

砂州景観保全を河川生態工学からどう意義づけるか

SIGNIFICANCE OF SANDBAR LANDSCAPE PRESERVATION FROM VIEWPOINT OF RIVER ECOLOGY AND ENGINEERING

辻本哲郎¹

Tetsuro TSUJIMOTO

¹正会員 工博 名古屋大学教授 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 river law in Japan was modified in 1997, and the eco-system preservation became one of the purposes of river management as well as flood control and water resources utilization. However, we have not yet developed the science and technology from the viewpoint how to preserve the river ecosystem. Compared with the target of flood control and water resources service, it is still under discussion about the target of the river-basin environment.

On the other hand, we have conducted a cooperative research in several typical reaches in some rivers among ecologists, biologists, limnologists, hydrologists and hydraulic researchers and engineers since 1995. In the Kizu river, a reach in the segment with alternate sand bars was chosen. Since 1998, And we have cooperated the integrated study on ecosystem on a sand bar.

In this paper, the discussion on the target to the river ecosystem preservation and the results of the first phase of the cooperative research of ecology and river hydraulics are intended to be combined from the view point why we have to conserve the sandbar landscape and how to realize it.

Key Words : *River ecosystem, sandbar landscape, ecosystem preservation, habitat suitability, water quality, change in nitrogen composition*

1. まえがき

1997年わが国では河川法が改正され、治水・利水に加えて環境も河川整備・管理の目的に加えられ、とくに環境面では生態系保全の視点が強調された。治水ではたとえば100年に一度の降雨に対し水災安全度を確保する、利水では10年に一度の渇水を目標とするなど、整備目標が明確になっているが、環境とくに生態系保全の視点で目標が明確化されないため、現在逐次進められている河川整備基本方針のなかでも情緒的表現にとどまっていたり、単なる配慮事項の域を出ないでいる。これは、保全すべき生態系を明確に表現する指標が確立されていず、またその指標に基づいた数値目標が明確化されていないことがその原因としてあげられる。河川法改正の前後から、河川水辺の国勢調査のデータが蓄積され、また河川生態学術研究会(委員長:大島康行(財)自然環境研究センター理事長(2003まで)、現在山岸哲山階鳥類研究所長)をはじめ、いくつかの河川生態にかかわる研究もその成果を蓄積してきたものの、上記のような視点の議論

にその成果を結集させないで来た。

本論文では、著者が河川生態学術研究でかかわってきた木津川グループの研究成果とそのワーキンググループでの研究の第2フェイズの向かっての議論を受け、生物・生態、陸水、水文・水理学の共同研究の学際構築されてきた「河川生態工学」が、河川(あるいは流域)整備・管理のなかでの目標設定とその手法にその成果をどのように生かせるかについて考察したものである。ケーススタディとしてとりあげる木津川下流部は交互砂州が形成される砂河川のセグメントで、1998年以来、典型リーチとして選ばれた淀川への合流点から12km地点の砂州を対象として共同研究が進められてきた^{1), 2)}。その第1フェイズの成果が2003年12月、「木津川の総合研究—京田辺地区を中心として」³⁾にまとめられている。一方、国土交通省淀川河川事務所や流域委員会では、住民や学識者の意見も参考に木津川的环境目標をとりまとめており⁴⁾、木津川のこのセグメントにおいては「砂州景観の保全」を謳っている。これは、直感的・情緒的に理解しやすいが、これをどのように河川生態学術の成果から客観的に位置づけ、またそこからどのように施策をさぐるか

については、やはり、指標化に基づいた目標の定量化が出来ていないため、きわめて不十分な状況といつてよい。

2. 河川生態系の理解

河川生態を議論するときに、それがさまざまなスケールの複合として成立していることの認識がまず重要である。これは、実際には流域の他の機能(治水・利水)を議論するときにも実は重要であるのだが、すなわち、流域～水系～セグメント～リーチの階層性である。リーチはたとえば、砂州が卓越する河川区域(セグメント)では、砂州一波長分を含むから、必然的に伴う瀬・淵を2ペア含む。砂州の一つ一つの特徴はともかく、統計的に同一母集団を想定する。砂州セグメントでは砂州スケールがリーチスケールであり、ひとつのまとまりのある景観(landscape)である。サブ砂州スケール(砂州よりも小さい空間スケール)のなかにもさまざまな典型的な景観がある(サブ砂州スケール類型景観)。統計的母集団という視点で同一でも個性のあるいくつかの砂州が配置されたセグメントが、メソスケールの景観を作っているし、それは河道だけでなくその周辺も景観に取り込んでいる。沖積河道の氾濫原の自然堤防やその背後湿地などである。

こうした階層性を持つ「景観」の塊として河川・流域を理解し、とくに「河川整備・管理」としてここではセグメントのスケールで「環境目標」を考えることを想定する。

たとえば、砂州セグメントの「目標景観」を考えるにあたっては、その構成要素の砂州のスケールがどのようなサブスケールの類型景観から構成されておりそれらがどのような役割を果たしているかに注目することが第1で、それによって個々の砂州のセグメントにおける役割が認識できるだろう。そしてセグメントが水系(上流から下流まで)のなかで果たす役割を認識し、水系の流域での役割を認識するという手法である。セグメントの「環境目標」は、それより小さいスケールの類型景観の役割を制御するとともに、セグメントの目標が水系・流域の目標の中で果たす位置づけを考えることでもある。

図-1は今回の対象である木津川流域とそこに占める対象セグメント(0～20km)である。平均勾配は1/1150、平均年最大流量は1800m³/秒、平均川幅300m程度で河床材料は2～5mmの砂である。このセグメントで木津川河川生態学術研究会が選んだリーチは12km付近の砂州で、その航空写真を図-2に示す。航空写真に見られるように、砂州の中にはさまざまなサブ砂州スケール類型景観がある。この景観の基盤は、河川地形や氾濫原地形で、流域の表層地形や水文特性に依存する流況と土砂流出現象に起因するものである。このリーチでは、たとえば、本流域の瀬と淵、水際、またわんど、たまり(列)、二次流路などの一時水域(temporary water)、裸地(細粒マウンドや粗粒化帯など)、草地・灌木林・高木林などの植生域

(水域・陸域、表層粒度、微地形、植生の有無)、それに加えて伏流域(hyporheic zone)が、サブ砂州スケール類型景観としてあげられる。図の下方に示すように、この河道域では1年に数回3m以上の水位上昇があり、砂州のかかなりの陸域が冠水、地形変化や分級などの移動床現象や植生の破壊が見られる。

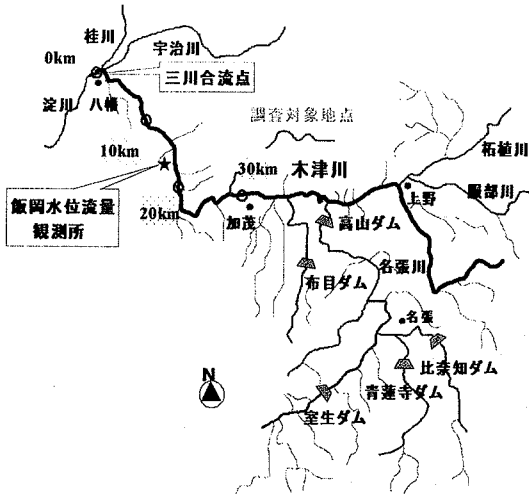


図-1 木津川流域

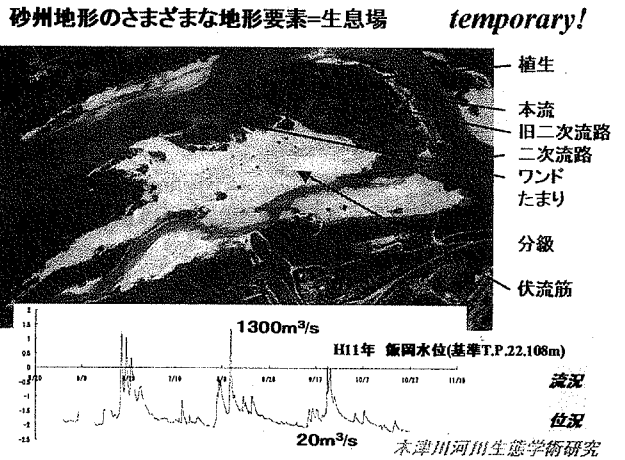


図-2 木津川河川生態研究の研究サイトとなった砂州

こうした基盤の上に、それらに応じて生態系が作られ「景観」を呈している。これを把握することが重要である。生態系は生物のさまざまな種・群集の「生息場」(habitat)としてまず認識される。それらが持続的(sustainability)であるためには、さまざまな種の生物の生活史に応じて要求される場と食物連鎖でかわるさまざまな生物の存在(bio-diversity)が必要となる。言い換えれば、無機的環境としてのhabitatと食物連鎖・競争・共生といった生物相互作用の側面をあわせもつシステムと理解される。すなわち、河川生態系にあつては、さまざまな類型景観からなる河道がさまざまな種・群集に生息場を提供し、さまざまな種・群集が生物相互作用系を作り上げているとみられる。こうした生息場提供が「河道」の役割となる。一方、このような物理・化学系と

生物相互作用から成り立つ生態系は、翻って、河道の無機環境にも影響を及ぼしている(生態系のサービス)。地形形成や水質形成がそれである。この両者を的確に把握できると、たとえば、木津川における砂州景観はさまざまな種・群集の生物系に生息場を提供し、逆にそこに生息する生物群集は地形・水質形成を通して人間活動に影響する。こうした生態系のサービスの評価は保全戦略を前進させるものである。たとえば、木津川にあっては、硝酸態窒素濃度の経年変化(図-3に国土交通省水質データベースをまとめた)は、塩化物イオン濃度の季節変化と比較して、生態系の活動が活発な夏季における顕著な現象が傾向として見て取れる(脱窒過程が示唆される)。こうしたものを「生態系の河川へのサービス」と見、ハビタート提供を「河川の生物群集へのサービス」と見て、両者を評価することによって、「生態系を保全する価値」を評価しようとすることを提案する。このように河川と生態系を互恵の関係に見ようとするのがこの考え方の背景である。

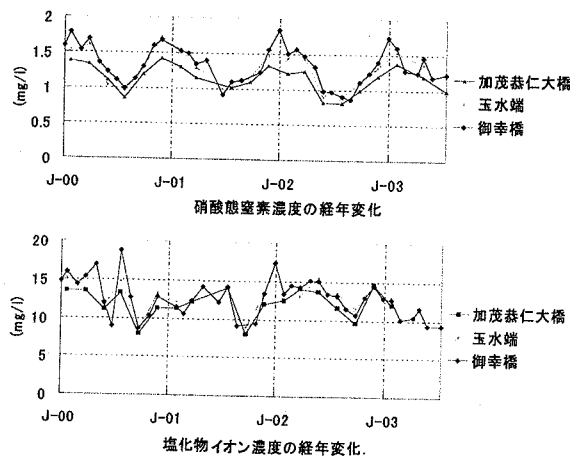


図-3 木津川水質の季節変化(Jは各年の1月を示す)

3. 河川景観と生態系の変遷・変質

生態系保全を考えるのは、人間活動によって前章で定義した「生態系の機能」が低下することに対するものである。人間活動のインパクトは河道のなりたちである流況や土砂輸送状況を変化させ、それによる移動床過程の変質が生態系にも及ぶものである⁵⁾(図-4参照)。

前章では、生態系を「生息場」と「生態系のサービス」とで測ることを提案したが、生物の視点からすれば、あるいは「持続性」の視点から見れば、「種の多様性」(biodiversity)や個体数そのものも、生態系の質(健全さ)を測る基礎的指標に違いない。その意味で、生態系の質を図-5のように抽象的に定量表現することを提案する。この図では、横軸に生物量や多様性にかかわる指標(量)をとり、縦軸に生息場、生態系のサービス(機能)にかかわる指標(量)をとっている。この両軸で形成される平面上

に生態系の状態が示される。たとえば、「もともとの自然」は両軸の値の高い位置にプロットされるであろうが、現在はしばしば図に示すように質低下した状態で、それは両方の軸における低下であることが多い。こうした質低下が生じないようにアセスメントが講じられる。一方、質低下した状況をもとの自然に戻そうというのが Restoration(自然復元)であろうが、それには生息場、機能の向上を図るのと、生物量、種数など増大する2つの側面と手段がある。一般に河川のように水系でつながり、かつ固有性の高い場では、生物の移入は難しい問題を抱えており、縦軸にかかわる値の向上を工学的に目指す。こうした Restoration 手法は Rehabilitation と呼ぶのが適切だろう。

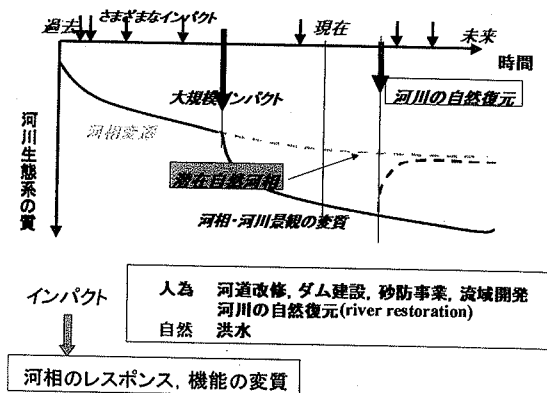


図-4 河相変遷と河川生態系の質低下

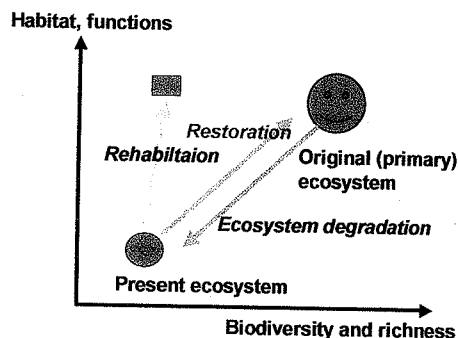


図-5 木津川水質の季節変化

航空写真と定期横断測量結果(国土交通省淀川河川事務所提供)によって把握された木津川下流の典型的な河道変遷は以下のようなものである。主たる人的インパクトは、1970年代の上流域ダム群建設と下流の淀川本川河道掘削である。主として後者が原因で、木津川下流部の河床低下は下流から上流に進行する形で進行し、砂州のなごりとしての陸域と低水路との比高が増大し、おおむね下流から植生化が進行してきている⁶⁾(図-6参照)。加えて、主として水田利用されていた氾濫原の宅地・市街地化も近年の著しい傾向として見てとれる。

砂州の樹林化については、カワヤナギを対象としてそのパイオニアとしての領域拡大と洪水による生育地盤の流失による植生域破壊をモデル化してそのプロセスをシ

ミュレーションしたが⁷⁾、手取川などの礫床でなく木津川砂河川ではパイオニア植生はむしろ1年生草本であり、草本植生域の定着とその後の樹林化という2型のプロセスを考えるべきであることがわかっている⁶⁾。こうした研究は、砂州の河道における平面形との関連や上・下流砂州の植生繁茂状況との関連でどのように変遷していくかの概略を示唆する。

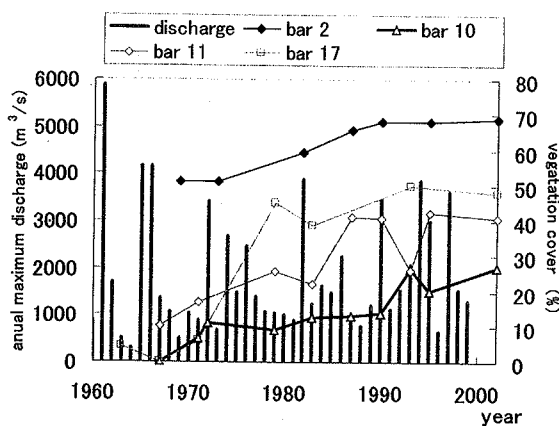


図-6 木津川下流での砂州別植生占有面積比の変化

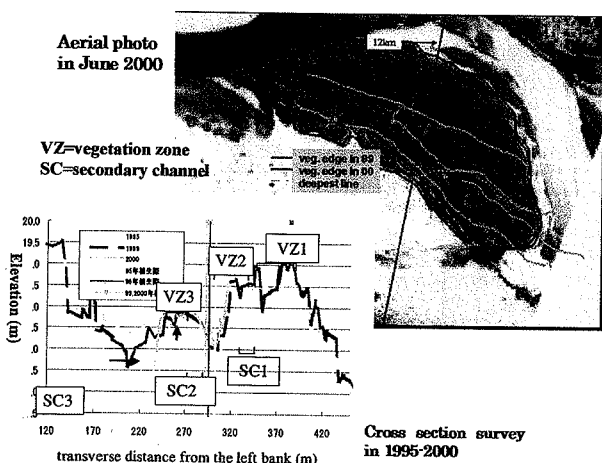


図-7 木津川12km砂州での植生域拡大過程

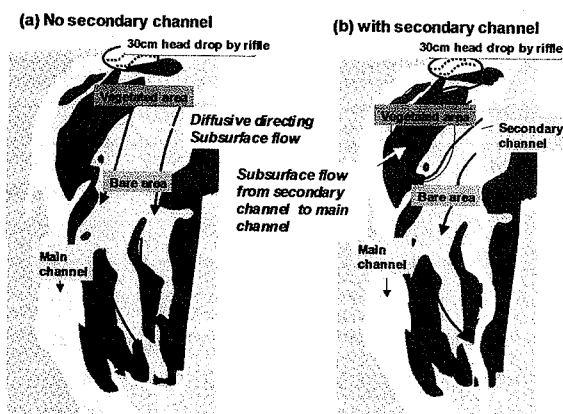


図-8 表層地形・表面流況と伏流挙動

また12km砂州に着目した地形変遷の分析⁸⁾でも、植生繁茂と畦状地形、二次流路の変遷の特徴が明らかにされており、さらに二次流路の発達と盛衰がたまり列、わんどと関連していることがわかっている。こうした研究が、将来のいくつかの砂州の変遷、とくにサブ砂州スケールの類型景観の変遷を予測することを可能とする。

なお、表層地形とそれが規定する表流水環境の変化は、伏流環境にも大きな影響を与える。二次流路の存在やタマリ列の散在は伏流環境を規定している^{9), 10)} (図-8参照)。こうした研究は、表層地形変化の将来変化予測から伏流挙動の将来的な変化の予測を可能にするものである。フィールドとなった砂州ではおおむねの砂屑厚さや代表的な砂州の構成材料粒度などが知られ、伏流挙動のシミュレーションが可能となっている。

4. 木津川砂州の典型生物とその生息場

木津川河川生態学術研究グループでは12km砂州をフィールドに、物理環境(地形、表流水、伏流水)、化学環境のほか、微生物、植生、底生動物、陸上昆虫、魚介類、爬虫・両棲類、鳥類、哺乳類など砂州に生活を展開するあらゆる生物の種類を調査するとともに、砂州を典型的な生息場とする生物の生態が研究された。このリーチに典型的な生態を紹介すると以下のようなものである。

最初の着目はアリジゴク(クロコウスバカゲロウの幼虫、*Hagenomyia micans*)の営巣である(松良俊明³⁾)。乾燥して粒度のそろった砂地が営巣に適している。植生域(主として灌木の孤立植生域)背後に分級されて形成される砂のマウンドに生息密度が高い。冠水する洪水で巣は破壊されるが、洪水がなければ分級によって最適な生息場が更新されないし、植生(ツルヨシ*Fragmites japonica*など)の侵攻によって喪失する。

比較的攪乱が多い砂地を利用する2種の草本も着目された。一つはカワラヨモギ(*Artemisia capillaris*)で(西野貴子³⁾)、他の一つはシナダレスズメガヤ(*Eragrostis curvula*) (松井淳³⁾)で、後者は外来種でしばしば、砂州域の攪乱域を占有してしまう。砂州上の掃流砂頻度とこうした植生の関連が推測される。

なお、水際にはツルヨシが繁茂し、ツルヨシが捕捉したシルトや植生の枯死した残骸からなる微高地にはカナムグラ(*Humulus japonicus*)さらにセイタカアワダチソウ(*Solidago altissima* L.)の群落というように植生領域の拡大が生じている。すでに述べたように樹林化は草本化した領域からの植生遷移と位置づけられ、このセグメントでは主としてヤナギ類(オオタチヤナギ*Salix pierottii*, カワヤナギ*Salix gilgiana*, アカメヤナギ*Salix chaenomeloides*, ジャヤナギ*Salix eriocarpa*ほか)である。こうしたヤナギの成長特性や発芽特性が調べられた(松井淳³⁾)。

礫帯は洪水時にアーチャー化した名残である。このよう

に、砂礫地はさまざまに分級されていくつかの類型パッチを形成している。これに対してチドリ類(コチドリ *Charadrius dubius*, イカルチドリ *Charadrius placidus*, シロチドリ *Charadrius alexandrinus*)が、粒径別に営巣場所を選択していることが明らかにされた(シロチドリは粒径5mm以下の細かい礫面を選好するのに対してコチドリは25mm以上の粗い礫面を選好している)。鳥類研究グループでは表層砂礫図を作成して、営巣環境の選好性の空間分布を表現した。一方、こうした表層礫の粒径は洪水時の分級とかかわっており、近似的には洪水時の表層底面せん断応力が移動限界となる粒径の空間分布と対応するものと考えられ、水理グループ作製の表層砂礫分布推定結果と比較している。また、チドリ3種とも新しい細粒砂あるいはシルトからなる比高の低い州で採餌していることが確認された。これらに加えて、セキレイ、ヨシキリなどの砂州に典型的な鳥類が生息するほか、ウグイスの確認は、「砂州景観」に必ずしもなじまないものとして認識された(山岸哲・松原始³⁾)。

この地域の一時水域はイタセンパラ(*Acheilognathus longipinnis* Regan)の産卵、仔稚魚の生育場として知られるほか、増水時に旧流路が下流から浸水してつながり、魚類の洪水時避難場所あるいはコイ科のさかなにとって産卵場に使われている。増水期に下流から旧流路に沿うたまり列がつながり、ついには上流端が本流とつながってもこうした二次流路では流速が大きくなりず洪水期の魚類の避難場所たりうることが水理解析においても確認されている¹⁰⁾。また低水時にも存在する砂州上の二次流路はヨシノボリ類(*Rhinogobius flumineus*など)の生息場となっている(竹門康弘³⁾)。

伏流域も砂州生態系の生息場の一つとして注目された。今日こうした間隙域生物(hyporheos)が溪流砂礫堆などで注目されている。木津川グループでも、砂層に打ち込んだパイプに液体窒素を注ぎ、砂・水・生物を同時にその場で凍結させてのサンプリングを行った結果、原生動物、ワムシ類などの生物生息が確認された(竹門康弘³⁾)。

一方、爬虫類・両棲類については、氾濫原・水田と行き来している様子がテレメトリー調査で知られた。二次流路で砂州が中州化すると両棲類では渡河できないなど生息状況に変化がもたらされることが知られた(森哲³⁾)。また、哺乳類としてはアブラコウモリが注目された。これは本来堤内地を活動の場とするが、氾濫原・堤内地の変遷と河道内樹林化が摂餌など行動形式を変化させていることが示唆されている(本川雅治³⁾)。このように今日的には植生化に代表される変質した砂州景観は、一部変質した氾濫原・堤内地で喪失した生息場の代替をしていることも注目された。さらに、人工的に管理された堤防草地、堤外耕作畑などにも、外来性草本やチョウ類などの昆虫(桜谷保之³⁾)が、またさらには鳥類も独特の生態系を呈している。

以上のように砂州のさまざまな類型景観を利用してさ

まざまな種の生物の生息が砂州生態系を形づくっているといえる。

5. 砂州での水質変化

砂州に生息場を得た生物群集と砂州という地形と流れという物理過程が、水とともに輸送される「物質の変化過程」にどのように影響しているかが、砂州の価値を評価する上で、生息場適性を測るとともに重要なポイントである。ここでは、生元素、とくに窒素の動態に着目する。これには次のようなプロセスが考えられる。

窒素は、①有機態、②アンモニア態、③亜硝酸態、④硝酸態、⑤分子状の容態で存在する。①→②は分解、②→③→④は酸化で硝化と呼ばれる。④→⑤は脱窒で、この過程で窒素は水中から大気中に排出される。生物体から有機態で、また人間活動から①→④のさまざまな容態で河川水中に放出される窒素が水質汚染の一要素で、(1)②→④を再度生物体に取り込むこと、あるいは(2)⑤脱窒によって窒素が水域から除外されて水質負荷が低減される(浄化)。(1)については光合成と連動するもので、一方、生物体は遺骸(枯死した残骸)としてあるいは食物連鎖を通して排泄・遺骸として再度水中に有機態窒素として戻ってくる(持ち出されることもある)ので、(2)を「真の浄化」と呼ぶことがある。

こうした物質変化の起こる場と状況を考える。リーチを対象とすると、平水時、粒子状の有機物、砂粒子に吸着した物質はしばしば伏流入り口で濾過作用によって分離される。溶存態のものは伏流中で生物作用をうけて化学変化を受ける(硝化、脱窒)。中島拓男³⁾は二次流路やたまりでの呼吸・脱窒活性を調べ、砂河川での脱窒活性の高さを指摘している。また、著者らも砂州内伏流過程による硝酸イオン濃度と安定同位対比変化(脱窒によって重い窒素元素が残る)を同時に調べることから、伏流過程での脱窒を確認している¹¹⁾。なお平水時には二次流路では浅い流れ場で光合成が活発で付着藻類が生育する。伏流水から植物体が蒸散を駆動力として水分とともに栄養分を取り込んで成長する。いまのところ水量(蒸散量)の推定まで目鼻がついている¹²⁾が、どのように栄養分を取り込んで植物体が成長するかについては研究が定量的なレベルに至っていない。

洪水時には、河道内の生物の遺骸や付着藻類の剥離が水流内の有機態窒素の粒状体流下物濃度を増加させ、それらは、砂州上、とくに植生周辺で捕捉されて堆積する。裸地に比べ、植生域ではこうした有機態窒素の蓄積がおこる。ただし、大出水ではとくに掃流力の大きいところでこうした捕捉・堆積物をフラッシュすることになる(これらは他の堆積しやすいところへ再配分される)。こうしたことから、砂州上では堆積有機物量の空間分布が形成される(植生域では大)。

冠水時や降雨時に鉛直浸透が期待されるが、その折に砂州表層の有機物は溶脱して鉛直浸透し、伏流水脈に合流混合する。こうした効果はほとんど降雨時に著しく、冠水時では効果は小さい。伏流過程における脱窒など生化学作用と溶脱・鉛直浸透の混合で砂州内での質変化が規定される。

6. 結言—生息場及び生態系のサービスの評価

第4章で述べたように、砂州上のさまざまな類型景観ごとにさまざまな生物種・群集が生息場を嗜好しており、類型景観の組み合わせで砂州上の生物群集構造が規程される。したがって、砂州固有の生物種を保全すべき対象として選定すれば、その個々の生物生息適性をいわゆる HEP (Habitat Evaluation Procedure)¹³⁾ で、定量評価される。すなわち、生息適性 HSI (Habitat Suitability) を指標とすると、対象とする種・群集 (*i*) ごとに類型景観 (*j*) ごとの HSI を点数化 (X_{ij}) する。どの種を対象とするかや優先するかについてはまだ議論が必要である。また、生物生息量 (個体数) を議論の対象とするなら、物理環境の変化に対する応答の速い遅いをとりこむ必要がある。とくに、物理環境の変化を議論するとき、この応答特性を考慮することは必須である。この手法に、Population Dynamic Modeling が有効で、付着藻類や底生生物のように環境変化に応答するのに時間のかかるものについて工夫されつつある¹⁴⁾。

一方、生態系のサービスについては、たとえば脱窒効果など生元素の物質変化によって評価される。第5章で議論したように、物質変化の形態やその活性は、類型景観によって異なり (伏流や鉛直浸透時の溶脱源の蓄積量を規定する表層状況 (植生、非植生域など))、また中小あるいは大出水の頻度、降水などのイベント頻度などがそれに影響する。単位流下延長あたりの物質変化量を指標として定量化する (Y_j)。こうした考え方の原点として、HGM (Hydrogeomorphic approach) がある¹⁵⁾。

X_{ij} , Y_j の高いサブ砂州スケール類型景観を各砂州で重点的に保全することは河川生態系保全で優先度が高いということになる。

砂州上の各サブ砂州スケール類型景観の占有面積率を AA_j とすると、次に定義される値の高い砂州はセグメントの中で優先的に保全すべき砂州ということになる。

$$E_i = \sum_j (X_{ij} AA_j), \quad \Gamma = \sum_j (Y_j AA_j) \quad (1)$$

このような面積の重み付けだけで議論するのは第1近似で、実際には各類型景観の配列なども考慮すべきである。

このような手法では、いくつかの対象種・群集の生息適性、生態系サービスについて、ひとつの砂州の中で保全優先度の高いサブ砂州スケール類型景観や、セグメン

トの中で保全優先度の高い砂州を想定できることになるが、生態的に総合的な優先度をどう決めるかも容易ではない。ひとつの試みとして E_i , Γ の相乗平均がひとつの提案となるかもしれない。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 河川生態学術研究会木津川グループ：木津川の総合研究—京田辺地区を中心として—，660p.，2003.
- 4) 淀川環境委員会：自然豊かな淀川を目指して，淀川環境委員会，21p.，2002.
- 5) 辻本哲郎：多自然型川づくりの歩みを支える河川工学，河川，日本河川協会，No.664，pp.6-10，2001.
- 6) 辻本哲郎，寺井達也，寺本敦子：木津川下流部砂州の植生繁茂と裸地維持の仕組み，河川技術論文集，Vol.8，pp.307-312，2002.
- 7) 辻本哲郎，村上陽子，安井辰弥：出水による破壊機会の減少による河道内樹林化，水工学論文集，第45巻，pp.1105-1110，2001.
- 8) 鷺見哲也，荻島晃，片貝武史，辻本哲郎：砂州植生域の発達過程と植生の物理環境に関する研究，河川技術に関する論文集，第6巻，pp.65-70，2000.
- 9) 鷺見哲也，願原宇一郎，辻本哲郎：砂州内の伏流挙動とたまりの水交換性に関する研究，河川技術に関する論文集，第6巻，pp.89-94，2000.
- 10) 鷺見哲也，岩崎充宏，辻本哲郎：木津川砂州上のたまりの平水および洪水時の物理環境，河川技術論文集，Vol.7，pp.339-344，2001.
- 11) 中島治美，鷺見哲也，辻本哲郎：木津川裸地における伏流水の水質特性，河川技術論文集，Vol.10，2004.
- 12) 鷺見哲也，かせ澤成希，辻本哲郎：砂州物理環境の植物蒸散及び水文輸送に与える影響，河川技術論文集，Vol.10，2004.
- 13) U.S. Fish and Wildlife Service : Habitat Evaluation Procedure (HEP), ESM101-103, Div. Ecological Service, Washington DC, 1980.
- 14) Tetsuro Tsujimoto and Takashi Tashiro : Application of population dynamics modeling to habitat evaluation -Growth of some species of attached algae and its detachment by transported sediment-, *International IFIM User's Workshop*, Fort Collins, Colorado, U. S. A., 2003.6. (CD-ROM)
- 15) Smith, R.D., A. Ammann, C. Bartoldus and M.M. Brinson : An approach for assessing wetland functions using hydrogeomorphic classification, reference wetland, and functional indices, Wetland Research Program report, WRP-DE-0, 1995.

(2004. 4. 7 受付)