

礫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

AN OBSERVATION ON THE EFFECT OF FLOOD FLOW ON RIVERINE VEGETATION
AND TRANSPORTS OF NUTIRENTS AND ORGANIC MATTER IN A GRAVEL RIVER

戸田祐嗣¹・池田駿介²・熊谷兼太郎³

Yuji TODA, Syunsuke IKEDA and Kentaro KUMAGAI

¹正会員 東京工業大学助手 工学部土木工学科 (〒152-8552 目黒区大岡山 2-12-1)

²710-会員 工博 東京工業大学教授 工学部土木工学科 (同上)

³学生会員 東京工業大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 (同上)

From the view points of river ecology, it is important for river engineers to manifest the movement of substance during flood. A field observation was conducted at Tama-river in Tokyo from Jul. 21 to Oct. 14, 1998, in which the river geometry, the distribution of riverine vegetation, the chemical composition of soil on flood plain and water qualities were measured. The results of the observation show that the flood flow yields not only sediment transport but also transports of nutrients and organic matter. It was also found that the contents of phosphorous and organic matter in the soil on flood plain decreased during the flood and the riverine vegetation was removed by flood flow.

Key Words: flood, vegetation, nutrients, organic matter, field observation

1. はじめに

河川高水敷に生育する植生は高水敷土壌中の水分や栄養分などをその生理活動に利用しながら生息している。洪水時の河川の流れは、河川地形や高水敷上の植生分布の影響を受けながら、短時間に大量の物質を輸送し、高水敷植生の生育環境に大きな影響を与える。従って、洪水時に河道内でどのように物質の輸送が生じているかを把握することは、河川植生の生育環境を明らかにするうえで重要な課題である。

このような背景から、河川工学の分野において、洪水時の河川の流れと河川植生の生育環境の関係に関する現地調査が多数実施されるようになった。李ら^{1),2)}は多摩川中流の礫床河川部を対象として高水敷植生の長期的な変化と洪水流による土砂堆積との関係に関する現地調査を実施し、洪水流によって微細土砂が堆積

した地点において高水敷植生の安定生息域の拡大(樹林化)が進行していることを報告している。また、清水ら³⁾も同様の調査を渡良瀬川を対象として実施しており、洪水時の土砂輸送と植生繁茂に密接な関係があることを指摘している。このような調査によって、洪水時の土砂輸送が高水敷植生の生育環境に大きな影響を与えることが明らかになってきた。しかし、これらの調査では植生生育環境が土砂堆積のみから検討されており、生物環境上重要となる有機物や栄養分の洪水時の輸送特性に関しては、未解明のまま残されている。

従って、本研究では河道内の物質循環特性を明らかにするための第一歩として、多摩川中流域の礫床河川部を対象に、洪水流による有機物や栄養塩の輸送特性とそれが高水敷の植生・土壌環境に与える影響を現地観測により明らかにする事を目的とする。

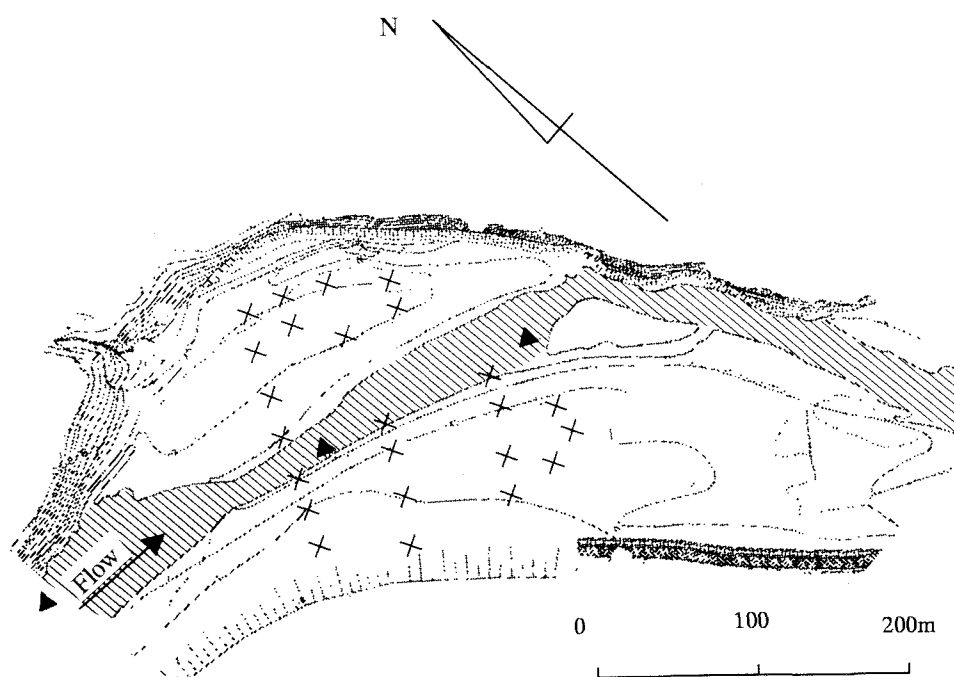


図-1 観測地地図

表-1 観測項目

項目	場所	測定法, 測定機材	測定日
地形	観測域全域	レベル, 平板	7/22
水質 (栄養塩濃度, SS 濃度, 強熱減量)	図-1 中▲印	採水, 分光光度計	7/21~7/22: 3 時間間隔 8/28~8/30: 2 時間間隔 9/15~9/17: 2 時間間隔 他の期間 : 1 週間間隔
植生分布	観測対象高水敷全域	現地踏査	7/22 (出水前), 10/14 (出水後)
土壌 (強熱減量, リン 含有率)	図-1 中×印	土壌採取後分析	7/22 (出水前), 10/14 (出水後)

2. 観測概要

(1) 観測地の概況

観測地は多摩川河口から 59.0km 地点（東京都青梅市）の 200m 程度の礫床河川区間である（図-1）。観測区間の平均的な河床勾配は約 1/200, 平水時の流量は夏期で 10~12m³/s 程度である。観測地には連続した瀬と淵が形成されており, 水面幅は瀬と淵に対応して 20m~50m の範囲で空間的に変化している。高水敷にはヨシ, オギ, ススキなどの草本類が繁茂し, その中にニセアカシア, イヌコリヤナギなどの樹木が点在していた。

(2) 観測期間および観測方法

観測期間は平成 10 年 7 月 21 日より同年 10 月 14 日である。平成 10 年 8 月 28 日から 8 月 30 日には台風 4 号, 同年 9 月 15 日から 9 月 17

日には台風 5 号の関東圏への接近による大規模な出水が観測された。表-1 に観測項目の一覧を記す。

7 月 21 日, 22 日に地形測量を実施した。測量は光波測距儀（株 SOKIA 製）, レベル, 平板を用いて行った。また, 平水時河川水質の変動特性を把握するため, 7 月 21 日 6 時~7 月 22 日 18 時の間 3 時間間隔で河川水を採取し, 分光光度計を用いて栄養塩濃度（PO₄-P, T-P, NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N）を計測した。栄養塩濃度は, 分光光度計（株 セントラル科学）を用いた吸光度による測定方法⁴⁾で定量化した。

7 月 21 日から 10 月 14 日の期間には, 1 週間間隔で定時（午前 10 時）に河川水を採水し, 懸濁態物質濃度（以下, SS 濃度）, SS 中強熱減量, 栄養塩濃度を計測した。ただし, 強熱減量に関しては, 台風接近による出水期以外は検出下限値程度の微量であり測定出来なかった。

また、出水前後の高水敷環境の変化を捉えるため、出水前(7月22日)および出水後(10月14日)に、高水敷上の植生分布および高水敷表層土中の強熱減量、リン含有量を調査した。植生分布の調査では、観測対象地を10m間隔の格子に区切り、格子内の優先植生種を調べ記録した。高水敷表層土のサンプリングは、左岸側高水敷に10地点、右岸側高水敷に14地点で行い、各地点で深さ方向10cm程度、面積:25cm×25cmの土壌の採取を行った。ただし、径が10cm以上の礫はサンプリングに伴う偶然誤差が測定結果に入り込みやすいことから、それらを除いて採取した。従って、本観測における表層土壌とは、10cm以上の礫の間隙に存在する小礫、砂、シルト分を意味している。

また出水期間中である、8月28日12:00~8月30日0:00および9月15日18:00~9月16日16:00の間、観測地より300m程上流に位置する下奥多摩橋より2時間間隔で河川水の採水を行った。採水されたサンプル水を持ち帰り、SS濃度、栄養塩濃度、SS中強熱減量を測定した。

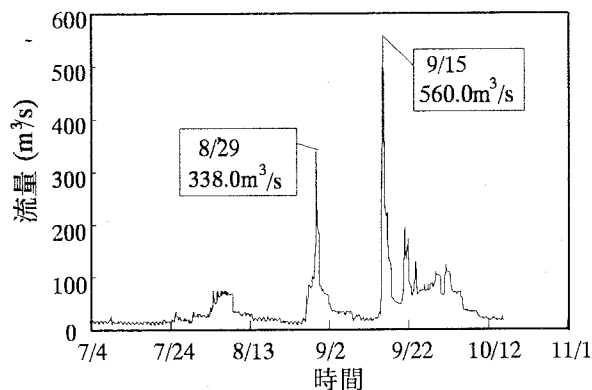
3. 観測結果

(1) 観測全期間の河川水の変動

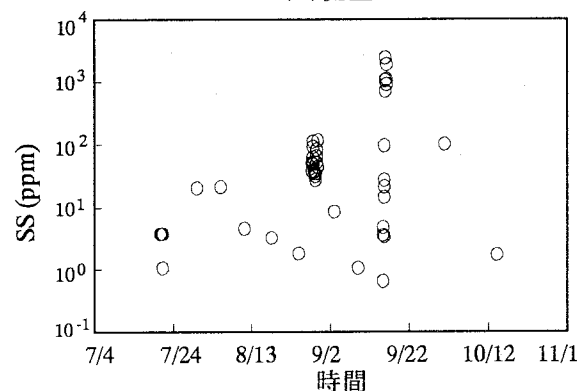
図-2(a)~(d)に観測全期間における流量、SS濃度、リン(T-P, $\text{PO}_4\text{-P}$)濃度、溶存無機態窒素($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$)濃度の時間変化を示す。流量以外の項目に関しては観測期間中の変化が大きいため、対数軸で示してある。また、流量データに関しては、東京都多摩川第3発電所によって観測地より7km上流地点(御岳橋)で測定されたものである。

流量の変化(図-2(a))に関して、観測期間前半に当たるは7月25日頃から8月15日頃までは、奥多摩地域における夕立の影響のため河川水量($15\sim 20\text{m}^3/\text{s}$)が比較的多く、また、8月28日~8月30日には台風4号、9月15日~9月17日には台風5号の関東圏への接近によって流量が増加している。台風5号時の最大流量は $560.0\text{m}^3/\text{s}$ であった。この流量は確率年では3年程度に相当するものであるが、1991年に $800\text{m}^3/\text{s}$ を記録して以来、ここ7年間では $200\text{m}^3/\text{s}$ を上回る流量は記録されておらず²⁾、近年では比較的大規模な出水であった。

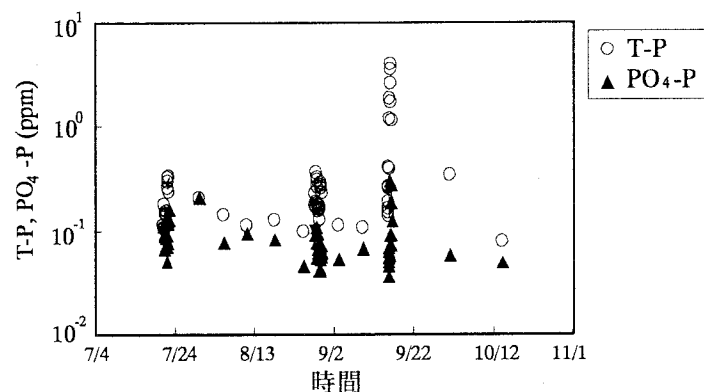
図-2(b)に示すとおり、台風の接近期間中



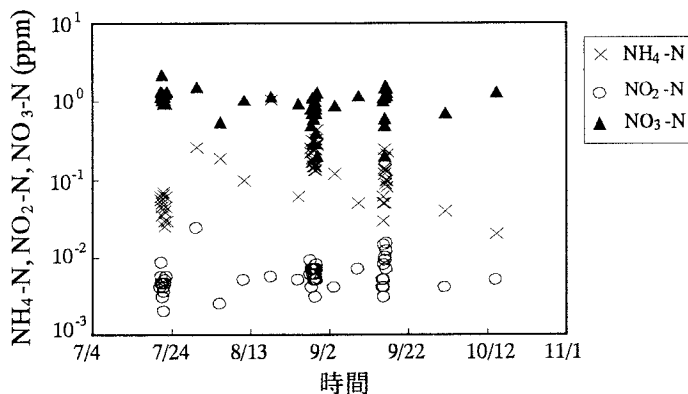
(a) 流量



(b) 懸濁態物質



(c) リン



(d) 溶存無機態窒素

図-2 観測期間中の河川水の変動

は、河川水中の SS 濃度が平水時の 10ppm 程度から 100~2100ppm 程度まで上昇した。特に台風 5 号接近時には、観測地より 20km 上流にある小河内ダムで、メインゲートからの放流が行われたため、ダム湖に堆積していた土砂の放出により、台風 4 号による出水時と比較して、高い SS 濃度（最大 SS 濃度：2139ppm）を記録した。

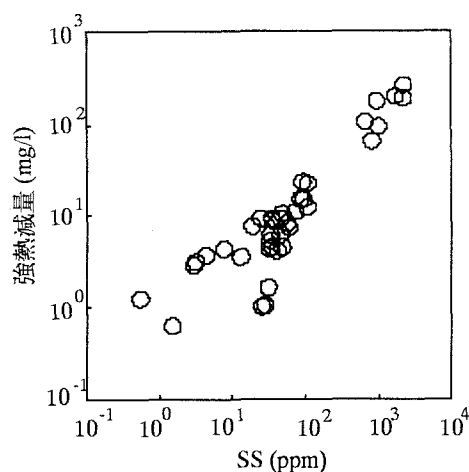
観測期間中のリン濃度の変化を図-2(c)に示す。SS 濃度の低い期間では、リンの大部分がリン酸態リンで存在している。SS 濃度の高い台風 5 号による出水時には、高い全リン濃度が見られるものの、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度の変化は平水時の変化（7/21~7/22）と同程度の範囲で変動している。このことから、出水時には土砂に吸着したリンや有機物中に含有されたリンの輸送が顕著に生じることがわかる。

図-2(d)に無機態窒素濃度の変化を示す。窒素に関しては、観測全期間を通じて、無機態窒素の大部分が硝酸態窒素で存在している。 $\text{NH}_4\text{-N}$ に関しては、流量や濁質濃度に対応した濃度変化が見られた。府中市で調査⁴⁾された雨水中の溶存無機態窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ ）の構成比によると、本観測地における河川水中のそれと比較して、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の含有率が高いことが報告されており、今回の観測で見られた $\text{NH}_4\text{-N}$ の変動は、雨水の流入に対応した変動であるものと思われる。しかし、このような窒素の構成の微妙な変化は見られるものの、溶存無機態窒素の総量に関しては、河川流量や SS 濃度に対応した大きな変化は見られなかった。

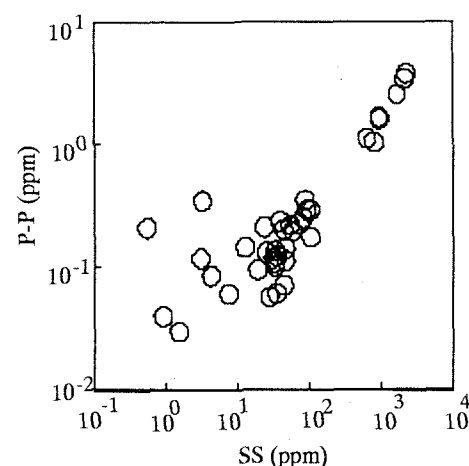
(2) 洪水流に伴った物質の輸送

図-3(a)~(c)に台風 4 号、5 号に伴った増水期間中の SS 濃度と SS 中強熱減量、懸濁態リン濃度（P-P）、溶存無機態窒素濃度の相関図を示す。P-P 濃度は、T-P 濃度から $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度を差し引くことによって求めた。また、溶存無機態窒素濃度は $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度および $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の合計値で表している。

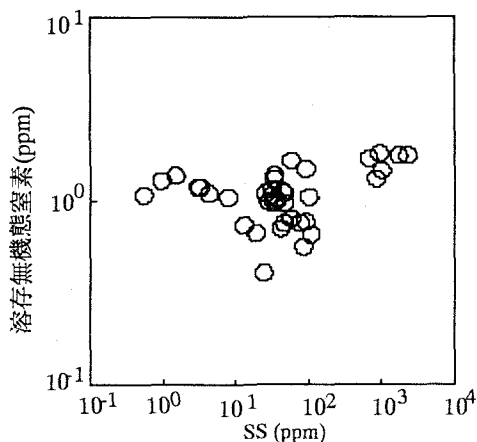
図-3(a)に示した通り、強熱減量は SS 濃度との相関が高い。強熱減量は SS 中の有機物の含有量を表す指標と考えられ、平水時に河川内の礫間隙に捕捉されていた有機物や高水敷で生産された有機物が、出水時に懸濁態物質とともに輸送されていることがわかる。また、出水の全期間を通じて、その相関関係が大きく変化することはなく、懸濁態物質の有機物含有率が出水期間を通じておおむね一様であったことがわかる。



(a) 強熱減量



(b) 懸濁態リン



(c) 溶存無機態窒素

図-3 洪水流中の物質濃度

図-3(b)より SS 濃度と P-P 濃度の相関が高く、懸濁態物質とともにリンの輸送が生じていることが確認される。P-P に関しても、有機物と同様に、出水期間中に相関関係が変化することはなく、懸濁態物質中のリン含有率が出水期間を通じておおむね一様であったことがわかる。

溶存無機態窒素（図-3(c)）に関しては濁質濃度との相関は低く、おおむね一様な濃度で流下している。ただし、本観測では総窒素に関する

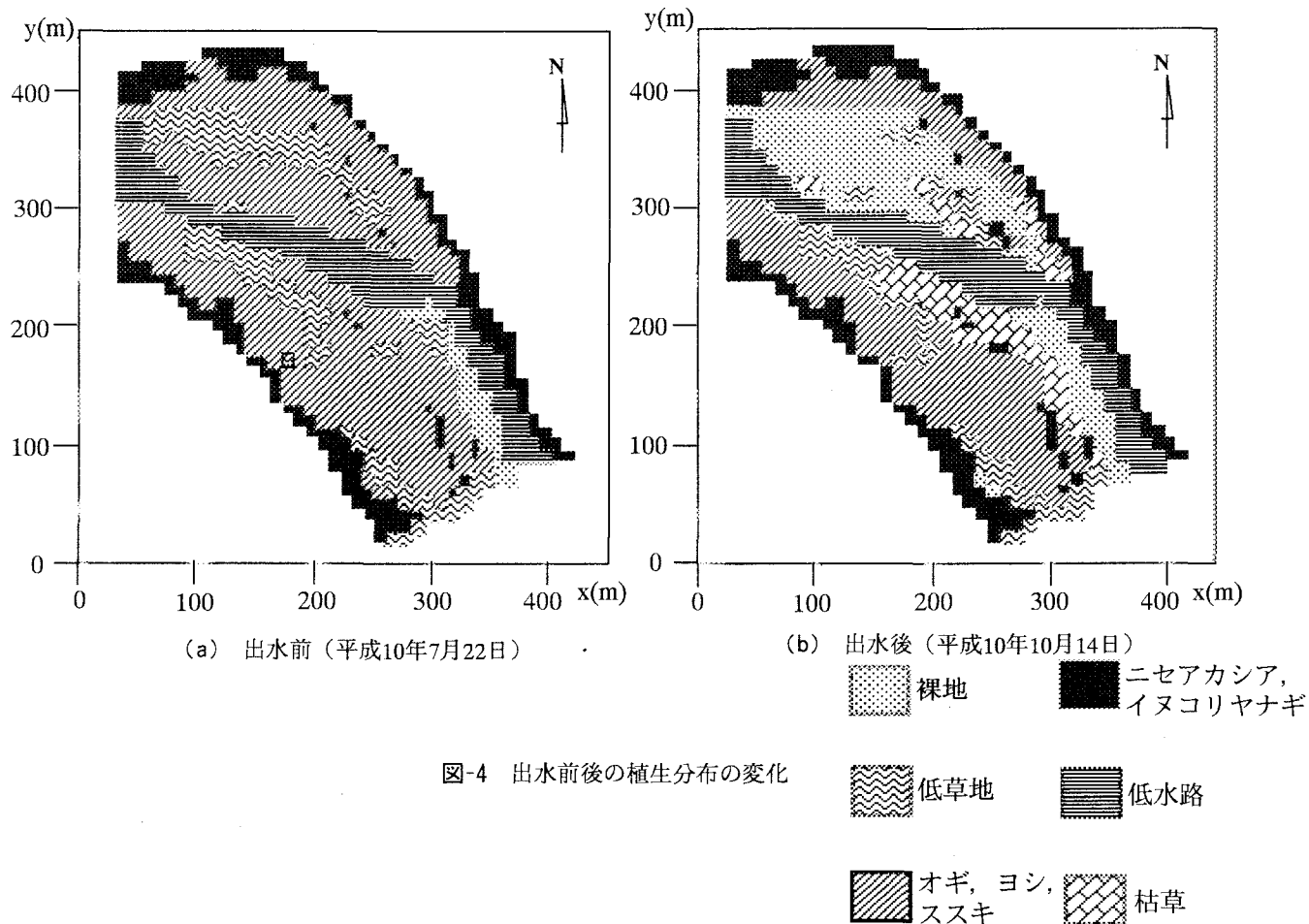


図-4 出水前後の植生分布の変化

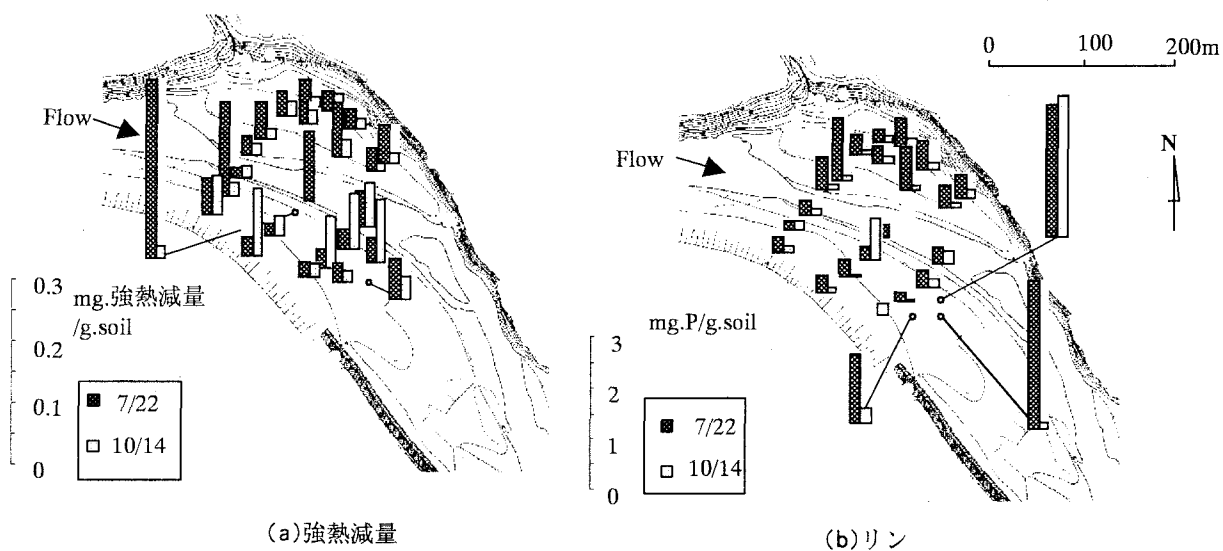


図-5 出水前後の高水敷土壌の変化

る分析を行っていないため、有機物中に含有されて輸送される窒素量は検討していない。今後の課題である。

(3)高水敷植生の変化と高水敷土壌の変化

図-4(a), (b)に出水前後における高水敷上植生分布の変化を示す。

左岸側高水敷上の低草地、ヨシ、オギ、ススキの群落が出水により流出していることがわかる。本観測区間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、洪水時には、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。しかし、左岸高水敷上に繁茂していたニセアカシアを流出させるにはいたらず、その影響でニセアカシアが繁茂していたごく近傍の地点においては植生の流出がおさえられている。

右岸側高水敷では(x,y)=(150m, 220m)～(300m, 100m)付近のヨシ群落が洪水流の影響でなぎ倒され、地上部の葉茎が枯死している様子が観察された。出水後の現地踏査より、右岸側高水敷全域のおおむね半分程度は冠水したものと思われるが、前述のヨシ群落の倒壊、枯死しているところ以外に、植生分布の大きな変化は見られなかった。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く、水際に生息していた一部のヨシ群落以外は出水の影響をあまり受けなかったものと思われる。従って、出水が植生群落に与える影響を考えるためには、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ものと思われる。

図-5(a)に出水前後の単位重量土壌中の強熱減量の変化を示す。洪水流の影響を強く受け、植生の流出が生じた左岸側では、全体的に強熱減量が低下している。これは左岸高水敷上の植生によって作られた有機物含有率の高い土壌が植生とともに流出したものと思われる。右岸下流側の高水敷においてはおおむね強熱減量が増加している。この地点はヨシ群落の地上葉茎部が枯死していた地点であり、冠水の影響を比較的強く受けるものの流出するには至らなかった植生群落によって出水時に河道内を流下する有機物が捕捉されたものと推測される。洪水前後の植生分布に大きな変化が見られなかった地点である右岸上流側においては地点間の変化に大きなばらつきが見られ、系統的な変化は見られなかった。

図-5(b)に出水前後の単位重量土壌中のリン含有率を示す。左岸側に関しては、植生群落が流出した地点において、リン含有率が減少しており、平水時に植生群落によって形成されたリン含有率の高い土壌が植生とともに流出したものと思われる。右岸側に関しては出水前後の変化の地点間格差が大きく、系統的な変化は観察されなかった。

4. 結論

本研究で得られた主たる知見は以下の通りである。

- 1)出水時には懸濁物質とともに有機物やリンが大量に輸送される。
- 2)出水により植生群落が流出した地点では、植生によって作られた有機物、リンの含有率の高い土壌が植生とともに流出する。
- 3)出水時に冠水の影響を受けるものの流出しない植物群落は、有機物を捕捉する傾向がある。

謝辞：本研究の実行にあたり、東京都多摩川第3発電所の岡田敏資氏から流量データを提供していただいた。水質分析時には東京工業大学総合理工学研究科石川忠晴教授および石川研究室学生諸氏の援助を受けた。また、本研究はとうきゅう環境浄化財団研究助成（課題番号：1997-7, 研究代表者：池田駿介）および河川環境管理財団河川整備基金（課題番号：1-II-2, 研究代表者：池谷奉文）の補助を受けたものである。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 李参熙, 藤田光一, 塚原隆夫, 渡辺敏, 山本晃一, 望月達也：礫床河川の樹林化に果たす洪水と細流土砂輸送の役割, 水工学論文集, 第42巻, pp.433-438, 1998.
- 2) 李参熙, 藤田光一, 山本晃一：礫床河川における安定植生域拡大のシナリオ—多摩川上流部を対象にした事例分析より—, 水工学論文集, 第43巻, pp.977-982, 1999.
- 3) 清水義彦, 小葉竹重機, 新船隆行, 岡田理志：礫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.
- 4) 半谷高之, 小倉紀雄共著：水質調査法, (株)丸善, 1995.

(1999. 4. 26 受付)