

生態学と河川水理学の連携による 河川生態系保全の学術研究に向けて

TOWARDS AN ADVANCE IN RIVER ECOLOGICAL ENGINEERING
BY ECOLOGY- RIVER HYDRAULICS RESEARCH COOPERATION

清水義彦¹・戸田祐嗣²
Yoshihiko SHIMIZU and Yuji TODA

¹正会員 博(工) 群馬大学助教授 工学部建設工学科 (〒365-8515 桐生市天神町)

²正会員 博(工) 名古屋大学講師 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)

River ecological engineering stands in the interdisciplinary area between hydraulics and ecology/biology. However we have not yet developed this field as the science based technology. Several works have been conducted respectively in ecologists, biologists and hydraulics researchers, but we need to rearrange them and to combine the individual research result in order to take a comprehensive knowledge of river ecosystem.

In this paper, current research topics about riverine vegetation and periphyton in stream are reviewed through the several papers in *Advance in River Engineering* published by Division of River Engineering, JSCE. And their up-to-date outcomes are summarized for the discussion between ecologists and hydraulics researchers, which can give us the next research target for the further progress of science in river ecological engineering.

Key Words : River ecological engineering, riverine eco-system, physical environment in river, sedimentation, riverine vegetation, periphyton, primary production, nutrient transport

1. はじめに

土木学会水工学委員会河川部会では、河川水理学・河川工学と、河川の関わる広範な他領域との学術交流によって、新たな河川整備と管理の理念を支える学術的基盤を構築することを活動の主目的としている。1997年に始まった河川技術シンポジウムのオーガナイズドセッション(OS)においても、河川水理学、河川工学研究者間の議論とともに、生態学研究者との学術交流を通じて、学際的領域である河川生態分野を進展させることをめざしてきた¹⁾。一方で、個々には行われている学術交流のもとで、河川生態に関する学際研究が精力的に進められてきている。例えば、多摩川、千曲川、木津川、北川をフィールドとした河川生態学術研究^{2), 3), 4)}、応用生態工学会における研究活動⁵⁾、河川整備基金事業(研究助成)⁶⁾など、河川生態分野の研究成果の集積がなされつつある。今回のシンポジウムOSでは、すでに同様な趣旨で何回か行われてきた表題のテーマを内容として再企画した。その理由は、個々の研究成果情報の共有が学際間で十分に行われていないこと、それらが巧く整理され、情報の理解、解釈を通じて融合される必要がありながら十分になされていないこと、こうした知識の融合が

science based Technology としての河川生態工学の構築に不可欠であることにある。そして、研究者としての学術興味を中心に、河川生態分野の今後に向けての研究課題・ターゲットを掴みたいと目論んで企画した。企画に際して、河川生態がじつに広範な領域をもつために、今回OSで取り上げる領域を限定した。その構成は、生態系基盤となる、物理基盤(河川地形)・植物・基礎生産者に焦点をあて、それらの上に成立する景観の保全をどう位置づけ、どう行うかを議論するものとした(前者は景観の基盤要素に関する情報で(山本, 星野, 野崎(2004)), 後者はそれらが景観保全の目標にどう設定されるべきかを議論している(辻本(2004))。本論文では、生態系基盤となる物理基盤(河川地形)・植生・基礎生産者(付着藻類)の各々について、ここ数年の河川技術シンポジウムにおける研究成果を中心にそれらのつながりを考慮して選定し、レビューした。そして、これらが河川生態に関する河川水理学の研究成果として、生態学分野に発信したいと考えている。

2. 生態系基盤となる河川地形と植生

(1) 土砂堆積、水分・栄養環境と植生の成立
生物生息の物理基盤となる河床、その上に直接的に生

息する植生は、ともに生態系ピラミットの底辺として位置づけられる。そして、河床（地形と材料特性）とそれが成立する水理環境によって、その上の植生が特徴づけられ、また、植生の影響を受けて河床が変化するという相互関係が成り立っている。よく知られている水際植生の横断分布（エコトーン）は、この相互作用系の典型的な例であり、植生が繁茂した水際では、裸地に比べ抵抗が増すことで（植生による形状抵抗）、本来、流送されてしまうwash load 的な細粒土砂まで捕捉・堆積し、それが、また、植物の遷移・生息環境を与えている。

塚原・藤田・望月⁷⁾は、通常は細粒土砂堆積が起こりにくいとされる扇状地礫床区間（河床勾配が1/200程度）でも、河道横断面の一部にクサヨシのような草本類（透過係数が0.38m/s以下）が高密度にあれば、年平均最大流量規模の出水1回でそこに1~10cm程度の細粒土砂堆積が起こることを、平衡場を仮定した横断浮遊砂輸送式（拡散と浮上・沈降を考慮）から試算している。細粒土砂の堆積は、水分環境（地下水位からの比高）とともに、植生の生育を規定する。藤田・渡辺・李・塚原⁸⁾は、多摩川の植生調査から植物ごとの比高-堆積厚座標を作成し、堆積厚による成立植物のちがいによって、裸地から安定植生域に遷移する過程を推定した。例えば、礫床裸地にツルヨシが定着・発達し、そこに細粒土砂が堆積することでさらに比高を増大させながら、オギ、ハリエンジュ（ニセアカシア）の繁茂する安定植生域が生まれる。河道内樹林化をもたらす代表種であるハリエンジュの繁茂環境においては細粒土砂層の存在が重要で、この層内をのハリエンジュ根茎が平面的に広がりながら林を作っていることが報告されている（清水・小葉竹・岡田・新船・岩崎⁹⁾）。

植生周辺では植生に影響された流れと流砂運動の変化によって微細な地形、表層粒度構成が生み出される。浮遊砂のみならず掃流砂によっても特徴付けられることを辻本・辻倉・村上¹⁰⁾は、平面2次元流計算に植生の効果を入れた混合粒径の河床変動解析から提示した。植生域前面では堆積域ができるが、堆積域は細粒分によって作られ、その表層のみが粗粒化することを求めている（ただし現象は流量規模依存）。表層が粗い材料で構成された裸地河原にも草本が侵入するが、その下層材料には細粒分が混在していることがよく見られる。渡辺・藤田・塚原¹¹⁾は、礫層間に細粒分（マトリクス）が存在することで、土壤水分が活用でき生育環境が整うことを指摘している。砂河川において高い浸透性から伏流水が植生に与える影響は大きい（原田・西村・武井・太刀川¹²⁾）。鷲見・荻島・片貝・辻本¹³⁾（木津川での河川生態学研究の一環）は、砂州上の植生分布と比高、河床材料、表層体積含水率の関係を調べ、比高・含水率関係から成立植生の分類を行っている。たとえば、比高の低いツルヨシは一般に礫質であり、高い比高にあるツルヨシはシルト混じりの細砂が多く、これによって含水率が保

持される（比高の低い礫床では水分保持のための細粒成分は必要としない）。鷲見らは、鉛直方向の堆積物調査と経年的な横断地形変化を比較しながら、洪水履歴と植生（ここでの植生の役割は細砂の捕捉効果のみに注目）から堆積過程を調べている。セグメント1クラスの礫床でも伏流水の影響（旧河道や河跡池の存在）や、洪水イベントと堆積物履歴の関係は重要な研究項目だが、トレンチ掘削などによる伏流水の計測や堆積物調査が容易でないこともあってあまり報告されていない。

洪水時の土砂輸送が土砂堆積の観点から議論される一方で、戸田・池田・熊谷¹⁴⁾、戸田・池田・浅野・熊谷¹⁵⁾は、生物の生育にとって重要な有機物、栄養分の輸送に着目している。洪水を挟む前後で、土壌の強熱減量を測定し、植生が流出した箇所ではそれが低下（植生によって作られた有機含有率の多い土壌が植生とともに流出）、残存した（地上葉茎部のみ枯死）ヨシ群落では概ね強熱減量が増加することなど、高水敷土壌の栄養塩（リン・窒素）の増減は高水敷植生の流出と密接な関係があることを指摘している。こうした有機物、栄養塩等の洪水時での輸送、それによって形成した土壌の化学性は、植物生育あるいは遷移などに影響する。例えば、多摩川流域では下流に行くほど群落構成種に対する好窒素性の植物の割合が増加することが報告されている（奥田¹⁶⁾）。そうした化学的変化は河川での外来種繁茂にも関連がありそうで、浦口・渡邊・久野・星野・坂上¹⁷⁾は、多摩川中流域における河川敷土壌の化学性と植生との関係を調べ、とくに、ハリエンジュ林で富栄養化状態にあることを指摘している。洪水時の土砂・栄養塩輸送や土壌の化学性と植生の関連は研究事例が十分でなく、今後の研究の進展が期待される。

植物の生長と水分・栄養とのかかわりについて、植物生理学と物質フローの情報が不完全であっても、現時点での情報を整理して素過程の工学的なモデリングを行うことは今後の見通しを得る上で大切である。浅枝隆・藤野毅・Vu Kien Trung¹⁸⁾は、水生植物の生長・枯死・分解について、植物のバイオマスに注目したエネルギー収支から巧みにモデル化している。鷲見・恒川・辻本¹⁹⁾は、草本類の生長基盤となる土壤層を堆積層（表層の細粒土砂と有機物の集積層）と吸収層（その下部にあって伏流水との応答や根からの水吸収が主体となる）に分け、吸収層での水・物質鉛直輸送をSPACモデルを適用して第一近似解を求めている。洪水時での流れ・土砂・栄養塩輸送（セグメント、リーチスケール）^{14), 15)}、それが外部境界条件となって特徴づけられる砂州内での物質輸送^{2), 3)}（伏流、わんど、2次流路、砂床河川での「たまり」、礫床河川での「河跡池」といったサブ砂州スケールの微地形によって特徴づけられる物質輸送と生息環境）、さらに、植物の根からの水分・栄養分吸収（鉛直輸送）¹⁹⁾と、植物体の生長（バイオマスの変化）¹⁸⁾と言った研究のながれは、単なる場面の精緻化ではなく、植物の生育を階

層的に捕らえようとする一連のつながりをもっている。こうしたアプローチは工学的な枠組みを立てることになって、水理学・生態学的に何が足りないかについても明確になり、議論しやすくなる。

(2) 洪水による植物の攪乱・破壊と遷移

近年、河道の樹林化が進み、なかでもハリエンジュは根茎による発達から速やかな樹林地形成をなす樹種として注目されている。樹林化が進行するプロセスにおいて、冠水頻度低下による州の安定的陸地化が要因^{(21), (22)}であるが、清水ら^{(9), (23)}は、洪水を受ける攪乱場においても樹林化が促進されることを見出している。すなわち、ハリエンジュが洪水によって適度の洪水攪乱を受けると、その後の、倒木・傾斜木、周囲の地下茎から著しい萌芽が生じ、急激な密度増加となる（動的樹林化）。ハリエンジュのほか、ヤナギ類など栄養繁殖する植物にとって、洪水ストレスのレスポンスとしての生長は戦略的な拡大過程である。ただし、ハリエンジュでは根茎による群落拡大がキーポイントとなるが、その情報は少ない。

洪水規模との関係で植物の破壊形式・破壊規模を評価することが重要である。瀬崎・服部・近藤・徳田・藤田・吉田⁽²⁴⁾は、礫床に繁茂する代表的な植物ツルヨシの破壊は礫の衝突による茎の切断と推定し、根茎の絡む最大粒径クラスの礫が移動することがその条件としている。出水による樹林地の破壊について、服部・瀬崎・吉田⁽²⁵⁾は、千曲川礫床区間における平成10年洪水でのハリエンジュを調べ、倒伏限界モーメントによる倒伏判定を行い、上流からの流下物の、樹木へのひっかかりが樹木の遮蔽面積を増加させ、これによって倒伏する事例を抽出、樹林地破壊の1つの素過程として説明している。倒伏してもハリエンジュが流失するには根茎の露出、切断による支持基盤から離脱が生じる必要がある。清水・長田⁽²⁶⁾は、利根川水系渡良瀬川礫床区間での洪水痕跡調査と平面流数值解析から、樹林地の攪乱・破壊形式を、①樹木支持基盤の攪乱によって生じる樹木の破壊、②低水路自然河岸の侵食とそれに伴う樹木破壊・流失、③樹林地上流端および樹林地境界での流下物捕捉による樹木の破壊に仕分けし、木本の破壊（流失・倒木・傾斜木）は、河床材料の移動を伴う基盤の攪乱が第一の要因で、ピーク流量時の移動限界礫径を破壊規模指標とした（例えば、樹木の倒木・流失を引き起こすような破壊規模は80%粒径とした）。ピーク流量時に注目した樹木破壊予測の有効性は服部らの千曲川での研究成果⁽²⁵⁾からも支持されている。ただし、将来的には形状抵抗や根茎による基盤支持力（耐力）を考慮した樹林地での河床変動（河床低下）を、樹林地の進行性破壊を考慮しつつ見積もることが必要である。

河道内植生の生育、洪水による植物の破壊が考察される中で、次のステップとして、洪水攪乱と植生の遷移が、河道のダイナミズムと植生動態を理解する上で、きわめ

て重要な課題である。例えば、裸地であるか植生繁茂（遷移）が続くかについて、裸地砂州が維持されるには、中小洪水においてもその砂州で草本類が破壊されるような掃流力が働き、一方、植生が発達するのは大洪水でも植生（木本）が破壊される限界に至らない砂州という仮説が成り立つ（辻本・寺井・寺本⁽²⁷⁾）。辻本ら⁽²⁷⁾は、河道で一般的な植生遷移が進むためには、パイオニア的植生（草本）の進出時期にその進出場所において中小洪水ですらこれらを破壊できない場が必要であるとして、植生の遷移過程と洪水規模との関係から木津川における植生砂州・裸地砂州を説明している。榎本・服部・瀬崎・伊藤・末次・藤田（2004）は、多摩川、千曲川において1999年洪水後の植生の遷移状態を調べた。この中で、裸地に侵入し洪水後1年未満で群落を形成するものに、オオイヌタデ、クサヨシ、ヨシ、オオアレチノギクなどがあり、やがてツルヨシに遷移するか、消滅して裸地化する。洪水後1～2年以内に群落を形成するもので2年目以降も残存するのは、オギ、チガヤ、シナダレスズメガヤなどがある。このような植生の遷移と繁茂できる物理環境（比高、表層細粒土層厚から表現）、植物の堆砂能力を考慮して、最終的に木本に遷移するきっかけを作る植生のグループは、堆砂能力の大きな草本で、1）洪水後1年以内に群落を形成しその後他に遷移されて消滅する草本（例えばオオイヌタデ）と、2）洪水後2年以降も残存し、比高、表層細粒土層厚に依存せず広く繁茂できる草本（例えば、ツルヨシ、クサヨシ、オニウシノグサとしている）の2つであるとしている。植物の遷移、拡大・縮小速度など植生動態の予測については、洪水の攪乱とタイミングとともに、比高、細粒土層厚、水分・栄養環境や他種との競合、あるいは植物自身のもつ他感作用活性（浦口・渡邊・久野・星野・藤井⁽²⁸⁾）など、必要な物理的、化学的、生態学的材料を巧く整理し、仕組みを理解してシナリオを構成しなければならない。そのためには学際研究としての連携の必要性が再認識される。（清水義彦）

3. 河川工学的視点からの付着藻類に関する研究

河床に付着する藻類は、その光合成活動を通して水域に酸素と有機物を供給し、河川水界生態系の根幹を担っている。近年、河川工学の分野において、河床付着藻類の水域環境基盤としての機能に関する注目が集まり、付着藻類に関する研究が盛んに行われるようになっていく。

一方、河川工学の分野において付着藻類に注目が集まる以前から、生物学・生態学の分野において、藻類に関する研究が数多く行われてきた。そこで本章では、なぜ今改めて河川工学者が付着藻類の研究を盛んに行うようになったのであろうか、また、生物学・生態学の分野で行われてきた藻類の研究との相違はどこにあるのか、と

いうことを考えることを通じて、河川工学と河川生態学の学際研究の課題や今後の方向性について論ずることとする。

なお、以下の文中で、河川工学分野、生物学・生態学分野などといった、相当に大雑把な分野の分類をして議論を進めている。当然、それぞれの分野で学際的試みがなされており、このような単純な分類は適切ではないのかも知れないが、ここではあくまでも全体を俯瞰したうえでの大雑把な分類として使用させていただくことをお許し願いたい。

(1) 付着藻類に関する研究の意義・目的

付着藻類の生態そのものに対する生物学的な興味を離れ、河川生態系保全のための工学としての視点から藻類に関する研究の意義を考えると、以下の2点が挙げられよう。

①河川生態系の構成要素の一つである藻類種そのものを保全していくために、種ごとの生態などに関する知見を得る。

②河川生態系を保全していくための第一段階として、その環境基盤部分に位置する藻類の生態を把握し、河川生態系の特徴をボトムアップの視点から明らかにする。

これらの視点のうち①の藻類種そのものの生態的特徴については、生物学・生態学の分野に多くの知の蓄積があり、藻類学という一つの大きな学問体系を構築している。ある環境下でどのような種の藻類が出現するか、あるいはある特定の種にとってどのような生息環境が望ましいか、といった種に関する問題の多くは、このような藻類学における研究成果に負うところが大きい。

一方②の視点では、研究の目的・意義そのものが藻類の生態を解明することにあるわけではなく、藻類を通して河川生態系の特徴を把握することを最終的な目的としている。結果として、藻類から食物連鎖上位の生物へとつながる生物間の有機的なつながりを意識した上で研究を行うこととなり、上位生物の捕食といった観点から、藻類現存量や生産量といった量的な把握が重要となる。河川環境保全事業においては、個々の藻類種の保全ではなく、河川生態系の保全をターゲットとすることから、現在の河川工学的視点からの付着藻類に関する研究は、後者の視点からの取り組みが主であるものと判断される。

藻類現存量や一次生産量といった量的な把握のためには、河川の流況、河床材料、日射、栄養塩等の外部環境などと藻類繁茂動態の関係の把握が第一義に重要となる。ところが、藻類現存量の推定に必要な生産特性、剥離特性、代謝特性などは、全ての藻類種について定量的に明らかになっているわけではないため、河川工学的なアプローチにおいては、河床付着藻類群集の種構成をかなり単純化したり、群集全体を包含的に取り扱ったりするなどして、繁茂動態の第一次近似値を求めようとする努力がなされている。ここに生物学・生態学と河川工学

の分野で行われてきた研究との相違点が生まれる原因がある。つまり、各藻類種の生理・生態的特徴を明らかにすることが研究の目的であるならば、種ごとの違いを抽出することが研究の本質的課題となるが、藻類繁茂動態の第一次近似値を求めようとする立場からすると、種ごとの違いを許容される範囲で単純化することが重要となってくる。現段階では、種を単純化して取り扱うことの許容範囲に関する十分な議論がなされていない状態のまま研究は動き出しており、ここに生物学・生態学の研究者からの情報提供やアドバイスが必要となっている。

以下に、河川工学的視点からの付着藻類に関する最近の研究内容・成果をレビューする。

(2) 付着藻類に関する研究の動向

藻類群集の現存量や生産特性の把握のためには、まず実証的データの集積が重要である。流れの特性と藻類群集の動態の関係については、実河川中での藻類動態の把握^{29), 30)}、環境条件を制御した室内実験^{30), 31)}による試みなどが行われている(戸田ら)。これらの研究では、日射や栄養塩といった環境条件を把握した上で、水理特性が付着藻類群集の現存量や生産力に与える影響が計測されている。これらの研究より、日射、水質等が等しい条件下で、水理特性によって藻類生産力や種構成が変化することが示されている。また、藻類群集の繁茂状況の違いによる抵抗係数の変化の計測が行われ³¹⁾、藻類繁茂が流れ場に与える影響が検討されている。

藻類群集のインパクターレスポンスという観点からの研究も盛んに行われるようになった。例えば、ダム下流部の流況が平滑化され流入土砂が減少し、河床の攪乱機会が減少した河道(低攪乱礫床)における付着藻類の繁茂動態に関する現地観測³²⁾、剥離特性に関する実験³³⁾、数値モデルの開発^{34), 35), 36)}が行われている。そこでは、藻類の剥離について、掃流砂礫の運動と関連付けた解析手法が提案されており、人為的インパクトに対する付着藻類群集の応答の基本的特性が示されている。また、大型の実験水路を用いて模擬的な出水を起こし、藻類群集の発達度の違いによる剥離特性の違いや、出水の有無が藻類現存量に与える影響などについて定量的な実測データが集まりつつある³⁷⁾。実河川を対象とした事例では、東京都多摩川の永田地区を対象として、土砂投入が付着藻類量に与える影響について調査が行われている(皆川ら)。また、ダム下流部の生物生息環境の改善に向けた人為的なフラッシュ放流計画も行われており^{38), 39)}、実河川でのデータが集積されつつある。

上記のような実測に基づく研究成果を踏まえて、藻類動態を予測する数値解析モデルの開発も行われている。藻類群集を糸状藻・非糸状藻に大別し、両者の種間競争を考慮して繁茂動態を解析するもの^{40), 41), 42), 43)}、掃流砂礫による藻類の剥離効果を考慮に入れたもの^{35), 36)}など、いくつかのモデルが提案されている。これらのモデルで

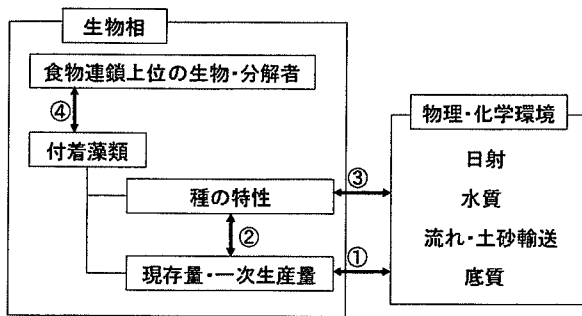


図-1 付着藻類と他生物相・外的環境との関連

は、現段階では不確定な数値パラメータを含むものの、水理量、日射、栄養塩などの外部環境を定量的に取り込むような枠組みでモデルが構成されており、人為的インパクトが藻類量に与える影響の定量予測に向けて、その将来性が期待される。

河川の物理・化学的環境および他の生物相と付着藻類の関わり関連図を図-1に示す。河川工学サイドからの付着藻類の研究では、図中の相互作用系のうち、①の矢印に関する研究が集中的になされていると言えよう。また、②の矢印に示されている藻類種と現存量・一次生産量の関係については、種構成を糸状藻・非糸状藻の2つのグループへ分類するなどかなり単純化した取り扱いではあるものの、研究がスタートしている。③、④の矢印については、生物学・生態学で行われてきた研究を参照することが主であり、河川工学サイドからの主体的な研究事例は少ないものと判断される。

(3) 学際研究へ向けての課題と期待

藻類の種ごとの特性を明らかにしていく立場と、種による違いを単純化して取り扱う立場では、研究者個人として研究目的へと向かうベクトルは相当に異なっている。従って、河川工学と生物学・生態学の学際研究といっても、単純に両分野に共通する目標設定をして同じ視点で研究に取り組むというアプローチは、一般的には成り立たないように思える。一方で、両者が研究目的や方法論として違う方向を指向していても、研究の最終的成果は互いに密接な関連があり、片側からのアプローチのみでは、河川生態系の中での付着藻類の役割を総合的に把握することは出来ないものと思われる。付着藻類に関する学際研究の鍵はここにあり、まずは両者の研究目的・意義の違いを十分に認識することに始まるものと思われる。その上で、それぞれの研究目的を達するために必要となる知識・情報をお互いの研究成果から検討し交換することが重要であろう。具体例を考えると、生物学・生態学の分野から河川工学分野へは、どの程度まで種を単純化した取り扱いが有効であるかについての情報提供が必要であるし、河川工学分野から生物・生態学の分野へは、水理学や土砂・物質輸送の枠組みでどの程度まで藻類の生育環境の把握に有用な情報を提供できるか

を検討する必要がある。研究のアウトプットに関しては、それぞれの研究目的の違いに鑑みて、無理には共通的なものを望まず、互いの分野での貢献を尊重すべきではなかろうか。このような(研究目的や成果に関する共通性ではなく)互いの研究目的・意義の違いを共通的に認識する学際交流の中から、それぞれが強固な専門分野を持った個人学際研究者が多く出てくることが、藻類研究における学際研究の一つの方向性なのではないかと著者は考えている。(戸田祐嗣)

参考文献

- 1) 辻本哲郎：生態系保全における河川工学・生態学の接点、河川技術に関する論文集、第6巻、pp. 7-12, 2000.
- 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、第7巻、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・河川水理学共同研究、河川技術論文集、第8巻、pp. 7-12, 2002.
- 4) 島谷幸宏・高野匡裕：多摩川永田地区における学術研究と河道修復、河川技術論文集、第7巻、pp. 381-386, 2001.
- 5) 辻本哲郎：特集「河川の自然復元」の企画にあたって、応用生態工学、Vol. 2, No. 1, pp. 51-52, 1999.
- 6) 例えば、自然的攪乱・人為的インパクトと河川生態系研究会：自然的攪乱・人為的インパクトと河川生態系の関係に関する研究(河川整備基金事業)、(財)河川環境管理財団、200p., 2002.
- 7) 塚原隆夫・藤田光一・望月達也：植生が繁茂した河川水際への細粒土砂堆積の特性、第3回河道の水理と河川環境に関するシンポジウム論文集、pp. 259-264, 1997.
- 8) 藤田光一・渡辺敏・李参熙・塚原隆夫：礫床河川の植生繁茂に及ぼす土砂堆積作用の重要度、第4回河道の水理と河川環境に関するシンポジウム論文集、pp. 117-122, 1998.
- 9) 清水義彦、小葉竹重機、岡田理志、新船隆行、岩崎工：洪水攪乱によるハリエンジュの破壊・再生と河道内樹林化について、河川技術に関する論文集、第6巻、59-64, 2000.
- 10) 辻本哲郎・辻倉裕喜・村上陽子：植生周辺の微細地形と表層粒度構成、第4回河道の水理と河川環境に関するシンポジウム論文集、pp. 123-128, 1998.
- 11) 渡辺敏・藤田光一・塚原隆夫：安定した砂礫州における草本植生発達の有無を分ける要因、水工学論文集、42巻、pp. 439-444, 1998.
- 12) 原田守博・西村智樹・武井剛・太刀川恭子：砂州における溜まりや植生の立地環境特性と伏流水との係わり、河川技術に関する論文集、第5巻、pp. 87-92, 1999.
- 13) 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.
- 14) 戸田祐嗣・池田駿介・熊谷兼太郎：礫床河川における洪水前後の高水敷植生の変化と栄養塩・有機物の輸送に関する現地観測、河川技術に関する論文集、第5巻、pp. 71-76, 1999.

- 15) 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，河川技術に関する論文集，第6巻，pp. 71-76, 2000.
- 16) 奥田重俊：関東平野における河辺植生の植物社会学的研究，横浜国立大学環境科学研究センター紀要，Vol. 4, pp. 45-112, 1978.
- 17) 浦口普平・渡邊泉・久野勝治・星野義延・坂上寛一：多摩川中流域における河川敷土壌の化学性とその変動，応用生態工学，Vol. 6, No. 2, pp. 165-176, 2004.
- 18) 浅枝隆・藤野毅・Vn Kien Trung：水生植物の生長・枯死・分解過程の定量的評価解析，河川技術に関する論文集，第5巻，pp. 65-70, 1999.
- 19) 鷺見哲也・恒川明伸・辻本哲郎：木津川砂州における植物生育場の表層物理環境と物質輸送に関する研究，河川技術論文集，第9巻，pp. 389-394, 2003.
- 20) 李参熙・山本晃一・望月達也・藤田光一・塚原隆夫・渡辺敏：扇状地礫床河道における安定植生域の形成機構に関する研究，土木研究所資料第3266号，168p, 1999.
- 21) 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，45巻，pp. 1105-1110, 2001.
- 22) 清水義彦・小葉竹重機・岡田理志：ハリエンジュによる動的河道内樹林化について，水工学論文集，45巻，pp. 1099-1104, 2001.
- 23) 瀬崎智之・服部敦・近藤和仁・徳田真・藤田光一・吉田昌樹：礫床上草本植生の流失機構に関する現地調査と考察，水工学論文集，44巻，pp. 825-830, 2000.
- 24) 服部敦・瀬崎智之・吉田昌樹：礫床河道におけるハリエンジュ群落の出水による破壊機構と倒伏発生予測の試み，河川技術論文集，第7巻，pp. 321-326, 2001.
- 25) 清水義彦・長田健吾：礫床河川における河道内樹林地の洪水破壊について，河川技術論文集，第8巻，pp. 301-306, 2002.
- 26) 辻本哲郎・寺井達也・寺本敦子：木津川下流部の植生繁茂と裸地維持の仕組み，河川技術論文集，第8巻，pp. 307-312, 2002.
- 27) 浦口普平・渡邊泉・久野勝治・星野義延・藤井義晴：多摩川中流域の河川敷植生構成種の他感作用，雑草研究，Vol. 48, pp. 117-129, 2003.
- 28) Peterson, C. G. and R. J. Stevenson: Post-spate development of epilithic algal communities in different current environments, *Can. J. Bot.*, 68, pp. 2092-2102, 1990.
- 29) 戸田祐嗣，赤松良久，池田駿介：水理特性が付着藻類の一次生産特性に与える影響に関する研究，土木学会論文集，No. 705, pp. 161-174, 2002.
- 30) Hondzo, M. and H. Wang: Effects of turbulence on growth and metabolism of periphyton in a laboratory flume, *Water Resources Research*, Vol. 38 (12), pp. 1277-1286, 2002.
- 31) 辻本哲郎，北村忠紀，加藤万貴，田代喬：低攪乱礫床における大型糸状藻類繁茂のシナリオ，河川技術論文集，第8巻，pp. 67-72, 2002.
- 32) 北村忠紀，加藤万貴，田代喬，辻本哲郎：砂利投入による付着藻類カワシオグサの剥離除去に関する実験的研究，河川技術に関する論文集，第6巻，pp. 125-130, 2000.
- 33) 田代喬，渡邊慎多郎，辻本哲郎：掃流砂礫による付着藻類の剥離効果算定に基づいた河床攪乱作用の評価について，水工学論文集，第47巻，pp. 1063-1068, 2003.
- 34) 田代喬，加賀真介，辻本哲郎：個体群動態モデルの生息場評価手法への導入に関する基礎的研究，水工学論文集，第47巻，pp. 1105-1110, 2003.
- 35) 田代喬，加賀真介，辻本哲郎：河床付着藻類群の繁茂動態のモデル化とその実河道への適用，河川技術論文集，第9巻，pp. 91-96, 2003.
- 36) 皆川朋子，福嶋悟，萱場祐一，尾澤卓思：出水が河床石面付着物に及ぼす影響に関する実験的検討，河川技術論文集，第9巻，pp. 475-480, 2003.
- 37) 三石真也，浦上将人，浜西豊：下流河道環境を考慮したダム放流の検討，河川技術論文集，第8巻，pp. 359-364, 2002.
- 38) 田中則和，浦上将人，宮川勇二：生物の生息環境改善に資するフラッシュ放流計画手法，河川技術論文集，第9巻，pp. 103-108, 2003.
- 39) 浅枝隆，ズン・ゾンホン，藤野毅：河床ペリファイトンの遷移過程の解析，河川技術に関する論文集，第6巻，pp. 119-124, 2000.
- 40) Asaeda, T. and D. H. Son: Spatial structure and populations of periphyton community: a model and verification, *Ecological Modelling*, 133, pp. 195-207, 2000.
- 41) Asaeda, T. and D. H. Son: A model of the development of a periphyton community: resource and flow dynamics, *Ecological Modelling*, 137, pp. 61-75, 2001.
- 42) 戸田祐嗣，赤松良久，池田駿介：単細胞・群体型付着藻類と糸状型付着藻類の増殖競争モデルの開発，河川技術論文集，第9巻，pp. 481-486, 2003.

なお，本文中で引用されている文献のうち本論文集に掲載されている論文については，その著者名を斜体で表記することとし，参考文献一覧からは除外した。当該論文の検索については，本論文集の目次を参照されたい。

(2004. 4. 7受付)