

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

ROLE OF BIOELEMENT STORAGE ON SUBSTRATUM
AS ECOLOGICAL FUNCTION IN SANDBAR LANDSCAPE

辻本哲郎¹・竹下幸美²・尾花まき子³・井上佳菜⁴

Tetsuro TSUJIMOTO, Yukimi TAKESHITA, 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 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)

³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)

⁴学生会員 名古屋大学大学院工学研究科 社会基盤工学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

The ecosystem conservation of river environment is the key for land management. 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.

A segment with alternate sand bars is focused on. The information about habitat of typical organisms with their life cycles and bioelement cycle (nutrients-organic matters) are concentrated on the "typical micro-landscapes" as ecological function in a river with alternate bars. These micro-landscapes are classified by frequency of inundation and surface materials as terrestrial part are formed as fluvial process during floods which occur a few times in a year, while alternate sand bars are governed by floods which occur once a few years. The results indicate an ecological function is a role of bioelement storage on substratum of respective micro-landscapes. In addition, by using aerial photos taken since 1967 with the data of cross-section surveys, GIS techniques makes a map of micro-landscapes for each sand bar and it provides the area proportion of respective micro-landscapes. For the Kizu river as an example, we have showed comparison of 10 bars at present and historical change of two typical bars from 60's to today.

Key Words : *ecosystem assessment, sandbar, bioelement storage, habitat, ecological function*

1. はじめに

交互砂州河川の環境目標として「砂州景観の保全」があげられるが、その具体的施策を明確にするには、どの砂州のどの部分が河川生態系として重要なのかを明確にする必要がある。生態系としての重要性を判断する鍵として、典型性で代表される生物種に提供される生息場と、生態系を支える生態系サービスの基本となる物質循環で重要な役割を果たしている場がある。本論文では、こうした「場」が砂州景観の中でどのようなサブ砂州スケールの景観要素として配置されているのかに着目し、砂州景観の生態的役割評価をしようとする。まず評価を行うための枠組みを構成し、とくに生元素物質循環過程における表層での生元素を含む物質(有機物・栄養塩)の貯留量に着目した評価を試みる。

2. 河川生態系の構造と生態的機能

対象とした淀川水系木津川では、砂河川の交互砂州形成区間(セグメント)の典型として、河川生態学術研究会¹⁾のグループが、さまざまなフィールド研究を蓄積してきた^{2), 3)}。主として、縦断勾配、河床材料および背後地景観で特徴付けられる「セグメント」の中には、図-1で示す木津川に見られるように、交互砂州が出現するようなStructureと呼ばれる河道の骨格構造があり、その代表的な区間でその特徴を把握することができる。さらにそれをクローズアップすると、それがより小さいスケールのさまざまな類型景観のパッチから成っていることが分かる。滞筋、二次流路やわんど、たまりなどの一時水域、水際、礫帯や細砂マウンドなどの裸地、草地や樹林域などの植生域などである。ここでは、それらの「サブ砂州スケール類型景観」をTextureと呼んでいる。



図-1 砂河川の交互砂州区間とその構造

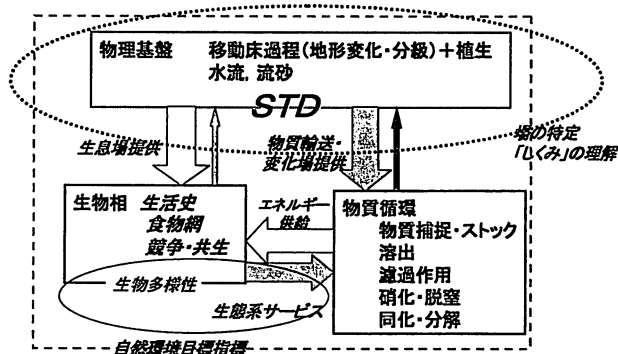


図-2 景観が有する生態的機能

こうしたTextureは毎年何度か来襲する出水で形成・維持される。すなわち、各々の景観はDurationと呼ばれる寿命を有している。つまりセグメントの特徴は、STD (Structure, Texture, Duration) に規定されている。このような移動床過程によって規定された物理基盤は、生物相に生活史とかかわって生息場を提供しており、また生態系サービスの基本となる物質循環 (生元素の輸送・変化過程) の担い場ともなる生態的機能 (ecological function) を有している (図-2)。こうした河川の特徴的な場と生態的機能は密接に結びついていることは確か⁴⁾だが、それらの機能が特徴的な場のどの部分で起こっているのかは未だ明確にされていない。そこでまず上記のSTDという概念に基づき、「サブ砂州スケール類型景観(Texture)」をより客観的に抽出することから始める。さらに物質循環過程における生元素の表層貯留に着目し、それが分類された場の主にどの部分を利用して起こっているのかを解明する。本論での「景観」とは、上述のように砂州景観といった物理基盤とともに、そこに生態系が存在し、さらにそれが機能を発揮している状況という3つの要素を包含するものとして定義している。

対象区間は、淀川三川合流地点より上流の木津川約9kmから12.6kmとする。平均河床勾配が1/1150の砂床で、区間内には下流からナンバリングされた20の砂州が存在している。本論では、その中でも特に表層景観が異なる

表-1 類型景観の整理

景観要素		分類基準
人工景観	天端	河川堤防の天端
	法面	河川堤防の天端法面
	人工物	橋梁, グラウンド
	耕作地	河道内の畑地
	水路	支川, 排水路
河相景観	高水敷植生域	1700(m ³ /s)で冠水しない植生域
	高位冠水帯植生域	500(m ³ /s)で冠水せず, 1700(m ³ /s)で冠水する植生域
	中位冠水帯植生域	100(m ³ /s)で冠水せず, 500(m ³ /s)で冠水する植生域
	低位冠水帯植生域	20(m ³ /s)で冠水せず, 100(m ³ /s)で冠水する植生域
	高水敷裸地域	1700(m ³ /s)で冠水しない裸地域
	高位冠水帯裸地域	500(m ³ /s)で冠水せず, 1700(m ³ /s)で冠水する裸地域
	中位冠水帯裸地域	100(m ³ /s)で冠水せず, 500(m ³ /s)で冠水する裸地域
	低位冠水帯裸地域	20(m ³ /s)で冠水せず, 100(m ³ /s)で冠水する裸地域
	水域	表流水, 一次水域

表-2 航空写真の記録情報と横断測量年

撮影年月日	記録状況	カラー/白黒	日平均流量(m ³ /s)	流況	横断測量年
1967年8月7日	航空写真	白黒	12.0	洪水	1968
1974年3月3日	航空写真	カラー	11.5	洪水	1976
1985年11月3日	航空写真	カラー	13.0	低水	1984
1995年10月13日	航空写真	カラー	19.6	平水	1995
2004年1月1日	航空写真のコピー	カラー	23.4	低水	2004

一対の典型的な砂州 (以下、各々を10番, 11番砂州と呼ぶ。図-1参照) に着目する。10番砂州は、数mm~数cmの表層が砂礫で構成されている裸地砂州であり、11番砂州は広範囲を植生で覆われた植生砂州といった特徴を有している。

3. 景観要素の分類とその把握

(1) 景観要素分類図の作成

対象区間のTextureをより客観的に抽出するため、表-1のように景観の分類と整理を行った。河川景観として、まず人工区分と河相区分を考え、後者については異なる生態的機能を有する境界条件ともなる洪水規模別の冠水幅に着目して細分類し、水位が低いものから順に低位, 中位, 高位冠水帯, 高水敷と名づけた。

航空写真(表-2)による画像解析については、片貝ら⁵⁾の手法を用いて行い、さらに定期横断測量データを用いた準二次元不等流解析により算出した水位を重ね合わせ、図-3に示すようにサブ砂州スケール類型景観を標準的に図化した。10, 11番砂州においては、過去5ヵ年分の図 (以後、それを景観要素分類図と呼ぶ) を作成し、区間

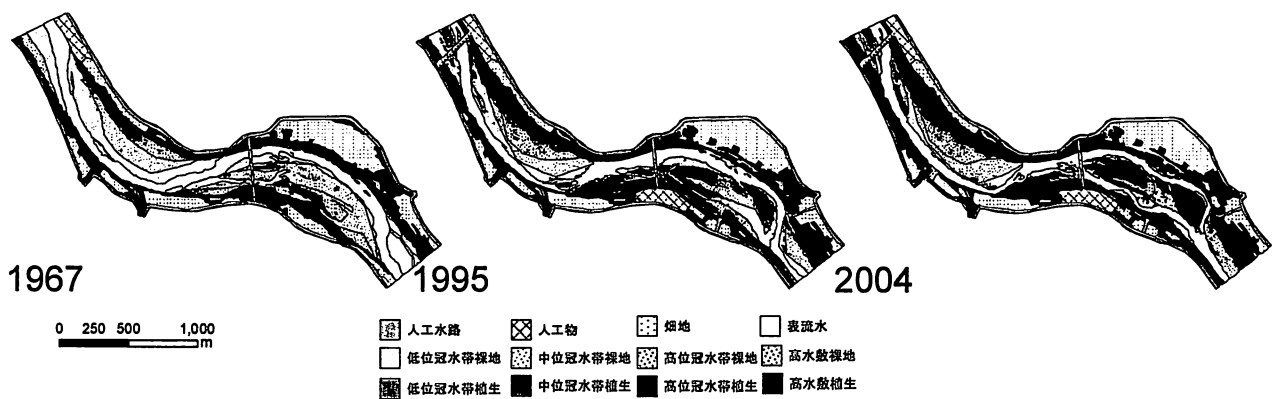


図-3 10, 11番砂州における景観要素分類図(2004年)

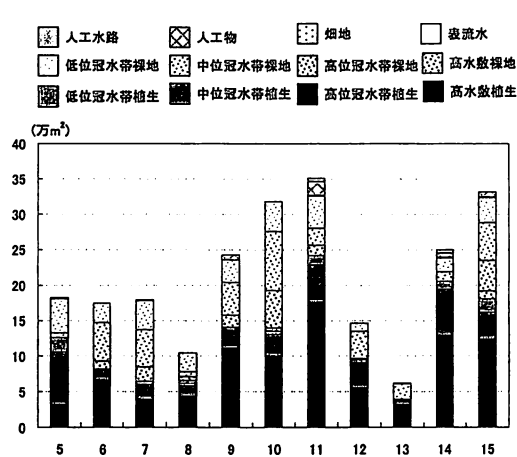


図-4 区間内砂州(5-15番)における景観要素の空間分布

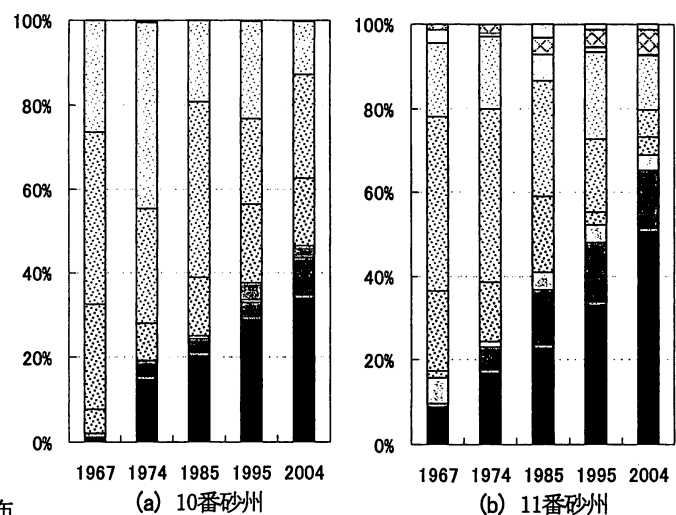


図-5 10, 11番砂州における景観要素の変遷

内の5から15番砂州においては、2004年度の航空写真を用いて各砂州の分類図を作成した。

ここで、準二次元不等流解析に用いた流量条件としては、木津川の流況に基づき、4パターン($Q=1700, 500, 100, 20 \text{ m}^3/\text{s}$)を設定し、本論文では各々を大規模洪水(年平均最大流量)、中規模洪水、小規模洪水、平水と呼ぶことにした。

(2) 景観要素の時空間分布特性

景観要素分類図を作成したことによってGISを用いて、各景観要素の面積占有率を算出することができた。それによって、過去50年の分類図を作成した10, 11番砂州では、各景観要素の時間分布とその変遷が把握できた。また、対象区間に存在する5から15番砂州の景観要素分類図(2004)を作成したことによって、各景観要素が、着目したセグメント内に占める割合を空間的に把握することができた。以上のような結果を考察すると、10, 11番砂州では全域において、植生域の割合が大幅に増大していることが分かる。特に、裸地砂州として認識されている10番砂州の高水敷寄りからの植生域の拡大が目立って

きている。さらに、高位冠水帯の割合が増加し、低位冠水帯の割合が減少している。また、本セグメント内の砂州は、全域的に植生域の割合が高いという特徴が見てとれる。

4. 物質循環場における生元素の表層貯留の役割

先述したように、河川空間における場はさまざまな生態的機能を有しているが、本論文ではとくに生息適性にかかわる物理的要因以外の栄養塩・有機物など生態的物質の流れに依存するもの、あるいは水質を規定する窒素動態などに関わる砂州表層での「貯留」に着目した。これまでの研究でも、表層貯留物質の鉛直浸透が伏流過程を通しての物質循環に大きな影響をもたらすことが指摘されている⁹⁾。ここでの貯留とは、洪水時の捕捉、流出に規定され、これらと景観や洪水規模との関連を現地サンプリングと人工降雨による溶出実験で調べた。

(1) 現地調査の概要

現地調査の対象となった10番, 11番砂州において、分類した景観要素のうち、低・中・高位冠水帯の裸地と植

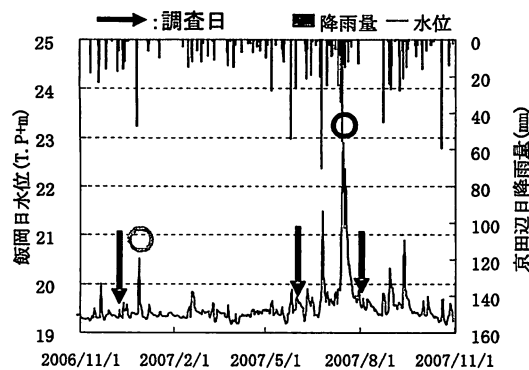


図-6 調査日の降雨量と水位
(飯岡水位観測所、京田辺気象観測所)

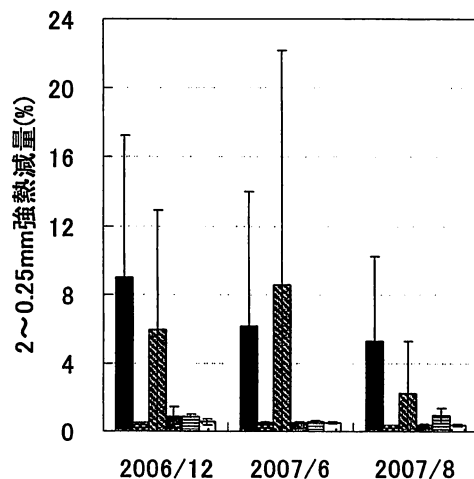
表-3 物理基盤指標の整理

分類景観		物理基盤指標				
		粒度		比高	冠水率	保水性
		30%粒径 (標準偏差) (%)	60%粒径 (標準偏差) (%)			
高位冠水帯	植生	0.65 (±1.12)	2.08 (±4.27)	3.80 ~ 1.90	1.4	高
	裸地	1.30 (±0.79)	3.96 (±2.96)			低
中位冠水帯	植生	1.01 (±1.04)	2.24 (±2.69)	1.90 ~ 0.56	12.5	中
	裸地	1.30 (±0.46)	3.48 (±0.86)			低
低位冠水帯	植生	0.79 (±0.68)	1.75 (±1.69)	0.56 ~ 0.00	63.1	中
	裸地	1.43 (±0.75)	4.07 (±2.93)			低

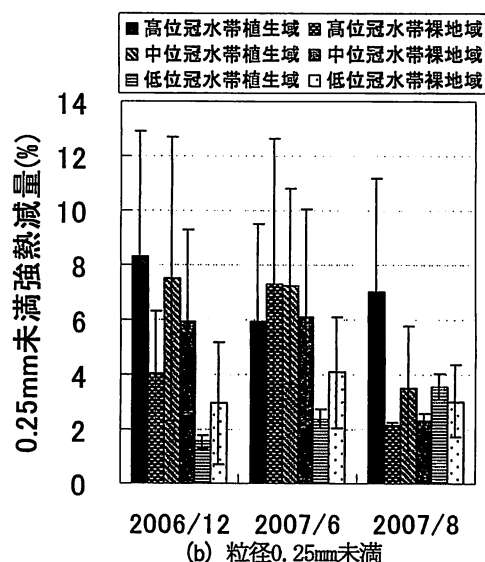
生域という6つの景観要素に対応した土壌特性の変化を把握できるように、砂州全域を覆うように合計23地点で実施した。調査は、図-6に示すように計3度行った。調査日と洪水規模との関係は以下のとおりである。すなわち最初の調査後に景観分類で規定した低・中位冠水帯が全て冠水するような中規模洪水(250m³/s)が発生しており、また2度目と3度目の調査の間に、冠水帯全てが冠水するような大規模洪水(1550m³/s)が発生している。調査内容は、各地点で地形測量を行い、砂州表層土壌をサンプラー(100ml)とカラム(内径10cm、高さ10cm)とで採取し、河床材料の粒度分析、土壌保水試験および河床材料に含まれる栄養塩・有機物量の分析に供した。

(2) 物理基盤指標の整理

各景観要素がどのような物理基盤特性を有しているのかを明らかにするため、比高、冠水率、粒度、土壌の保水性を物理基盤の指標として抽出した。比高は、地形測量の結果を用い、平水時の河川表流水位を基準として算出し、冠水率は2007年の木津川流況より、各景観要素が



(a) 粒径2-0.25mm



(b) 粒径0.25mm未満

図-7 各景観要素の有機物量

年間で冠水する時間をパーセンテージで表した。また、現地にて採取した土砂を用いて、粒度を調べるために、JIS A 1204に基づいて粒度試験を行い、保水性を測るために、土壌水分特性試験を行った。表-3に示した結果により、各景観要素が有する物理指標レンジが明らかになった。

(3) 生元素(有機物・栄養塩)の表層貯留

既述したように、本論文における貯留とは、洪水時の捕捉、流出現象に規定されている。現地調査において把握される物質量を保持量(平均含有率)とし、3度の測定値の平均をとった。また、2度の洪水(中・大規模洪水)を挟む現地調査で採取した土壌中の物質量(含有率)を調べ、その変化を見ることによって捕捉と流出現象を考察する。以上のような観点から、有機物・栄養塩量の分析を行った。

a) 有機物

JIS A 1226に基づいて強熱減量試験を行った。既往の研究において、微細砂での有機物含有量が高いことが明

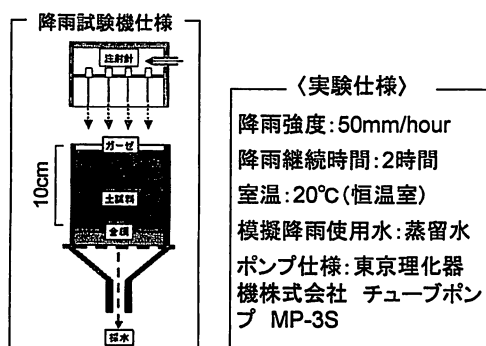


図-8 降雨試験機と実験仕様

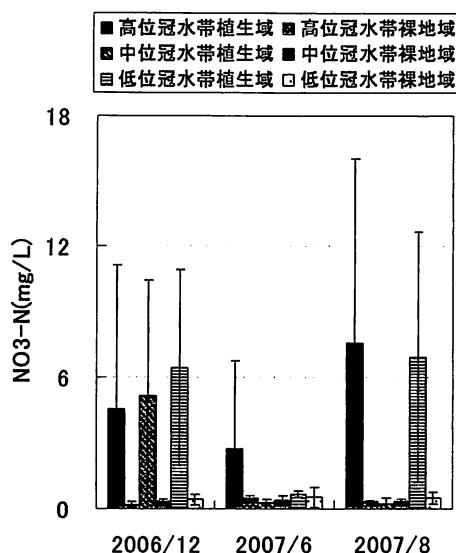


図-9 各景観要素ごとのNO₃-N濃度

らかにされていることから⁹⁾、試料は粒径2mm～0.25mmのものと0.25mm未満のものと大別して使用し、各々の有機物量を調べた。ただし、肉眼で見える植物体は可能な限り取り除いた。6区分の景観分類ごとに整理した粒径2mm～0.25mmの結果を図-7(a)に、0.25mm未満の結果を図-7(b)に示す。

b) 栄養塩

砂州表層土壌における栄養塩量は、土壌カラムからの人工降雨による溶出試験を行うことで把握した(図-8参照)。砂州表層における栄養塩量の把握は土壌に含まれる栄養塩の総量を表す総栄養塩、または降雨などにより容易に土壌間隙水へ溶出する水溶性栄養塩として土壌中から化学的に分離させて量を測定することが多い。しかし、実際に砂州上で有効かつ迅速に利用される栄養塩は、降雨により土壌から流出することができるもののみである。よって、現地にて採取したカラムに人工降雨を与えることで、降雨によるカラムからの栄養塩流出実験を行い、土壌の塩類保持傾向を分析した。人工降雨により溶出した水を採取してイオンクロマトグラフィー (TOA DKK IA-200) による主要イオンの濃度分析を行った。分析項目は、陰イオン (NO₃⁻, NO₂⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻) であるが、特に土壌に吸着しにくく、富栄養化の指標として河川水

表-4 各景観要素の生元素の捕捉・流出機能

分類景観	保持量 (平均含有率)	捕捉による 含有率の変化		流出による 含有率の変化	
		中規模		大規模	
		(%)	(%)	(%)	(%)
高位冠水帯	植生	△△△ □□□ ○○○		△△△ □□□ ○○○	△
	裸地	△△△ □□□ ○○○	△△△ □□□ ○○○	△△△ □□□ ○○○	△ □□□ ○
中位冠水帯	植生	△△△ □□□ ○○○	△△△ □□□ ○○○	△△△ □□□ ○○○	△△△ □□□ ○
	裸地	△△△ □□□ ○○○	△△△ □□□ ○○○	△△△ □□□ ○○○	△△△ □□□ ○
低位冠水帯	植生	△△△ □□□ ○○○	△△△ □□□ ○○○	△△△ □□□ ○○○	△△△ □□□ ○
	裸地	△△△ □□□ ○○○	△△△ □□□ ○○○	△△△ □□□ ○○○	△△△ □□□ ○

△△△:6.8～3.0(%) △△:3.0～1.0(%) △:1.0未満(%)
 □□□:7.1～3.8(%) □□:3.8～1.4(%) □:1.4未満(%)
 ○○○:6.3～2.0(%) ○○:2.0～0.5(%) ○:0.5未満(%)
 △:2～0.25mmの有機物量, □:0.25mm未満の有機物量, ○:NO₃-N

の水質指標となるNO₃⁻に着目した。有機物量と同じく、6区分の景観分類ごとに整理したNO₃-N濃度の結果を図-9に示す。

(4) 結果と考察

各景観要素における有機物・栄養塩の保持量と洪水規模別の捕捉、流出の関係をより明確に把握するため、表-4に整理した。場の特性により各々の含有率がどのように変化しているかを簡潔に把握することが重要であり、表-4のように各々の数値を3段階に大別し、記号によって量の増減を表現した。

礫床河川多摩川における出水前後の有機物と栄養塩の挙動を例にとると、両者ともに大規模洪水で流出し、中規模洪水で捕捉されることが戸田ら⁹⁾により明らかにされている。本研究での結果で示されたそれと相反する有機物と栄養塩の挙動について考察する。

まず、高位と低位冠水帯植生域で、大規模洪水による捕捉と中規模洪水による流出が確認された。また、中位冠水帯植生域での大規模・中規模洪水による流出も見られた。高位冠水帯植生域での捕捉については、減水期が長期にわたることのほか、冠水はするものの比高が高いため、掃流力が弱まり植生が物質を溜め込むことが予測される。同じく低位植生域の捕捉については、低位での植生が形成する複雑な地形(たまりや窪地)の存在によるものと推察される。中位冠水帯植生域での大・中規模洪水による流出については、植生域が裸地域を遮蔽することにより起こる底質の巻上げが考えられるが、検討を要する。また、中位での流出に

おける物質の挙動は、細粒分と栄養塩については大・中規模洪水で流出するが、大きい有機物に関しては大規模洪水での流出、中規模洪水での捕捉という特異な結果が示された。また、表-4での網掛部分は中規模洪水では冠水しない高位冠水帯における現象であるため、水理現象により生起するものではないと判断し、検討外とした。

結論として、木津川砂州は多摩川に比べ、比高が高く植生の侵入による変化に富んだ複雑な地形が、上述のような現象の要因になることが推察できる。また、有機物と栄養塩の挙動は、特に上述した中位冠水帯植生域において異なることが示されたが、これについては今後さらなる検討を要する。

(5) まとめ

本研究により、得られた知見を以下に示す。

- a) 有機物と栄養塩の捕捉と流出、また保持量を景観要素ごとに特徴づけることができた。
- b) 有機物と栄養塩の挙動は異なることが示唆された。
- c) 景観要素の面積占有率の変遷整理と物質循環機能の特徴づけにより、単一の砂州での捕捉・流出機能の増減が把握できた。
- d) 空間的な面積占有率の把握により、各砂州における捕捉・流出機能が把握できた。

5. おわりに

本論では、砂州景観の生態的役割評価をしようとするために、まず評価枠組みを構成し、とくに生元素物質循環過程における表層での生元素を含む物質(有機物・栄養塩)の貯留量に着目した評価を試みた。

航空写真で認識されるTextureと洪水規模別冠水エリアで景観要素区分をおこない、それに含まれる微細構造、物理指標レンジ、物質循環機能の一端を担う有機物や無機物の捕捉、流失特性、あるいは貯留量などのレベルの分類が出来た。さらに、各景観要素の面積占有率の砂州別の相違および特定の砂州でのそれらの経年変化を調べ、砂州景観の生態的機能の時空間特性を明らかにした。本論文では、特に物質循環機能の貯留現象に着目して砂州

景観の生態的役割の評価枠組みを示したが、今後典型的注目種の生息適性や、物質循環における伏流入部濾過、硝化や脱窒の卓越性などとともに、それらの重要域がどのような景観要素に含まれているかが明確にされると、砂州での各景観面積要素占有率を用いて砂州の生態的機能が評価されと考えている。

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」の研究における河川の生態系機能評価手法構築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) <http://www.rfc.or.jp/seitai/seitai.html>
- 2) 辻本哲郎：木津川河川生態学術研究の展開状況，河川技術論文集，Vol. 7，pp. 351-356，2001.
- 3) 辻本哲郎：木津川砂州をフィールドとした河川生態に関する生態学・河川水理学の共同研究，河川技術論文集，Vol. 8，pp. 7-12，2002.
- 4) 辻本哲郎：河川生態系の評価と保全・再生のための課題，河川技術論文集，Vol. 12，pp. 105-110，2006.
- 5) 片貝武史，井上佳菜，竹下幸美，辻本哲郎：木津川砂州における景観要素の構成とその変遷の把握，河川技術論文集，Vol. 12，pp. 105-110，2006.
- 6) 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.
- 7) 片貝武史，亀井文史，鷺見哲也，辻本哲郎：木津川植生砂州における伏流水輸送と窒素動態，河川技術論文集，Vol. 12，pp. 489-495，2006.
- 8) 宮脇真二郎，高松伶介，戸田祐嗣，辻本哲郎：裸地砂州の土壌粒度および栄養塩・有機物量の空間分布に関する現地観測，河川技術論文集，Vol. 11，pp. 339-344，2005.
- 9) 戸田祐嗣，池田駿介，浅野健，熊谷兼太郎：礫床河川における出水前後の高水敷土壌の変化に関する現地観測，河川技術論文集，Vol. 6，pp. 71-86，2000.

(2008. 4. 3受付)