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

FACTORS GOVERNING THE POSSIBILITY OF HERBACEOUS VEGETATION GROWTH ON A STABLE GRAVEL BAR

渡辺 敏¹・藤田光一²・塚原隆夫³

Satoshi WATANABE, Koh-ichi FUJITA and Takao TSUKAHARA,

¹正会員 農修 建設省土木研究所 河川部河川研究室 交流研究員 (〒305 茨城県つくば市旭1)

²正会員 工博 建設省土木研究所 河川部河川研究室 室長

³正会員 工修 建設省土木研究所 河川部河川研究室 研究員

Between consecutive two floods substantially disturbing gravel bars, bare areas expanded by the former flood are gradually replaced again by vegetation areas, while the bars are stable. The prediction of vegetation growth on a stable and bare gravel bar, therefore, is essential for the assessment of habitat change in a gravel-bed river. Through field surveys on the Chikuma River, possible factors in vegetation growth on gravel bed surfaces were widely examined and compared. Survey results showed that a content of material finer than 0.075mm in bed surface 'matrix' was by far the most significant factor governing whether herbaceous vegetation, which was dominant in the sites, grew or not. The content of 0-4%, in particular, greatly reduced chance of the vegetation growth with a few exceptions. Formation mechanisms of matrix with the fine material was also discussed in terms of its resources and deposit, which discussion suggested the influence of catchment characteristics on the activity of instream vegetation.

Key Words : river, habitat, bare bed, non-uniform bed material, matrix, fine material, wash load, sediment resources, soil water content, capillary suction, Chikuma River, Sai River

1. はじめに

一般に、砂礫州上の植生は、一定規模以上の洪水により流失し、その後、次の有意な洪水を受けるまでの間に再び繁茂するというサイクルを繰り返す。したがって、洪水による河床攪乱は植生発達を抑制する重要な要因と言える¹⁾。しかし、攪乱をもたらした洪水後の安定した砂礫州上における植生発達速度は種々の条件により大きく異なり、河床攪乱の度合いだけでは砂礫州上の植生繁茂の活性度を評価することは難しいようである²⁾。本研究は、このことに着目し、安定した砂礫州上での植生発達速度の違いやその有無を支配する要因を現地調査に基づいて見だし、その機構解明に役立てようとするものである。

砂礫州上の植生繁茂の活性度は、礫床河川特有の環境であり生物生息空間としても重要な裸地砂礫州(玉石河原)の持続性と表裏一体をなす。礫を表層材料に持つ河道区間における持続的裸地(玉石河原)の成立要因については生物生態学的側面からの分析が行われている^{3), 4), 5)}。しかし、それらの多くが定

性的で空間的には断片的解釈に留まっている。これは、洪水作用に伴う立地条件の時空間的変動という河川特有の要素が植生の発達に対して極めて大きな影響力を持ち、この要素の定量的把握が必ずしも十分でなかったことも一因と考えられる。

図-1 千曲川水系図と調査対象区間

表-1 対象河道区間における河道特性

	←下流		犀川合流	上流→	
河道区間 (県境からの距離: km)	①53.0~65.0	②65.0~83.0	③83.0~90.0	④90.0~103.0	⑤103.0~109.5
調査ライン設定位置(km)	62.5	68.25	(86.5)	97.0	104.25
調査ラインの総延長(m)	750	200	340 (予定)	350	325
表層河床材料の平均粒径 (目視: 最大値) (mm)	100	200	200	400	600
表層河床材料の平均粒径 (目視: 最小値) (mm)	20	20	60	200	30
河床材料の平均粒径(mm) (dm.表層材料を剥いだ場合)	25	20	30	35	23
河床勾配	1/1,000	1/1,050	1/340	1/210	1/181
中規模河床波の領域区分	交互砂州 +複列砂州	交互砂州	複列砂州	複列砂州 +溝的河道	(溝的な河道)
平均年最大流量(m ³ /s)	2,500	1,300			
低水路内陸域の植被率(%) ()内 変化の幅	20 (0~40)	85 (50~100)	70 (60~80)	80 (70~90)	85 (70~100)
河道内の植生繁茂パターン 破線は年最大流量時水位

図-2 年最大流量の経年変化

本研究では、大きな攪乱をもたらした洪水が最近なく、現時点まで比較的安定した河床状況が続いている千曲川の砂礫州を対象に、植生の発達状況とそれに関係すると考えられる種々の要因を調べ、両者の関係を分析した。特に、立地条件の詳細な定量記述を行い、植生発達状況との定量的関係の把握につとめた。本論は、以上の結果明らかになった裸地持続に必要な要因と、それに基づく裸地持続機構の考察結果を述べたものである。なお本研究では、調査対象区間の砂礫州上で優勢であった草本植生を主な検討対象とした。

2. 対象河川区間と現地調査の概要

千曲川の縦断距離標53.0km~109.5kmを対象に調査分析を行った。千曲川水系の平面図を図-1に示す。

表-1は、河道特性に関する山本の方法⁶⁾を参考として、表層河床材料粒径、河床勾配、中規模河床形態、砂礫州上の植生繁茂パターンなどで対象河道区間を縦断的に①~⑤のセグメントに区分したものである。①から⑤にかけて河床構成主材料はいずれも礫であるが、河道特性と植生繁茂状況はかなり変化する。ただし、①~⑤のいずれのセグメント区間においても、対象とした低水路内の砂礫州上に発達する植生は同様の植物群落種によって構成されていた。なお、同植物群落種の代表的なものは図-4, 5, 7, 8に示すとおりである。また65km付近では犀川が合流する。犀川の流量規模は本川より大きく、この合流は区間①とそれ以外との差異を考える上で無視できない要因となる。

現地調査では①②④⑤の各セグメントの中から代表的な砂礫州を1つないし2つ抽出し、その砂礫州

写真-1 千曲川97.0km(1995.11撮影)

図-3 A-A'ライン上の礫面表層の細粒土砂堆積厚さ

を概ねカバーするような調査ラインを縦断・横断それぞれの方向に設置した。このライン上で0.5~1mの均等間隔で植生の発達状況、表層河床材料の状況等を定量的に測定し、同時に地形測量を行った。1調査範囲のライン延長は200~800m程度、セグメント①②④⑤に対応した4範囲すべてのライン総延長は2km弱である。各セグメント内では砂礫州とその上での植生繁茂の基本的特徴が似通っており、1つのセグメントについて1~2つの砂礫州抽出であっても、十分な代表性があると判断した。調査は、1997年6月と8月、9月に行った。

図-2は生田地点と立ヶ花地点の年最大流量の経年変化であり、平均年最大流量を大きく越える洪水は1985年以降生じていないことがわかる。さらに、横断測量結果、平成7年撮影の空中写真と現在の状況との比較から、各調査ラインについて1997年9月までの少なくとも2年間は植生破壊を大規模に起こすような地形変動が起こっていないことを確認した。したがって本調査では、大きな攪乱をもたらした洪水から10年以上経ち、最近2年間以上安定な状態にあった砂礫州上の地被を調べたことになる。

3. 植生域と裸地持続域との立地環境の違い

(1) 表層細粒土層の有無と植生の発達

写真-1に示すA-A'はセグメント④に設定した調査ラインの1本であり、図-3にA-A'ライン表層の細粒土砂堆積厚さを示した(ここで細粒土砂は「粒径2mm以下」とした)。この図と写真から、表層に細粒土砂が堆積する場所では植生が発達していることがわかる。この性質は、調査ラインすべてについて見られ、砂礫面上に細粒土砂がまんべんなく

図-4 裸地と植生域の平水位からの比高比較

堆積した場所では、強い人為的影響がない限り植生の急速な発達が促される傾向が認められた。このことは、表層細粒土層の有無が植生繁茂を支配する重要な要因の1つであることを示すものであり、これについては李ら⁷⁾が詳細に検討を加えている。

しかし、調査対象河道区間の低水路内においては、表層細粒土層が見られる範囲は限定されており、この土層が無く河床表面に礫のはっきり存在する場所の方が一般的であった。そして、そのような場所に裸地は存在するが、一方で植生が繁茂する領域も数多く存在していた。そこで、以下では、表層細粒土層が無い(礫が表面に露出する)領域に絞って、植生の有無を分ける要因を分析する。

(2) 表層に礫が露出する領域における植生の発達

a) 平水位からの比高と植生発達との関係

まず、植生発達を左右する立地条件として平水位からの比高を取り上げた。本分析では、平水位としての代表性が高いと判断された6月調査時点の水位を基準とした。図-4に、調査ライン上各点の植被率と平水位からの比高を、裸地および植生群落ごとにプロットした結果を示す。この図から、ツルヨシ群落、オオイヌタデ群落、ヒメムカシヨモギ群落の成立立地の比高範囲は裸地のそれとほぼ重なっており、ヨモギ群落、クサヨシ群落の比高範囲についても、裸地の比高範囲と重複する部分が相当ある。このことは、比高が裸地と植生繁茂域を分ける決定的な要因としては不十分であることを示すものである。平水位からの比高は概ね冠水頻度に対応していることから、図-4は、安定した砂礫州(低水路内の陸域)における植生発達域の有無が冠水頻度とはあまり関係なく決まることを説明するとも言える。

b) 礫粒径と植生発達との関係

図-5に、河床表面の主構成材料をなす礫の平均粒径を線格子法⁸⁾により調べ、植生発達状況と対応づけた結果を示す。図の横軸は、裸地あるいは植生群落ごとの調査地点数の累加度数である。この図から、植生発達域と裸地域の礫粒径分布がほぼ重なっており、礫粒径が植生発達の有無を分ける主要因にはならないと判断できる。

図-5 裸地と植生発達域の表層礫粒径

図-7 裸地と植生域のマトリクス主材料の平均粒径

図-6 表層に礫が露出する領域における植物の生育

c) 礫間隙中の小粒径材料（マトリクス）の性質と植生発達との関係

表面に礫が露出する領域における植生繁茂は、植生の根がマトリクスに侵入することにより成り立っている（図-6参照）。そこで、表層マトリクスの重要性に着目して、その性質と植生発達との関係を調べた。以後分析を行っているマトリクスのデータは、表層礫間、そこにマトリクスが無いときは礫を1層はがして現れるマトリクスの材料特性を調べたものであり、これを表層マトリクスと呼ぶ。

図-7は表層マトリクスの主成分（ここでは0.075mm以下の成分を除いたものと定義）の平均粒径について、図-5と同じ整理をしたものである。この図から、裸地域の表層マトリクス主成分の方が植生発達域のそれよりも粗粒である傾向は若干うかがえる。しかし、両者の分布が重複している部分も相当あり、表層マトリクス主成分の平均粒径だけから植生発達域と裸地域を判別するのは難しい。

一方、図-8は、表層マトリクスのうち、図-7では取り除いたシルト粒径以下（0.075mm以下）の土砂含有率（以後、細粒土砂含有率と呼ぶ）について、図-5、7と同じ方法で整理したものである。この図から、オオイヌタデと一部のツルヨシを除けば、裸地域と植生域とで細粒土砂含有率の分布域が明瞭に異なることがわかる。すなわち、表層マトリクスの細粒土砂含有率が4%以下の場所のほとんどでは、上記2群落種を除いて、植生の発達が起こっていない。以上のことは、表層マトリクスの細粒土砂含有

図-8 裸地と植生域のマトリクス中細粒土砂（シルト粒径以下）含有率

率が、植生の発達の有無を分ける非常に支配的な要因であることを示している。

ところで、調査ライン上では、礫を2層以上めくってもマトリクスが全くない場所があった（写真-1の水際近くの裸地域もこの例）。これは、「透かし礫層」⁹⁾と呼ばれる状況に対応すると考えられる。透かし礫層状になっている場所はいずれも裸地であり、裸地を持続させるもう1つの支配要因と言える。

d) 表層マトリクス中の細粒土砂含有率が支配要因となる理由について

図-9は、粒径組成が異なる代表的な3種類の土壌について、土壌水分量とpH値の関係を示したものである（文献10）の図面に著者らが加筆）。植物はpH値が約1.8～2.8の範囲にある土壌中の水について有効利用できる^{10)、11)、12)}とされる。図-9は、シルト粒径以下の細かい粒子の含有率が低い土壌ほど、植物が有効に利用できる水分が限られることを表している。表層マトリクスの細粒土砂含有率が裸地状態の持続を決定づける重要な要因になる理由として、以上のことが考えられる。透かし礫層状になっている場所で植生が発達しない原因としては、マトリクスが現れる位置が河床表面から深く、植物の初期成長の段階で日射が足りないこと、透かし礫層の存在により地表付近の熱環境が植物の生育にとって厳しくなっていることが挙げられる。

ところで、図-8に示したように、オオイヌタデと一部のツルヨシについては、表層マトリクスの細粒

図-9 代表的な土壌の水分特性説明図

土砂含有率が低く粒度組成が粗い場所においても群落を形成する事例が確認できた。その例を図-10に示す。これは、セグメント②に形成された中州において横断方向に設けられた調査ライン上の植生分布を示すもので、水際近くに繁茂したツルヨシとオオイヌタデの立地面には表層細粒土層がなく、表層マトリクスの細粒土砂含有率も1%以下であった。中州の兩岸の水面を結んだラインを推定地下水位線とすると、上記の植生発達域は地下水位からの比高が小さく、中州中央の植生が疎な領域（一部では裸地）の比高は大きいことがわかる。このことは、マトリクスが細粒分を含まない粗い成分で構成されていても地下水位からの比高が小さければ、特定の植物が群落を形成できること示している。これは、水分保持力の弱い粗粒分だけで構成されるマトリクスであっても、地下水位が十分に高い条件にあれば、植物の発芽や成長に必要な水分が供給されるためと考えられる。

4. 表層マトリクスに細粒土砂が混じる理由の考察

以上から、礫が露出している河床表面における植生繁茂の有無を支配する要因として、表層マトリクスの細粒土砂含有が重要である可能性が示された。そこで、この理由について考察する。

(1) 植生による流速低減効果

第一に、植生自身の流速低減効果によって裸地では堆積しない細粒土砂が堆積したというシナリオが考えられる。しかし、塚原ら¹³⁾が扇状地河道（セグメント④と⑤）と礫を河床材料に持つ自然堤防帯の河道（セグメント①～③）の代表的な諸元、水理量を用いて行った植生の細粒土砂堆積効果の概算によると、ウォッシュロード供給量が相当大きい条件でも、粗粒のシルトが植生効果により堆積するには、

図-10 千曲川68.25km中州の横断形状と植生分布

扇状地河道（セグメント④と⑤）で $K=1\text{m/s}$ 程度以下、礫を河床材料に持つ自然堤防帯の河道（セグメント①～③）で $K=4\text{m/s}$ 程度以下という条件が必要となる。ここで K :植生の透過係数である（小さい方がより密生）。本調査においては、あわせて植生の透過係数も計測しており、それによれば、河床表面に礫が露出している場所の植生の K 値は全般的に高く、密生度が高いものについて流水中の倒伏を考慮しても 5m/s 以上である。以上から、本調査対象については、セグメント①～⑤のいずれの領域においても、植生による流速低減効果が細粒土砂混入の主たる要因であったとは考えにくい。

(2) 横断方向の河床高変化による細粒土砂の移流拡散

この機構によれば、水際部に細粒土砂が堆積できる。ただし、藤田らは¹⁴⁾、その堆積量が一般に微小であり、地形変化の要因としては考えにくいとしている。しかし、ここで取り上げているのは、表層マトリクスへの細粒土砂の混入であり、図-8に示すように5%というわずかな混入でも植生発達に影響を与える。以上から、このシナリオは、細粒土砂の表面への供給という側面については有効となる可能性がある。ただし、マトリクス中への細粒土砂の混入については別のメカニズムを必要とする。

(3) 流域特性の影響

セグメント①では他のセグメント区間よりも持続的裸地領域の広がり方が圧倒的に大きい（表-1「低水路内陸域の植被率」参照）。そこで、セグメント①とセグメント②～⑤の低水路内陸域における裸地の割合が違う理由について考察した。

セグメント①とセグメント②～⑤の持続的裸地領域を比較すると、景観的な色彩が異なることが挙げられる。すなわちセグメント①の裸地は白さが強く、一方②～⑤の裸地はこれに黒さが加わり灰色っぽくみえる。現地で採取してきた表層マトリクスを比較してもこの傾向は明らかであり、全体としてセグメント②～⑤の区間の細粒土砂には黒さが強いものが多く含まれ、セグメント①では白い粗砂（ $0.5\sim 1\text{mm}$ ）が細粒土砂の主成分となっており全体的に白さが強い。この原因として考えられるものとして供給土砂

の質的違いが挙げられる。対象区間の河道特性で説明したとおりセグメント①は犀川の合流を伴い、流量は約2倍になる。したがって、セグメント①においては犀川合流による供給土砂の質的違いの影響を無視できない。

セグメント②～⑤の集水域の特色として黒ボク土壌群が広く分布することが挙げられる¹⁵⁾。一般に黒ボク土壌は火山灰を主な母材とし、褐色森林土壌等と比較してシルトや粘土の細粒分が多いとされる土性を持つ土壌である^{16), 17)}。また、高瀬川、梓川を支流にもつ犀川流域の特色として、極めて起伏の大きな飛騨山地を水源にもち、この飛騨山地北半分のほぼ全域は花崗岩質岩石高瀬型に覆われる¹⁵⁾。多くの場合、花崗岩類は深部にまで砂粒風化（マサ土化作用）を受けており、破碎が著しく流水により侵食されやすいとされる。そして花崗岩類の構成鉱物は石英、長石類を主体にしており粒子は粗く硬い岩石であるため、基岩から砂へと著しく不連続な風化過程を持つが、これ以上の細粒化は物理的な風化作用では殆ど起こらないとされる¹⁸⁾。

以上から、セグメント①と他のセグメントにおける細粒土砂の質的違いを、上述の2つの集水域における表層土壌、表層地質特性の違いの表れとして理解することも可能である。3章で、裸地状態が維持される条件として、植物の発達基盤に含まれるシルト以下の細粒分が少ないことが最も重要な要因であることを示した。「セグメント②～⑤はセグメント①と比較してシルト以下の細粒土がより高い割合で供給されるため、持続的裸地領域が形成される平面スケールが小さくなる」と推測すると、犀川合流の上下流で植生繁茂の活性度が大きく異なることが定性的には説明しうる。このシナリオに従えば、供給土砂の質的違いが持続的裸地領域の造成スケールに反映されることが示唆される。

5. まとめ

安定した砂礫州（低水路内の陸域）における草本植生発達と裸地域持続の要因について、千曲川縦断距離標53.0km～109.5kmでの調査と分析に基づき得られた知見を以下に挙げる。

- 1) 礫面表層に細粒土砂がまんべんなく堆積すれば、裸地状態は維持されず植生が発達する。
- 2) 礫が河床面に露出する領域においては、表層マトリクス中の粒径組成が裸地状態の持続を決定づける重要な要因であり、シルト以下の細粒分含有率が5%に満たない場合、ほとんどの場所で裸地状態が持続するとの結果が考えられた。
- 3) ただし2)を満たす条件でも、地下水位が十分に高ければ特定の植物は群落を形成できる。
- 4) 河床面に砂礫が露出している場所について、礫粒径、表層マトリクスの平均粒径、地下水位からの比高は、植生発達域と裸地域を分ける十分な要因とはならない。このことから、冠水頻度

は裸地域の持続と有意な相関は無いようである。

- 5) 犀川合流前と異なり、合流後の河道区間では広い持続的裸地領域が形成されており、この理由を説明する仮説、すなわち「千曲川上流と犀川上流の流域特性の違いによる供給土砂の質的違いが持続的裸地領域の造成スケールに反映された」との考え方を示した。
- 6) 以上の知見は、洪水による大きな攪乱が無い期間の安定した砂礫州における植生発達と裸地持続を予測する手法を検討する上で有用である。

謝辞：望月達也 前河川研究室長からは有益な助言をいただきました。本研究は河川生態学術研究会の一環として行った調査研究をとりまとめたものであります。なお本研究を進めるにあたって、水位、流量、航空写真、横断測量等のデータを、建設省北陸地方建設局千曲川工事事務所から提供して頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) たとえば、塚原隆夫、渡辺 敏、望月達也、藤田光一：礫床河川における水辺環境の変化と洪水の作用，土木技術資料，Vol.39/No.5，pp.30-35，1997。
- 2) 渡辺敏：河川における植生の変動過程に関する研究，土木技術資料，Vol.40/No.1，1998。（印刷中）
- 3) 石塚和雄：植物生態学講座 1 群落の分布と環境，朝倉書店，pp.237-242，1977。
- 4) 宮脇昭：日本の植生，学研，pp.52-57，1977。
- 5) 奥田重俊，佐々木寧：河川環境と水辺植物—植生の保全と管理—，ソフトサイエンス社，pp.29-31，1996。
- 6) 山本晃一：沖積河川学，山海堂，pp.1-16，1996。
- 7) 李参熙，藤田光一，塚原隆夫ほか：礫床河川の樹林化に果たす洪水と細粒土砂流送の役割，水工学論文集，第42巻，1998（投稿中）。
- 8) 山本晃一：砂礫河床のサンプリングと統計的処理，土木技術資料，Vol.13/No.7，pp.40-44，1971。
- 9) 池田宏：透礫層の成因に関する水路実験，地形，第3巻第1号，pp.57-65，1982。
- 10) 中野秀章：水文学講座13森林水文学，共立出版，pp.121-125，1979。
- 11) 中野政詩：土の水分量と毛管張力の関係(脱水過程)2，農業土木学会論文集，第35号，pp.10-14，1971。
- 12) 小橋澄治，村井宏，亀山章：環境緑化学，朝倉書店，pp.9-21，1992。
- 13) 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。
- 14) 藤田光一，John A. MOODY，宇多高明，藤井政人：ウォッシュロードの堆積による高水敷の形成と川幅縮小，土木学会論文集，No.551/II-37，pp.47-62，1996。
- 15) 経済企画庁総合開発局：土地分類図(長野県)，1974。
- 16) 浅海重夫：土壌地理学—その基本概念と応用，1990。
- 17) 河田弘：森林土壌学概論，博友社，1989。
- 18) 三木幸蔵：わかりやすい岩石と岩盤の知識，鹿島出版会，1979。

(1997.9.30受付)