

ダム下流の砂州上への排砂土砂の堆積が 樹木の成長促進に与える影響

EFFECTS OF TRAPPED SEDIMENT RELEASE FROM DAMS ON
TREE GROWTH ON DOWNSTREAM SANDBARS

坂本健太郎¹・川嶋崇之²・浅枝隆³

Kentaro SAKAMOTO, Takayuki KAWASHIMA and Takashi ASAEDA

¹非会員 工修 埼玉大学大学院 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

²非会員 学士 埼玉大学大学院 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

³正会員 工博 埼玉大学大学院教授 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

The release of trapped sediment by a dam may alter downstream environments. After the release of sediment, fine sediments accumulated on the bar and the riparian area, which were far abundant in moisture and organic matter contents as well as nitrogen and phosphorus concentration. The ratio of nitrogen and phosphorus, which was 1 to 1 in the original sediment, was nearly 16 in the organic matter, which then change the nutrient stoichiometry to adjust the growth of trees. *Elaeagnus umbellata* and *Salix gilgiana* were the far dominant tree species; the former grew at higher sites on the bar, while the latter over the bar. The comparison of two populations at frequently flooded and at rarely flooded bars indicated that, although *E.umbellata* did not have much difference between these two sites, *S.gilgiana* grew significantly faster at the frequently submerged sites likely due to the improved nutrient condition by floods.

Key Words: sandbar, release of trapped sediment, fine sediment, nutrient condition, flood,
Elaeagnus umbellata, *Salix gilgiana*

1. はじめに

ダムは治水, 利水面で, わが国の経済発展を支えており, 日常生活ではその恩恵を受けている. その一方で, ダム下流河川ではダム建設以前よりも土砂供給量, 移動量が減少し, 河床低下や河口部での海岸侵食の進行, 水域生物環境に対する影響が懸念されている¹⁾. また, 建設以降しばらく経過し, ダム貯水池内には土砂が堆積し, ダム機能の維持が管理上の課題となってきたダムもある. こうした背景から, 近年, ダム貯水池内に堆積した土砂を下流へ還元し, ダムによる影響を軽減や, ダム機能を維持管理することが考えられている²⁾. 現在, いくつかの河川では土砂還元として, 置土実験や, 排砂が洪水時にあわせて実施されている²⁾. 洪水時にあわせて置土の掃流や排砂といった土砂還元では通常の洪水よりも多くの土砂が流下するため, 砂州の冠水部分では, 植生による捕捉も加わり, 通常の洪水よりも多くの土砂が堆積する^{3),4)}. 堆積土砂が長期的に砂州上に残存する場

合は, 砂州の植生の成長・拡大, 樹林化への関与が考えられる. 特に, 近年報告されている樹林化の問題は, 管理面では洪水時の流下能力低下による水位上昇や流木等が, 環境面では洪水による砂州の攪乱・破壊・回復によって維持されている潜在的な砂州の生態系が変化することが懸念されている. また, 土砂還元の実施に際し, その効果の検証や影響に対する配慮がなされている水域に比べ, 陸域の影響は知見が少ないのが現状である.

そこで, 本研究では, 土砂還元の一例として, 連携排砂が実施されている黒部川の砂州で現地調査を行い, 排砂による堆積土砂と砂州内の樹木の成長促進の関係を実証的に考察した.

2. 現地調査

(1) 調査地点

黒部川は幹川流路延長85km, 流域面積682km²の一級河川で上流域は3000m級の山々に囲まれ, 下流域は扇状地

が形成されている。河床勾配は上中流域で1/5～1/80，下流域で約1/100の有数の急流河川である。黒部川では2001年から出し平ダムと宇奈月ダムによる貯水池を空にして自然流下で排砂する連携排砂が実施されている。

現地調査は，図-1に示す河口から約8.8km（以降，St.1と表記）および4.4km（以降，St.2と表記）の砂州で実施した。調査対象とした2箇所の砂州は現地の状況から樹林化が進行しており，群落は主にアキグミ（*Elaeagnus umbellata*）とカワヤナギ（*Salix giligiana*）で構成され，St.1はカワヤナギが，St.2はアキグミが優占していた。また，河床材料は概ね粒径10cm～30cmの石で構成され，隙間を砂で充填されている状態であり，St.1の方がSt.2よりも砂分がパッチ状に分布している箇所が多い。なお，2007年の連携排砂時はSt.1は冠水し，St.2は冠水していないことを現地で確認した。

(2) 調査方法

a) 成長特性調査

調査は2007年11月9日から11月10日に実施し，St.1，St.2のアキグミ，カワヤナギについて各20本を任意に選び（合計80本），樹高，胸高直径（地上1.5m），膝高直径（地上0.5m）を計測後，年輪から樹齢を判読した。なお，樹高が胸高未満の樹木は膝高直径のみを計測し，胸高以下で枝分かれしている樹木は分岐した枝ごとの直径を計測し，(1)式から算出される見かけの直径を胸高直径と定義した⁵⁾。

$$D = 2 \left(\pi \sum_{n=1}^N \left(\frac{1}{2\pi} G_n \right)^2 \right)^{1/2} \quad (1)$$

ここで， D は見かけの胸高直径， G_n は胸高の枝の直径， N は枝の本数である。

さらに，樹高，胸高直径の計測結果と判読した樹齢との関係を(2)式により定義し⁵⁾，St.1とSt.2の樹種別のアロメトリー関数を定式化した。

$$Y = A \cdot \ln(t) - B \quad (2)$$

ここで， Y は樹高または胸高直径， t は樹齢， A および B は定数である。

b) 排砂前調査

排砂前調査は2008年6月7日から6月9日に実施し，St.1内のすべての樹木の樹種を特定し，樹高，胸高直径を計測するとともに，各樹木位置と砂州形状を小型のGPS（POKENAVI mini Garmin，位置精度：<10m）で記録した。なお，胸高直径の計測方法は成長特性調査と同様とした。さらに，St.1では14本，St.2では17本の樹木を任意に選び，各樹木の背後で10cm×10cmの範囲で土砂を採取後，このうちアキグミ6本，カワヤナギ3本の幹の一部を切り出し，サンプルとして実験室に持ち帰った。実験

室に持ち帰ったサンプルの土砂は，CHNコーダー（YANAKO MT-5）を用いて窒素含有率（TN）を測定し，酸化分解法でリン含有率（TP）を測定した。また，樹木の幹のサンプルは土砂と同様に窒素含有率を測定し，モリブデン青吸光度法でリン含有率の測定を行った。

c) 排砂後調査

排砂後調査は2008年7月8日から7月10日に実施した。2008年の連携排砂は6月29日から7月1日にかけて実施され，St.2は冠水しなかったが，St.1では地盤高の高い一部を除き広範囲にわたり，図-2に示すシルト主体の土砂が堆積し，堆積層内部には分解が進んだ黒褐色の植物体の一部である有機物も見られた。このため，St.1内で冠水エリアを排砂前調査同様のGPSで記録後，アキグミ15本，カワヤナギ38本を任意に選び，各樹木の周囲6箇所のシルト堆積厚さを測定した。また，明らかに堆積が確認された9本カワヤナギ3本，アキグミ6本を任意に選び，各樹木の背後で10cm×10cmの範囲で，上層であるシルト堆積層と下層である元土壌に分けて土砂をサンプルとして採取し，密封した状態で実験室へ持ち帰った。実験室に持ち帰ったサンプルの土砂は，シルト堆積層内部の有機物を分離後，シルト堆積層，元土壌の土砂は，排砂前と同様に窒素含有率，リン含有率を測定し，さらに，体積含水率を測定し，ふるい分け試験により粒度分布も求めた。また，シルト堆積層内部の有機物は樹木の幹のサンプルと同様に窒素含有率，リン含有率の測定を行った。

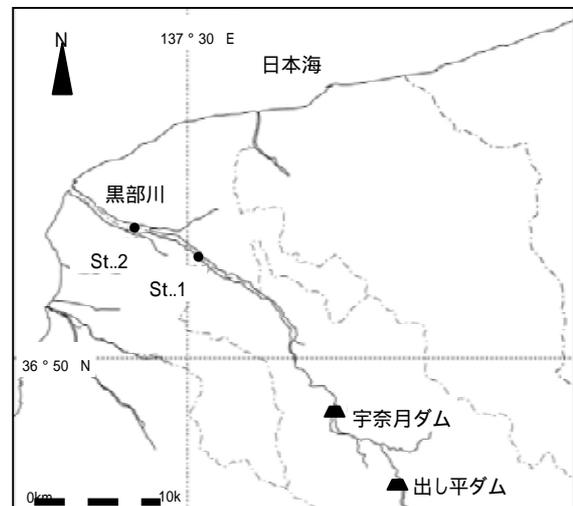


図-1 調査地点位置図

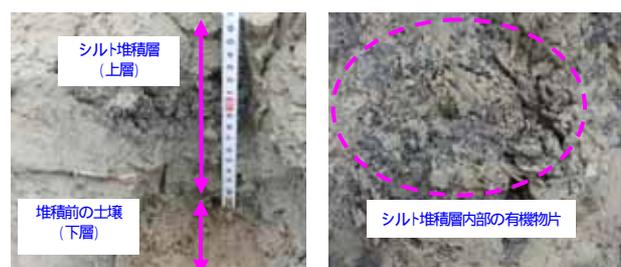


図-2 排砂後の土砂の堆積状況 (St.1)

3. 樹木の成長特性と排砂後の土壌変化

(1) 樹木の成長特性とアロメトリー関数

2007年の成長特性調査から得られた、樹高と胸高直径に関する成長特性を図-3に示す。

これによると同樹齢に対し、胸高直径に地点間の違いは見られないものの、樹高はアキグミには地点間の差は見られないが、カワヤナギでは樹齢4年以上はSt.1の方が高くなる傾向がある。また、表-1に各調査地点の樹種別のアロメトリー関数を示す。いずれの地点の樹種についてもアロメトリー関数は高い精度を示した。

(2) 樹高と樹齢分布

2008年の排砂前調査では、St.1において、カワヤナギが505本、アキグミが260本、カワヤナギ、アキグミ以外の樹種が24本の合計789本の樹木が確認された。このうち、カワヤナギとアキグミについて、計測された樹高、胸高直径を、2007年の調査結果から得られた表-1のSt.1のカワヤナギとアキグミのアロメトリー関数に当てはめ、樹齢を算定した。なお、樹高150cm以下の樹木は、膝高直径のアロメトリー関数から樹齢を算定した。図-4に樹高の分布を、図-5に樹齢の分布を示す。

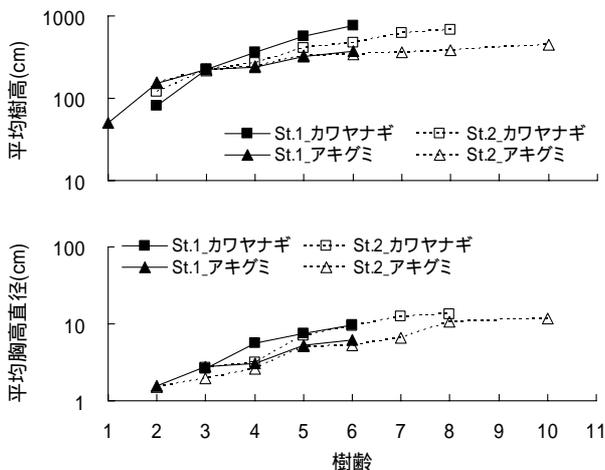


図-3 樹高と胸高直径に関する成長特性

表-1 各調査地点の樹種別のアロメトリー関数

地点	樹種	Y(cm)	Y=A・Ln(t)-B t:樹齢			相関係数
			サンプル数	A	B	
St.1	カワヤナギ	樹高	20	601.83	395.45	0.969
		胸高直径	17	10.04	8.41	0.998
		膝高直径	20	10.50	7.07	0.987
	アキグミ	樹高	20	172.15	38.10	0.984
		胸高直径	19	4.15	1.67	0.948
		膝高直径	20	3.56	-0.16	0.959
St.2	カワヤナギ	樹高	20	407.99	218.49	0.968
		胸高直径	19	12.23	12.16	0.970
		膝高直径	20	11.14	8.73	0.962
	アキグミ	樹高	20	178.70	-20.43	0.986
		胸高直径	19	6.39	4.62	0.917
		膝高直径	20	8.58	6.60	0.883

図-4によると、カワヤナギは樹高100~400cmが多く、カワヤナギ全体の約75%を占め、アキグミは樹高100~300cmが多く、アキグミ全体の約80%を占めていた。また、樹高500cm以上のカワヤナギはカワヤナギ全体の約10%を占めたが、樹高500cm以上のアキグミは確認されず、総じてカワヤナギの方が樹高は高かった。

一方、図-5によると、樹齢は、カワヤナギ、アキグミともに樹齢3年が最も多く、次いで樹齢4年が多かった。また、樹齢3年、4年のカワヤナギはカワヤナギ全体の約80%、樹齢3年、4年のアキグミはアキグミ全体の約70%を占めており、当該砂州では、3~4年前の2005年頃から樹林化が始まったものと考えられる。

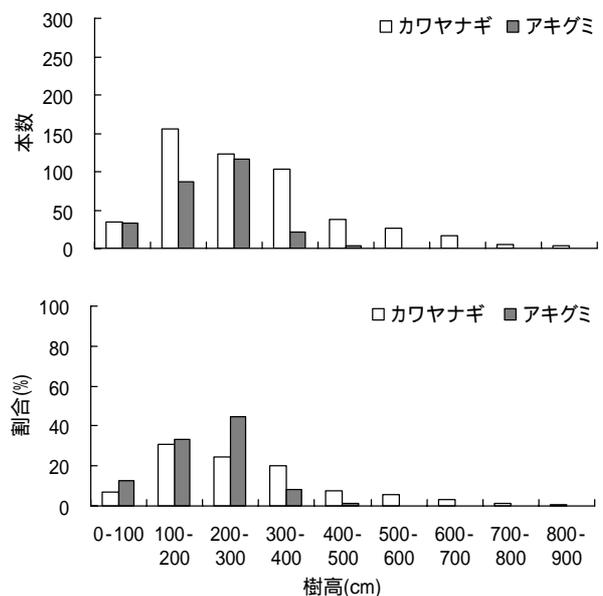


図-4 砂州内の樹木の樹高分布 (St.1)

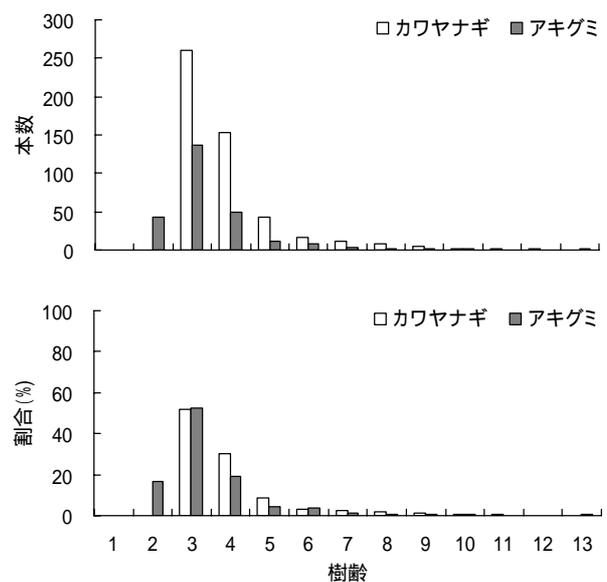


図-5 砂州内の樹木の樹齢分布 (St.1)

(3) 排砂による土砂堆積と樹木分布

図-6に示すように、2008年の連携排砂では、St.1では地盤高の高い一部を除き広範囲が冠水し土砂が堆積した。土砂が堆積しなかったエリアは、主にアキグミが分布し、水際部に分布するのは多くがカワヤナギであった。また、図-7に示すように、カワヤナギの方がアキグミよりも土砂は厚く堆積し有意な差が見られた (t -test $p < 0.05$)。

(4) 排砂後に堆積した土砂の性状

図-8にSt.1に堆積した土砂を上層、排砂で堆積する前の元土壌を下層として、粒径0.063mm以下の割合を示す。また、同様に図-9に有機物含有率を、図-10に体積含水率を示す。これらによると、粒径0.063mm以下の割合が下層で約10%、上層で約60%であり、体積含水率は、下層が約15%、上層が約45%であり、上層の粒径が細かくなった分、体積含水率も上昇したものと考えられる。また、有機物含有量も上層のほうが多くなっていた。

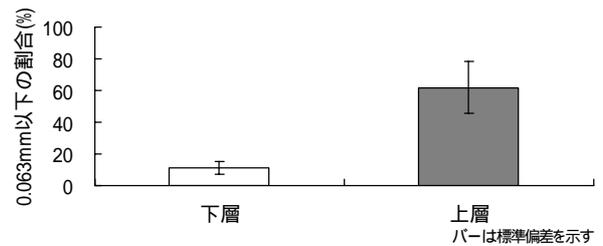


図-8 堆積土砂の粒径 (St.1)

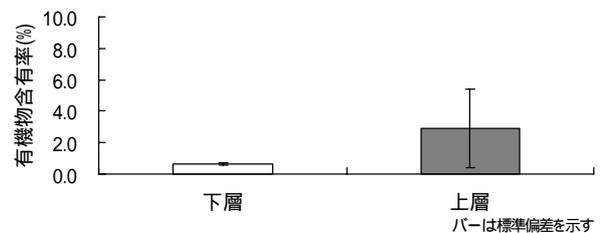


図-9 堆積土砂の有機物含有率 (St.1)

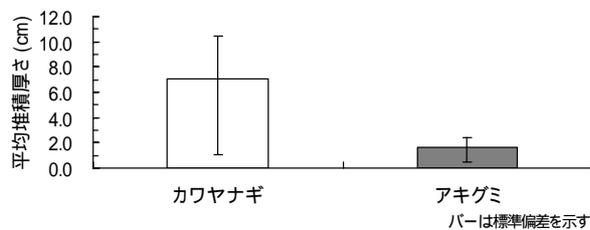


図-7 土砂の堆積厚さ (St.1)

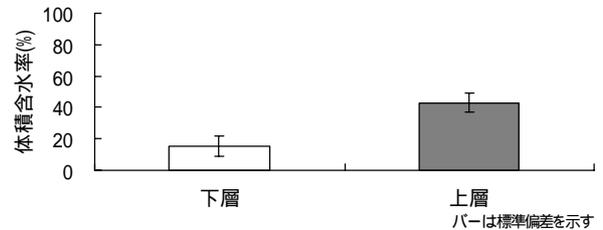


図-10 堆積土砂の体積含水率 (St.1)

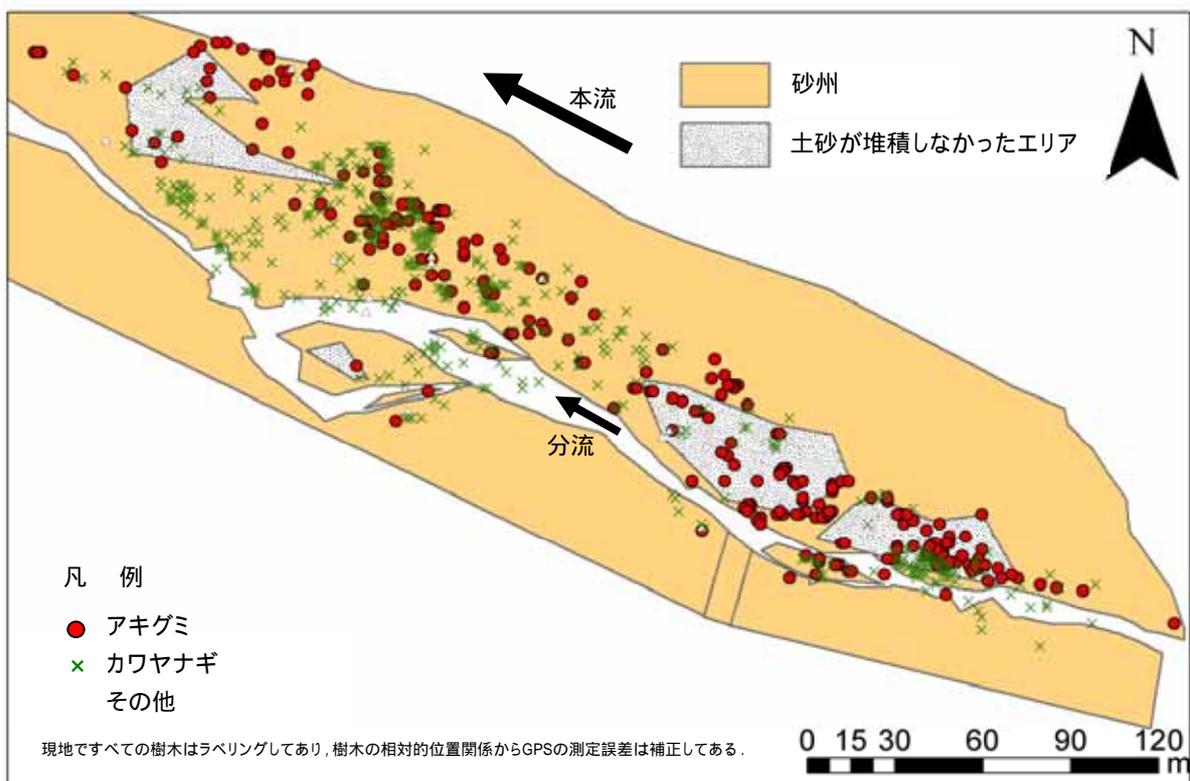


図-6 排砂時の土砂堆積エリアと樹木分布 (St.1)

(5) 土壌と植物体の栄養塩含有率 (TN, TP)

2008年の排砂前後の土壌の栄養塩含有率を図-11に、図-12に排砂後の堆積土砂に含まれていた有機物、カワヤナギ、アキグミの栄養塩含有率を示す。

図-11の排砂前のSt.1とSt.2の土壌の栄養塩含有率の比較では、St.2の方がTNおよびTPともに有意に高く (t-test $p < 0.05$)、St.2の方が樹木は栄養塩を吸収しやすい環境にあると考えられる。また、St.1の排砂前の表層と排砂後の下層の土壌の栄養塩含有率は、TNは排砂後が有意に高く、TPには有意な差はなかった (t-test $p < 0.05$)。St.1の排砂後の下層と上層の土壌の栄養塩含有率は、TN、TPともに上層が有意に高かった (t-test $p < 0.05$)。これは、排砂により堆積土砂に含まれる状態で、N、Pともに供給されるが、前述の含水率を考慮すれば、Nは水分とともに下層の土壌に供給されていることを示している⁴⁾。

図-12のカワヤナギとアキグミの比較では、TPには有意な差はないが、TNはアキグミの方が有意に高いことから (t-test $p < 0.05$)、アキグミは空中窒素固定細菌との共生でNを取り込んでいることを示唆している⁶⁾。また、含有有機物と樹木の比較では、TPにはカワヤナギ、アキグミのいずれとも有意な差はなく (t-test $p < 0.05$)、TNは含有有機物とカワヤナギには有意な差はなかったが、含有有機物とアキグミではアキグミの方が有意に高かった (t-test $p < 0.05$)。

これらのことと、前述の有機物含有率が上層の堆積土砂の方に多いことを考慮すると、この含有有機物は、落ち葉や枝などの植物由来のものが分解途上のまま、排砂時にダムから排出された可能性を示唆している。

4 . NP比と冠水状況から見た樹木の成長戦略

(1) 排砂による土壌のNP比の変化

今回の排砂により、冠水したSt.1の下層の土壌にはNが供給されたが、Pはあまり変化しなかった。ここで、TNとTPの含有率の比をNP比として、比較したものを図-13に示す。また、カワヤナギとアキグミのNP比の比較したものを図-14に示す。

図-13および図-14より、排砂前のSt.1およびSt.2のNP比は約1であり、樹木のNP比は、カワヤナギが約15、アキグミが約30であり、これに近いNP比で樹木は栄養塩を吸収するのが効果的である^{4),6),7)}。このことは、排砂前のSt.1とSt.2について、前述の土壌の栄養塩含有率ではSt.2がSt.1よりも高かったが、樹木にとって栄養塩供給の面では差はなく、St.1、St.2ともに明らかにNが律速要因で貧栄養の状態であることから、空中窒素固定細菌と共生するアキグミが最も有利な生息環境条件となっていたことを示唆している。

一方で、排砂後は排砂の土砂堆積および水分供給により、St.1の下層の土壌にはNが供給され、NP比は排砂前の約1から約2.5に増加し、樹木にとっては栄養塩を利用しやすい状況となった。さらに、今回の排砂で土砂が多く堆積しなかった場所は、アキグミが主に分布する比較的地盤高の高い場所が多く、逆にカワヤナギが多く分布する水際部分を中心に広範囲に厚く土砂が堆積したため、カワヤナギの成長には、栄養塩の獲得の面でアキグミより有利に働くと考えられる。

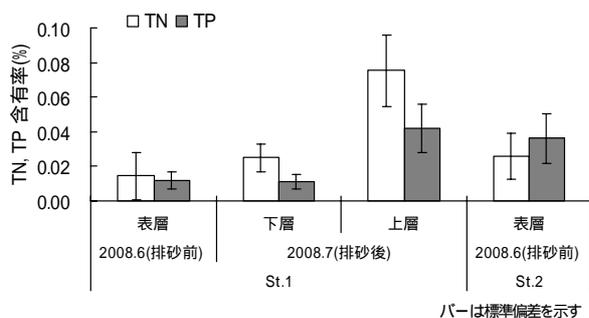


図-11 排砂による土壌の栄養塩含有率の変化

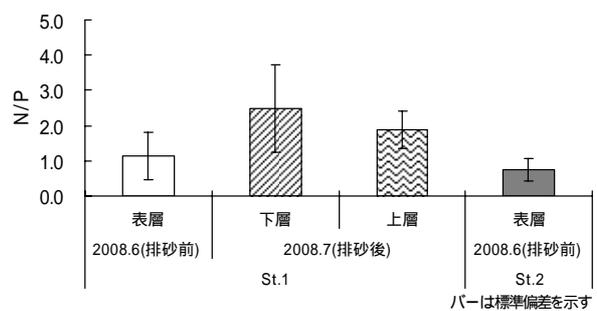


図-13 排砂による土壌のNP比の変化

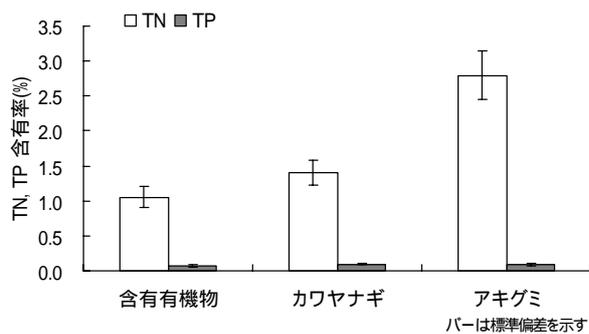


図-12 含有有機物と樹木の栄養塩含有率 (St.1)

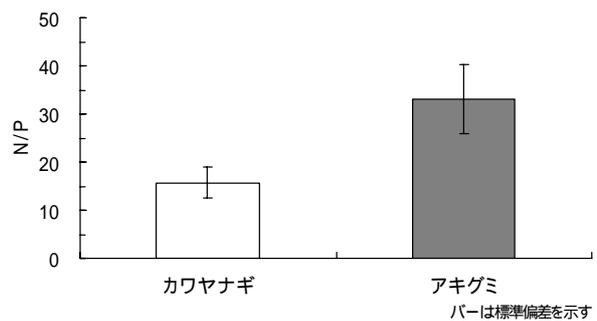


図-14 樹木のNP比 (St.1)

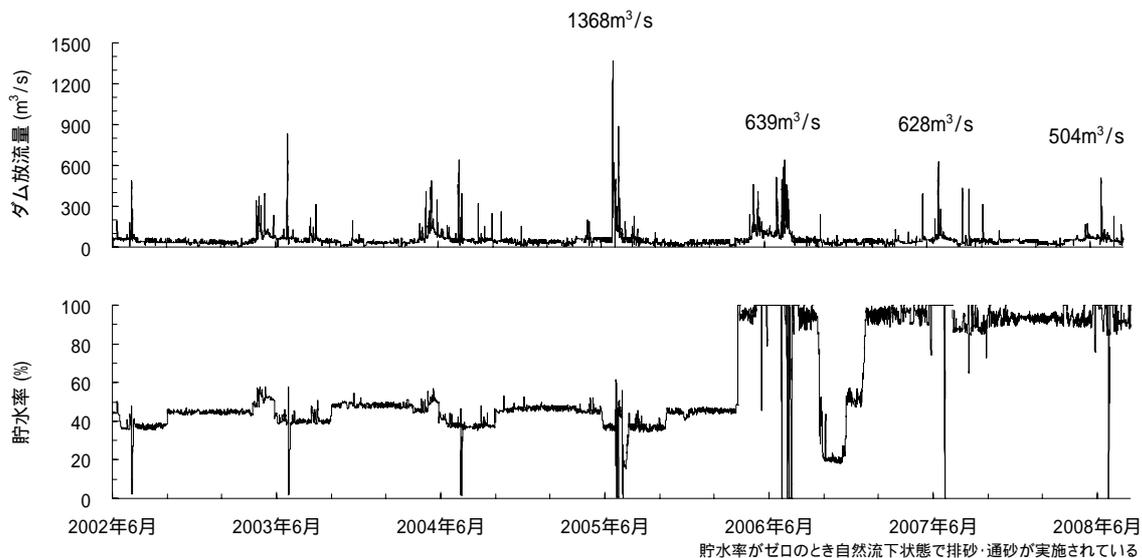


図-15 過去7年間の宇奈月ダムの放流量と貯水率

(2) 過去の排砂時の冠水状況

図-15に宇奈月ダムの過去7年間の放流量と貯水率の推移を示す⁸⁾。2007年(最大放流量: 628m³/s)および2008年(最大放流量: 504m³/s)の連携排砂時には、St.1は冠水したがSt.2は冠水していないことから、最大放流量が同程度である2006年も同様にSt.1のみ冠水したと考えられる。一方、2005年は最大放流量が1368m³/sを記録しており、St.2も冠水したものと考えられる。この冠水状況を仮定すると、2005年以降に進出、成長した樹木は樹齢3年～4年になっており、本研究で得られたSt.1のカワヤナギの約80%、アキグミの約70%を占めた、推定樹齢3年～4年と一致する。また、排砂時の堆積土砂によるNP比の増加が、カワヤナギの生息環境に有利に働くことを仮定すれば、2006年以降は、St.1のカワヤナギはSt.2のカワヤナギより有利な環境で生息しており、St.2よりもSt.1の方が同樹齢なら樹高が高くなり、より成長したことが説明される。一方、アキグミは砂州内の分布状況から2006年以降の排砂時には、アキグミが多く生息する場所は十分に冠水していないと考えられ、結果としてSt.1とSt.2のアキグミの成長に差が見られなかったと考えられる。

5. おわりに

本研究では、排砂時に冠水した砂州上の細粒土砂の堆積はNを供給し、N律速であった土壌のNP比を上昇させ、特に砂州上で冠水しやすい水際部に分布するカワヤナギの周囲に多くの土砂が堆積し、相対的に冠水しにくく土砂堆積の少ないアキグミよりも栄養塩獲得の面で有利な環境となることを明らかにした。さらに、過去の排砂時の冠水状況の考察から、排砂時の冠水以前は栄養塩獲得で不利なため進出できなかったカワヤナギが、進出、成

長してきたことを明らかにした。

排砂や置土の還元土砂は貯水池に堆積したものであるため、リター等の貯水池上流域からの有機物が含まれ、これが砂州上に堆積することで栄養塩供給され樹林化の進行が促進されるため、フラッシュ放流等で掃流し、樹林化の進行を促進させないような配慮が必要である。

参考文献

- 1) Naiman, R.J., and De'camp, H. : The ecology of interfaces: riparian zones, *Ecological Systematics*, 28, pp.621-658, 1997.
- 2) 末次忠司, 瀬戸楠美, 箱石憲昭, 櫻井寿之. : 物理的な挙動に着目した土砂還元手法のあり方, *水利科学*, No.302, pp18-33, 2008.
- 3) Gurnell AM, Petts GE. : Island -dominated landscapes of large floodplain rivers, a European perspective, *Freshwater Biology*, 47, pp.581-600, 2002.
- 4) Asaeda, T., Siong, K., Kawashima, T., Sakamoto, K. : Growth of *Phragmites japonica* on a sandbar of regulated river: morphological adaptation of the plant low water and nutrient availability in the substrate, *River Research and Applications* 2008 (in press)
- 5) 坂本健太郎, 渋谷嘉昭, 浅枝隆 : 樹林化が進行中の砂州内における樹木の生長特性に関する研究, *河川技術論文集*, 第13巻, pp.207-212, 2007.
- 6) Paschke, M.W., Dawson, J.O., and David, M.B. : Soil nitrogen mineralization in plantations of *Juglans nigra* interplanted with actinorhizal *Elaeagnus umbellata* or *Alnus glutinosa*, *Plant & Soils*, 118, pp.33-42, 1989.
- 7) Ogden, R.W., Thoms, M.C. and Levings, P.L. : Nutrient limitation of plant growth on the floodplain of the Narren River, Australia: growth experiments and a pilot soil survey, *Hydrobiologia*, 489, pp.277-285, 2002.
- 8) 国土交通省 : 国土交通省水文水質データベース, 2008.

(2008.9.30受付)