

洪水攪乱と周辺植物の影響に着目した 希少河原植物生育地の成立および維持機構

FORMATION AND MAINTENANCE OF RARE VEGETATION HABITAT ON GRAVEL BARS IN THE VIEW OF FLOOD DISTURBANCE AND COMPETITION WITH AMBIENT PLANTS

藤原正季¹・大石哲也²・天野邦彦³

Masaki FUJIWARA, Tetsuya OHISHI, and Kunihiko AMANO

¹ 正会員 工修 土木研究所 河川生態チーム 交流研究員 (〒305-8516 つくば市南原 1-6)

² 正会員 工修 土木研究所 河川生態チーム 研究員 (同上)

³ 正会員 博(工) 土木研究所 河川生態チーム 上席研究員 (同上)

Projects aiming to restore the habitat of rare vegetation on gravel bars have been increasing after the pass of Law for the Promotion of Nature Restoration in Japan. However, conservation of the habitat can be difficult because of decreasing flood disturbance and increasing grasses and trees now. Therefore, it is important to know how the habitat of rare species have been affected by differences of flood disturbance and competition with ambient plants. The purpose of this paper is to examine the process of the growth of rare plants caused by flood disturbance and competition with ambient plants. As a result of numerical simulation and filed surveys, we have shown that the plants can grow when the shear stress (τ) that works at the bar about $0.04(\text{kN/m}^2)$ and the elevation from water level is above 2.5m. The area is the boundary between bare gravel bed and Amur silvergrass.

Key Words : gravel bar , rare vegetation , flood disturbance , ambient plants , shear stress ,

1. はじめに

河川特有の自然景観である河原は、多くの河川で減少している¹⁾。河原の減少は、河原特有の環境に依存する生物の減少の問題とも関係が深い²⁾。これらの問題を解決する為に砂州の切り下げ等の河原再生事業が各地で行われている^{2), 3)}。この際、河原再生事業の目標には、カラヨモギ、カラハハコ、カラナギ等希少河原植物の保全や回復があげられる場合が多い²⁾。しかし、これら希少河原植物の生育地の成立および維持機構については、よく分かっていない。そのため、これらを把握できれば、河原再生事業の実施にあたり、砂州切り下げ高さおよび形状の設計に反映でき、事業の効果をより高くすることができると思われる。

一般に砂礫州上の植物群落は、洪水による生育地の攪乱による縮小と、その攪乱により新たに生じた立地への拡大を周期的に繰り返している。頻繁に攪乱が発生する立地では、植物は群落を形成できない。一方、攪乱の少ない立地でも、様々な要因(例えば、植物の生育に必要な水分の不足等)により、植物群落の拡大が制限される。高頻度に攪乱が発生せず、植物群落の拡大を制限する要因が少ない条件の立地では、一年生草本から多年生草本等の安定的

植生へと遷移していくことが考えられる。

希少河原植物もまた、洪水の攪乱による破壊と他の植物と競合しながら生育しているものと考えられる。しかし、希少河原植物の生育地について、洪水攪乱の影響および周辺植物との生育条件の違いを定量的に把握した事例は少ない。そこで、本研究は、実際に、希少河原植物であるカラヨモギおよびカラハハコが現存する砂州を対象に、これら希少河原植物の生育地の成立過程および維持機構を、洪水攪乱の強度および周辺植生の拡大に着目し、明らかにすることを目的とする。

2. 方法

(1) 対象砂州

対象砂州は、流域が福島、栃木、茨城の3県にまたがる一級河川那珂川の河口から45.5-46.2km(栃木・茨城県境の茨城県側)に位置する。

対象砂州の存在する区間は、那珂川が八溝山地を横断する狭窄区間を出た直後、台地・丘陵区間に該当し、河床勾配は約1/770、河床材料は代表粒径25mmの砂礫で構成され、平常時水面幅は約75m、セグメント2-1に分類される。対象砂州の位置を図-1に示す。

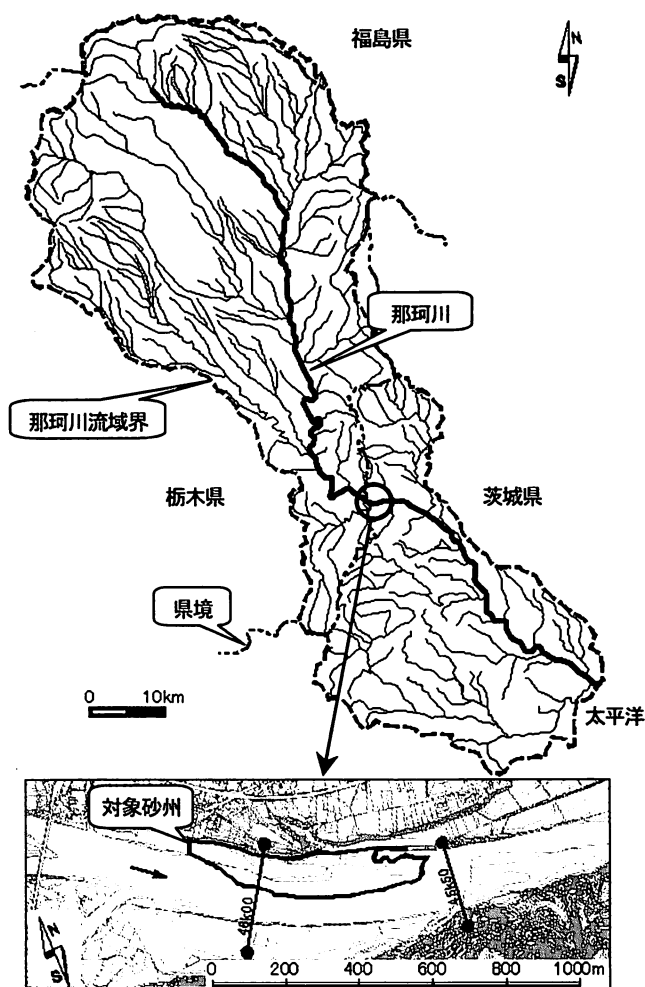


図-1 対象砂州

(2) 検討方法

a) 砂州および植生の変遷履歴の整理

現在維持されている希少河原植物の立地が、どのような過程をたどり成立したかを把握するために、対象砂州の平面形状および植生の変遷を整理した。砂州の平面形状は、空中写真により判読した。植生の変遷は、空中写真を判読し、対象砂州上の植生を竹林、密に生育する草本、粗に生育する草本、裸地に分類した。そして、各分類の面積と平面位置の変遷を求めるために、GISを用いて整理した。

b) 洪水攪乱強度

現在の植物の生育地に働いた洪水攪乱強度を把握するために、1次元不等流計算により掃流力（ τ ）を求めた。計算を行うにあたり、まず、2003年の定期横断測量によって得られた標高データおよび現地でのRTK-GPS測量機器（精度5cm以内）を使用し計測した標高データを用い、100m間隔で計算断面を設定した。次に、近傍の流量観測所（野口）の流量履歴を整理（図-2）し、計算流量を決定した。1998年の最大流量はデータが欠損していたため、水位⁹⁾を用い、H-Q曲線より推測した。1998年から2002年まで発生した洪水の最大流量は、約4000 m^3/s で

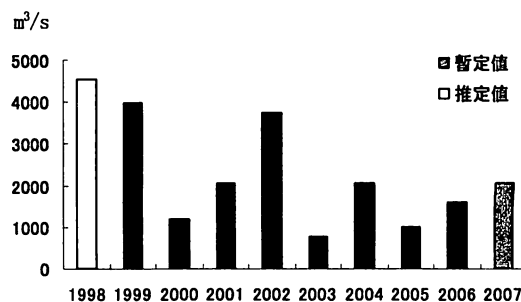


図-2 1998年以降に発生した洪水の年最大流量

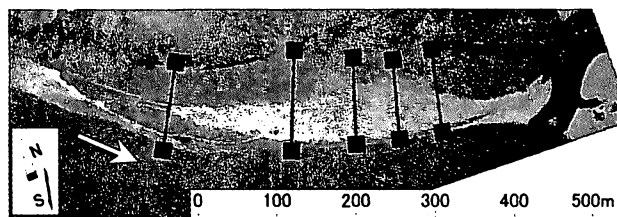


図-3 調査ライン位置

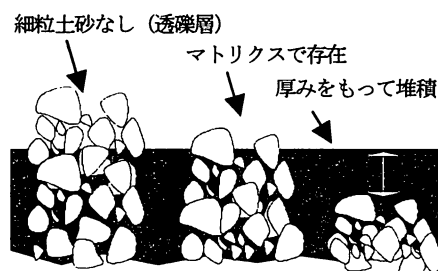


図-4 細粒土砂の堆積状態⁵⁾

あった。以降、2007年までに発生した洪水の最大流量は約2000 m^3/s であった。このため、現在（2007年）の植生分布を、洪水攪乱の観点から規定しているのは、流量2000 m^3/s の洪水と考え、計算対象流量を2000 m^3/s とした。そして、流量2000 m^3/s の洪水時に植物の生育地に働く掃流力（ τ ）を式(1)のように求めた。

$$\tau = \rho g h i_e \quad (1)$$

ここで、 ρ (=1000 kg/m^3):水の密度、 g (=9.8 m/s^2):重力加速度、 h :計算によって得られた水位から地盤高を減じて得た植物の生育地上の水深、 i_e :エネルギー勾配である。

断面形状を考慮した1次元不等流計算を実施したため、得られた水位情報に基づいて横断面に任意の位置毎に h を与えることで、出水時における砂州上の掃流力分布を求めることができる。

c) 現状の植物分布と細粒土砂の堆積状態

砂州上の植物群と地形や細粒土砂の堆積状況の関係を把握するために、河川横断方向に5本の調査ラインを設定し（図-3）、このラインに沿って植物群の種類や細粒

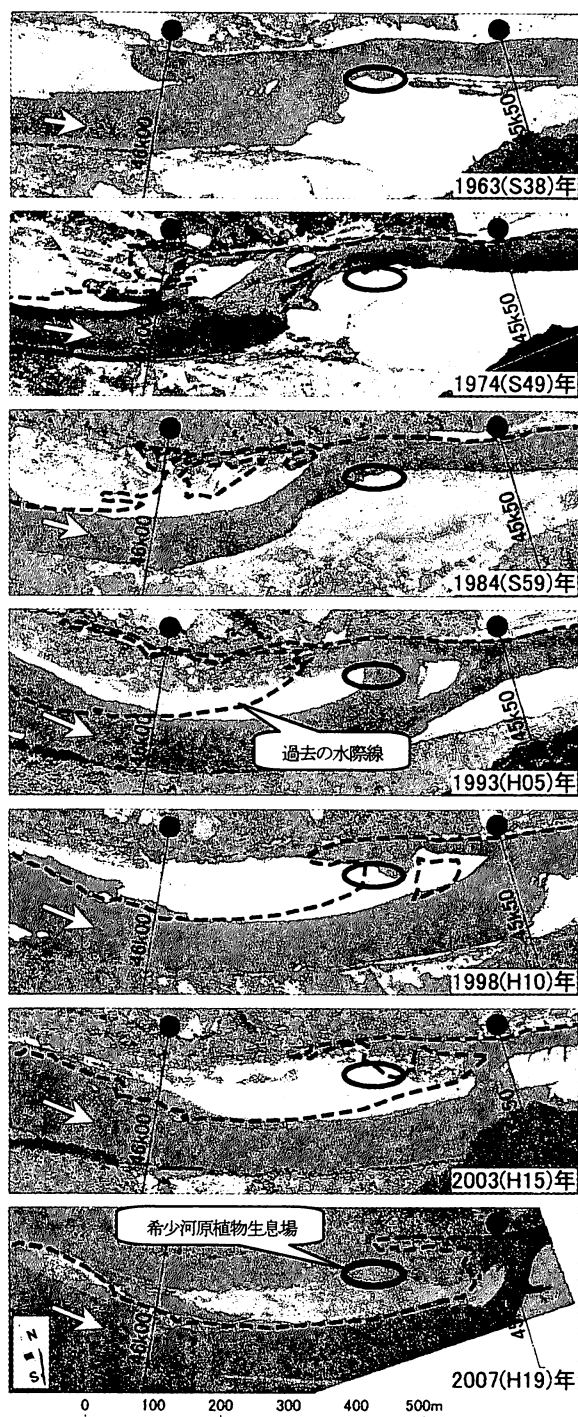


図-5 砂州の変遷 (1963～2007年)

土砂の堆積状態、地盤高を計測した。

細粒土砂の堆積状態は、図-4に基づき分類し、地盤高及び調査位置の記録は、RTK-GPS測量機器を用いた。加えて、水面比高(地盤高－調査時の水面高)を求め、植物群との関係を把握した。なお、調査は2007年に発生した約2000m³/sの洪水後に行った。

3. 結果

(1) 生育地の成立過程

a) 砂州形状の変遷

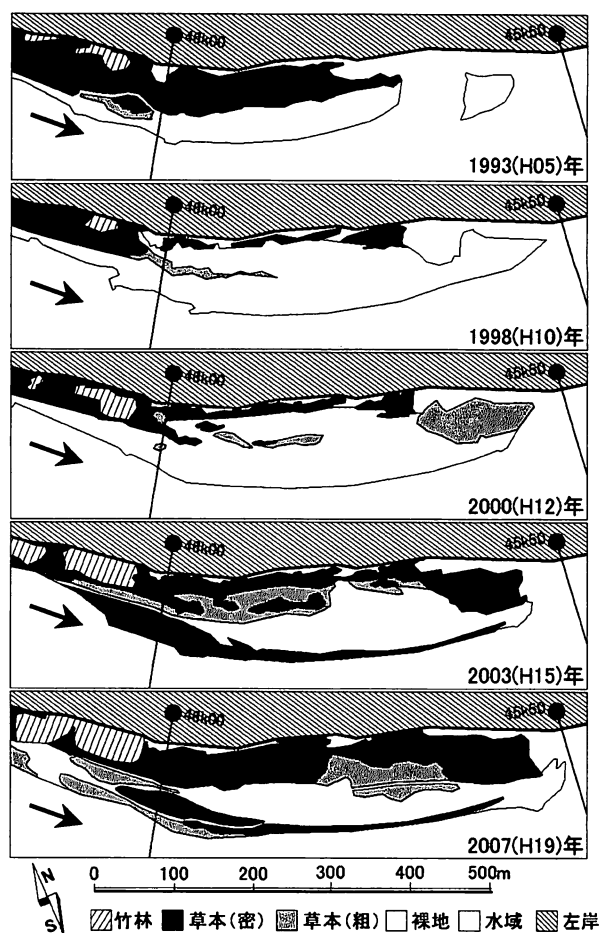


図-6 植生の変遷 (1993年～2007年)

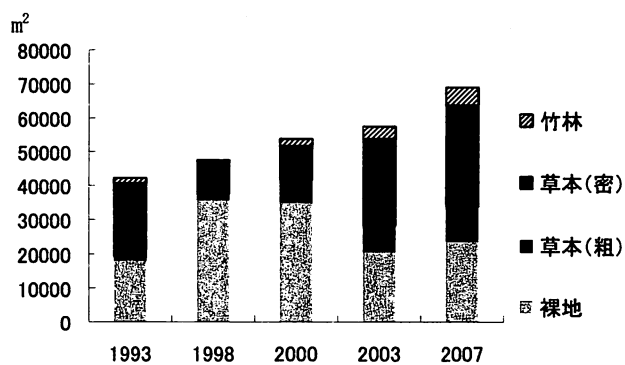


図-7 植生面積の変化

図-5に1963年～2007年における対象砂州の変遷を示す。1963年の滞筋は、現在と異なり左岸側にあった。現在、希少河原植物が存在する地点は、そのほとんどが水中であった。その後、1993年にかけて、砂州は徐々に下流へ移動し、現在、希少河原植物が生育する立地は、1998年に形成された。以降、2007年までに、対象砂州は右岸側および下流側へ、若干の拡大が見られた。

したがって、対象砂州は、形状を変化させながら、1963年から1998年の35年間に約500m下流へ移動した。その後、現在までに砂州の移動を伴う変化はないことから、現在、希少河原植物が生育する立地は、1998年に形

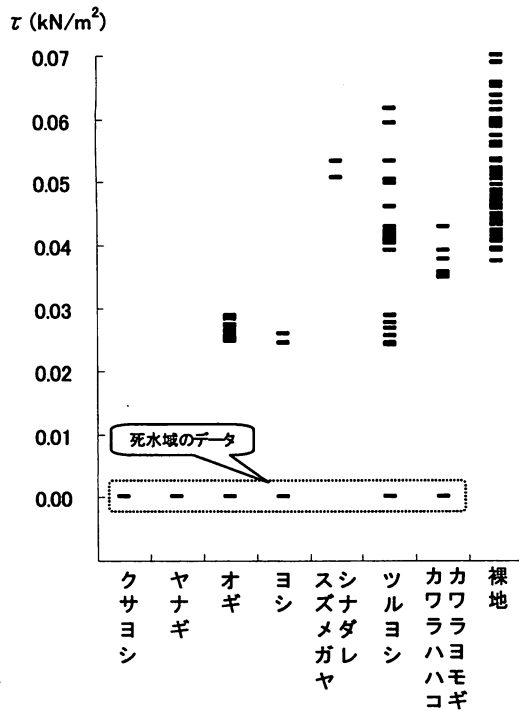


図-8 植物群の立地に働いた推定掃流力 (2000m³/s)

成されていることとなる。

b) 植生の変遷

図-6に1993年以降の植生の変遷を示す。1993年において、砂州の左岸側は密に生育する草本（以下、草本（密））であり、本流側の水際は裸地であった。1998年には、1993年に存在した左岸側の草本（密）は、多くが裸地に変化した。2000年には、1998年に砂州中央部に帯状に残存した粗な状態の草本（以下、草本（粗））が、草本（密）に変化した。草本の範囲はほとんど拡大していない。2003年には、本流側の水際に草本（密）が新たに現れ、砂州中央部の草本が拡大した。2007年には、砂州中央部の草本が生育密度を増した。

次に、図-7に植生面積の時系列変化を示す。1998年に増大した裸地面積は、2003年以降、草本の増加に伴い減少した。竹林の面積も1998年に一旦減少したものの、その後は拡大傾向にある。

つまり、現在は、1998年に砂州中央部に残存していた草本を中心に、草本が拡大すると同時に、水際にも草本が定着し、結果として裸地面積が減少している状況であった。

(2) 生育地の物理条件

a) 攪乱強度

砂州上の草本が拡大傾向にある2003年から2007年にかけて発生した洪水の最大流量は約2000m³/sであり、現在の植生に発生した最大の攪乱強度はその際に発生したものと考えられる。数値計算により求めた流量2000m³/s時の掃流力と現在の植物群の立地の関係を図-8に示す。なお、1998年から2007年にかけて発生した年最大流量の平

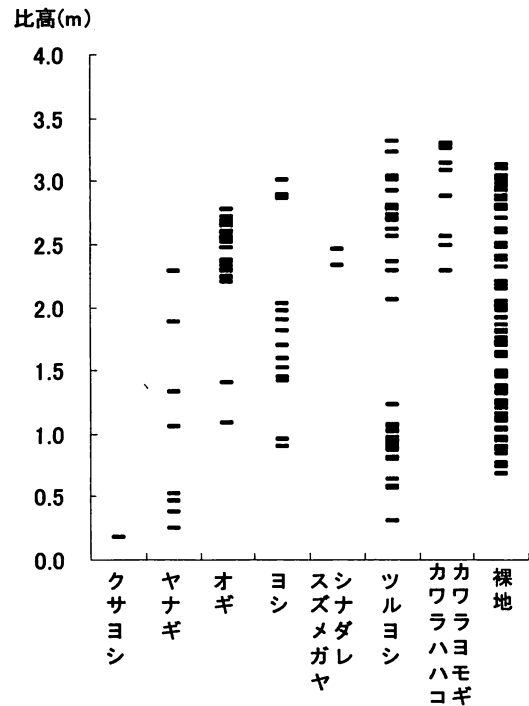


図-9 比高と植物群の関係

均値が約2300m³/sであり、約2000m³/s規模の洪水は、1998年から2007年にかけて、3回発生している。

裸地は、掃流力が約0.04kN/m²以上の立地に存在していた。それと入れ替わるように、掃流力が約0.04kN/m²以下の立地には、希少河原植物が生育していた。希少河原植物よりやや強い掃流力が働く立地には、シダレスメカヤが生育し、希少河原植物より弱い掃流力が働く立地には、ヨシ、ササが生育していた。ツルヨシはさまざまな大きさの掃流力が働く場所に生育していた。また、ヤナギとクサヨシは、計算上死水域に設定した砂州の左岸（ワンド）側の立地に生育していた。

b) 比高

図-9に植生と比高の関係を示す。希少河原植物は、比高が約2.5m以上の立地に生育していた。希少河原植物の生育地は、他の植生のそれと比較して、比高の大きな場所である。しかし、同様の比高の立地には、ササ、ヨシ・シダレスメカヤ・ツルヨシが繁茂しており、比高だけでは、希少河原植物の生育地と他の植物は分かれていない。

c) 細粒土砂の堆積状況

図-10に植物群落と河床構造の比較結果を示す。希少河原植物とシダレスメカヤを除くササ、ヨシのすべて、およびほとんどのツルヨシは、細粒土砂が厚みを持って堆積した立地に生育していた。細粒土砂なしの状態の立地に生育する植物はツルヨシ以外なかった。

細粒土砂が厚みをもって堆積する環境では、希少河原植物以外の植物が繁茂するが、マトリクス状態では、繁茂せず希少河原植物とシダレスメカヤが生育していた。

4. 考察

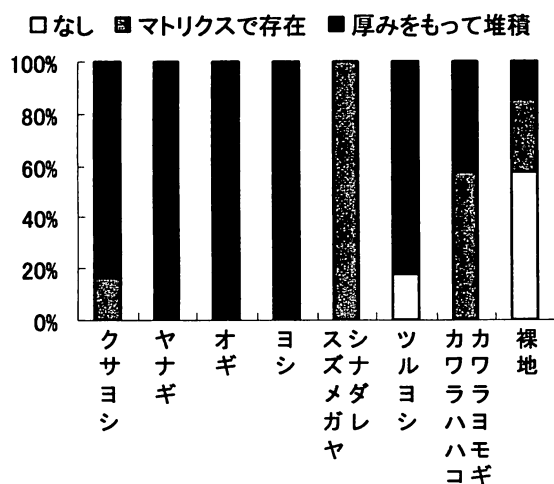


図-10 細粒土砂の堆積状況と植物群の関係

(1) 生育地の維持条件

出水時に希少河原植物の生育地に働く掃流力は、オギ、ヨシの生育地での値よりも強く、裸地での値よりも弱い。つまり、洪水攪乱強度の観点から、希少河原植物の生育地は、裸地とオギ等の生育地の境界域にあると捉えることができる。希少河原植物の生育地と裸地は、流量 $Q=2000\text{m}^3/\text{s}$ の洪水による掃流力の大きさと分類することができ、その閾値は約 $0.04\text{kN}/\text{m}^2$ であった。この値は、裸地が分布・形成される場所に働く掃流力を求めた既往の研究結果と一致する⁹⁾。

なお、掃流力の値は、平面的な流れの分布を考慮した平面2次元不等流計算ではなく、1次元の不等流計算を基に算出した値である。そのため、厳密に植物の生育地に働いた攪乱強度を指標しているとはいえない。しかし、本稿の対象区間は、河道法線がほぼ直線のため、洪水の流向も、直線的であると推測される。そのため、1次元の不等流計算で求めた掃流力を、植物の生育地を分類するという枠の中で取り扱う程度では、大きな問題にならないと考えている。

希少河原植物の生育地とオギ等の生育地は、見かけ上、掃流力の大きさと分類することができる。オギ、ヨシより希少河原植物の方が、洪水時において、生育地に働く掃流力が強い。このことから希少河原植物の生育地は、オギ、ヨシのそれと比べ攪乱を受けやすいと考えられる。しかし、攪乱を受けやすい立地に生育する希少河原植物が、より安定して生育可能である立地において生育困難であるとは考えにくく、洪水時の攪乱強度の違いだけでは、希少河原植物の生息地とオギ等の生息地を分類することはできない。そこで、植物の生育地の比高と細粒土砂の堆積状況に着目すると、希少河原植物の生育地の物理条件は、平常時水面比高が約2.5m以上であり、細粒土砂が厚みをもって堆積していないことであった

(図-9、図-10)。比高に関しては、オギ等の生育地をはじめ裸地も希少河原植物の生息地と同様の条件にも存在

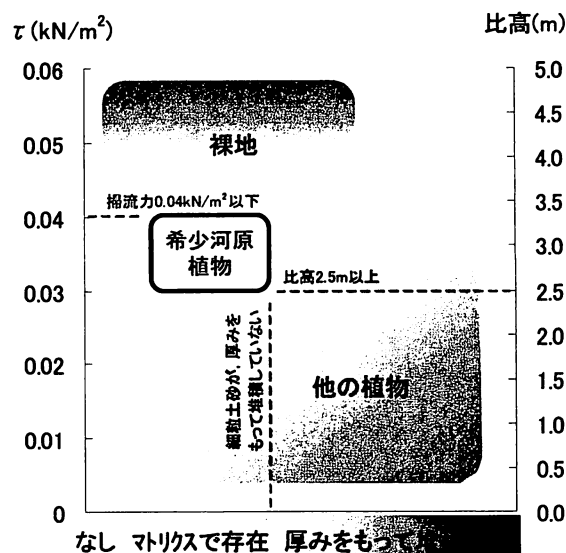


図-11 希少河原植物の生育範囲

していた。しかし、細粒土砂の堆積状況に関しては、希少河原植物およびナガレズガヤの生息地は、細粒土砂が厚みを持って堆積していない立地、オギ等は厚みをもって堆積した立地であった。つまり、希少河原植物の生育地とオギ等の生育地は、細粒土砂の堆積状況の違いで分類できる。

これらのことを、他の植物との競合の観点から鑑みると、希少河原植物の生育場の維持機構は、以下のようなものであると考えられる。

平常時水面比高が小さな場所では、植物が利用できる水分が多いため、水分の要求量が多少高くても、他の植物との競争に強い植物(ツルヨシ等)が生育する。一方、比高が高くとも細粒土砂が厚みをもって堆積した場所では、細粒土砂が水分を保持するため、オギ等の草本が繁茂する^{7,8)}。

以上のことを踏まえれば、希少河原植物が維持されるためには、他の植物が進入しないような条件の立地であることと、高頻度で強い攪乱が生じないことが必要である(図-11)。

(2) 生育地の成立機構

掃流力を算出するために用いた流量 $2000\text{m}^3/\text{s}$ 程度の洪水は、2007年にも発生したが、現在の希少河原植物とその生育地は破壊されるほどの攪乱を受けていない。しかし、裸地と比較すると洪水時の掃流力が弱い立地であることに加え、周辺の密生する草本(オギ・ツルヨシ)の影響もあり、冠水のたびに土砂が捕捉・堆積すると考えられる⁹⁾。その堆積した細粒土砂に、オギ等の高茎草本が拡大し、希少河原植物の立地は減少すると推察される⁹⁾。このため、希少河原植物の生育地は、いずれ細粒土砂が堆積しオギに代表される高茎草本へ遷移すると考えられる。実際に、当該砂州においても、徐々に裸地が減少し、草本が増加している(図-6、図-7)。

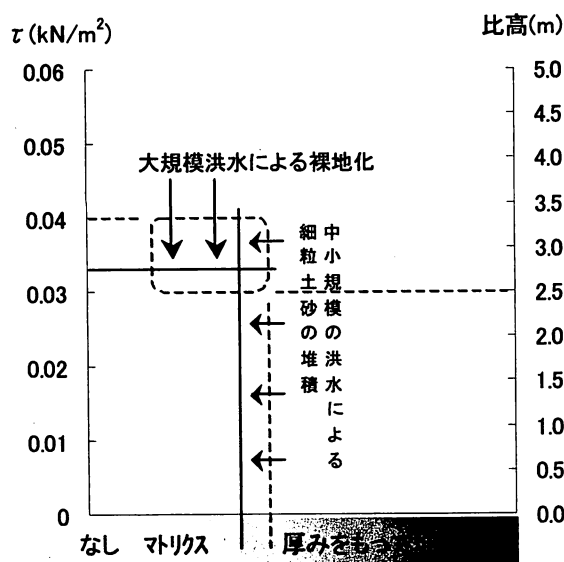


図-12 洪水規模と希少河原植物生育地の変化

希少河原植物の生育地が維持される為には、*ササ*に代表される高茎草本に遷移したとしても、新たな生育立地が成立する必要がある。そのためには、現在の希少河原植物の生育場が形成された時のように、砂州の移動、あるいは植生の破壊を伴うような洪水攪乱が必要である（図-12）。つまり、希少河原植物の生育地は、大きな洪水によって植物が消失することで形成され、その後、*ササ*等の高茎草本が侵入し尽くすまで維持されると考えられる。

5. まとめ

希少河原植物の生育地は、裸地と*ササ*等の生育地の境界域にあると捉えることができ、生育地に働く洪水の攪乱強度が裸地より弱く、物理条件が周辺植生の生育に適さない条件であった。また、そのような立地は、大規模洪水による洪水攪乱により、形成される。

砂礫河原再生の目標として、希少河原植物の生育地を再生する場合、頻繁に強い掃流力が発生することにより、裸地として維持されるような立地ばかりではなく、希少河原植物が生育できるような弱い掃流力が働く場も存在することが重要である。そのためには、事前に対象立地に働く掃流力を予測する必要がある。また、裸地と*ササ*等の生育場の境界域が幅広く形成される必要がある。同時に、中小規模の洪水による細粒土砂の堆積を起これにくくすることにより、より長期に希少河原植物生育地の維持が可能となる。

対象砂州で希少河原植物の生育地が成立および維持していく上で、課題としては以下のことがあげられる。

1点目は、外来種である*シダレズミ*の存在である。*シダレズミ*と希少河原植物は同じ条件（掃流力に関しては、やや強め）での立地に生育していた（図-8、図-9、図-10）。つまり、*シダレズミ*と希少河原植物は生

育条件が非常に近い。このため、希少河原植物の維持を行う場合、*シダレズミ*の侵入がひとつの問題になる。

2点目は洪水特性の予測が必要である。希少河原植物の生育地を保全し、その保全措置のデザインを行い、持続可能時間を予測するためには、洪水に伴う攪乱と土砂の堆積を予測する必要がある。そのためには、精度の高い洪水予測手法が必要になる。

3点目は竹林の拡大である。竹林は、洪水の流れを変化させ、竹林の下流に位置する砂州の攪乱強度を弱めると同時に細粒土砂を堆積する。そのため、大規模洪水に伴う希少植物の生育地の成立が起こらなくなる可能性がある。

謝辞：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国土交通省関東地方整備局常陸河川国道事務所から提供していただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 大石哲也，萱場祐一，天野邦彦：全国7河川の河道特性及び地被の長期変動の実態とその関連性，河川技術論文集，第11巻，pp357-362，2005
- 2) 中村圭吾，大石哲也，天野邦彦：海外事例との比較による河原の自然再生計画に関する考察，河川技術論文集，第13巻，pp123-128，2007
- 3) たとえば，眞田淳二，浦上将人，前野詩朗，渡辺敏：2006年7月出水を経験した旭川下流部礫河原再生箇所モニタリング結果と考察，河川技術論文集，第13巻，pp129-134，2007
- 4) 中根和郎，1998年8月26日～31日那珂川流域の豪雨による洪水流出，主要災害調査37号北関東・南東北地方1998年8月26日～31日豪雨災害調査報告 pp37-84
- 5) 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3622号，1999
- 6) 眞田淳二，浦上将人，渡辺敏，前野詩朗，藤塚佳晃：旭川下流部における礫河原の自律的回復に向けた実証的研究，河川技術論文集，第12巻，pp409-414，2006
- 7) 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，第42巻，pp439-444，1998
- 8) 大石哲也，天野邦彦，中村圭吾：砂礫構造の違いからみた河原植物の生育環境特性について，河川技術論文集，第12巻，pp477-482，2006
- 9) 末次忠司，藤田光一，服部 敦，瀬崎智之，伊藤雅彦，榎本真二：礫床河川に繁茂する植生の洪水攪乱に対する応答，遷移および群落拡大の特性，国土技術政策総合研究所資料，No161，2004

(2008.4.3 受付)