

洪水流による高水敷への物質輸送とそれが高水敷 樹林化に及ぼす影響に関する研究

1. はじめに
2. 現地観測
 - 2.1 観測対象地
 - 2.2 観測期間
 - 2.3 観測方法
 - 2.3.1 植生観測
 - 2.3.2 地形・土壤観測
3. 観測結果
 - 3.1 観測期間中の河川の流況
 - 3.2 高水敷植生の生産過程
 - 3.3 出水前後の高水敷環境の変化
 - 3.3.1 植生分布の変化
 - 3.3.2 高水敷表層土壤の粒度分布の変化
 - 3.3.3 高水敷表層土壤中の栄養塩・有機物量の変化
4. おわりに
- 参考文献

東京工業大学 工学部 土木工学科

戸田祐嗣

池田駿介

要 旨

河川高水敷植生の生育環境は、洪水時の河川の流れとそれによる物質輸送の影響を強く受ける。本研究では、洪水流による高水敷への物質輸送特性を明らかにするために、多摩川中流部に位置する礫床河川区間を対象として洪水前後の高水敷環境の変化に関する現地観測を実施した。観測では、河川地形、高水敷表層土壌の粒度分布、栄養塩量、有機物量、植生分布に関する調査を実施した。

洪水前後の高水敷植生分布を比較すると、緩やかな湾曲の外岸側に位置する左岸高水敷上の植生群落が洪水流により流出しており、洪水時の掃流力の分布が植生の流出に大きな影響を与えることが示された。植生が流出した地点においては、高水敷表層土壌中の細粒成分が流出する傾向が見られた。高水敷植生が流出せずに残った地点では細粒成分の流出が抑制されており、このことは流出しなかった植生が洪水時の高水敷上の流れに対して抵抗として作用し、その周囲の流速を低下させたためと考えられる。高水敷土壌中の栄養塩は土壌中の粒径が小さい成分に多く含有されていた。そのため、洪水後に細粒成分が流出した地点では、土壌中の栄養塩（リン・窒素）量が大きく低下した。

1. はじめに

ダムなどによる治水設備の充実から、全国の多くの河川において降雨時に高水敷が冠水する頻度が減少し、高水敷における樹林の生育（樹林化）が進行している（李ら（1999）、清水ら（1999））。樹林化の進んだ高水敷には昆虫・動物類が生息し、河川高水敷特有の生態系を作り出している。しかし一方で、植生の存在は洪水時における流れの抵抗を増加させ治水面での安全性を減少させることや、外来樹木種の移入により樹林化以前に見られた丸石川原固有の生態系を破壊するなどの側面も持ち合わせている。このように高水敷の樹林化現象は適切な維持・管理が必要な課題であり、それらを合理的に支援するために樹林化のメカニズムを解明する必要がある。

樹林化の進行は洪水時の流れと密接に関連しており、適当な頻度と強さの洪水が生じれば低水路内から運搬される微細土砂、有機物、栄養塩等が高水敷上に堆積し、それを栄養分として樹林化は益々進行するものと推察される。従って、樹林化機構を解明するためには、洪水時の流れとそれによる有機物や栄養塩類の物質輸送を解明しなくてはならない。

これらの背景のもと、河川工学の分野では、植生の存在する流れ場に対する研究が盛んに行われるようになった。これらの研究では、植生のもつ物理的機能の解明を主たる目的として、植生が存在する場における流れの抵抗則や浮遊砂の輸送機構などが明らかにされつつあるものの、環境上重要となる有機物や栄養塩類の輸送にまで立ち入った研究は現在のところ実施されていない。したがって、本研究では、洪水によって高水敷に運ばれる有機物や栄養塩類の輸送特性を現地観測によって把握することを目的とする。

2. 現地観測

2.1 観測対象地

現地観測は多摩川河口より 58.6km 地点（東京都青梅市）に位置する礫床河道区間で実施した（図1）。観測対象地の川幅は瀬と淵に対応して 30~50m の範囲で空間的に変化しており、左岸側・右岸側にはそれぞれ最大幅 100m 程度の高水敷が広がっている。低水路の平均的な河床勾配は約 1/200、平水時の河川流量は夏期で 10~14m³/s 程度である。

図2(a)、(b)に 1984 年（曾根）および 1995 年（奥田ら）に調査された観測対象域での高水敷植生分図を示す。図に示された通り、1984 年には高水敷の大部分が礫河原で構成されていたが、1995 年にはツルヨシ、オギ、ススキ群落を主とする植生帯に被覆されている。このような草本類の繁茂にともなって、河川堤防付近からニセアカシア林の繁茂が生じており、観測対象域で樹林化が進行しつつあることが分かる。ニセアカシアは外来種であり本来多摩川河川敷には生息していなかったが、その生息域拡大にともなって礫河原が減少し、礫河原を好んで生息するカワラノギクなどの現存量が低下している。

観測開始前の 1999 年春期には右岸高水敷全域および左岸高水敷下流側の半分程度の範囲にツルヨシ、オギ、ススキなどの草本類を主とした群落が密生しており、両岸の高水敷の下流側部分にはニセアカシアの低木が混在していた。左岸側の高水敷上流側部分には、1998 年 8 月および 9 月の台風の接近により生じた出水により作られた礫河原が存在していた（戸田ら（1999））。

本研究では、洪水流に伴った土砂・有機物・栄養塩量の輸送特性を詳細に把握できるように、観測領域は流下方向に 500m 程の区間に限定し、その中に設けられた 4 つの横断測線上で高水敷土壤の特性に関する精密な計測を実施した。各測線および測点の配置を図 3 に示す。

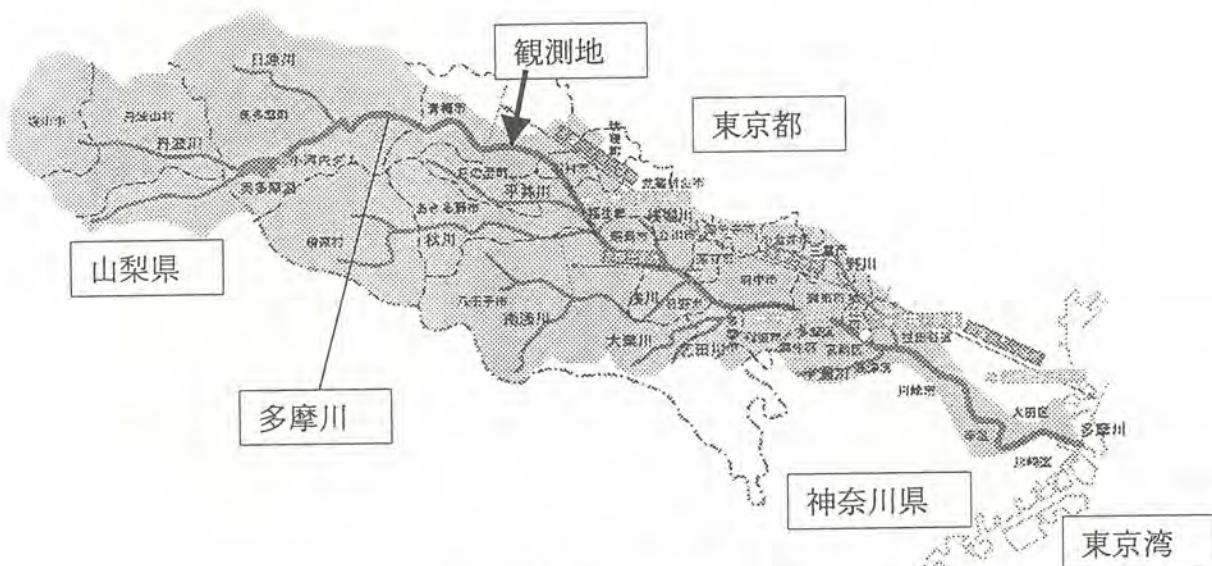


図1 観測地地図

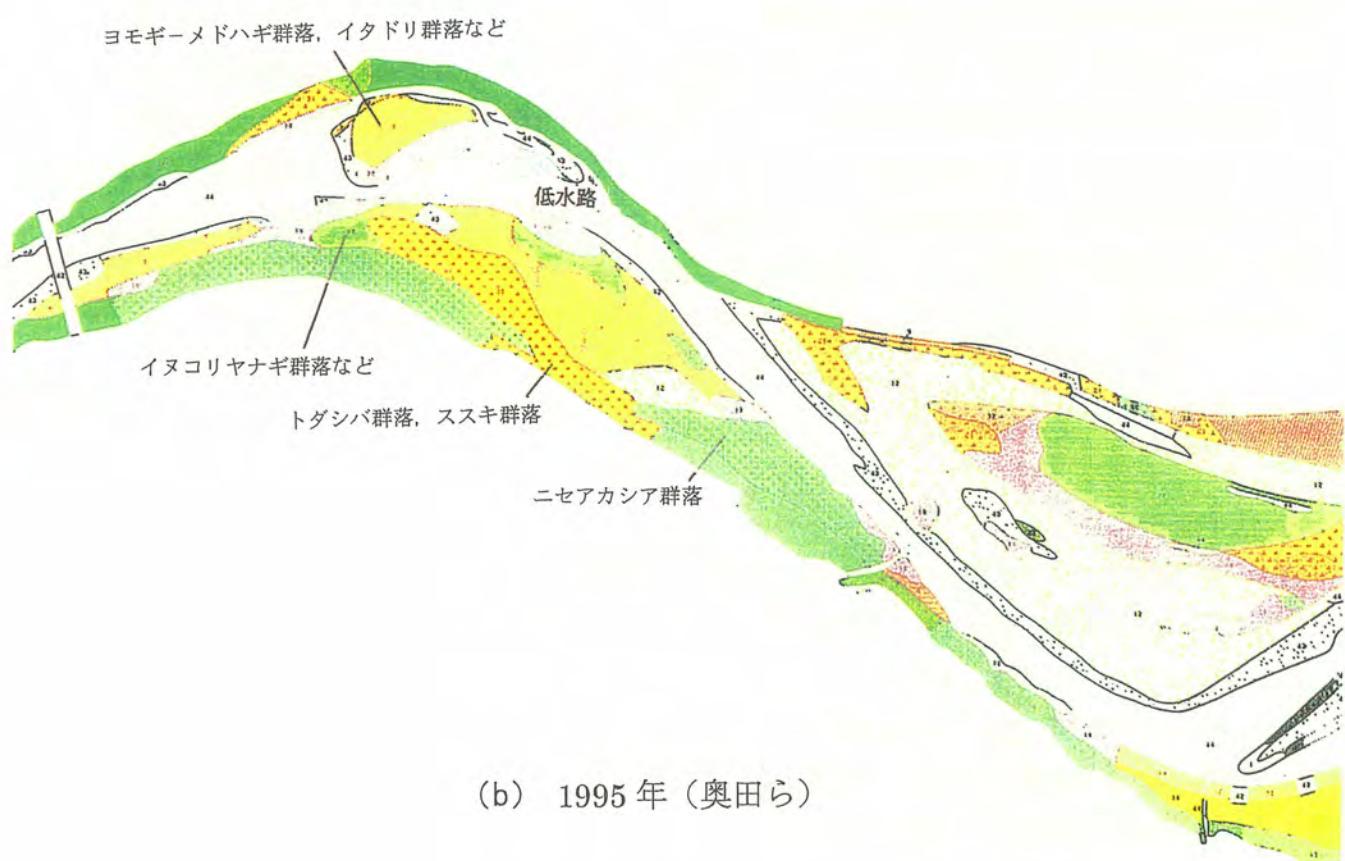
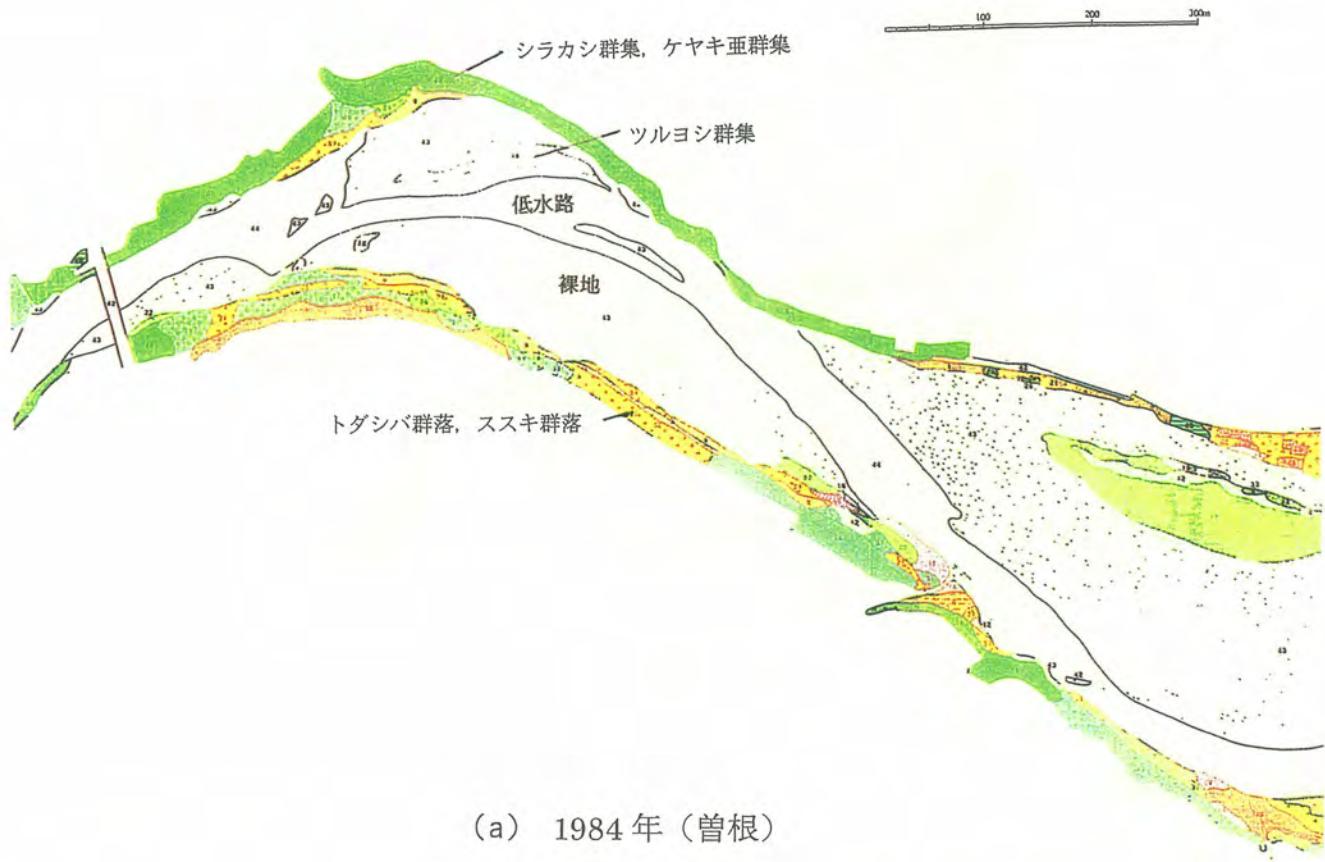


図2 観測対象地の植生分布図

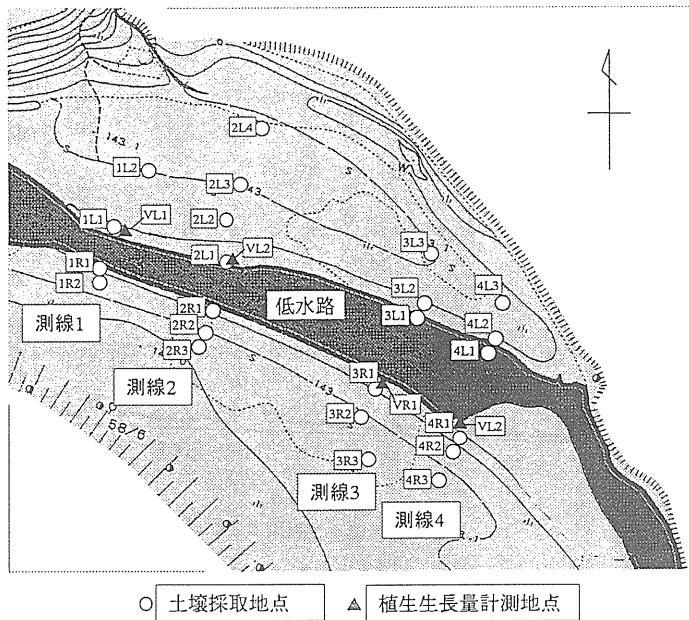


図3 観測点の配置

2.2 観測期間

現地観測は1999年5月13日～1999年11月5日に実施した。8月14日～15日にかけて熱帯性低気圧の関東圏への接近にともなって強い降雨が観察され、観測対象地において高水敷全体が冠水する大規模な出水が生じた。同年中、 $100\text{m}^3/\text{s}$ を越えるような大規模な出水はこの一度だけであり、他の期間は低水路との境界付近の高水敷が冠水する程度の出水はあったものの、植生分布や高水敷土壌の構成を大きく変化させるような出水は生じなかった。観測期間前半である5月13日～8月3日にかけては観測対象高水敷の代表的な植生の現存量や生産力に関する調査（以下、植生観測と称す）を、8月2日および11月5日にかけては洪水前の地形、土壌に関する調査（以下、地形・土壌観測と称す）を実施した。それぞれの調査手法は次節に示すとおりである。

2.3 観測方法

2.3.1 植生観測

高水敷上の植生はその生産過程で高水敷土壌中の栄養塩類を利用し生育している。ここでは、植生の生育に利用される栄養塩量を把握することを目的とし、1ヶ月に一度の間隔で以下の観測を実施した。高水敷上の植生群落の中から代表的で均質なツルヨシ・オギ群落を抽出し（図3、▲印地点）、その群落の平均的な高さの植生を5～10本選び出しその地上部を採取した。採取された地上部葉茎に付着した泥などを水で洗い落とし、日陰で1日間乾燥させた後に温潤重量を、その後 120°C の恒温乾燥炉で2時間乾燥させた後に乾燥重量の計測を行った。植生の生産過程を正確に捉えるためには、地上部葉茎のみでなく、地下茎やほふく根を含めた計測が必要であるが、ツルヨシやオギなどは地上部葉茎が地下茎で繋がっているので、それらを採取することは困難であったため今回は地上部葉茎のみの採取とした。植生密度を把握するため、採取地点を中心

心とした 50cm×50cm の面積中に含まれる植生の本数を計数した。

また、出水前後の高水敷植生分布の変化を捉えるため、1999 年 8 月 2 日および同年 11 月 5 日に高水敷上の植生繁茂状況を 10m×10m の間隔で調査した。

2.3.2 地形・土壤観測

地形測量では DGPS (株)ソキア製) を用いた平面測量およびレベル (株)ソキア製) を用いた水準測量を実施した。1999 年 8 月 2 日 (出水前)、同年 11 月 5 日 (出水後) には、高水敷表層土壌 (本研究では表面から深さ 10cm までの土砂・有機物等と定義) 中の強熱減量、リン含有量、窒素含有量を調査した。強熱減量の計測は、採取した試料の乾燥重量 (120°C で 30 時間乾燥) から強熱残留物重量 (700°C で 2 時間強熱) を差し引き求めた。全リンの測定は、ペルオキソ 2 硫酸カリウム水溶液に土壤試料を投入し、オートクレーブでオルトリン酸に分解した後にアスコルビン酸法によって定量した。窒素量の計測は、ペルオキソ 2 硫酸カリウムと水酸化ナトリウムの混合溶液に土壤試料を投入し硝酸に分解したのち、中和滴定を行いカドミウム還元法により定量した。表層材料のサンプリングは図 1 中に○印で示された地点で行い、各地点で面積 : 50cm×50cm 程度の採取を行った。表層材料の分析時には植生の根や葉などの大きな固形の有機物は取り除いてある。また、図 3 中測線 2 上の地点では、篩い分け後に各粒径毎の強熱減量、リン含有量、窒素含有量を計測した。

3. 観測結果

3.1 観測期間中の河川の流況

図 4 に東京都交通局の多摩川第 3 発電所で計測されている 1999 年 7 月 1 日から 11 月 12 日の御岳橋における流量を示す。御岳橋は観測対象地から約 7 km 程上流側に位置しているが、観測対象地との間に支川の流入がないため、1~2 時間の時間遅れがあるものの概ね観測地の流量を表しているものと考えられる。河川流量は平水時で 10~14m³/s の間で変動しており、8 月 14 日の熱帯性低気圧接近時に同年最大流量である 704m³/s (8 月 14 日 21 時~22 時) を記録した。その他の期間では、9 月 16 日および 9 月 23 日付近の台風の接近時に流量が 50m³/s を上回ったが、これらの期間には高水敷上が若干冠水する程度であり、植生分布や高水敷土壌に大きな変化は見られなかった。

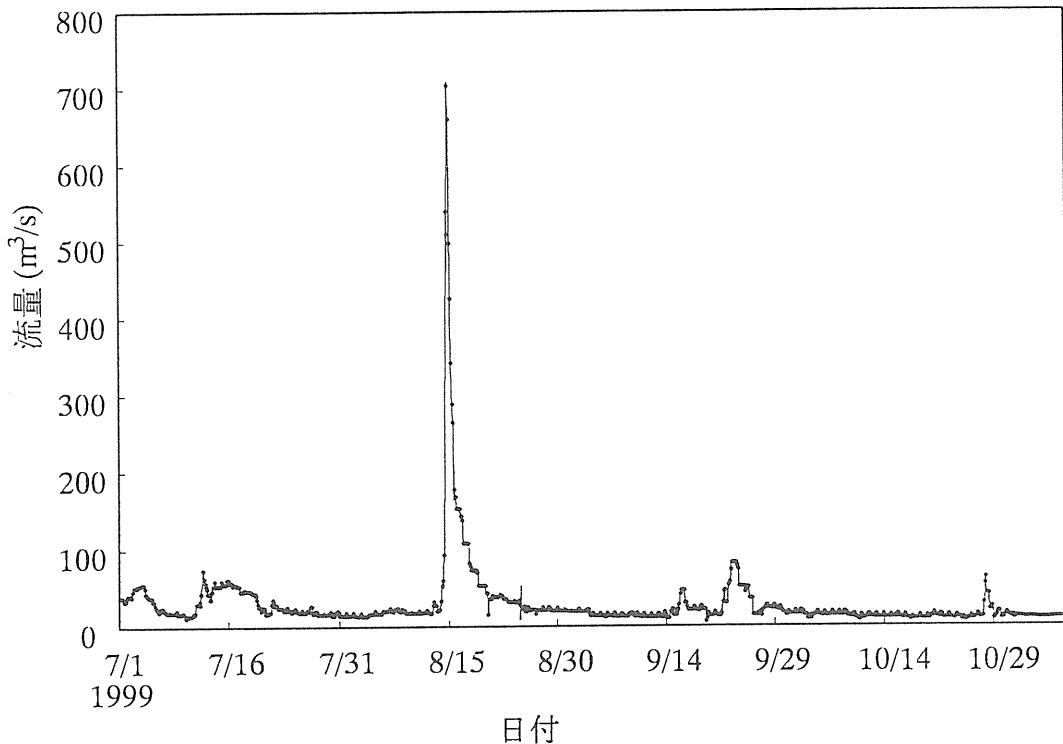


図4 夏期多摩川流量（御岳橋付近）

3.2 高水敷植生の生産過程

図5に1999年春期～夏期にかけてのツルヨシ群落の地上部乾燥重量の変化を示す（図1中L1、L2、R1、R2地点）。左岸と右岸を比較すると、測定開始時の現存量の差は小さいが、その後、右岸側ツルヨシの現存量が大きくなっていることが分かる。左岸側は前年度の出水により植生が流出した地点であり、出水の影響が小さかった右岸より生産力が低下していると言える。このような生産力の違いを生じさせた原因については、1)出水による地下茎流出の有無、2)左岸と右岸での土壤環境の違いが考えられる。1)の影響に関して、右岸のツルヨシ群落は1998年出水時に地上部葉茎が枯死したが流出は生じていなかったため、地下茎は流出せず生息しており、翌年に高い生産力を発揮した可能性が示唆される。一方、左岸側のツルヨシ群落は、出水により地上部植生とともに地下茎も流出し、生産力が低下したものと推察される。このように地下茎流出の有無が生産力に与える影響を定量的に明らかにするためには、地下茎量に関する調査が必要であり、今後の課題である。2)の左岸・右岸での土壤環境の違いについては以下で考察を行う。

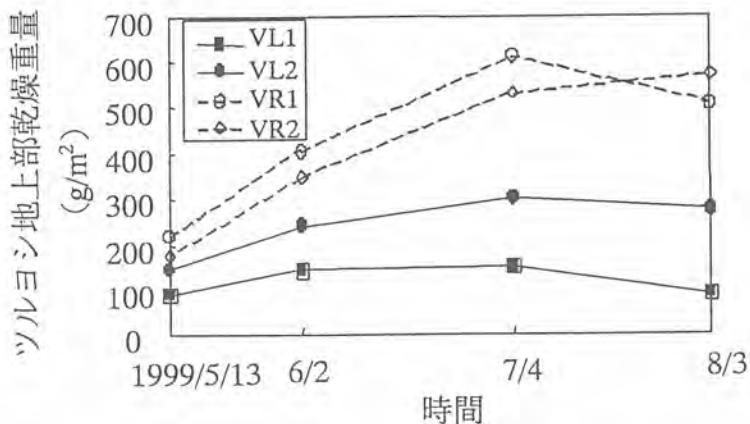


図5 高水敷上のツルヨシ群落（地上部）の成長

表1に1999年春期～夏期にかけてツルヨシの生育によって吸収されたリン・窒素量、および3.3.3で算出する同地点における単位面積表層材料中のリン・窒素含有量を示す。ツルヨシによる栄養塩吸収量は、8月2日の地上部葉茎乾燥重量の観測値に、既往の研究で報告されているヨシの地上部葉茎/地下茎乾燥重量比（＝2.28、堀江ら（1987））とリン、窒素含有率（リン：0.17%、窒素：1.81%、堀江ら（1987））を用いて算出している。単位面積表層材料中のリン・窒素含有率は、1999年8月2、3日に測定した土壤試料中のリン、窒素総量をサンプリング面積で除して算出したものである。以上の換算の際に用いられている地上部葉茎/地下茎乾燥重量比や表層材料サンプリング面積の値は誤差が大きいため、表中の数値はかなり粗放なものではあるが以下のような特徴が見られる。表層材料中のリンは、ツルヨシの生産に取り込まれた量に対して十分に存在しているが、窒素に関しては不足している。本観測では表層材料の採取を深さ10cmまでしか行っていないため、ツルヨシの生育に対して本当に窒素が不足しているかどうかは明確では無いが、栄養塩が制約となるような場合には、窒素制約となる可能性が高いことが推察される。表層材料中の栄養塩量は、左岸と右岸では右岸側が多く、それが右岸のツルヨシの生産力を増加させた可能性が示唆される。

表1 ツルヨシによる栄養塩吸収量と表層土壤中の栄養塩量

地点 番号	ツルヨシによる 栄養塩吸収量 (g/m ²)		表層土壤中の栄 養塩含有量 (g/m ²)	
	リン	窒素	リン	窒素
VL1	0.2	2.3	1.4	1.1
VL2	0.7	7.1	1.5	1.1
VR1	1.2	13.0	1.9	1.5
VR2	1.4	15.0	3.8	2.0

3.3 出水前後の高水敷の変化

3.3.1 植生分布の変化

図6に洪水前後の高水敷植生分布を示す。出水前後を比較すると、左岸側高水敷上の低草地、草本類の群落が出水により流出していることが分かる。本観測地の河道は緩やかに湾曲しており、左岸側はその外岸側に位置している。そのため出水時においては、左岸側で大きな流速が生じ、河床洗掘とともに左岸高水敷の植生を流出させたものと思われる。右岸側高水敷では上流側低水路付近の草本類（ツルヨシ・オギ・ススキ）群落が流出し、高水敷中央部の草本類群落は低草地となっていた。草本類の群落から低草地へと変化していた地点は、出水直後には地上部葉茎が洪水流の影響でなぎ倒されていた地点であるが、その後再びそれらの植生が生育し始めたために形成されたものである。出水後の現地踏査より、8月15日付近に生じた出水では右岸側高水敷全域が冠水したものと思われるが、左岸と比較すると裸地化された範囲が狭く、洪水流の影響は小さかったものと判断される。このことは、右岸側高水敷は湾曲の内岸側に位置しており、冠水時の高水敷上流速が小さかったため、外岸に位置する右岸にくらべ出水の影響が小さかったものと思われる。したがって、出水が植生群落に与える影響を考えるために、冠水頻度だけでなく、出水時の流れに起因した掃流力の空間的な違いを考えることが必要であることが分かる。また、両高水敷ともに上流側部分の方が下流側部分と比較して出水の影響を強く受けていることが分かる。高水敷下流側部分ではツルヨシ、オギ、ススキの群落の中にニセアカシアが点在しており、そのニセアカシアは今回の出水では流出に至らなかった。その結果、ニセアカシアが洪水時の高水敷上の流れに抵抗として作用し、周囲の流速を低減することによって高水敷下流部の植生の流出が防がれたことが推察される。

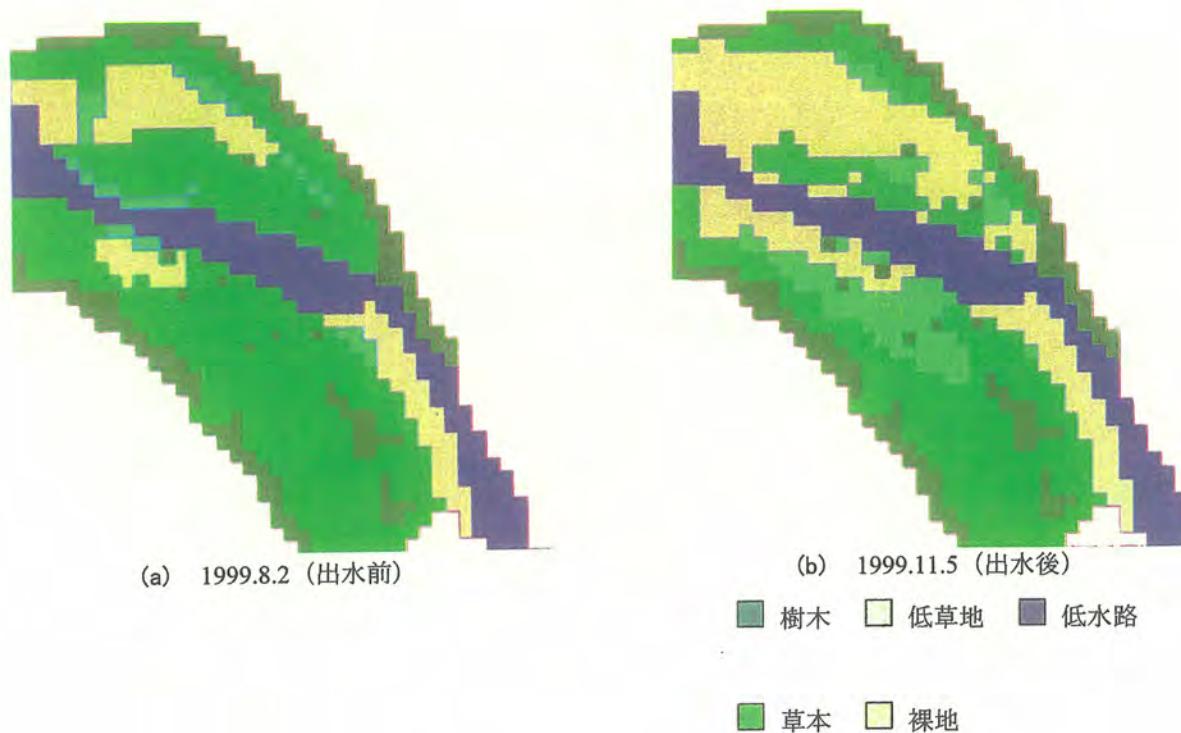


図6 出水前後の高水敷植生の変化

3.3.2 高水敷表層土壤の粒度分布の変化

左岸側・右岸側それぞれの高水敷における洪水前後の表層土壤の粒度分布の変化を図7(a)、(b)に示す。出水前の土壤の粒度分布は3つの特徴的なタイプに分類され、それをAタイプ、Bタイプ、Cタイプと分類した。Aタイプと分類された地点は、10mm以上の礫が表層10cm内の大部分を占めており、細粒分の含有率が小さいことが分かる。Bタイプと分類された地点では、0.6mm以下の砂・シルト分が40~70%程度存在し、礫と細粒分が混在している。現地踏査時の観察から判断すると、これらの地点では、ごく表面付近の礫の間隙まで細粒成分が堆積した状態であった。またCタイプでは表層材料の90%以上が0.2mm以下の粒径によって占められており、表面はほぼ細粒分のみによって被覆されている。

以上の3タイプの表層材料が高水敷上でどのように分布しているかを示したもののが図8である。左岸側高水敷は下流側の一部を除きAタイプに分類され、高水敷表面はおおむね礫で被覆されている。左岸下流側のニセアカシヤが生育している付近にはCタイプが見られる。右岸側高水敷では3つのタイプが混在しているものの、ツルヨシ群落が生育している地点近傍ではBタイプ、Cタイプの表層材料となっている。このようにBタイプやCタイプの土壤は高水敷上に植生が繁茂している付近に多く存在している。このことは、1998年の出水時に植生が流出した地点では礫河原(Aタイプ)が形成されたものの、植生が流出するには至らなかった地点では、植生群落が洪水時の流れに対して抵抗として働き、周囲の流速低下と細粒土砂の堆積を進行させ、BタイプやCタイプの土壤を形成したものと考えられる。1999年の出水後の土壤においては、出水前にBタイプに分類された高水敷下流側の水際付近の地点がAタイプに変化しており、礫河原へと変化している。また、右岸側高水敷の奥に位置する地点ではBタイプやCタイプの土壤に変化しており、植生群落による細粒分の捕捉がより一層進行したことが分かる。

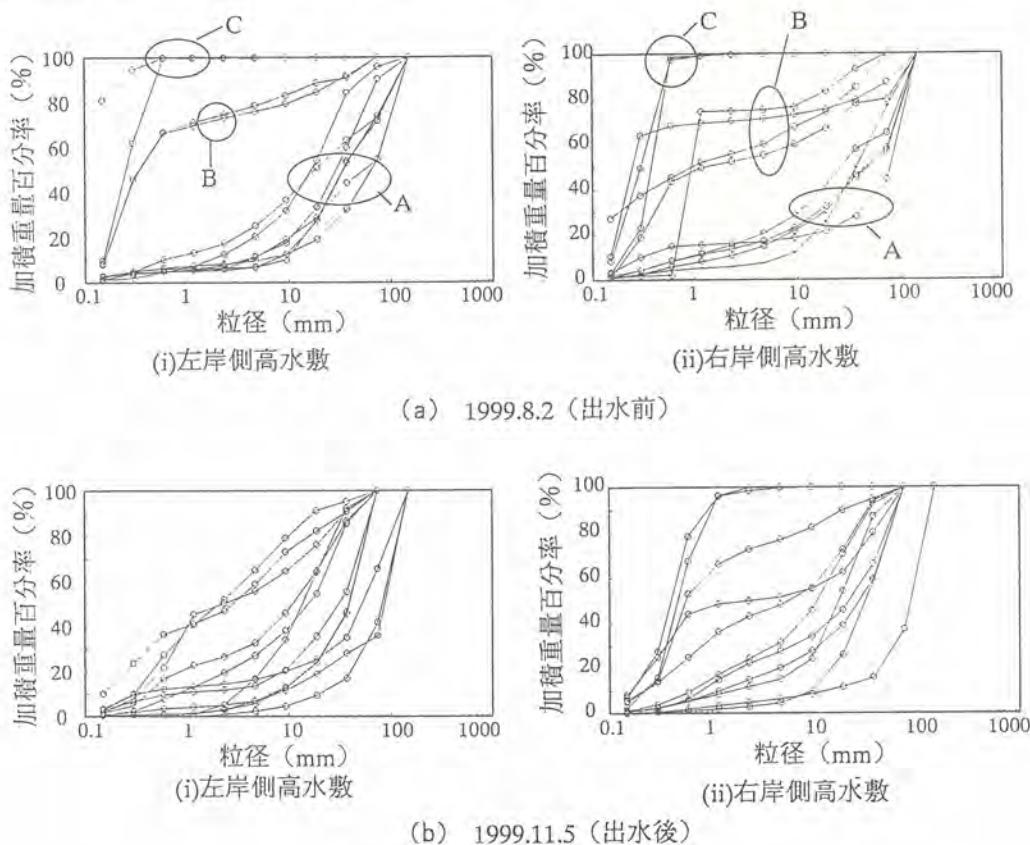
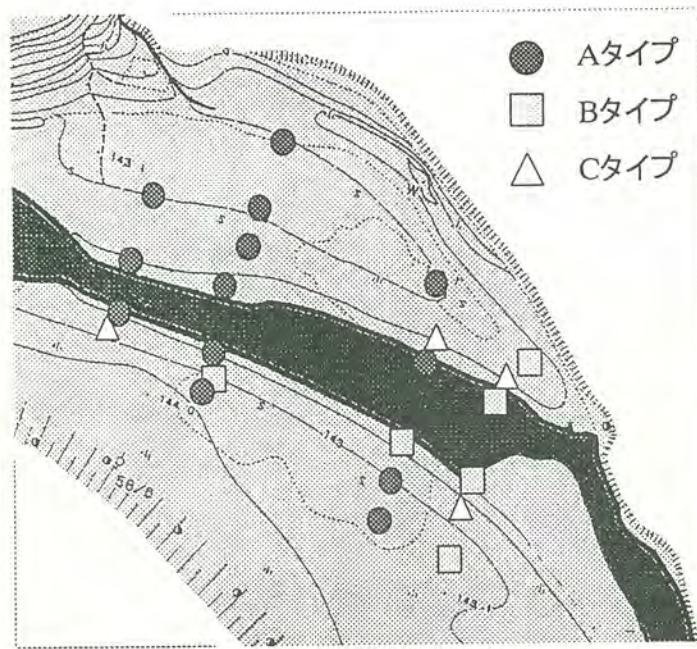
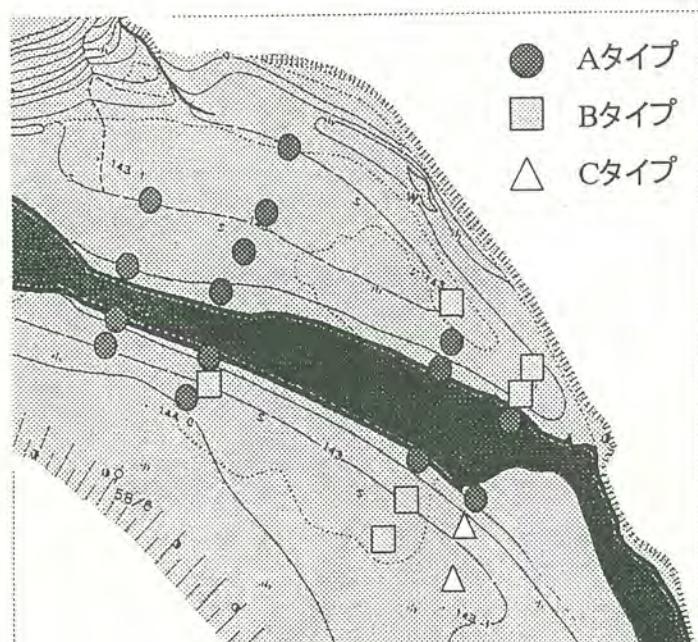


図7 表層土壤の粒度分布



(a) 1999.8.2 (出水前)



(b) 1999.11.5 (出水後)

図8 土壤粒度タイプの空間分布

3.3.3 高水敷表層土壤中の栄養塩・有機物量の変化

高水敷表層土壤中の物質量の変化を捉えるため、以下の検討を行った。図9(a)、(b)、(c)に出水前後の単位乾燥重量中の土壤に含まれるリン量、窒素量、強熱減量を示す。出水前の全ての項目において、左岸高水敷上流側部分と比較して、左岸高水敷下流部分と右岸高水敷で大きな値をとる傾向が見られる。これらの地点は出水前に植生が繁茂していた地点であり、このことから植生が繁茂している地点では有機物や栄養塩の含有率の高い土壤が形成されていたことが分かる。このことは、8/14以前の梅雨期に $50\text{m}^3/\text{s}$ の小規模な出水が生じており、その際に水際の植生群落によって微細な土砂や有機物の捕捉が生じたものと推察される。出水前後を比較すると高水敷土壤の栄養塩含有率は全体的に低下しており、出水によって栄養塩含有率の低い土砂が堆積したことが分かる。強熱減量に関しては出水前後の変化が小さいが、その原因は現在のところ不明である。図10(a)、(b)に単位乾燥重量中の強熱減量とリン量、窒素量との相関図を示す。出水前の土壤では、強熱減量とリン・窒素の正の相関が見られ、土壤中に有機態の栄養塩を多く含有していたことが示唆される。出水後にはこれらの相関関係は不明確になっており、栄養塩の含有形態が出水前後で大きく変化したことが分かる。このような出水後の堆積土壤の性質は、その起源である観測対象域上流部からの土砂生産過程や上流に建設されている小河内ダムの堆積土砂の性質等に大きく依存するものであり、その詳細は明らかではない。今後の課題である。出水後にはリン・窒素の分布範囲が小さくなっていることから、洪水後には地点間の土壤性質の差が小さくなり、均質化が生じていることが分かる。

図11に測線2上の各地点における粒径毎のリン・窒素・強熱減量の含有率を示す。出水前の土壤においては、栄養塩・有機物とともに粒径が小さくなるほど含有率が高くなる傾向が見られる。このことは窒素・有機物に関しては河川の流れや生物による分解の結果、小さな粒径で存在することが多く、リンに関しては細粒成分表面に吸着した形態で存在していたものと考えられる。窒素量・有機物量に関して、1mm付近の粒径のところで両者が大きな値を取っており、窒素の変化が有機物量の変化と対応していることが分かる。このことから窒素量に関して多くの有機態で含有されていたものと考えられる。出水後の分布に関しても出水前と同様、粒径が小さくなるほど粒度毎の栄養塩・有機物含有率が上昇する傾向が見られるが、そのリンに関してはその上昇率は小さくなっている。このことは、出水後に堆積した土壤は出水前と比較して吸着性のリンが少ないことを示しており、例えば小河内ダム湖底の土砂の様に、嫌気状態下でリンの溶脱の影響を受けた土砂が観測対象高水敷に堆積した可能性が示唆される。また出水後の全ての項目に関して、各地点間での分布の違いが小さくなっていることから、高水敷土壤の均質化が進行していることが確認される。

図12(a)、(b)、(c)に単位面積土壤中に含まれるリン量、窒素量、強熱減量を示す。出水前のリン・窒素量は1998年の出水によって高水敷が裸地化された左岸高水敷上流部で小さな値をとっている。その他の地点では地点間のばらつきが見られるが、全体的な傾向としては植生の繁茂が進行している高水敷下流側付近で大きな値を示している。出水前後を比較すると、栄養塩に関しては全体的に低下しており、出水によって細粒成分が流出したこと、および出水後の堆積土壤の栄養塩含有率が低下したことに起因している。強熱減量に関しては裸地や粗粒化が進行した地点でおおむね低下する傾向がみられ、細粒成分の堆積した地点では増加する傾向が見られた。

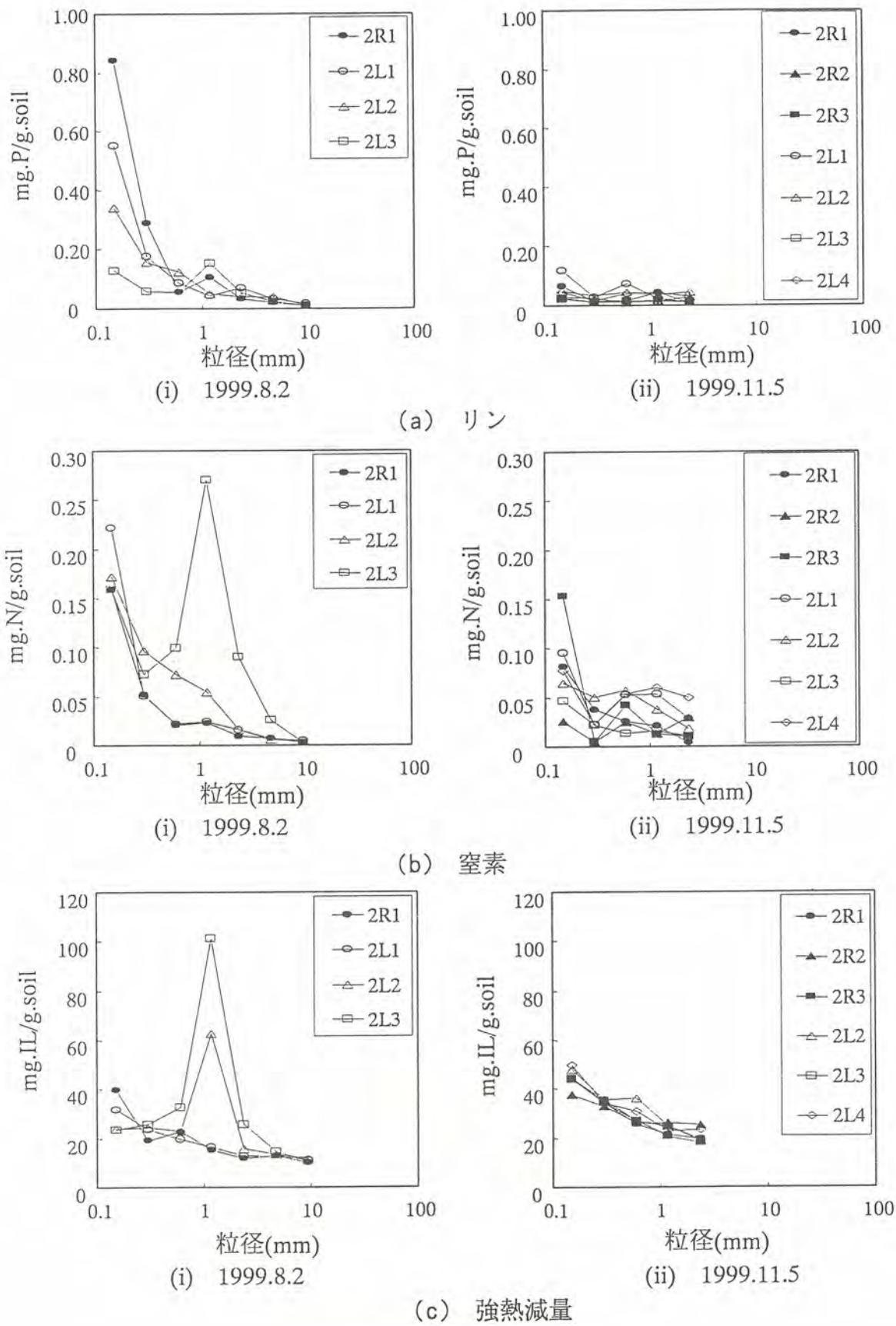


図 11 粒径別物質含有量

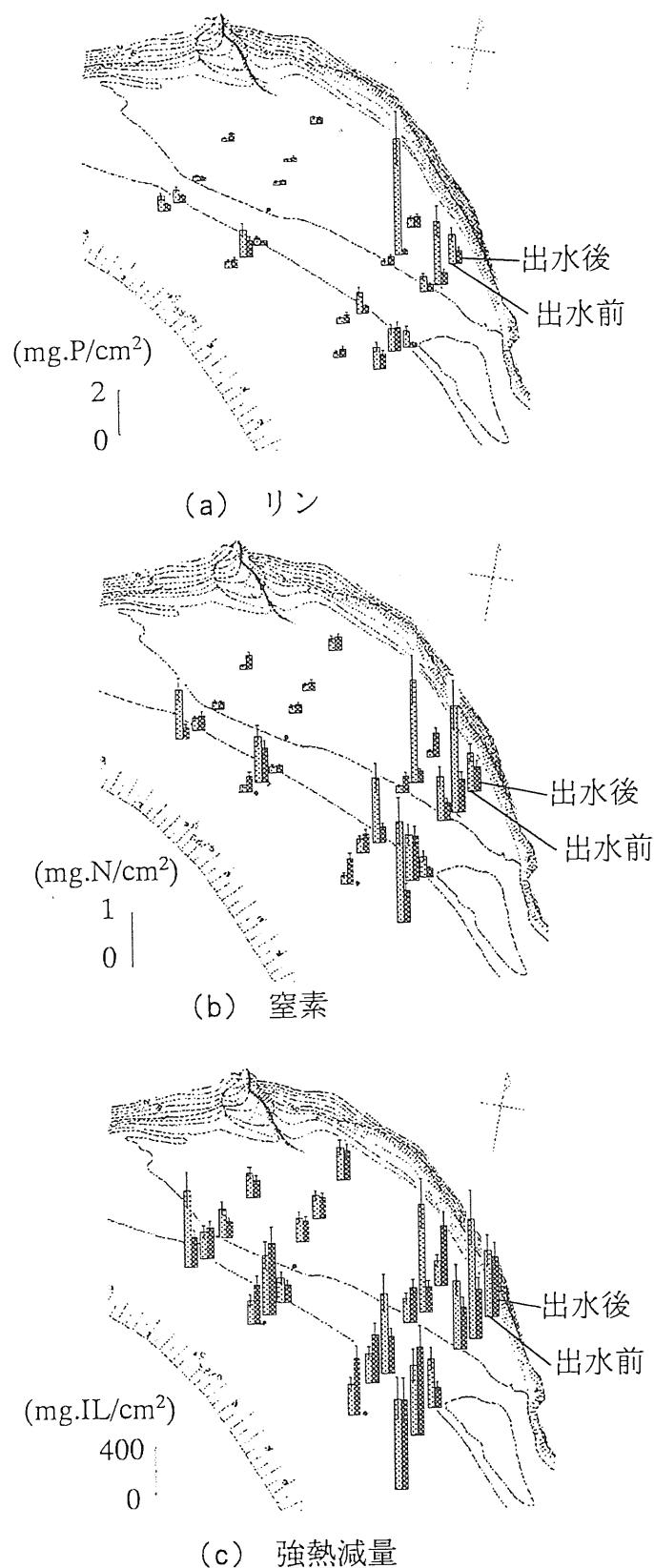


図 12 単位面積土壤中の物質含有量

4. おわりに

本研究では、多摩川礫床河川部を対象として、洪水流による高水敷植生・土壤の変化に関する現地観測を実施した。本研究で得られた主たる知見は以下の通りである。

- 1) 出水時の植生の流出は洪水時の掃流力の分布と関連しており、本観測地においては外岸に位置し掃流力が大きかったと思われる左岸高水敷で大規模な植生の流出が見られた。
- 2) 出水時に植生が流出した地点においては高水敷表層土壤の粗粒化が進行し、植生が流出しなかった地点では粗粒化が抑制される傾向にあった。
- 3) 土壤中の粒径の小さな成分ほど、栄養塩（リン・窒素）を多く含有している。
- 4) 高水敷表層土壤中の栄養塩量は、土壤の粒度分布と密接な関係があり、細粒分を多く含有する土壤ほど栄養塩含有量が大きい。

参考文献

- ・李參熙, 藤田光一, 山本晃一: 磯床河川における安定植生域拡大のシナリオー多摩川上流部を対象にした事例分析よりー, 水工学論文集, 第43巻, pp. 977-982, 1999.
- ・清水義彦, 小葉竹重機, 新船隆行, 岡田理志: 磯床河川の河道内樹林化に関する一考察, 水工学論文集, 第43巻, pp. 971-976, 1999.
- ・曾根伸典: 多摩川河川敷現存植生図, とうきゅう環境浄化財団, 1984.
- ・奥田重俊, 小船聰子, 畠瀬頼子: 多摩川現存植生図, とうきゅう環境浄化財団, 1995.
- ・戸田祐嗣, 池田駿介, 熊谷兼太郎: 磯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.
- ・堀江毅, 細川恭史, 三好英一, 関根好幸: 植物体(ヨシ)による浄化能力の検討, 港湾技研資料, No. 591, pp. 2-18, 1987.