

(48) 取水堰直上部における 堆積性有機物量の変動解析

松本 嘉孝^{1*}・井上 隆信²

¹豊田工業高等専門学校環境都市工学科 (〒471-8525愛知県豊田市栄生町2-1)

²豊橋技術科学大学大学院建築・都市システム学系 (〒441-8580愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)

* E-mail: ymatsu@toyota-ct.ac.jp

豊かな河川環境を保ちつつ、その保全や修復を行うためには、河川環境とその場に生息する生物の相互作用を仲介する粒状有機物の存在が水生生物の餌資源や炭素輸送の観点から重要である。その粒状有機物が河床に堆積した堆積性有機物(BOM)は、出水時の粒状有機物の発生源となるが、浮遊性粒状有機物(POM)の堆積、BOMの流出メカニズムの解明は進んでいない。そこで本研究では、POMの堆積過程を明らかにするため、粒径毎のBOMの変動特性の把握と出水前後におけるBOM量変動の把握とその影響要因の解析を行った。その結果以下の2点が明らかになった。1) BOMは粒径によりその堆積量が異なり、変動傾向にも違いが現れた。2) 出水前後のBOM量の変化は、出水始めの水深増加時にはBOM量が減少し、出水後の水深減少時にはBOM量が増加する傾向が見られ、出水による水深上昇時に河岸や河道内の陸域に存在する有機物が流入し、水深減少時に堆積するためだと示唆された。

Key Words : CBOM, FBOM, SFBOM, Hydrological conditions, flood,

1. はじめに

河川環境管理を行うにあたり、1997年の河川法改正以来、生態系の保全や復元が大きな目的となっている。その河川生態系を保全するにあたり、粒状有機物は河川環境とその場に生息する生物の相互作用を仲介する物質としてその重要性が理解されている¹⁾。具体的には、水生生物の餌資源となる²⁾ことや、陸域からの炭素輸送が汽水域や沿岸域での生物生産に必要なことなどである³⁾。その粒状有機物質のうち、浮遊性粒状有機物POM(Particulate Organic Matter)を河川で調査し、年間あたりの流出量を算出したところ、全有機物量の10%以下である⁴⁾との報告もあるが、北海道における研究では29%に達する⁵⁾との報告もなされている。この両者の違いとしては、出水時におけるPOM発生量を考慮するかしないかであり、出水時のPOM量の把握は重要である。

このPOMの発生源の一つと考えられるのが、平時時に河床などに堆積している堆積性有機物BOM(Benthic Organic Matter)である。このBOMの中でも1.0mmから0.45μmまでをFBOM(Fine Benthic Organic Matter)と呼び⁶⁾、FBOMは早瀬中の粗粒化した底質内に堆積し、特定

の固着型や掘潜型の底生動物の密度が高まるといった生態系変化が認められることや⁷⁾、FBOMが厚く堆積することでヨシノボリ類などの底生魚が減少することが報告されている⁸⁾。細見ら⁹⁾は、FBOM量や組成が変化すると、底生動物現存量と種構成に影響することを推測している。

このBOMをPOMの発生源として位置づけた際、POMの堆積、BOMの流出のメカニズムを明らかにすることが必要である。POMの堆積については、岸ら¹⁰⁾が河川内の落葉の滞留量調査より、落葉の堆積と瀬や淵などの河川構造、もしくは河床粗度との関連性を解析したものがある。FBOMについては、細見ら⁹⁾が水深の変化とBOMの挙動との関係を把握しており、BOMの調査からPOMの堆積過程について検討をおこなっている。一方BOMの流出については、河道内に落葉が増えることが河川中のPOM量の増加をもたらすと考察したもの¹¹⁾や、出水時のPOM量の増加に出水前の河道内の有機物堆積量が影響しているとした報告¹²⁾がなされている。ここで、POMの堆積とBOMの流出の両者を同時に調査し解析するよりも、まずPOMの堆積メカニズムの解明を優先することが、この研究の手順であると考えられる。しかし、POMの堆積量すなわちBOM量には、出水などの水深変動が大きな影響をもた

らすことが報告されているものの⁹⁾、BOM 量の変動を捉えるまでしか至っていない。そのため、まずは堆積過程を明らかにする上で基礎情報となりうる、粒経毎の BOM の変動特性の把握とその BOM 量に対する影響要因の検討が必要といえる。

以上を踏まえ、本研究では、1) BOM 量の定期調査を実施し、粒経別の変動特性を把握する、2) 水深が増減した期間における BOM 量変動の把握とその影響要因についての解析を目的とする。加えて、調査地を電力用取水堰の直上とすることで流域内に断続的に存在し、河川流速を低下させる河川構造物が河川上流からの物質移動に対しどのような作用を与えているかについての知見を集積することとする。

2 調査地点

調査を行った神越川の本流である矢作川は、その源を長野県の大川入山に発し、愛知・岐阜県境の山岳地帯を流れた後、濃尾平野の都市域を流れ三河湾に注ぐ、幹川流路延長約 117km、流域面積が約 1,830km² の一級河川で

ある(図-1)。巴川は矢作川の河口 34km 付近で合流する河川であり、流路延長は約 56.4km であり、流域面積は約 354km² である。

調査は矢作川と巴川とが合流する地点より約 30km 上流の神越川で行った。調査地の標高は 368m であり、流域面積は 27.6km² である。流域の土地利用はその 9 割以上が森林である。河床は礫と砂質からなり、ところどころに大きな岩が存在する。河川の両河岸は急な傾斜面であり、広葉樹木が斜面を覆っている。調査地点の 5m 下流には水力発電に利用するための取水堰が設けられている(図-2)。調査地から 48m 上流には小さな滝が連続しており、その下流は堰に近づくにつれ水深が増し、流速は小さくなる(図-3)。

3 調査・分析方法

(1) 堆積性有機物調査方法

a) 採取方法

河床堆積物の採取には、直径 30cm、高さ 75cm のポリエチレン製の円筒を用いた。円筒は調査毎河床に 5cm ほど

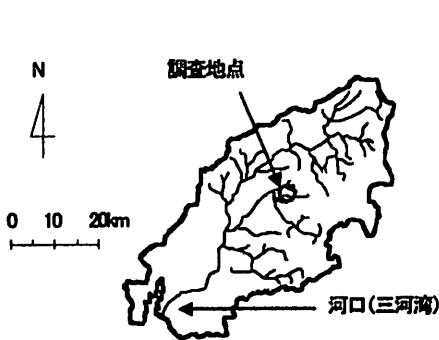


図-1 矢作川流域における調査地位置

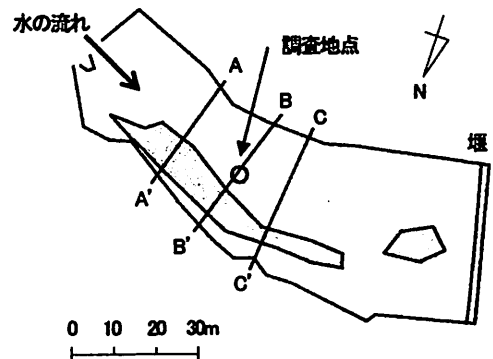


図-2 調査地点周辺(灰色部は地上部)，2010年5月19日測量

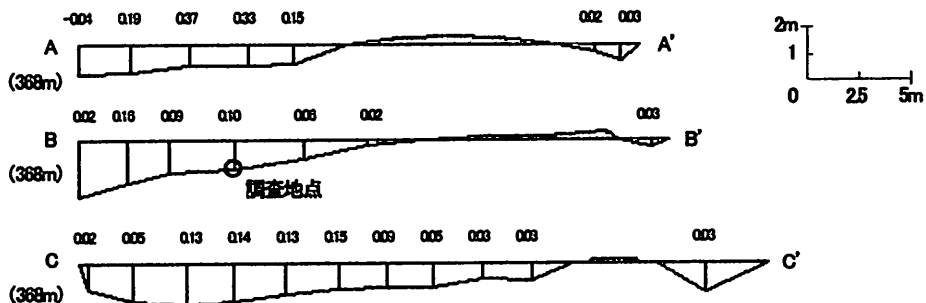


図-3 調査地点周辺 河川断面図(断面図数字は流速 (m/sec)，灰色部は地上部)，2010年5月19日測量
各地点の下括弧内の数字は水位を示す

ど差し込み、円筒の上端部が水面よりも高い状態であることを確認し、柄杓にて筒内を撹拌することにより河床堆積物の採取を行った。試料は河床堆積物が無くなるまで採取した。

採取した試料は孔径 1mm のふるいと孔径 67 μ m のふるいを重ね、1mm のふるい上にたまった物質を CS (Coarse Sediment)、1mm と 67 μ m の間の物質を FS (Fine Sediment) と分画した。さらに、67 μ m のふるいを通して最初の 3L を実験室に持ち帰り、それを孔径 0.6 μ m のろ紙 (ADVANTEC GS-25) でろ過し、そのろ紙上に残った物質を SFS (Super Fine Sediment) とした。CS、FS および SFS は 100℃ で乾燥させた後、その重量を測定した。

b) 有機物の C、N 分析方法

採取した CS、FS および SFS は CN 分析装置 (SUMIGRAPH NC-220F) にて有機炭素量および窒素量を測定した。ここで、CN 分析装置にて強熱減量した CS 内の物質を CBOM (Coarse Benthic Organic Matter)、FS 内の物質を FBOM、SFS 内の物質を SFBOM (Super Fine Benthic Organic Matter) とした。加えて、灰分として残った CS 内の物質を InOrg.CS (Inorganic Coarse Sediment)、FS 内の物質を InOrg.FS (Inorganic Fine Sediment)、および SFS 内の物質を InOrg.SFS (Inorganic Super Fine Sediment) とした。

(2) 水文調査方法

水深は調査毎に標尺で測定し、流速は浮子を用いて 2m 区間の流下時間より算出した。両者の観測は、BOM を採取した後、同地点で行った。ただし、図-3 に示している流速は、電磁流速計 (東京計測 SF-5511) にて水面下 20cm の 1 点で測定を行った。降雨データは調査地から約 15km の地点にある AkeDAS 阿蘇観測所のデータを用いた。

(3) 調査期間

調査は 2008 年 8 月 31 日から開始し、2009 年 12 月 16 日までの全 34 回行った。調査はほぼ 2 週間に 1 回の頻度で行った。FS の調査は 2008 年 8 月 31 日より、CS の

調査は 2008 年 9 月 17 日より、SFS の調査は 2008 年 11 月 19 日より開始した。

4. 結果および考察

(1) 降水量、水深、流速

図-4の1段目は調査期間における降水量、水深を示している。2008年8月28日に84.5(mm/day)、8月30日に98.0(mm/day)の非常に激しい降雨量を観測した。これにより、水深は大きな値となった。その後水深は2009年1月28日まで減少した。しかし、2009年1月30日に39.5(mm/day)、1月31日に41.5(mm/day)とまとまった降雨量があり、その両日を境に水深は増加し、その後2009年8月まで大きな水深となった。その後水深は減少したが、2009年11月11日に76.5(mm/day)、11月14日に47.0(mm/day)の降雨により11月19日より水深は再び増加した。このように、水深が大きな時期と小さな時期でほぼ安定している理由として、調査地の54m下流に電力発電用の取水堰が設置されているためだと考えられる。

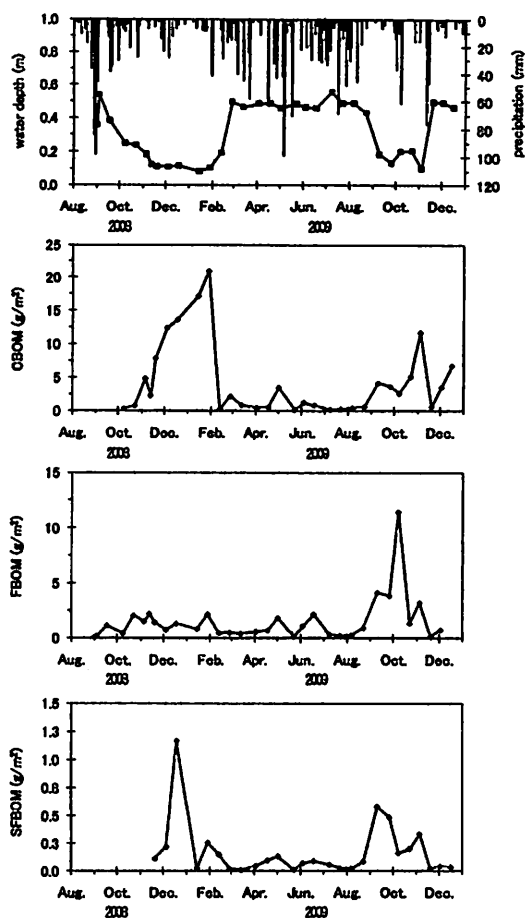
(2) 堆積性有機物量変動

表-1はCS、FS、SFSの有機物量、窒素量および炭素量の平均、標準偏差、最大値、最小値および観測数を示している。有機物量およびN、Cの平均値はCBOMが最も大きく、FBOM、SFBOMの順に小さくなった。平均値および最大値では、CBOM量はFBOM量の2から3倍程度、FBOM量はSFBOM量の7から10倍程度であることがわかる。しかし、最小値はCBOMとFBOMに差は見られなかった。

図-4の2段目はCBOM、3段目はFBOM、4段目はSFBOMの時系列変動を示している。CBOM量は落葉期にあたる2008年11月5日から上昇し、2009年1月28日には21.0(g/m²)と最大になった。その後は急激に減少し小さな値となったが、2009年10月22日からは再び増加が見られた。FBOM量は調査開始の2008年8月31日に0.1(g/m²)となり、調査を通じて最も小さい値であった。その後、増減を繰り返しながら変動した。2009年8月6日からは徐々に増加し2009年10月7日に11.4(g/m²)と

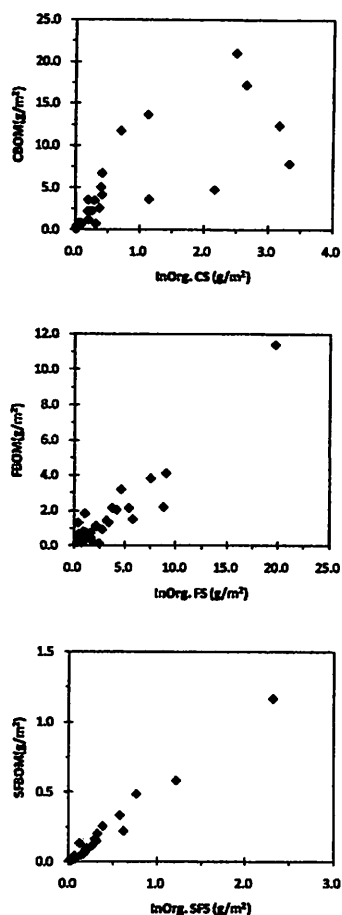
表-1 CS、FS、SFSの有機物量、窒素量および炭素量の平均、標準偏差、最大値、最小値および観測数

	Coarse Sediment			Fine Sediment			Super Fine Sediment		
	CBOM (g/m ²)	N (g/m ²)	C (g/m ²)	FBOM (g/m ²)	N (g/m ²)	C (g/m ²)	SFBOM (g/m ²)	N (g/m ²)	C (g/m ²)
average	4.2	0.1	2.0	1.5	5.0 × 10 ⁻²	0.8	0.2	3.3 × 10 ⁻³	0.1
S.D.	5.5	0.1	2.5	2.1	0.1	1.2	0.2	3.7 × 10 ⁻³	0.1
maximum	21.0	0.3	9.3	11.4	0.3	4.9	1.2	1.4 × 10 ⁻²	0.2
minimum	0.1	1.4 × 10 ⁻³	4.4 × 10 ⁻²	0.1	1.5 × 10 ⁻³	3.1 × 10 ⁻²	1.1 × 10 ⁻²	1.9 × 10 ⁻⁴	3.8 × 10 ⁻³
n	31			33			27		



1 段目：河川水深および降水量
2 段目：CBOM、3 段目：FBOM、4 段目：SFBOM

図-4 各調査項目の時系列変動



上段：InOrg. CS と CBOM、中段：InOrg. FS と FBOM
下段：InOrg. SFS と SFBOM

図-5 堆積性有機物量と無機物量との関係

最大になった。SFBOM は 2008 年 12 月 18 日に最大となった後、増減を繰り返しながら変動し、2009 年 8 月 22 日より FBOM とほぼ同じ時期から増加し、その後は減少傾向となった。以上の調査結果より BOM は各粒径によりその変動が異なるといえる。

降水量、水深の結果と、BOM 量および時系列変動より、BOM 量は出水により大きく変動することが考えられる。

(3) 堆積性有機物の変動解析

次に、BOM の変動特性を把握するため、各粒径毎の無機物と有機物との関係を図-5 に示す。最も粒径の大きな CS では、無機物と有機物との間に相関性は見られるものの、粒径が小さな FS、SFS に比べて顕著ではなかった。FS では、無機物と有機物の相関係数が 0.94 となり、無機物と有機物とは同じ要因で変動していることが考えられる。SFS では、両者の相関係数が 0.99 と非常に高く

表-2 堆積性有機物量と流速、水深との相関関係

		CBOM	FBOM	SFBOM
water current	correlation coefficient	-0.3	-0.3	-0.2
	p - value	< 0.01	< 0.01	> 0.05
water depth	correlation coefficient	-0.6	-0.4	-0.5
	p - value	< 0.01	< 0.01	< 0.05

なった。このように、粒径が小さくなるに従い、堆積性の無機物と有機物との間の変動特性が一致してくることが明らかになった。この原因として、粒径の大きな CS は落葉などの季節的な要因に左右されることが大きいいため、落葉などにはほとんど含まれない無機物との関係が小さくなったと考えられる。

以上の解析から、BOMは無機物との関連性が強いことが明らかとなったため、河床流砂などの運搬因子である、流速および水深との関係を解析した。表-2は堆積性有機物量と流速、水深との相関係数およびp値を示している。この表より、流速と各BOM量とは負の相関を示しているが、どの相関係数も低くなった。次に、水深とBOM量との相関係数は流速よりも高い値を示し、両者の間にも負の相関を示した。CBOM、FBOMについては、p値が

0.01以下、SFBOMについても0.05以下であったため、水深についてはどのBOMについても関連性が高いといえる。

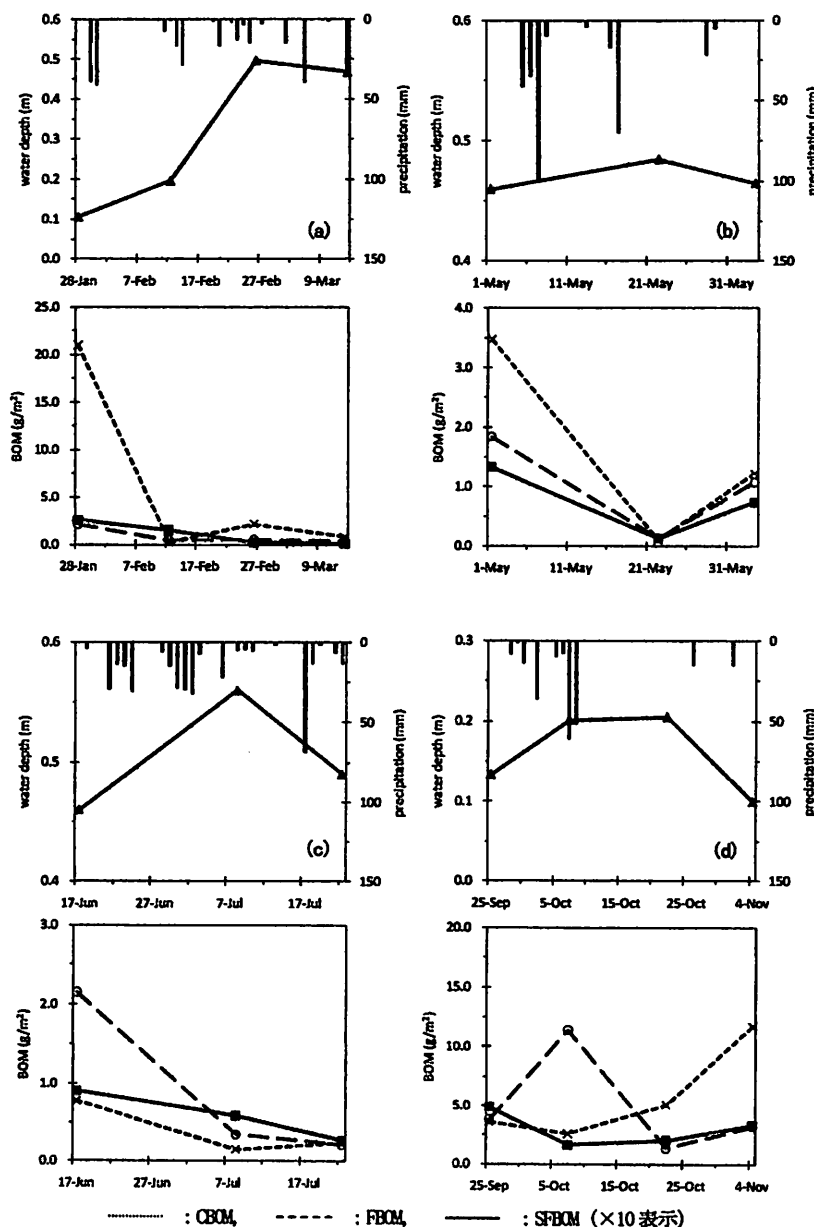
このように、流速、水深共に負の相関が得られたことは、BOMが出水などによる水深、流速増加時よりも水深、流速が低下した際に堆積が卓越することを示している。

ただ、本調査地は取水堰の直上部であることから、流速と水深との変動が必ずしも一致していない。そのため、

両者が共に相関性が高く表れなかったと思われる。

(4) 出水前後における水深と堆積性有機物の関係

前項よりBOMとの関連性が強く表れた水深について、両者の変動を(a)から(d)の4期間に分けて図-6に示す。期間(a)においては、2009年1月28日から2月12日の間に89.5mmと2009年2月12日から2月26日の間に97.0mmの降雨により水深が急激に増加したのち減少した。CBOM、FBOMは水深の増加と共に堆積量は減少したが、一旦増加し再び減少した。SFBOMは水深の増加、減少に関わらず堆積量は減少した。期間(b)においては、279.0mmの降雨により水深が増加し、その後減少した。CBOM、FBOM、SFBOM共に水深の増加と共に堆積量は減少し、水深の減少と共に堆積量は増加した。期間(c)においても245.0mmの降雨により、期間(b)と同様の水深変化を示した。CBOMは期間(b)と同様の変動を示したが、FBOM、SFBOMは水深の増加と共に堆積量は減少したが、水深が減少しても堆積量は減少した。期間(d)では、2009年9月25日から10月7日の間に



(a) : 2009年1月28日から2009年3月13日, (b) : 2009年5月1日から2009年6月3日
(c) : 2009年6月17日から2009年7月22日, (d) : 2009年9月25日から2009年11月4日
図-6 出水前後における水深と堆積性有機物量の変動 (上段: 水深, 下段: 堆積性有機物)

141.0mm, 2009年10月7日から10月22日の間に52.0mmの降雨により水深は増加し, その後水深は減少した。CBOM, SFBOMは水深の増加と共に堆積量は減少したが, その後は増加し続けた。FBOMは水深の増加と共に堆積量は増加し, 水深が微増した際には堆積量は減少, 水深が減少した際には堆積量は増加した。このように, 出水始めの水深が増加する場合には, ほとんどの期間において有機物堆積量は少なかった。出水後の水深が減少する場合には一概に有機物堆積量が増加するといえないが, 多くの期間でそのような傾向が現れた。BOMの源である落葉は直接河川中に投入されることもあるが, その大半が河岸や河道内の陸域に落下すると考えられ, その場で生物分解が進めば有機物の粒径は小さくなる。そして, 出水により河川水深が増加した際, 河岸や河道内の陸域に存在する有機物が河川中に流入することが考えられる。そして, 出水時に増加したPOMが, 出水後の水深減少時に流速が低下することにより取水堰直上部で堆積したと考えられる。なお, 出水後水深が低下してもBOM量が増加しない場合もみられたが, その原因は今のところ不明である。しかしながら, BilbyとLikens¹²⁾が指摘しているように, 洪水におけるPOMの主な発生源が河道内のBOMであるならば, 出水前もしくは出水中の河道内における有機物量がPOMの流出特性に影響を与える可能性もある。

5. おわりに

本研究はBOM量の定期調査を実施し, 粒径別の変動特性を把握することと, 出水前後によるBOM変動量の把握とその影響要因の検討を行った結果, 以下のことが明らかとなった。

- 1) BOMは粒径によりその堆積量が異なり, 変動傾向にも違いが現れた。
- 2) BOMの粒径が小さくなるに従い, 無機物との堆積傾向が近くなった。
- 3) 出水前後のBOM量の変化は, 出水始めの水深増加時にはBOM量が減少し, 出水後の水深減少時にはBOM量が増加する傾向が見られた。出水後のBOM量が多くなる原因としては, 出水による水深増加時に河岸や河道内の陸域に存在する有機物が流入し, 水深減少時に堆積するためだと示唆された。

このように, 今回の取水堰の直上部における調査により, その地点でのBOM量の変動は大きく, 出水による影響を受けていることが考えられた。

謝辞: 本研究は科研費若手研究 (B) (20760365) の助成を受けたものである。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 吉村千洋, 谷田一三, 古米弘明, 中島典之: 河川生態系を支える多様な粒状有機物, 応用生態工学, Vol. 9, No. 1, pp. 85-101, 2006.
- 2) 谷田一三: 生態学的視点による河川の自然復元: 生態的循環と連続性について, 応用生態工学, Vol. 2, No. 1, pp. 37-45, 1999.
- 3) Lobbes J. M., Fitzner H. P. and Kattner G.: Biogeochemical characteristics of dissolved and particulate organic matter in Russian rivers entering the Arctic Ocean, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 64, pp. 2973-2983, 2000.
- 4) Hope D., Billet M. and Cresser M. S.: A review of the export of carbon in river water: fluxes and processes, *Environmental Pollution*, Vol. 84, pp. 301-324, 1994.
- 5) Sakamoto T., Takahashi M., Terajima T., Nakai Y. and Matsuura Y.: Comparison of the effects of rainfall and snowmelt on the carbon discharge of a small, steep, forested watershed in Hokkaido, northern Japan, *Hydrological Processes*, Vol. 13, pp. 2301-2314, 1999.
- 6) Hauer F. R. and Lamberti G. A. (eds): *Methods in stream ecology*, Academic Press, San Diego, 1996.
- 7) 波田野圭亮, 竹門康弘, 池淵周一: 貯水ダム下流の環境変化と底生動物群集の様式, 京都大学防災研究所年報, Vol. 48B, pp. 919-933, 2005.
- 8) 佐藤陽一: 川環境と魚—FPOMの影響—, 徳島県立博物館 NEWS, No. 53, p2, 2003.
- 9) 細見曉彦, 吉村千洋, 中島典之, 古米弘明: 多摩川における洪水前後の河床微細有機物の動態とその底生動物群集構造への影響, 土木学会論文集, No. 811/VII-38, pp. 37-47, 2006.
- 10) 岸千春, 中村太士, 井上幹生: 北海道南西部の小河川幌内川における落葉の収支及び滞留様式, 日本生態学会誌, Vol. 49, pp. 11-20, 1999.
- 11) Grubaugh W. J. and Anderson V. R.: Upper Mississippi River: seasonal and floodplain forest influences on organic matter transport, *Hydrologia*, vol. 174, pp. 235-244, 1989.
- 12) Bilby E. R. and Likens E. G.: Effect of hydrologic fluctuations on the transport of fine particulate organic carbon in a small stream, *Limnology and Oceanography*, vol. 24, pp. 69-75, 1979.

(2010. 5. 21受付)

Abundance of benthic organic matter upstream of the weir of a hydraulic plant

Yoshitaka MATSUMOTO¹ and Takanobu INOUE²

¹Dept. of Civil Engineering, Toyota National College of Technology

²Department of Architecture and Civil Engineering, Toyohashi University of Technology

Particulate organic matter is an important aspect in the conservation and renovation of an aquatic environment, because it provides food for bacteria and aquatic insects. Fine benthic organic matter (FBOM), comprises sedimented forms of fine particulate organic matter, which gets exported largely in flooded conditions. However the mechanism of FBOM flushing and sedimentation is not clearly understood. The purpose of this study was to analyze the factors affecting the abundance of FBOM in a flood event. The results obtained upstream of the weir of a hydraulic plant during a flood event showed that (1) the fluctuation levels in FBOM abundance differed with varying FBOM size distribution, and (2) FBOM abundance decreased during the phase of increasing water depth and increased predominantly during the phase of decreasing water depth.