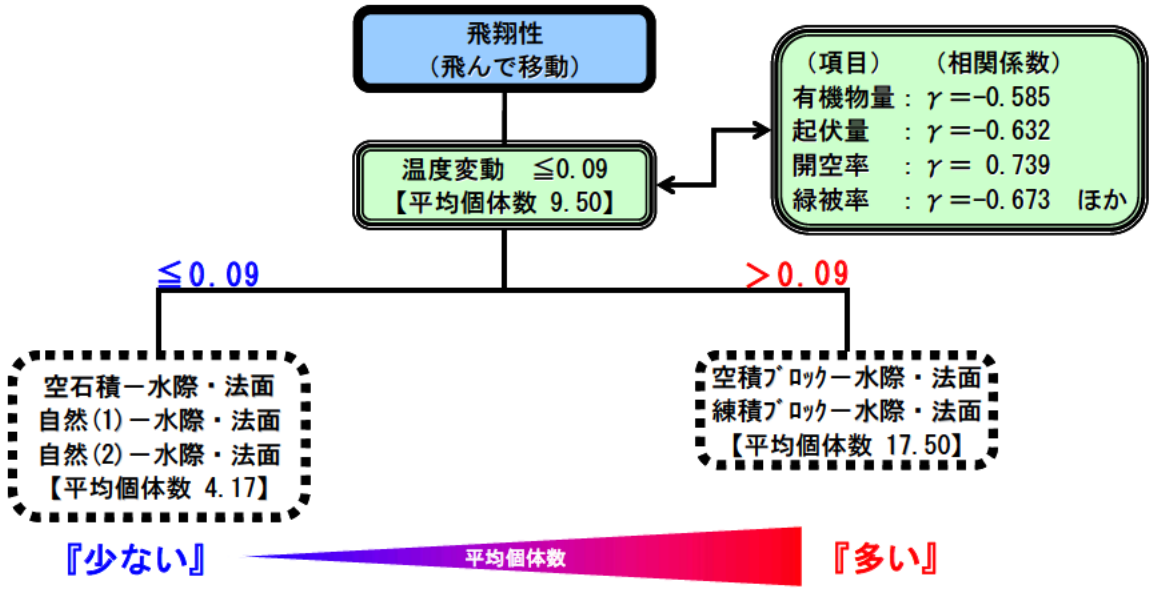


図 2　回帰樹木(飛翔性生物の場合)

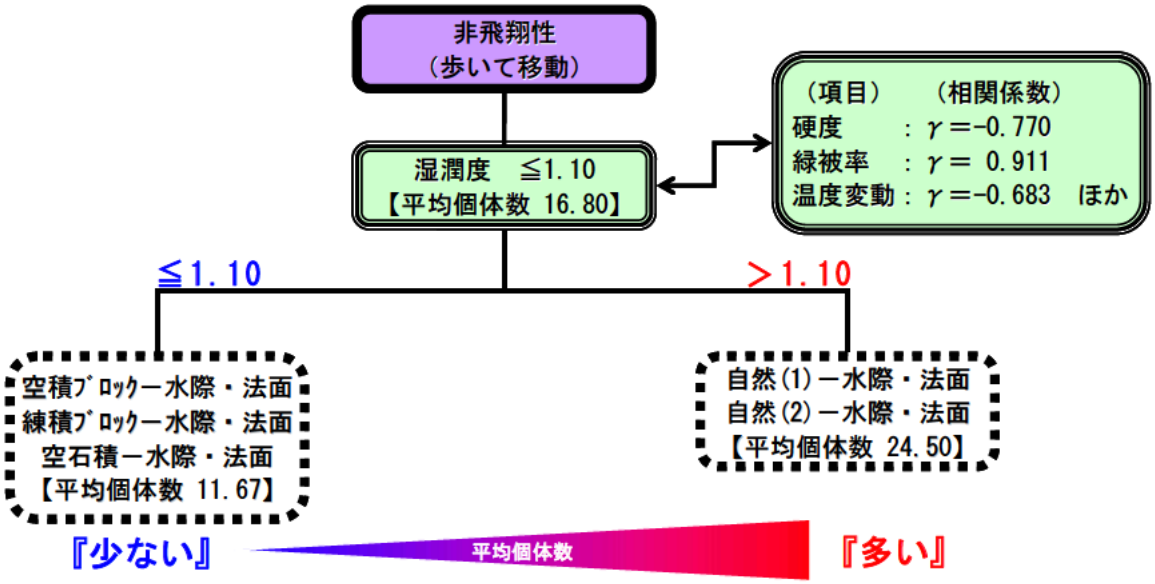


図 3　回帰樹木(非飛翔性生物の場合)

データは語る　～河岸法面が生物の移動経路となるための条件とは？～

陸域と水域との中間領域に当たる河岸は、陸域と水域の双方を利用する生物の移動経路として利用されています。例えば、カメ目は、夏季は主に水田で生活し、寒くなってくると移動して冬季には谷川などを中心に生活している事例があります。また、カエル目は河岸法面の中部など水の影響のない箇所まで移動し、土の中や落葉の下に身を隠し越冬している姿を見かけます。移動経路の機能に関する知見は、カメ、イモリ、サンショウウオ、ヒキガエルなど地表を四足で歩行する両生類、爬虫類はコンクリート製の斜路の角度が３０度以下であれば、斜路面に大きな凹凸がなくても登攀できることが実験にて確認されている程度であり、この成果をもとにして、道路用側溝や集水枡に斜路を設け、斜路表面をほうき目仕上げや多少の凹凸を設けている事例がみられます。しかしながら、法面上の起伏・植生の繁茂などが生物の登攀に及ぼす効果については明らかになっていません。この点について現在実施している研究について紹介いたします。

本研究では、法面上の起伏が登攀に及ぼす効果を明らかにすることを目的として、滑面のコンクリート面から砂面や大礫と粒径の異なる表面形状をしたパネルを用いて、様々な勾配において実験を行ないました（図１）。生物は、ヌマガエル、クサガメ、サワガニ（ヌマガエル以外、同一個体を使用）を対象とし、パネル面上を移動させ、登攀できた（○）・できない（×）で判定しました（表１）。



図１　実験イメージ

ヌマガエルは、コンクリート面のみで２割勾配でも登攀できませんでしたが、それ以外のすべてのパネルと勾配で登攀できました。クサガメは２割勾配であれば、すべてのパネルで登攀できましたが、粒径の小さな砂面と大礫では１割より急な勾配で登攀はできず、カメについては体の大きさと起伏の大きさに関係あることが示唆されました。また、サワガニは、細礫以上の粒径の起伏であれば、勾配に関係なく登攀できました。今後は、様々な大きさの生物サンプルを用いて、起伏が登攀に及ぼす効果を確認するとともに、起伏以外の効果についても研究を進めていきたいと考えています。

表１　実験結果

種　類	①コンクリート面				②砂　面				③細　礫				④中　礫				⑤大　礫			
写　真																				
粒　径	滑　面				径:75μm~2mm				径:2mm~4.75mm				径:4.75mm~53mm				径:53mm~256mm			
勾　配	2割	1.5割	1割	5分	2割	1.5割	1割	5分	2割	1.5割	1割	5分	2割	1.5割	1割	5分	2割	1.5割	1割	5分
ヌマガエル（体長19~22mm）	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
クサガメ（甲長124mm）	○	×	×	×	○	○	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×
サワガニ（甲幅20mm）	○	○	×	×	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

データは語る　～河岸法面を覆う植物は水生生物の洪水時避難場所となるか？～

2006 年、自然共生研究センターは、実験河川にて魚類を対象に河岸法面を覆う植物の洪水時における避難場としての機能について調査しました。

河岸法面を植物が覆う「植生区」と河岸法面の植生を刈り取った「裸地区」において、流量を変化（0.2 及び 0.8㎥/s）させ比較実験を行ったところ、いずれも植生区が裸地区の個体数を上回る結果となりました（図１）。

河岸法面を覆う植生が河道の増水時には水没し、水際の粗度を高める働きをするため、河岸法面が裸地の場合に比べて流速が低減します。その結果、増水時の河道部における流速に耐えることができない魚種が、増水時の増加する流速に反応して流速の低い場所を求め、水際部に避難したと考えられ、植生の繁茂した水際は魚類の避難場として機能していることが理解できます。



植生に覆われた平常時(0.2m3/s)の河岸・水際(左)、 植生に覆われた洪水時(0.8m3/s)の河岸・水際(右)

写真１　平常時と洪水時における河道状況

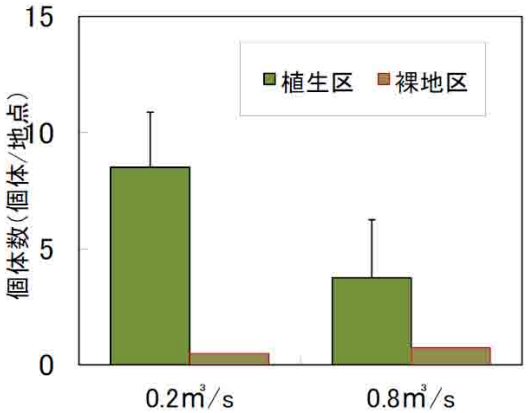


図１　平常時と洪水時の魚類個体数比較

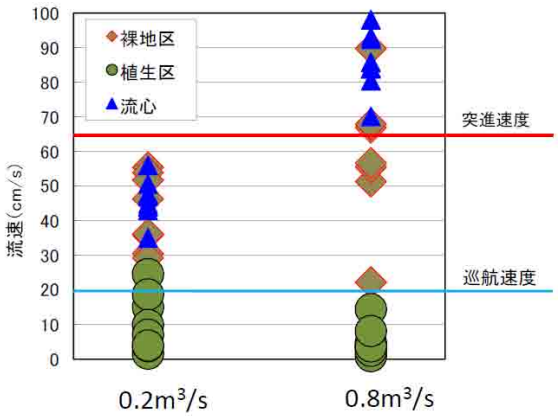


図２　平常時と洪水時の流速比較

ここが One point　－　魚類の巡航速度と水際部の植生

流速測定は裸地区と植生区では水際を、流心では河道中央を対象箇所として実施しました。洪水時（0.8m³/s）では、巡航～突進速度域※の区域が平常時（0.2m³/s）に比べて少なく、洪水時の調査区における河道内では、魚類が長時間遊泳できる巡航速度以下の流速域が植生区に限られていることが分かります。

※：巡航速度は、通常時における魚類の遊泳速度のことで、魚の体長の２～３倍。
　　突進速度は、魚類が一時的に突進する際の速度のことで、魚の体長の１０倍としています。

データは語る　～河岸沿いに形成される凹状のワンドは洪水時の避難場所になるか？～

2003 年、自然共生研究センターは、実験河川にて魚類を対象に、河岸沿いに設置した凹状のワンドが洪水時の避難場として機能を有していることを理解するため、実験河川の「ワンド研究ゾーン」を利用し、流量を 0.1→0.5→1.0 m³/s と増加させた場合のワンドへの仔魚・稚魚の避難状況を調査しました。

調査の結果、増水時には仔魚・稚魚の生息はワンドに生息が限定されただけでなく、仔魚の個体数が増水に伴いワンド部で増加していきました（図１）。

つまり、河岸に形成される凹状のワンドが前述の水際の植生同様、流速の小さい水辺空間を提供することとなり、魚類（特に仔魚）の避難場として機能していることが理解できます。



写真１　増水前 0.1 m³/s（左）、段階的な増水 0.5 m³/s（中）および、同 1.0 m³/s（右）の流況

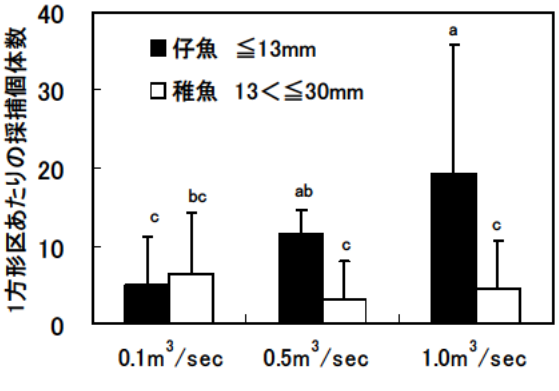


図１　ワンドでの増水にともなう仔魚・稚魚の個体数変化

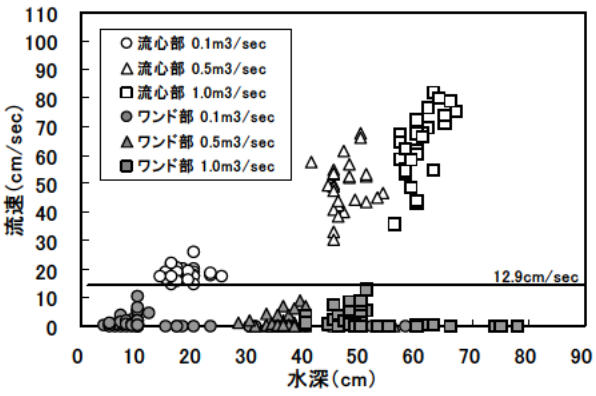


図２　増水にともなう水深および流速の変化

ここが One point－仔魚はどこにいるか？

河川の増水にともない流心部では水深・流速ともに増加しますが、ワンド部では水深は増加しても、流速は増加せず、流速が 10cm/s 程度に抑制されています。実河川の調査でも仔魚期の個体は流速が数 cm/s 程度の領域に集中する傾向が見られ、本結果でも同様の結果が得られました。

3.2.3　水際部の役割と見方

(1)水際部の生息場所、産卵場所としての役割

川の流心には瀬・淵構造が見られ魚類をはじめとする水生生物の重要な生息場所となっていますが、水際部も水生生物にとって重要な生息場所となります。河床勾配の大きな区間で潜水観察をすると、流れの速い流心にはオイカワやアユといった遊泳力の大きい遊泳魚、川底の石の隙間にはヨシノボリといった底生魚が見られますが、多くの魚類は水際部の植物帯、入り組みの凹状の水域等に集中して分布していることが観察できます(写真 3.1、3.2)。

流心と水際部で魚類の生息個体数を比較した調査によると、特に、仔稚魚が多い春季から初夏にかけて水際への依存度が高いことが確認できます (P.16「データは語る」参照)。

また、水際に繁茂する植物体は春になると葉や茎に無数の卵を確認でき、産卵場として機能していることがわかります (写真 3.3)。



写真 3.1　河川中流域に見られる水際のツルヨシ群落



写真 3.2　庇(ひさし)状になったツルヨシの下部で群雄するカワムツ



写真 3.3-1　産卵基質が水際部に分布するクリーク(出水時)



写真 3.3-2　産卵基質となった葉･茎

データは語る　～魚類の生息量を水際部と流心部を比較する～

自然共生研究センターでは（財）リバーフロント整備センターの協力のもと 2004 年の 7 月、8 月、10 月に北上川左支川の砂鉄川を対象として魚類調査を実施しました。砂鉄川対象区間の河床勾配は 1/500～1/850、調査では流心と水際部における魚類生息量の比較を行いました。水際部には裸地、草本植物帯、河畔樹木が繁茂する場所等幾つかの異なる生息場所タイプが含まれています。どの月においても流心と比較して水際部の生息密度は大きく、水際部の生息場所としての役割が高いことが理解できます（図１）。また、各月の体長分布*を見ると、より体長の小さな個体が水際部に多く、遊泳能力の小さな仔稚魚期の個体による利用が多いことが理解できます（図２）。

一般的にアユやオイカワ等比較的遊泳力の強い魚類は流心部に見ることができますが、コイ科の魚の多くは遊泳力が小さく、河床勾配の大きな区間の流心部を選好するケースは多くありません。水際部の植物や複雑な地形は川の横断方向に流れの緩急を付ける川の構造であり、縦断方向に流れの緩急を付ける瀬・淵構造と共に重要な川の生息場所の要素となります。

＊： 体長の確認は、体長を 5 つに区分（Ⅰ：～3cm、Ⅱ：3～5cm、Ⅲ：5～10cm、Ⅳ：10～20cm、Ⅴ：20cm～）して記録しました（「河川水辺の国勢調査マニュアル河川版（生物調査編）」参照）。なお、全期間、全区間での全魚種の総個体数は 2006 個体で、その内、アブラハヤが 1414 個体と優占しました。

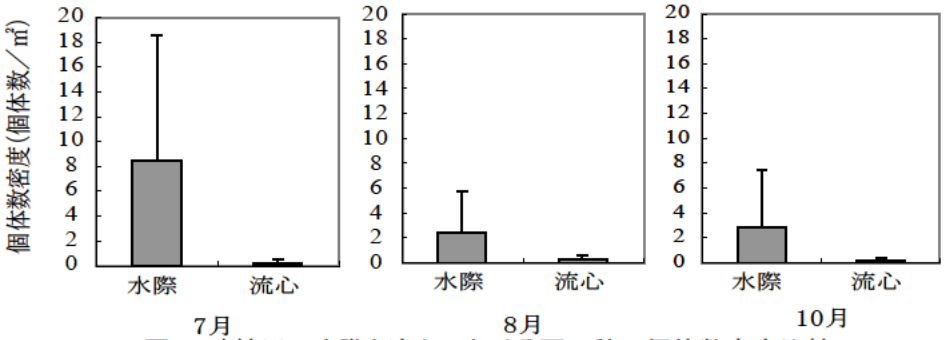


図1　砂鉄川の水際と流心における夏～秋の個体数密度比較

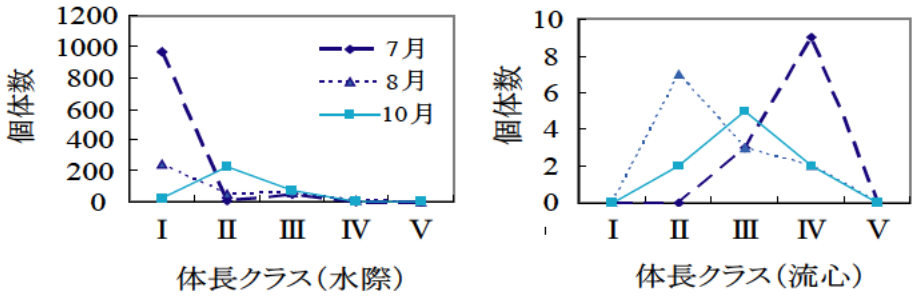


図2　砂鉄川の水際と流心における魚類体長比較

ここが One point－成魚と稚魚では選好流速が違う？

最も小さな個体（体長クラスⅠ）は水際で多く確認され、中でも 7 月は顕著で約 1000 個体を確認できました（図２左）。その多くは、春から夏に産卵するアブラハヤの仔稚魚でした。他方、大きな個体は流心部に見られ、その要因として、例えばアユやオイカワでは体長の大きな個体は、選好流速が異なるといった報告もあり、体長の大きな個体が選好する流速が水際部になかったことが考えられます（図２左、右）。

(2)水際部の見方　－流心と水際部の環境を比較して見よう。

護岸の設置等により水際部特有の環境が失われると、水際部は生息場所として機能しなくなる可能性があります。水際部の生息場所を定量的に評価する手法は未確立ですが、流心から水際方向に向かって流速、水深、底質、明るさがどの様に変化していくかを確認することで水際部を簡易に評価できます。例えば、河川中流域では流心の流速、水深、河床材料は大きく、非常に明るい環境となりますが、人為的に改変されていない自然的な水際部であれば、水際近傍で流速、水深、河床材料の粒径が小さくなり、暗い環境へと変化していくことが確認できるはずです（図 3.3 右)。一方、植物がなく、粗度が小さく、直線的な線形を持った従来型の護岸の場合は、流心と同じ環境が水際近傍まで接近し、水際部特有の環境は消失します（図 3.3 左)。

このように流心と水際部では、流速、水深、底質、明るさ、河床材料といった生物をとりまく物理環境に大きな違いがあることが理解できます。また、この水際部の見方は、水生生物の生息場を物理環境から評価したものですが、今後水際部のより定量的な評価手法へと発展させる必要があります。

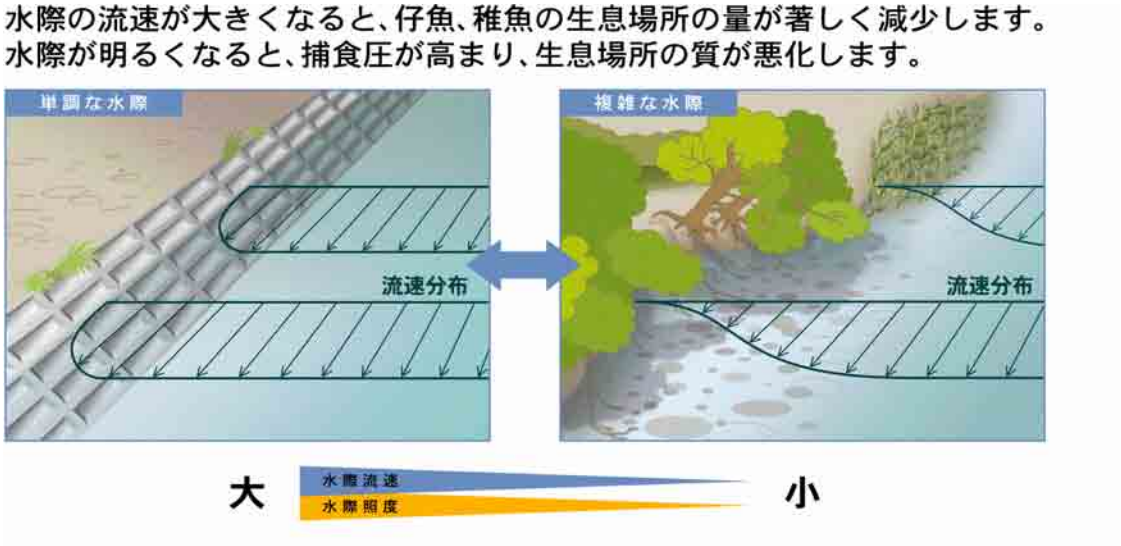


図 3.3　単調な水際部と複雑な水際部

水際部をどのように評価するか、水際部が単調な川と複雑な川の違い。

データは語る　～単調な水際と自然的な水際における魚類生息量を比較してみよう？～

自然共生研究センターは、2004 年秋に木曽川水系牧田川の中流域を対象に水際タイプの異なる水際部と魚類の生息との関係を調査しました。調査にあたって、先ず、蛇行による明瞭な瀬淵構造が見られる箇所や横断工作物周辺を極力避け、次に、視覚的に「平瀬」と判断された直線河道から、植生（植生で覆われた水際）、入り組み（入り組みのある水際）、コンクリート（コンクリート護岸による単調な水際（法勾配 1:0.5～1.0））を各３地区選定し、植生ではツルヨシの繁茂する河岸、入り組みでは山付部の岩盤による凹凸がある河岸、コンクリートではブロック積護岸部を選定しました（写真１）。各水際タイプでの魚類個体数を比較したところ、複雑な水際（植生、入り組み）はコンクリート護岸による単調な水際に比べて多くの個体を確認でき、植生や河岸凹部の魚類生息場の機能を確認できました（図 1）。

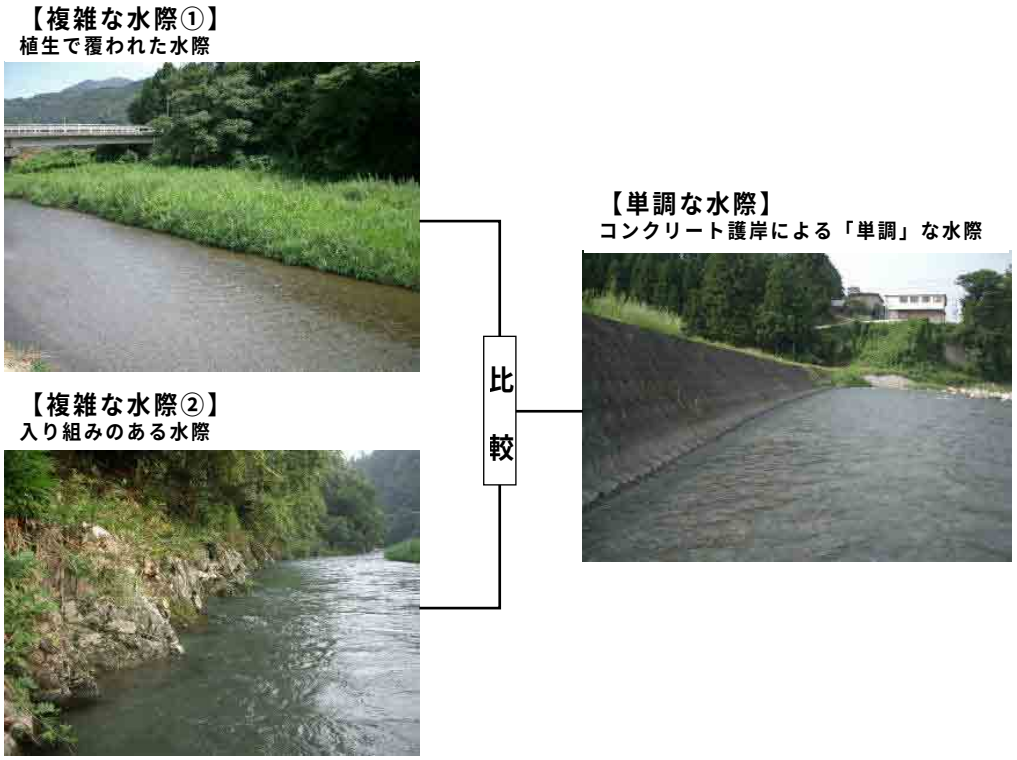


写真1　異なる3タイプの水際部の景観の違い

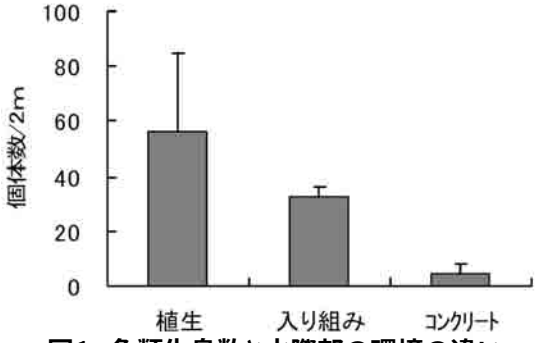


図1　魚類生息数と水際部の環境の違い

ここが One point－
植生と入り組み、どちらが優位？

図１は、調査区の 1 ブロック（延長 2m）当たりの個体数を統計手法（一元配置分散分析）で示したものです。水際タイプの違いによって有意な差が見られました。そこで、多重比較検定をおこなったところ、コンクリート河岸では他の複雑な水際タイプより有意に魚類の個体数が少ない結果となりました。同時に植生河岸と入り組み河岸では魚類の個体数に有意な差はありませんでした。

3.2.4　河岸・水際部における環境要素の特徴と役割

河岸、水際部には幾つかの典型的な環境要素が見られますが、ここではその役割がある程度理解されている代表的な要素に着目し、その特徴を紹介します。

3.2.4.1　河畔樹木の機能

(1)渓畔林の機能

水辺林のうち、渓流部分にあるものを渓畔林と呼びます。この流程は川幅が狭いため、両岸に分布する渓畔林は河道を覆い、日射を抑制する働きを有しています。これに加えて水温、栄養塩濃度が低いことから河床に付着する藻（付着藻類）の生産力は小さくなります。一方渓畔林からの落葉や落下昆虫、山地斜面から流れ込む有機物が水生生物の餌の出発点となり、この流程の生態系を支えています。

例えば、外部から流入する有機物が水生生物にどのように利用されるのか、そのプロセスを見ると、落葉から溶出する溶存態有機物（DOM）、斜面から流入する溶存態有機物が微生物の餌として利用され凝集（フロキュレーション）したものが FPOM※となる経路、落葉そのものが微生物により分解、また、シュレッダーと呼ばれる底生動物に利用され細かく砕かれたり糞となったりして FPOM となる経路があります（図 3.4）。

FPOM は流下しながらコレクターと呼ばれる底生動物に利用されます。川幅が狭い上流域において渓畔林を伐採すると、日射が河床に到達し、渓畔林からの有機物の供給量の減少、そして、日射が差し込むことにより、付着藻類等の有機物の供給が増加します。また、水温の上昇と溶存酸素濃度の減少が生じるかもしれません。イワナ等の冷水性魚類の生息が困難になることや、高い溶存酸素濃度を必要とするカワゲラの生息が困難になるといった問題も生じます。

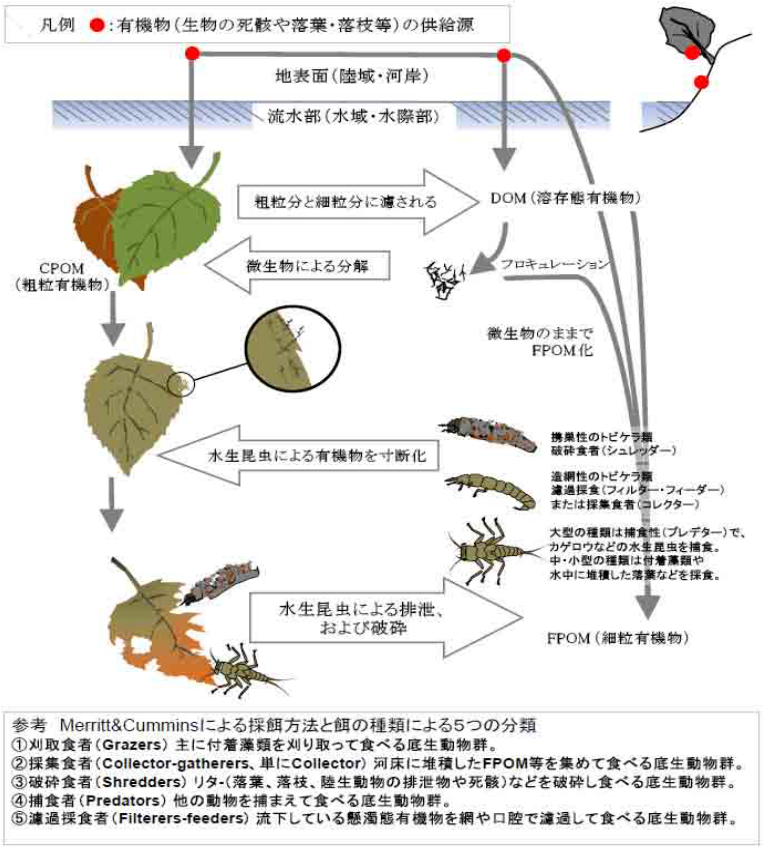


図 3.4　渓畔林からの落葉を起点とする食物網の例

※：FPOM 等の説明は P.20 のコラム参照。

[コラム] - POM（ポム）の分類 -

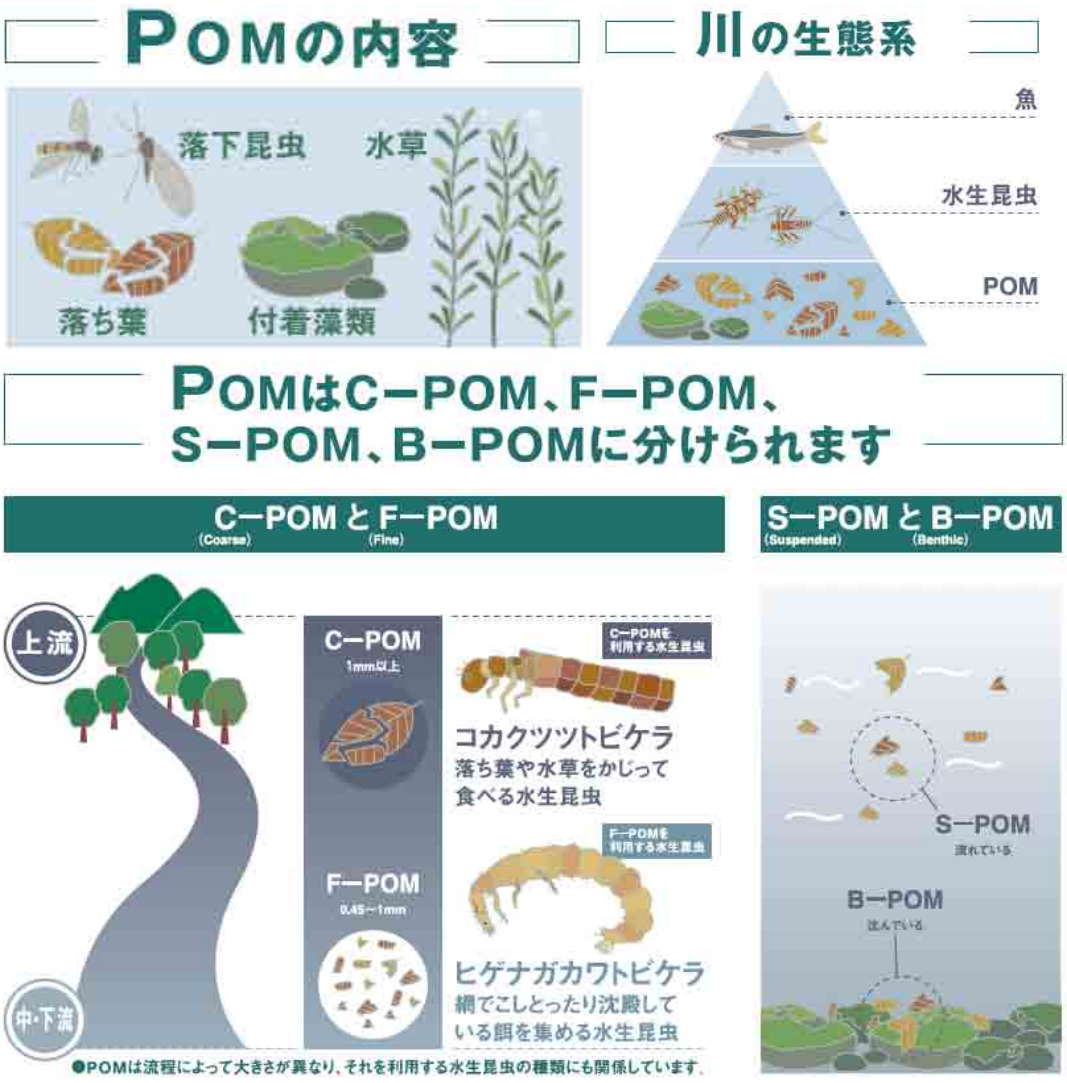
①大きさで分類　FPOM と CPOM

粒径 1mm 未満の小さな有機物は FPOM（Fine Particulate Organic Matter 細粒有機物）、反対に粒径 1mm 以上の大きな有機物は CPOM（Coarse Particulate Organic Matter 粗粒有機物）と呼ばれています。

②流下・堆積の違いで　SPOM と BPOM

有機物を河道内の存在場に着目した表現として、浮遊して流れてくるものは SPOM（Suspended Particulate Organic Matter 浮遊粒状有機物）、他方、通常河床に堆積しているものは BPOM（Benthic Particulate Organic Matter 堆積粒状有機物）と呼ばれています。

なお、POM はピー・オー・エム、またはポムとも読みます。



(2)河畔林の機能

水辺林のうち、河床勾配が比較的緩い区間に分布するものを河畔林と呼びます。この区間の川幅は渓谷部と比較して広く日射が河床まで到達し、また、水温・栄養塩濃度が高くなることで川底に付着藻類が繁茂するため、河畔林の餌資源を供給する機能は、渓谷部の渓畔林と比較して小さくなると考えられます。

一方、水面を覆うオーバーハングした樹冠は水際部の照度を低下させて魚類等に対する捕食圧の低下に寄与しています。また、河畔樹木の一部が水中に没している場合には水中の遮蔽物として働き捕食の回避に寄与するだけでなく、流速を低下させて遊泳能力の小さい魚類・甲殻類の生息場所としての価値を高める働きがあると考えられます。

前述の 2004 年に実施した砂鉄川(河床勾配が 1/500 程度の河川中流域)の調査(P.16「データは語る」）の際、樹木の水没した区間と樹木が水面を覆う区間で、魚類生息量を比較した結果、樹木が水没した区間で生息量がより大きく、樹木が水中に没することによる遮蔽効果と流速低減効果が生息場所の機能を高めていることが推測されました（図 3.5)。

ただし、より河床勾配が小さく流心部の流速が小さい下流域では、元々の流速が小さいため流速低減効果の機能は小さくなる可能性があります。

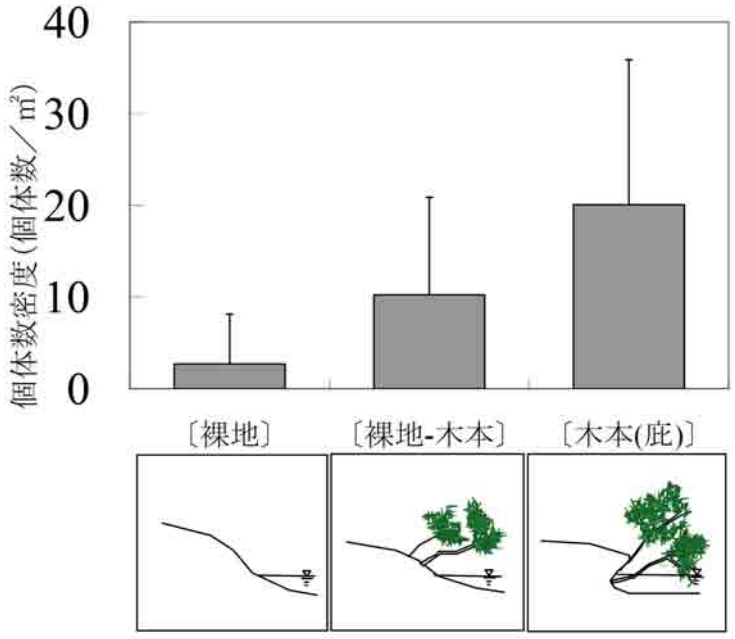


図 3.5　水際タイプ別の魚類生息個体数

「裸地」とは河岸法面に草本や木本がない状態。「裸地-木本」とは河岸法面に草本はなく、木本が水際水面を覆う状態。「木本(庇)」とは河岸法面に草本はなく、また河岸自体が庇状にオーバーハングし木本とともに水面を覆い、かつ河岸法面の木本の一部が水没している状態。

3.2.4.2　浸透水の機能

雨は地表から地下に浸透し、地下水や湧水となって川に流出します。また、背後地に水田があると湛水した水が地下に浸透して河川に流出します。河岸法面から流出する水は河岸の湿潤度の上昇に寄与し、陸上昆虫等小動物ならびにサワガニ等の生息場所としての機能を高めるようです。このような法面における生息場所の機能は、湧水による水分供給に加えて法面に存在する土壌とそこに繁茂する多様な植物が、温度の安定、餌資源の供給、隠れ家の形成をもたらす結果と考えられます（P. 10「データは語る　～生物はどのような河岸を好んでいるのか？～」参照）。浸透水の法面への供給は河岸内部の透水性によって支配されますが、河岸の透水性が大き過ぎる場合は背後からの浸潤線が河岸法面に至る手前で低下して法面に水が供給されませんし、小さ過ぎる場合には水が浸透しません。従って、法面に浸透水を供給するためには“適切な透水性”に留意する必要があります。



写真 3.4　河岸における湧水



写真 3.5　河岸を移動するサワガニ

3.2.4.3　空隙の機能

自然河岸の法面には空隙が少なく、法面形状の起伏に伴う凹部が空隙に近い空間になります。緩やかな勾配の法面上の凹凸は砂やシルト、有機物等の物質を法面に維持する役割を担っていると考えられ、浸透水の供給と共に重要な要素となります。一方、法勾配の急な河岸では自然に形成される凹部において物質を維持することは困難であり、動植物の生育・生息場所としての機能は低下すると考えられます。河岸が人為的に改変され５分勾配の護岸が露出する場合には、この傾向がより顕著になりますから、比較的深さのある空隙が物質を保持する空間としての役割を担うことになります（写真 3.6）。従来からある石積護岸の目地部分はこのような空隙の代表ですが、生物の生息空間として機能するためには空隙に加えて水分と植生基盤となる土砂の供給が不可欠となります。



写真 3.6　空隙の多い法面

空石積の隙間（目地）からの植生

3.2.4.4　水際植物の機能

谷底平野区間、自然堤防区間のセグメント 2-1 や 2-2 の水際部には様々な植物が見られます。水際に繁茂する植物帯（一定の幅、長さを持つ面的に広がりのある植物）には、水中から繁茂し水の流れに影響を与える部分（水中部）、水中・陸上から繁茂した草本植物の枝葉が水際の水面を覆っている部分（陸上部、水上部を含んだ部分）があり、それぞれの機能は異なることが明らかになっています（図 3.6）。

具体的には、水中部には流速の低減効果、そして、産卵基質としての機能が、水中・陸上部には遮蔽効果があり、魚類･甲殻類の生息に寄与することが明らかになっています。

自然共生研究センターで実施した実験結果､実河川を対象とした野外調査の結果､そして､既往の研究を参考として､流速低減､遮蔽の両効果を以下のようにまとめました。

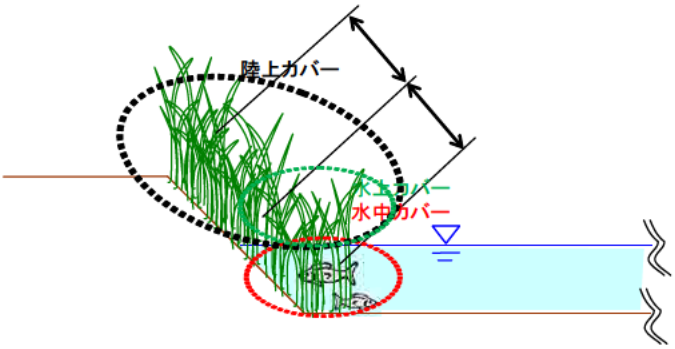


図 3.6　水中カバーと陸上カバーの区分

■流速低減効果について（P.25「データは語る」参照）

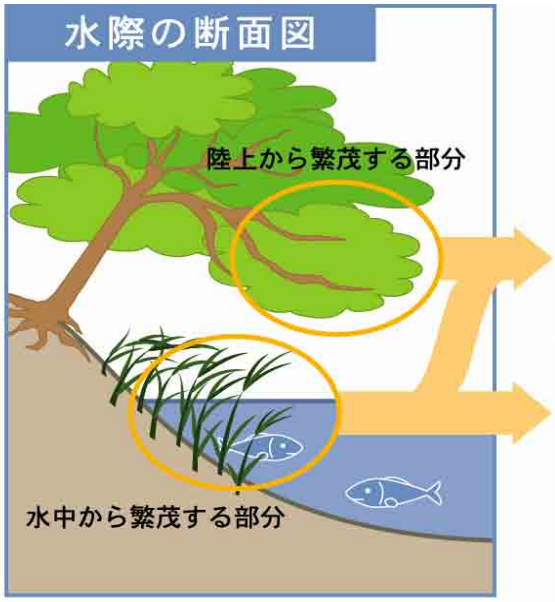
植物帯による水際部の流速低減は魚類の生息環境を考える上で重要な視点です。法面に植物が多く繁茂していても、水中部分が少ないと流速低減効果を期待できません。具体的な流速値と魚類の生息との関係については未だ解明の途上ですが、流速 10cm/s を境として生息量の多寡を説明できる場所が多いようです。特に、遊泳魚で個体サイズが小さい魚種、遊泳魚の仔稚魚期には、流速 10cm/s 以下の領域が非常によく利用されています。一方、底生魚の生息は平常時の流速そのものよりも川底の粒径に支配されるため、遊泳魚と比較して流速の大小には大きく影響を受けないようです。なお、河床勾配が小さく流心部の流速が遅い流程（例えば、セグメント 2-2)、河床勾配が大きくても淵のように流速が遅い区間では、流心の流速に対する流速低減効果は小さくなるため、遮蔽効果の方がより重要な機能になってくるものと考えられます。

■遮蔽効果について（P.26「データは語る」参照）

水中に没している植物は水際部に生息する個体を直接的に遮蔽するだけでなく、陸上からオーバーハングする陸上部のそれと一体になって日射を遮り水際部を暗くして捕食圧を低下させる機能があるものと考えられます。具体的にどの程度暗くすると効果があるかは未解明ですが､既往の実験によると相対照度で 45～70%程度の範囲内で生息量が増加する傾向が見られ、非常に暗い場合、非常に明るい場合には逆に生息量が減少する傾向が見られました。

このように、水際植物帯は、水際部の流速と明るさを低下させて、生息場としての機能を向上させていることがわかります（図 3.7）。

多自然川づくりで魚類の生息場の保全を検討する際には、水際植物の機能を十分に理解し、反映する必要があります。



照度の低下

水中部の植物、庇状の河岸、水面を覆う植物は水際を暗くします。明るい水中から暗い水中を見ると物体が見えにくくなりますが、暗い水中から明るい水中を見ると物体が鮮明に見えるようになります。暗い水際は敵に発見されにくく、敵を発見しやすい空間と言えます。

流速の低下

水中部の植物や水際の凹部は水際の流れを緩やかにし、遊泳力の弱い魚類、甲殻類の生息を容易にします。コイ科魚類をはじめ遊泳魚の仔稚魚の遊泳力は極めて小さく、流速が 10cm/s 以下であることが必要です。

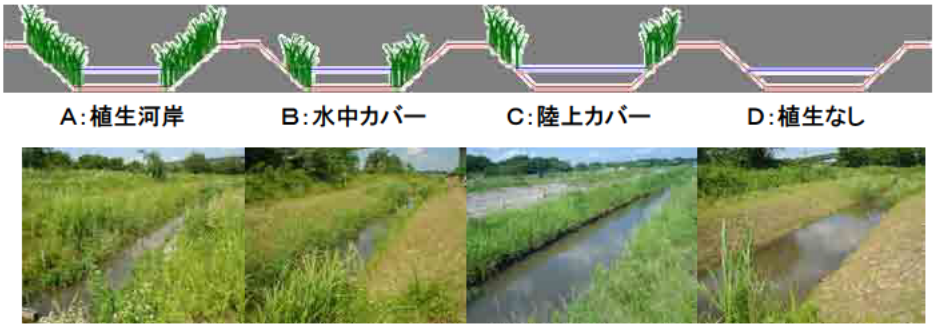
図 3.7　陸上･水中から繁茂する植物の水生生物に対する役割

データは語る　～水中部と陸上部の植物はどちらが重要か？～

自然共生研究センターの実験河川において植物の刈り取り状況を変化させた４タイプの実験区を準備し、魚類・甲殻類の生息量そして物理環境との関連性を調べた結果があるので紹介しましょう。この実験では、厳密に水中、陸上部を分離して実験していませんが、水中から繁茂する植物と陸上から繁茂する植物の役割を知る上で参考になります。各実験区の延長は15mあり、各実験タイプについてそれぞれ４つの繰り返し（実験区を複数設けること）を設けました（図１）。現地調査では、電気ショッカーによる魚類・甲殻類の生息量調査と物理環境調査、餌資源量調査を実施し、両者の関連性を明らかにしました。

魚類調査結果を見るとタイプＡで最も現存量が高く、Ｄに向かって段階的に生息量が減少します。一方、甲殻類ではタイプＢからＣ、即ち、水中植物タイプから陸上植物タイプ間で現存量が著しく減少することが確認できます。一方、環境調査結果を見ると、タイプＡとタイプＢでは水際の流速に差は見られませんでしたが、タイプＢからＣで流速が増加しています。また、相対照度を見ると、タイプＡからＢで相対照度の増加が見られました（図２左下）。

餌資源量、水深等ここに示した以外の環境要因には明確な差が見られなかったことから、タイプＡからＢへの現存量の減少は相対照度の増加によって、また、タイプＢからＣの現存量の減少は流速の増加によって引き起こされたと推察されます。



上は模式図、下は対応する写真

図１　４つの河岸タイプ

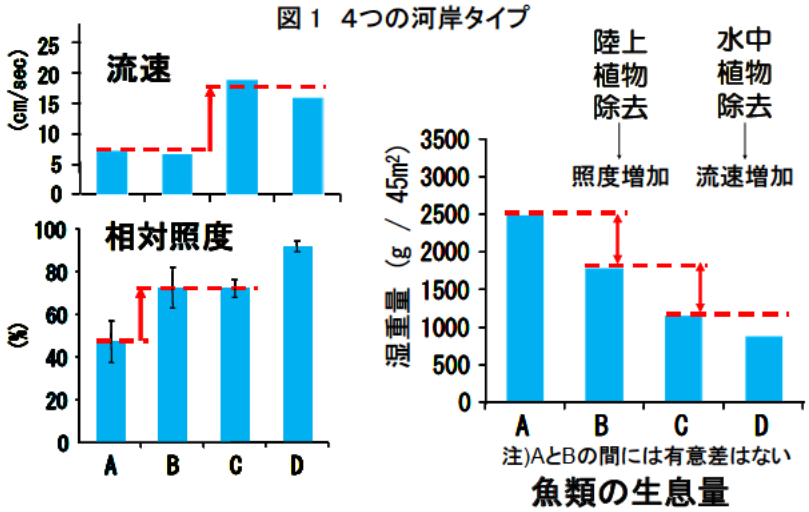


図２　照度増加と流速増加が及ぼす影響

データは語る　～水際部の明るさに魚類はどのように応答するか？～

照度だけを人為的に制御すると魚類の生息はどのように変化するのでしょうか？　実験河川内に相対照度を制御するために４種類のカバータイプ（Ａ：相対照度 5%、Ｂ：45%、Ｃ：70%、Ｄ：90%）を用いて相対照度と魚類生息量の関係を実験で把握することにしました（図１）。

実験では、水際部の流速が大きいと生息量が低下することが懸念されたため、水際に杭を設置して生息に適した条件とした後に魚類調査を行いました。この結果、魚類の個体数は、タイプＣで多く、タイプＡ（最も暗いタイプ）で小さくなりました。

既往の研究では、相対的に照度の高い場所から照度の低い場所に定位している個体等を見ると視認性が低下し、逆に低い場所から高い場所に定位している個体等を見ると視認性が向上することが報告されています[1)]。従って、水際部の照度を抑制すると、水際部に生息する個体の視認性が低下して捕食圧を低下させ、その一方で、流心方向を流下する餌資源の視認性を向上させ摂餌の効果を高めている可能性があります。

つまり、適度な照度抑制が魚類の生息個体数を増加させた一要因となったと考えられます。

１）Helfman, F.S: The advantage to fishes to hovering in shade, copea(2), pp.392-400, 1981.

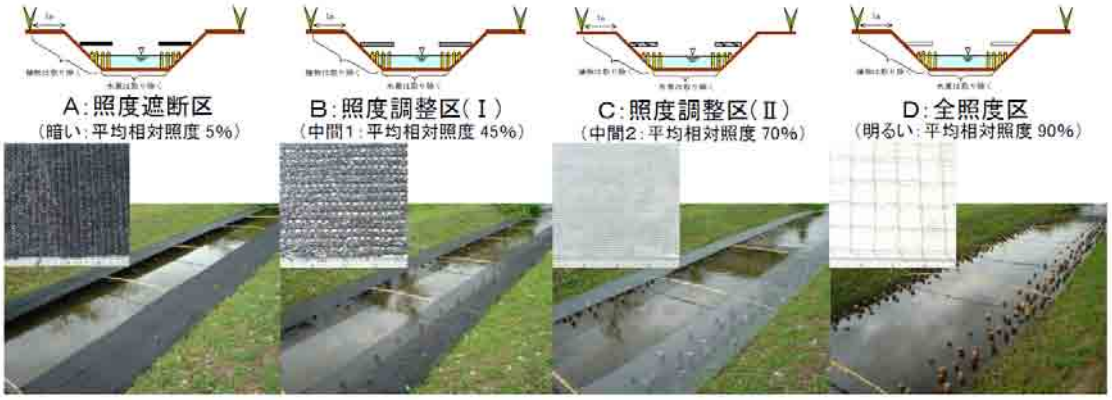


図1　4つの照度タイプ（左から ABCD、順に照度増加）



写真1　水際の捕食者（例えばサギ類）

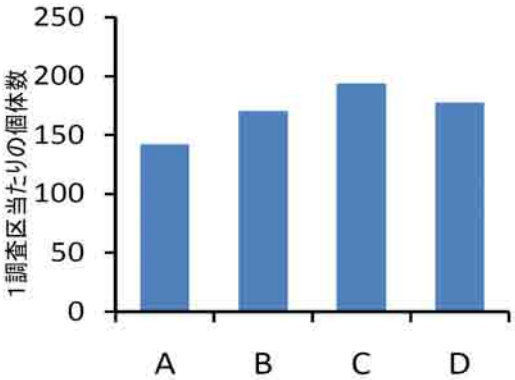


図2　カバー別魚類個体数の比較

データは語る　～水際植物を人工構造物で代替できるのか？～

水際の植物が流速と照度を低減し、魚類の生息環境を向上するという効果を人工構造物で代替えすることは可能でしょうか？

この問いに答えるため陸上部のカバー効果を“ 日傘”のようなパネルを用いて再現し、水中部のカバー効果を“ 杭群”を用いて再現し、植物のある場合と同程度の流速、相対照度を維持して３週間放置した後に電気ショッカーによる魚類調査を行いました。

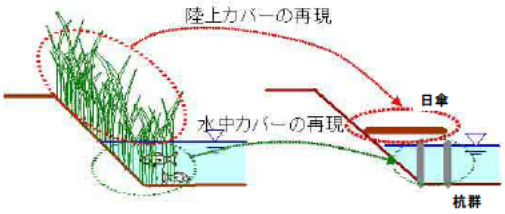


図1　水際植生の機能の再現のイメージ図

その結果、魚類の生息量は“ 日傘”の有無に無関係でした。よって、“ 日傘”を陸上カバーの代替えとして、その効果を確認することはできませんでした。一方、“ 杭群”を設置した場合は設置しない場合と比較して生息量が大きく、生息量増加に対する一定の効果を確認できました。

このように、前ページでは生息場所の善し悪しを説明する物理環境要素として流速と相対照度の重要性を説明しましたが、構造物によってこれらの物理環境を再現しても、植物による生息場所を完全に再生することは困難な点に注意する必要があるでしょう。

河岸－水際部を保全もしくは再生する際に採用しようとしている護岸工法の開発においても、仮説に基づく護岸の開発と現地実験による仮説の検証を繰り返すことが必要なようです。

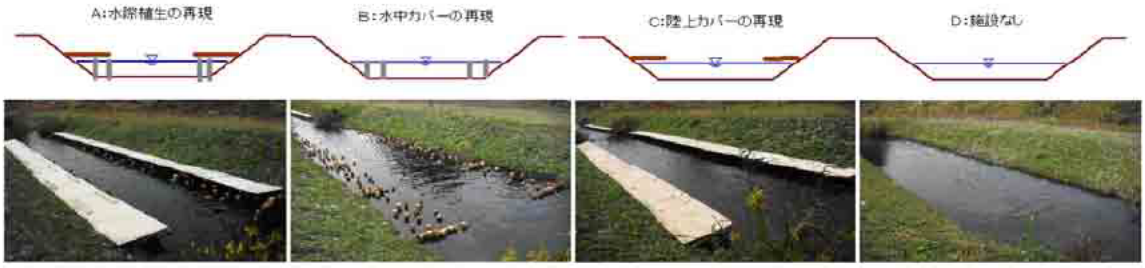


図2　4つの河岸タイプ（代替物による再現と刈取りタイプ）
上は模式図、下は対応する写真

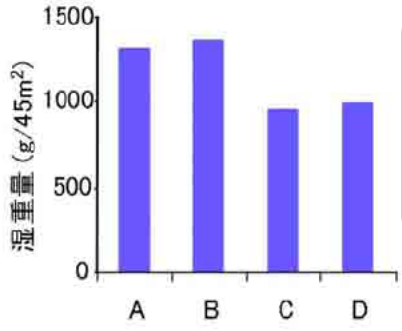


図3　魚類生息量の比較

ここが One point－庇の機能

Ｂ と Ｄ に各々「陸上カバー“ 日傘”」を付けたものが Ａ と Ｃ です。この場合、生息量（湿重量）は A≒B、C≒D ですので陸上カバーの影響がないことが理解できます（図２、３）。他方、Ｃ と Ｄ に各々「水中カバー“ 杭群”」を付けたものが Ａ と Ｂ です。この場合、生息量は A>C、B>D ですので水中カバーの効果が表れています（図２、３）。

3.2.4.5　水際部の空隙の機能

水際部には中礫、大礫、巨礫等様々な大きさの石礫が積み重なる場合があり、その隙間は生物の生息場所として機能すると考えられてきました（写真 3.7）。流程によって水際部に堆積する石礫の大きさは異なりますが、これらは山地斜面を含む河岸から崩落し堆積するもの、上流から流下し堆積するもの、の２つに分類することができます（図 3.8）。



写真 3.7　水際の石礫群

自然共生研究センターで実施した結果によると、石礫内の空隙は魚類・甲殻類の生息場所として機能していることが解りました。この結果によると生息量は水際植生が繁茂する場合と比べて大きく、また、水際植生は越冬場として機能しないのに対して石礫群は冬季においても生息量が低下せず、越冬場としての機能を認めることができました（P.29「データは語る」参照）。

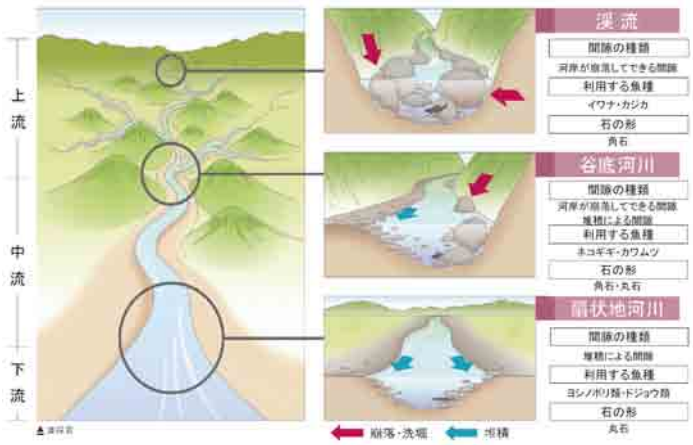
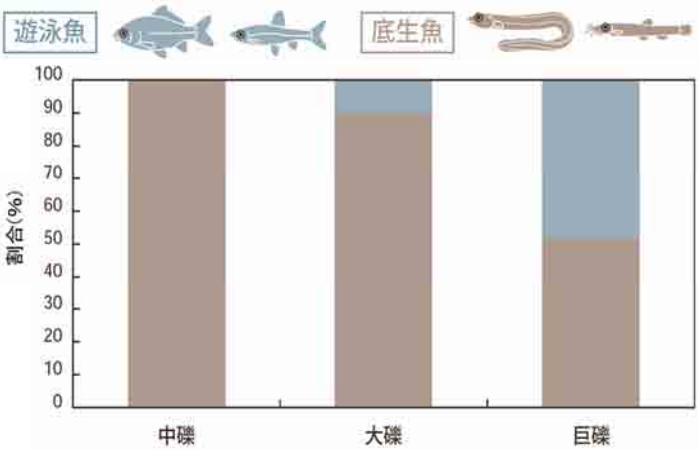


図 3.8　流程毎の石礫群の特徴

また、夏季の調査結果を見ると石礫の大きさと生息魚類とには一定の関係が見られ、石礫サイズが大きくなると遊泳魚が、小さくなると底生魚や甲殻類の占める割合が大きくなる傾向があります（図 3.9）。礫サイズと優占する魚種の関係は季節によって異なり、夏季から秋季には比較的明瞭な傾向が見られ、冬季の傾向は不明瞭でした。



中礫　　－　シマドジョウ、ヨシノボリ類
大礫　　－　ウナギ、ウキゴリ
大礫･巨礫　－　タモロコ、モツゴ、フナ属

図 3.9　石礫群を利用している魚類の棲み分け

さらに、増水した河川においては水際の間隙が魚類の避難場として機能していることも確認できました（P.30「データは語る」参照）。

データは語る　～間隙内の魚類相は季節によって変化するか？～

2006 年に実施した石礫の実験では石礫内の魚類・甲殻類が採捕する際に空隙に逃げ込むため定量調査の実施が困難でした。そこで、チェーンで連結した石礫群(2m×1m)を河岸に積み上げ、採捕時には石礫群の下に敷いておいた網目の細かな敷き網を風呂敷のようにして石礫群をそっと包み込み、電気ショッカーを使い全量捕獲を試みました（写真１）。



写真1　魚類調査時の準備から採捕

実験は 2007 年の夏と冬に実施し、夏では 108 個体、冬では 213 個体の魚類を確認できました。

調査時期別の確認個体数から優占種を選り分けると、夏はフナ属が優占していたのに対して、冬はタモロコが優占しました。さらに、冬には、夏において確認数の少なかったドジョウ、オイカワなどを比較的多く確認できました（図１）。

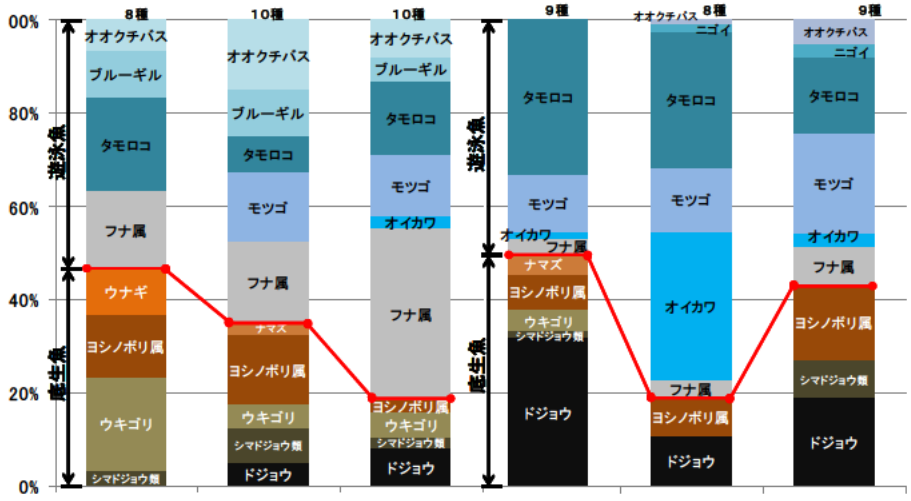


図1　夏(左)と冬(右)における礫径毎の遊泳魚と底生魚の占める割合の違い

礫径と種の関係に着目すると、フナ属、オイカワ等の遊泳魚では、夏は礫径の大きさ（間隙の大きさ）に比例して個体数は増加傾向を示しました。冬はφ100 およびφ200(㎜)で夏に比べ個体数が多く確認され、間隙が越冬場として機能している可能性が考えられました。スジエビ等の甲殻類では、夏は礫径の大きさに反比例して減少する傾向が確認され、冬は明確な傾向が認められませんでした（図２）。

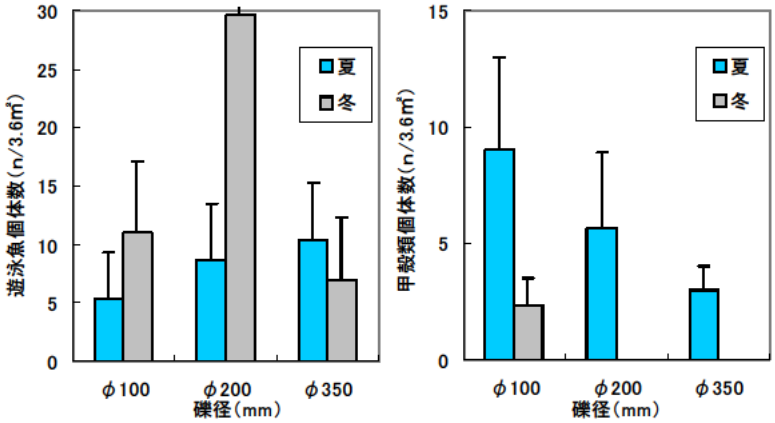


図2　間隙に生息する遊泳魚(左)甲殻類(右)の個体数比較

データは語る　～洪水時に間隙は利用されるのか？～

2008 年は前年までの巨礫（φ350mm）、大礫（φ200mm、φ100mm）、中礫（φ40mm）を使った調査結果を踏まえて、大きな礫径を好む遊泳魚に着目し、洪水時に遊泳魚類が避難場として間隙を利用しているかを調査しました。平水時を 0.1m³/s、その平水時から 20 分程度で流量を 2.0m³/s に増やす（増水時）という条件で流量増加に伴う個体数の変化を調査しました（写真１）。



写真１　平水時（左）と増水時（右）における石礫群の状況

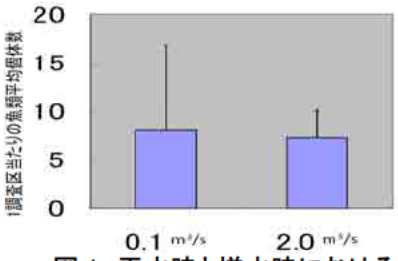


図１　平水時と増水時における魚類個体総数の比較

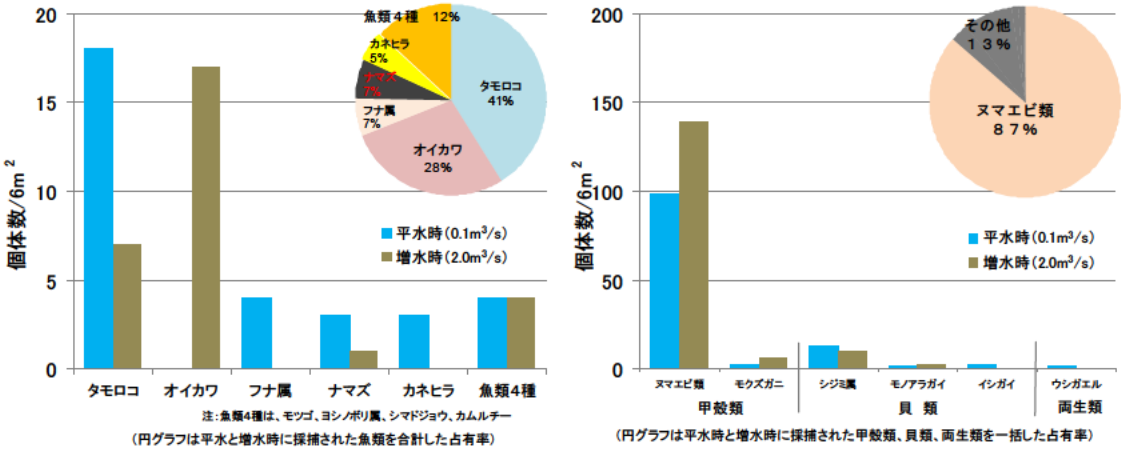


図２　平水時と増水時に石礫群を利用する魚類(左)とその他の水生生物(右)

調査の結果、実験河川の流量が平水時と増水時とで、石礫群内に生息する魚類の個体総数の有意な差はありませんでした（図１）。また、洪水時の間隙は、主に遊泳魚のタモロコやオイカワに利用されていることが分かりました（図２）。さらに、オイカワは平水時に生息数が０であったのに対し、増水時には全ての実験区で個体を確認することができ、他方、フナ属やカネヒラは、平水時には個体を確認できましたが、増水時の生息数が０となることが分かりました（図２）。以上のことから、平水時には河道内を遊泳していたオイカワが、増水によって石礫群内へ避難したこと、他方、フナ属やカネヒラは平水時には石礫群内を生息場所にしていましたが、増水に伴い逃げ出した（または、石礫群の間隙ではなく異なる場所を避難場所として利用した）と考えられます。2007 年に実施した実験で、石礫群が越冬場所として機能していることが分かりましたが、2008 年は、石礫群が増水時の避難場所として機能していることが分かりました。

このように間隙は、平水時の生息場所だけでなく避難場所としての機能も有しています。

データは語る　～サクラマスの越冬環境から解ること～

寒地土木研究所水環境保全チームでは、河川上流域におけるサクラマスの越冬環境について研究を行っています（森田他 2008）。この研究では、北海道西部を流れる左股川に河床勾配の異なる３つの区間（上流、中流、下流）を設定し（写真 1）、各区間内のチャネルユニット（淵、平瀬、早瀬）と環境要素（倒木、護岸、巨石）と越冬場としての利用状況との関係を評価しました。



写真１　左股川での調査サイトの例、左：下流、中央：中流、右：上流、の各サイト
河床勾配はそれぞれ 1/103、1/48、1/22 である

ユニット別に見ると淵、平瀬が越冬場として利用される傾向が強く、また、環境要素別では巨石の背後での利用が最も多く、次いで倒木の背後の順となりました（図１）。また、これらの場所の大部分は流速 10cm/s 以下の領域と一致していました。冷水魚の越冬場についても低流速域の確保が重要となりますが、これは水際部だけでなく河道内（流心部）に点在する巨石も流速を低減する上で重要な要素となっていることが理解できます。また、植生カバー、倒木カバー、植生カバーと巨石が組み合わさった要素について生息密度を見ると、流速低減効果のある倒木カバーや植生カバーに巨石が組み合わされたものについては生息密度が大きいものの、植生カバーのみの場合はカバーなしと同程度の生息密度となりました。この結果は越冬場の確保のためには倒木や巨石等より確実に流速低減効果のある要素が必要であることを示しており、実験河川で実施した植生や間隙の生息場所に関する知見（P. 29「データは語る～間隙内の魚類相は季節によって変化するか？～」参照）と類似の結果となっています。

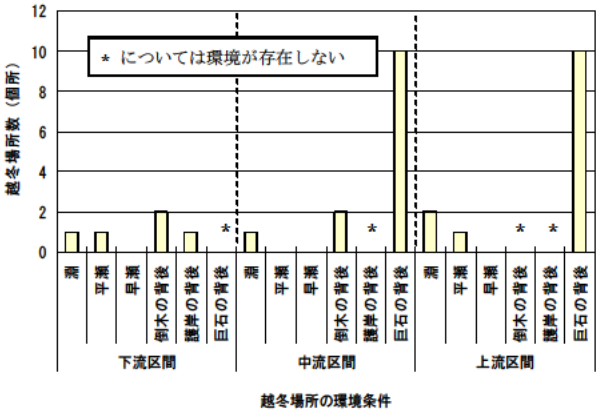


図1　越冬場所数と環境条件

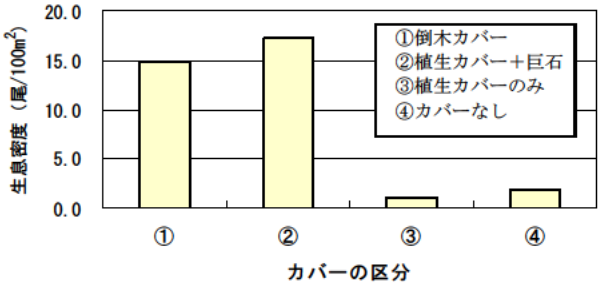


図2　カバーの区分による生息密度

データは語る　～実河川における河岸形式の違いに着目して～

2007 年、自然共生研究センターは、一級河川木曽川の支流である新境川の下流域約 300 m区間に様々なタイプの護岸が近接して設置されている自然共生工法展示場（岐阜県自然共生工法研究会主催）にて、構造が異なる２１タイプの護岸（シート・ブロックほか）に４タイプの自然河岸を加えた計２５箇所の水際部について、四季にわたり電気ショッカーを用いた遊泳魚の捕獲調査と水深、流速、河床状況、植生被覆状況および水際複雑度の物理環境調査を行いました。











図１　調査区概要

括弧内は法勾配を示す。

調査区Ａ：自然河岸

（1：1.5～2.0）

調査区Ｂ：護岸（1：2.0）

調査区Ｃ：護岸（1：0.5）

調査区Ｄ：護岸（1：1.0）

調査した結果、調査区全体で確認された遊泳魚の個体数は春季および夏季で少なく、秋季および冬季で多く確認され、本調査区間の水際部では、秋季から冬季の魚類の生息場所として機能していることが示唆されました（図２）。調査区間別に見てみると、秋季および冬季の捕獲個体数は調査区Ｂで突出しており、次いで瀬の護岸である調査区ＣまたはＤで、個体数が多く確認されました。一方、調査区Ａは四季を通して魚類の捕獲個体数は少なく、特に冬季の結果を勘案すると越冬場所としてはほとんど機能していないと判断できます。

そこで冬季を対象として、生息量と物理環境要因との関連性から水際部の越冬場所として必要な環境要因を考えてみました。

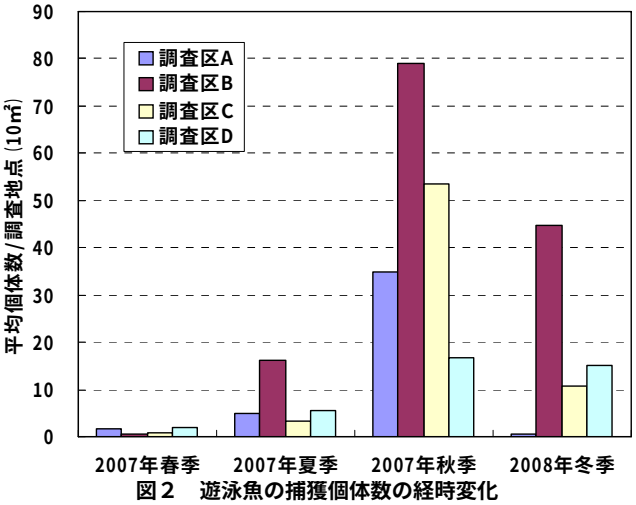


図２　遊泳魚の捕獲個体数の経時変化

冬季の物理環境因子を調査区間別に比較してみると、流速については、調査区Ａでは流速が小さく、調査区Ｃとの間に有意な差が見られ、水際複雑度については、調査区Ｄ（瀬：護岸部）と調査区Ａ・Ｂ・Ｃの３区間との間で有意な差が見られました。また、水深については有意な差は見られませんでしたが、調査区Ａ、Ｄで小さい傾向が認められました。同様に有意な差は見られませんでしたが、調査区Ａは他の調査区と比べ、小礫－中礫の割合が大きく、大礫－巨礫の割合が小さかったことがわかりました（表１）。

表１　冬季物理因子の調査区間の多重比較結果（平均値±標準偏差）

	調査区A (N=4)	調査区B (N=7)	調査区C (N=7)	調査区D (N=7)
水深(cm)	8.6±2.0	16.9±2.3	17.5±16.2	6.8±0.9
流速(cm/s)	1.8±0.8^{b}	3.6±1.6^{b}	9.2±4.8^{a}	5.2±2.4^{ab}
泥-砂の割合(%)	0±0	6.4±8.1	1.6±4.2	5.6±12.4
小礫-中礫の割合(%)	51.7±28.0	44.4±36.4	41.3±24.6	27.0±24.3
大礫-巨礫の割合(%)	48.3±28.0	49.2±39.0	57.1±24.8	67.4±29.9
水中カバーの割合(%)	5.6±7.9	9.5±4.2	4.8±8.1	17.5±16.2
水上カバーの割合(%)	32.5±13.1	22.2±13.9	14.3±13.6	31.0±10.1
水際複雑度	0±0^{b}	9.3±12.5^{b}	1.7±4.6^{b}	52.5±31.8^{a}

数値の右肩に付けたアルファベットが異なる（含まれない）場合は、有意に差があることを示す。

次に調査地点別の冬季の捕獲個体数と物理環境要因との相関関係を見てみると、捕獲個体数と小礫－中礫の割合との間に有意な負の相関が確認され、大礫－巨礫の割合との間には正の相関があることが確認されました（表２）。

表２　ピアソンの相関分析結果

＊p<0.05

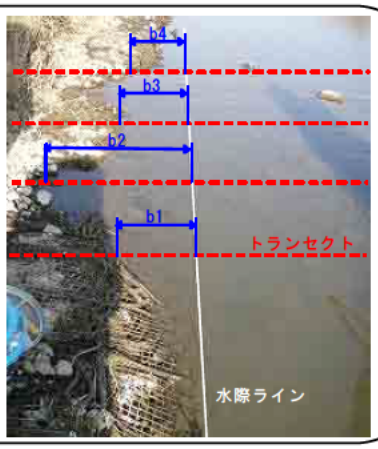
	P値	遊泳魚
水深	0.9568	0.011
流速	0.4538	−0.157
泥-砂	0.9175	0.022
小礫-中礫	***0.0333***	***−0.427****
大礫-巨礫	***0.0506***	***0.395***
水中カバー	0.8542	0.039
水上カバー	0.8319	0.045
水際複雑度	0.8433	−0.042

魚類の生息量が大きかった調査区Ｂ、Ｃ、Ｄの各調査地は、護岸前面に玉石が層積で敷設されており、径３０ｃｍ程度の玉石が浮石状態で局所分布していました。このことは、遊泳魚の生息場としての礫の機能を示した実験結果（P. 29「データは語る」参照）にも示されているように、河岸前面における礫の空隙の大きさが確保されていることが、冬季の魚類の越冬場所として機能することを示唆しています。

今回の調査結果は、自然河岸や護岸などの河岸形式やトロ・瀬といったユニット、法面勾配などの大きなスケールの要因の違いの影響に比べ、水際部の礫による空隙の大きさといった小さなスケールの要因が魚類生息量に対する重要な要素となる可能性が高いことを示しており、今後の護岸工法の開発を行う上で留意しなければならない環境要因のひとつであると言えます。

水際複雑度とは

護岸および自然河岸の各調査区の前面において、砂州や袋詰め根固めなどの堆積物が最も張り出している箇所から河川縦断方向に水際ラインを設けます。調査区の横断方向にトランセクトを６本設け、各トランセクト上の水際ラインから水際（水面と河岸の境界）までの幅（ｂｎ）を計測します。計測した幅の水際ラインからの離れ方の平均を水際複雑度とし、各調査区の水際部の入り組みの程度を表しています。



3.2.4.6　ポケット状の水域の機能

自然の河川の水際のラインは平面的に凹凸が多く、複雑に入り組んでいます。このような入り組みの凹部に形成されるポケット状の水域では流速が小さく、また、泥や砂が堆積する環境となるため、魚類の生息が多く確認できます(P.18「データは語る　～単調な水際と自然的な水際における魚類生息量を比較してみよう？～」参照)。

ポケット状の水域にはいろいろなタイプが見られ、a)山付部に露出する岩の組み合わせにより形成される凹部、b)土羽河岸で一部が侵食されて形成される凹部、c)河岸前面に堆積域が形成され水際が入り組んで凹部が形成される場合、等があります。



写真 3.8　山付部（前述の牧田川の入り組み以外の例　a タイプ）



写真 3.9　bタイプ（左）、cタイプ（中央、右）の例

しかし、河川改修により護岸を敷設すると水際のラインは直線となり凹部が消失することが多く、水際部から生息場所が消失することとなります。

入り組みを単純な形状で表現し、入り組みの長さによる流速分布の変化と魚類の生息の関係を調べた結果、入り組みの有無で魚類の生息量に変化が見られることや、魚類の生息に影響を及ぼすことが分かりました（P.35「データは語る～ポケット状の水域は魚類に利用されるのか？～」参照)。

データは語る　～ポケット状の水域は魚類に利用されるのか？～

入り組みによるポケット状の水域の生息場としての機能を明らかにするため、実験河川に入り組みの有無、入り組みの長さを変えて実験を行いました。

実験では、入り組み長さの異なる３種類（A～C）と、入り組みの無い単調な区１種類（D）を実験河川に設置し、魚類の生息量調査、物理環境調査を行いました。

入り組みの長さを決めるにあたっては、中小河川における実河川の入り込みの長さを参考に、1.5m、3m、6mの３ケースとし、入り組み幅は0.4mとしました。

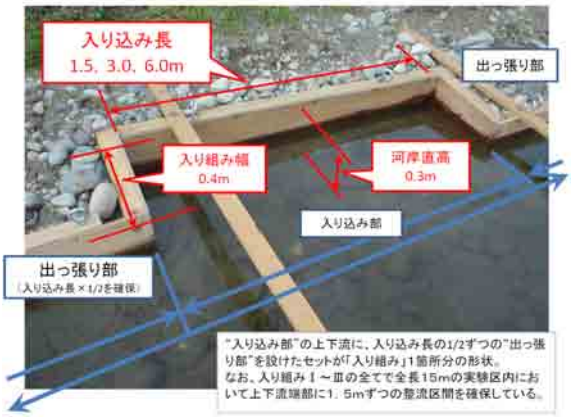
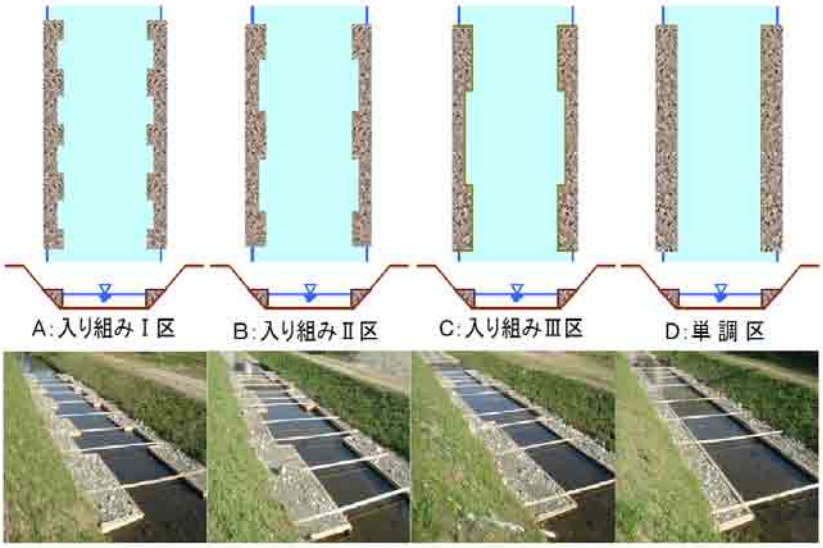


図1　実験用入り組みの構造



上は模式図、下は対応する写真
図2　入り組みⅠ～Ⅲと単調区

河床状況及び生物状況を安定させるために、各処理区を設定後概ね３週間放置し、電気ショッカーによる魚類調査及び物理環境調査（水深・水温・流速・底質・相対照度）を実施しました。

６割水深の流速分布を見ると、ポケット状の水域内では入り組みの小さいAで逆流を示し流速は小さく、B、Cと入り組みが大きくなるにつれて逆流域が小さくなり、流速が大きくなる傾向を示しました（図３）。一方、魚類生息量はCで湿重量が多くなり、入り組みのないDでは生息量が最も小さくなっています（魚類の個体数及び平均サイズは、各ケース共に大きな差は見られませんでした）。このように入り組みを単純な形状で模した実験では、入り組みの長さによる流速分布の変化が魚類の生息に影響を及ぼす傾向がみられ、ポケット状の水域が作り出す流速低減効果は生息量にプラスに働くようです。ただし、入り組みの長さが短くポケット状の水域内に逆流域が形成され、流向が空間的に大きく変化する場は流速が小さくても敬遠される傾向が見られました。

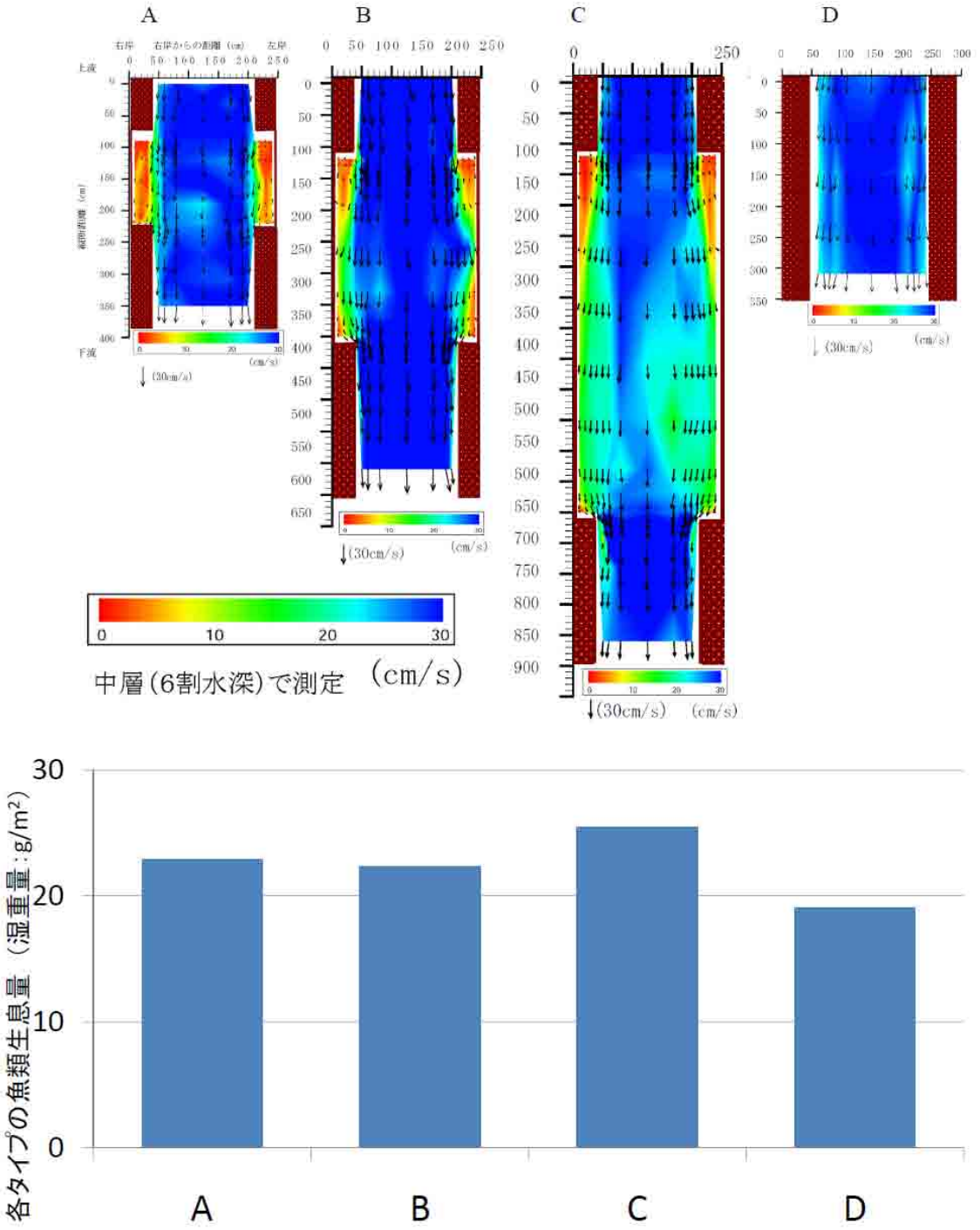


図3　タイプ毎の平面流速分布（上）と魚類生息量（下）

3.2.4.7　淵の機能

淵は中流域に見られる流路単位の一つであり、他の流路単位（例えば、瀬）と比較して水深は大きく、流速は小さくなります。中小河川中流域は一般に水深が小さく、水深が相対的に大きい淵の生態的な役割は大河川と比べて大きくなるようです。例えば、森下は魚類の通過に必要な水深を体高の３倍、生活場所の水深を体長の３倍（森下 1997）としています。この考え方に基づけば、淵が見られない平均水深 30cm 程度の河川では、体長 10cm 以上の個体の生息は困難となります。事実、自然共生研究センター実験河川における平均水深は 20cm 程度ですが、春に孵化した仔魚は体長が 10cm 程度になると実験河川から移出していきます。また、実験河川では全体的に水深が小さいために人工的に設置した水深 60cm 程度の淵で有意に生息密度が高くなることが確認できます（詳細はP. 38「データは語る　～淵における生息密度は本当に高いのか？～」）。

ところで、淵はその形成過程からいろいろなタイプに分類されています。構造物周りに形成される局所洗掘に伴う淵、床止工の下流等流速の縦断方向の変化によって形成される淵、交互砂州の前縁部に形成される淵、河道湾曲部の外岸側に形成される淵が代表的なタイプですが、湾曲部外岸側に形成される淵は水深が大きく、流速も抑制される特徴があります。また、このタイプの淵は早瀬の落ち込み部に位置することが多いため、早瀬からの水面の波立ちによるカバー効果（捕食圧の低下）、早瀬からの餌供給が期待できるため淵の中でも貴重な生息場所となります（図 3.10）

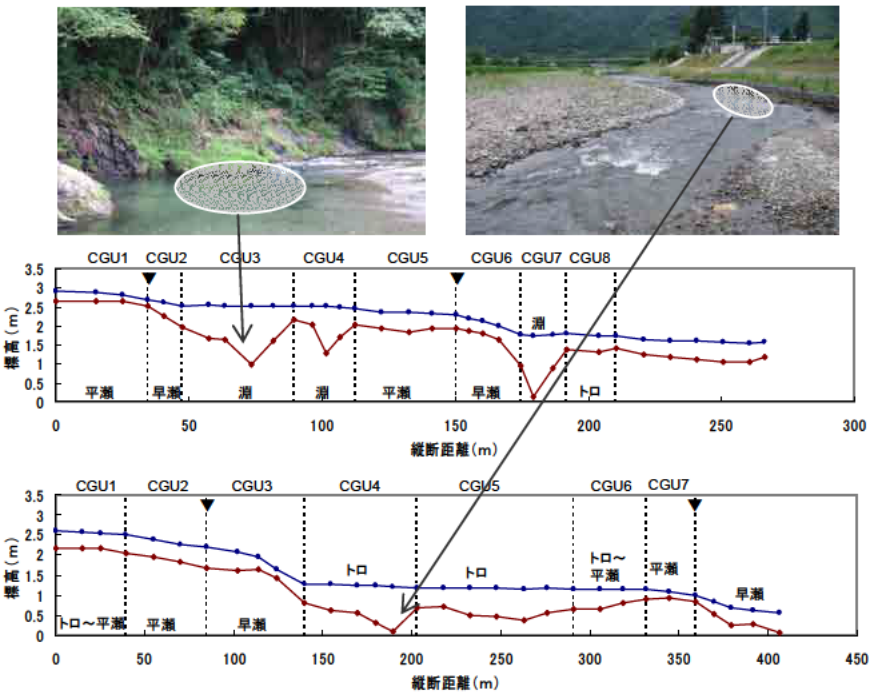


図 3.10　湾曲部（写真：左、縦断図：上）と交互砂州前縁部（写真：右、縦断図：下）の洗掘箇所

湾曲部の洗掘箇所は水深が大きく、流速も小さかったため淵と認識されるが、
交互砂州前縁部は水深が小さく、流速が低減していなかったためトロと認識された。

データは語る　～淵における生息密度は本当に高いのか？～

河川中流域では、同一の水面勾配を有し、水理条件や河床材料が同質な区間（流路単位、チャネルユニットと呼ぶことがある）が見られます。瀬や淵は同質な区間の典型的な要素であり、水生生物の生息場所を評価する際の基本単位となります。自然共生研究センター内の実験河川において人工的に瀬・淵構造を設置し、各区間の生息場所としての役割を調査しました。瀬・淵構造は流速と水深の関係から早瀬、平瀬、とろ、淵と区分し（早瀬から淵に向かって、流速が減少し、水深が増加する）、各流路単位における魚類の生息量を 7 月、8 月、10 月に把握しました。この結果、どの時期においても水深が大きい淵で生息量は多く、水深が小さい平瀬、とろで生息量は少なくなりました。早瀬における生息量も多くなりますが、これは淵の直上流に早瀬が位置するためこの影響が生じたものと考えられました。

このように全体的に水深の小さい実験河川では生息場所としての淵の役割は大きく、中小河川においても同様の現象が見られるものと推測されます。中小河川において淵を保全する意義は大きいのです。



写真 1　実験河川内の早瀬と淵の状況（左）、平瀬の状況（右）

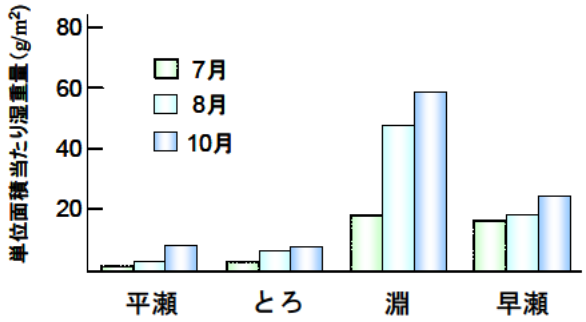


図 1　各流路単位における単位面積当たりの湿重量

調査は 15m 区間の上流端と下流端を網で仕切り、
電気ショッカーを用いて下流から上流に向かって 3 回魚類を採捕した。

データは語る　～瀬・淵構造を把握するために必要な最小空間スケールとは～

寒地土木研究所水環境保全チームではサクラマスが産卵場所として利用する微生息環境を河川地形等より大きな空間スケールから推定する手法を開発するために、北海道西部の左股川、利別目名川（写真 1）において現地測量、河床材料調査を行い、サクラマスの産卵場所を効果的に把握するための手法について検討を行いました。現地測量は川幅程度のスケール（12.5m）で縦断測量を行い、解析では川幅程度の空間スケール、川幅の 2 倍の空間スケールの 2 つの解像度で産卵場所が確認された箇所の河床勾配（i）、対象区間内の平均河床勾配（ia）との比（i/ia）を算出し、産卵床との関係を明らかにしました。左股川の調査結果を見ると、12.5m の間隔で i/ia を算出した場合には、淵尻の勾配に対応する階級（<0.5）に産卵床のほとんどが該当しますが、25m で算出した場合には、0.5～1.0 の階級にほぼ半数近い産卵床が該当し、この程度の空間スケールでの評価は淵尻を効果的に捉えていないことがわかりました。また、利別目名川でも同様の結果が得られました。瀬･淵構造は生物の生息にとって重要な要素ですが、これらを把握するためには、川幅程度のスケールで地形測量を行うことが必要なようです。

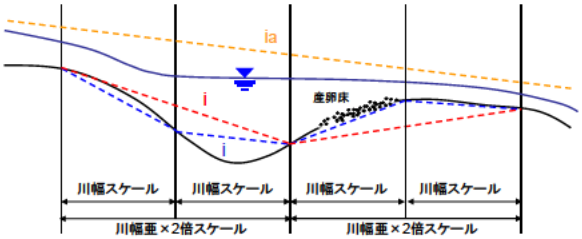


図 1 調査の概念図



a) 左股川下流区間　b) 左股川上流区間　c) 利別目名川下流区間　d) 利別目名川上流区間

写真 1 調査地点の様子

表 1　左股川(左)、利別目名川(右)における
異なる空間スケールでの勾配階級別の産卵床出現頻度

a) 区分するスケールが12.5mの場合

階級（i/ia）	調査箇所数（箇所）	調査箇所数の比率	産卵床数（床）
<0.5	88	2.4	23
0.5-1.0	38	1	5
1.0-1.5	37	1	1
1.5<	77	2.1	1

b) 区分するスケールが25mの場合

階級（i/ia）	調査箇所数（箇所）	調査箇所数の比率	産卵床数（床）
<0.5	35	1.8	15
0.5-1.0	30	1.6	12
1.0-1.5	19	1	1
1.5<	36	1.9	2

a) 区分するスケールが12.5mの場合

階級（i/ia）	調査箇所数（箇所）	調査箇所数の比率	産卵床数（床）
<0.5	43	2.7	3
0.5-1.0	19	1.2	2
1.0-1.5	16	1	1
1.5<	34	2.1	1

b) 区分するスケールが25mの場合

階級（i/ia）	調査箇所数（箇所）	調査箇所数の比率	産卵床数（床）
<0.5	16	1.5	4
0.5-1.0	11	1	1
1.0-1.5	18	1.6	2
1.5<	11	1	0

参考　～「美しい山河を守る災害復旧基本方針」における河岸・水際部の捉え方～

平成 9 年の河川法改正を受けて、平成 10 年 6 月に「美しい山河を守る災害復旧基本方針（略称：美山河(びさんが)）」が策定されました。その後、美山河も随時見直しが進められ、平成 18 年 6 月には「提言『多自然川づくりへの展開』について（平成 18 年 5 月 30 日）」の方向性を踏まえた再編が図られました。

最新の美山河では、災害復旧工法（河岸～水際部を多自然川づくりの観点で修復する工法）を評価する際のポイントとして５つの項目（①法面の植生、②水際の植生、③水生生物の生息空間、④横断方向の連続性、⑤景観への配慮）を挙げています。

①では、法面の植生が容易に回復・維持できること（覆土を行うことを基本にしている場合には覆土の適正な維持)、②では、水際部の植生が容易に回復・維持できること、③では、水際部に多孔質な空間が確保できること（寄せ石を行うことを基本にしている場合には寄せ石の適正な維持)、④では、生物が移動しやすい表面構造となっていること、⑤では、周辺環境との調和など、個別箇所毎に広い視野に立って判断する必要があること、を評価基準にしています。

これら「美山河」の評価基準項目（要素）と本資料のそれを対応させたものが以下の表１です。なお、③の多孔質な空間とは、自然石の空石積み、寄せ石、捨石などの石の隙間（間隙）といった石系、さらに多くの石を包み込んだ袋体系・カゴ系、粗朶沈床なども含まれています。

表１の対比で明らかなように、美山河の「①法面の植生」に対しては本資料では、法面植物（陸上カバー)、法面上の空隙、湿潤状態に細分化し、「②水際の植生」、「③水生生物の生息空間」に対しては、水際植物（水中カバー、水上カバー)、空隙、水際の凹凸（入り組み）に細分化し評価するようにしました。

表１　美山河と本資料で扱っている河岸～水際部の要素とその対応

	美山河	本資料
河岸	法面の植生	法面植物（陸上カバー）
		法面上の空隙
		湿潤状態
	横断方向の連続性	横断方向の連続性
水際部	水際の植生	水際植物（水中カバー、水上カバー）
	水生生物の生息空間	空隙
		水際の凹凸（入り組み）
	横断方向の連続性	横断方向の連続性

※景観への配慮を除く

3.3　知っておくべき景観の基礎知識

3.3.1　基本的な知識

3.3.1.1　視点場と河川景観の要素

河川景観の捉え方は視点場の位置と対象との関係から流軸景と対岸景の２つに分けることができます。流軸景は橋梁等の上から下流方向、上流方向に見た景色であり、対岸景は左岸から右岸、右岸から左岸を見た景となります。いずれの場合においても、河川景観は水域から陸域に向かって水面、水際・河岸、高水敷、堤防、堤内地といった要素に変化して行きます（単断面の場合は幾つかの要素が欠落します）。

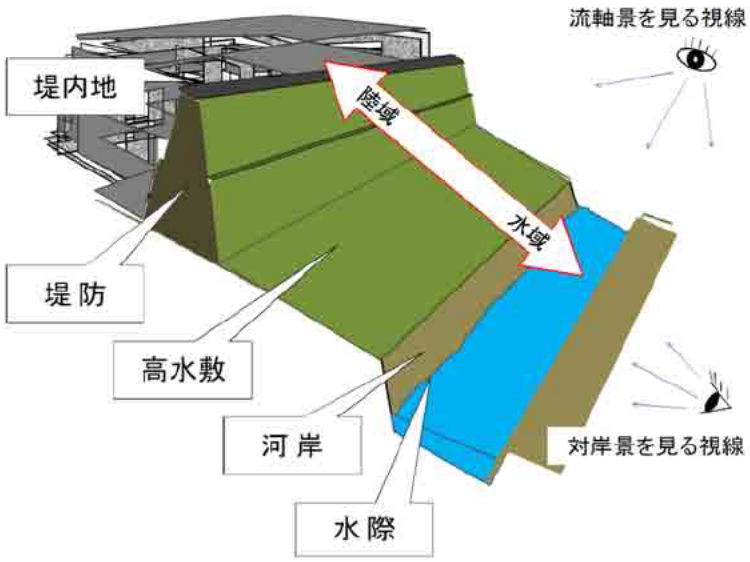


図 3.11　河川景観の景観要素



水域から陸域に向け、水面、水際・河岸、高水敷、堤防、堤内地といった複数の景観構成要素で構成される河川

写真 3.10　流軸景（①～③）、対岸景（④～⑥）

河川景観は複数の景観構成要素で構成されています。水面から陸域まで河川景観を構成する要素を確認し、それらが滑らかに連なっているかどうかをチェックしましょう。

3.3.1.2　河川景観の横断方向の変化

河川景観は水面からの比高が小さい箇所では、水位変動の影響、洪水時における掃流力増加の影響を強く受けるため裸地となり、高い場所はこのような水の影響を受けにくくなるため植被に覆われる可能性が高くなります。このような水の影響を受ける範囲は、河床勾配が大きく、掃流力が大きい場合、水位変動が大きい場合は大きくなりますが、河床勾配が小さく掃流力が小さい場合、水位変動が小さい場合には小さくなります。このような水の影響とその範囲についての知識があれば、河川景観が横断方向にどのように変化していくかを系統的に理解することが可能となります。現地で河川を見る際には、流心から背後地に向かって景観がどのように変化していくかを意識的に捉えるようにしましょう。なお、各流程における典型的な景観変化については「3.5.2　流程別に見た横断方向の景観の変化」に記しましたので参考にして下さい。

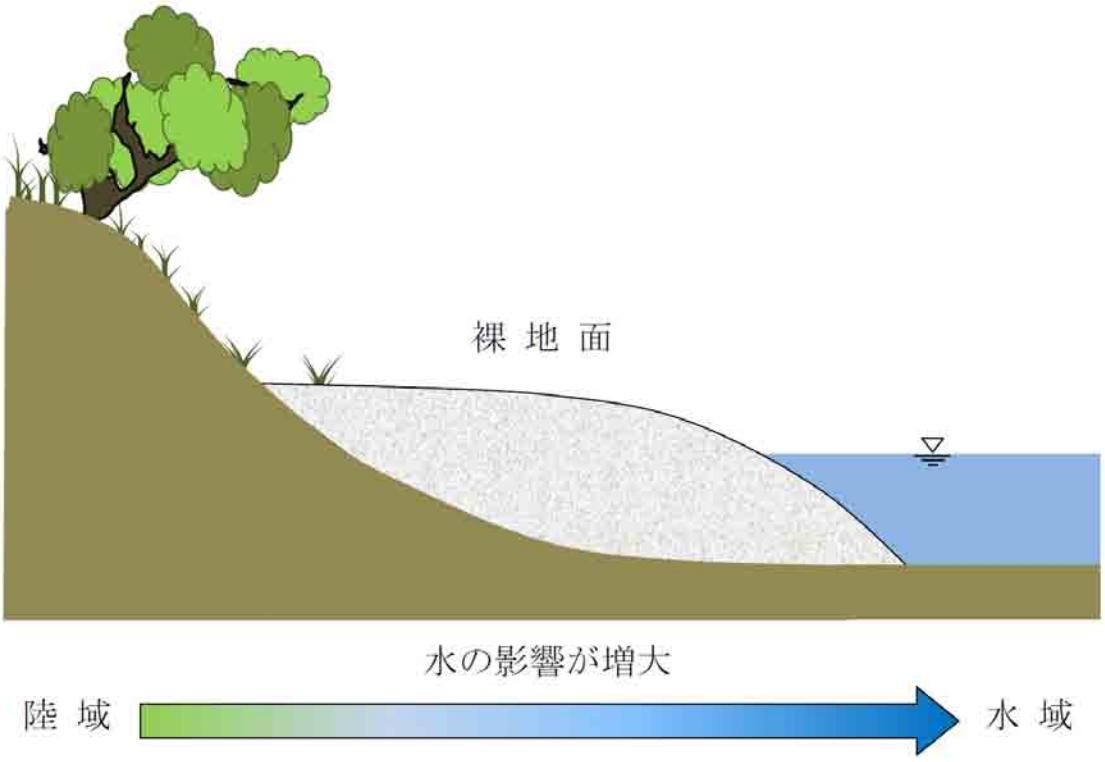


図 3.12　河川景観の横断方向の変化の概念図

3.3.1.3. 明度・彩度

色は、一般に色相、明度、彩度の３つの属性で表示されます。色相は赤、黄、緑、青といった色の様相を表します。明度とは明るさを表し、黒が明度 0、白が明度 10 となります。彩度は鮮やかさを表し、黒・白・灰などのように色みを持たないものが彩度 0 となります。河川の中に見られる石礫、植物、土等の要素の色を測定すると（測定方法は後述）、明度 5、彩度 5 以下程度であるものが多く、自然素材は低明度・低彩度であることが理解できます（図 3.13）。一般にある対象物の明度が対象物周辺の明度を２以上上回ると対象物が周辺景観から浮き上がり、目立つ存在になると言われています（写真 3.11）。

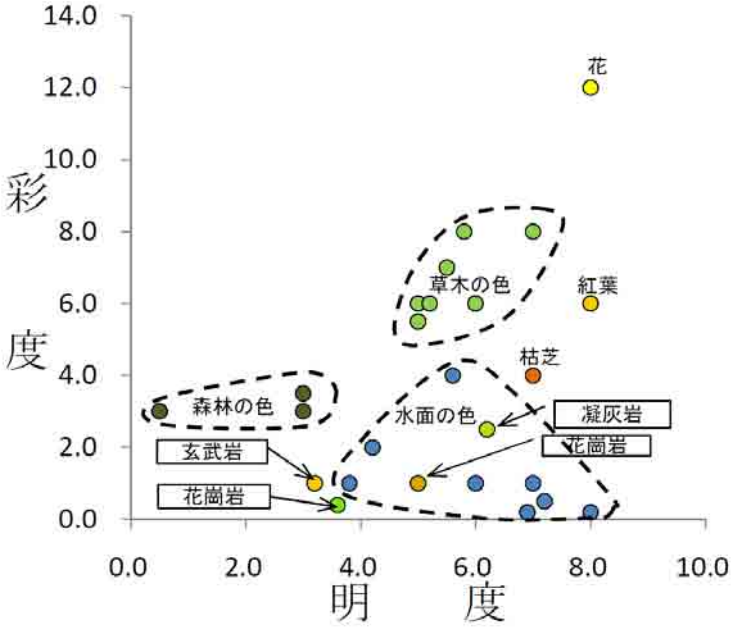


図 3.13　自然素材の明度と彩度



写真 3.11　非常に高明度の低水護岸

写真奥にある自然河岸、上部の緑被面と比較して低水護岸の明度が高く、浮き上がっていることが理解できます。

解説－色の表示方法

わが国では色の表示方法として最も一般的に使われているのは、JIS Z 8721 の三属性（色相、明度、彩度）による色の表示です。これは世界にいくつかある表色系の中から選ばれたマンセル表色系が基本となっています。マンセルとはアメリカの画家の名前で、彼は自分の感覚に基づき、色を等間隔に並べた色票を作成しました。

その後、その色票を基に、科学的な知見を加え完成させたものが、現在わが国で用いられている JIS Z 8721 準拠の標準色票（たんに JIS 標準色票、またはマンセル色票と呼称される色票）です。色相（Hue）は、R（赤）・Y（黄）・G（緑）・B（青）・P（紫）といった色合いを指し、図 1 のような連続した色相環（基本 10 色相）を形成し、各色相はさらに 10 分割されています。明度（Value）は明るさを表わし、理想的に完全な黒が明度 0、理想的に完全な白が明度 10 です。彩度（Chroma）は鮮やかさを示し、色みが強くなるに従って彩度は上がりますが、色相により最大の彩度は異なり（例えば、青；8、赤；14）．黒、白、灰などのように色みを持たない色（彩度；0）を無彩色といい、これに対して色みを持った色を有彩色といいます。



図 1　色相環（JIS Z 8721 準拠　標準色票より抜粋）

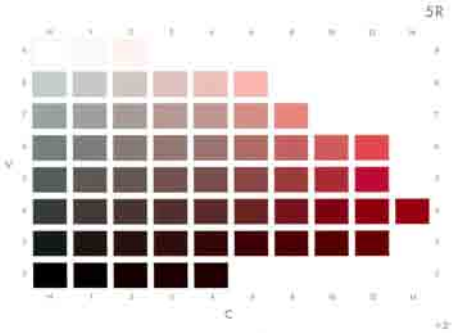


図 2　色相別カラーチャート　5R を例に　（JIS Z 8721 準拠　標準色票より抜粋）

図 2 の色相別カラーチャートは、上が高明度、右が高彩度となります。
明度 5、彩度 5 がどの程度なのか、感覚として覚えておくようにしましょう。

解説－色の測定方法

測色しようとする対象物の色に最も近い色を JIS の標準色票注) から探し、表示する方法と、色彩計を用いて測色する方法があります。前者の場合、JIS の標準色票を用意し、測色しようとする対象物の色に最も近い色を色相環から探し、次に、その色相の色記号（マンセル記号）をたよりに色票別カラーチャートの中から、明度・彩度を見比べて近い色を探します（写真１）。

例えば、色相が 5R で、明度 4、彩度 2 であれば、5R4/2（読み方；5 アール、4 の 2）と表現します。

注：JIS 標準色票は、色相環、色相別カラーチャート及び明度スケールで構成されています。



写真１　色の測定方法
対象物が近い場合(上)、対象物が遠い場合(下)

3.3.1.4　テクスチャー（肌理）

テクスチャーとは表面の肌理を意味し、対象物の表面の状態を表す概念です。肌理を細かくする処理は、単調で凹凸が少ない表情となるため、光を反射し易くなることで目立ちやすくなるだけでなく、人工的なものという印象を受けやすくなります。対して肌理の粗い仕上げは光を反射し難くし、人工感を和らげる場合があります。自然の中にある対象物の多くはテクスチャーを有していますから、河岸を人為的に改変した際にテクスチャーのない無表情な護岸法面を設置する、法面だけが周辺から浮き上がることになります。

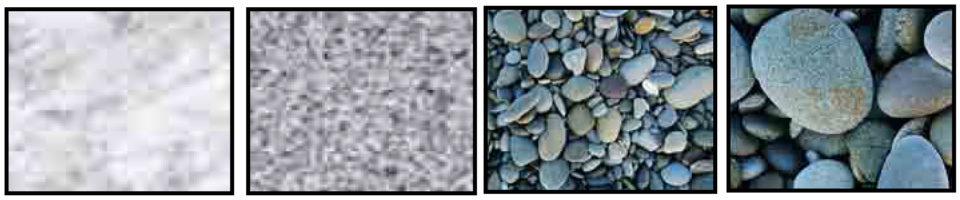


写真 3.12　テクスチャーの違い（左側→右側、肌理　細かい→粗い）

3.3.1.5　見かけの大きさ

人がものを見るとき、物体からの光は目の水晶体を通して網膜で像を結びますが、その際に、物体の端からの光と反対側の端からの光がなす角度を視角といい、視角の大小によりものの見かけの大きさが規定されます。従って、見かけ上のものの大きさは、対象の大きさそのものだけでなく、対象の傾き、対象からの距離によって変化することに注意する必要があります（写真 3.13）。視角の変化とものの見え方には一定の関係があり、人工物である護岸のように自然に調和し難いものは、それだけを小さくまとめることで、全体の景観の中で強調されにくい（目立たない）ものとすることもできます。一般に、手を伸ばした状態での１円硬貨の大きさ程度の対象は、対象をはっきり見ることができる視角（熟視角１～2°）とされています。手を伸ばした状態での手のひらの大きさ程度の対象は視角が 20° 程度であり、対象が風景の主体となり視野の中でバランスよくおさまっている状態の限界といえます（P. 47「解説」参照）。したがって、見かけの大きさが視角 20° 以上にならないよう境界を曖昧にする、見える面積を小さくするなどといった工夫を施し、風景の中で護岸が目立たなくなるようにする配慮が必要といえます。

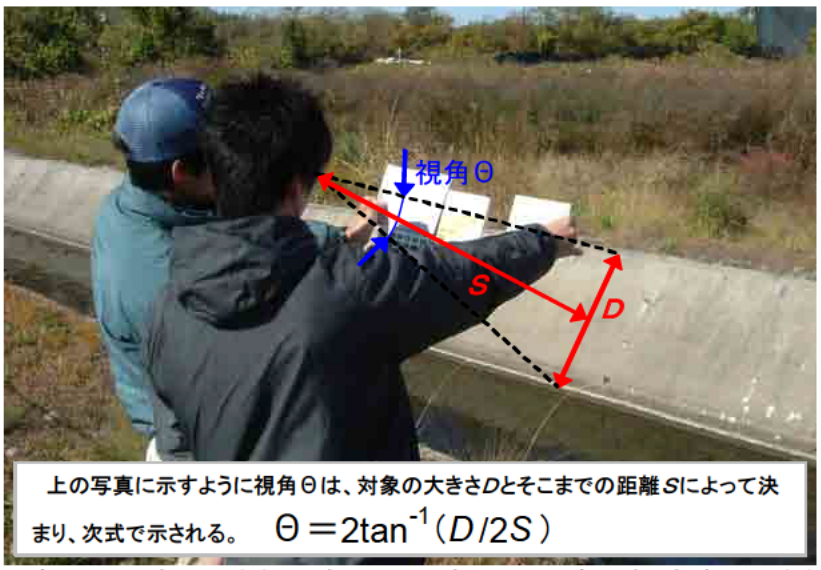


写真 3.13　対象の大きさ、対象までの距離によって変化する視角の大きさ

解説－護岸の見かけの大きさと視角との関係

人が物体を見るとき、その物体の両端が目においてなす角度を視角と言い、視角の大小で物体の見かけの大きさに関する評価が異なります（表１）。１円硬貨、拳、掌を使うと大体の視角を簡便に判定できます。2mの高さ（または法長）の護岸を例とすると、距離 10m程度で視角 10° となりますから、川幅が小さい河川の対岸景を想定すると護岸が景観の主対象となります。

表１　視角と見かけの大きさの評価

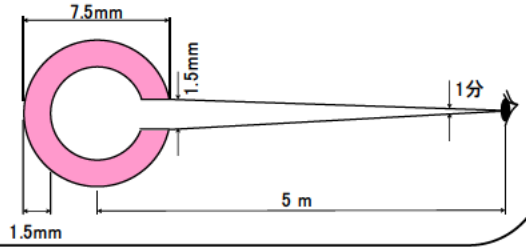
視角	関連のある事項		
	護岸の一辺	人の視角特性	現場で使える具体的な表現
1′ (1/60°) 0.5°	視角θ＝1°となる例(風景の主体とならない) 視対象D＝2mの場合、対象までの距離S＝約110m 視対象D＝5mの場合、対象までの距離S＝約300m	最小分解視角	
1° 2°		熟視角	視角2° 手をのばして見た1円硬貨の直径
5° 10°	視角の大きさに対して護岸(対象)が大き過ぎ 視角θ＝10°となる例 視対象D＝2mの場合、対象までの距離S＝約10m 視対象D＝5mの場合、対象までの距離S＝約30m		視角10° 手をのばして見た握り拳の大きさ
(15°) 20°	(15～20° 風景の主体となる視角：目前の高水敷、水域、対岸の河岸や堤防などの部分)		
45°	視角θ＝28°(約30°)となる例(全体像がわかる) 視対象D＝2mの場合、対象までの距離S＝約4m 視対象D＝5mの場合、対象までの距離S＝約10m		視角20° 手をのばして見た指先から手首までの長さ
60°		人の視野(約60°)	人の視野を超えるものは全体像が分からない。

注：上の表は、島谷幸宏編著「河川風景デザイン」山海堂 p.35 の表をもとに簡略および加筆（図の写真化等）した。

熟視角と最小分解（分離）視角とは

「熟視角」とは、対象をはっきりと見ることができる視角のことをいいます。文献によってその数値は異なるが、一般には視角 1° あるいは 2° が用いられています。

「最小分解（分離）視角」とは、2 点または 2 本の線が分離して見分けられる限界の視角のことをいいます。右図の「視力 1.0 の場合のランドルト環の見え方」は、最小分離視角 1′ は視力 1.0 の基準として一般に用いられています。



3.3.1.6 「まとまり」に関する原則

人は、視覚特性として対象物を一つの「まとまり」として捉える傾向があります。「まとまり」が明瞭になると風景の中で「図」と認識され、不明瞭になると「地」と認識される傾向がありますが、護岸を含む河川の一般的な構造物は「地」として全体の風景に溶け込むほうが風景の保全に適しています（島谷 1994）。河川風景を保全するためには、護岸をまとまりとして強調せず、「周辺の風景の中に同化させる」ことが重要となりますが、このためには「まとまりにならないようにする」もしくは「まとまりを小さく見せる」工夫が必要となります。具体的には①境界、輪郭線を曖昧にする、②明度差を小さくする、③テクスチャーを周辺と似せる、④面積を小さくする、といった方法が考えられます。以下に、これらの方法の具体例を示しましたので、「まとまりを強調しない」原則として憶えるようにして下さい。

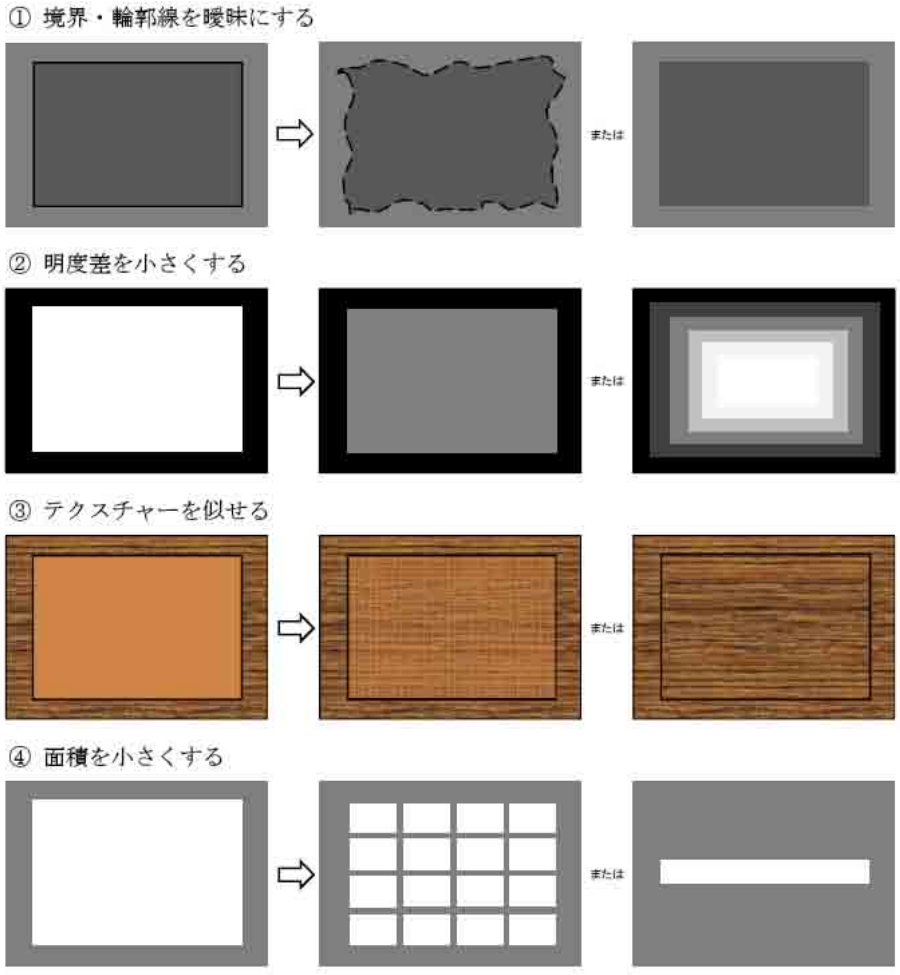


図 3.14 まとまりに関する具体例

3.4　流程別に見る河岸・水際部の特徴

3.4.1　山間地区間（主にセグメント M）



写真 3.14　山間地区間の特徴（全景）



写真 3.15　山間地区間の特徴（近景）

山間地の河道の多くは、きわめて急勾配な河床、急勾配な側方斜面から形成され、大小様々な石礫が堆積しています。流路は急角的に方向を変え、露出する岩と巨礫から、河道の基本構造が形成される場合が多く、岩・巨礫が組み合った箇所で水が堰上がり、そこから落下する流れ（ステップ）と落下した水が溜まる小さな水溜まり（プール）が連続的に分布する Aa 型（ステップ＆プール型）の瀬・淵構造が出現します。水面を覆う渓畔林(水辺林)は陸上カバー、倒流木は水中カバー、河岸・水際部の転石や石礫は多孔質な空間や入り組み、石に付着した苔や落葉は湿潤状態を保ちやすいという環境資源の機能を有しています。川幅が狭く渓畔林が河道を覆い日射が遮られること、また、栄養塩濃度と水温が低いことから、付着藻類の生産が抑制されます。また斜面や渓畔林から供給される有機物に依存している陸生昆虫、その排泄物や遺体、さらに落葉・落枝（これらを総称してリターと呼ぶ）が、イワナ、アマゴといった魚類や水生昆虫の餌や巣材となっています。本流程においては、河岸と水際部が同所的で、中流域に見られるような明確な河岸の法尻、法肩がないため、河床、河岸、陸域といった区分が明瞭でなく、河床から山腹までが連続的に変化するのが特徴です。さらに露岩、巨礫等から構成される河岸･水際部は、瀬･淵構造の分布に併せて、広狭を繰り返すのが特徴です。

[河岸・水際部に見られる植物の例]

河岸から山裾にかけての渓畔林は、カツラ・サワグルミ・シオジ・トチノキなどの落葉広葉樹が分布し、林冠は閉じられ、河岸・水際部には抽水植物は見られません。渓谷や渓流と呼ばれる斜面や河道部には転石や倒木が見られ、カバーを形成しています。また水際部は河道の横断方向の大部分を占めます（図 3.15）。



※1：河道が樹冠に覆われている場合には水域らしい水域がなく水際部となる場合もある。
※2：苔生する河岸斜面、および流倒木散在。河岸や河床に露岩や転石が散在。
※3：一部が露出した転石または岩盤

図 3.15　山間地区間（主にセグメントM）の河岸･水際部の特徴

3.4.2　谷底平野区間

谷底平野区間における河川は、山間地に形成された比較的平坦な谷底面を、谷底形状に制約されて蛇行しながら流下します。外岸側は山付部となり、内岸側は山から離れている場合が多く、河床勾配はセグメント１から 2-1 に対応しています。水域の瀬・淵構造は河床勾配が大きい場合には Aa－Bb 移行帯に、比較的小さい場合には湾曲部の外岸側に淵、その落ち込み部に瀬が Bb 型に近い瀬・淵構造となります。河畔林（水辺林）によって水面に陰影ができ相対照度が適度に低下する場所が、多孔質な石礫群、水際の抽水植物が水上・水中カバー、M型淵凹凸の入り組、山影になりやすい部分では湿潤等様々な河岸法面の環境資源を有しています。河道内への日射の抑制は小さくなり、川底での付着藻類の繁茂、そして、これを摂食するアユ、オイカワといった魚類、ヒラタカゲロウ、ヤマトビケラといった水生昆虫も増加します。

本流程では湾曲部と直線区間で河岸と水際部の状況が異なる点も注意が必要な特徴です。

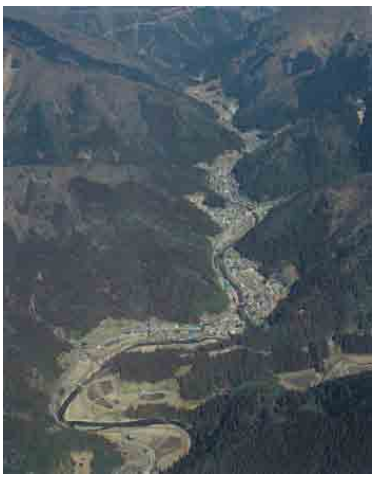


写真 3.16　谷底平野区間の特徴（全景）（写真提供：中部地方整備局越美山系砂防事務所）



写真 3.17　谷底平野区間の特徴

[河岸・水際部に見られる植物の例]

湾曲部外岸側は水衝部となり、河岸と水際部は一致し、外岸側の山付部の河岸法面は急勾配となり、ヤナギ（例えばネコヤナギ）やニレ科（オヒョウ、エノキ、ハルニレ）、といった落葉広葉樹を確認できます。

また、山腹から崩落した石礫が河岸域に分布し、複雑な水際線を形成する場合もあります。

一方、内岸側には寄州が形成され、水際部にはタデ類、ツルヨシ、ヨモギの他、礫河原にはカワラハハコなどの草本群落を確認できることがあります（図 3.16 右上）。





写真 3.18　谷底平野区間の特徴（近景）

直線区間では川幅が小さい場合には河岸前面の砂州の形成が抑制され河岸と水際部は一致します（図 3.16 左上）が、川幅が大きい場合には河岸前面に砂州が形成され水際部と分離することがあります（図 3.16 下）。この場合、河岸から水際部にかけては内岸側同様タデ類、ツルヨシが繁茂することがあります。

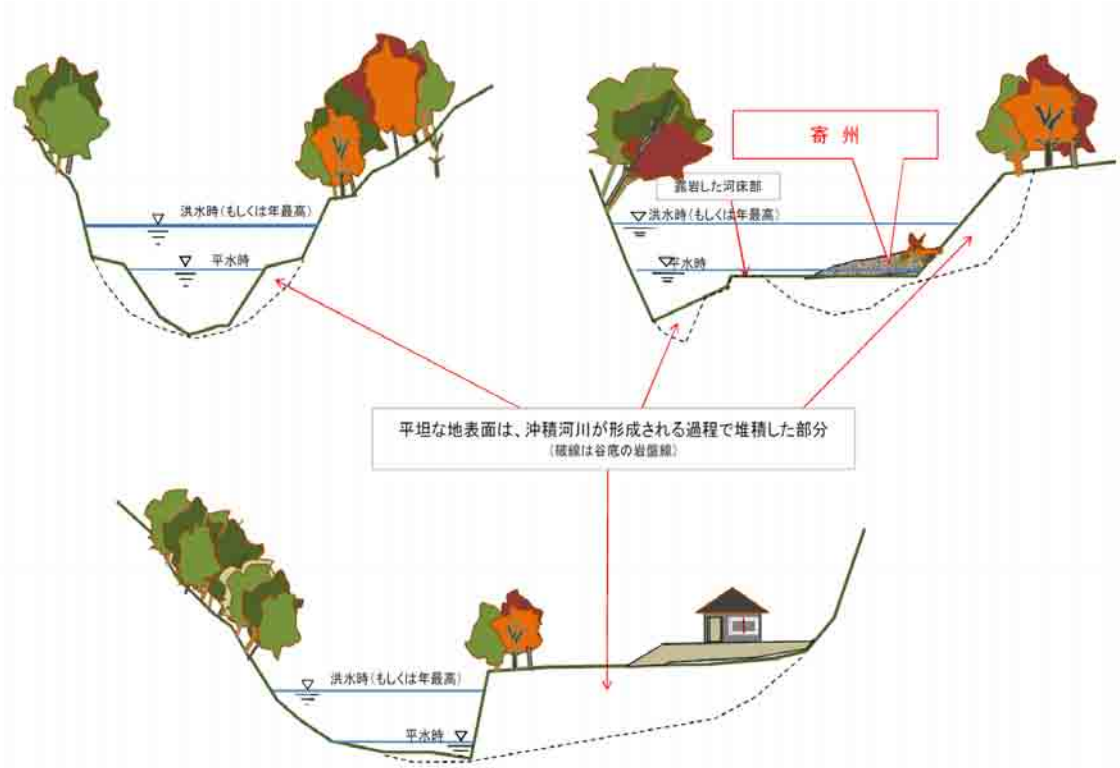


図 3.16　谷底平野区間の河岸･水際部の特徴

3.4.3　扇状地区間（セグメント１）

扇状地区間の河道には、網目状の砂州、複列砂州、交互砂州の発生が確認できます。交互砂州が形成されると Bb 型に近い瀬・淵構造が見られます。複列砂州、網状砂州の場合は交互砂州同様に白波立つ早瀬と水深の大きな場所が一定の間隔で形成されますが、厳密な意味で可児の瀬・淵区分とは異なります。川幅が広いため河道全体に対する河畔林の影響は小さく、日射は抑制されません。また、巨礫、大礫等からなる河床材料は付着藻類の基質となり、アユやオイカワといった付着藻類を食べる水生生物に良好な環境となります。多孔質な砂礫堆が多く、明度の高い石礫が河原全体に広がりやすく魚類にとっては鳥類などの捕食者に見つかりやすいという、食物連鎖の捕食される側（魚類等の水生生物の側）からすると環境資源の負の機能を有していることになるともいえますが、生態系全体での食物連鎖には重要な区間として位置づけられるといった特徴があります。砂州が形成されるため河岸と水際は同所ではない場合が多く、砂州が洪水時に移動するため、その位置は変化します。自然河岸は河床と同一の構成物質（石礫）で占められており、河床材料と河岸構成材料に大きな変化はありません。河床から水際さらに河岸までを構成している材料の粒径は大きいのが特徴です（山本の区分によれば代表粒径は 2cm 以上です）。

なお、山間地区間や谷底平野区間に比べて川幅が広くなるため、河岸・水際部の役割が低下します。



写真 3.19　扇状地区間の特徴
（http://www.hrr.mlit.go.jp/kurobe/jigyo/air/index.html より転載）
黒部川扇状地



写真 3.20　扇状地区間の特長
（写真提供：木曽川上流河川事務所）
木曽川中流部三派川地区

[河岸・水際部に見られる植物の例]

扇状地区間は河道内での草本や木本は確認しにくいのですが、河畔林には成長の早いヤナギ等を確認できます。他にはクワ科、ニレ科の落葉広葉樹も確認できることがあります。草本類としては河道内に点在する砂州の所々にススキ、ツルヨシなどのほかに礫質の河原では河原固有植物のカワラサイコ、カワラハハコ、カワラヨモギといった植物を確認できます。（図 3.17）。

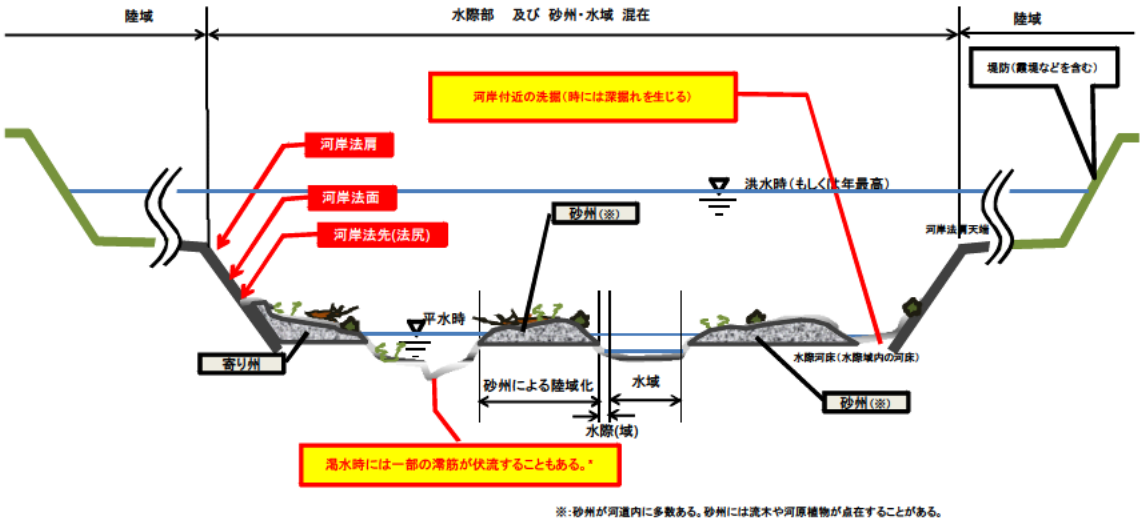


図 3.17　扇状地区間(セグメント1)の特徴

3.4.4　自然堤防帯その１（セグメント 2-1）

セグメント 2-1 では、河道が規則的に蛇行しながら、また、河道内には交互砂州が形成されて典型的な Bb 型の瀬・淵構造が形成される場合が多く、瀬と淵の位置は河道湾曲部外岸側は水衝部となり淵が、その落ち込み部に瀬が形成されます。また、湾曲部内岸側には寄州が形成されて河原を見ることができます。河床材料は小礫、砂となり、扇状地と比較して粒径は小さくなります。



写真　3.21　セグメント 2-1 の特徴
（全景）長良川 S50 年代後期
（出典：空から見る木曽川三川（昭和 58 年））

セグメント１に比べて河岸～水際部では植物も繁茂し、陸上カバー・水中カバーが見られる場合が多くなります。

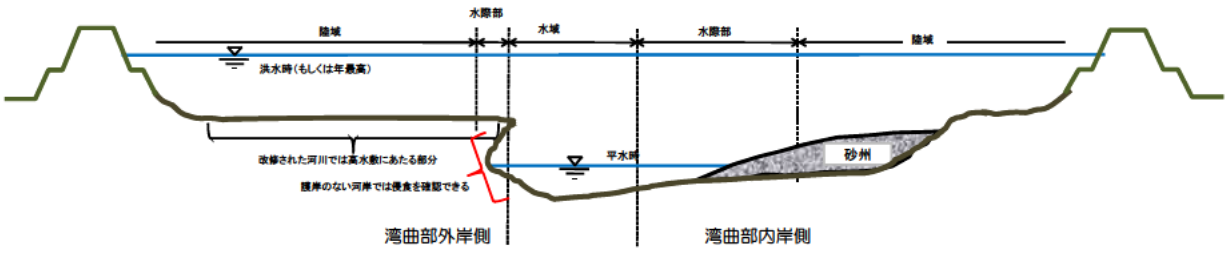
この流程では、外岸側は河岸と水際部が同所的となり、内岸側では河岸と水際とが分離することが多く、河岸の構成材料は河床付近が河床材料と同程度の粒径となります。河岸上部には砂・シルトが堆積し、河岸上部と下部で構成材料が異なる場合が多いといったことが特徴です。



写真 3.22　セグメント 2-1 の特徴（近景）

[河岸・水際部に見られる植物の例]

河畔林はヤナギ（例えば、ネコヤナギ）とニレ科（エノキ、ハルニレ等）、ハンノキの落葉広葉樹が主で、その他にクワ科や竹林、ノイバラ低木にクズなどのつる性植物が巻きついたものが点在。陸域から水際にかけてはツルヨシの他に“河原（カワラ）”の名が付く（カワラサイコ、カワラハハコ、カワラヨモギ）、乾燥した場所ではススキ、オギといった草本類も確認できます。（図 3.18）。



注：本横断模式図は実河川に対して砂州や侵食を強調するために縦方向の縮尺イメージを横方向よりも大きく変せている。

3.4.5　自然堤防帯その２（セグメント 2-2）

セグメント 2-2 の区間では徐々に水深が深くなり、瀬・淵構造は Bb 型→Bc 型に移行、明瞭な瀬が存在しなくなります。きちんと調べられてはいませんが、Bb 型と Bc 型の「瀬・淵」タイプの境界はセグメント 2-1 及び 2-2 の境界付近と一致するでしょう。また、堆積した砂州や寄州もそのほとんどが水中に没するため河岸前面に砂州が堆積することもあります。



写真 3.23　セグメント 2-2 の特徴（全景 1）



写真 3.24　セグメント 2-2 の特徴（全景 2）
（出典：空から見る木曽三川(平成 6 年)）

河床材料はより細かくなるため、河岸が侵食されると庇状になり、陸上カバーとしても機能します。その他セグメント 2-1 よりも河岸～水際部の植生が増えて陸上カバーや水中カバーが発達します（写真 3.19～3.22 をセグメント 1 から 2-1 までを順に比較すると砂州の緑被化が理解できます）。その他、ワンドといった空間スケールの大きな入り組みや湿潤な法面も見られます。この流程になると水深が大きく河床まで日射が到達しないため河川内での付着藻類の生産は抑制されますが、上流の流程から流下してくる豊富な有機物が餌資源となります。また、縦断方向の環境の変化が乏しくなる一方、ワンドやたまり等横断方向に多様な環境が出現し、イシガイ類やタナゴ類のように氾濫原環境に依存する生物が多く見られます。

[河岸・水際部に見られる植物の例]

この流程では砂州が水没するために河岸と水際は同所的であり、また、河岸材料はシルト、粘土からなり粘着性があり、耐浸食力が強くなります。河畔にはヤナギ、ニレ科（エノキ、ムクノキ）の落葉広葉樹に加え、北海道を除く温暖な地域では陽樹で成長の早い落葉広葉樹のネムノキも確認できます（図 3.19）。

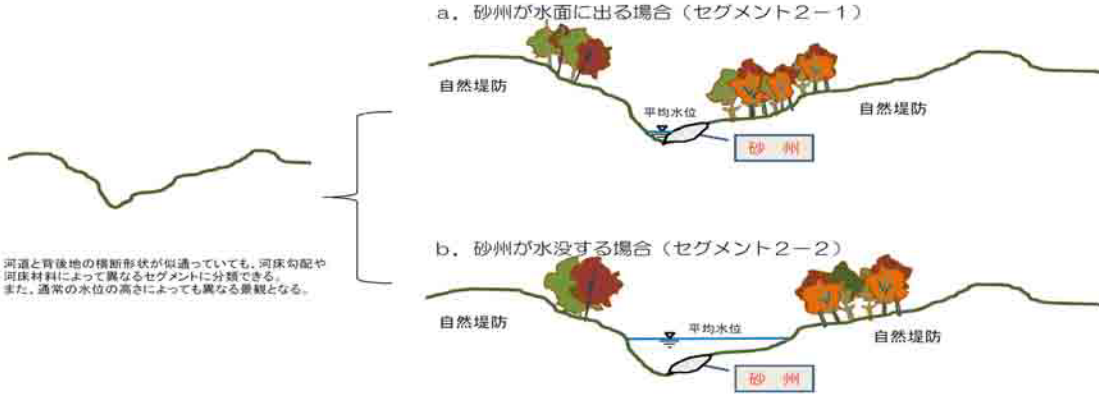


図 3.19　セグメント 2-1 とセグメント 2-2 の違いと特徴

3.4.6　感潮域～汽水域（主にセグメント３）

この区間は潮の満ち引きにより、水際は前後に移動し、干潟が形成されるのが特徴です。

生態学上の河川形態は定義されていません。

この河岸・水際は干潮区間のために水位の干満の影響を受けます。また、洪水だけでなく地震時の津波や台風襲来時の高潮の影響を受ける区間であるため、その外力にも耐える必要から河岸は強固です。日中の干満によって水際は大きく変化します。

干潟の植物は潮の満ち引きによって陸上カバーと陸上カバー＋水中カバーの機能を有しています。

ヨシなどの抽水植物群落による入り組みが貴重な環境資源としての機能を有していることもこの流程での特徴です（写真 3.26）。



写真 3.25　セグメント3の特徴

（写真提供：木曽川下流河川事務所）

写真中央やや左上が長良川河口堰



写真 3.26　セグメント3の特徴（近景）

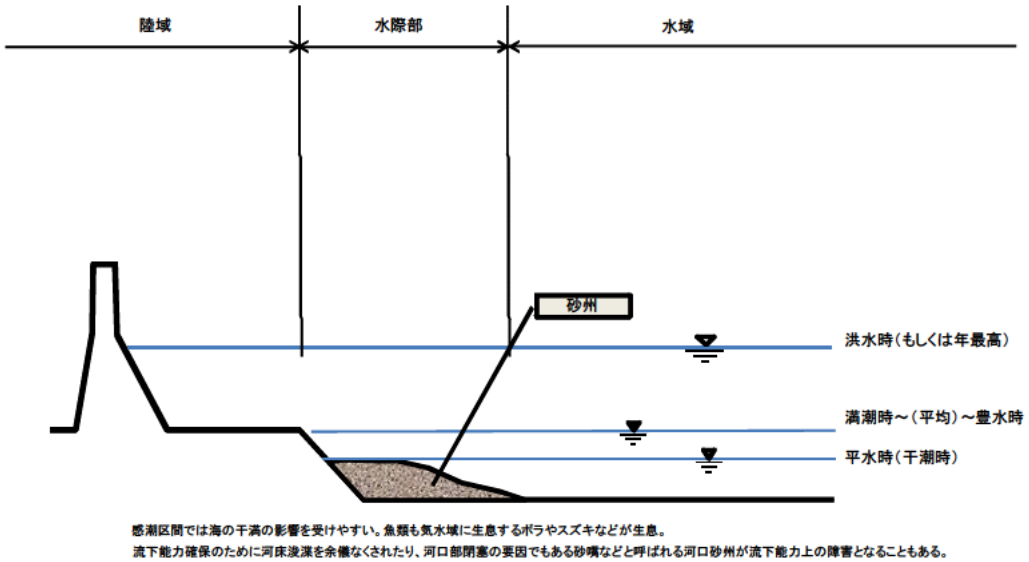


図 3.20　セグメント 3（地形区分はデルタ河川）の特徴

3.5　まとめ

3.5.1　流程別に見た河岸・水際部の役割

河岸・水際部の特徴や機能を代表的な流程毎に見てきましたが、ここでは、河川生態系の特徴が流程に沿ってどのように変化するかを解説しながら、河岸・水際部の機能変化を捉え直します。

まとめに際しては、川を横断方向に水域、河岸・水際部、氾濫原と大まかに分類し、各域に見られる代表的な環境要素が流程に沿ってどのように役割を変えるかを見ていきましょう。水域の代表的な生息場所は瀬・淵構造であり、相対的に流速が速く水深が大きい瀬と、流速が小さく水深が小さい淵が、流れ方向に交互に出現し、河岸・水際部には渓畔林・河畔林や水際植物、水際の入り組み等が、生息場所の代表的な要素となっています。山地河道では水域と河岸・水際部が中心となりますが、氾濫原が広がる谷底河川、扇状地、自然堤防帯になると河岸・水際部の外側に氾濫原が分布するようになります。

水域、河岸・水際部、氾濫原に出現する生息場所の種類や分布が流程によって異なることは、川の生態系を考える上で重要な視点です。また、生息場所の種類や分布は流速、水深、底質、水温、溶存酸素といった物理・化学量に関連するだけでなく、餌資源の供給形態を変化させるため(Vannote et al, 1980)、生息場所の変化は２つの側面から生物の生息に影響を与えることになります。

図 3.21 は上流から下流に向かって、横断方向に見られる生息場所の生態的な重要性がどのように変化するかを概念的に示したものです。

上流の山間地区間は氾濫原に乏しく、水際部と水域の生息場所が魚類の生息にとって重要な要素となっています。川幅が狭く河畔林が張り出すため水面に届く日射量は少なく、水温と栄養塩類濃度が低いために内部生産量が低く抑えられます。このため、外部で生産された餌資源、例えば、落葉→水生昆虫→魚といった食物連鎖網や落下昆虫に依存することになります。

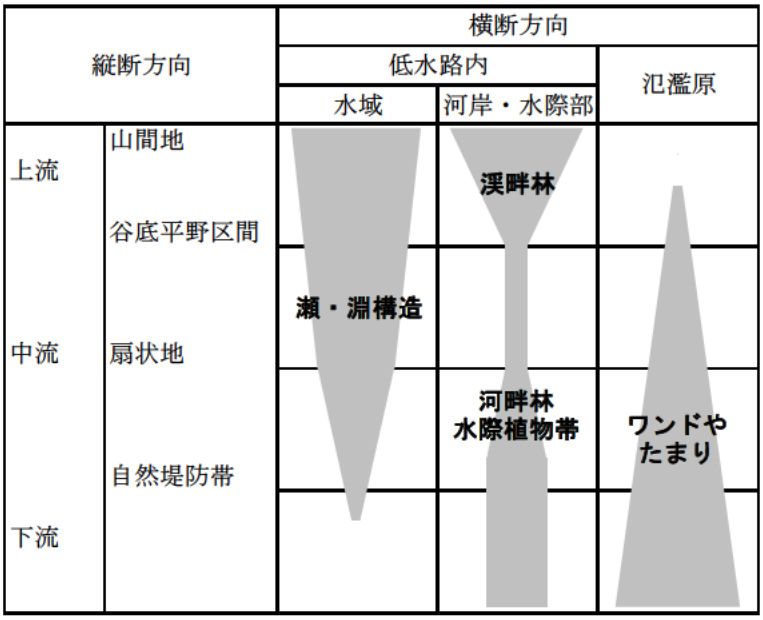


図 3.21　水生生物から見た流程に沿った生息場所の重要性

水域(流心)、河岸・水際部、氾濫原に分けて各域に見られる
生息場所の流程に沿った重要性を示した。太さが重要性を示す。

また，上流域に見られるステップ＆プール河道、すなわち、Aa 型の瀬・淵構造は急勾配な河川における流れのエネルギーを散逸し、河道内に静穏域を確保して生息場所を確保します。倒木もまた重要な川の構造の一部であり、魚類の生息場所として機能することが多くの研究で明らかになっています（Inoue & Nakano，1998 ；Urabe & Nakano，1998 ；阿部・中村，1999)。山間地区間では水域と河岸・水際部が河川生態系を支えています。

谷底平野区間では、河岸が拘束され河道は谷底平野上を蛇行しながら流れ、蛇行の湾曲部外岸側に淵が、その落ち込み部に早瀬が形成されることが多くなり、川幅は広くなり河畔林が川全体を覆うことはなくなります。瀬では河床に届く日射量が増加して付着藻類の生産力が高くなり、それらを摂食する生物（例えば、アユやオイカワ等の魚類、ヒラタカゲロウやヤマトビケラ等の底生動物）が増加してくるでしょう。一方、山付部には河畔林が分布し餌資源や日陰を供給し、湾曲部外岸側の淵が形成される場所では河畔林と一体となった良好な生息場所となります。また、河道内に形成される砂州の水際部に繁茂する植物帯、山付部に露出する岩に形成される凹部（ポケット状の水域）は流心部と比較して流速が小さく、遊泳力の小さい魚類の生息場所として重要です。

扇状地区間になると川幅は更に大きくなり交互砂州、複列砂州、網状砂州が発達し、河岸と水際部は同所的でなくなることが多くなります。川幅の広さそして河岸と水際部が同所的でなくなることから河岸域の要素、例えば、河畔林や水際植生帯の生態的機能は相対的に小さくなります。また、洪水の度に砂州が移動することが多く、水際部における植物の繁茂は抑制される場合が多くなります。一方、瀬では河床まで日射が届き，栄養塩類濃度・水温も上昇して付着藻類の生産力が一段と大きくなり、これらを摂食する生物の生息が増加します。扇状地区間では河岸・水際部ではなく、流心に見られる瀬の環境がこの区間を代表すると考えて良いでしょう。

自然堤防区間では氾濫原が広がり、水域では瀬・淵構造が Bb 型（セグメント 2-1）から Bc 型（セグメント 2-2）へと変化し、下流に向かって縦断方向への水深や流速の変化が乏しくなり、また、平均流速が小さく、平均水深は大きくなります。セグメント 2-1 では交互砂州が形成される場合が多く、河岸前面に砂州等の堆積域が形成されている場所には水際植物帯の形成が見られ、谷底河川同様流速や照度の低減といった観点から重要な環境要素となるでしょう。一方、セグメント 2-2 では河岸は水際部と同所的となるため、河岸・水際部に連続的に河畔林や水際植物帯が見られる場合が多く、セグメント 2-2 では水域における流速そのものが小さいためセグメント 2-1 や谷底区間における要素とは異なり流速低減効果ではなく、照度の低下や遮蔽効果による捕食圧の低下が重要となる可能性が高くなります。この流程ではより陸域に見られるワンドやたまりといった氾濫原的環境がより重要になってきます。ワンドやたまりは半止水環境と呼ばれ、平常時は流速に乏しいのですが、洪水時には冠水し、本川との間で栄養塩類と有機物、生物が移動して氾濫原特有の生態系が維持されていると言われています(Junk et al，1989；Lusk et al．2001)。

3.5.2　流程別に見た横断方向の景観の変化

河川を横断方向に眺めると、水域から陸域、背後地にかけての景観の変化は流程によって典型的なパターンを有しています。水域は言うまでもなく水であり、一般に青を基調とした色相ですが、河岸から水際部は流程によって状況が異なります。

例えば、

- 扇状地のように洪水の撹乱強度・頻度が大きい場所では、水際部は河原から形成され植被に乏しく、このような状態が低水河岸付近まで及んでいることが多くなります。低水河岸は河床と同じ粒径の材料から構成され、粘着性に乏しく流水に対する耐侵食力は大きくないため頻繁に侵食を受けて、やはり植被に乏しいことが多いようです（写真 3.27）。このような場合、河川景観は水面→広い裸地面→高位面の緑と推移しますから、河岸処理も植物の繁茂を前提とする必要はなくなります。
- 自然堤防帯のように河床勾配が小さく、撹乱強度が低い場所では、水面が河岸に接して河岸と水際部が同所的となります。また、河岸は植生に覆われている場合が多く、河川景観を横断方向に見ると水域の青から直接植被の緑へと推移することが多くなります。このような場合は明度の高いコンクリートが河岸に露出すると水域から陸域への風景の連続性は崩れてしまいます（写真 3.28）。

河岸の景観を検討する場合には当該箇所だけでなく、一歩退いて全体の景観を俯瞰し、横断方向の景観パターンを把握することが重要となります。



写真 3.27　　扇状地の景観
（出典：ポイントブック I　撮影：吉村伸一）
写真は背後地に山地が控え、完全な扇状地の景観となっていませんが、河原が広く河岸まで広がっていることを確認できます。このような場面には河岸が河床構成材と同等の材料で構成されていて目立つことはありません。



写真 3.28　谷底河川の景観
（出典：ポイントブック I　撮影：吉村伸一）
背後地に山がある場合は水から緑への色相変化パターンが強調されます。このような中に護岸の白い帯があることだけは避けなければなりません。

流程に沿った代表的な横断方向の景観パターンを整理しましたので（図 3.22）、河岸設計を行う場合には、まず、机上で対象区間の流程上の位置を確認し、横断方向の景観パターンを想定し、次に現地で実際の景観パターンを把握し、河岸設計を行うと良いでしょう。

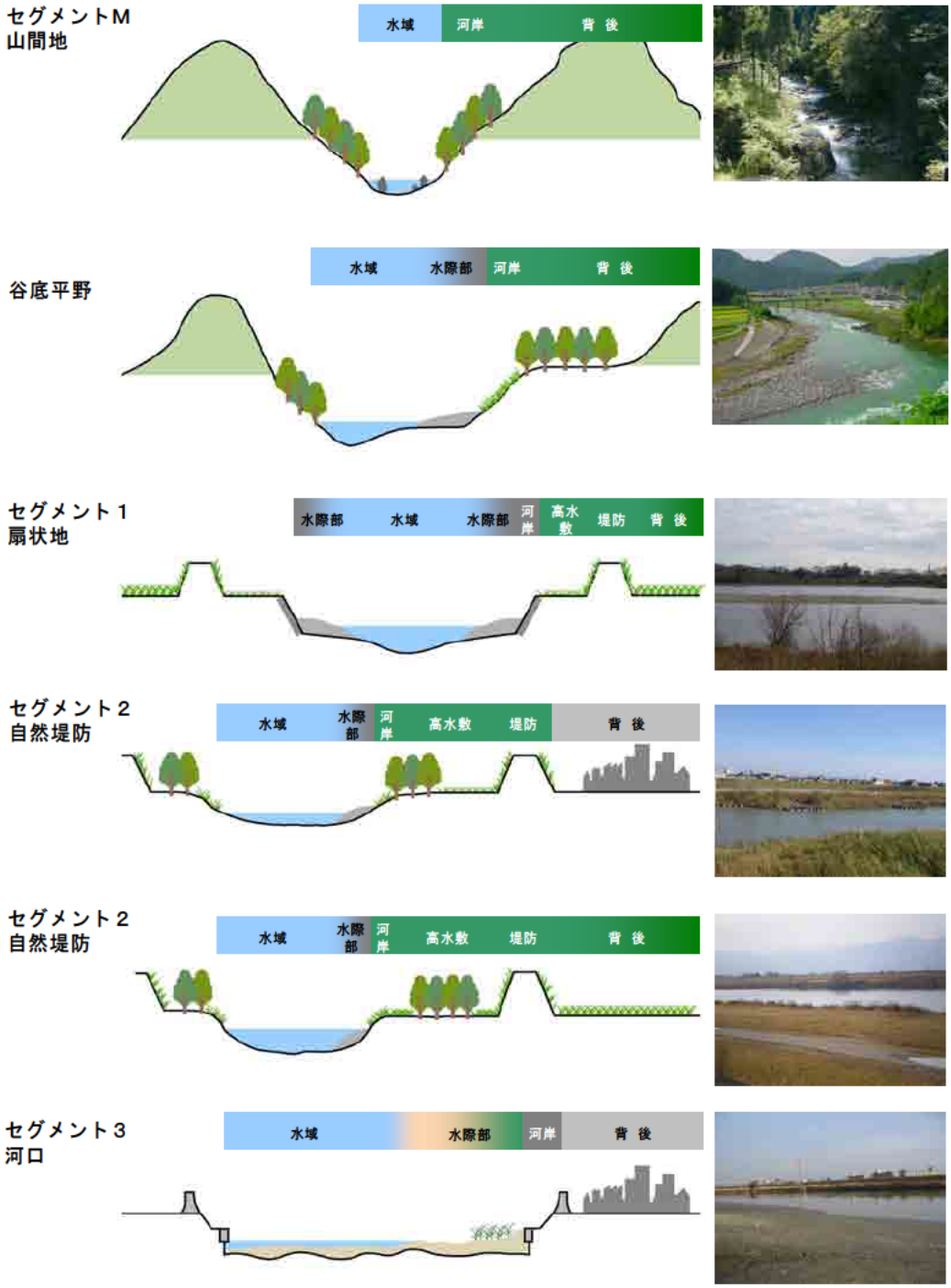


図 3.22　代表的な景観パターン

水際部の裸地部分がどの程度広がっているか、そして、河岸から堤内地における景観が、どのように変化していくかが河岸・水際部の設計に重要な視点となります。

4　河岸・水際部の計画・設計に関する基本的事項

4.1　３つの基本原則

(1)影響の回避を基本とする

平成 20 年 3 月に「中小河川における河道計画に関する技術基準」が提示され、また、この解説本として「多自然川づくりポイントブックⅡ」（以下、PBⅡ）が発刊されました。本基準及び PBⅡは、計画高水位の設定、河道の平面、縦横断計画を対象とし、具体的な手法を示したものであり、改修後の流速の増加を抑制するため現況流量に対する改修目標流量の比率に応じて河道を拡幅することを原則としています。本基準等は河岸の計画・設計を直接扱っていませんが、長い時間をかけて形成された天然河岸を人工的に造作することは困難であるとの認識に立ち、河畔林が分布する等質の高い河岸については出来る限り保全することを推奨しています。本資料でも、この考え方を踏まえ、質の高い河岸は、河道法線形状の変更、片岸拡幅等により影響を回避し、保全を最善の手法と位置付けて計画を立案することを基本とします。

(2)自然作用を活用する

川には侵食・堆積作用があり、川の地形は洪水時に自律的に形成される場合が多いのが特徴です。川の作用によって形成される地形は自然環境、河川風景を悪化させることがなく、また、人為的に細かい地形処理を計画、設計する手間を省けるためコスト削減に繋がる方法と言えます。従って、河岸・水際部を改変する場合には、護岸に工夫を凝らす前に、河岸、水際部を川の作用によって自律形成させる方法の選択を優先することが得策です。

護岸の設置が不要な箇所においては河岸を切土のまま放置し、河川の侵食・堆積作用にまかせる方法、護岸が必要な箇所では護岸を控えて設置し、その前面に盛土を施し微地形を形成する方法等が考えられます。これらの方法は幾つかの実施事例、研究例が見られますが、具体的な設計方法を示すには至っていません。水際部については、3 章において示したように河岸前面に砂州、局所的な堆積域が形成される場合があります。これらの形成条件については５章で再度説明します。

(3)河川風景全体を捉える

河川風景は川の侵食・堆積、植物の繁茂といった自然の営みに人間の様々な川への関わりが加味され醸成されたその地域固有のものと考えることができます。また、河川風景は河川そのものだけでなく、その背後に控える堤内地の風景とも一体となり形成されていることに留意する必要があります。従って、河岸・水際部の景観を考える際も、この部分のみを切り取り景観に配慮するのではなく、河川全体を捉えながら、違和感のない計画・設計を行う必要があります。

特に、人工物である護岸は、自然に由来する材料や過程によって形成される河川の中では目立ちやすい存在です。明度が高く、長大な法面が出現すると、護岸としての「まとま

り」が強調されて風景に溶け込めず、地域固有の風景が壊れてしまいますから注意しましょう。人工構造物である護岸を目立たないようにデザインし、違和感なく河川風景を保全することはちょっとした技術的工夫で解決できる場合も少なくありませんから、３章で説明した「まとまり」を強調しないことを原則として検討を行って下さい。

4.2　河岸処理の流れ

4.2.1　河岸処理手法選定のフローの例

ポイントブックⅡ（PBⅡ）において中小河川の技術基準に基づく基本計画の流れ（以下、基本計画フロー）が明示されています（多自然川づくり研究会 2008）。基本計画フローにおいては、川のよいところや悪いところを見つけて目標設定を行った後、環境資源の保全が図られるように河道の平面・縦横断計画を立案していきます。ここに示したフロー（図4.1）は基本計画立案の過程で決まる部分と、その後の基本設計で検討する部分とが混在しており、影響の回避そして河岸防護の必要性の一部については基本計画と一体となる部分であり、それ以降は基本設計に対応すると考えられます。

本フローでは、「4.1　３つの基本原則」で示したように影響の回避を最善の方法とし、次に、切土のまま放置して自然作用を活用して自然的な河岸域の再生を図ることを次善の方法と位置付けています。また、河岸防護が必要で改変が必要となった場合にも控え護岸として盛土部分の地形変形、植生繁茂等の自然作用による河岸域の自立的な回復を期待します。５分勾配の場合は露出護岸となり自然河岸が有する機能を護岸が代替することになりますが、この場合も河川風景の保全を前提として具体的な護岸工法を決定していきます。事項から詳細を説明します。

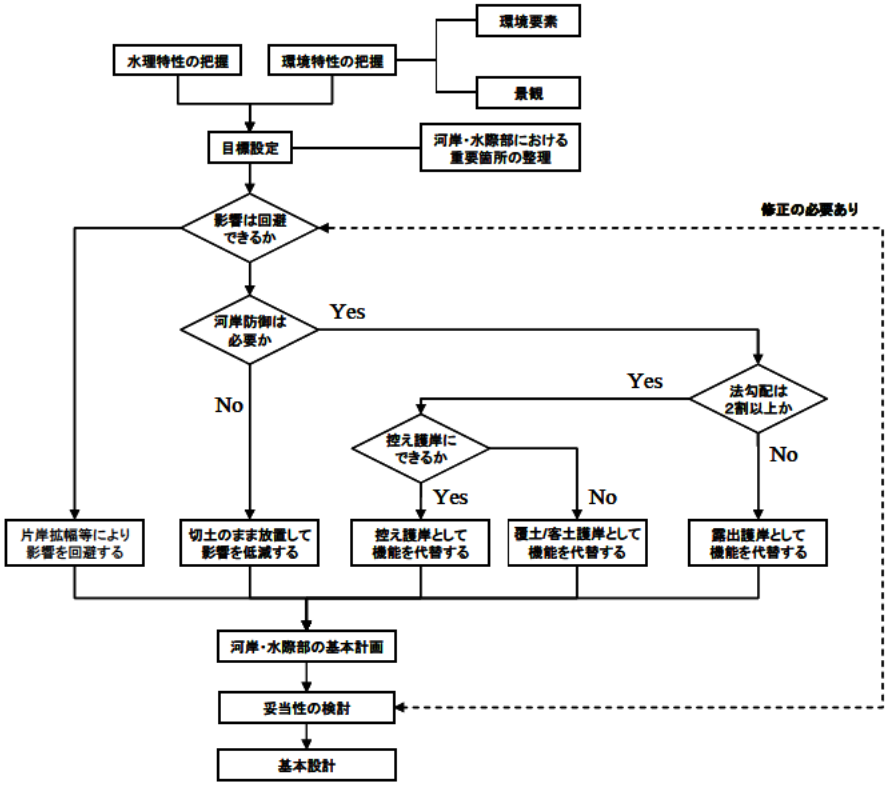


図 4.1　河岸・水際部の計画・設計フローの例

河道拡幅を前提とした場合の河岸処理のフローチャート

4.2.2　影響を回避するケース

現況の自然河岸で良好な環境資源が分布する場合には手を付けず保全が可能かどうかを考えることが上策となります。具体的には現況法線をそのままとし新河道で洪水流量を負担する方法（以下、法線形状の変更）、両岸を見比べて相対的に良好な河岸を保全し対岸を拡幅する方法（以下、片岸拡幅）があります。

4.2.2.1　法線形状の変更により回避する

法線形状の変更により環境資源を保全した事例数は多くありませんが、河畔林が分布し天然河岸の様相を呈している場合には用いられている事例を散見できます。岩手県の土谷川では、河道法線内にあったハナヒョウタンボク、クロビイタヤを保全するために、河道法線形をシフトして、これらの保全を図りました。



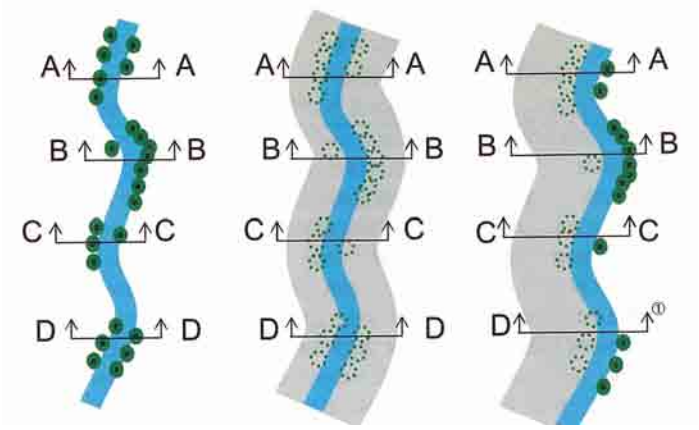
図 4.2 岩手県土谷川における法線形状のシフト

（出典：ポイントブックⅠ　撮影：葛巻町）

元々の河道法線（赤線部分）をスライドさせてハナヒョウタンボク、クロビイタヤが繁茂する河畔林を保全した。

4.2.2.2　片岸拡幅により回避する

片岸拡幅についてはポイントブックⅡでも紹介され、実際に試みられている事例が多く見られます。質の高い河岸が片岸に分布する場合には有効な手法であり、特に、片岸が山付部となり河畔林や淵が分布する場合には、反対側の河岸のみを拡幅し当該河岸を保全する方法は非常に有効です。ただし、併せて河床掘削を行うと自然河岸の根の部分の掘削が入るため、結果として護岸の導入を図る必要が生じるので注意が必要です。



A.**現況**　　B.**両岸拡幅**　　C.**片岸拡幅**

図 4.3　片岸拡幅による河岸－水際部の保全

（出典：ポイントブックⅡ）

B：両岸拡幅は質の高い河岸を両岸で失ってしまいます。C：片岸拡幅とすることで相対的に質の高い河岸を保全することができます。平面形状だけでなく、横断形状も工夫して片岸だけでも残せないか検討してみましょう。



写真 4.1　片岸拡幅の例（岩手県土谷川）

（出典：ポイントブックⅡ　撮影：吉村伸一）

岩手県土谷川では、河畔林を片岸拡幅により保全しました（写真はポイントブックⅡより）。

4.2.3　影響の回避ができないケース

4.2.3.1 河岸防護が必要でない場合の対応

拡幅等により河岸の改変が避けられない場合には、護岸設置の必要性を慎重に検討し、設置を必要とする場所と必要としない場所を判別することが重要です。護岸を設置しなければ、背後からの浸透水の供給の確保、法面上の植物の繁茂、また、法表面に微少な地形変化が生じ、景観上の配慮も不要となります（写真 4.2)。

河岸防護の必要性の判定基準を以下に示しました。単断面河道の場合は高水敷がないため、治水上許容できる侵食幅を確保できない場合がほとんどです。従って、侵食幅を確保できない箇所については河岸侵食の可能性と護岸の設置について慎重に判断することが必要となります。護岸の設置が不要となる箇所としては、対象区間の平均流速が小さく河岸侵食の恐れが小さい区間、当該区間の流速が平均的に大きい場合でも局所的に流速が小さい箇所は対象となります。また、河岸構成材料の耐浸食力が明らかに大きく想定される外力での侵食が想定されない場合も護岸は不要となるでしょう。当該区間全体を同質の場と捉えるのではなく、川幅スケール程度で護岸の要・不要を判断することが重要となります。なお、１割５分より急な河岸については流速の大小に関わらず土圧を受けるために護岸が必要となる場合がありますので注意して下さい。

- 流速が小さい場合（流速 2m/s 以下が目安）
- 河岸の耐力が侵食力と比較して大きいと考えられる場合

  例えば、
  - 岩が露出し侵食の恐れがほとんどない場所
  - 岩ではないが被災履歴のない自然河岸
- 一連区間の流速は大きいが、局所的に流速が小さくなる場所、

  例えば、
  - 湾曲部の内岸側で寄洲が形成されているような場所
  - 急拡部となり死水域となるような場所



写真 4.2　護岸を設置せずに土羽のまま放置した例

（出典：ポイントブックⅡ　撮影：ＮＰＯ法人境川の斜面緑地を守る会　太田浄子）

左は施工直後、右はおよそ３年後の状況

4.2.3.2 河岸防護が必要な場合の対応

河岸防護が必要と判定され、護岸の設置が避けられない場合には、その箇所に護岸の設置を含む河岸処理を施し、当該河岸が有していた機能の代替を図る必要があります。この際、護岸法面部に元来当該河岸が有していた機能を代替えするためには、元々の河岸・水際部の微地形、河畔林、河岸・水際部の植生の繁茂状態、背後からの浸透水の有無、その場を移動経路として利用する様々な生物等数多くの要素を考慮する必要があります。しかし、実際に護岸工法を検討する際に、これらの要素全てを把握・評価することは大変な労力を必要とします。また、これらの要素を把握し、保全対象となる要素が明確になったとしても、当該要素を保全できる汎用的な護岸工法は開発されていません。

以上を鑑みると、河川景観、自然環境を適切に保全するためには、護岸そのものを高機能化し、これを露出させて用いるよりも、現地で調達できる河岸・河床材料で護岸を覆い、覆土部分に上述した様々な機能を求める方法がより有効と考えられます。覆土は、材料にもよりますが、適度な保水力と透水性を有し植生基盤として機能するだけでなく、流水によって変形し、人工的には造作が難しい微地形の形成に寄与します。このため、河岸法面だけでなく、水際部においても生物の生息場所、陸域と水域を繋ぐ移動経路を形成し、また、護岸が露出する場合に問題となる河川景観上の問題も顕在化することがありません。

しかし、川幅と河道深さの比が３以下となり河床幅が狭くなる場合、湾曲部外岸側のような水衝部等となる箇所については河岸が５分勾配となることから、上記の手法の適用が不適切もしくは困難となります。この場合は、露出タイプの護岸を用いることになりますから、護岸そのもので自然河岸が有する機能を代替することが必要となります。露出タイプの護岸は河川景観、自然環境に対する影響の程度が大きく、適用に当たっては留意すべき事項が多くなります。留意すべきポイントとしては、河川景観への影響を軽減すること、そして、自然環境に関する要素として生物の生息場所、水域と陸域間の生物の移動経路を確保することが重要となります。これらのどれか一つが満足すれば良いのではなく、これらの条件すべてが満足されることが護岸を露出させる際に必要となります。５章では具体的に満足すべき条件を説明します。

5　護岸を設置する場合の留意点

5.1　護岸工法の捉え方

護岸の設置が避けられない場合には河川景観、自然環境に対する影響を小さくするために、必要に応じて当該河岸が有していた機能を護岸に代替することが必要となります。ここでは、機能の代替を行う際の留意点を整理するため、護岸工法を法勾配の大小（法勾配を２割以上、５分の２つに区分）から以下の３つに区分しました。

(1)法勾配が２割以上の場合

A．護岸を覆土等の自然素材で被覆し露出させない工法（控え護岸タイプ）

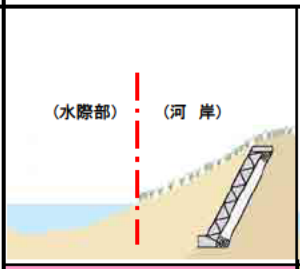
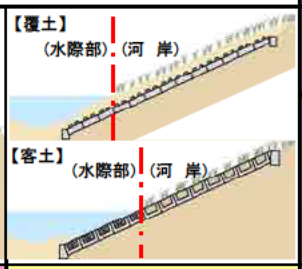
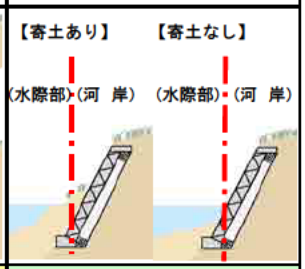
B．護岸を覆土等の自然素材で被覆し露出させない工法（覆土／客土タイプ）

(2)法勾配が５分の場合

C．護岸を露出させる工法（露出タイプ）

法勾配が２割以上の場合はA、B、５分の場合はCになりますが、いずれのタイプを選択するかにより河岸、水際部への配慮事項が異なります（表 5.1）。

表 5.1　護岸タイプ別における河岸・水際部への配慮事項

河岸勾配			1：2.0						1：0.5			
護岸タイプ												
			A：控え護岸		B：覆土／客土護岸				C：露出護岸			
河岸区分			水際部	河　岸	覆土護岸		客土護岸		寄土あり		寄土なし	
					水際部	河　岸	水際部	河　岸	水際部	河　岸	水際部	河　岸
配慮事項	景観	境界部の処理（水際･法肩等）	○	○	△	○	×	△	○	×	×	×
		明度・彩度	―	○	―	○	―	△	―	×	―	×
		肌理（ﾃｸｽﾁｬｰ）	―	○	―	○	―	△	―	×	―	×
		（見えの）面積	―	○	―	○	―	△	―	△	―	×
	生育生息繁殖	植物 河畔樹木	―	○	―	△	―	△	―	×	―	×
		植物 草本類等	○	○	△	×	△	△	○	○	×	×
		魚類（遊泳魚，底生魚）	○	―	△	―	△	―	○	―	×	―
		甲殻類・両生類爬虫類	○	○	△	○	△	○	○	×	×	×
		水生昆虫（水生：成虫時）	○	―	○	―	○	―	○	―	×	―
		水生昆虫（陸生：成虫時）	―	○	―	○	―	△	―	×	―	×
		陸上動物（土壌・哺乳類）	―	○	―	○	―	○	―	×	―	×
	移動経路	甲殻類・両生類爬虫類	―	○	―	○	―	○	―	×	―	×
		陸上動物（哺乳類）	―	○	―	○	―	○	―	×	―	×
	避難場	魚類（遊泳魚）	―	○	―	○	―	○	―	×	―	×

○：当該機能を満たす場合が多い、△：当該機能を満たさない場合がある、×：当該機能を満たさないことが多い
―：機能として該当しない

覆土・客土護岸は水際部での植生基盤流出の可能性を想定。５分勾配の護岸は特に工夫を行っていない練積護岸を前提として作成。
境界部の処理の内、水際部は水際ラインを、河岸は法肩ラインが対応する。

注）ここでは、水際部、河岸いずれも狭義の河岸、狭義の水際部のことを示す。

(1)法勾配が２割以上の場合

ＡおよびＢは河岸の法勾配を緩く設定できる場合に適用できる工法です。護岸本体により治水機能を確保し、人工構造物である護岸を河床材料・河岸材料によって被覆するため、法面、法肩に関連した河川景観への留意事項は少なくなります。この場合の覆土は、Ａの護岸を５分として控えて設置し、この前面に２割の盛土を施す手法（控え護岸タイプ）、Ｂの２割法面の護岸法面上に同一厚さの盛土を行う従来型の覆土タイプ、法枠に現地発生土等を充填する客土タイプ（覆土／客土タイプ）があります。

Ａ．控え護岸タイプ

覆土部分の体積が大きく護岸法面の起伏、水際の法線形状を自由に造作できるため、自然地形に近い河岸を形成することが可能となります。また、従来型の覆土タイプ、客土タイプと比較して覆土厚が大きいため、植物の繁茂に好適な条件を維持することがより可能となります。事例では（図 5.1、写真 5.1）前面全体に盛土をした例と下部のみに盛土をした例を示しました。下部のみの覆土でも法面を被覆し、護岸としてのまとまり感を緩和する効果があります。ただし、洪水時の流速が大きい箇所に適用すると、前面の盛土が流失し控護岸全体が露出する可能性があるので注意が必要です。

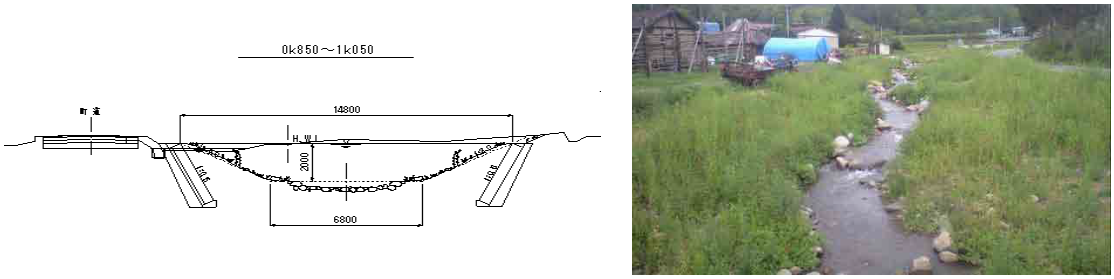


図 5.1（左）、写真 5.1（右）　隠し護岸とした例（資料提供：岩手県）

控えとすることで水際の形状に自由度が増し、改修を実施したとは思えない風景となっている。

Ｂ．覆土／客土護岸タイプ

覆土護岸タイプでは自然材を用いて覆土を行っていますので、植物の被覆率（以後、緑被率と記載する。緑被率の定義については、P.74 解説参照のこと）が若干低下しても、明度の低い自然材で覆われている場合には景観の悪化は大きくないと考えられます（写真5.2)。ただし、法面の浸食防止といった点からは早期に植物が繁茂し、法面全体を覆うことが望ましいと言えます。河岸前面に堆積域が形成される場合には水際部の工夫の必要はありませんが、堆積域が形成されない場合は、水際の覆土が流失しやすく護岸が露出する可能性が高くなります（写真 5.3)。水際部に寄石等の工夫を行い覆土の流出を防止し、水際のラインに変化を持たせ河川景観・自然環境に配慮することが必要となります。



写真 5.2　覆土による護岸工法（写真提供：東北地方整備局）
左：施工直後の状況、右：施工後 2 年 6 ヶ月後の状況
対象区間はセグメント 2-2 に該当し、覆土実施に適切な流程である。
既存樹木の保全を図る、法肩をラウンディングする等の工夫を行っている。



写真 5.3　水際部での覆土が流失したケース（写真提供：東北地方整備局）
水際部は掃流力が大きいだけでなく、水位変動により植生が繁茂しにくく覆土材が
流失しやすい。寄石等の処理を行うことが必要となる。

客土護岸タイプは法枠内に土砂を充填し、これを植生基盤とする方法です（写真 5.4)。枠が表面に露出する可能性が高いため、緑被率を確保し、枠が目立たないようにすることが必要です（写真 5.5)。概ね 90%以上の緑被率が確保されると護岸の存在が認識されにくくなるようですので、施工後一定期間を経過したら、この程度の表面被覆率が維持されることが望ましいと言えます。植生の早期回復と維持を図るためには、客土部分の保水性が確保され、護岸背面との透水性が確保される構造である必要があります。また、客土部分の厚さが少ない場合には植物の根茎が客土部分から地山に貫通しなければ長期間植物の維持が困難となる場合があります。本条件は緑被率向上のための有効な手法であるとともに、法面に依存する他の生物に対しても重要な生息環境を提供することになりますので、工法の開発、選定に際しては留意して下さい。



写真 5.4　護岸法面上の枠内に客土を施した例 (写真提供：岐阜県)
この方法を採用する場合には、法面が十分被覆されることが条件となります。



写真 5.5　法枠が目立ち過ぎる例
緑化タイプの護岸でも緑被が不十分な場合には
人工面が露出するので注意が必要である。

(2)法勾配が５分の場合

Ｃは河岸を立てなければならない場合、法面が緩やかでも流速が大きい等の理由により被覆が困難な場合に適用する方法です。本資料では、Ｃの主材料として石系（自然石）とコンクリート系（現場打設、連節ブロック、コンクリートブロック）を念頭に置き解説を行っています。木系（木材)、かご系（蛇かごやカゴマットに代表されるカゴ製品と呼ばれる鉄と石を組み合わせたもの）等他の材料もありますが、木系は実施例が少ないこと、かご系は露出させない利用（Ａでの利用）が望ましいため、ここではこれらの工法を前提としていませんので注意して下さい。

Ｃ：露出護岸タイプ

Ｃの場合は人工的な法面が露出するため他のタイプと比べて河川景観、自然環境に対して慎重に対応することが必要となります。河川景観を保全するためには、法面を目立たせないようにすることが必要です（「3.3　知っておくべき景観の基礎知識」参照)。具体的には、法面の明度・彩度を高くしない、適度なテクスチャーを有する、法面の面積を小さくする、法面を分割する、法肩に丸みを付ける、法肩のラインを直線としない等の方法が考えられます。また、水際については、植物の繁茂、寄石等の方法により境界を不明瞭にする、水際のラインを直線にしない等の方法が考えられます。このような水際部での工夫は、景観のみならず水生生物の生息場所の保全にも繋がりますので、自然環境の保全を図る必要のある区間では積極的に採用すると良いでしょう。また、法面の湿潤状態を保つことは法面の植物だけでなく非飛翔性の生物の生息に寄与することが解っていますから、背後からの浸透水が法面へと供給され、これがある程度保水されることも必要となります（３章参照)。湿潤状態の維持は護岸の目地等から植物の繁茂を可能とし、護岸を目立たなくするのに有効な手法となります。なお、本資料の 5 章 2 節から具体的な工夫について記述します。



写真 5.6　空石積護岸（左）と緑化タイプ護岸（右）の差異

左は右と比べて河川景観、自然環境に対する影響が小さい。露出護岸であっても必要な工夫を施せば環境への影響を軽減することができる。

データは語る　～護岸法勾配が急になると緑被率は低下します～

様々な緑化タイプ護岸が開発、使用されていますが、緑化により被覆する方法の成否は法勾配の大小と関係することが解っています。既往の実績（岐阜県自然共生工法研究会資料より算出）を見ると、緑化による被覆率の成功率は法勾配と関係があり、本資料で目安として示した９割以上の緑被率が確保される割合は 5 分護岸で極めて低いことが解ります（図 1)。1 割 5 分より急な法面とする場合には植物による被覆は諦め、露出を前提として護岸選定する方が良いでしょう。

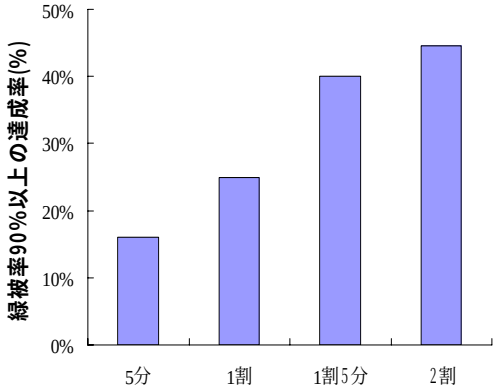




図 1　法勾配と緑被率との関係

緑被率 90%以上を達成した事例数の割合を法勾配別に示しました（写真は 5 分勾配護岸の緑化例)。緑被率 90%以上を達成している割合は、2 割と 1 割 5 分の場合で 40%以上、5 分勾配の場合は 20%を下回ります。法勾配を緩やかにできない場合には緑化によって法面全体を覆い隠すことは諦めましょう。なお、本データは岐阜県自然共生工法研究会の資料に基づいており、緑被率の測定方法は本資料とは若干異なることをお断りしておきます。

解説－緑被率の定義と測定方法

対象とする護岸法面のほぼ正面から写真を撮影し、写真上の護岸法面面積に対する植物で覆われた面積の比率のパーセンテージをもって法面の緑被率と定義します。下記写真であれば緑被率は概ね 50%であり、法面の状態が容易に推測できる状態にあります（写真１）。面積測定については印刷した画面をプラニメーターで読みとる方法が確実ですが、他にもデジタル画像をトレースしトレース内の面積を測定するソフトがインターネットのＨＰ上で入手できますので、このようなアプリケーションソフトを用いる方法を利用されるとよいでしょう。法面が長く、一枚の写真に入りきらない場合、数枚に分けて撮影し同様の処理を施すことになりますが、４枚以上撮影しても法面全体が撮影できない場合は、法面を４等分し、両端を除く３箇所で写真を撮影し、３枚の写真の平均値によって緑被率を算定する（図１）．正面からの撮影が困難な場合はやや斜めからの撮影でも可としますが、この場合は法全体を１枚の写真に入れようとせず、法面を４等分し何カ所かに分けて狭い範囲を撮影します。これは、斜めから写した写真では画像上の面積と実際の面積が遠近で差が生じるためです。



写真１　緑被率の定義

赤いトレース内を対象法面とした場合の緑被率の測定。画像上からトレース内の植物で完全に被覆された面積を算定し、法面全体の面積に対するパーセンテージで算定します。

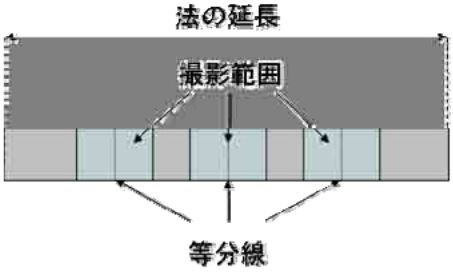


図１　法面が長い場合の対応方法

法が長い場合には法長を４等分し、両端を除く３箇所で撮影を行います。

解説－緑被率はどの程度必要か？

法面が覆土されていない場合で、護岸に明度が高い材料を用いている場合には緑被率が僅かに低下するだけで法面の一部が露出、強調され、河川景観の善し悪しに影響を与える場合があります（写真 1)。例えば、緑被率 80%という値は高いカバー率ですが、護岸の明度が高い場合には、護岸法面がかなり目立つことが理解できます。明度の高い護岸に植物を繁茂させる場合には 100%に近い緑被率とするか、もしくは、護岸の明度を下げて緑被率が低い場合に問題が生じない配慮が必要となります。また、春季から秋季は緑被率が高くても、冬季になると植物が枯れて、法面が剥き出しになる場合があります。夏季だけでなく冬季にも法面の露出の状態を確認しておくと良いでしょう（写真２)。



写真 1　被覆率の差による法面の見え方の違い.
緑被率がほぼ 100%の場合（上)、緑被率がおよそ 80%（下）の場合・僅かなコンクリート面の露出でも、護岸の存在が容易に認識されてしまいます。特に、5 分勾配の護岸は緑被率を高く保つことが困難な場合が多く、法面そのもののデザインが問われることが多いでしょう。



写真 2　冬枯れによる法面露出

5.2　露出タイプ護岸の概要

5.2.1　概要

護岸が露出する場合には、河川景観、生物の生息場所、陸域－水域間の生物の移動経路といった３つの項目について必要な条件を意識的に満たすことが必要となります（図 5.2 の橙色の部分）。３つの項目のいずれかのみに傾斜した工夫は適切な護岸工法とならない可能性が高くなりますが、各項目に必要な条件は相互に矛盾するものではなく、同じ構造で２つの項目が満たされる場合もあります。例えば、表面のテクスチャー（肌理）の確保は河川景観だけでなく生物の移動といった観点からも重要ですし、要素間の目地の確保は河川景観上素材を分離する働きを有するだけでなく、植物の基盤を確保する役割を有します。

３つの項目は適切な護岸工法を考える上での基本となりますが、河川特性、背後地の状況、住民のニーズ等によって、いずれかの項目に配慮すべき比重が偏ることもありますので、これらの点を良く整理し、露出護岸に必要な機能を明確にすべきです。人為的に改変する区間が短く、それ以外の区間で良好な河岸域が形成されている場合には「生息の生息場所」、「陸域・水域感の移動経路」に関する項目は重要視せず、風景が壊れないような景観上の配慮がより重要になるでしょう。一方、一連区間が長く５分の露出護岸が連続する場合には河川景観は元より、他の２つの項目についてもその必要性を慎重に判断する必要が生じます。

以下から具体的に配慮すべき工夫を示しますが、この際護岸を法面、法肩・天端部、水際部の３つに区分して示します。法面は法覆工に、法肩は天端工に、水際部は法覆工下部から基礎工、根固工に対応します。

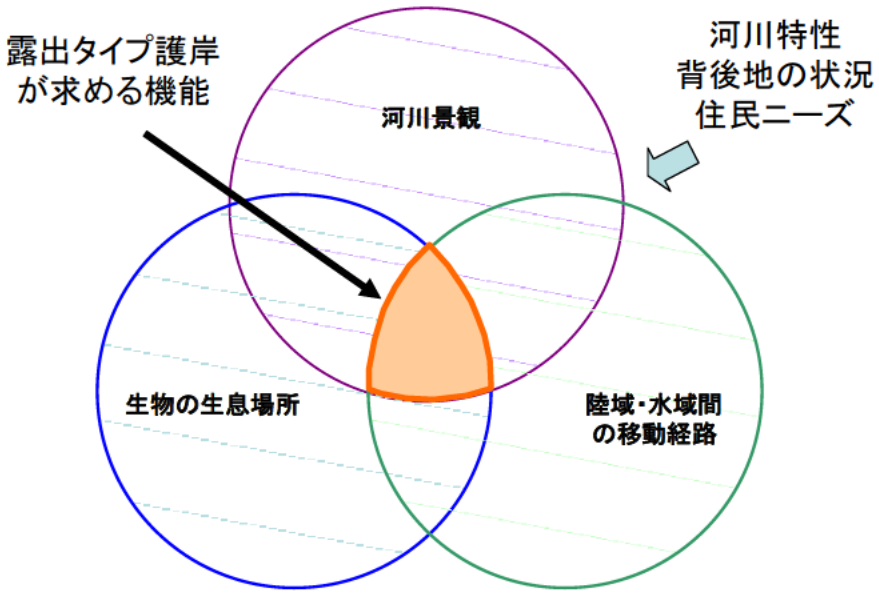


図 5.2　護岸が露出する場合に配慮すべき条件

5.2.2 使用材料と景観上の配慮事項との関係

本資料では露出させるタイプで使用する材料として自然石（石系）とコンクリートを念頭においていますが、石系とコンクリート系では、素材の形状、素材の持つ質感が異なるため法面、水際で河川景観に配慮すべき事項が異なります（表 5.2)。自然石の明度は一般に低く、適度なテクスチャーを有していますので法面に関する配慮事項が少なくなりますが、コンクリートの場合は素材そのものの明度が高く、また、テクスチャーもないため自然石を使用する場合と比べて法面での配慮事項は多くなります。一方、法肩、水際については使用する材料に拘わらず配慮事項は変わりません。使用する素材によって、工夫すべきポイントが異なることに注意して下さい。

表 5.2 自然石、コンクリートを用いた場合の景観上の配慮事項

留意事項	法肩（境界）	法面			水際（境界）		その他
		明度	肌理（きめ）	面積	河岸前面の堆積域の有無	水際部での配慮事項	
自然石	必要	不要	不要	場合	有	不要	小口止めへの配慮
					無	必要	
コンクリート	必要	必要	必要	場合	有	不要	
					無	必要	

5.2.3 河岸前面の堆積域の形成判定

水際への配慮が必要かどうかは、河岸前面に砂洲等の堆積域が形成される場合と形成されない場合では異なります。河岸前面に堆積域が形成される場合には、実質的な水際は堆積域前面に位置するため護岸そのものの水際の配慮は不要となりますが、護岸法面に水際部が位置する場合には、水際のラインが直線的となり法面が強調される恐れがあります。水際部における工夫を考える場合には、河岸前面の堆積域形成の有無を判定し、形成が期待されない場合には何らかの工夫を行うという手順で考えると良いでしょう。

自然作用に基づき堆積域を形成する方法は低コストで、河川景観、自然環境の保全上優れた方法ですが、堆積域の形成は全ての流程において可能なわけではなく、谷底平野区間、セグメント１、２－１、セグメント３に限られます。セグメント２－２では水際に形成される地形は平常時に水没するため、河岸前面の堆積域を見ることができません。また、これらの流程においても、条件が整わなければ、自然作用を活用して水際部を形成することは不可能です。

堆積域が河岸前面に形成される例として以下に示すタイプが挙げられます（写真 5.7）。

1. 河道内に交互砂州が形成される場合
2. 湾曲部になっていて寄州が形成される場合
3. 河岸域が低流速域となり土砂が堆積する場合



写真 5.7 水際部での堆積パターン

交互砂州タイプ（左）、寄州タイプ（中央）、両岸タイプ（右）の状況を示す。両岸に堆積するタイプは堆積の有無を判定することが難しい。同様の特性を有する河川における堆積状況を見て判断する他、予め寄土をしてテラスを造作しておくと良い。

１の形成条件については水理公式集等に記載されていますので参考にして下さい（土木学会水理委員会 2000）。なお、交互砂州は洪水時に前進する性質を有するため、堆積域の位置が変化する可能性があり注意が必要です。２の形成条件については東海地方の中小河川を対象として寄州の形成と湾曲度と湾曲率との関係に関する調査結果が参考になります（未発表）。本調査結果では湾曲度 20 ° 以上、湾曲率 14 以下の領域で寄州が確認されていますので（図 5.3）、この値を参考にして寄州形成の有無を判断すると良いでしょう。３については明確な判断材料がありませんが、護岸や根固工の粗度が大きい場合等には河岸域が洪水時に低流速域となり水際部での土砂堆積が進む可能性が高いと判断されます。

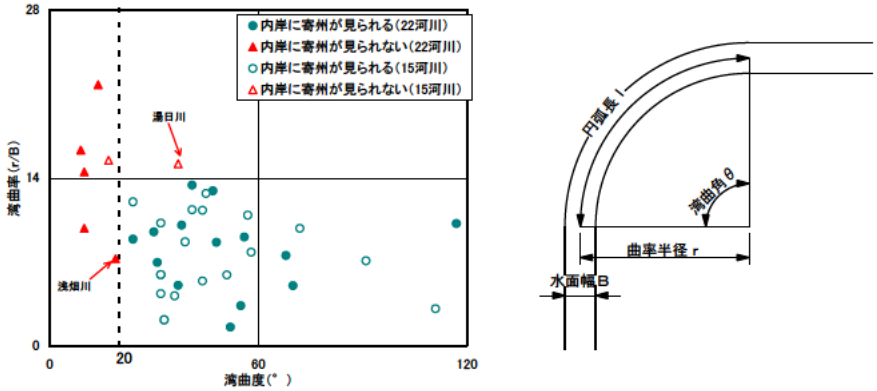


図 5.3 湾曲部の寄州の形成条件

東海地方の中小河川を対象として寄州形成の有無と湾曲率、湾曲度との関係を調べた。
湾曲度 20° 以上、湾曲率 14 以下で形成が見られる。

ところで、このような堆積域の形成は流域からの土砂供給量と関係します。流域の最大標高が低い場合、流域に畑地のような細流土砂の生産減がない場合には土砂生産量が小さく、堆積域の形成が見込めない場合もあります（写真 5.8）。上記の形成タイプの例に加えて流域における地形、土地利用にも目を配り堆積域の形成を判断して下さい。また、堆積域形成の判断が難しい場合には予め水際部に寄土を行い、テラス状の地形を形成しておくと、堆積域の形成が促進される可能性があります。



写真 5.8 堆積域が形成されない例

改修から何年経過しても堆積域が形成されないケース。流域に土砂生産源を持たない内水河川ではこのようなケースが多く見られます。

解説－石材の種類と背後地の景観

護岸に使用する自然石は石の種類と積み方によって調和する背後地の景観が異なるようです。都市域のように整然とした地域では、間知石を用いた谷積、布積のデザインが適切でしょうが（写真 1)、郊外の住宅地、平野部の農業地域における間知石の谷積では堤内地の景観と比べてやや整然過ぎる印象を受けるかも知れません．このような地域では、むしろ玉石の往復積のように自然の趣を感じられる積み方を基本としてデザインを考える方が無難でしょう（写真 2)。また、山間地のように人為的な整然さが感じられない地域では、野面石の乱積とし自然の趣を全面に出した方法を選択すると良いでしょう（写真 3)。

このような使用する石材と積み方の関係は河床勾配と関係があることが既往の調査から明らかになっています。これについては次頁の「データは語る　～石の種類と積み方と河床勾配との関係～」を参考にして下さい。



写真 1　間知石谷積
重厚さや洗練されたイメージが強まるため、都市域に馴染みやすい。



写真 2　玉石往復積張
郊外の住宅地，平地農業地域などの落ち着きが感じられる場所ではどちらかというと玉石の往復積張が馴染む。



写真 3　巨石乱積
山間地等では巨石の乱積とし、深目地にすると景観を損ねない。

データは語る　～石の種類と積み方と河床勾配との関係～

実際の石積み構造物の石材選定、積み方と河床勾配との関連性を紹介しましょう。平成18年1月に国土交通省が河川管理者に対して実施した石積み構造物に関する実態調査（護岸179事例、水制19事例、床固16事例、その他9事例）では、河床勾配と利用される石材、河床勾配と石の積み方との関連性を明らかにしています（「国土交通省河川局：石積み構造物の整備に関する資料．平成18年」）

まず、河床勾配と利用される石材との関係ですが、急勾配になると玉石が多く、緩勾配になると雑割石、間知石の利用が多くなります。次に、河床勾配と石の積み方ですが急勾配になると乱積となり、勾配が緩やかになると谷積が増加する傾向にあります。ただし、1/500以下になると外力が小さくなり、石の噛み合わせの重要性が低下するためか布積が多くなっているのが特徴です。

河床勾配が緩やかになると都市的であり、急になると都市化の程度が小さくなることが日本における土地利用の一般的特徴と考えれば、都市化されていない箇所では野面石の乱積が、都市化されている箇所では間知石・雑割石の谷積・布積を利用することが実態と照らしても妥当であることが理解できます。

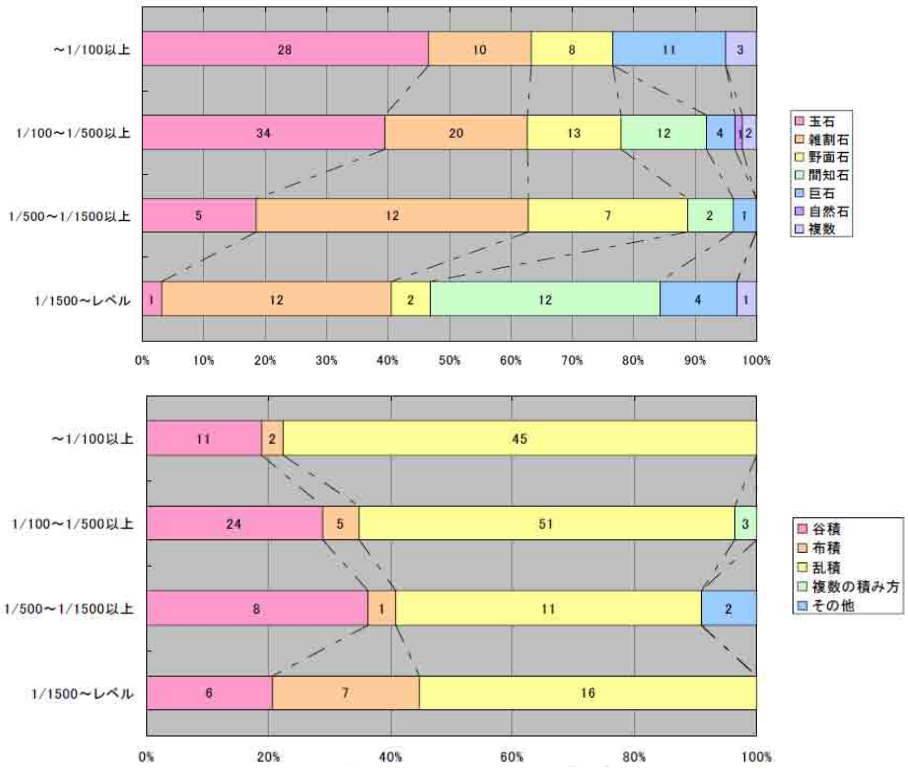


図1　河床勾配と石材（上）、河床勾配と積み方（下）との関係
（石積み構造物の整備に関する資料．平成18年、より抜粋）

5.3 実際の工夫

5.3.1 法面における工夫

5.3.1.1 工夫の考え方

５分勾配の従来型の露出護岸を見ると、間知ブロックでは明度が高く、テクスチャーに乏しく、緑化タイプのブロックでは緑被が不十分となり法面のポット状の構造物や開口部が露出して（P.73「データは語る～護岸法勾配が急になると緑被率は低下します～」参照）、法面の景観、自然環境が悪化するケースが多く見られます。

ここでは、これらの既往の問題点を考慮し、以下に示す方針に基づき法面での工夫を考えます。なお、一部の都市河川では以下の方針と異なる工夫によって魅力度が向上する可能性もありますので、対象河川の特性、位置づけをよく理解して工夫の検討を進めてください。

- 全面的な法面緑化は諦め、法面全体が露出しても景観上の問題が生じないよう明度、テクスチャーを工夫する。
- 法面は景観上出来る限り分割し、法面の「まとまり感」を軽減する。
- 法面の境界はできるだけ不明瞭にし、法面の「まとまり感」を軽減する。
- 法面は自然材（河岸・河床材料、植物）を用いて部分的に被覆し、法面の「まとまり感」を軽減する、もしくは、自然環境への影響を緩和する。
- 浸透水、河畔樹木は保全すべき環境資源と位置付け、これらが保全できる構造とする。

5.3.1.2　実際の工夫

(1)法面の明度を抑制する工夫

明度・彩度が上昇すると周辺の景観から浮き上がり、護岸が一つのまとまりとして強調されるようになります。護岸は地であり、周辺の風景に溶け込むことが前提となりますから、明度・彩度を抑えることは非常に重要です。特に、コンクリートは明度が高く、周辺から浮き上がり、「まとまり」が強調されることがしばしば問題となります（写真 5.9)。具体的な明度の値としては、護岸の陸域側に植物、水域側に植物、河床材料、水面が分布していると仮定すると、護岸の前後の明度はおおむね最大で４程度になると考えられます。これに対して、明度差が２前後であればあまり目立たたなくなりますから、ここでは明度６以下を目安とし護岸の明度を設定することを推奨します。一方、コンクリートは無彩色である場合がほとんどであり、明度と異なり高くなることはあまりありませんが、護岸法面に彩色し彩度を上げることは原則行わないように気を付けましょう。明度差への配慮は法面だけでなく、法面の境界となる天端コンクリート・小口止めコンクリートにも必要となります。境界でコンクリートが露出し明度差が上昇すると、境界が強調されて法面が一つのまとまりとして認識されるようになります。法面での配慮同様注意することが必要となります。



写真 5.9　着色コンクリートによる明度コントロール

自然共生研究センター内に設置した明度(V)=8.0（左)、5.5（右）のコンクリートブロック。着色コンクリートによる明度の抑制は比較的簡単な手法である。

(2)法面にテクスチャーを付ける工夫

コンクリートのテクスチャーは型枠のテクスチャーにより決まることが多く、一般に平坦になりがちです。全く平坦なテクスチャーは光を反射するため、明度が高くなり、周辺の景観から浮き上がることが多くなります。コンクリートを使用し、これが露出する場合には以下に示す工夫により質感に留意することが必要となります。

- 粗面意匠のブロックを用いる（写真 5.10）

ブロック表面を裁断機で分断した半割ブロックやブロック製作時に意匠面に砂を敷き均し適当な凹凸を設ける処理を施したブロックに見られるコンクリート法面は、表面が粗面となりコンクリートブロックの表面に偶発的な表情を持たせることができます。自然の素材の使用が難しい場合の有効な景観配慮の方法の一つです。

- 型枠で陰影の変化を与える（写真 5.11）

化粧型枠を安易に使用すると化粧型枠のパターンの繰り返しが目立って違和感の強い景観となりやすくなり注意が必要です。化粧型枠の使用については、スリットなどの単純な形状で、護岸の面全体に陰影の変化を与えるように考えることが大切です。



写真 5.10　粗面意匠ブロックの例（左：半割りブロック、右：砂処理ブロック）
二次製品は半割ブロック等表面にざらつきがあるものを用いると良い。



写真 5.11　スリットによる陰影
陰影を与えた例：シンプルなデザインの方が違和感はありません。

(3)法面の面積を小さくする工夫

「まとまり」を小さくするための工夫として、1)法面の面積を小さくする、2)法面を小分けにする、方法があります。

1)法面の面積を小さくする

高さや長さが大きくなると護岸の「まとまり」が強調されて、河川風景全体が悪化することになります。護岸の「見えの高さ」は２m程度に抑えられるよう工夫を行い、やむを得ず、それ以上の高さとなる場合には明度、テクスチャー、素材の大きさ等においてより慎重な対応を心掛けましょう。また、護岸の延長が長い場合にも同様の問題が生じます。同一形状、同一デザインの護岸の延長が連続する場合には、縦断方向に区切りを入れて一連の護岸延長を短くすると「まとまり」は小さくなります。

ａ．護岸の直高が高い場合の対処方法

露出タイプの場合、その直高が大きく視界に占める護岸の鉛直方向の視角が大きくなってくると護岸の存在感が増して、まとまりが強調されるようになります。

- 河岸前面の脚部に寄土・寄石を行う。(写真5.12)。河岸前面に寄土・寄石を行ってテラスを形成し、更に植物が繁茂すると、護岸脚部が被陰されて護岸直高を減らす効果があります(「解説－護岸の見えの高さの考え方」参照)。テラスに植物を加味すると相当な高さとなりますから、露出タイプの護岸では有効な方法となります。
- 護岸法肩に植物を繁茂させる（写真 5.13)。護岸の法肩に植物を繁茂させると護岸の見えの面積が減少し、まとまりを弱める働きがあります。



写真5.12　護岸脚部からの植物

護岸脚部に植物が繁茂し，護岸の見えの面積が減少した例．護岸前面に人工的にテラスを造成する場合，自然に堆積域が形成される場合には，この効果が期待できる．

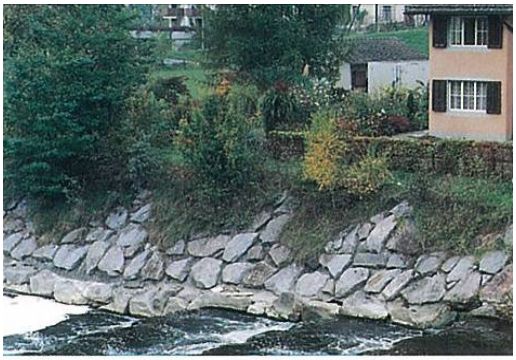


写真5.13　法肩からの植物

護岸の天端部に植栽を施し，護岸に緑陰を施した例．見た目の護岸の直高が減り，護岸そのもののボリューム感がかなり小さくなっていることがわかる．

- 護岸を高さ方向に分割し、全体の高さ感を緩和する。護岸を高さ方向に分割すると、まとまりが小さくなります。分割すると構造上の弱点となりますから、法を構造上一体とし、デザイン上分割する等の工夫を考えると良いでしょう（写真 5.14）。



写真5.14 高さを分割する
（写真提供：吉村伸一）
上の事例では、護岸を幾つかの段に分割することで、全体の高さ感を緩和している。小段に緑を組み込むことができればその効果は一段と大きくなる。階段工を境に違いは明確である。

b. 護岸延長が長い場合の対処方法

露出を前提とした護岸では縦断方向に同一の護岸が連続する場合は景観が単調となるだけでなく、護岸としての存在感が大きくなり目立つようになります。このような場合には縦断方向に切れ目入れて、これを緩和すると良いでしょう。護岸法面への切れ目でなくても水際部の水制工や天端部の植樹といったアクセントによっても護岸のまとまり感の緩和に効果があります。

- 階段工を設ける（写真 5.15）。
- 水制工、木杭工等を設置する
  (P.94「水制工や木杭工を導入する」を参照)。
- 天端部に植樹を施す（写真 5.16）。



写真5.15 階段工を入れる
必要に応じて階段工を組み込むことで連続する護岸の単調さを抑えることができる。特に、流れ方向の階段は、流軸景観に大きな見えの変化を与えて、河川景観の単調さを軽減することができる。

切れ目やアクセントを入れる判断基準に定まったものはありませんが、例えば、川幅が 20～30m 程度の中小河川であれば 30～50m を目安とし、これよりも長く同質の構造、デザインを有する護岸が連続する場合には、切れ目やアクセントを設けると良いでしょう。なお、本目安は、視界の中で景観が主対象となる視角が概ね 10° であることを鑑み、流軸から 10° ～20° に対応する河岸線形の長さを最大長として検討しています。詳細は P.88 の「解説－対象の大きさに関する考え方」を参照して下さい。



写真 5.16 高木を1本植える
川沿いに 1 本の高木を植えるだけで河川景観の魅力を高め、川沿いを気持ちの良い空間とすることができる．橋詰めや階段脇などに見栄えのする枝振りのよい高木を植えると効果的である。

解説－護岸の見えの高さの考え方

法の直高が大きくても、護岸の見えの高さが大きくなければ景観的に目立たちません。“護岸の見えの高さ”とは、護岸そのものの高さではなく、緑等によって被陰されている部分を除いた部分の高さを示します。小段等によって区切られている場合はそれぞれの段が“高さ”となります。護岸前面に堆積域が生じ植物が繁茂する場合には、この効果を評価するため見えの高さを 50cm 減じて見えの高さを算定すると良いでしょう。

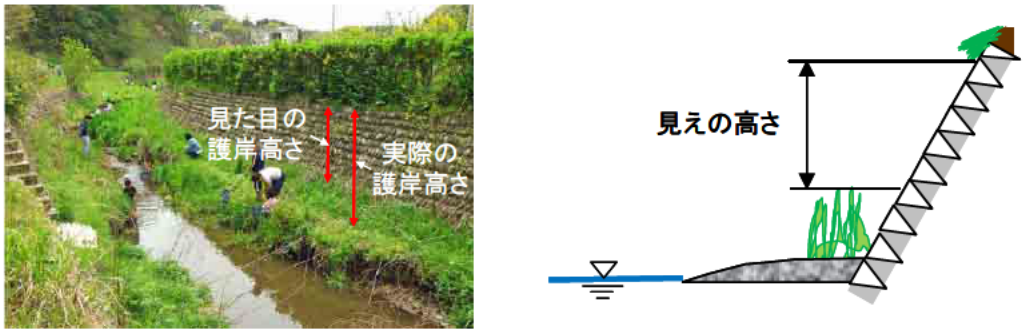


図１　“護岸の見えの高さ”の定義
（写真提供：吉村伸一）

解説－対象の大きさに関する考え方

護岸が露出した場合に、どの程度の広がりがあれば「まとまり」として認識されるのでしょうか？「まとまり」は面積だけでなく、明度・彩度、テクスチャー、素材の大きさ等により変化するため定式化することは難しいのですが、対象が 10° 以上の視角を有するときに、景観の中で主対象になると言われています。ここでは、この値を参考に「まとまり」として目立つようになる対象の大きさを算出してみましょう。図 1 に示すような流軸景を想定すると、主対象となる護岸の長さ L は以下のように表すことができます。

$$L = \frac{B}{2}\left(\tan 80^\circ - \tan 70^\circ\right)$$

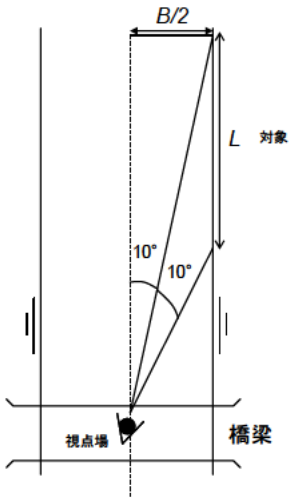
川幅（この場合河床幅）B を 10m、20m、30m とした場合の L のおおよその値は以下のとおりです。

B が 10m の場合は、L は 15m

B が 20m の場合は、L は 30m

B が 30m の場合は、L は 45m

従って、川幅が 20～30m 程度の中小河川であれば、長さを 30～45m 程度が一連の護岸の延長を考える目安となります。なお、対岸景を元にこの長さを設定すると流軸景と比較してこの間隔が短くなります。一連区間と一連区間の区切りの入れ方にもよりますが、対岸景を元に長さの設定を行うと、流軸景から見た景観はやや煩雑な感じになるかも知れません。



流軸景を想定

図 1　対岸景と流軸景における視角と対象の大きさ

2)法面を小分けにする工夫

構成する素材が小さ過ぎる、個々の素材に分離していない法面を対岸から見ると法面は１枚の板のように一つの「まとまり」として認識されるようになります。これを緩和するには、法面を一枚の板とせず、個々の素材に分離させて見せることが有効です。具体的には以下の方法があります。

- 素材を一定以上の大きさとする。
- 深目地とし個々の素材をきっちりと見せる

人がはっきりと見ることができる対象の大きさは、視角で表現すると 1～2°の視角となります（P.47「解説－護岸の見かけの大きさと視角との関係」）。従って、中小河川の場合でこの程度の大きさの材料を用いれば一枚ののっぺりとした法面と見られることはないと考えて良いでしょう。また、深目地にすると同一の素材の大きさでも分離して見えやすくなることが知られています。目地の深さ(h)と目地の幅（d）との関係を、$h / d > 1$とすると深目地となり効果的です。深目地にすると護岸全体の見かけの明度を下げる効果もあり、明度を下げたい場合にも有効です。更に、深目地部は生物の生育・生息空間となる場合があります。植物が繁茂すると非飛翔性の生物の棲み場所となりますし、法面そのものを被覆し見かけの面積の抑制にも働きます（写真 5.17）。

一方、素材の見かけの大きさが河床材料と比較して大きくなり過ぎると護岸全体の印象が重くなり、親しみにくくなる傾向があります。急勾配河川で河床が巨礫から構成される場合は問題ありませんが、それ以外の区間で大きな素材を護岸に利用する場合にはこの点に注意しましょう。なお、対岸から見て護岸素材の見かけの単位が大きすぎると感じるのは視角が 2°以上のときであり、その場合には護岸素材の大きさを検討しなければなりません。



写真 5.17　目地から繁茂する植物（左写真提供：吉村伸一）

石積護岸の目地から繁茂する植物は、護岸のまとまり感を緩和する効果を持つと考えられます。緑化ブロックに見られるポットや開口部等植物の繁茂を促すための構造上の工夫は、護岸法面の景観を損ねることが多いようです。目地部のように構造上奇異になりにくい箇所に工夫をすることで景観への影響を低減することができます。

(4) 境界を不明瞭にする工夫

護岸法肩は河岸と陸域の境界となるため、境界が強調されると結果として護岸法面の「まとまり」が強調されることとなります。従って、護岸の肩の線を不明瞭にすることは護岸の印象を和らげる有効な手法となります。法肩への配慮の方法としては、天端コンクリートに覆土を施す方法が一般的です（写真 5. 18)。また、法肩部が直線ラインとなることを避ける方法として法勾配に変化を持たせて、法肩のラインを不揃いにする方法があります（写真 5. 19)。

どの方法を採用するかは、現場の条件によって異なりますが、露出タイプの護岸となる場合には、いずれかの方法を採用して境界を不明瞭とし、まとまり感を緩和することが必要となります。



写真 5.18　天端コンクリートへの覆土
（写真提供：岩手県）
天端コンクリートの露出は護岸法面のまとまりを強調し、景観の悪化を招く。天端部には覆土を施す等ちょっとした工夫で景観への影響を軽減することができます。



写真 5.19　法勾配の変化
宮崎県山附川の例。巨石の乱積としましたが、法勾配を縦断方向に変化させて、法肩のラインに凹凸を付けています。

(5) 浸透水を確保する工夫

自然の河岸では、浸透水が地中を通じて河岸表面への流出、保水性の高い土壌構造や緑被率の高さなどが河岸の湿潤状態を作り、この状態が生物の生息・利用環境の要因として非飛翔性生物に影響することは既に述べました（P. 10「データは語る」参照）。コンクリートブロックや石積などにより改変されると、護岸背面の排水や土圧・残留水圧軽減効果のある裏込材と栗石などの中詰材により浸透水の浸潤面（動水勾配）が急激に落ち込むため、浸透水は法面の表面まで供給されません。

このような河岸の改変箇所における浸透水への配慮として以下のような工夫を行うことも必要と考えます。

- 裏込材から構造物の排水孔まで、導水できる材料（排水シートなど）を用いる。
- 構造物の排水孔を通常の数（２～３㎡に一箇所）より多く設置する。

ただし、残留水圧や背後地の材料の流失など構造物としての機能に影響にありそうな場合は、詳細な検討をした上で行う必要があります。また、湿潤度を高め、生物の生息場所として機能させるためには、河岸と背後地との横断方向における浸透水の連続性確保に加えて、河岸表面に植物の種子を混入した材料を充填したポーラスコンクリートの使用や、石積の目地部に土を詰める等の工夫を施し、法面表面の保水性を向上させることが必要であると考えています。

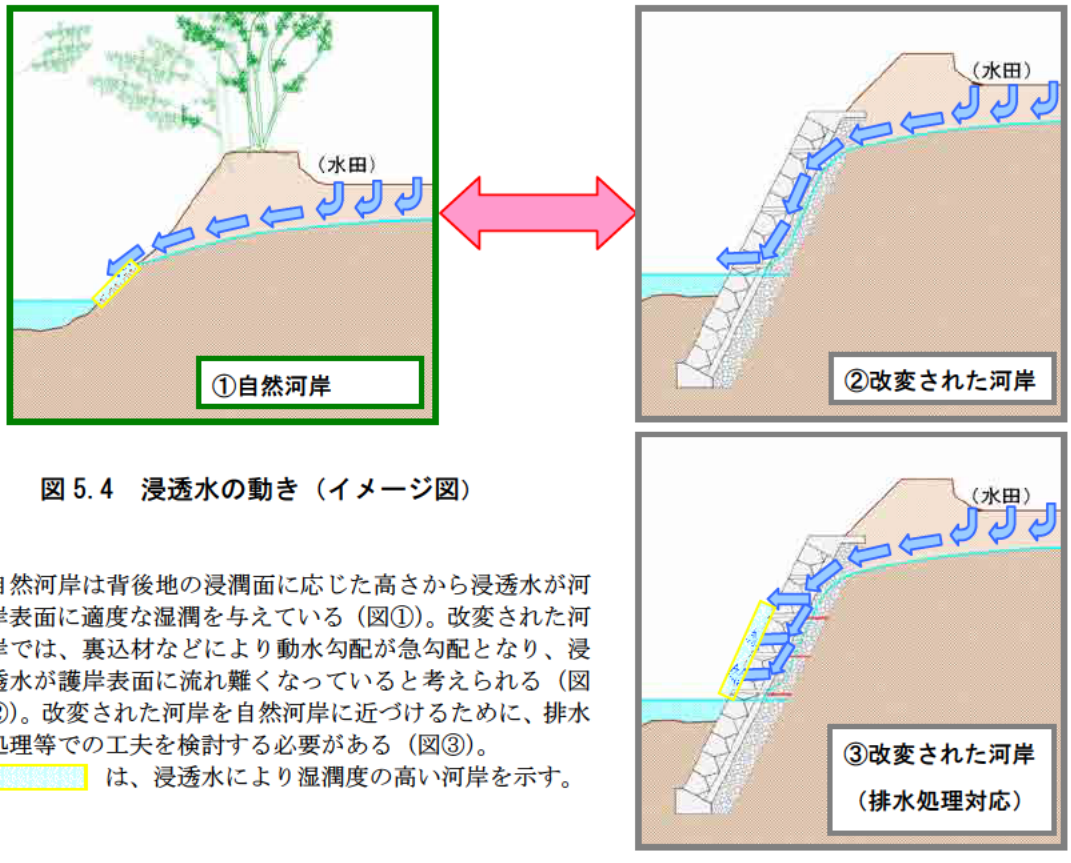


図 5.4　浸透水の動き（イメージ図）

自然河岸は背後地の浸潤面に応じた高さから浸透水が河岸表面に適度な湿潤を与えている（図①）。改変された河岸では、裏込材などにより動水勾配が急勾配となり、浸透水が護岸表面に流れ難くなっていると考えられる（図②）。改変された河岸を自然河岸に近づけるために、排水処理等での工夫を検討する必要がある（図③）。
　　は、浸透水により湿潤度の高い河岸を示す。

(6)河畔樹木を残すための工夫

河畔樹木が分布する河岸は法線形状の変更等により影響を回避することが最善の策となります。回避できない場合としては、拡幅により河岸掘削が行われ河畔樹木の残置が難しい場合、掘削はないが河岸護岸の設置により残置が難しい場合が想定されます。前者の場合は一旦河畔樹木が消失したとしても、計画高水位以上の天端部分での再生、法面上では流水阻害とならない箇所においての再生が可能です。後者の場合は護岸工法の工夫により既存樹木を残置できる場合もあるので可能な限り検討して下さい。既存樹木を残した既存工法例としては、樹幹を残して法面を巨石張にするケースや、法枠工の枠内に樹幹を収めて施工するケースが見られますが数は多くありません。法枠工を用いる場合は樹幹と枠との相対位置を調整する必要があるため樹木密度が高いと、位置の合わない樹木を間引かなければなりません。河畔樹木は自然環境要素として高い価値を持ち、特に、法面表面の温度抑制や養分の多い土壌を形成するために必要なリターを法面に供給する機能があります。また、景観上も背後地を被覆する、景観に変化を付ける重要な要素となります。今のところ工法も少なく、現存する工法も河畔樹木を完全に保全できるレベルには達していないのが現状であり、今後の技術開発が待たれます。



写真 5.20　材料の部分的除去による樹木の保護
(写真提供：岐阜県)
河畔樹木にあわせ、護岸材料を部分的に除去。



写真 5.21　樹木保護用の護岸設置
法面の護岸材料とは別の材料を
用いて樹木保護用の護岸を設置。

5.3.2　水際部における工夫

5.3.2.1　工夫の考え方

露出護岸では水際のラインが単調になることが多く、河川景観の悪化、生物の生息場所の消失を引き起こす可能性があります。河岸前面において堆積域の形成が見込めない場合には（「5.2.3　河岸前面の堆積域の形成判定」を参照)、水際構造を単調にしないことを基本として以下に示す方法を採用すると良いでしょう。

なお、採用に当たっては、護岸の補助工法とし護岸本体とは別工種とする場合、二次製品として護岸本体（もしくは基礎工）に付帯する場合が考えられますが、現在のところ後者に該当する二次製品は少なく、水際への配慮工法は必要に応じて別途詳細を検討する必要があります。

5.3.2.2　実際の工夫

(1)寄土・寄石により護岸脚部を被覆する（P.85 に既出）

寄土・寄石は前述したとおり護岸法面の面積を抑制する効果だけでなく、水際に形成される凹凸、水際に繁茂する植物、水際に分布する石礫が水際のラインを不明瞭にし、河川景観の保全だけでなく水生生物の生息場所として機能する場合があります。また、水際部への配慮だけでなく、みお筋の幅や線形の設定も併せて計画するとより有効な多自然川づくりとなります（写真 5.22)。



写真 5.22　寄土による水際部の保全 (写真提供：岩手県)

施工直後（左）と施工６ヶ月後（右）の寄土はみお筋に合わせてその形状を自由に設定できる。護岸法線は直線的であるが水際のラインは複雑となり、テラス上に繁茂した植物が明度の高い法面を被覆し印象を和らげている。

(2)水制工や木杭工を導入する

水制、木杭工も生息場所としての機能が確認されており河川景観及び自然環境の保全の面から有効な手法と言えます。水制工は構造物の下流側に低流速域を形成し水生生物の生息場所となる他、構造物そのものに石礫で構成されているとその間に形成される空隙が生息場所となります。また、直線的な水際のラインに変化を持たせて法面の「まとまり感」を軽減して河川景観の保全に寄与します。魚類の生息量の多寡は水制工の長さや間隔と関係があることが実験的に明らかになりつつありますが、その詳細はまだ明らかになっていません。木杭群にも流速低減効果があり、水制工と同様の魚類の生息密度を上昇させることが幾つかの実験で明らかになっています。木杭群には連続配置と木杭群を分散して配置する断続配置がありますが、断続配置でも魚類の生息密度の上昇が認められます。



写真 5.23　護岸前面の水制
(写真提供：島谷幸宏)
護岸前面に設置した水制。護岸そのものは間知ブロックであり多自然としては問題が残りますが、水制は水際の直線的なラインを和らげています。



写真 5.24　カゴマット前面の木杭群
2 割のカゴマット前面に設置した木杭群。流速低減に伴う生息環境の変化を評価するために設置した。

(3)河岸前面に置石等を配置する

河岸前面に配置する置石は水際のラインに変化を持たせ河川景観の保全に有効な手法です。また、石と石との間に形成される低流速域そして間隙は水制生物の生息場所として機能すると考えられます。今のところ実施事例は少なく、生息場所の有効性は十分確認されていませんが、石礫のつくる間隙と同様の効果が期待できるでしょう（「3.2.4.5　水際部の空隙の機能」参照）。ただし、河岸前面の流速低下を促す構造物は堆積域となる場合が多く、長期間維持することが困難な場合もあるようです。

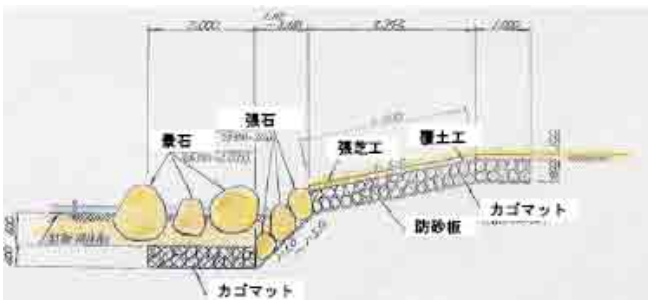




図 5.5（左）、写真 5.25（右）　水際部に置石を配した事例（資料提供：東北地方整備局）

護岸前面に置石（図面では景石）を設置し、水際のラインを不明瞭にした事例。このケースでは水際のラインが緩やかに曲がっているため、置き石がなくてもそれ程奇異な景観とはならなかったと考えられる。

データは語る　～水際部の修復工法導入に伴う効果とは？～

北上川の一次支川砂鉄川（流路延長 46㎞、流域面積 375㎢）では、床上浸水対策特別緊急事業の実施において河道湾曲部をショートカットする必要が生じました。岩手河川国道事務所では、ショートカットによる魚類への生息環境の影響を軽減するために、自然共生研究センターと協働で修復工法を計画しました。計画ではセンターが水際部の流速を 10㎝/s に抑制するための木杭の径や配置を二次元計算により決定し、この結果を参考にして事務所が木杭群と石礫群の施工を計画し、実施しました。修復工法の効果評価では、修復工法を導入した修復区に加えて、カゴマットのみを敷設したカゴマット区、未改変の対象区を設定し、3 区間における物理環境調査、魚類調査を実施し、その結果を比較しました。この結果、修復工法の流速は概ね 10㎝/s 程度となり（図 1）、修復区の採捕個体数はカゴマット区と比較して著しく大きく、また、対象区と同程度となりました。

このように、水際部の環境修復には一定の効果を確認できました。今後は修復すべき河川や範囲等を生息生物や劣化の程度に応じて計画する手法の開発が必要となります。



写真 1　調査を実施した3タイプの水際部

木杭群と石礫を用いた修復区（左）、カゴマットを敷設したカゴマット区（中央）、改変していない対照区（右）を設定し、それぞれについて 8 月と 10 月に魚類調査及び物理環境調査を実施した。

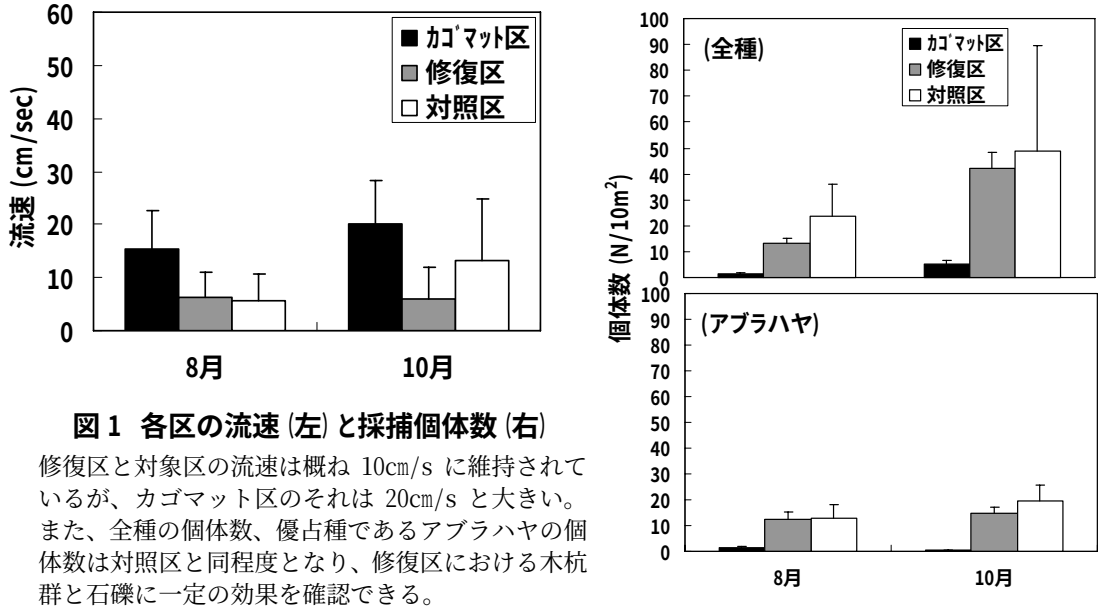


図 1　各区の流速（左）と採捕個体数（右）

修復区と対象区の流速は概ね 10㎝/s に維持されているが、カゴマット区のそれは 20㎝/s と大きい。また、全種の個体数、優占種であるアブラハヤの個体数は対照区と同程度となり、修復区における木杭群と石礫に一定の効果を確認できる。

5.3.3　水域－陸域間の生物の移動経路に関する工夫

5.3.3.1　工夫の考え方

移動経路に関する知見は多くなく、法勾配と法面粗度との関係が最近になってようやく整理されてきたに過ぎません。法面に細礫程度の粗度付けを行った場合には法面勾配が比較的急（５分程度）でも短い距離であれば生物の登攀が可能となるようですので、この程度の工夫を施すことが河川景観の面からも現段階では妥当な方法と考えられます。また、法面に部分的に植物が繁茂すると、植物を利用して移動経路とするケースも確認されていますので、P.89「2)法面を小分けにする工夫」で述べたように深目地としてここに植物が繁茂すると種によっては有効な移動経路として利用する可能性があります。なお、登攀のために特別な構造（例えば、法面上に斜路部を設ける）を造作するケースも見受けられますが、護岸そのものの景観が悪化しないよう十分配慮することが必要となります。

5.3.3.2　実際の工夫

河岸法面を水域－陸域間の移動経路として利用する生物としては、カエル等の両生類、カメ等の爬虫類、そして甲殻類のサワガニが対象となると考えられます。露出タイプの護岸の場合法勾配は５分程度のため、勾配を緩やかにすることによる移動経路の確保は困難です。従って、法面の形状や粗度、部分的な植物の繁茂による対応が考えられます。法面の粗度についての「データは語る　～河岸法面が生物の移動経路となるための条件とは？～」で説明しましたが、法面上の起伏や植生の繁茂が生物の法面などの登攀に及ぼす効果についてはあまり知見がありません。観察レベルでは、護岸法面の狭い斜路部分を登攀するアマガエルやサワガニ（写真 5.26、5.27）、法面上の植物を移動するサワガニが確認されていますが、確実に登攀可能な工夫を具体的に示せるまで至っていません。今後、起伏の大きさや形状の他に、植生の繁茂などによる効果を明らかにするとともに、河岸を移動経路として利用する生物の生活史や生息範囲などへの理解を深め、移動経路に関する工夫に反映していきたいと考えています。



写真 5.26　河岸法面を移動中のアマガエル

河岸は練積ブロック護岸（間知ブロック模様）



写真 5.27　河岸法面を移動中のサワガニ

河岸は空積ブロック護岸（擬石模様）

6　おわりに

本資料集は、土木研究所における重点プロジェクト研究「水生生態系の保全・再生技術の開発」の１テーマ「多自然川づくりにおける河岸処理技術に関する研究」（平成 18～22 年度）で得られた研究成果そして多自然川づくり研究会（座長：島谷幸宏九州大学教授）における議論をベースとしながら取りまとめを行ったものです。

内容は河岸・水際部を保全するための基礎的な知見と計画、設計に関する基本的な考え方が中心であり、河川景観と自然環境の両面から取りまとめを行っています。河川景観については既往の知見をベースに執筆を行ったため今後大きな変更はないと考えていますが、自然環境については現在研究を実施中のものも含まれており、研究の進捗によって記述内容が変更される可能性もあります。また、本資料で扱わなかった二酸化炭素排出量については護岸を選定する際の必須の評価項目になる可能性があります。地球温暖化を巡る社会情勢は刻一刻と変化しています。常に動向に目を配り、評価が必須となった際には速やかに対応できるよう準備を進めておく必要があるでしょう。

本資料では、河岸・水際部に見られる様々な要素をどのように調査し、定量的に評価するか、その手法論については記載することができませんでした。また、河岸・水際部の保全方法については概念的な記述に留まり、具体的な方法の提示には至りませんでした。これらの点については今後研究を進め、なるべく早い時期に具体的な結果を提示していきたいと考えています。

最後になりますが、本資料を作成するに当たりご協力頂いた多自然川づくり研究会のメンバーそして各地方整備局、地方公共団体の関係者の皆様に本紙面をお借りして、心より厚く御礼を申し上げます。

平成 22 年 2 月

参考文献

阿部俊夫・中村太士(1999)：倒流木の除去が河川地形および魚類生息場に及ぼす影響．応用生態工学，2：179-190.

中小河川における多自然型川づくり研究会編(1998)：中小河川における多自然型川づくり河道計画の基礎技術．(財)リバーフロント整備センター.

土木学会水理委員会(2000)：水理公式集，東京.

Inoue，M. and Nakano，S．(1998)：Effects of woody debris on the habitat of juvenile masu salmon (Oncorhynchus masou) in northern Japanese streams．Freshwater Biology，40：1-16.

Junk W．J.，Bayley，P．B．and Sparks，R．E．(1989)：The flood pulse concept in river-floodplain systems．Canadian Journal Special Publication of Fishery and Aquatic Science，106：110-127.

金子信博(2007)：土壌生態学入門－土壌動物の多様性と機能－．東海大学出版会，神奈川.

建設省河川局監修　(社)日本河川協会編(1997)：国土交通省河川砂防技術基準(案)同解説　調査編　改訂新版．(社)日本河川協会，山海堂.

(財)国土技術研究センター編(2007)：改訂　解説・河川管理施設等構造令．(社)日本河川協会，山海堂.

(財)国土技術研究センター編(2002)：河道計画検討の手引き．(財)国土技術研究センター，山海堂.

(財)国土技術開発センター編(2007)：改訂　護岸の力学設計法．(財)国土技術研究センター，山海堂.

国土交通省監修　(社)日本河川協会編(2005)：国土交通省河川砂防技術基準　同解説　計画編．(社)日本河川協会，山海堂.

国土交通省河川局河川環境課(2006)：河川の景観形成に資する石積み構造物の整備に関する資料.

Lusk，S.，Halacka，K．l.，　Luskova，V．and Horak，V．(2001)：Annual dynamics of the fish stock in a backwater of the River Dyje．Regulated Rivers：　Research and Management，17：571-581.

森下郁子、森下依理子(1997)：川と湖の博物館８、共生の自然学、山海堂，pp24-49，39，1997.

森田茂雄・桑原誠・山下彰司・山田孝治(2008)：河川形態の違いによるサクラマスの越冬環境．寒地土木研究所月報　No.664：2-9.

森田茂雄・桑原誠・山下彰司・永山滋也（2009）：河川渓流域におけるサクラマスの産卵場所に関する研究．河川技術論文集，15：44-48.

中村俊六著，(財)リバーフロント整備センター編(1997)：魚道のはなし．山海堂，東京.

(財)リバーフロント整備センター編(1996)：川の生物　フィールド総合図鑑．山海堂.

日本生態学会編(2004)：生態学入門．東京化学同人，東京.

佐川志朗・萱場祐一・大森徹治(2009)：魚類と甲殻類による石の隙間の季節利用．土木技術資料 Vol.51，No.8：10-13．(財)土木研究センター，東京

佐川志朗・萱場祐一・秋野淳一・青木繁幸・大森徹治(2009)：ショートカット河道における増水時の魚類の避難場所特性．土木技術資料 Vol.51，No.3：10-13．(財)土木研究センター，東京

島谷幸宏編著(1994)：河川風景デザイン．山海堂，東京．

篠原修(1996)：新体系土木工学 59 土木景観計画．(社)土木学会，技報堂出版

竹内均監修(2002)：地球環境調査計測辞典　第 1 巻陸域編①．フジ・テクノシステム，東京

多自然川づくり研究会編(2007)：多自然川づくりポイントブック　河川改修時の課題と留意点．(財)リバーフロント整備センター．

多自然川づくり研究会編(2008)：多自然川づくりポイントブックⅡ　川の営みを活かした川づくり．(財)リバーフロント整備センター．

Urabe,H. and Nakano, S. (1998)：Contribution of woody debris to trout habitat modification in small streams in secondary deciduous forest, northern Japan．Ecological Research，13：335-345.

Vannote，R．L.，Minshall，G．W.，Cummins,，K．W.，Sedell，J．R and Cushing，C．E.(1980)：The river continuum concept，Canadian Journal of Fisheries Aquatic Sciences，37：130-137.

矢部隆(1999)：道路の敷設がカメに及ぼす影響(淡水生物の保全生態学－復元生態学に向けて－，森誠一編)．信山社サイテック，東京．

(社)全国防災協会編(2006)：美しい山河を守る災害復旧基本方針(平成 18 年 6 月改訂版)．(社)全国防災協会

土木研究所資料
TECHNICAL NOTE of PWRI
No.4159 February 2010

編集・発行 ©独立行政法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

独立行政法人土木研究所 企画部 業務課
〒305－8516 茨城県つくば市南原1－6 電話029－879－6754