

河川下流域における懸濁態有機物の流程変化と砂州環境の関係

竹門康弘・山本佳奈・池淵周一

要 旨

宇治川の天ヶ瀬ダム下流 16km 区間および木津川の高山ダム下流 47km 区間において懸濁態有機物 (SPOM) の流程変化様式を調査した。宇治川は著しい河床低下により砂州が減少し河道の径深が大きいのに対し、木津川は砂州が発達し河道の径深が小さい特性がある。各河川について異なる流量条件下で SPOM 流下量 (強熱減量) を測定した結果、宇治川では増水時 $0.78 \sim 2.07 \text{g/m}^3$ 、平水時 $0.25 \sim 0.81 \text{g/m}^3$ 、増水時 $0.69 \sim 2.77 \text{g/m}^3$ であり、14km の流程を通じて水生植物の割合が多かった。いっぽう、木津川では低水時 $0.03 \sim 0.20 \text{g/m}^3$ 、平水時 $0.04 \sim 0.22 \text{g/m}^3$ 、増水時 $0.09 \sim 0.24 \text{g/m}^3$ であり、ダム直下の 3km の間にダム湖由来組成は失われ、3~20km 下流では陸生植物の割合が多くなり、さらに 20~45km 下流では河原植物や水際植物の割合が多くなった。両河川の流程に沿った SPOM の組成変化様式の違いは、河床低下河川では SPOM の流下距離が長くなること、砂州の発達する河川では SPOM が捕捉されやすいこと、ならびに砂州上に発達する植生は河道への支配的な有機物供給源になることを示している。

キーワード: 懸濁態有機物, 粗粒状有機物, 河川, 砂州, 植生, 物質循環

1. はじめに

河川生態系において、上流で生産され河川に落下した有機物は、降雨や洪水などの攪乱や自然流出に伴って下流に供給され流下していく。河床や河岸に捕捉された有機物が滞留すると生物によって栄養塩に分解され、河川に溶出したり植物に吸収されたりして新たな有機物生産が行われるといった物質循環の螺旋をかたちづくっていると考えられる (Webster & Pattern, 1979)。

戦前は、河川がもつ自然回復力や、河川における生物や生物生息場の多様性が維持されていたために、人為的に付加された有機物も河川の自浄作用によって生態系内に循環していたと考えられる。しかし、戦後になって河川は人為的に河道形状が改変されたり、産業・生活排水による有機物の流入量が増加したり、田畑からの化学肥料や農薬の流出など河川生態系に供給される有機物の量・質が変化したことによって、河道内における有機物滞留・分解の空間

配置や時間速度が大きく変わってしまった。その結果、場所によっては河川でも富栄養化が生じ、景観変化や生物多様性の減少の一因となっている。川の富栄養化は湖沼の場合とは異なり定量化が容易ではなく、富栄養化の基準が明らかではない。BOD などによる水質基準では河川生態系の物質循環の健全性評価が難しいため、とくに富栄養化の原因と対策を考えるために河川内有機物の組成や起源を明らかにすることが必要である。つまり、有機物や栄養塩などの供給・輸送・捕捉・分解・生産の過程を明らかにし、河川の自浄作用など生態系サービス機能の仕組みを理解することは、生態系保全や今後の自然再生を目的とした河川管理を行う上で重要である。

近年、瀬・淵や砂州などの河床地形は、河川生物群集の生息場所条件として重要であると同時に河川の水質や有機物収支などの物質循環を規定する場としても重要であることがわかってきた。たとえば、河床に供給される POM の量が河川生物による摂食や分解の速度を上回れば、有機

物が河床や間隙水域に堆積・滞留することによって、嫌気的な環境が卓越し、多くの動植物にとって生息環境の悪化を招く。いっぽう、POM や栄養塩の動態は河床勾配や砂州の発達程度に大きく影響することが知られている (Zah & Uehlinger, 2001 ; Tockner et al., 2002)。栄養塩や有機物の流れ変化に対する砂州のはたらきは、河床地形・河床材料・植生・河川規模・季節・場所によって異なると考えられ、土砂供給が多く裸地砂州がある河川と河床低下にともなう砂州が樹林化している河川とでは砂州の物質循環機能が異なると考えられる。したがって、河川環境を保全するために砂州景観の検討項目として目標となるこのような物質循環機能が考えられる。

また、細粒状有機物の流下距離は河川流量や河床勾配、流速などの条件によってさまざまであること (Gorgian et al., 2003) などが報告されている。つまり、POM の生産・滞留・分解過程は、流況に応じて動的に生じているため、流量変化による動態の解明も必要となる。そこで本研究では、河床材料や河床地形による流下粒状有機物 (SPOM : Suspended POM) の捕捉機能・供給機能の違いおよび SPOM の流下距離に与える影響を評価することを目的とし、宇治川と木津川において SPOM の流れ変化様式を調査した。

2. 方法

2.1 調査地概要および調査地点

河床材料や河床地形による SPOM の捕捉機能・供給機能の違いおよび SPOM の流下距離に与える影響を評価するために、河床低下の著しい宇治川と砂州の発達した木津川下流域の河床地形の異なる 2 河川において、ダム湖から流出する SPOM の流れ変化様式を調査した (Fig. 1)。また、流量変化による SPOM の動態変化を調べるために、宇治川の渇水時・平水時・豊水時、木津川の低水時・平水時・豊水時の異なる 3 流量時に調査を行った。

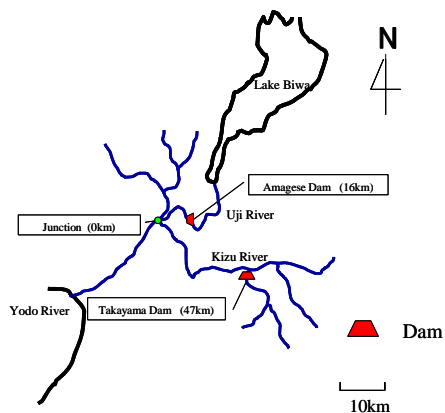


Fig. 1 Study area.

(1) 宇治川

宇治川は河床低下によって砂州が減少し岩盤や粘土層が露出した流れが卓越している河川で、平均河床勾配は

1/1151、平水時の水面幅は 100m から 120m 程度である。調査対象区間は天ヶ瀬ダム直下から三川合流地点までの 16km とした。その間の支川流入は、宇治川発電所放流口からの流入量が本川流量に強く影響しているが、その他の河川流入量は宇治川河川流量に影響を与えるほど大きいものはない。また、負荷流入については、ユニチカ宇治工場 (13.4km 地点) による排水や山科川 (8.6km 地点) を経て流入する石田下水処理場や伏見下水処理場 (5.2km 地点)、洛南浄化センター (1.2km 地点) からの排水がある。調査地点は天ヶ瀬ダム直下から三川合流地点までの 16km 区間に 6 つ設けた (Fig.2)。

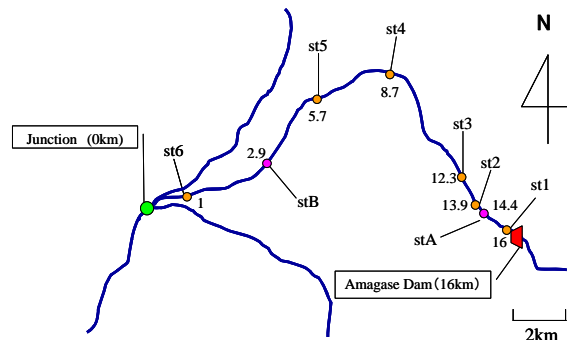


Fig. 2 Study sites in Uji River.

2004 年に行った 2 回の調査では調査地点を st1~6 としたが、st2 直上 (14.4km 地点) にある宇治川発電所放流口からの流入水が影響し、st1 よりも st2 のほうがプランクトン濃度が高くなっていたため、2005 年の調査では放流口直下に stA を新設し、st3~6 と、さらに st5 と st6 の間に新設した stB の計 6 地点を調査地点とした。

(2) 木津川

木津川は、河床材料の粒径が比較的小さく、三川合流地点から 20km 地点付近を境に上流域と下流域に区別され、とくに下流域では 1km 程度の長さの砂州が発達している河川である。上流域の平均河床勾配は 1/926、下流域の平均河床勾配は 1/1130 であり、平水時の上流域での水面幅は 20~50m 程度、下流域での水面幅は 200~300m 程度である。調査対象区間は高山ダム直下から三川合流までの 47km とした。ダム直下から 26km 地点までの上流域の河岸は樹林植生が発達している。26km 地点よりも下流域では支川流入や取水口が多くなり、さらに 19km 地点の左岸の下水道浄化センターなどによる人為負荷が大きい流れである。

調査地点は高山ダム直下から三川合流地点までの 47km 区間に調査地点を 9 つ設けた (Fig. 3)。

最上流調査地点 (st1) の選定にあたって、高山ダム直下の名張川の年平均流量が約 26.9m³/s、木津川の名張川合流地点の年平均流量が約 15.9m³/s であることから、st1 を名張川に設けると合流による SPOM 希釈および流入収支を考慮する必要があるため、木津川と名張川合流点より下流に st1 を設置した。

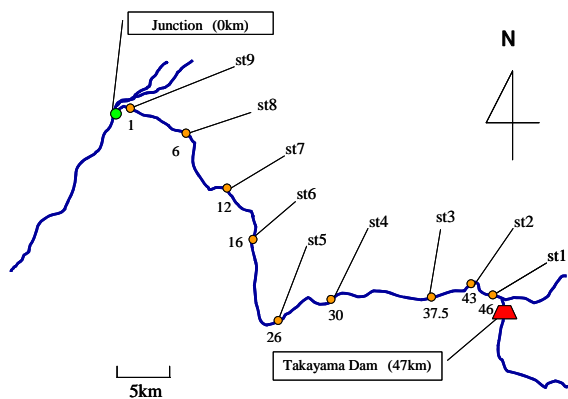


Fig. 3 Study sites in Kizu River.

2.2 調査日

宇治川および木津川のいずれの調査日についても、増水から1週間以内に調査を行った。これらの増水の規模は、宇治川では流量170~400 m³/s程度、木津川では流量75~400 m³/s程度である。

(1) 宇治川

宇治川について、2002年~2004年の宇治川三川水位流量観測地点(st6地点)の水位データ(国土交通省 水文水質データベース)と1991年~1995年の水位・流量データから求めた式(1)のH-Q式を用いて流況を調べると、豊水流量175m³/s、平水流量112m³/s、低水流量88m³/s、渇水流量73m³/sであった。

$$Q=49.245 \times (1.125 \times H - 1.0511)^2 + 593.12 \times (1.125 \times H - 1.0511) + 1827.3 \quad (1)$$

ただし、Q:流量(m³/s)、H:水位(m)

流量別にSPOM量を評価するために、宇治川では渇水時の2005年5月5日(st6流量約68m³/s)、平水時の2004年5月8日(st6流量約130m³/s)、豊水時の2004年5月10日(st6流量約350m³/s)に調査を行った。

(2) 木津川

木津川についても、2002年~2004年の木津川飯岡水位流量観測地点(st6地点)の水位データ(国土交通省 水文水質データベース)と式(2)のH-Q式(2001年)を用いて流況を調べると、豊水流量39.2m³/s、平水流量23.7m³/s、低水流量17.0m³/s、渇水流量11.8m³/sであった。

$$Q=34.94 \times (H+2.97)^2 \quad (2)$$

ただし、Q:流量(m³/s)、H:水位(m)

木津川では平水時の2004年5月26日(st6流量約33.6m³/s)、低水時の2004年8月19日(st6流量約18.1m³/s)、豊水時の2004年10月12日(st6流量約75.5m³/s)に調査を行った。

2.3 調査方法

(1) 調査対象

河川内の有機物は、河川外から流入する落葉・落枝やその分解物、河川内で生産された藻類、動物などからなっ

ており、一般に粒径が0.5μm以上の有機物は粒状有機物(POM: Particulate Organic Matter)、0.5μm以下のものは溶解有機物(DOM: Dissolved Organic Matter)とされている。さらにPOMは粒径によって、1mm以上の粗粒状有機物(CPOM: Coarse POM)と1mm以下の細粒状有機物(FPOM: Fine POM)に区別されている(Allan, 1995)。また、河川内のPOMについて河川を浮遊しているものを懸濁態有機物、河床や河岸に堆積しているものを堆積粒状有機物(BPOM: Benthic POM)という(Fig. 4)。

本研究における調査では、粒径100μm以上の懸濁物質を採取した。懸濁物質は、懸濁態有機物(SPOM)と鉱物や細砂などの無機物の混合物である。以降では、河川を流下する懸濁態物質のうち強熱減量によって得られる有機物をSPOMとし、そのうち1mm以上をCPOM、1mm以下をFPOMと記述することにする。

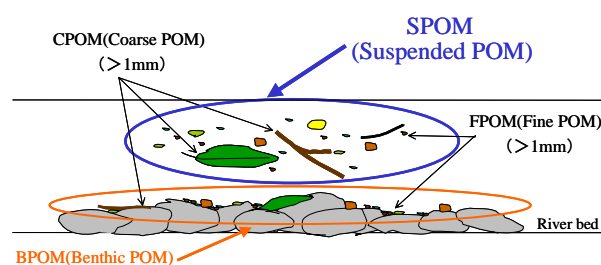


Fig. 4 Study object.

(2) サンプル採取

宇治川・木津川の各調査地点において、砂州上端の岸から約1m離れた場所に流下有機物採集用のネット(口径30cm、メッシュサイズ100μm)を設置し、河川水を濾して懸濁態物質を採取した。1回のサンプリングは、2分間とした。ネット内を通過した河川水量を算定するために、採取中にネット内に流入する部分で2分間の平均流速を電磁流速計(KENEK VP3000)を用いて測定した。採取したサンプルは、10%ホルマリンで固定しサンプル瓶に入れて研究室に持ち帰った。なお、流下ネットは採取中に目詰まりを起しネット内流速を一定に保てなくなったので、塩化ビニル棒を用いて頻りにネットを擦り、これを解消した。

また、ダム湖から流出する懸濁物質およびプランクトン濃度の変化を調べるために、上流から下流までできるだけ同一水塊のSPOMを採取することにした。まず、宇治川については、約3cm厚さに輪切りした大根に塗料で色をつけた浮標を最上流調査地点で調査終了後に投入し、流速を実測した。いっぽう、木津川では砂州が多いため浮標がすぐにトラップされ流下しにくいので浮標による流速実測が困難であった。そこで、過去の水位データを用いて調査日と同じ水位のピークをもつ増水データを抽出し、ピークの伝播速度から調査地点間の流速を推定した。これから計算した調査地点間の平均流下時間をもとに採集時刻を調整した。

(3) サンプル処理

採取した流下粒状物質（流下懸濁有機物サンプル）は研究室に持ち帰り、メッシュサイズ 4mm, 1mm, 500 μ m, 250 μ m, 125 μ m, 25 μ m のシーブで順次ウェットシービングし 6 つのサイズに分画した。さらに、4mm 以上と 1-4mm に分画される SPOM についてはその起源別に肉眼及び顕微鏡を用いて分類し、残りの 4 サイズについてはサンプルが細かく分類が困難であったため、起源分類を行わなかった (Table 1)。この類型化したサンプルをそれぞれ分類ごとにアルミ箔で包み、60°C で 24 時間以上乾燥させた後、乾燥重量を測定した。この後それぞれ、600°C で 2 時間強熱減量し、有機物量を測定した。

Table 1 Method for classification of fixed POM samples.

section (mm)	Material Classification							
	Plant origine				Animal origine			
>4	aquatic	water's edge	riparian	terrestrial	aquatic	aquatic (skin)	terrestrial	terrestrial (skin)
1-4	aquatic	water's edge	riparian	terrestrial	aquatic	aquatic (skin)	terrestrial	terrestrial (skin)
0.5-1					Total AFDW			
0.25-0.5					Total AFDW			
0.125-0.25					Total AFDW			
0.125					Total AFDW			

3. 結果

3.1 全粒合計流下粒状有機物量の変化

(1) 宇治川

宇治川における SPOM 流下量は、渇水時 0.78~2.07g/m³ (AFDW : ash-free dry weight (有機物量), 以降 SPOM 流下量は AFDW の値を示す), 平水時 0.25~0.81g/m³, 増水時 0.69~2.77 g/m³ を示し、必ずしも下流ほど SPOM 流下量が増加するとは限らなかった。その流下パターンは流量にかかわらず、st3 (12km) 地点でピークをとり、平水時は st1 (16km) で 0.25 g/m³ であったが st3 では 0.81 g/m³ 間で増加し、st4 (8.7km) で 0.62 g/m³ と減少したのち st6 (1km) 地点まで流下量があまり変化しなかった。ところが、渇水時と増水時には SPOM 流下量が場所によって大きく変化していた。渇水時は stA (14.4km) で 0.78 g/m³ であった SPOM 流下量が st3 で 2.04 g/m³, st4 で 1.09 g/m³, st5 (5.7km) で 1.93 g/m³, stB (2.9km) で 1.32 g/m³, st6 で 2.07 g/m³ と増加と減少を繰り返す流下パターンであった。増水時には st3 で 2.47 g/m³ でピークとなった後 st4 で 0.69 g/m³ に減少し、さらに st4~st6 (5.7~1km) 間で増加し st6 で最大値となるという現象が見られた (Fig. 5)。

(2) 木津川

木津川における SPOM 流下量は、低水時 0.03~0.20g/m³, 平水時 0.04~0.22g/m³, 増水時 0.09~0.24 g/m³ で、下流になるにしたがって流下量が増加する傾向を示した。その傾向は、低水時、平水時、増水時に共通して認められた。ただし、各地点間の変化傾向を見ると、低水時の SPOM 流下量は st1 では 0.05g/m³ であったが st2 で 0.08g/m³ に増加してから減少し、st4 (30km) で最小値をとった。その後増加に

転じ st6 で 0.12 g/m³ となった後、st7 でいったん 0.11g/m³ まで減少してから再び増加して st9 では 0.20g/m³ であった。平水時は st1 の 0.07g/m³ から減少し st3 で 0.04g/m³ となった後増加に転じ st6 で最大値をとり、いったん st7 で 0.10g/m³ に減少して st8 で 0.17g/m³, st9 で 0.09 g/m³ と増加と減少を繰り返した。また、増水時は st1 で 0.12g/m³ であったが st3, st4 で 0.09g/m³ に減少し、st6 で 0.24g/m³ となるまで増加した後、st7 で 0.18g/m³ に減少してから st9 で 0.22g/m³ まで増加した。いずれの流量時においても st4~5 (30km~26km) 間で増加し、st6~7 (16km~12km) 間で減少し、st7~8 (12km~6km) 間で再び増加することことがわかった (Fig. 6)。

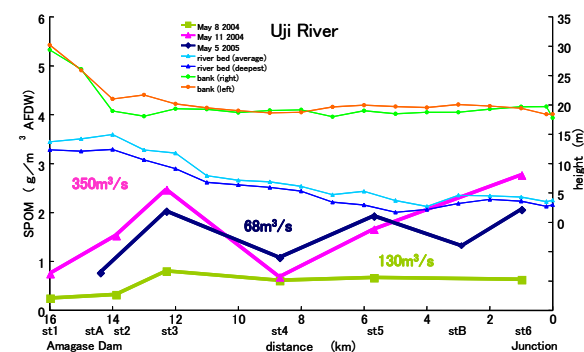


Fig. 5 Longitudinal changes of SPOM concentration in Uji River.

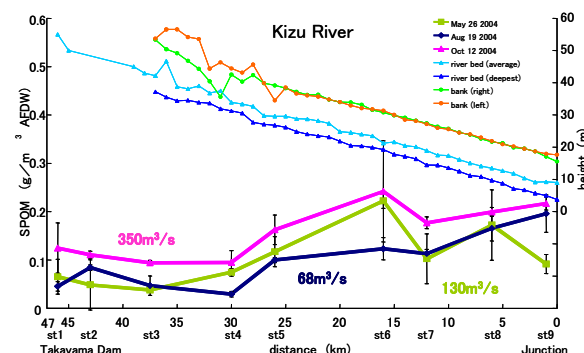


Fig. 6 Longitudinal changes of SPOM concentration in Kizu River.

3.2 粒径別流下粒状有機物量の変化

(1) 宇治川

宇治川の 3 流量時における粒径別 SPOM の流下パターンは、渇水時、平水時、増水時とも SPOM の粒径にかかわらず全粒合計の変化パターンと同様の傾向を示した。すなわち、流量にかかわらず SPOM 流下量は st3 でピークとなり、平水時は st4 で減少したのち st6 地点まで流下量があまり変化しなかった。渇水時と増水時には、st3 でピークとなった後 st4 では減少し、さらに st4-6 間で増加した (Fig. 7)。

SPOM 中に占める CPOM の割合は、宇治川では渇水時は CPOM が 1.7~0.4% を占め、下流になるにしたがってその割合が増加した。平水時の CPOM 割合は st4 で 28.4% でピークとなり、下流に向かって減少した。豊水時は st5 に向

かって増加し 18.2%でピークとなり, st6 では減少していた。

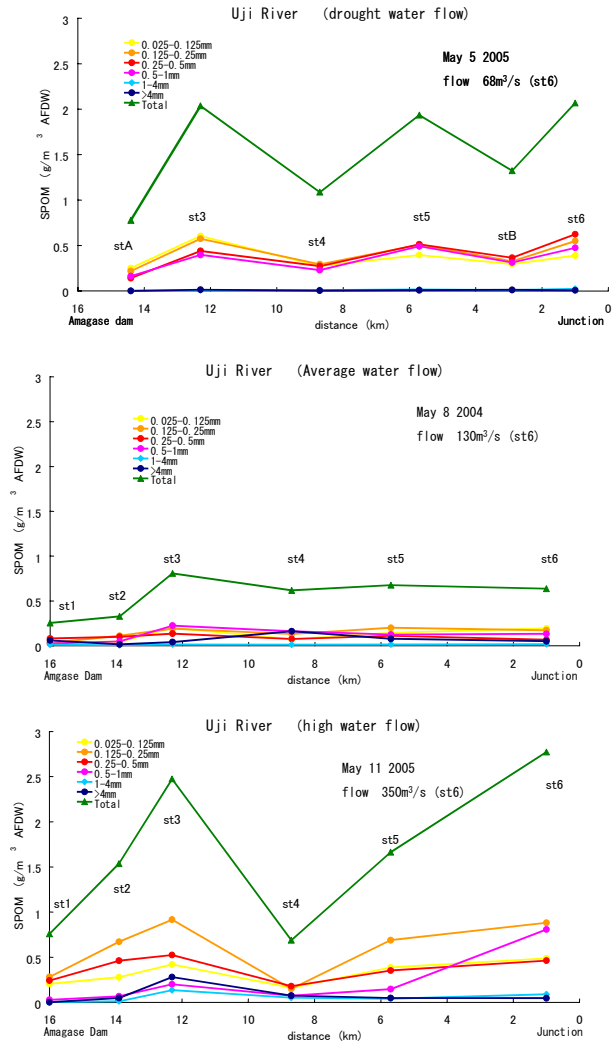


Fig. 7 Longitudinal changes in size composition of SPOM in Uji River (upper: drought water flow, middle: average water flow, down: high water flow).

(2) 木津川

木津川の3流量時における粒径別のSPOM流下パターンは、低水時は、4mm以上のSPOM流下量はst2で0.08g/m³で流下量が多かったことを除けば、st1からst4までは0~0.01g/m³でSPOM流下量は少なかったのに対し、st5より下流では0.02~0.09g/m³でst6においていったん流下量がピークとなった後減少し、st9で再び増加して最大値をとった。これに対し、他の5粒径分画は明確な流下量ピークはみられず、下流に向かって流下量が増加していた。平水時は4mm以上のSPOM流下量ピークはst4, st5で0.02g/m³でピークをとり、他の地点では0~0.01g/m³で流下量が少なかった。それ以下の粒径ではst6で流下量ピークをとった後st7でいったん減少し、st8で増加した。また、豊水時の4mm以上のSPOM流下量は0.02g/m³でst5でピークとなった後st6, st7で減少し、その後下流に向かって増加し、それ以外の粒径のものはst6でピーク流下量となった後st7で減少し

たまま st9 まであまり流下量に変化しなかった。以上のように、流量に関わらずとくに粒径4mm以上のCPOMの流下パターンが他の5サイズ分画と異なっていた (Fig. 8)。

SPOM中に占めるCPOMの割合は、低水時は2.7~69.2%でst1からst6まで増加しst7, st8で減少した後st9で再び増加した。平水時は4.5~36.0%を占め、st4でピークとなった後下流になるほどその割合が減少していた。豊水時は12.2~24.2%を占め、st5でピークをとったが、上流から下流までCPOMの割合はあまり変化しなかった。

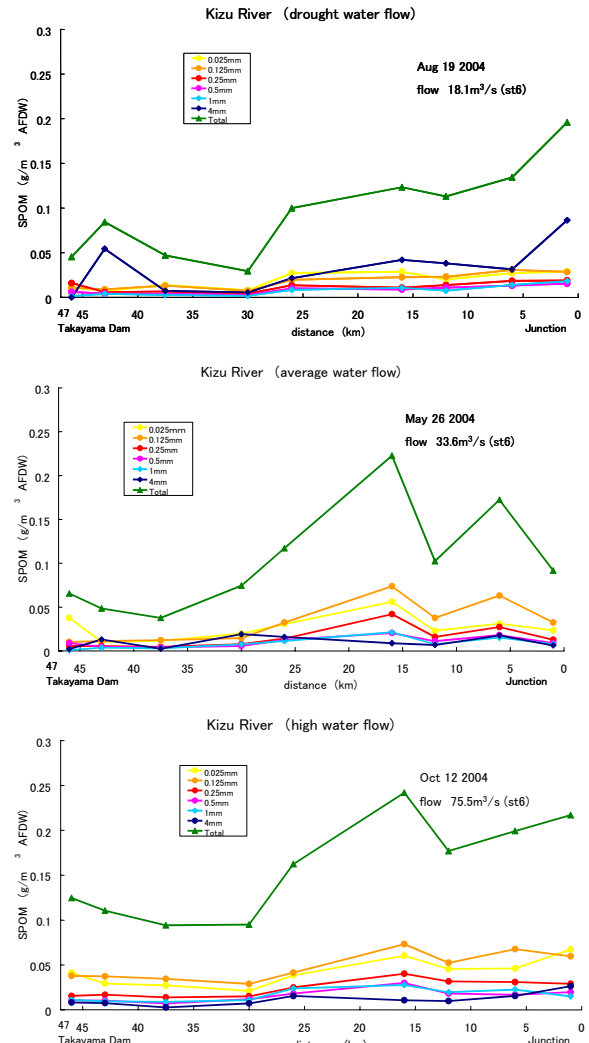


Fig. 8 Longitudinal changes in size composition of SPOM in Kizu River (upper: drought water flow, middle: average water flow, down: high water flow).

3.3 粗粒状有機物の起源組成

(1) 宇治川

宇治川の3流量時におけるCPOMの粒径別起源組成割合を調べると、Fig. 9のようであった。

渇水時は上流の2地点 (stA, st3) では糸状藻やトビケラやコカゲロウなどの水生動物の脱皮・羽化殻の割合が多く、st4より下流の4地点では上流の2地点で多かった糸状藻やカナダモ、ホザキノフサモ (*Miriophyllum spicatum*)な

どの水生植物、トビケラやフロリダミズヨコエビ (*Crangonyx floridanus*) の脱皮・羽化殻に加えて、イネ科植物の草本や種子など河原植物の割合が多くなった。

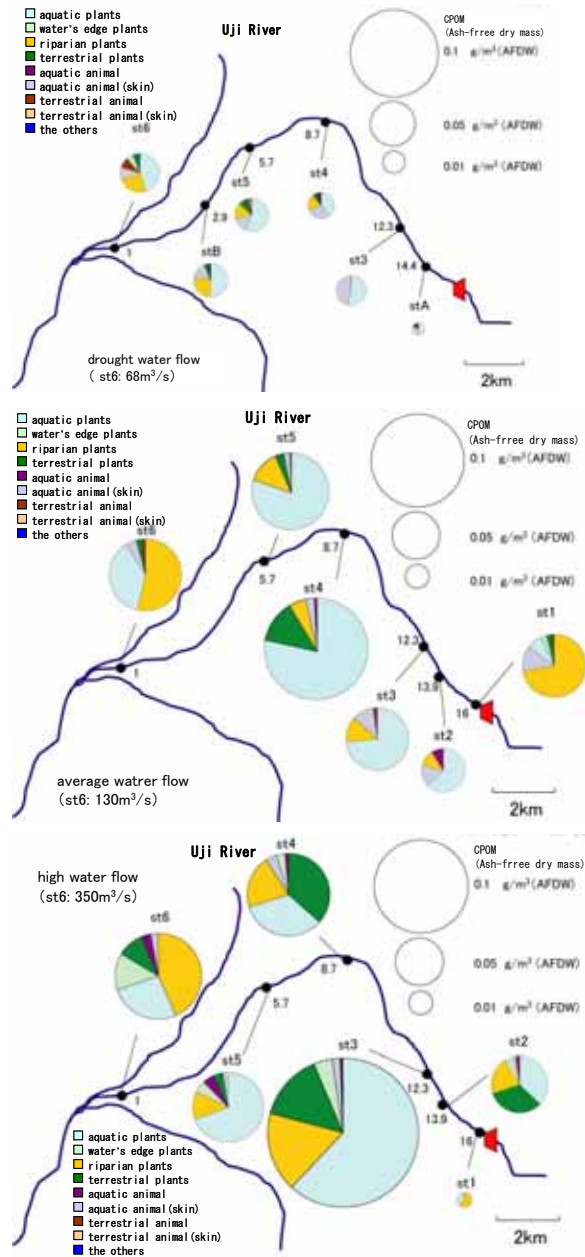


Fig. 9 Longitudinal changes in source composition of SPOM in Uji River (upper: drought water flow, middle: average water flow, down: high water flow).

平水時はst2からst5までは水生植物と河原植物の割合が多く、最下流のst6ではとくに粒径4mm以上の河原植生の割合が多くなっていたものの、st2から14km流下する間に起源組成割合はほとんど変化しなかった。

豊水時はst2からst5まで水生植物の割合が多く、ヤナギモ (*Potamogeton oxyphyllus*) やエビモ (*Potamogeton crispus*) などの大型のものが目立った。st2より下流では、湧水時や平水時と比べて陸生植物や河原植物の割合が多く、また起源組成はst2とst3ではほとんど変化していなかったが、それより下流のst4では陸生植物や河原植物の割合が多

く、st5では再び水生植物の割合が多くなり、st6では河原植物だけでなく、ツルヨシなど水際植物の割合が多くなっており、起源組成の構成割合の入れ替わりが頻繁にみられた。

以上のように、宇治川では湧水時と平水時では放流口より下流では起源組成割合の変化はあまり見られず、豊水時は各サイト間で起源組成が入れ替わっていた。

(2) 木津川

木津川の3流量時におけるCPOMの粒径別起源組成割合を調べると、Fig.10のようであった。

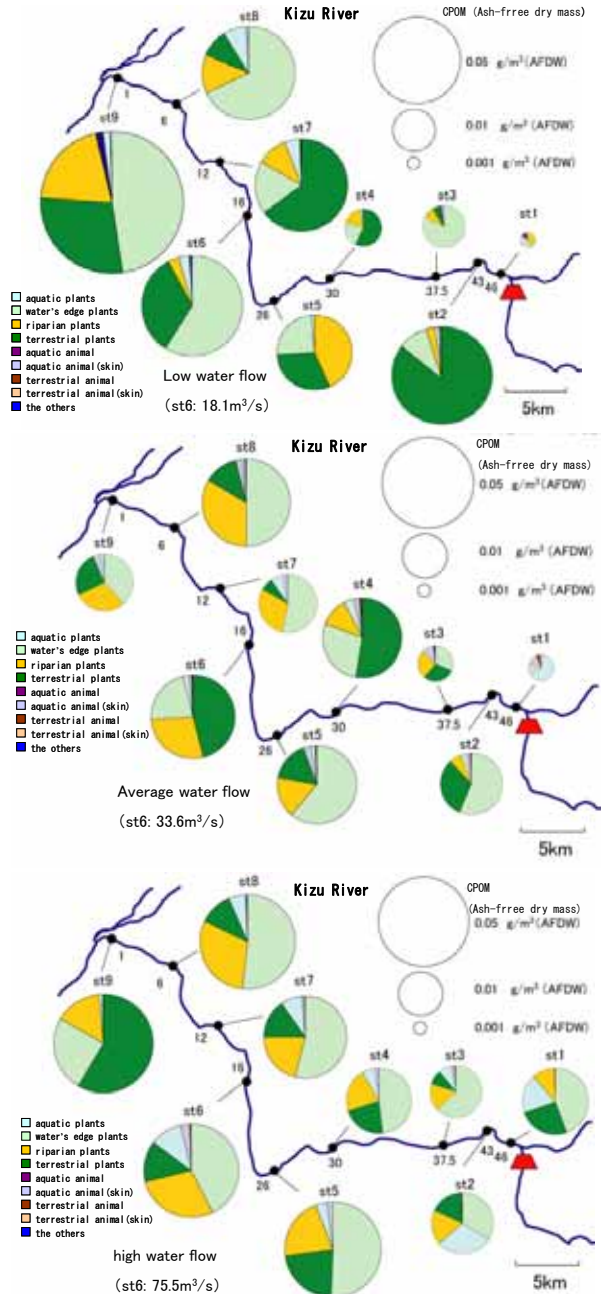


Fig. 10 Longitudinal changes in source composition of SPOM in Kizu River (upper: drought water flow, middle: average water flow, down: high water flow).

低水時は、st2とst3では水際植物のツルヨシ (*Phragmites japonica*) の割合が多かったが、st4とst5で4mm以上のタケヤヒノキ、サクラの葉などの陸生植物とイヌコリヤナギ

(*Salix integra*), コゴメヤナギ (*Salix serissaefolia*)を含むヤナギ類 (*Salix* spp.) など河原植物の割合が多くなり, st6 では陸生植物に加えて再び水際植物のツルヨシの割合が多くなった。st7 ではヒノキなど陸生植物, 河原植生の草本の割合が多くなり, st8 と st9 ではツルヨシの割合が増加した。また, st2 でいったん減少した水生植物が st6 より下流で再び増加し, その構成は上流では糸状緑藻であったのに対し, 下流ではカナダモやウキクサが多かった。

平水時は, st2 と st3 でツルヨシの割合が多く, ダム湖由来の POM の影響はダム直下の数 km の間に失われ, st4 から st6 までの区間では陸生植物の割合が増加していた。st7 から st9 では水際植物や河原植生など現場生産物の割合が高まり, 陸生植物の割合が減少した。

豊水時は, st1 と st2 では水際植物とカナダモやホザキノフサモなど水生植物の割合が多く, さらに下流の 3 地点では水生植物の割合が減少し, 水際植物と陸生植物の割合が増加した。st6 から st8 では再び水生植物の割合が増加し, 上流部でみられたフサモやカナダモに加え st6, st7 の 1~4mm のものではウキクサが非常に多かった。また, 陸生植物の割合が減少し, とくに 4mm 以上の水際植物や 1~4mm の河原植物の割合が増加しており, 下流ほど現場生産物の割合が高まっていた。

以上のように, 木津川では低水時および平水時はダム湖由来の POM の影響はダム直下の数 km 間で失われ, st3 までの間では水際植物の影響割合が多く, 周辺の河岸が樹林植生で覆われる st5 までの間で陸生植物の割合が増加し, さらに砂州が発達している st6 より下流では水際・河原植生など現場生産物の割合が高まり, 陸生植物の割合が減少していることがわかった。

3.4 河床勾配と流下粒状有機物量の流程変化の関係

宇治川と木津川において, 1 km ごとの平均河床高データ (国土交通省淀川河川事務所, 2000 年 3 月測量) を用いて 1 km 区間の河床勾配を求めた。宇治川・木津川の各流量時における SPOM 各量の増減と河床勾配との関係を調べるために, 1 km 区間河床勾配を用いて調査地点上流の平均河床勾配と各調査地点における SPOM 流下量の増減との相関分析を行った。その際, どれくらいの距離内の河床勾配が SPOM 流下量に影響するのか範囲を知るために, 上流 1 km の河床勾配, 上流 2 km の平均河床勾配, 上流 3 km … と平均距離をのばしてとった河床勾配との相関を調べた。

(1) 宇治川

SPOM 各量と各平均距離の相関係数の変化は Fig.3.11 のようであった。なお, 平水時および豊水時の上流 5 km 以上の平均河床勾配との関係については, 平均河床勾配データを取れる地点が 3 地点以下であったため相関分析を行わなかった。その結果, 豊水時の 0.5~1mm 合計 4 km 以内の平均河床勾配($r = -0.96, n = 4$), 全粒合計と 3 km 以内の平均河床勾配

($r = -0.91, n = 5$)および FPOM 合計と 3 km 以内の平均河床勾配($r = -0.94, n = 5$)に負の相関がみられた($p < 0.05$, ピアソンの相関分析)。また, 渇水時と豊水時はどの粒径についても河床勾配に対する SPOM 量変化の反応はあまり変わらなかったのに対して, 平水時では CPOM と FPOM の粒径によってその反応が異なっていた。

つまり, 豊水時は上流 4 km の平均河床勾配が小さいことが 0.5~1mm の SPOM 流下量増加にはたらく, FPOM 合計に含まれる細かいものについては上流 3 km の平均河床勾配が小さいことが流下量増加にはたらくことがわかった。また, 渇水時や豊水時のように流量が極端な場合は, 河床勾配が SPOM 流下量に与える影響は SPOM 粒径によらないが, 平水時は粒径の大きい CPOM のほうが小さい FPOM に比べより上流の河床勾配による影響が大きい傾向があることがわかった。

(2) 木津川

宇治川の場合と同様に木津川の各流量時における SPOM 各量の増減と平均河床勾配との関係を調べたところ, 低水時の 0.25-0.5mm($r = 0.77, n = 5$), 0.5-1mm 合計($r = 0.87, n = 5$)と FPOM 合計($r = 0.84, n = 5$)について上流 10 km 内の平均河床勾配に正の相関がみられた($p < 0.05$, ピアソンの相関分析)。平水時は 0.5-1mm($r = 0.83, n = 6$), 1-4mm($r = 0.84, n = 6$), 全粒合計($r = 0.82, n = 6$), FPOM($r = 0.77, n = 6$), CPOM($r = 0.82, n = 6$)と上流 4 km 内の平均河床勾配に正の相関がみられた。豊水時は 1-4mm 合計と上流 4 km 内($r = 0.87, n = 6$), 上流 5 km 内($r = 0.83, n = 6$), 上流 7 km 内($r = 0.93, n = 6$), 上流 8 km 内($r = 0.78, n = 6$)の平均河床勾配に正の相関がみられた($p < 0.05$, ピアソンの相関分析)。

このことから, 低水時では細粒分に対して 10 km 程度の範囲の河床勾配, 平水時はどの粒径についても上流 4 km 内の河床勾配, 豊水時は比較的粒径の大きいものについて 5 km 前後の範囲内での河床勾配の影響が大きいことがわかった。流下量への影響は, 近傍の局所的な河床勾配よりも上流 4 km 内程度の平均河床勾配のほうが大きく, 平均勾配が大きいほど流下量が増加することがわかった。

3.5 河道断面形状の変化

(1) 算出方法

SPOM の流下量変化から流量によって流下パターンや粒径構成が異なっていることや, CPOM の組成分析から宇治川が河床低下した河道形状であるのに対して, 木津川では砂州地形が発達していることが POM の捕捉率の差に結びついていると思われる。そこで, 各流量下での調査地点における流水断面積 A と潤辺 S の比である径深 R ($= A/S$) を求めた。径深が大きくなると摩擦が少なくなるので, SPOM が捕捉されにくくなると考えられる。

R の算出にあたり, 宇治川と木津川の 2002 年の横断測量データと国土交通省水文水質データベースの宇治川橋尾

山地点 (stA) および淀地点 (stB) と木津川飯岡地点(st6)の水位データを使用した。まず、宇治川は st4 より上流では横尾山地点, st4 より下流では淀地点, 木津川は飯岡地点の流量を基準とし, 各調査地点と基準点は流量一定, 流水断面積一定という条件のもと計算を進めることにした。データベースから調査日の基準地点の水位と横断測量実施日の基準地点の水位との差を求め,横断測量で実測された水面位置から調査日の基準点における水面位置を算定し, この水面位置と測量データから各流量時の基準点における流水断面積を計算した。各地点においてこの流水断面積をみたくような水面位置を決定し, 潤辺を算出した。この際, 副流路が考えられる場合は本川と水面位置が同じであると仮定し副流路をとった。

(2) 河道断面形状の比較

(1)で算出した1kmごとの径深の変化を Fig 11, Fig 12 に示す。

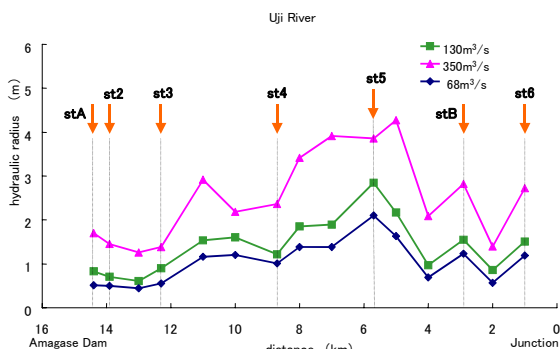


Fig. 11 Longitudinal changes of hydraulic radius in Uji River.

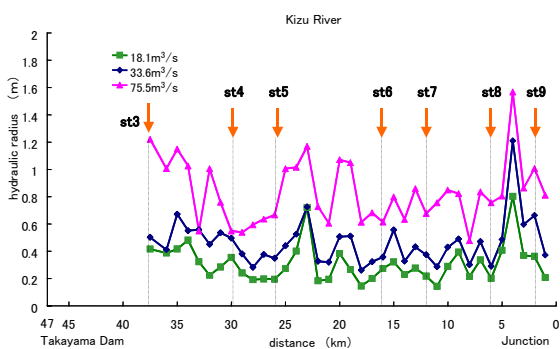


Fig. 12 Longitudinal changes of hydraulic radius in Kizu River.

宇治川における径深 R の値は, 渇水時は 0.45~2.09m, 平水時は 0.61~2.85 m, 豊水時は 1.25~4.27 m の値をとり, 渇水時と平水時は st5 (5.7km) で最大値をとり, 豊水時は 5km 地点で最大値をとった。流量が多いほど径深が大きく, 2~3km の間隔で極小値と極大値があらわれる変化パターンを示した。木津川における径深 R の値は低水時には 0.14~0.80 m, 平水時は 0.26~1.21 m, 豊水時は 0.48~1.57 m であり, 宇治川と同様に流量が多いほど R の値が大きくなる傾向がみられた。また, 流量に関わらず R の値の極大値と極小値が 3~4km 程度の間隔であらわれるという変化パターンを示し, その変動水位は宇治川に比べて小さかった。

さらに, 同程度の流量規模であった宇治川の渇水時と木津川の豊水時における R の値を比較すると, 宇治川の方が高い値をとっていた。木津川よりも宇治川の R の値が大ききことは, 宇治川で河床低下がおきていることを示している。

以上の河川断面形状比較の結果から, 宇治川よりも木津川のほうが SPOM を捕捉しやすく, また渇水時のほうが平水時や豊水時よりも SPOM を捕捉しやすいことが予想された。

3.6 河道断面形状と流下粒状有機物量の流程変化の関係

3.5の流量による径深の変化から, 河川断面形状が SPOM 捕捉率に影響していることが考えられた。そこで, 3.4で行った分析と同様に宇治川・木津川の各流量時における SPOM 各量の増減と河道断面形状の関係を調べた。

(1) 宇治川

宇治川の各流量時における SPOM 各量の増減と調査地点から上流 6km までの平均径深との関係を調べた。なお, 平水時および豊水時の上流 4km 以上の平均河床勾配との関係については, 平均河床勾配データを取れる地点が 3 地点以下であったため相関分析を行わなかった。その結果, 渇水時の 4mm 以上合計と上流 4km の径深の平均値($r=0.94$, $n=4$)および上流 5km の径深の平均値($r=0.86$, $n=4$)に正の相関が見られた。つまり, 4~5km 上流に深い場所があれば, 4mm 以上の粒径の大きい SPOM の流下量増加にはたらくことがわかった。平水時と豊水時については有意な相関関係が認められず, サンプル採取を行った調査地点の設置場所の問題で分析が十分にできなかった。そのため, 今回の結果からは関係を明らかにできなかった。

(2) 木津川

木津川の各流量時における SPOM 各量の増減と径深との関係を調べた。低水時の 4mm 以上合計と 8km 上流の径深($r=0.98$, $n=5$), 4mm 以上合計と 9km 上流の径深($r=0.99$, $n=5$), CPOM 合計と 8km 上流の径深($r=0.96$, $n=5$)および CPOM 合計と 9km 上流の径深($r=0.99$, $n=5$)と正の相関がみられ, 0.125-0.25mm 合計は上流 2km 以内の径深($r=-0.83$, $n=6$)と負の相関がみられた(ピアソンの相関分析, $p<0.05$)。平水時では, 4mm 以上合計と 8km の径深($r=-0.82$, $n=5$)と負の相関がみられた(ピアソンの相関分析, $p<0.05$)。豊水時は, どの粒径分画についても有意な相関はみられなかった。

つまり, 低水時には上流 2km 以内の平均径深が小さいことが, FPOM のなかでも特に 0.125-0.25mm 分画の流下量増加に有意にはたらくことがわかった。これは, 水深が浅い場所に FPOM が堆積しやすいこと, または水深が深い場所から FPOM が供給されることを示している。また 4mm 以上の合計および CPOM との相関関係は, 8km 以上上流の水深が浅いことが落ち葉や木本など粒径の大きなものの流下量増加にはたらくことを示しているが, これについては

偶然の可能性もあり、他の分析とあわせて検討する必要がある。

低水時と豊水時は、粒径の違いによって上流の径深に対する反応の違いが大きいのにに対し、平水時はどの粒径についても比較的共通の挙動を示した。濁水時はとくに CPOM と FPOM の間で大きな差があり、豊水時は粒径 4mm 以上のものと他の粒径との間に差がみられた。粒径別 SPOM 流下量の変化 (Fig. 8) も流量にかかわらず、粒径 4mm 以上の SPOM とその他の粒径の SPOM では流下パターンが異なっていた。これは、落ち葉など大きな有機物と細かい有機物の捕捉率に対する地形の影響が大きく異なることを示している。しかし、平水時に径深と SPOM 流下量の関係がいずれの粒径についても似通った反応を示したことについては、今回の分析では明らかにできなかった。

3.7 河道周辺植生と流下粒状有機物量の流程変化の関係

(1) 木津川の河道環境

木津川の CPOM の起源組成は河原の植被率と対応して変化していると考えられた。そこで、航空写真を利用して、三川合流 (0km) から 35km 地点まで 0.5km ごとの横断面の河原景観について岩盤、木本植生、草本植生、裸地河原、河道が占める割合を求めた (Fig. 13)。

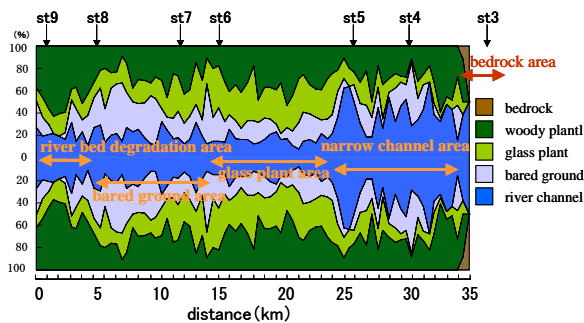


Fig. 13 Longitudinal changes in landscape compositions within levees in the lower reaches of Kizu River.

木津川の河道景観は、上流のダム直下から st3 下流の 35km 地点までは岩盤卓越流程であり、st3~st5 付近までは河道幅が平水時で約 50~70m 程度の狭窄部流程であり、周辺に木本植生が発達している。さらにこれより下流の st6 付近までが草本卓越流程、st8 までが裸地砂州が発達した裸地卓越流程、さらに下流が河床低下流程であるという特徴がある。

(2) 木津川の河道周辺植生変化と流下粒状有機物量の流程変化の関係

(1)で求めた木津川の河道景観割合のうち木本植生、草本植生、裸地河原の景観割合を用いて、調査地点上流の河原景観が SPOM 流下量に与える影響範囲を調べた。手法は 3.4 および 3.6 で行った分析と同様に、各調査地点における SPOM 量、起源別 CPOM 量の増減と各区間における景観割合平均値との相関分析を行った。景観割合については、各

調査地点から上流側に距離を 0.5km ずつ延ばしてとった最大 7km までの区間についてそれぞれ平均値を求めた。

木津川の低水時における SPOM 各量の増減と周辺景観 (木本、草本、裸地) との関係調べたところ、Fig.14 のようであった。

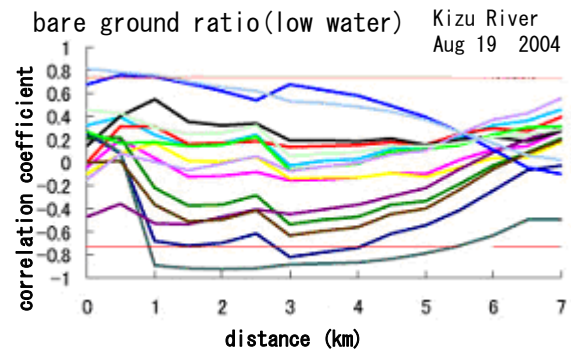
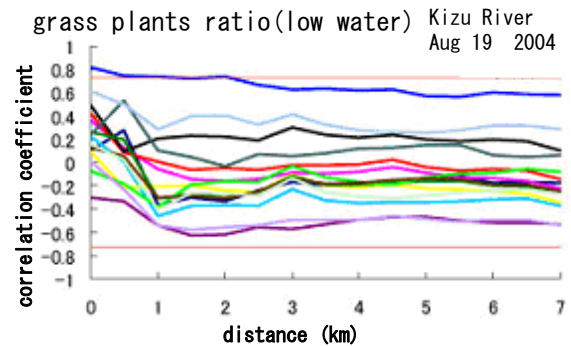
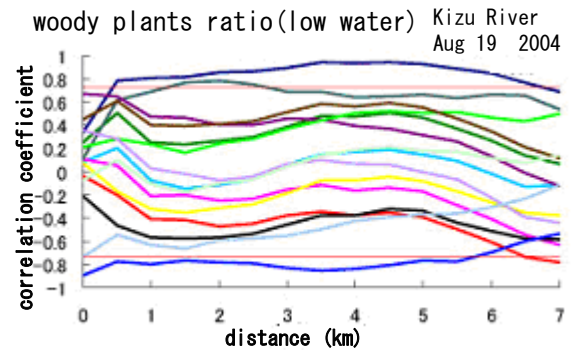


Fig.14 Relation between longitudinal changes of riverine vegetation and SPOM concentration at drought water flow in Kizu River. Pearson's correlation analysis (n=7(0~0.5km), n=6(1~7km)). Red line shows significant point of correlation coefficient (p=0.05).

0.5~6.5km の木本割合と粒径 4mm 以上合計, 1.5~2.5km の木本割合と 4mm 以上の陸生植物, 1~4mm の水生植物と 0~1km の裸地割合, 4mm 以上の水生植物と 0~1km の裸地割合, 4mm 以上の水生植物と 0~2km の草本割合に正の相関がみられた。また, 0.25~0.5mm の合計と 6.5~7km の木本割合, 4mm 以上の水生植物と 0~5.5km の木本割合, 1~4mm の水生植物と現場の木本割合, 4mm 以上の合計と 3~4km の裸地割合, 4mm 以上の陸生植物と 1~5km の裸地割合に負の相関がみられた。つまり, 0.25~0.5mm の SPOM は 6.5km 以上上流の木本割合が低い場所で流量が増加し, 0.5~6.5km 上流の木本割合が高い場所で 4mm 以上の SPOM の流量が増加することがわかった。また, 4mm 以上の粒径の大きい陸生植物は 2km 前後上流の木本割合が高く裸地割合が低いところで流量が増加し, 水生植物は上流 2km 以内の裸地率や草本率が 5.5km 以内の木本割合が低い場所では流量が増加することがわかった。

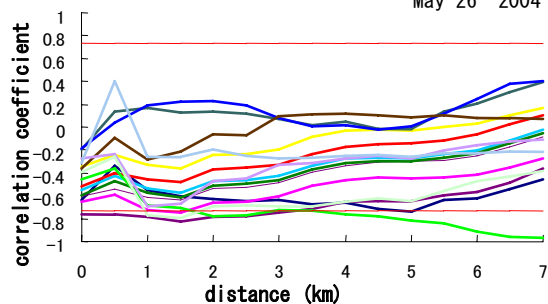
つぎに平水時の SPOM 各量の増減と周辺植生割合との関係を調べたところ, Fig. 15 のようであった。

豊水時の SPOM 各量の増減と周辺植生割合との関係を調べたところ, Fig. 16 のようであった。粒径 4mm 以上の陸生植物と 0~6km の木本割合, 4mm 以上の水中植物と現場の裸地割合および上流 0.5km の草本割合に正の相関がみられた。また, 1~4mm の合計と上流 1.5km の木本割合, 4mm 以上合計と 1km 以上上流の草本割合, 4mm 以上の河原植物と上流 1km 以上の木本割合, 4mm 以上の水際植物と上流 0.5km 以上の木本割合に負の相関がみられた。つまり, 1~4mm の SPOM は 1.5km 上流の木本割合が低い場所で, 4mm 以上の SPOM は 1km 以上上流の草本割合が低い場所で流量が増加することがわかった。また, 4mm 以上の粒径の大きい河原植物は 1km 以上上流, 4mm 以上の水際植物は 0.5km 以上上流の木本割合が低い場所で流量が増加し, 4mm 以上の水中植物は現場の裸地割合と 0.5km 上流の草本割合が高い場所で流量が増加し, 4mm 以上の陸生植物は上流 6km 以内の木本割合が高い場所で流量が増加することがわかった。

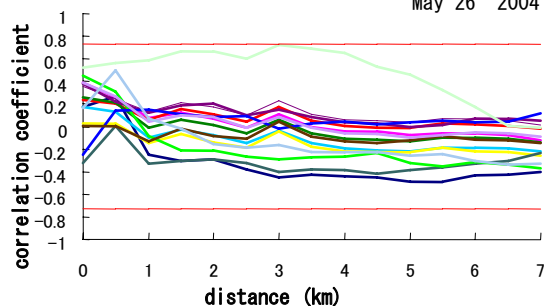
以上より粒径が 1mm 以下のものについては, 上流の木本割合が低い場所ほど流量が増加し, 水位が上がるほど粒径が大きいものまで流量が増加した。

起源別 CPOM 量については, 水中植物は低水時と豊水時に 2km 以内の現場に近い範囲の裸地割合や草本割合が高く木本割合が低い場所で, 平水時は現場より 6.5km 以上離れたところの裸地割合が高い場所で流量が増加していた。高い草本割合や裸地割合は河川下流域の特徴であり, 木津川の下流域では支川流入が多い。とくに粒径 4mm 以上の水中植物はカナダモやホザキノフサモなどの大型の水生植物が多く, これらは周辺の水田などからの流入しているものだと考えられ, この影響で水中植物と裸地割合や草本割合との相関が高くなることを示している。

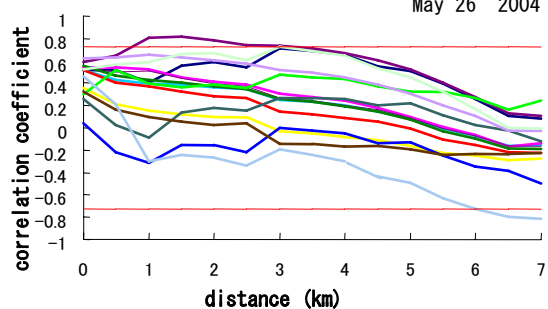
woody plants ratio(ave water) Kizu River May 26 2004



grass plants ratio(ave water) Kizu River May 26 2004



bare ground ratio(ave water) Kizu River May 26 2004



- 4mm
- 1mm
- 0.5mm
- 0.25mm
- 0.125mm
- 0.025mm
- total
- 4mmterrestrial plant
- 4mmriparian plant
- 4mmwater's edge plant
- 4mmaquatic plant
- 1mmterrestrial plant
- 1mmriparian plant
- 1mmwater's edge plant
- 1mmaquatic plant

Fig.15 Relation between longitudinal changes of riverine vegetation and SPOM concentration at average water flow in Kizu River. Pearson's correlation analysis ($n=7(0\sim0.5\text{km})$, $n=6(1\sim7\text{km})$). Red line shows significant point of correlation coefficient ($p=0.05$).

水際植物および河原植物は, 4mm 以上の粗粒分が平水時は 3km 以内の木本割合が低い場所で, 豊水時は 0.5km 以上上流の木本割合が低い場所で流量が増加していた。つま

り、上流に裸地や草本植生が多いほど流下量が増加し、水位が上がるほどその傾向が顕著になるといえる。

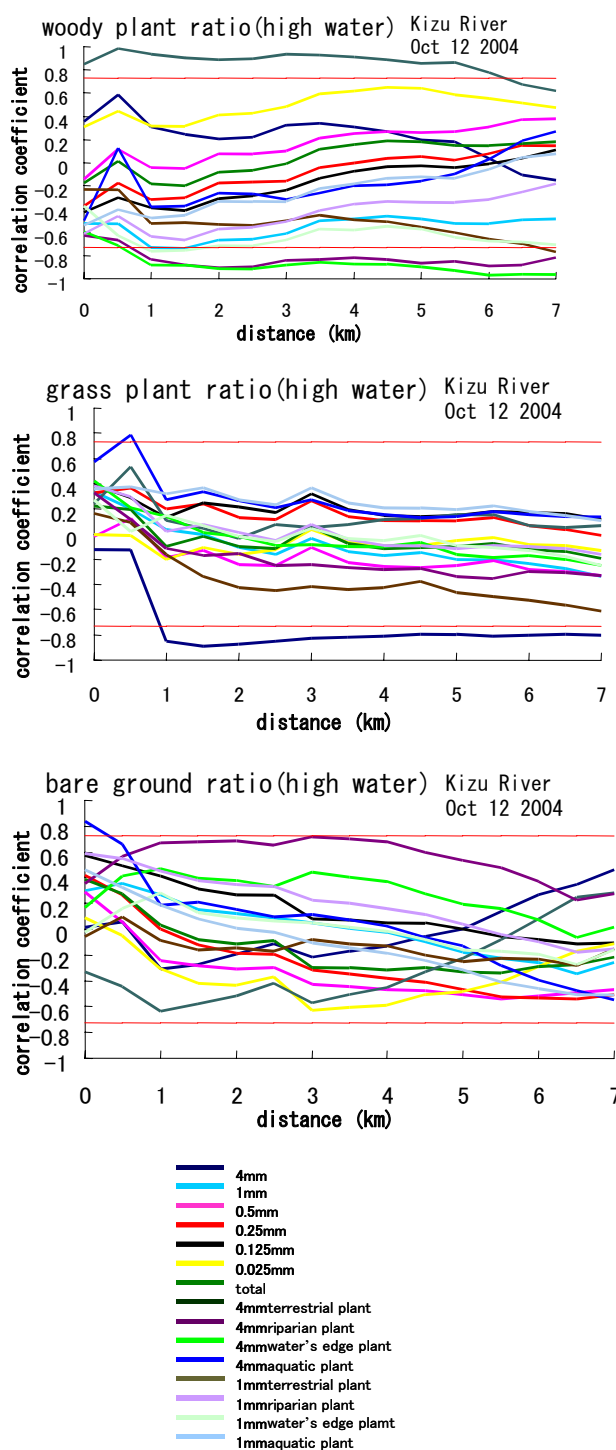


Fig.16 Relation between longitudinal changes of riverine vegetation and SPOM concentration at high water flow in Kizu River. Peason's correlation analysis ($n=7(0\sim0.5\text{km})$, $n=6(1\sim7\text{km})$). Red line shows significance point of correlation coefficient ($p=0.05$).

陸生植物は、4mm 以上のものが渇水時は上流 1.5~2.5km 内の木本割合が高く裸地割合が低い場所で、豊水時は上流 6km 以内の木本割合が高い場所で流下量が増加していた。

陸生植物が卓越している場所の近傍では粒径の大きい陸生植物の流下量が多く、また流量が増加するとより流下距離が長くなることはいえる。

4. 考察

4.1 流下粒状有機物量の変化

SPOM 流下量の変化を調べると、宇治川では必ずしも下流ほど流下量が増加するとは限らなかった。木津川では下流になるにしたがって流下量が増加する傾向を示し、その傾向は、低水時、平水時、増水時に共通して認められた。宇治川・木津川におけるこの変化パターンの違いを以下で考察する。

(1) 支川流入の影響

宇治川調査区間の流量に関して、渇水時は st6 での流量 $68\text{m}^3/\text{s}$ に対し、天ヶ瀬ダム (16km 地点) 放流が約 $15\text{m}^3/\text{s}$ 、宇治川発電所放流口 (14.5km 地点) からの放流が約 $50\text{m}^3/\text{s}$ 、平水時は st6 流量 $130\text{m}^3/\text{s}$ に対し天ヶ瀬ダム放流が約 $50\text{m}^3/\text{s}$ 、宇治川発電所放流口からの放流が約 $80\text{m}^3/\text{s}$ 、また豊水時の st6 流量 $350\text{m}^3/\text{s}$ に対し、天ヶ瀬ダム放流が約 $270\text{m}^3/\text{s}$ 、宇治川発電所放流口からの放流が約 $80\text{m}^3/\text{s}$ であった。宇治川には戦川 (12.8km 地点)、山科川 (8.6km 地点)、東高瀬川 (6.2km 地点) などの支川流入や伏見浄水場の取水が行われているものの、河川流量は天ヶ瀬ダムによる放流および天宇治川発電所放流口からの放水によって規定されており、支川流入や取水の影響は小さいと考えられる。

木津川における調査区間の支川流入量に関しては、白砂川 (37km 地点) の年平均流量が $2.54\text{m}^3/\text{s}$ 、低水流量が $0.92\text{m}^3/\text{s}$ 、和東川 (31.4km 地点) の年平均流量が $2.26\text{m}^3/\text{s}$ 、低水流量が $0.82\text{m}^3/\text{s}$ で流入河川の中では比較的流量が多いが、その他の流入河川は年平均流量が $0.05\sim0.2\text{m}^3/\text{s}$ 、低水流量が $0.01\sim0.1\text{m}^3/\text{s}$ であり、st6 (16km 地点) での流量が低水時 $18.1\text{m}^3/\text{s}$ 、平水時 $33.6\text{m}^3/\text{s}$ 、豊水時 $77.5\text{m}^3/\text{s}$ であったことから支川流入による SPOM 濃度の希釈効果の影響は小さいと考えられる。

(2) 流入負荷の影響

宇治川についてはユニチカ宇治工場 (13.4km 地点) による排水や山科川 (8.6km 地点) を経て流入する石田下水処理場や伏見下水処理場 (5.2km 地点)、洛南浄化センター (1.2km 地点) からの排水がある。渇水時の SPOM は、平水時や渇水時と比較すると流程のどの地点においても CPOM の割合が非常に少ない。また、渇水時の SPOM 流下量の変化は平水時と比較すると各地点での変動が激しく、負荷流入のある区間で流下量が増加し、負荷流入のない区間では SPOM 流下量が減少する傾向がみられることから、河川流量が少ないために流入負荷の有無が SPOM 流下量の増減に影響を与えているのではないかと考えられる。

4.2 流下粒状有機物組成の流程変化

(1) 宇治川

CPOM の起源組成は、渇水時の CPOM 合計の水生植物割合は stA から st6 まで 13.4km 流下する間、常に 39%以上の高い割合を維持していた。また、平水時は st2 から st6 まで 12.9km 流下する間常に 37%以上、st2 から st5 までの 8.2km 間であれば 62~80%でとくに高い割合を示していた。渇水時も st2 から st6 まで 12.9km 流下する間常に 37%以上の高い割合を示しており、流量に関わらず水生植物の割合が大きかった。これは天ヶ瀬ダムより上流で取水した発電用水に含まれる琵琶湖由来の水生植物が放流口から流入するので、この影響が大きいと考えられる。

以上から、宇治川における CPOM の流下距離は河川流量変化によってあまり影響されず、調査区間内での CPOM 起源組成割合がほとんど変化しないと考えられる。

(2) 木津川

木津川では、ダム直下 st1 では糸状藻などの水生植物や水生動物の脱皮・羽化殻が多く、ダム湖由来の POM の特徴が見られた。つまり、流量に関わらずダム湖由来の有機物の影響は st1 から st2 までの 3km 以内の間に消失し、st2 から st3 までの 5.5km の間に水際植物の割合が増加することがわかった。周辺に陸生植物の割合が多くなるさらに下流の st5 までの 11.5km 間で陸生植物の割合が多くなり、砂州に草本植生が卓越している st7 までの 14km 間で河原植生の割合が増加し、さらに下流になると陸生植物の割合が減少、河原植生や水際植生の割合が多くなった。これは上流部の河岸が樹林植生に覆われた狭窄部流程である st3 (37.5km)、st4 (30km)、st5 (26km) の地形特性が関係していると考えられる。つまり、周辺の植被率と対応して CPOM の起源組成が変化していると考えられる。

また、流量変化と CPOM 組成変化との対応は、低水時や平水時は 1~2 サイト (約 7.5~10km) 程度の間隔で組成割合が変化していたが、豊水時は 2~3 サイト (約 10~15km) 程度の間隔で組成割合が変化していた。つまり豊水時は、起源組成の入れ替わりが他の 2 流量時と比較して長い区間内で起こっていると考えられる。

4.3 宇治川と木津川の流下粒状有機物の動態比較

(1) 粗粒状有機物の流下距離

宇治川では、調査区間内での CPOM 起源組成割合がほとんど変化しなかったことから、その流下距離は少なくとも 12.9~13.4km 以上であることが推測される。木津川では、CPOM 組成割合は周辺の植生変化と対応するように変化しており、その変化サイクルは低水時・平水時は 10km 前後で流量が増加すると変化サイクルが長くなっていったことから、流下距離は低水時と平水時では 10km 以内、豊水時は 10~15km 以内であると推測される。

(2) 流下粒状有機物の動態比較

SPOM の動態について(1)で考察した CPOM の流下距離をもとに宇治川と木津川の比較を行う。宇治川では CPOM の流下距離は流量に関わらず 12.9~13.4km 以上であり流量によってあまり変化しなかったのに対し、木津川では CPOM の流下距離は低水時と平水時は 10km 以内、豊水時は 10~15km 以内と、流量によって変化することが示唆された。

また、宇治川の渇水時 (流量 68m³/s) と木津川の豊水時 (流量 75.5m³/s) の同程度の流量条件下で SPOM の動態を比較すると、CPOM 流下距離は宇治川では 13.4 km 以上に対し木津川では 10~15km 以内で、木津川よりも宇治川の方が長く、木津川のほうが短距離サイクルで物質循環が行われていることが示唆された。

4.4 流下粒状有機物の動態におよぼす流況と河床地形の影響

SPOM の動態研究についてはこれまでに、山地溪流を中心に行われてきたものが多い。たとえば、CPOM の流下距離について Johnson & Covich (1997) によると、アメリカの山地溪流では、平均流量約 2m³/s、川幅約 7m 程度、勾配 0.009~0.01 の Little Washita River において落葉などの CPOM の流下距離は 500~1000m 程度で、流下距離は河床勾配に依存していることが報告されている。また Brookshire & Dwire (2003) によれば、勾配 0.018 の草地流程で流量 1.98m³/s、川幅 7m のとき 74.6m、勾配 0.032 の森林流程で流量 0.32 m³/s、川幅 1.5m のとき 21.7m で、河川の単位幅流量に依存しており流量が多いほどその流下距離は長くなる。また、森林流程と草地流程では草地流程のほうが流下距離が長いという。

また、FPOM の流下距離については、アメリカの山地溪流において流量が 0.304m³/s、水位が 0.23m、勾配が 0.051 の河川で 637m、流量 0.225m³/s、水位 0.31m、勾配 0.018 の河川で 616m、との報告があり (Georgian et al., 2003)、河川流量や水位、勾配などの条件によって流下距離はさまざまである。また、天竜川における諏訪湖から流出する藍藻 *Microcystis* の流下距離について報告がある (片上ほか, 2003)。*Microcystis* は細胞長 2.5~10 μm 程度、群体長 50~数 100 μm で FPOM に含まれる粒径である。これによれば、*Microcystis* は流量が 10~50m³/s のとき 16.5 km 流下する間に 87%、32 km 流下する間に 92%減少し、流量が 50~120 m³/s のとき 32km 下流で 37%減少しており、河川流量が増加すると *Microcystis* の流下距離が長くなるという。

以上の例で、SPOM の動態は河川の流量・川幅・単位幅流量・勾配・植生・河床材料など様々な環境によって影響を受けていることが予測される。本研究からも、宇治川と木津川の SPOM 動態には、4.3 で述べたような相違があることがわかった。このような SPOM の動態はどのような条件によって規定されるのか、本研究の結果と以上の事例か

ら考えてみる。

(1) 河川流量の影響

まず河川流量の影響について、宇治川では河川流量は SPOM の動態にはほとんど影響を与えなかったのに対し、木津川では流量が増加すると SPOM の流下距離が長くなる傾向があった。また、山地溪流の研究では河川流量や単位幅流量など流量が増加すると POM の流下距離が長く、宇治川のように上流部の多くがコンクリート護岸で固定されている河川である天竜川の結果からも河川流量が増加すると POM の流下距離が長くなると思われる。

以上から一般的には河川流量が増加すると POM の流下距離が長くなる傾向があると考えられるが、宇治川のように流量によって POM の流下距離があまり変化しない流れもあることがいえる。

(2) 河床勾配の影響

河床勾配の影響に関して、同条件下で比較するために流路が固定されている宇治川のプランクトンと天竜川の *Microcystis* の流下距離を比較する。同程度の流量条件である宇治川渇水時および平水時と天竜川の 50~120m³/s 時を比較すると、宇治川におけるプランクトン 50%減耗距離が 10km 程度であるのに対し、天竜川では 32km の間に *Microcystis* が 37%減少していたことから、天竜川における 50%減耗距離は 32km 以上であると考えられ、天竜川における流下距離のほうが長かった。ここで、天竜川における平均河床勾配は約 1/278 で宇治川の 1/1151 比べて非常に急勾配である。つまり、河床が急勾配であるほど POM は流下しやすく、流下距離が長くなる可能性が考えられる。

(3) 河床地形の影響

河床地形の影響について流路が固定された宇治川と、砂州地形の発達した木津川において同程度の流量時の CPOM 流下距離を比較すると、宇治川の渇水時では少なくとも 13.9km 以上であったのに対し、木津川では豊水時でも 3~10km 以内であった。平均河床勾配が同程度である木津川と宇治川では木津川の方が宇治川よりも流下距離が短かったことから、木津川のほうが SPOM を捕捉しやすいと考えられる。つまり、流路が固定された砂州がほとんどみられない宇治川のような流れよりも、砂州が発達した木津川のほうが POM を補足しやすい河床地形であると考えられる。

(4) 砂州植生の影響

砂州植生の影響を考察すると、木津川における 4mm 以上の陸生植物の流下量変化と植生環境の関係から、渇水時には上流 2.5km 以内の木本植生、豊水時は上流 6km 以内の木本植生の影響が一番強いことがわかった。また、平水時の水際植物および河原植物は上流 3km 以内の裸地河原、草本植生の影響が強かった。これらの結果から木津川における CPOM のとくに粒径が 4mm 以上の大きいものに関する流下距離は、渇水時 2.5km (流量 18.1 m³/s)、平水時 3km (流

量 33.6 m³/s)、豊水時 6km (流量 75.5 m³/s) 程度であると推測され、流量が増加するほど CPOM 流下距離は長くなると思われる。よって、POM の流下距離に砂州植生が影響していることが示唆され、少なくとも CPOM の分布には 2.5~6km の比較的近傍の植生が反映されていると考えられる。

(5) 他河川との比較

CPOM の流下距離は単位幅流量に比例すると仮定し草地流程における値をもとに、木津川における CPOM 流下距離を試算することを考えた。その際、河道断面形状計算結果を利用すると、低水時における川幅は 50~70m 程度、平水時は 50~100m 程度、豊水時は 110~130m 程度であったので、低水時の単位幅流量は 0.259~0.362m²/s、平水時は 0.336~0.672 m²/s、豊水時は 0.596~0.686 m²/s である。単位幅流量 0.283 m²/s、流下距離 74.6m を用いると、木津川における CPOM の流下距離は低水時 68.2~95.5m、平水時 88.6~177.3m、豊水時 157.3~181.0m 程度だと計算できる。ここで、河床勾配が緩いほうが流下距離が短くなるということ を考慮すると、木津川の河床勾配は 0.0009~0.001 であるので、草地流程の勾配 0.018 に比べかなり緩いため、この値はかなり過大評価であると考えられる。また、勾配 0.01 の Washita River における CPOM の流下距離が 1000m 程度であるので、勾配が緩い木津川では、CPOM の流下距離はそれよりも短いと考えられる。しかし、この試算の基にした値は山地溪流のものであり、今回調査を行った木津川とはセグメントが異なるので、木津川下流域における実際の CPOM 流下距離はこれよりも長いと考えられる。

5. おわりに

以上から、SPOM の動態には流況、河床勾配、河床地形、砂州植生が影響していることがわかった。また、宇治川では発電所放流口からの流入水による影響が支配的であり、木津川については砂州の存在および砂州植生が SPOM の動態に大きく影響していることが示唆された。

最後に、SPOM の動態に影響を及ぼす要因の考察に関する課題を述べる。本研究の分析結果では、木津川の CPOM 流下量増減については河床勾配や河川断面形状(径深)よりも河道景観について相関関係が有意であるものが多かった。これは、河道周辺の植生環境によって CPOM の流程分布が規定されることが考えられるが、いっぽうでは勾配や河川断面形状など地形が 3~4km 間隔で変動しているのに対し、植生環境は 10km 程度の範囲で特徴が変化していることによる差が現れた可能性もある。今回の調査では調査地点間の距離を 3~10km でとっており、調査地点間の間隔に比べ狭い範囲で地形が変化しているため、相関関係が検出できなかったことも考えられる。今後このような調査を行う場合は、これを考慮して地形変化の間隔よりも密な距離で調査地点を設置する必要があると考えられる。

参考文献

- 片上幸美・中山恵介・金昊燮・米塚佐世子・朴虎東 (2003), 移流拡散モデルを用いた天竜川の藍藻 *Microcystis* の動態解析, 陸水学雑誌, 64, pp. 121-131.
- Allan, J.D. (1995): *Stream Ecology, Structure and Function of Running Waters*, Chapman & Hall, 388pp.
- Brookshire, E.N.J. & Dwire, K.A. (2003): Controls on patterns of coarse organic particle retention in headwater streams, *The North American Benthological Society*, 22, pp. 17-34.
- Georgian, T., Newbold, J.D., Thomas, S.A., Monaghan M.T., Minshall, G.W. & Cushing, C.E. (2003): Comparison of corn pollen and natural fine particulate matter transport in streams: can pollen be as a seston surrogate?, *The North American Benthological Society*, 22, pp. 2-16.
- Johanson, S.L. & Covich, A.P. (1997): Scales of observation of riparian forests and distributions of suspended detritus in a prairie river, *Freshwater Biology*, 37, pp. 163-175.
- Tockner, K., Malard, F., Uehlinger, U. & Ward, J.V. (2002): Nutrients and organic matter in a glacial river-floodplain system (Val Roseg, Switzerland), *Limnol. Oceanogr.*, 47, pp. 266-277.
- Webster, J.R. & Patten, B.C. (1979): Effects of watershed perturbation on stream potassium and calcium dynamics. *Ecological Monographs*, 49, pp.51-72.
- Zah R. & Uehlinger U. (2001): Particulate organic matter inputs to a glacial stream ecosystem in the Swiss Alps, *Freshwater Biology*, 46, pp. 1597-1608.

Longitudinal changes of SPOM in relation to river channel geomorphology

Yasuhiro TAKEMON, Kana YAMAMOTO, Shuichi IKEBUCHI

Synopsis

Longitudinal changes in size and source composition of SPOM (Suspended Particulate Organic Matter) were investigated in Uji River below the Amagase Dam and in Kizu River below the Takayama Dam under three different flow conditions. In Uji River, SPOM concentration ranged from 0.25-0.81g/m³AFDW (average flow), 0.69-2.77g/m³AFDW (high flow) and 0.78-2.07g/m³AFDW (draught flow). Aquatic plants were major source of CPOM (Coarse POM) through 14km reaches. In contrast, in Kizu River, SPOM concentration increased in lower reaches, ranging from 0.04-0.22g/m³AFDW (average), 0.09-0.24g/m³AFDW (high) and 0.03-0.20g/m³ (draught). CPOM derived from reservoir disappeared in a short distance and percentage of terrestrial plants increased within 3-20km, and then riparian and sub-merged plants became major source in 20-45km downstream. The differences in the longitudinal patterns of SPOM composition between the rivers indicated that sandy bar structure functions as both a filter of drifting SPOM and a provider of new SPOM from the riparian vegetation to the channel in the river ecosystem.

Keywords: Suspended particulate organic matter, coarse particulate organic matter, river ecosystem, sand bar, vegetation