

流下粒状有機物の起源と動態に関する研究

竹門康弘（京都大学防災研究所水資源研究センター）
 山本佳奈（京都大学工学部地球工学科土木工学コース）
 池淵周一（京都大学防災研究所水資源研究センター）

はじめに

河川の自浄作用などの生態系サービス機能を保全・利用する上で、自然河川における流況の変化による粒状有機物（POM：Particulate Organic Matter）の組成や挙動を知る必要がある。とくに河床勾配や砂州の発達程度はPOMや栄養塩の動態に大きく影響することが知られている（Tockner et al., 2002）。したがって、流程の河床地形条件とPOMの動態との関係が予測できるようになれば、河川生態系の物質循環機能を健全に保つための土砂管理方針の策定等に役立つと考えられる。

本研究では、木津川下流域（高山ダムから三川合流地点まで）の砂州を植生被度や地形によって分類し、各類型が推移する9地点において、渇水時や増水中など異なる流量条件下で流下有機物（SPOM：Suspended POM）量を採集し、その組成や起源を把握する。同様の調査を宇治川下流域（天ヶ瀬ダムから三川合流地点まで）の6地点でも実施し、両河川のSPOM流下動態を比較することを目的とする。また、流下距離とSPOM中に含まれる両ダム湖起源のプランクトン割合の低減率との関係を調べることによって、SPOMの流下距離を推定する。これらの結果から、木津川や宇治川におけるPOMの起源の違いや砂州地形がPOMの捕捉に果たす役割について明らかにする。

調査地と方法

木津川は河床材料の粒径が比較的小さく、とくに下流域では1km程度の大きさの砂州が発達している河川である。河床地形や河床材料によるSPOMの挙動の違いを調べるために、河床低下によって砂州が減少し岩盤や粘土層が露出している宇治川を比較対象に選んだ。木津川の河床勾配は20km地点より上流で1/926、下流で1/1160であり、宇治川の河床勾配は1/1151である。

木津川の調査地点は、高山ダム直下から三川合流地点までの47km区間に9地点、宇治川については天ヶ瀬ダム

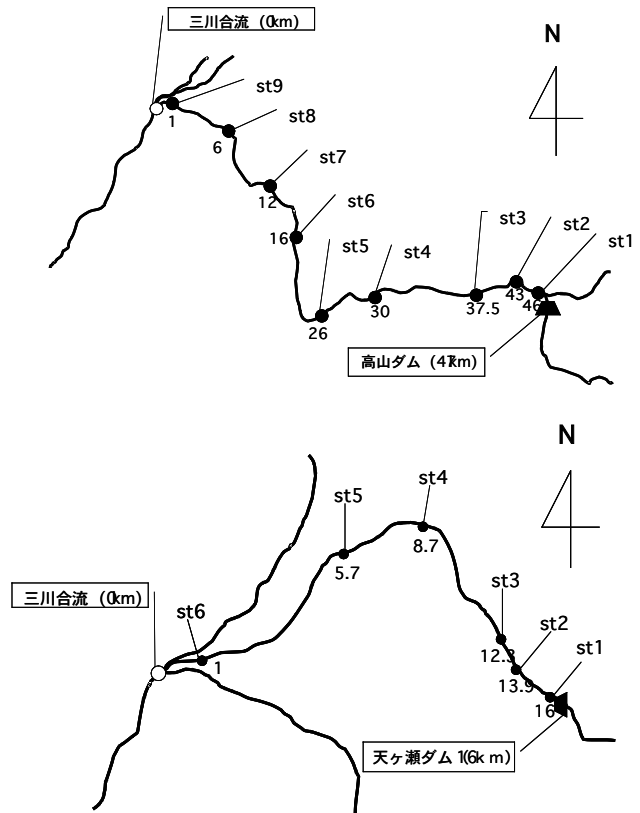


図1 調査地点（上：木津川；下：宇治川）配置図。各サイト下に記載した数値は三川合流点からの距離（km）を表す。

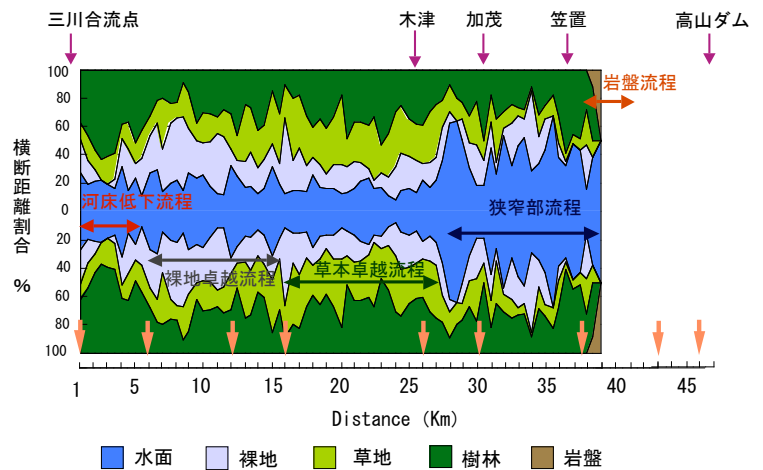


図2 調査区間の流程区分の方法。航空写真を用いて堤防間ないしは谷底の横断面上の景観割合を求めた。景観割合の流程変化様式に基づいてセグメントを分類し、その変化点に調査地を設けた。

直下から三川合流地点までの16km間に6地点設けた(図1)。これらの調査地点の選定に際しては、調査対象流域で2002年に撮影された航空写真を用いて、堤防間あるいは谷底の環境を景観的に水面、裸地、草原、樹林、岩盤に区別し、500mごとの横断線上で各景観の占める距離を計測した。図2には、木津川における、河道内景観割合の流程変化を示した。これらの割合が変化する地点を基にして、セグメント分類を行った。

木津川では、平水時の2004年5月26日(木津川st6流量: 約33.6m³/s, 高山ダム放流量26.0m³/s), 渇水時の2004年8月19日(木津川st6流量: 18.1m³/s, 高山ダム放流量14.0m³/s), 豊水時の2004年10月12日(木津川st6流量: 75.5m³/s, 58.7m³/s)に実施した(図3)。また、宇治川については、ダムの放流操作にあわせて平水時の2004年5月8日(宇治川st6流量: 約130m³/s)と豊水時の2004年5月11日(同流量: 約350m³/s)に調査を行った(図4)。さらに2005年3月の渇水時にも調査を計画中である。

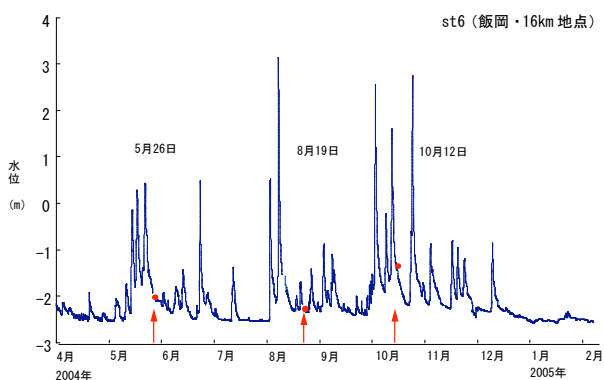


図3 木津川における調査日前後の河川水位状況。

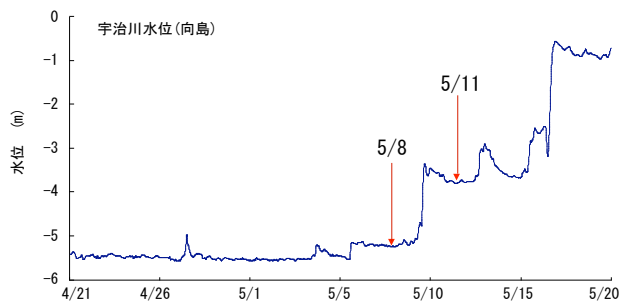


図4 宇治川における調査日前後の河川水位状況。

各調査地点での採集時刻については、両ダムから流出する懸濁物濃度の変化がありうることを考慮して、河川の流程に沿って同一水塊を追跡できるように設定した。このため、木津川では過去の水位データを用いて調査日

と同じ水位ピークをもつ流況データを抽出し、ピークの伝播速度から調査日における各調査地点間の流速を推定した。宇治川については、調査区間が短いので、約3cm厚さに輪切りした大根に目印をつけた浮標をst1で調査終了後に投入し、現場の流速に合わせて同水塊を採れるように採集のタイミングを決定した(表1, 表2)。

表1. 木津川流速(m/s)推定結果

	5月26日	8月19日	10月12日
st1-st4	2.08	1.85	2.08
st4-st6	1.17	0.86	1.45
st6-st8	1.04	0.98	1.25

表2. 宇治川流速(m/s)推定結果

	5月8日	5月11日
st1-st2	0.85	2.5
st2-st3	0.91	0.86
st3-st4	0.91	2.48
st4-st5	0.63	2.43
st5-st6	1.24	1.26

流下粒状有機物の採集には、流下POMネット(口径30cm:メッシュサイズ100μm)を用いた(図5)。流下POMネットのろ過時間は1回につき2分間とし、採取時にネット流入中央部の流速を測定し通過河川水量を求めた。流速の測定には電磁流速計(KENEK, VP-3000)を用いて1分間の平均値を2回測定記録した。



図5 流下POMネットによる粒状有機物の採集の様子。

採取したSPOMサンプルは、0.025~0.125mm, 0.125~0.25mm, 0.25~0.5mm, 0.5~1mm, 1~4mm, 4mm以上の6つのサイズ分画にわけ、1mm以上の粗粒分(CPOM:Coarse POM)については、植物(陸上植物・河原植物・水際植物・水中植物)と動物(陸上動物・水中動物・水中動物脱皮殻および羽化殻)に起源分類した(表3)。

表 3. 流下粒状有機物のサイズ分画別処理方法. 1mm 以上の分画については, 起源別に強熱減量を測定した.

サイズ分画	起源の種類						
	植物			動物			
4 mm 以上	水生	水際	河原	陸生	陸生	水生	水生(殻)
1 ~ 4 mm	水生	水際+河原		陸生	陸生	水生	水生(殻)
0.5 ~ 1mm	乾燥重量・強熱減量のみ測定						
0.25 ~ 0.5 mm	乾燥重量・強熱減量のみ測定						
0.125 ~ 0.25 mm	1000粒につき湖沼性プランクトンの同定計数						

また, 0.125mm~0.25mm の細粒分 (FPOM: Fine POM) について, ダム湖から流出するプランクトンの個体数割合の変化を調べた. 最上流調査地点 st1 において, 木津川ではゾウミジンコ (*Bosmina longirostris*) (図 6 左), オオヒゲマワリ (*Volvox globator*) (図 6 右), 宇治川についてはゾウミジンコ, コシブトカメノコワムシ (*Keretella quadrata*), トゲナガワムシ (*Kellicottia longispina*) が多くみられたため, これらをダム湖由来のプランクトンの指標とし, ダム湖由来のプランクトン数, 河床起源の糸状藻類, 陸上起源の植物片等を合計で約 1000 粒になるまでランダムに計数した. また, SPOM 中のクロロフィル a 量をユネスコ法に準じて測定し, 藻類剥離量を調べた.

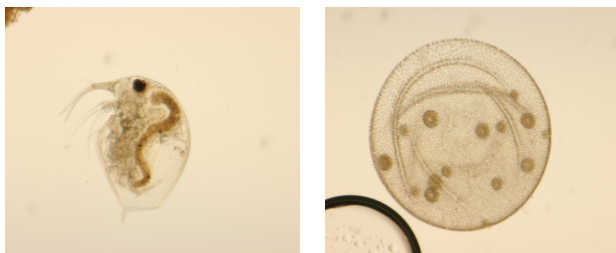


図 6. 木津川の高山ダム下流で採集されたプランクトン例. 左: ゾウミジンコ (*Bosmina longirostris*), 右: オオヒゲマワリ (*Volvox globator*)

結果および考察

(1) 粒状有機物の流程変化

木津川の各調査日における懸濁物質 (SS: Suspended Solid) の流程変化には, 調査日の流量と季節の違いに関わらず, 共通の特徴を示した (図 7). 現時点では, まだ

全サンプルの乾燥重量と強熱減量の計測が終了していないため, ここでは沈殿堆積の値を用いて示してある.

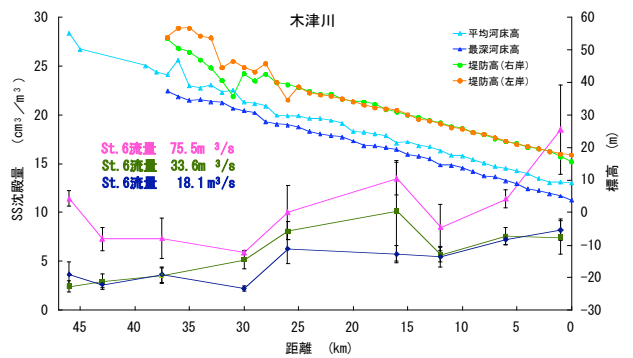


図 7. 木津川の 3 回の調査日における流下懸濁物質質量 (沈殿堆積) の流程変化.

高山ダム下流から 30km 地点までは, 流量によって減少傾向の場合と増加傾向の場合があったが, 30~26km の区間では流量に関わらず急激に増加した. いっぽう, 16~12km 区間では減少し, 12~1km で再び増加するパターンが認められた (図 7).

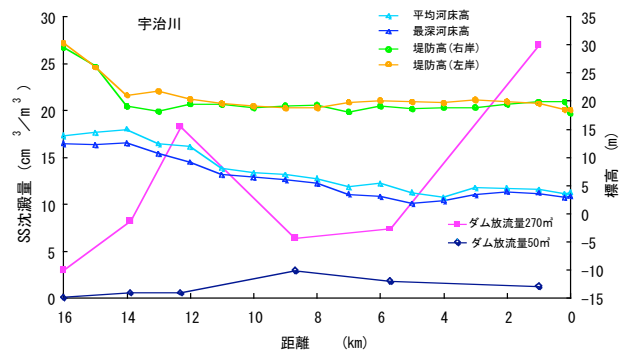


図 8. 宇治川の 2 回の調査日における流下懸濁物質質量 (沈殿堆積) の流程変化.

宇治川の 2 回の調査日における懸濁物質質量の流程変化は, 流量によって大きな違いがあった. すなわち, 約 130m³/s (st6 流量) の 5 月 8 日の懸濁物質質量は, 天ヶ瀬ダム直下から 12.3km 間には変化せず, 12.3~8.7km 間で急増し, 8.7~1.0km 間では減少していた. とところが, 約 350m³/s (st6 流量) の 5 月 11 日には, 天ヶ瀬ダム直下から 12.3km 地点の間に懸濁物質質量が急増し, 12.3~8.7km 間では大きく減少した. さらに, 8.7~1.0km 間では逆に増加していた. このように, 流量によって増減する場所が変化することがわかった.

(2) 粒状有機物組成の流程変化

木津川の平水時：2004年5月26日（st6 流量：約 33.6m³/s、高山ダム放流量 26.0m³/s）と宇治川の平水時：2004年5月8日（宇治川 st6 流量：約 130m³/s）ならびに豊水時：2004年5月11日（同流量：約 350m³/s）における CPOM 組成および各起源の組成割合を調べた。現時点では、すべての強熱減量の測定が終了していないため、ここでは乾燥重量を用いた値を示す。

木津川では、ダム直下の st1 ではカワゲラ目やユスリカ科など水生昆虫の脱皮・羽化殻、河原植生の根・茎・葉などの割合が多く、st2, st3 ではヤナギタデやツルヨシなどの水際植物、ヨモギやその他河原植物の根・茎・葉の割合が多くなった。st4 から st6 にかけて、スギやヒノキ、木本など陸生植物の割合が増加し、ノイバラの葉やイネ科植物の種子、その他草本類の河原植物も多く見られた。st7 から st9 にかけてツルヨシなどの水際植物、ヤナギやハリエンジュなどの河原植物の割合が大きくなった（図 9）。

これらの結果から、木津川の流下 CPOM は、ダム直下から流下するにしたがって水際・河原植物の影響が大きくなると考えられる。とくに 30km 地点から 16km 地点の間では斜面由来の陸上植物の移入が多くあるものの、それらは 16km 地点より下流までは流下せず、河原や水際植物の流下量が大きくなるのがわかった。すなわち、下流域では現場生産性の流下物の寄与が大きくなるという特徴があると考えられる。

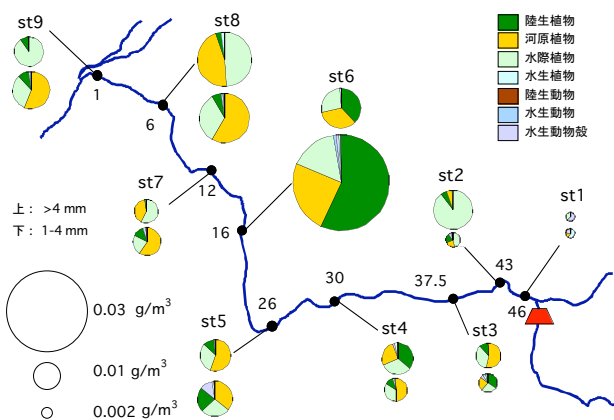


図 9. 平水時の木津川における流下 CPOM 組成の流程変化。2004年5月26日測定結果。上段の円グラフは粒径 4mm 以上、下段の円グラフは粒径 1-4mm の CPOM 量を表す。

いっぽう、宇治川の流下 CPOM 組成は木津川と大きく

異なっていた。しかも、2回の調査日間で、CPOM 組成の流程変化に大きな違いはみられず共通の特徴を示した。すなわち、全流程を通じて、水生動物や水生植物の割合が高い傾向があった。

とくに5月8日には、ダム直下の st1 で、ヨコエビやミズムシなど水生動物や水生動物の脱皮・羽化殻が多かった、また、st2 より下流の 5 地点ではいずれも水生植物の割合が多く、糸状藻だけでなくヤナギモやエビモなど水草の葉が見られた（図 10a）。

また、5月11日には、st1 では河原植物の根や、陸生植物のヒノキがみられたが、st2 より下流の 5 地点では5月8日と同様に水生植物の割合が多く、糸状藻やヤナギモ、エビモなどが見られた（図 10b）。木津川では 16km 地点から 1km 地点まで流下する間に CPOM の起源組成が大きく変化していたのに対し、宇治川では 16km 流下する間にその組成割合はほとんど変化しなかった。これは、st2 直上にある宇治発電所放流口からの流入水の影響によるもので、琵琶湖由来の水生植物が流入していると考えられる。

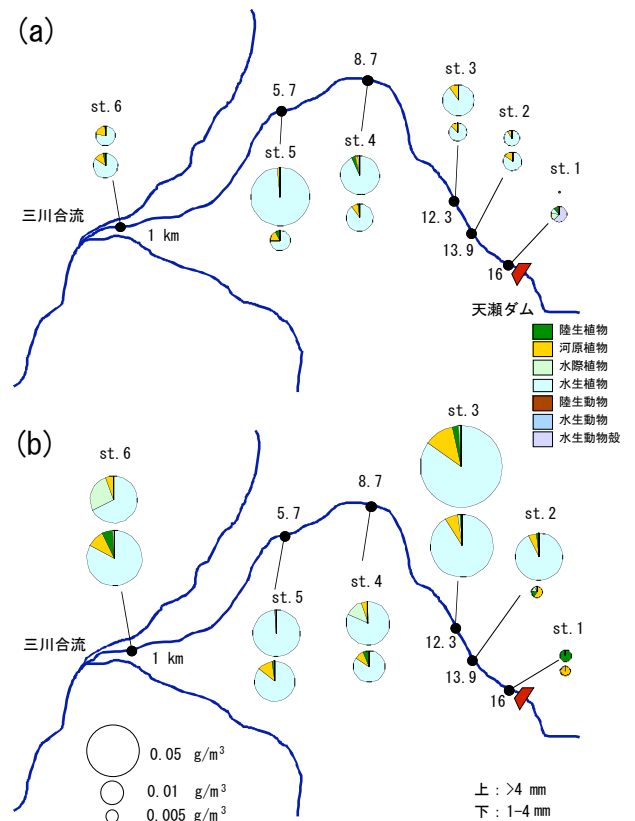


図 10. 宇治川における流下 CPOM 組成の流程変化。(a) : 5月8日（st6 流量約 130m³/s）測定結果、(b) : 5月11日（st6 流量約 350m³/s）測定結果。各図における上段の円グラフは粒径 4mm 以上、下段の円グラフは粒径 1-4mm の CPOM 量を表す。

また、SPOM 中のクロロフィル a 濃度は宇治川・木津川両河川において下流ほど濃度が増加する傾向があった (図 11)。このことは、下流ほど河床から剥離する藻類量が増加することを示しており、下流になるにしたがって増加する SPOM には、現場生産物の占める割合が大きくなっていることが考えられる。このような現象は、河川生態系において循環する有機物は上流や斜面由来のものよりも現地で生産されたものの率が高いとする「現場生産卓越説」(Thorp and DeLong, 1994) を支持していると解釈できる。

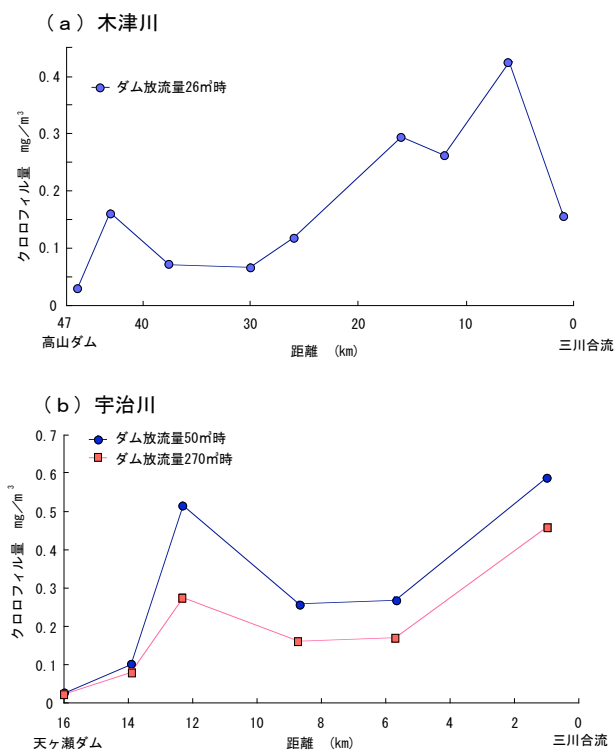


図 11. 木津川, 宇治川における流下粒状有機物中のクロロフィル a 量の流程変化. (a): 木津川 (2004 年 5 月 26 日測定), (b): 宇治川 (2004 年 5 月 8 日, 11 日測定).

(3) 粒状有機物の推定流下距離

ダム湖由来のプランクトンについて地点間で個体数割合の変化を調べたところ、流下に伴って指数関数的に減少する傾向を示した (図 12)。今回宇治川で行った 5 月 8 日と 11 日の調査結果は、両日もダム湖由来のプランクトン比率が st1 よりも st2 のほうが高かった。これは、st2 直上にある宇治発電所放流口からの流入水のプランクトン濃度が高かったためと考えられる。そこで、宇治川については st2 のダム湖由来のプランクトンの割合を 100%として個体数割合の変化を算出した。ダム湖由

来の成分が 50%減少するまでに、木津川では st6 での流量が $33.6 \text{ m}^3/\text{s}$ のとき 3.05km, 宇治川では st6 での流量が $130 \text{ m}^3/\text{s}$ のときは 9.79km, $350 \text{ m}^3/\text{s}$ のときは 7.86km であった。また、90%減少するには木津川では 10.13km, 宇治川では流量 $130 \text{ m}^3/\text{s}$ のとき 32.52km, $350 \text{ m}^3/\text{s}$ のときは 26.11km と推定された。

砂州が発達している木津川ではダム湖由来の成分は短距離で減少し、岩盤が卓越している宇治川では減少しにくいことがわかった。木津川と宇治川の河床勾配を比較すると、木津川下流部と宇治川の河床勾配はほとんど差がなく、むしろ木津川の上流部では宇治川に比べ急勾配である。それにもかかわらず、木津川のほうが高いプランクトン捕捉率を示していたのは、木津川の河床に砂礫が多いことが関係していると考えられる。ただし、上記の可能性以外にも、両河川における流量条件の違いや支川流入による希釈率の違いなどいくつかの仮説が考えられる。

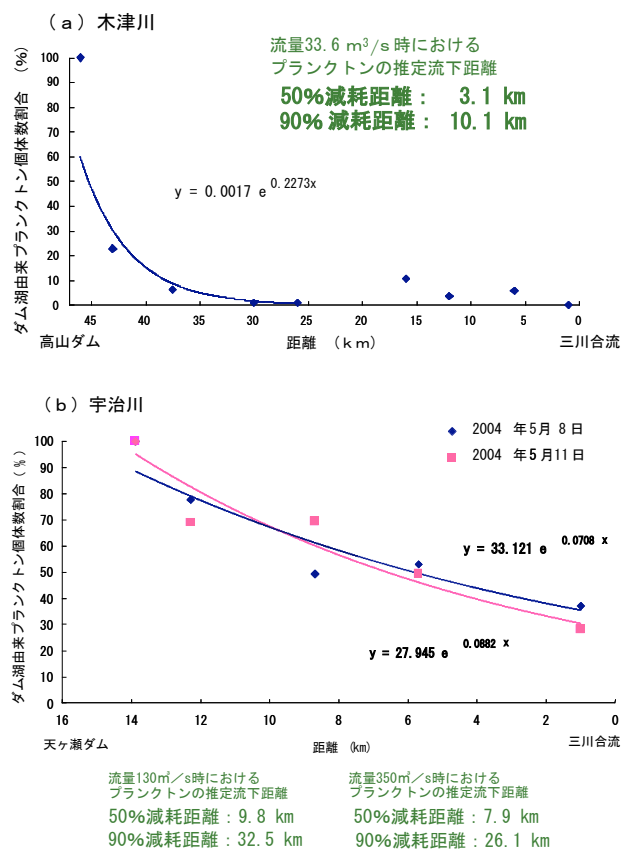


図 12. 5 月の木津川, 宇治川における流下粒状有機物 (125 μm ~250 μm 分画) 中に占めるダム湖由来プランクトン個体数割合の流程変化と近似曲線から推定した 50%, 90%減耗距離. (a): 木津川, (b): 宇治川.

ただし、宇治川の結果では、河川流量が変化してもプ

ランクトン個体数割合の変化様式にはあまり差がみられなかった。これは、宇治川では河床低下が起きているため、流量が増加しても冠水面積があまり変化しないことが原因ではないかと思われる。木津川では、流量が増加した場合に冠水面積が大きくなり、その分 POM が捕捉されやすくなることが考えられる。今後、木津川においても流量が異なる場合について同様の調査分析をする必要がある。

天竜川では、諏訪湖から流出する *Microcystis* について、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% 減少することが報告されている (片上ほか, 2003)。天竜川も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り、このことから今回木津川で認められた高いプランクトン捕捉率は、河床材料に砂礫が多いことと関係があると考えられる。天竜川の方が木津川や宇治川の場合よりも FPOM の流下距離が長いのは、天竜川の河床勾配が約 1/280 で木津川や宇治川と比べて非常に急勾配であるためかもしれない。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。また、天竜川では河川流量が多いほど流下距離は長くなっているが、河床材料、河床への接地面積と水深や流速との相対関係が流下距離に影響することが考えられるため、宇治川や天竜川とはこれらの環境が異なる木津川においてどのような挙動を示すのか調べる必要がある。本研究では、流量の異なる条件下で同じ手法の調査を行っており、今後分析することによって、流量の違いによる流下距離の変化や捕捉場所の傾向などを明らかにする予定である。

参考文献

- 河川環境管理財団 (1995) : 河川の植生と河道特性、資料第 1 号。
- 河川生態学術研究会木津川研究グループ (2003) : 木津川の総合研究-京田辺地区を中心として-。660pp. 国土交通省近畿地方整備局淀川河川事務所河川環境課。
- 片山・中山・金・米塚・朴 (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 : 121-131。
- 竹門康弘・西ふき野・加藤智子・谷田一三 (2003) : 木津川砂州における堆積粒状有機物の分布様式。河川生態学術研究会木津川研究グループ編。木津川の総合研究。pp.243-262。

- 辻本哲郎・鷺見哲也(2003) : 流域・セグメントの概要。河川研究学術研究会木津川研究グループ編 : 木津川の総合研究-京田辺地区を中心として-,リバーフロント整備センター,pp.5-7。
- 水野信彦・御勢久右衛門 (1972) : 河川の生態学。246pp. 築地書館.東京。
- Fiebig, D.M. and Lock, M. (1991): Immobilization of dissolved organic matter from ground water discharging through the stream bed. *Freshwater Biology*, 26, 45-55.
- Junk W.J., Bayley P.B. and Sparks R.E. (1989): The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 106 : 110-127.
- Middleton B. (1999) : *Wetland Restoration, flood pulsing and disturbance dynamics*. 388pp. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Thorp J.H. and Delong M.D. (1994): The riverine productivity model: a heuristic view of carbon sources and organic processing in large river ecosystems. *Oikos* 70 : 305-308.
- Tockner K., Malard F. Uehlinger U. and Ward J. V. (2002): Nutrients and organic matter in a glacial river-floodplain system (Val Roseg, Switzerland). *Limnology and Oceanography* 47: 266-277.
- Wondzell, S.M. and F.J. Swanson (1999): Floods, channel change, and the hyporheic zone, *Water Resources Research*, 35(2), pp.555-567.