

礫床河川の植生繁茂に及ぼす土砂堆積作用の重要度

Roles of sediment deposit on/in a gravel-bed in fostering instream vegetation growth

藤田光一*・渡辺敏**・李参熙***・塚原隆夫****

Koh-ichi FUJITA, Satoshi WATANABE, Sam-Hee LEE and Takao TSUKAHARA

1. はじめに

植物は河川を構成する必須要素の1つであり、河道計画や河道管理のための基本技術として、何らかの形で植生動態を“予測”することを真剣に検討すべき時期に来ていると考えられる。河川における植物繁茂の本質的特徴が河川特有の作用（洪水や土砂輸送など）に起因することは認識されており、それを実証的に語る情報も蓄積されてきている¹⁾。こうした認識のもと“予測”に踏み込む第一歩として、河川的作用という物理的過程が植物本来の生物的過程（種子定着、発芽、成長、競争など）に対しどのような重要度を持っているかを、具体的、定量的かつ系統的に明らかにすることが必要である。なぜなら、両者の関係により河川固有の植物動態を表現する枠組みが大きく異なってくると予想されるからである。本研究では、物理的過程の中でも土砂堆積作用に焦点を絞り、多摩川と千曲川を対象にした現地調査結果に基づき、代表的な河道変化状況の下での植物繁茂状況を調べ、植生動態が土砂堆積作用によりどこまで説明できるかを考察した。

2. マクロな河床変動傾向と植生変化との関連—多摩川の事例から—

2. 1 調査対象地区の河床変動傾向

河床の上昇・低下が植生変化に与える影響を調べる。対象にしたのは、多摩川の扇状地河道部（セグメント1）にある3つの調査地区である（表-1 参照）。図-1に1968～1995年までの最深河床高の縦断形を示す。この区間の河床変動は次のような特徴を持つ：①横断構造物（堰、床止め、橋脚保護のための帯工的構造物など）に挟まれた区間では、上流側の横断構造物に近づくほど河床低下が大きくなり、下流側の横断構造物の近傍では、安定さらには上昇傾向にある場合もある；②岩が河床に広く露出している場所では、河床変化が抑えられる傾向がある；③有力な支川の合流は河床上昇に寄与する場合がある。したがって、羽村用水堰のすぐ下流にある永田橋地区では全体的に河床が低下し、堰のすぐ上流に位置し秋川合流もある秋川合流地区では明瞭な河床上昇が起きている。下流側の横断構造物からやや離れた日野橋地区でもほぼ全体的に河床低下が見られる。

表-1 多摩川の調査対象地区

調査地区名	永田橋地区	秋川合流地区	日野橋地区
距離標	51.0 ～ 53.0km	48.4 ～ 49km	39.0 ～ 41.0km
セグメント区分	セグメント1	セグメント1	セグメント1
河床勾配	1/218	1/219	1/282
平均川幅	275m	467m	371m
平均低水路幅	148m	305m	236m
河床変動傾向	河床低下	河床上昇	河床低下

図-2には、各調査地区の代表地点における河床横断形の経年変化を示す。永田橋地区と日野橋地区では、

キーワード：礫床河川、河道内植生、土砂堆積、植生動態予測、立地条件

*建設省土木研究所河川部河川研究室 室長（〒305-0804 茨城県つくば市旭1、KYK05665@niftyserve.or.jp）

**建設省土木研究所河川部河川研究室 交流研究員（現 （株）ウエスコ）

***筑波大学工学研究科 博士課程

****建設省土木研究所河川部河川研究室 研究員（現 国土庁水資源部）

ある横断幅での河床低下と残り部分の河床上昇のため横断形状の複断面化が起こっている⁶⁾。

複断面化進行の主な時期は日野橋地区(1970年代前半まで)の方が永田橋地区(1980年代以降)よりも早い。一方、秋川合流地区では、1968年当時から安定的に存在する高水敷の間に幅広の低水路があり、その横断形状は大局的に見ると平坦で上昇傾向にある。

低水路の中で太く安定的な滞筋が形成されることはなく、横断的にかなり細かく変動している。以後、永田橋、日野橋地区についても、複断面化した後の低水路状の部分と高水敷状の部分とを低水路、高水敷と呼ぶ。

2. 2 調査対象地区の植生変化

調査対象の3地区については、1977年(日野橋区間は1976年)、1983年、1994年の現存植生図が奥田、曽根らを中心に精密に作成されている²⁾³⁾⁴⁾。これらに基づいて、永田橋地区の52.2~52.6km測線間の低水路中央より右岸側(面積8.3ha)、秋川合流地区の48.4~48.6km測線間の低水路内(面積23.9ha)、日野橋地区の40.4~41.2km測線間の低水路中央より右岸側(面積13.2ha)における各植生群落の総面積を算出した。結果を図-3に示す。なお、図-3を作成する際には、3時点平均の占有面積が全面積の2~3%程度に満たない種を分析から除外した。この図から各地区の植物群落種の変化には永田橋・日野橋地区と秋川合流地区で明瞭な違いがあることがわかる。それをまとめると表-2のようになる。

図-4は、年最大流量の経年変化を調布橋地点(59.7km：秋川合流点上流)と石原地点(28km：秋川合流点下流)について示したものであり、1974年と1982年に飛び抜けて大きな洪水があったことがわかる。このことと表-2から、永田橋、日野橋地区と秋川合流地区の植生変化の違いは、1982年洪水に対する応答の違いを表していると見ることができる。すなわち、秋川合流地区では、1982年洪水により特に表の二段目の植物が破壊されて自然裸地が作られ、そこに同じ植物が回復することにより表-2の変化が起こっているのに対し、他の2地区では1982年洪水が自然裸地の増加にあまり寄与せず、むしろ表-2三段目の植物の増加のきっかけになった可能性が高い⁵⁾。これらのことは、河床上昇傾向にある区間ほど洪水による植物群落の破壊と洪水後の再生という変動が活発であり、逆に、河床低下傾向にある場所では洪水が大きな植物破壊作用を持ちにくく、むしろ洪水が新たな植生繁茂を助長することを強く示唆するものである。このことは、マ

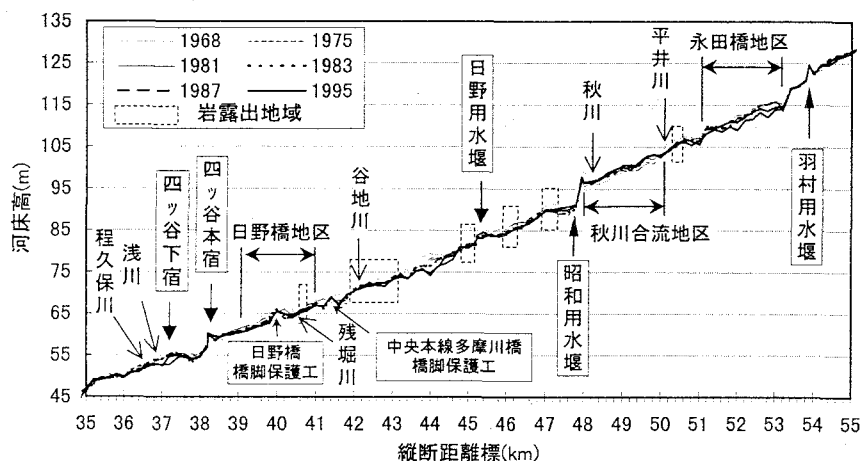


図-1 多摩川最深河床縦断面図

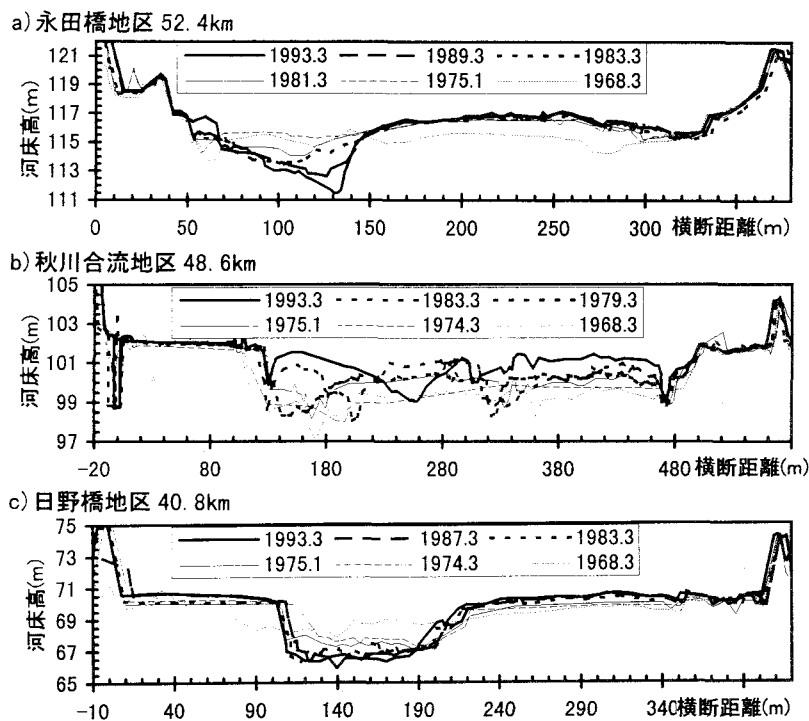


図-2 各調査地区代表測線の横断形状

表-2 1977~83~94 年の植生変化傾向

代表的地被状態	永田橋地区、 日野橋地区	秋川合流地区
自然裸地（被度の低い群落を含む）	→	→
ツルヨシ、イヌコリヤナギ、コセンダングサ	→	→
オギ、ニセアカシア、オオブタクサ	→	→

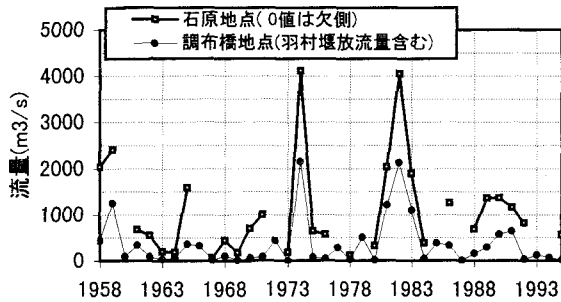
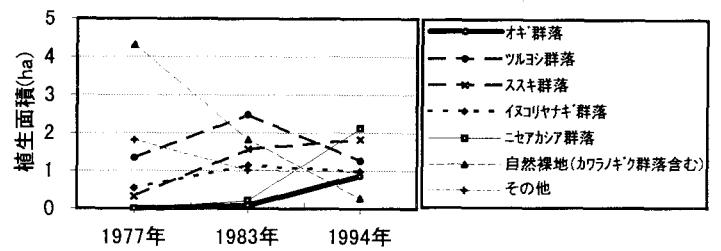


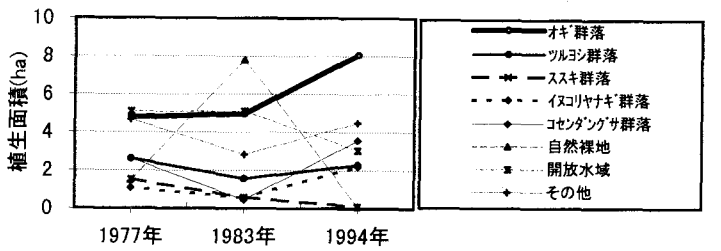
図-4 年最大流量の経年変化

クロな河床変動傾向と植生動態とのつながりを考える上で重要である。

a) 永田橋地区



b) 秋川合流地区



c) 日野橋地区

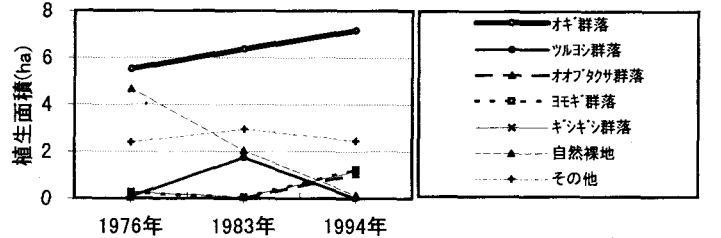


図-3 各植物群落種の占有面積変化
(1977, 1983, 1994 年の植生図から³⁾⁴⁾⁵⁾)

3. 立地条件と植物繁茂との関連—多摩川の事例から—

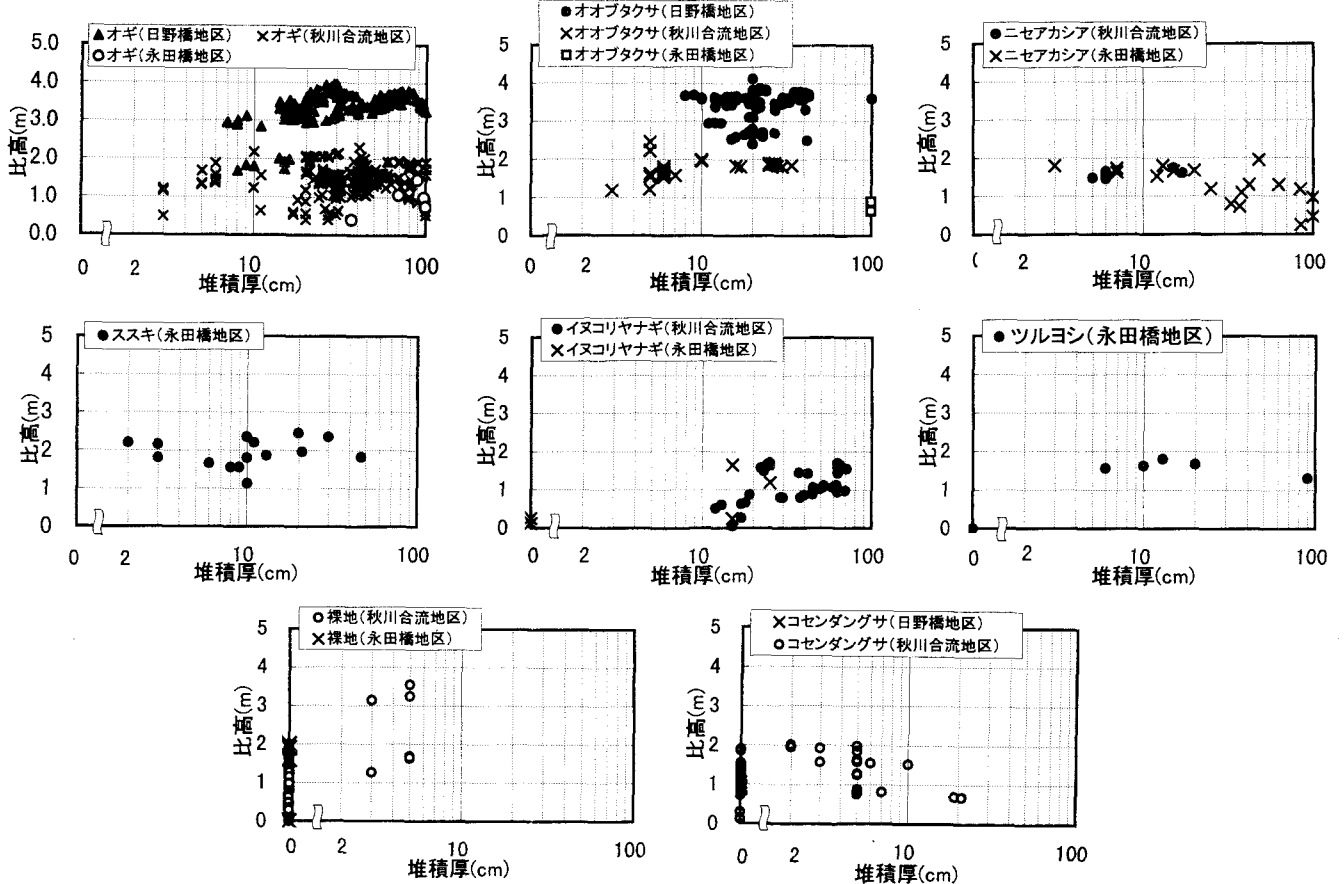


図-5 各植物群落種の比高—堆積厚座標上の分布状況

石川は、河川の植生と立地条件との関係を定量的に分析し、有意な相関があることを示している⁷⁾。ここでは、多摩川の上記調査地区それぞれに数本ずつベルト・トランセクタ(幅 2m 程度)を設け、それに沿って植物と立地条件について詳細な調査を行った(52.2、52.4、52.6、48.4、48.6、40.6、40.8km 測線)。ベルト・トランセクト調査の詳細については文献(5)を参照されたい。表層細粒土層厚を横軸、地下水位からの比高を縦軸に取った座標(立地条件を代表する)上に、得られたデータをプロットし、各群落種の分布状況を調べた。以後、この座標を「比高-堆積厚座標(図)」と呼ぶ。表層細粒土層は、主に複断面化により生じた高水敷において礫床上に堆積した中砂粒径以下の層のことである⁵⁾。

結果を図-5 に示す。この図から、まず、比高-堆積厚座標上の各植物群落種の分布状況が表-3、図-6 に示すタイプⅠ、Ⅱ、Ⅲに分けられそうなのがわかる。タイプⅢの中でも、群落種によって少し違いがある。特に、ススキは比高 150cm 以下にほとんどなく、堆積厚も他の 3 つに比べ小さい領域(10cm 前後)が分布の中心になっていることから、Ⅲ型をサブカテゴリーに分ければ、ススキ(Ⅲ-1)とそれ以外(Ⅲ-2)というように設定できそうである。

これら 3 タイプそれぞれの分布域は、一部重複する部分もあるが、全体的にはお互いに異なったものと見ることができる。このことは、これら 3 タイプのうちどれが発達するかが、立地条件によって強く規定されることを示している。これは、立地条件の変化から植物群落種の変化をある程度推定できるあるいは説明できる可能性を示し、重要である。また、各タイプに属する群落種を見ると、表-2 の 1 段目がタイプⅠに、表-2 の 3 段目にある群落種がタイプⅢに、表-2 の 2 段目の群落種がタイプⅡにほぼ対応している。このことは、これらのタイプ分けが 3 調査地区で起こった植生変化の特性の違いを説明する上でも重要であることを示している。すなわち、異なる河床変動傾向の下では同じ洪水であっても異なる立地条件変化をもたらし、そのことから表-2 に現れた植生変化の違いを相当程度説明できる可能性がある。

4. 礫床裸地が安定した植生を持つに至る道筋についての考察 —多摩川、千曲川の事例から—

永田橋地区、日野橋地区では、複断面化に伴い現れた高水敷的な河床に安定的な植生が繁茂し、河川の自然環境変化の大きな原因になっている⁵⁶⁾。李らの研究⁵⁾および 2 章、3 章から、安定的な植生域拡大を主に担っているのはオギ、ニセアカシア、オオブタクサ、ススキ、

ギシギシ、ヨモギの繁茂であると判断できる。このうち、前三者に着目すると、表-3、図-6 からわかるように、これらはいずれもタイプⅢに属し、このタイプは、表層細粒土層厚が 0 の場所には存在していない。したがって、礫床の裸

表-3 比高-堆積厚座標を用いた植物群落種のタイプ分けの試み

Ⅰ型	裸地、カワラノギク、コセンダングサが該当	比高によらず、ほとんどの場所では、堆積厚 0 である。図-6a) 参照。一部薄い(10cm 程度以下)表層細粒土層厚を持つ場合がある。
Ⅱ型	ツルヨシ、イヌコリヤナギが該当	2つの離れた存在領域を持つ。すなわち、堆積厚 0 で比高が 30cm 以下の場所と、堆積厚 10cm 程度以上で比高が概ね 50~100cm 以上の場所に分布する。図 6b) 参照。
Ⅲ型	ススキ・オギ・オオブタクサ・ニセアカシアが該当	堆積厚 0 の場所に存在しない。比高 0 および 0 近くの場所には存在しない。堆積厚数 cm 以上、比高 50cm 程度以上の場所に幅広く分布する。図 6c) 参照。 ススキをⅢ-1 型、それ以外をⅢ-2 型と細分することもできそう。この場合は、Ⅲ-1 型は、低比高に存在せず(150cm 程度以上)、堆積厚が薄い(10cm 前後)ことが特徴となる。

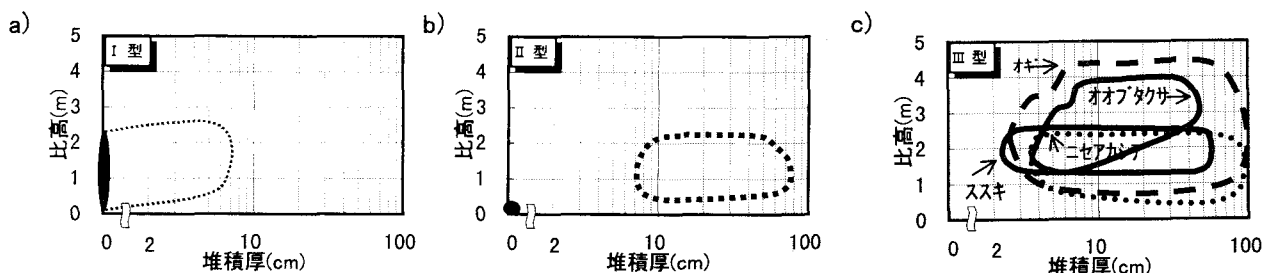


図-6 タイプⅠ、Ⅱ、Ⅲの説明

地の状態から安定植生域が拡大する過程においては、表層細粒土層の形成（堆積）が起こらなければならない。すなわち、図-6 のタイプⅠ分布域からタイプⅢ分布域への立地条件の変化である。この立地条件変化は、細粒土砂堆積により一足飛びに起こったことも考えられるが、タイプⅡ分布域への変化を経て起こったことも考えられる。すなわち、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により、比高－堆積厚座標上でタイプⅡとⅢの分布域が重なる位置に移動し、次第に、タイプⅢの群落種に遷移したという過程である。または、細粒土砂が堆積した場所にタイプⅡの群落種が形成され、そこが次第にタイプⅢの群落種に遷移したという過程である。タイプⅢに属する4つの群落種の中での変化は、基本的には生物学的な遷移が主と考えられる。本研究の対象地区・期間を見る限り、まず、ススキから他の3種への変化はあるが、逆は起こりそうにないこと、今のところ、ニセアカシアから他の3種への変化は起こりそうにないこと、オギからニセアカシアおよびオオブタクサへの変化はありそうなこと、オオブタクサからオギおよびニセアカシアへの変化の可能性は否定できないことが判断される。

以上を踏まえ、礫床の裸地的地被（タイプⅠ）から安定植生域形成（タイプⅢ）に至る道筋についてのシナリオおよびタイプⅢに属する4群落種間の変化の方向を総合して図示すると、図-7 のようになる。この図で、黒矢印は立地条件の物理的変化が大きな変化を、白矢印は生物のプロセスが大きな変化を表す。この図によれば、タイプⅢへの移行に関しては、立地条件の物理的変化の重要度が高く、どこかのパスでそれを経る必要があることになる。一方、立地条件の物理的変化を受けて群落種が変化する場合にどの種になるか、あるいはタイプⅢ、Ⅱの中の群落種間の変化については、生物のプロセスが重要になる。なお、図-7 では、洪水による植生破壊は入れていない。この変化は、洪水の規模に応じた各場所での河床材料の移動形態を調べることで、原理的には推定できる期待される。

なお、図では、タイプⅠ、Ⅱ、Ⅲ以外に「安定礫州上の植物発達」を加えている。これは、千曲川のやはり礫床区間において、多摩川の事例と同様に表層細粒土層が存在すれば密生した植生が繁茂しやすいこと、他に、たとえ表層細粒土層がなくても、場所によっては安定的な礫床裸地にある程度の被度を持つタイプⅡと異なる植物群落が発達することを観察した結果に基づく⁸⁾。渡辺ら⁸⁾によれば、こうした植物群落の発

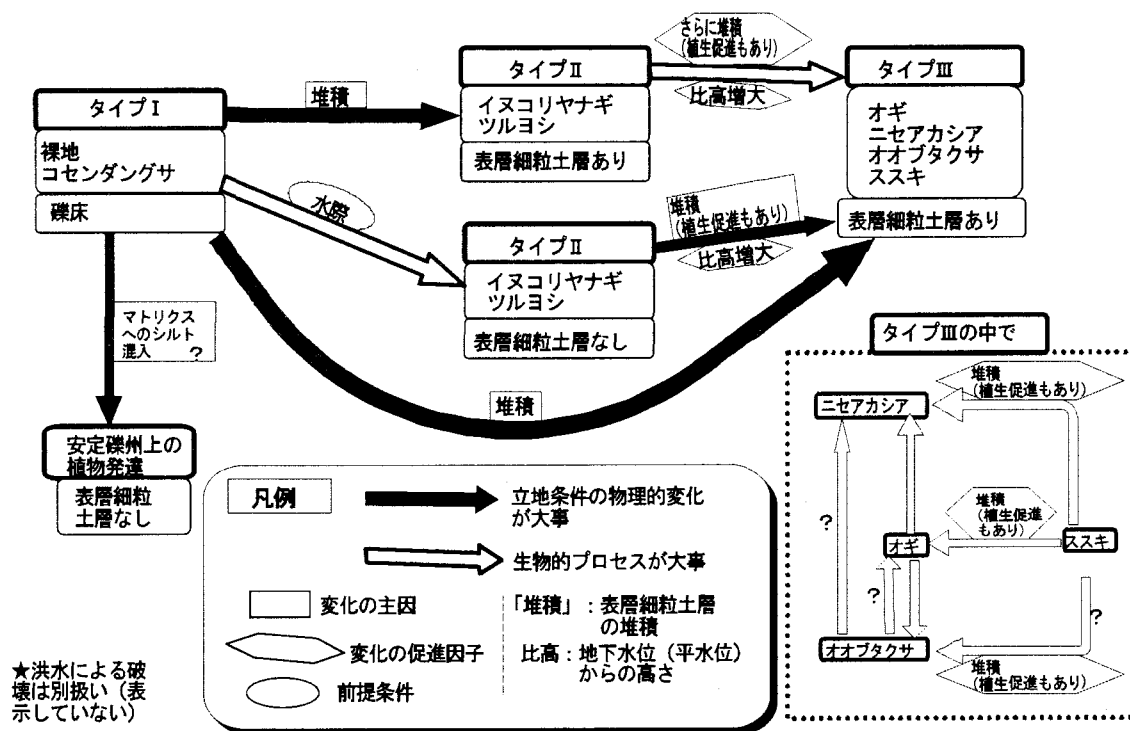


図-7 礫床裸地から安定植生域への変化の道筋についての考察 —多摩川、千曲川の事例から—

達を促す有力な要因として、礫床表面付近のマトリクス材料（礫の間隙を埋める小粒径材料）中のシルト粒径以下成分（0.075mm 以下）が多く（10%程度以上）混入していることを指摘している。

さらに、図-7 には表層細粒土層堆積の一部について「植生促進もあり」という言葉を付けている。これは、植生繁茂による流速低減により、裸地に比べ堆積がはるかに促進される効果⁹⁾¹⁰⁾を指している。図-8 には、千曲川と多摩川、利根川、鬼怒川、小貝川で行った各植物群落種の形状調査に基づき推定した透過係数 K 値の大体の幅を示している。図-9 には、流速 $v=K(I_b)^{1/2}$ 、 $u_*=v/\phi$ から計算される $u_*/w_0>2.5$ となるための K 値を河床勾配 I_b との関係で示した。ここで、 w_0 は堆積の可能性を調べる細粒土砂の沈降速度であり、流速係数 ϕ は 13 とした。 d は土砂粒径である。この図は堆積現象を厳密に表現するものではないが¹⁰⁾、対象植物の K 値が線から右に離れるほど当該植物による堆積促進の可能性が低くなることを示し、各植物群落種が持ち得る堆積促進効果を大局的につかむには有用である。この図から、植生繁茂がいつも細粒土砂堆積をもたらすわけではなく、その有無が、水理条件、細粒土砂の粒径と供給量、植物群落種と成長状態の微妙な組み合わせにより変わり得ることが理解される。このことは、植生の持つ堆積促進効果を独立に扱うのではなく、図-7 に示したような植生動態をとらえる全体構図の中に組み込んだ形で扱うことの重要性を示している。

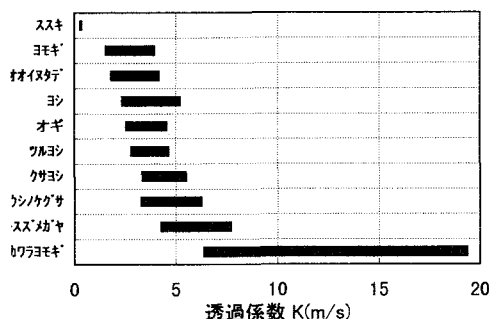


図-8 各植物群落種の K 値の推定結果

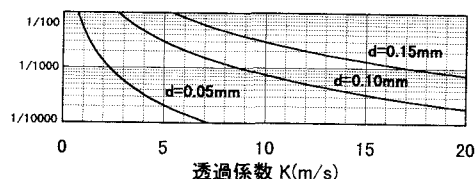


図-9 堆積促進効果を持つために必要な K (線から右に離れると効果なしの可能性大)

5. おわりに

本研究を通じて、限られた事例を通してではあるが、河床上昇・低下というマクロな河床変動傾向と比高～堆積厚座標で表される立地条件が、植生動態と密接な関係を持つことを定量的に明らかにでき、礫床裸地が安定した植生域を持つに至る具体的かつある程度包括的シナリオを示すことができた（図-7）。植生動態の“予測”に向けて、「実証的な個別事例分析と基礎研究→包括的な植生動態シナリオの設定（多少強引でも）→シナリオを具体化する道具の整備→植生動態“予測”の試みとシナリオ、道具の検証」というサイクルを一層活発化させることが大事である。この際、河川植生変化における物理過程の役割は本質的であり、こうしたシナリオから求められる精度・解像度で物理過程を表現するモデルを整備することの意義は高い。ただし、この際には、包括的シナリオとの関係、および植物の種類を常に意識しなければならない。

謝辞：本研究の一部は、河川生態学術研究会多摩川グループの調査研究の一環として実施したものである。横断測量成果、調布橋での流量については建設省京浜工事事務所から提供して頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) たとえば、奥田・佐々木編：河川環境と水辺植物、Ⅱ-1(梅原)、Ⅱ-6(石川)、ソフトサイエンス社、1996。
- 2) 奥田、曾根、藤間、富士：多摩川河川敷現存植生図、とうきゅう浄化環境財団、1979.3。
- 3) 曾根：多摩川河川敷現存植生図、とうきゅう浄化環境財団、1984.3。
- 4) 奥田、小松、昌瀬：多摩川河川敷現存植生図、建設省京浜工事事務所/河川環境管理財団、1995.3。
- 5) 李、藤田ほか：礫床河川の樹林化に果たす洪水と細粒土砂流送の役割、土木学会水工学論文集、第42巻、pp.433-438、1998。
- 6) 李、山本、島谷、萱場：多摩川扇状地河道部の河道内植生分布の変化とその変化要因との関連性、土木学会環境システム研究論文集、Vol.24、pp.26-33、1996。
- 7) 石川：揖斐川の河辺植生、Ⅰ.扇状地の河床に生育する主な種の分布と立地環境、日本生態学会誌、38、pp.73-84、1988。
- 8) 渡辺、藤田、塚原：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、土木学会水工学論文集、第42巻、pp.439-444、1998。
- 9) 辻本、北村：植生周辺での洪水時の浮遊砂堆積と植生域の拡大過程、土木学会水工学論文集、第40巻、pp.1003-1008、1996。
- 10) 塚原、藤田、渡辺：植生が繁茂した河川水際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。