

13.4 多自然川づくりにおける河岸処理手法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：水環境研究グループ（自然共生）

研究担当者：萱場祐一、佐川志朗

【要旨】

本研究は、様々な河岸－水際タイプの生態的機能を明らかにし、河川中流域において河岸－水際域を保全する際の留意点をマニュアルとして取りまとめ、効果、効率的な河岸処理手法および護岸工法の性能評価手法の開発を行うことを目的としている。平成 21 年度には、河岸（水面より上の陸上域）に着目した調査実験を行った。自然河岸や練積み護岸等の異なる河岸形式で行った現地調査では、形式の違いにより生物の群集構造が異なり、特に湿潤度や温度変動などの物理環境要因が生息に寄与していることが示唆された。河岸粗度や傾斜を操作要因として行った生物の登坂実験では、生物種ごとに登坂条件に特異性を有することが明らかになり、それには生物種の外部形態や登坂様式（跳躍、匍匐等）が寄与していることが考えられた。本研究成果は、水際域（水面より下の水中河岸域）の既研究成果をとりこみ作成済みであった資料集に補足させ、「多自然川づくりにおける河岸・水際域の捉え方」として発刊した。

キーワード：移動経路、河岸・水際域、河岸処理、護岸、湿潤度、多自然川づくり

1. はじめに

河川、湖沼、湿原などが有する水域と陸域との境界を形成する河岸域は、攪乱強度が横断方向に変化し、土壌の粒径および水分、流速、水深等の時空間的な変異が大きく、環境に応じた多様な植物・動物相が育まれる。河岸域の水面と河岸が接する箇所（以下、水際）を境に、水際部（水面より下の河岸域）と河岸（水面より上の河岸域）とに分類した場合、水際部については、水際植生や地形の入り組みにより形成された流速の小さい空間が魚類などの生息に重要な領域であることが報告されている^{1,2)}。一方、河岸は両生類など水中と陸上にまたがって生活環をもつ生物の生息場所および移動経路として機能しており³⁾、さらに出水時には河岸の草本群落などが魚類などの避難場所となる⁴⁾ことが知られている。しかしながら、河岸における生息場所や移動経路としての機能と物理環境特性との関連性に関する知見は乏しく、河川改修や災害復旧において河岸を人為的に改変したことによる生物相への影響を軽減する手法（護岸工法）は未確立にある。

平成 21 年度は、河岸に着目した現地調査および実験を実施し、また、平成 20 年度に作成した資料集「多自然川づくりにおける河岸・水際域の捉え方—基礎知識から護岸工法の工夫まで—」をもとにして、本年度の研究成果を追加した資料を「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」として発刊した。本報告では、今年度実施した現地調査および実験について報告するとともに、資料集に追加した内容について紹介する。

2. 形式が異なる河岸における調査

現状の川づくりでは、河岸の生息生物と物理環境との関連性に関する知見が乏しいため、「空隙や植生の確保」といった不確かな機能に着目した護岸ブロックが多用され、河川環境が劣化するようなケースがみられる。本研究では、自然河川における異なる形式の河岸を対象として、物理環境特性と生物の生息状況との関連性の把握を行った。

2.1 方法

現地調査は、三重県中南部の大紀町を西へ流れ大内川に合流する 1 級河川宮川水系の 2 次支川である注連小路（しめこうじ）川で行った。調査区として、空積ブロックと練積ブロックの 2 タイプのコンクリート護岸と自然河岸の計 3 地区を設定した。1 調査区につき任意に 5 本設定したトランセクト（調査横断線）上に、50cm×50cm の方形区を河岸上部と下部に設置した（写真 1）。調査は、5 月上旬および 10 月中旬の 2 回、生物調査と物理環境調査をそれぞれ 2 日間かけて行った。

生物調査は、粘着トラップ設置による採集と見つけ採りおよび石起こし採集を併用した。採集した生物の

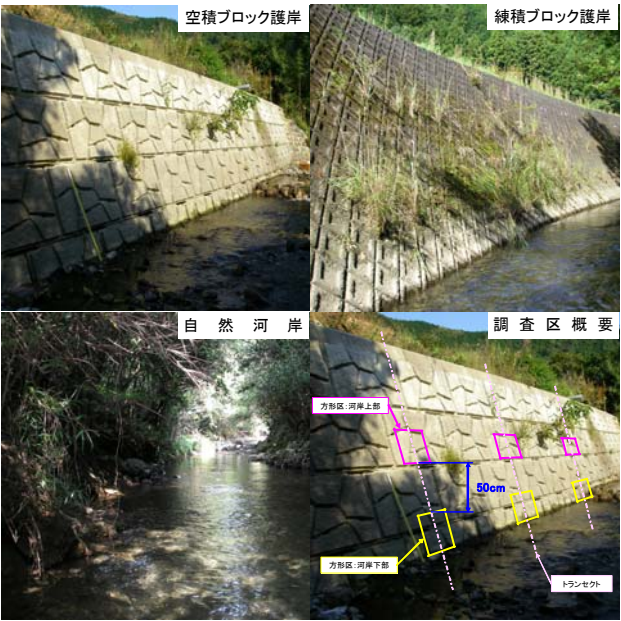


写真1 調査区および調査区概要

うち、陸上を歩いて移動する非飛翔性の生物(クモ目、エビ目、ハチ目、トビムシ目ほか)を対象とし、調査区ごとに、目区分に同定分類して個体数を計数した。

物理環境として、河岸を構成する土壤材料や湿潤度(河岸表面の湿り具合を5段階で評価)、緑被率(方形区内の植物の割合を面積算出)や硬度、河岸表面の温度変動などを計測した。

生物については、分類した生物構成と個体数から季節、河岸形式(調査区)および方形区設置位置(河岸上部・下部)間それぞれの構造の類似性を検討した。2回の調査にて採集した生物のうち、優占度が1%以上となる目のみを解析に用いた。各調査区の物理環境因子については、調査時期ごとに、河岸形式と方形区設置位置を要因とした二元配置分散分析を行い、有意差が確認された場合にはTukey-Kramer法の多重比較検定を行った。すべての解析の有意水準は5%とした。

2.2 結果

2.2.1 生物調査

群集構造の特性を季節、形式、方形区設置位置間の構造類似度からクラスター解析をした結果、群集構造は季節、方形区設置位置の違いではなく、河岸形式の違いにより類型化され、自然河岸とコンクリート護岸で明確に区分された(図1)。

2回の調査において、優占度が1%以上となる非飛翔性生物は6目であった(表1)。確認された生物のうち、トビムシ目はコンクリート護岸に比べ、自然河岸の上部と下部の両方で多数確認された、エビ目(サワガニ)

は5月に1個体、10月に3個体と少数ではあるが自然河岸のみで確認された。

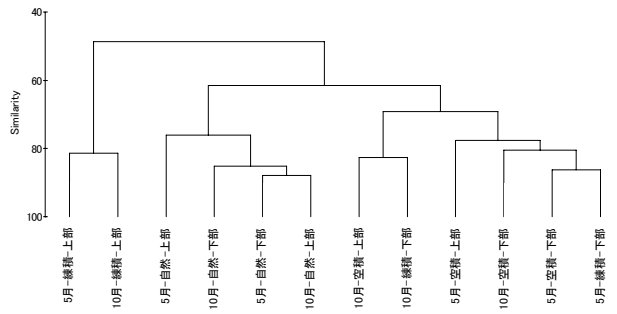


図1 各調査区間における生物の類似度

表1 各調査区間における生物の個体数

目 名	5月						10月					
	空積		緑積		自然		空積		緑積		自然	
	下部	上部	下部	上部	下部	上部	下部	上部	下部	上部	下部	上部
トビムシ目	0	0	0	0	51	25	1	2	5	0	88	44
エビ目	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	1
クモ目	11	6	10	0	12	11	18	12	17	2	5	6
カメムシ目	0	0	2	0	0	4	1	0	1	0	0	0
コウチュウ目	2	1	2	0	2	1	4	0	0	0	0	0
ハチ目	16	5	8	10	7	6	6	5	3	10	6	12

2.2.2 物理環境調査

各物理環境特性のうち土壤材料の割合は5月、10月ともに、自然河岸の下部では、優占材料として岩盤が6割以上確認され、次いで砂、中礫－細礫、巨礫－大礫の順で多く確認された。一方、河岸上部では、シルト・粘土が6割以上確認された。両時期とも河岸上部では砂が確認されず、砂以外の材料の割合については、両時期で同様の傾向が見られた。コンクリート護岸では、5月、10月ともにコンクリートが構成材料として9割以上を占めた(図2)。

各物理環境因子について行った分散分析の結果、5月の湿潤度および5月、10月の温度変動に河岸形式による有意な差が確認された。自然河岸の方が湿潤度は高く、温度変動は小さかった(表2)。

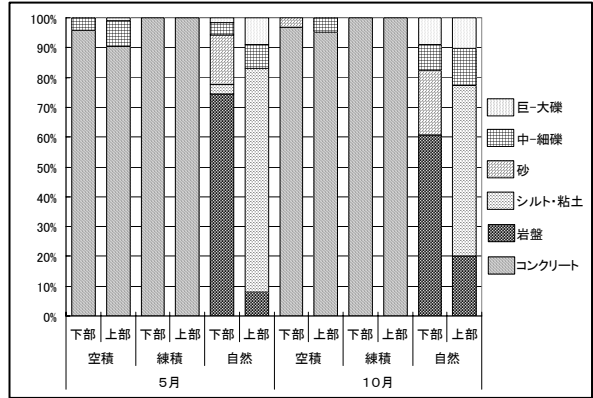


図2 各調査区間における土壌構成材料割合

表2 各調査区間における物理環境因子

物理環境	5月						10月					
	空積			練積			空積			練積		
	下部	上部	下部	上部	下部	上部	下部	上部	下部	上部	下部	上部
有機物量	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.2	0.2	0.0	0.8	1.0	0.2	0.2
緑被率(%)	0.0	1.4	1.3	14.2	45.2	27.9	0.5	1.6	6.9	80.3	51.4	29.6
湿度	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	1.1
硬度(mm)	29.0	29.0	29.0	29.0	25.5	13.6	29.0	29.0	29.0	29.0	25.3	20.1
勾配(°)	67.2	70.8	50.0	50.6	39.0	64.6	68.0	69.2	50.4	52.8	36.2	53.2
温度変動(係数)	0.47	0.48	0.44	0.47	0.26	0.28	0.30	0.31	0.25	0.30	0.15	0.15
開空率(%)		50.9		33.0		11.9		47.1		33.9		11.9

有機物量は、なし:0、少ない:1、多い:2とした順位変数の平均値を示す。
湿度は、乾:0、半乾:1、湿:2、多湿:3、過湿:4とした順位変数の平均値を示す。
開空率は、方形区設置位置ごとの計測は行っていない。

2.3 考察

季節、河岸形式、比高差といった様々な要因を加味して解析を行った結果、河岸部の非飛翔性生物の群集構造の類似性は、河岸形式の違いが寄与していることが示唆された。また、自然河岸とコンクリート護岸との非類似性に影響を与えている生物として、自然河岸で多数確認されたトビムシ目と自然河岸のみで確認されたサワガニがあげられた。トビムシ目は、腐植、藻類などを索餌し、他の土壌動物や地上部の動物の餌として重要である。トビムシ目の生活型は、土壌表層やリター層に分布し、餌を求めて移動力に富む表層性種と土壌中の孔隙に住み、まわりにある餌を食べる地中性種に分けられることが知られている⁵⁾。従って、湿度、緑被率が高く、土壌構成材料としてシルト・粘土や砂が卓越した自然河岸が、トビムシ目の生息に適すると考えられる。一方、サワガニは、流水中の転石の下を隠れ場とする他、周囲の湿った陸域にも穴を掘る⁶⁾。本研究でも、河岸下部における法面勾配が緩く、巨礫—大礫および中礫—細礫が確認された自然河岸がサワガニの生息場として利用されていた。また、自然河岸の温度変動はコンクリート護岸より有意に小さかったが、昆虫や甲殻類等の変温動物にとっては、時間的な温度の安定化が代謝機能を正常に保つ可能性もある。以上より、湿度、土壌材料および温度変動等の多要因が生物生息の支配要因として重要であることが考えられる。しかしながら、例えば湿度と土壌材料といった相互（相関）関係が強い物理環境因子の個別の影響寄与度については明らかではない。今後は、物理環境因子間に存在する因果関係を明らかにして、河岸を利用する生物の生息に影響を与えている因子の抽出を行う必要がある。

3. 小動物を用いた登坂実験

小動物の登坂に関する既存研究としては、勾配 30 度以下のコンクリート斜路における両生・爬虫類の登

坂可能性が考察された報告があるのみで⁷⁾、河岸材料粒径および河岸勾配と登坂の可否との関係は明らかになっていない。本研究は、これらの関係を明らかにし、小動物が利用しやすい河岸法面の基礎研究とすることを目的とした。

3.1 実験方法

実験で用いたパネルは、粗度を変えた 5 種類である（図 3）。河川で採取した河岸材料をコンクリート骨材のふるいにかけ、粒径 75 μ m～2mm(砂)、2～4.75mm(細礫)、4.75～53mm(中礫)、53～256mm(大礫)に選別し、砂面はコンクリート滑面にモルタルを塗り、砂を振りかけて付着させた。細礫面、中礫面および大礫面は、練ったコンクリートをパネルに流し込んだのち、それぞれの粒径について材料の約半分が出るように埋め込んだ。

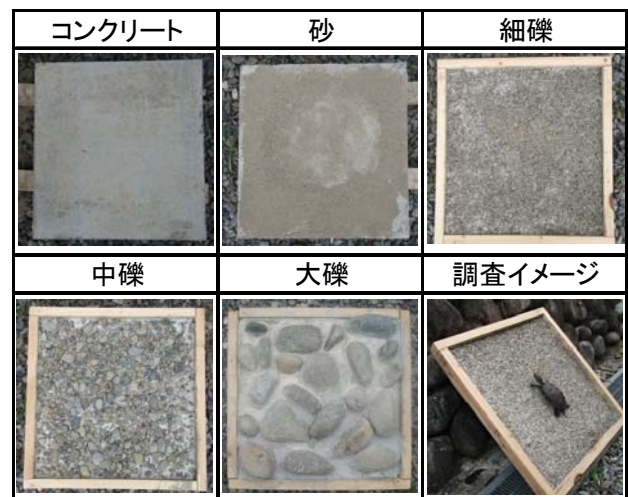


図3 登攀実験用パネルおよび調査イメージ

5種類のパネルの勾配をそれぞれ2割（約26.6度）、1割5分（約33.7度）、1割（45度）、5分（約63.4度）の4ケースに変化させ、計20パターンについて登坂実験を行った。実験対象は、ヌマガエル（体長16-24mm）、クサガメ（甲長87-111mm）およびサワガニ（甲幅16-27mm）とし、1個体ずつパネル下端中央部に置き、1パターンにつき5個体登坂させた。各パターンについて登坂成功率（%：100×成功個体数/5）を求めた。登坂成功の定義は、実験開始後2分以内に、体の一部が法長40cmに達した場合とし、パネルから脱出、落下した場合には、再実験を行った。また、実験開始後1分経っても動きがない場合、あるいは実験途中に1分間静止した場合は、後ろから木の棒で刺激を与えた。登坂実験は全て録画し、各個体の登坂特性を抽出した。解析は、河岸材料粒径および河岸勾配を二元に配置した分散分析を行い、各要因間に有意差が確認された場

合は、Tukey-Kramer法の多重比較検定を行った。水準間の有意差は、表中にアルファベットの違いにより表示した。すべての解析の有意水準は5%とした。

3.2 結果と考察

3.2.1 ヌマガエル

分散分析の結果、河岸材料粒径に有意な差が確認され、砂、細礫および中礫はそれ以外より成功率が高かった（表3）。一方、河岸勾配には有意差は確認されなかった。従って、ヌマガエルの登坂条件としては、河岸表面の性状が重要であり、河岸勾配は制御要因とはならないことが示唆される。登坂状況の映像を再見した結果、本種は跳躍により直線的に登坂することが確認された。また、コンクリート面では跳躍行動は行うものの、次の跳躍で蹴り足が滑って次の跳躍に移行できない傾向にあった。一方、大礫面では礫下の影に留まり跳躍行動さえ行わない個体や、横に移動する個体を確認された。本種は直線的に跳躍登坂するために、着地点（目標点）が定まって目に見えていることが重要であり、オーバーハングする大礫下では着地点が確認し辛く、そもそも登坂経路として認識されない可能性がある。また、コンクリート面では着地点が定まり跳躍はするものの、着地点の滑性状と本種の指吸盤の欠如（形態特性）によりコンクリート斜面からの跳躍が困難なことが考えられる。我が国に広く分布するアマガエル類は指に吸盤を持つため、本種よりは登坂能力が高いのかもしれない。他種の登坂能力も明らかにすることが望ましい。

表3 ヌマガエルの登坂成功率（%）

	2割	1割5分	1割	5分
コンクリート ^b	0	20	0	0
砂 ^a	80	100	80	80
細礫 ^a	80	100	100	100
中礫 ^a	100	80	60	100
大礫 ^b	20	0	40	40

3.2.2 クサガメ

分散分析の結果、河岸材料粒径および河岸勾配とも有意な差が確認され、河岸材料粒径では、細礫面がコンクリート滑面と大礫面より、河岸勾配では、2割と1割5分は5分より成功率が高かった（表4）。従ってクサガメの登坂条件としては、細礫による小突起と緩勾配が必要であることが示唆される。登坂状況の映像を再見した結果、本種は爪を使い匍匐により直線的に登坂することが確認された。登坂できなかった主な理由は、コンクリートや大礫面では爪がかからなかったこと、1割勾配や5分勾配では転倒や落下により匍匐

体勢を維持できなかったことがあげられる。実験に用いたクサガメの爪の長さは4~5mmであった。また、細礫のサイズは2-4.75mmであり、爪を掛けるサイズとして適当と考えられる。また河川では本種の産卵は水辺の土にトックリ型の穴を掘って行う⁸⁾。従って、河岸は本種にとって移動経路と産卵場所としての機能を有しており、河岸に手を加える場合には、緩勾配や細礫に併せて土砂の存在も考慮する必要がある。

表4 クサガメの登坂成功率（%）

	2割 ^A	1割5分 ^A	1割 ^B	5分 ^B
コンクリート ^b	20	40	0	0
砂 ^{ab}	80	40	40	0
細礫 ^a	60	80	40	20
中礫 ^{ab}	60	40	40	20
大礫 ^b	20	20	20	0

3.2.3 サワガニ

分散分析の結果、河岸材料粒径および河岸勾配とも有意な差が確認され、河岸材料粒径では、中礫がコンクリート滑面より、河岸勾配では、2割は5分より成功率が高かった（表5）。従ってクサガメの登坂条件としては、中礫による中起伏と緩勾配が必要であることが示唆される。登坂状況の映像を再見した結果、本種は、コンクリート面・砂面・細礫面・中礫面では直線的、大礫面では礫間を縫うように進んだが、コンクリート面および砂面では爪が掛かり難く、横に移出した。また、大礫の5分勾配では多くの個体が被覆した礫下に留まった。本種は石の下を主な生息・退避場所とすることから⁹⁾、オーバーハングした大礫実験下では、身を隠すための習性が出たものと考えられる。中礫（4.75-53mm）が本種の好適な登坂条件となり、そのサイズと共試個体の甲幅（16-27mm）は概ね一致している。以上の因果関係は明らかではないが、本種の登坂形態（横向きにある一定の開口率（= 中礫のサイズ）で進む）に起因しているのかもしれない。

表5 サワガニの登坂成功率（%）

	2割 ^A	1割5分 ^{AB}	1割 ^{AB}	5分 ^B
コンクリート ^b	60	20	0	0
砂 ^{ab}	80	80	20	0
細礫 ^{ab}	80	80	60	40
中礫 ^a	80	60	100	80
大礫 ^{ab}	100	100	80	0

4. 多自然川づくりにおける河岸・水際域の捉え方

本資料集の内容は、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、具体的方法について解説したものとなっている。平成 21 年度に行った調査および実験の成果は、特に第 5 章の「護岸を設置する場合の留意点」に反映させた。具体的には、水生生物に併せて、両生類、爬虫類、陸上動物、昆虫（成虫）等、もカテゴリーに加え、護岸を覆土等により露出させないタイプ、露出させたタイプにおける生物の利用および景観の観点からの配慮事項を整理し、河岸の保全手法として行うべき工夫として、河岸の湿潤度の維持や河岸表面形状、河畔林の保護などについて示した（表 6）。平成 22 年度は、河岸・水際部の具体的な設計論および評価基準値の明示を目的とした実験を追加し、護岸工法の性能評価手法の開発に発展させる計画である。

表 6 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・寄土護岸		C: 露出護岸		C: 露出護岸	
河岸区分		水際部	河 岸	覆土護岸	寄土護岸	寄土あり	寄土なし	寄土あり	寄土なし
景 観	境界部の処理 (水際・法面等)	○	○	△	○	△	○	×	×
	明度・彩度	—	○	—	○	△	—	×	×
	肌理 (ツナヘ)	—	○	—	○	△	—	×	×
	(見え)の面積	—	○	—	○	△	—	△	×
記 録 生 態 系 項 目	植 物	—	○	—	△	—	△	—	×
	河畔樹木	—	○	—	△	—	△	—	×
	草本植物等	○	○	△	△	○	○	×	×
	気 藻	—	—	△	△	—	○	—	×
	淡水魚・産卵魚	—	○	△	△	—	○	×	×
	浮遊植物・水生昆虫	○	○	△	△	○	×	×	×
	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)	—	○	—	○	—	○	×	×
特 徴 植 物	甲殻類・両生類	—	○	—	○	—	○	×	×
	水生昆虫	—	○	—	○	—	○	×	×
	陸上動物 (哺乳類)	—	○	—	○	—	○	×	×
	陸上動物 (淡水魚)	—	○	—	○	—	○	×	×

○：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・寄土護岸は水際部での水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緑地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、河岸は法面ラインが対応する。

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。

5. まとめ

過年度までの研究は主に水中部の生態的機能に着目したものだったが、今年度は、河岸（水面より上の陸上域）の陸上生物を対象とした調査実験を行った。自然河川では、河岸形式の違いによる物理特性と生息生物との関係 1)、を把握した。室内実験では、河岸材料粒径および河岸勾配を操作した小動物の登坂条件 2)、について明らかにした。また、本研究成果は、水際域（水面より下の水中河岸域）の既研究成果をとりこみ作成済みであった資料集に補足させ、「多自然川づくりに関する河岸・水際域の捉え方」3)、として発刊した。以下に主要な研究成果を示す。

1). 河岸形式の違いにより成立する生物群集構造が異なり、自然河岸とコンクリート護岸の非類似性に影

響を与えている生物として、前者で多数確認されたトビムシ目（土壌動物）と前者固有のサワガニがあげられた。また、これら群集構造の差異には湿潤度や土壌材料、温度変動などの物理環境要因が寄与していることが示唆された。今後は、湿潤度や土壌材料といった相互（相関）関係が強いと考えられる物理環境因子があることを鑑み、物理条件を単純にした実験により因果関係を明確にする必要がある。

2). ヌマガエルの登坂条件としては、河岸表面の性状が重要であり（滑らず、見通しの開く粒径の小さい粗度が好ましい）、河岸勾配は制御要因とはならないことが示唆された。クサガメの登坂条件としては、細礫による小突起と緩勾配が必要であることが示唆された。サワガメの登坂条件としては、中礫による中起伏と緩勾配が必要であることが示唆された。このように生物種によって登坂条件は異なるが、それには生物種の外部形態や登坂様式（跳躍、匍匐等）が寄与していることが考えられた。

3). 今年度調査および実験の成果は、資料集「多自然川づくりに関する河岸・水際域の捉え方」に反映させた（平成22年度2月発刊）。平成22年度は、河岸・水際部の具体的な設計論および評価基準値の明示を目的とした実験を行い、護岸工法の性能評価手法の開発に発展させる予定である。

参考文献

- 1) (独)土木研究所：土木研究所資料第 3946 号 平成 15 年度 自然共生研究センター研究報告書、pp.58-64、2004.
- 2) 長谷川浩二他：「河川中流域における水際域の機能評価」 多自然研究 No.125、pp.3-6、2006.
- 3) 玉井信行・奥田重俊・中村俊六編 河川生態環境評価法一 潜在自然概念を軸として一、東京大学出版会、2000.
- 4) 玉井信行・水野信彦・中村俊六編 河川生態環境工学一 魚類生態と河川計画一、東京大学出版会、1993.
- 5) 金子信博：土壌生態学入門一土壌生物の多様性と機能、東海大学出版会、2007.
- 6) 小林哲：「河川環境におけるカニ類の分布様式と生態一生態系における役割と現状一」 応用生態工学、No.3、pp.113-130、2006.
- 7) 建設省土木研究所・(株)応用生物：「小動物に配慮した側溝に関する調査業務報告書」、1995.
- 8) (財)リバーフロント整備センター：「川の生物図典」、pp.596-597、1996.

A STUDY OF RIVER BANK PROTECTION METHODS APPLIED TO RIVER RESTORATION PROJECT

Budget : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2006-2010

Research Team : Water Environment Research Group
(Aqua Restoration Research Center)

Author : KAYABA Yuichi

SAGAWA Shiro

Abstract : The objectives of this study are: (1) to clarify the various ecological functions at the river edge and shore area (RESA), (2) to publish the river rehabilitation manual described conservation points at RESA, and (3) to develop both the efficient and effective rehabilitation methods at RESA and the performance assessment for bank protection. On the year 2009, we conducted two surveys focused on the terrestrial ecosystem in RESA, which is: (a) the ecological functions target for various bank forms, and (b) the gradability controlled roughness and gradient of the slope. The first study (a) indicates that creature's assemblages are different for each various bank form, which were correlated with substrate wetness and temperature fluctuations. The major findings of the second study (b) are each species has species-specific gradability, which was considered that specific body shapes and climbing patterns (e.g. jumping, slow method of progression) are contributed. These results were imported into the manual named "The considerations of bank and shore areas applied to river restoration project" which was published February 2010.

Key words: Bank protection, edge and shore habitat, lateral rehabilitation, migration pathway, restoration, substrate wetness