

砂州景観の生態的機能評価から見た 河川環境管理の目標設定

SETTING OF ENVIRONMENTAL TARGET IN RIVER MANAGEMENT FROM EVALUATING ECOLOGICAL FUNCTION IN SANDBAR LANDSCAPE

辻本哲郎¹・尾花まき子²・井上佳菜³

Tetsuro TSUJIMOTO, Makiko OBANA and Kana INOUE

¹フェロー 工博 名古屋大学大学院工学研究科教授 社会基盤工学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

²正会員 MSCE 名古屋大学大学院工学研究科研究員 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

³正会員 修(工) 株式会社東京建設コンサルタント (〒170-0004 東京都豊島区北大塚1-15-6)

The social concern with environmental target in river management has been growing in recent years. In order to set environmental target, it is necessary to show the environment by some clear standards. The river landscapes consist of physical background such as morphology and hydraulics, material cycle and biota. Through cooperated research among river hydraulics, ecology and limnology more than ten years, we have accumulated a lot of fragmentary information, and the problem is how to organize them properly to apply to the ecosystem assessment.

We focused on a segment with alternate sand bars. The information about habitat of typical organisms with their life cycles and bioelement cycle are concentrated on the “sub-bar scale landscapes” as ecological function in a river with alternate bars. These landscapes are classified by frequency of inundation and surface some materials using aero photographs. Also ecological functions of each bar are calculated by WUA. The results indicated their temporal and spatial distribution in the segment. With their information, we can discuss and judge what bars are contributive in ecosystem conservation, and what functions have been changed during 30 years. This paper suggests a strategic approach for river management in a sand river.

Key Words : *environmental target, sandbar, material cycle, habitat, ecological function, WUA*

1. はじめに

平成9年の河川法改正以来、河川環境の整備が河川管理の目的として認知されたが、整備・管理計画で環境目標が明確化されている例は極めて少ない。治水、利水が再起年でその整備目標レベルを明確化しているのに比べ、環境目標は個別的なものか、全体的であいまいな表現でしかない。例えば、前者は個別の種に着目した生物の保全であり、後者は「好ましい景観の保全」といったものである。こうした状況では、治水・利水と同列に整備・管理の達成目標の議論が難しい。たとえば、「砂州景観の保全」といった目的は、基本方針でも整備計画でも、達成目標などの違いが示せない。こうした状況は、河川環境の指標が明示されないためにさまざまなレベルでの目標の設定が難しいことと解釈していい。その意味では、水質については最近見直しが議論されているものの、目

標設定が議論のまな板に乗っているが、難しいのは「生態系」としての環境であると考えてよい。

河川生態系保全に関する取り組みは、「多自然川づくり」などを通して全国各地で多面的に実施され、社会的な認知度と関心は高まってきている。また、全国各地の河川ではさまざまな河川生態にかかわる調査研究が実施され、河川の物理基盤情報や生物の生息に関する情報、また生元素の輸送・変化過程など河川の環境を構成する要素についての知見は徐々に集積されてきた(河川生態学術研究など)。

本論文では、こうした背景に鑑み、とくに砂州を伴う砂河川でしばしば河川環境管理目標とされる「砂州景観の保全」をとりあげて(たとえば、淀川水系での木津川の河川環境管理計画)、河川生態学的視点でその保全に向けた指標とその意義を明確化し、それにもとづいた目標設定への道筋を木津川下流部のデータを解析しながら検討するものである。

2. 河川景観の構造的にもとづく議論の進め方

河川は、水の流れによって運ばれる土砂によって形成された地形がさまざまな様相を呈し、それら各々の特徴的な景観は、生物の生息場や物質循環の素過程の生起場の提供にみられる生態的機能を有しているとみる（尾花ら¹⁾，2008，図-1参照）。既往の研究²⁾によって、砂州を形成している景観要素（スケールの階層性の議論で、砂州と言うスケールはさまざまなサブ砂州スケールの景観要素から構成されていると見る²⁾）ごとに生態的機能の大きさが異なっていることが明らかになっている。また、個々の特徴的な景観とそこで発揮される機能を関連付けたのち、砂州スケールでさらにはセグメントでそれらを統合的に取り扱うことによって、区間全体としての河川の機能を示すアプローチを、特に砂河川の交互砂州形成区間において、提案してきた¹⁾。その延長の中で本研究では、複数の典型性からの注目種の生息適性、有機物や無機物の捕捉、硝化や脱窒の卓越性など、生態的機能のレベル分類をおこなう。さらに、各生態的機能の砂州別の相違および河道内砂州での経年変化を調べることによって、砂州河川での保全優先度の高い砂州や経年変化の中で劣化している機能の把握による修復の必要性等の環境管理の目標について検討する。

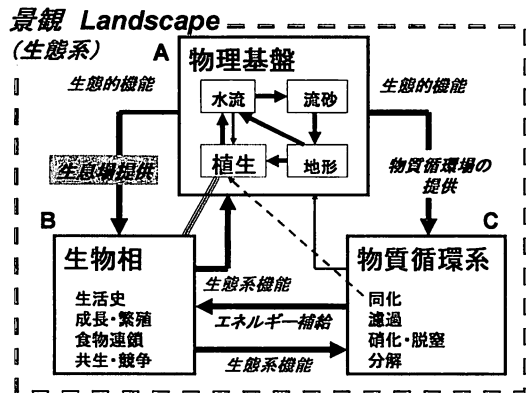


図-1 河川生態系の構造と機能

本研究で事例として扱う対象は、淀川水系木津川の淀川三川合流地点から約20kmの区間（図-2参照）で、平均河床勾配が1/1150の細かな礫と砂から構成される砂床であり、下流からナンバリングされた20の砂州を有する交互砂州形成区間である。その区間の砂州一つをクローズアップして見てみると、裸地域や植生域、わんど、たまりといった表層被覆の異なるより小さい空間スケールの景観要素のパッチから成っていることが分かる（既述のサブ砂州スケールの景観要素）。このように、河川景観は階層構造を有しており、交互砂州が出現するような河道の骨格構造は、数年から十年に一度の洪水によって形成され、砂州を構成する景観要素は、毎年何度か来襲す

る出水によって形成・維持される。この場をフィールドとして、河川水文学や地下水文学、陸水学、生態学などさまざまな分野の研究者によって組織された河川生態学術研究木津川グループが、1998年から約10年にわたり数々の調査研究を蓄積してきた³⁾。河川景観と河川生態系の構造と機能に基づいて、これらの調査研究を整理してみると、ある特徴的な場によって生物の生息適性や物質の捕捉、硝化や脱窒などの卓越性が異なることが見てとれる（図-3参照）。つまり、河川景観と生態的機能には密接な繋がりがあり、特に景観要素の冠水頻度が生態的機能の発現に大きく影響していることが類推される。こうした研究成果の集約が、生態系に視点を置いた環境目標設定のための指標を提供していると考えた。

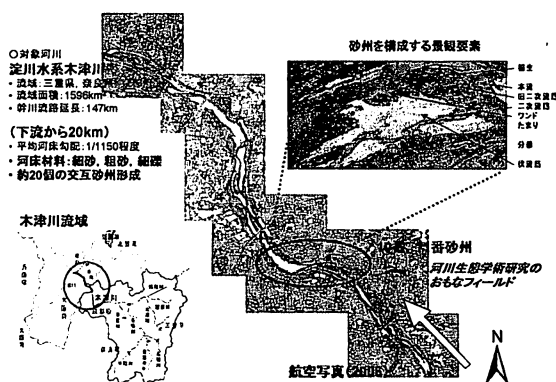
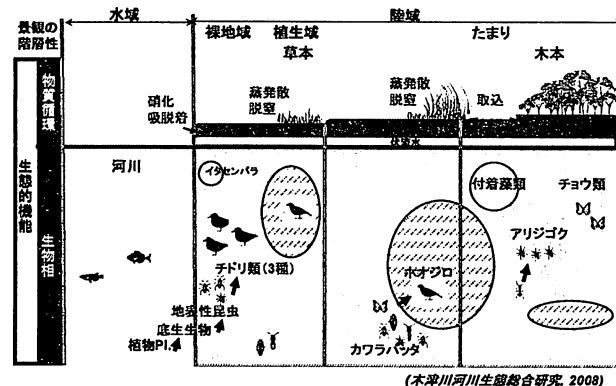


図-2 木津川における河川景観とその構造



(木津川河川生態学総合研究 2008)

図-3 砂州の景観要素と生態的機能との関係

3. 景観要素の時空間分布特性の把握

まず著者らがこれまでに提案した手法²⁾を用いて河川景観の分類を試みた（先に実施したものの改良を行った）。航空写真を用いたGISによる画像解析手法と準二次元不等流解析によって算出した洪水規模別の水位を重ね合わせ、景観要素を図化した。解析に用いた流量条件としては、木津川の実際の流況に基づいて、特に景観要素の更新に影響を与えるとされる4パターン(Q=1700, 1000, 500,

100m³/s)を設定した。各々2～3年に1度程度の大洪水、年に1度程度の中洪水、年に3度程度の洪水および年に30回程度の小出水にあたる。なお平水時の流量は、20 m³/s程度である。

河川景観に用いた分類には、生態的機能が発揮される場である河道部分のみを抽出する（人工的な空間は排除した）。さらに河道部分を、異なる生態的機能を有する領域との境界条件となる洪水規模別の冠水域に着目して細分類し、水位の低いものから順に、水際、低位、中位、高位冠水帯と名づけた。この景観分類に従い、過去6カ年分の河道内砂州の景観要素分類図を作成した。なお、区間内の5～15番砂州においては、2002年度の航空写真を用いて各砂州についての分類図を作成した。その結果、図-4と図-5に示すように、区間内砂州の空間分布特性と時間分布特性が把握できる。

結果を概観すると、図-4から区間内砂州の大きさの差異は最大で約5倍以上の差があること、特に植生域が卓越した大小さまざまな砂州が分布していることが分かる。一時水域であるたまりやわんどは、7番砂州をのぞいた全砂州に形成されている。景観の変遷に着目すると、この区間では30年で全域的に2倍以上植生域が拡大していることが分かる。

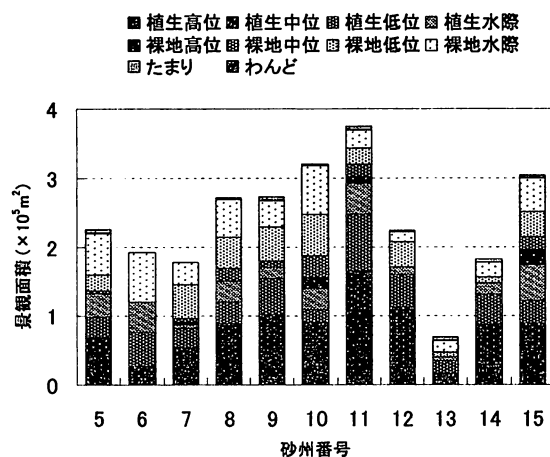


図-4 区間内砂州における景観要素の空間分布

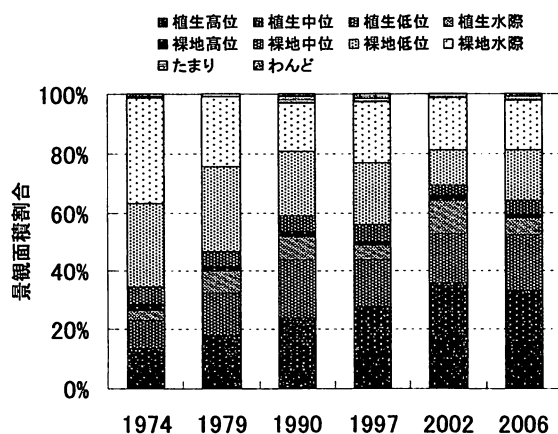


図-5 区間内砂州における景観要素の変遷

4. 景観要素の物理基盤特性の把握

分類された景観要素は、比高や粒径、植物種などに代表されるように物理基盤の特性は異なっている。この物理基盤の特性が、生態的機能の発現に大きく影響するため、現地調査を実施した。これによって得られた各景観要素における物理基盤の情報を表-1に示す。それによると、冠水帯によって傾向が大きく異なることが分かる。全体的に見て、冠水頻度が高いほど粒径が粗く、均等係数が小さくなっている傾向が見られる。本研究では、（植物以外の）生物の生息適性に影響を与える植物種の、各冠水帯に占める割合を、2カ年の植生分布図と、前章で規定した冠水帯幅とを重ね合わせることで算出した。各冠水帯における植物種の選好性を、図-6に示す。図には70%カバーする生息範囲と95%カバーする生息範囲を示した。

表-1 各冠水帯における物理基盤特性

写真判別	景観分類		物理基盤			
	冠水帯	冠水流量 (m ³ /s) (冠水日数 (日/年))	植物種	代換径 (mm)	均等係数	比高 (m)
植生域	高位	1700 (1/2-1/2)	カワラヨモギ	-	-	750-1500
			その他高木	-	-	600-1500
			その他低木	-	-	450-1450
	中位	1000 (1)	オギ	0.2-0.8	4.5-9	520-1350
			セイタカヨシ	0.2-1.2	2.2-15.5	350-1250
			セイタカワダチソウ	0.09-0.35	2-14	230-1170
			ヤナギ高木	0.09-0.25	2-12	230-1090
			シナダレスズメガヤ	-	-	200-850
	低位	500 (2)	ヤナギ低木	0.2-0.8	1.5-10.5	100-875
			ワルヨシ	0.25-2.1	4-18	85-640
	水際	100 (30)	ヤナギタデ	-	-	25-330
	植水域	1700 (1/2-1/2)	-	0.01-5.42 (2.69)	2.55-12.55 (5.83)	1000-1700
			-	0.28-5.49 (2.40)	2.04-14.19 (5.83)	500-1000
			-	0.62-12.4 (2.30)	2.00-30.03 (6.70)	100-500
			-	0.92-29.05 (5.83)	2.07-35.0 (10.32)	25-100
たまり	-	-	-	-	-	-
わんど	-	-	-	-	-	-

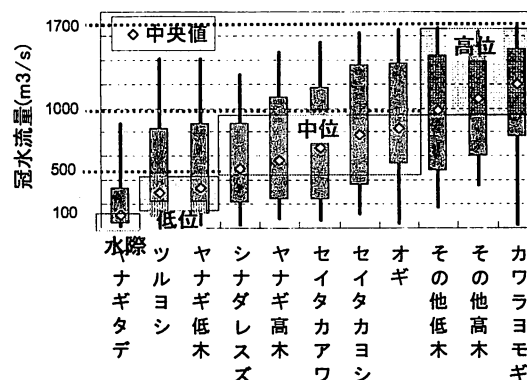


図-6 各冠水帯における植物種の選好性

5. 景観要素が有する生態的機能

木津川研究グループで蓄積された調査研究の結果³⁾を用いて、特徴的な場（景観）を利用する生態的機能を抽出する。①生物の生息適性と②物質循環の素過程の卓越性は、景観要素の違いによって差異がある。その差異を

表す評価基準として、5段階（A=1, B=0.75, C=0.5, D=0.25, E=0）に分類した機能値を定義し、その一覧をこれまでの研究成果をもとに概略作成した。以下に、指標として抽出した機能と各々の評価基準を示す（表-2, 表-3参照）。その評価基準に基づいて、各景観要素に機能値を与えた（表-4参照）。以下にいくつかの生態的機能の評価指標とその評価値（機能値）の想定根拠を示すが、これらの精度やその整合性向上が今後の課題である。

表-2 生息場の評価基準

生物	チドリ	ホオジロ
指標	営巣・採餌場	営巣場 (採餌場)
評価	A 営巣場と採餌場の距離が近いほど機能が高い	シナダレスズメガヤ ノイバラ
	B	草本
	C	水際植生域
	D 水際(採餌のみ)	木本(ソングポスト)
	E 植生域	裸地域

生物	昆虫	アリジゴク	カワラバタ	底生動物、魚類、貝類
指標	生息種数	営巣場	生息個体数	生息場の有無
評価	A 30以上	粒径が細かいほど高い	確認個体数が多いほど高い	たまり、わんど、(水際裸地域)
	B 20~30			—
	C 10~20			—
	D 10未満			—
	E 0	植生域	植生域	陸域(植生域・裸地域)

表-3 物質循環場の評価基準

	脱窒	硝化	植物による取込	捕捉
指標	河川水の供給 伏流水面からの高さ	河川水の供給 伏流水面からの高さ	伏流水面からの高さ	サンプル分析結果
評価	A 水際裸地域 たまり 水際植生域	水際裸地域 水際植生域 わんど	水際植生域	水際植生域
	B 低位植生域	—	低位植生域	中・高位植生域 低位植生域
	C 中位植生域	たまり	中位植生域	水際・低位植生域
	D 高位植生域	—	高位植生域	中・高位裸地域
	E 裸地域・わんど	上記以外	上記以外	たまり・わんど

表-4 各景観要素における生態的機能値

景観分類		生態的機能									
写真判別	陸水帯	植物種	チドリ	ホオジロ	昆虫	アリジゴク	カワラバタ	底生動物	魚類	貝類	物質循環場
植生域	高位	カワラバタ	B	B							D
		その他落木	D	B							E
		その他落木	D	B							D
		オギ	B	D							C
		セイタカアワダテソウ	B	D							C
	中位	ヤナギ	B	B	E	E	E	E	E	E	C
		シナダレスズメガヤ	D	D							B
		ヤナギ	D	C							B
		ツルヨシ	B	D							E
		ヤナギ	C	D							E
裸地域	高位	—	C	B	B	C	E				E
	中位	—	B	B	B	C	E	E	E	E	E
	低位	—	D	C	C	C	E				E
	水際	—	D	D	C	C	E				C
たまり・わんど	—	—	E	C	E	E	E				E
	—	—	E	D	D	E	E				E

機能値 (A=1, B=0.75, C=0.5, D=0.25, E=0)

(1) 生息場 (Habitat)

木津川研究グループでは、魚類、底生生物、地上昆虫、植物、両棲・爬虫類、鳥類など砂州上で生息するさまざまな生物の種類の調査がなされており、また砂州を典型的な生息場とする生物の生態が研究されている³⁾。本研究では、鳥類を頂点とした食物網に着目した種と木津川

砂州の典型種・希少種を生態的機能として抽出した。

a) 鳥類

木津川の砂州では、チドリ類とホオジロの生息が山岸・松原ら⁴⁾によって確認されており、各々、生活史によって利用する場を使い分けていることが明らかにされている。チドリ類とホオジロの生態については、著者らの既発表論文¹⁾中で要約しているので参照されたい。このように整理された情報をもとにチドリ類とホオジロに対して作成した評価基準が表-2に示される。

b) 昆虫一般

木津川での生息が確認されている陸上昆虫の種は多数であるが、本研究では木津川生態学術研究の昆虫研究グループが砂州の各景観要素で確認した種を整理した後、生物多様性の視点から生息する種数が多いほど高い機能値を与えた。

c) 昆虫 (アリジゴク)

クロウスバカゲロウの幼虫あるアリジゴクは、さらさらした砂地にすり鉢のような窪みを作り、その底部に生息する。アリジゴクは、木津川砂州においても比高の高い裸地域で生息し、特に植生背後の細砂の堆積するマウンド上で多く確認された(松良ら⁵⁾, 2004)。以上から、裸地域の粒径が細かいほど高い機能値を与えた。

d) 昆虫 (カワラバタ)

京都府のレッドデータブックで絶滅寸前種に指定されており、木津川で生息が確認されたことは関西では特に貴重といえるため、砂州の生態的機能のひとつとして抽出した。成虫は、冠水頻度が高く草本が散在しているだけの砂地での生息が多く確認された(遠藤ら⁶⁾, 2008)という情報によった。

e) 底生動物

底生動物とは、水域に生息する生物の中でも底質に生息する生物の総称で、ここでは、カゲロウ、カワゲラ、トビケラ、ユスリカ、ダニ、ミジンコを対象種とした。各景観でそれらが確認された場に高い機能値を与えた。本来、底生生物は水域の環境に依存するものであるが、今回の研究では水域の生態的特徴を十分把握できる景観分類になっていないので、ここでは総括的な扱いとなっている。

f) 魚類・貝類

本研究では、景観要素分類の中に本流を含んでいないため、たまりとわんどの有無を機能の有無と置き換えた。

(2) 物質循環の素過程の生起場

木津川の生元素、特に窒素の動態については、すでにさまざまな景観要素上で研究・調査が実施されている。特に本研究では、既往の研究^{2), 7), 8), 9), 10)}にもとづいて、異なる景観要素における活性の相違が想定できる生元素の捕捉および硝化・脱窒といった素過程をとりあげた。これらは、生元素のさまざまな容態での輸送・変化過程を支える生態的機能である。

a) 脱窒

脱窒とは、窒素化合物から分子状窒素を取り除く作用である。微生物による脱窒作用は、脱窒能をもった微生物の存在と、河川水からの窒素化合物の供給が必要である。木津川では、植生域・裸地域の水際や、たまりで脱窒作用が確認されており（中島ら⁷⁾, 2008), これにもとづいて機能値を想定した（今回、わんどでは調査が行われていないため機能値を与えなかった）。砂州上の植生域での脱窒は、おもに有機物が豊富な表層土壌で起きるとされている⁸⁾。また植物による伏流水の吸い上げもその活性の一部を受け持つため、伏流水面からの距離が小さいほど高い機能値を与えた（表-3参照）。

b) 硝化

硝化とは、微生物の作用によってアンモニア態窒素から亜硝酸態窒素や硝酸態窒素を生じる変化である。木津川では植生域・裸地域の水際域や、わんど・たまり域においてその作用が確認されている（中島ら⁹⁾, 2003)。水中や水際に生息する微生物によって硝化が起こるが、河川水中からのアンモニアの供給がないとこの作用は生じない。そのため水交換の少ないたまりでは、わんどや水際に比べて低い機能値を与えた。

c) 植物による取込（同化）

植物は、栄養塩を根から体内に取り込み、同化代謝することで水質浄化に寄与する。そのためには、根からの河川水の取り込みが不可欠であるので、植生域から伏流水面への距離が小さいほど活性が高い（かせ澤ら¹⁰⁾, 2006) ことも勘案して機能値を与えた。

d) 捕捉

捕捉とは、植生や表層の土壌が河川の流れによって運ばれる栄養塩や有機物をトラップすることをいう。表層での物質の捕捉には、鉛直浸透が大きな影響を与える（かせ澤ら¹⁰⁾, 2006)。さらに、砂州表層の生元素の貯留に関する研究（辻本ら²⁾, 2008) によって景観要素における捕捉機能の差異が明らかにされている。こうした点を考慮した機能値の想定を行った。

6. 砂州景観の生態的機能評価

景観分類図を作成したことによって各景観要素の面積配分率が算出され、それらの時間・空間分布が把握できた。さらに、生態的機能として抽出した生物の生息場や物質循環の素過程の生起場を特定し、各々に対して機能値を5段階で与えている。これによって、景観と機能のレベル分類が可能になったため、それらをかけ合わせて砂州スケールで統合した。手法としては、各景観要素の面積を A_i 、各景観要素の生態的機能値を γ_i (0~1) とするとき、各砂州の生態的機能は、次式で定義されるWUA (Weighted Usable Area)で定量化される。

$$WUA = \sum_i A_i \gamma_i \quad (1)$$

各砂州が有する生態的機能の分布を図-7に示した。さらに、13番砂州における過去6ヵ年の生態的機能の変遷を図-8に示した。図には各砂州の面積をとともにWUA値を示す。各々の結果について、以下に考察する。

(1) 区間内砂州における生態的機能の分布

区間内の砂州において、面積が最も大きいのは11番砂州である。WUAは通常面積の大きさと相関関係を有するが、例えば昆虫の生息場に注目して10, 11番砂州を比較すると、面積の大きさに差異が見られるにも関わらず機能値はほぼ均等な値を示している。これは、水際における昆虫の機能が卓越していることから、ほぼ全域を植生で覆われている11番砂州より裸地域が大半を占める10番砂州での機能が、景観に機能値を与えることによって良好に評価された結果といえる。また同じく、10番砂州と11番砂州を比較すると、特に裸地域に生息適正があるチドリ、アリジゴク、カワラバタにおいては植生砂州である11番砂州での機能が低くなっていることが分かる。機能のバランスを見ると、特に10, 15番砂州では砂州面積に対して平均的に機能が分散されている。

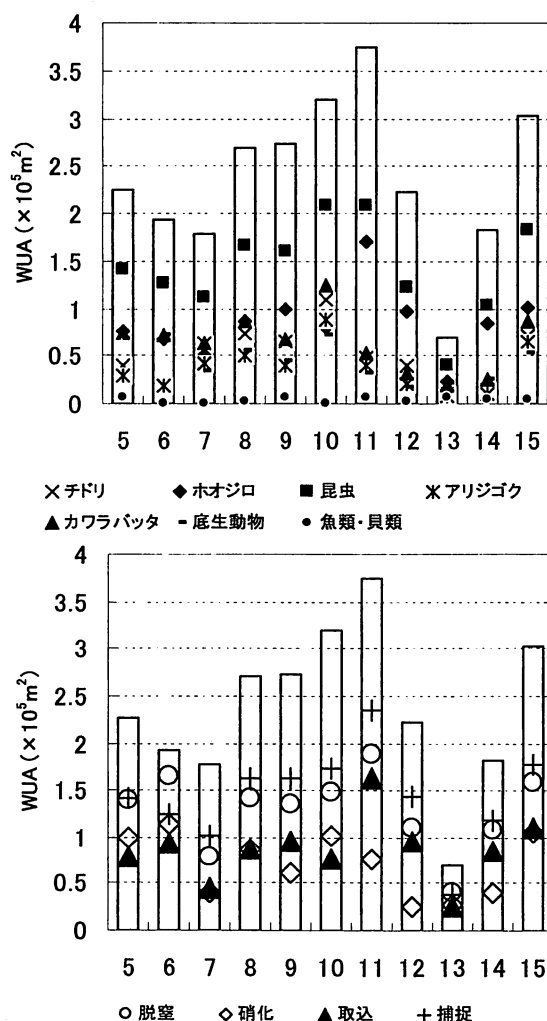


図-7 区間内砂州における生態的機能の分布 (2002年)

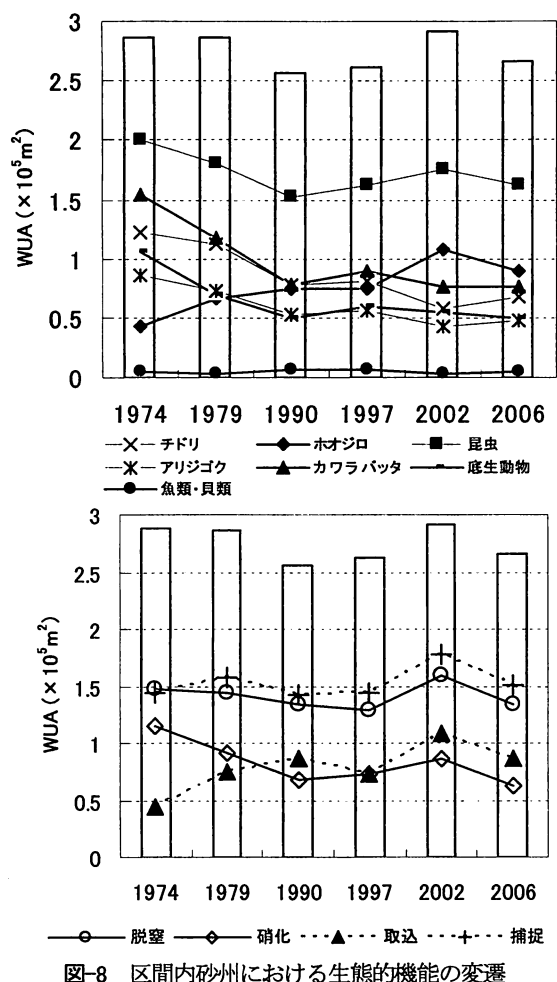


図-8 区間内砂州における生態的機能の変遷

(2) 区間内砂州における生態的機能の変遷

昆虫の生息適性は、全ての景観要素に分散しているため高い値を示し、砂州面積と強い相関が見られる。木津川の対象区間では、全域的に植生域が拡大したために植生域と裸地域を選好する機能の割合が、過去30年間で特に1990年代を境に逆転していることが見てとれる。今後とも人為的な改変がないかぎり植生域は拡大傾向にあると推察でき、裸地域を選好するチドリやカワラバタなどの希少種の生息場は今後失われていく可能性が高い。

7. おわりに

本研究では、砂州河川の河川環境管理目標としてしばしば設定される「砂州景観の保全」を、生態系機能の視点から指標化・定量化をおこない、環境目標を実施段階ごとに目標設定できる枠組を、木津川下流部でこれまで蓄積してきたデータをもとに構成した。とくに砂州景観の特にどの場が河川生態系にとって重要であるのかを示すために、生物の生息適性と物質循環の生起場という二つの生態的機能に着目し、河川環境の定量的な評価を試みた。そこでは食物網上位種の生息に不可欠な生物のフラックスを意識した指標種の選定と生態系の相互作用によってもたらされる”生態系サービス”としての物質循

環指標を抽出し、それらを景観と関連付けることによって、生態的機能のレベル分類が可能となった。なお、この手法で、砂州が有する機能の時空間分布特性が把握できるため、過去からの変遷を見て、その河川にとって重要な機能が著しく低下しているならば、それを保全するような施策や過去のある時点での機能評価値を機能の回復に向けた目標として設定することも可能となろう。また景観と機能を関連付けて評価しているため、機能の回復・復元の議論は、河川景観管理施策に直接反映できる。またこの評価によって明らかになった機能の高い砂州の景観構成を手本に、他の砂州の景観管理を行うといったことも考えられるのではないだろうか。しかしながら、本研究では、場のポテンシャルは示せたものの、場と場の連結性やフラックスによって決定される機能の発現値の評価ができていない。また、個々の物質循環系や生物相のメカニズム研究についても今後精緻化が望まれるところでもあり、本論文はその道筋を示したに過ぎない。

謝辞：本研究は河川生態学術研究会（木津川研究グループ）の一部として実施した。また、文部科学省科学技術振興調整費による「伊勢湾流域圏の自然共生型環境管理技術開発」研究の一部を受け持つものでもある。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 尾花まき子, 辻本哲郎: 砂州河川の景観と河川生態系の構造にもとづく生態的機能評価へのアプローチ—木津川下流セグメントを例にして—, 水工学論文集, 第53巻, pp. 1183-1188, 2009.
- 2) 辻本哲郎, 竹下幸美, 尾花まき子, 井上佳菜: 砂州景観の生態的機能における生元素の表層貯留の役割, 河川技術論文集, Vol. 14, pp. 337-342, 2008.
- 3) 河川生態学術研究会木津川研究グループ: 木津川河川生態総合研究, 第2巻, 2008.
- 4) 山岸哲, 松原始, 平松山治: 木津川河川生態学術研究調査における鳥類の生態学的研究, 木津川の総合研究, pp. 569-614, 2003.
- 5) 松良俊明, 馬場徹弥, 山賀由貴: アリジゴクの空間分布を支配している要因は何か—木津川中州での調査結果, 日本応用動物昆虫学会要旨集, Vol. 45, 2004.
- 6) 遠藤彰, 遠藤知二: 木津川川原における訪花性昆虫群集の季節推移, 河川生態学術研究会木津川研究グループ木津川の総合研究, Vol. 2, pp. 163-180, 2008.
- 7) 中島拓男, 安佛かおり, 三田村緒佐武: 流路河床での脱窒による窒素除去, 河川生態学術研究会木津川研究グループ木津川の総合研究, Vol. 2, pp. 377-388, 2008.
- 8) Schade, J.D., Fisher, S.G., Grimm, N.B. and Seddon, J.A.: The influence of a riparian shrub on nitrogen cycling in a sonoran desert stream, Ecology, 82(12), pp. 3363-3376, 2001.
- 9) 中島拓男: 木津川調査対象砂州の細菌分布と脱窒活性, 木津川の総合研究, pp. 145-156, 2003.
- 10) かせ澤成希, 片貝武史, 鷺見哲也, 辻本哲郎: 木津川砂州表層の土壌・被覆条件と鉛直水輸送の空間分布, 河川技術論文集, Vol. 12, pp. 87-92, 2006.

(2009. 4. 9受付)