

(15) 揖斐川上流河床に堆積した粒状態有機物の組成 と起源ならびに新設ダムの影響

小林 慎也^{1*}・沼田 高明²・李 富生^{1**}・廣岡 佳弥子¹・吉村 千洋³

¹ 岐阜大学流域圏科学研究センター (〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1)

² 岐阜大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 (〒501-1192 岐阜市柳戸 1-1)

³ 東京工業大学大学院理工学研究科 (〒152-8552 目黒区大岡山 2-12-1)

E-mail: *sdw-kobayashi@green.gifu-u.ac.jp, ** lifs@gifu-u.ac.jp

森林河川の河床堆積粒状態有機物 (POM) の組成とそれに与える新設ダムの影響を評価するため、運用開始間もない徳山ダムを挟んだ揖斐川上流河川を対象とした調査研究を 2009 年 5 月~11 月に実施した。炭素安定同位体比と窒素安定同位体比の分析も含めたデータ解析から、1 μ m~1mm の微細堆積性有機物 (FPOM) はダム上下流で常に他生性の有機物が優占であることがわかった。そして、目視で判断できる粗大有機物 (LPOM) については落葉期において流速 0.2m/s 未満の場合、ダム直下以外の地点で堆積量が上昇し、POM 全体に占める構成割合が最上位になった。

Key Words : dam, river, sediment particulate organic matter, stable isotopes, mixed model

1. はじめに

河川では、自生性有機物 (藻類、微生物膜など) が生産されるだけではなく、陸域から多くの他生性有機物 (落葉、落枝) が流入している。また、河川へ流入した他生性物質の中でも粒状態有機物 (POM) は微生物や水生生物の餌資源となるため、河川生態を維持する上で重要な役割を担っている¹⁾。一般的に河川上流域は森林域であることが多く、自生性有機物よりも流域から供給される他生性有機物のほうが多い^{2),3)}。このため、上流域では他生性有機物が水生生物にとって重要な餌資源となると考えられる^{4),5),6),7),8)}。これまでに河川水相の浮遊性の粒状態有機物については多くの調査研究がなされているが、河床生物の生息の場となっている河床堆積相の粒状態有機物については詳細な調査が少なく、その組成と起源についての知見は限られている。

河川にダムが建設されると河川の連続性が失われ、ダム内での滞留時間によって物質の沈降、堆積、植物プランクトンの増殖などの反応が異なり、ダム下流河川に輸送される有機物の種類と濃度組成が上流河川と比較して大きく異なり、それによって下流の生物群集構造が変化する^{9),10),11)}。これに関しても、有機物に対する調査は浮遊性の有機物に集中されており¹²⁾、河床堆積有機物の組

成と起源に対するものは大変少ない。

そこで、本研究では徳山ダムを挟んだ揖斐川上流域 (岐阜県) を対象とし、これまで同流域で行われてきた浮遊性有機物を中心とした調査に加え、揖斐川上流域の堆積性 POM の組成と起源を検討すると共に、新設した徳山ダムの影響も評価した。合わせて、浮遊性 POM に対しても調査を行った。

2. 調査および方法

(1) 調査対象流域

調査対象とした揖斐川最上流域 (岐阜県揖斐川町 (旧徳山村)) を図-1 に示す。揖斐川は福井県との県境にある冠山 (標高 1257m) を水源とし、西濃地方および三重県桑名市を南流し伊勢湾に流れ込む一級河川であり、濃尾平野を流れる木曽川、長良川と共に木曽川水系河川整備計画において重要河川の 1 つに位置づけられている¹³⁾。徳山ダム下流に位置する横山ダム (集水面積: 471 km²、徳山ダムの集水面積 254.5 km² を含む) 以北には旧坂内村の集落と徳山ダム関連工事の事務所およびその関係者住居が点在しているが、それ以外のほとんどは森林に覆われている。また、徳山ダム (最大貯水量: 6.6 $\times$ 10⁸ m³、集

水面積：254.5km²）では、10年以上の広葉樹林が80%以上を占め、常緑樹林であるスギ・ヒノキの植林地は面積比で約6%程度である^{14, 15)}。なお、徳山ダムは2006年9月から2008年4月まで試験湛水が行われ、2008年5月の試験放流を経て本格稼働している。河床堆積性POMに対する本格調査は、当該ダムが稼働開始から約1年経過した時期である。ダムからの取水方式は取水塔のゲート位置(Intake level)を変更する選択取水方式を採用しており、5~9月は水深8.0~10.7m、11月は水深25.2mから取水されている。また、取水範囲(Intake wide width)は、取水ゲート位置から上位8mである。

試料採取地点は、徳山ダム上流の揖斐川本川上に1地点(St. A)、主要2支川(扇谷、西谷)にそれぞれ1地点ずつ(St. B, St. C)、ダム下流に4地点(St. D~G)とした。河川次数は3~5の森林河川であり、河川上のすべての地点は河畔林の茂る典型的な森林河川区間である。また、ダムの影響を調べるためにダム湖内の2地点(St. T1, St. T2)でも試料採取を行った。

調査期間における各地点の概要は表-1に示したとおり、平均値の範囲がダム上流(St. A~C)では、流量：0.8~4.2 m³/s, pH: 7.4~7.6, DO: 8.4~9.9 mg/L, EC: 6.2~9.6 mS/m, ORP: 204~217 mVになり、ダム下流(St. D~G)では、流量：23.6 m³/s, pH: 7.3~7.4, DO: 10.3~10.7 mg/L, EC: 7.0~7.1 mS/m, ORP: 232~256 mVになった。なお、流路幅はダム上流が3~18m、下流が25~60mであった。

(2) 調査および分析

調査地点において2009年5~11月の奇数月に水質と有機物の調査を行った(11月調査では、ダム湖水位の低下によりSt. BとSt. Cに到達できず、試料採取が行えなかった)。調査は河川流量安定時に実施するため、最大降雨量が調査前120時間で20mm/h以下、48時間で2mm/h以下となることを条件とした(降雨量の情報は、国土交通省水文水質データベース URL: www1.river.go.jpを参照した)。また、落葉の時期を明確にするため、St. Eの河岸で落葉量の調査も行った。対象とした落葉樹はケヤキ(*Zelkova serrata*)、ヤマグワ(*Morus bombycis*)、イタヤカエデ(*Acer mono*)であり、これらの落葉樹の幹付近と樹冠の下にリタートラップ(各0.16 m²)を設置し、約10~14日に1回の頻度で落葉を回収し、その乾燥重量を測定した。その結果、この流域の落葉期は、10~11月であることがわかった。基礎水質項目として、水温、pH、溶存酸素濃度(DO)、電気伝導度(EC)、酸化還元電位(ORP)を現地で測定した。河川の各地点では浮遊性有機物と堆積性有機物をそれぞれ採取し、ダム湖内では浮遊性有機物を採取した。

河川の浮遊性有機物は粒径16mm以上(LPOM)、1mm~16mm(MPOM)、1μm~1mm(FPOM)の3画分と1μm

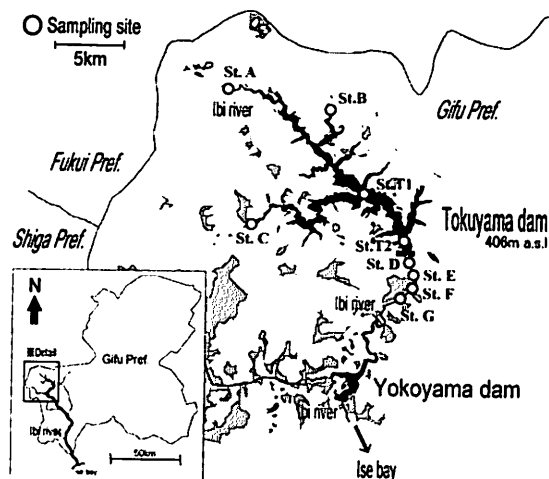


図-1 対象流域と調査地点(灰色はスギ・ヒノキ植林地または草地を示し、その他の場所は主に落葉広葉樹からなる天然林である^{14), 15)}。)

以下の溶存態有機物(DOM)とした。1mm以上のPOMはドリフトネット(間口48.5×18.5cm、長さ110cm、メッシュサイズ250μm)を流速0.2~0.5m/s、水深0.1~0.3mの河川条件となる場所に固定して採取した。この際、ネット入り口の流速を流速計(コスモ理研, CR-11)で測定し、ネットを通過した河川水量を求め、有機炭素濃度の算出に用いた。採取した試料は孔径16mmと1mmのふるいを用いてLPOMとMPOMに分画した。また、現地において河川水を孔径1mmのふるいに通し、それを実験室に持ち帰り、孔径1μmのガラス濾紙(ADVANTEC, GA-100)で濾過し、FPOMとDOMに分画した。なお、試料の採取は1回の調査において各地点について3回行い平均値と標準偏差を求めた。

堆積性粒状有機物はLPOM, MPOM, FPOMの3画分とした。塩化ビニール製円筒管(内径0.29m、高さ0.4m)を河床に固定し、管内で堆積物を河川水と共に攪乱させ濃度が均一の混合液とした状態となったものを試料として採取した。しかし、LPOMは攪拌によって均一濃度にするのができないため、円筒管内で堆積している全量を採取した。分画は浮遊性有機物と同様の方法を用いた。なお、河床条件は筆者らが過去に行った底生動物群集構造の調査¹¹⁾では、底生動物の生息環境を考慮して流速0.2m/s以下、水深0.1~0.3mとしていた。しかし、今回の調査では、より多くの河床環境(瀬、淵、ワンド、エッジなど)の堆積性有機物の定量および定性調査結果を得ることが目的であるため、河床条件は流速0.5 m/s以下、水深0.4 m以下とした。なお、試料の採取は1回の調査において各地点ごとに出来るだけ河床環境をかえた5箇所で行った。また、期間中に採取した試料の平均流速は0.2m/sであった。そこで、各データの結果は0.2m/sを境として、流速条件が0.5≧V≧0.2m/sを0.2m/s以上(V≧

表-1 調査地点の概要と主な水質 (2009 年 5~11 月の平均±標準偏差。ただし、St.B と St.C は 5~9 月の平均±標準偏差である。)

Sampling site	Distance [#]	Flow	Temp.	pH	DO	EC	ORP	
	km	m ³ /s	°C	-	mg/L	mS/m	mV	
Upper stream	St. A	109	4.2±2.4	13.5±2.3	7.6±0.4	9.9±1.9	6.2±0.4	204±20
	St. B	106	0.8±0.4	17.1±2.3	7.4±0.5	8.4±1.2	9.6±0.6	217±21
	St. C	110	3.0±0.8	17.6±2.0	7.6±0.1	8.9±0.9	7.4±0.4	216±21
Dam's outlet	94	23.6±7.3*	16.2±4.5	7.8±0.2	10.5±2.9	13±3.7	252±23	
Down stream	St. D	94	23.6±7.3*	15.1±3.4	7.3±0.2	10.6±2.0	7.1±0.3	256±26
	St. E	93	23.6±7.3*	15.1±3.5	7.3±0.3	10.7±2.1	7.0±0.2	237±19
	St. F	92	23.6±7.3*	14.9±3.5	7.4±0.2	10.3±1.8	7.1±0.1	248±28
	St. G	91	23.6±7.3*	15.0±3.9	7.3±0.4	10.4±2.2	7.1±0.1	232±23

: Distance from estuary to sampling sites *Contributed by Tokuyama dam office

0.2m/s), 0≤V<0.2m/s を 0.2m/s 未満 (V<0.2m/s) とこれ以降は示す。

ダム湖では FPOM と DOM の 2 画分とした。これら両画分を含めたダム湖水の採水には、RIGO 採水器(離合社)を用いた。なお、分画は河川と同様の方法で行った。

さらに、毎回の調査時に POM の起源物質 (End member) として他生性有機物 (落葉、落枝、草本、土壌) と自生性有機物 (緑藻、河床生物膜) を St. A, St. E で採取し、ダム湖由来の有機物 (プランクトンなど) をダム湖表層から水深 5~10m 付近から採取した。採取した落葉、落枝、草本、緑藻は Milli-Q 水で表面の洗浄と不純物の除去を行った後、凍結乾燥を行い試料として保管した。土壌有機物は Milli-Q 水に懸濁後、孔径 1mm のふるいと孔径 1μm のガラス濾紙で分画して試料とした。プランクトンは凍結乾燥の後に試料として保管した。

浮遊性有機物および堆積性有機物試料は、次の方法で分析を行った。1mm 以上の有機物 (LPOM, MPOM) は目視で落葉、落葉以外の他生性有機物 (落枝、根、果実・種子)、自生性有機物 (藻類、動物の殻・死骸) の 3 起源に分類した。落葉については、有機物に占める割合が高いため別起源とした。なお、分類した試料は強熱減量 (600°C, 30min) の 50% を有機炭素量として扱った^{16), 17)}。FPOM と土壌はガラス濾紙上で乾燥 (105°C, 2 時間以上) させ、塩酸 (37%) 蒸気に 12 時間以上曝露させて炭酸塩を除いた後、炭素および窒素の含有量を分析するための有機元素分析装置 (YANACO, CHNO CODER MT-6) に供した。また、DOM は、全有機炭素計 (SHIMADZU, TOC-V WS) で定量した。

微細粒状態有機物 (FPOM) の起源は End member と FPOM の炭素安定同位体比 ($\delta^{13}C$) と窒素安定同位体比 ($\delta^{15}N$) を質量分析計 (Thermo Finnigan, EA1112+DELTA plus) で分析することによって解析した。両同位体比の値は、式 (1) および (2) から求めた^{18), 19)}。

$$\delta^{13}C = (R_{\text{sample}} / R_{\text{PDB}} - 1) \times 1000 \quad (\text{‰}) \quad (1)$$

$$\delta^{15}N = (R_{\text{sample}} / R_{\text{AIR}} - 1) \times 1000 \quad (\text{‰}) \quad (2)$$

ここで、 R_{PDB} は標準物質 (Pee Dee belemnite) の炭素同位体比 ($^{13}C/^{12}C$)、 R_{AIR} は大気中の窒素同位体比 ($^{15}N/^{14}N$)、 R_{sample} は試料の同位体比である。そして、有機物の $\delta^{13}C$ 、 $\delta^{15}N$ を以下の混合モデルに適用し、起源解析に用いた。

(3) 混合モデルによる起源推定

混合モデルを適用し、FPOM の起源推定を行った。有機物の状態変数に $\delta^{13}C$ と $\delta^{15}N$ を用い、ダム上流は 2 起源モデル、下流は 3 起源モデルとした。2 起源モデルにはデータ数の多い $\delta^{13}C$ を用いた。ダム上流の試料には St. A で採取した起源物質、ダム下流の試料には St. E で採取した起源物質とダム湖由来有機物を適用した。

2 起源混合モデル

$$f_i + f_a = 1 \quad (3)$$

$$f_i x_i + f_a x_a = x_s \quad (4)$$

3 起源混合モデル

$$f_i + f_a + f_d = 1 \quad (5)$$

$$f_i x_i + f_a x_a + f_d x_d = x_s \quad (6)$$

$$f_i y_i + f_a y_a + f_d y_d = y_s \quad (7)$$

f は有機物の混合割合、 x は $\delta^{13}C$ 、 y は $\delta^{15}N$ であり、添え字の i は他生性有機物、 a は自生性有機物、 d はダム湖由来の有機物、 s は河川の POM を表す。

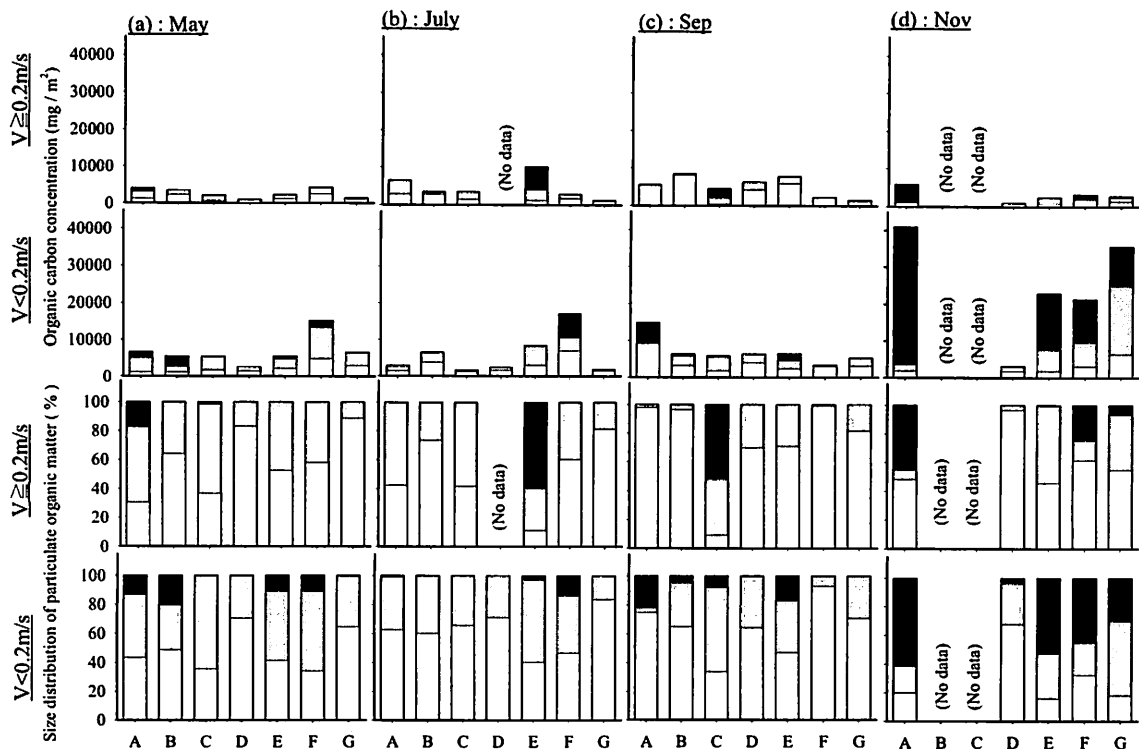


図2 堆積性POM濃度と各粒径の構成割合 (■ LPOM, ▒ MPOM, □ FPOM. ダム上流: St. A~C, ダム下流: St. D~Gを示す。なお、流速条件の $V \geq 0.2 \text{ m/s}$ は $0.5 \geq V \geq 0.2 \text{ m/s}$, $V < 0.2 \text{ m/s}$ は $0 \leq V < 0.2 \text{ m/s}$ をそれぞれ示している。)

3. 結果および考察

(1) POM濃度と組成割合

各調査地点における堆積性POMの平均有機炭素濃度とそれに基づく組成割合を図-2に示す。

LPOMの有機炭素濃度は、流速 0.2 m/s 以上の場合、通常期(5~9月)においてダム上下流ともにほとんど場合その存在が認められなかった。落葉期(11月)においては特に最上流の地点で約 5000 mg/m^3 であった。流速 0.2 m/s 未満の場合、通常期においてダム上流では、半数が 2000 mg/m^3 以上になり、ダム下流 St. D では 0 mg/m^3 , St. E ~ F では増加する傾向を示した。落葉期において最上流 St. A では 37000 mg/m^3 になり、ダム下流では St. D 以外は 10000 mg/m^3 以上になった。ダム直下の St. D で LPOM が極端に減っているのはダム湖でこの粒径の有機物がほとんど沈降したためであると考えられる。

MPOMの有機炭素濃度は、通常期において同じ流速条件下での変化は小さかった。しかし、落葉期においてはダム直下の St. D では減少し、それ以降の地点ではダム上流河川を越える値まで増加した。これは、ダム下流の河岸からの流入による増加であると考えられる。

FPOMの有機炭素濃度は、落葉期においても濃度の増加はみられなかった。図には示していないが、供給元になっている浮遊性FPOMの濃度変化が落葉期においても

小さいことが主要因だと考えられる。浮遊性FPOMの濃度はダム上流において7月に 0.22 mg/L , ダム下流において4月に $0.31\text{--}0.41 \text{ mg/L}$ が最も高くなった。また、落葉期のダム上流においては 0.20 mg/L , ダム下流においては $0.19\text{--}0.23 \text{ mg/L}$ 前後であった。さらに、河床部に堆積しているLPOMとMPOMの細分化には長い時間を要するため季節の影響を受けにくくなっているのだと考えられる。なお、流速が大きいが小さい場合に比べ濃度が低くなるのは、巻上げなどが起こりやすく堆積しにくいためであると考えられる。よって、粒径が大きく、流速が小さい方が落葉期の影響をより受けやすいことが示唆された。

次に、堆積性POMの組成は、通常期において流速条件などに関係なくFPOMが優占していることが多く、90%以上になることもあった。しかし、落葉期においては、上流と流速 0.2 m/s 未満の場合の St. E ~ G で LPOM が優占していた。これは、先ほど示したように、落葉期におけるFPOMの濃度変化が小さいのに対して、LPOMが落葉期に著しく増加するためであると考えられる。なお、MPOMの優占順位は2番目であることが多かった。一方、浮遊性POMおよびDOMの調査の結果、落葉期においてLPOMの濃度のみ著しい変化(通常期の平均値はダム上流で 0.056 mg/L , ダム下流で $0.001\text{--}0.013 \text{ mg/L}$ に対して落葉期はダム上流で 0.5 mg/L , ダム下流(St. Dを除いて)で $0.049\text{--}0.054 \text{ mg/L}$ であった。)が見られ、他の粒径の

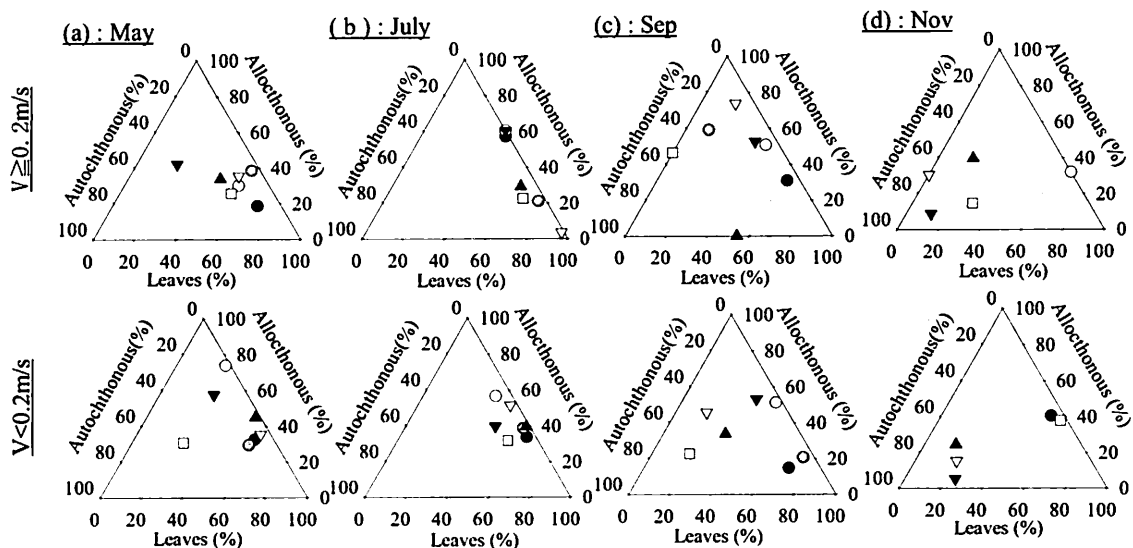


図-3 堆積性MPOMの起源割合の経時変化 (●St. A, ○St. B, △St. C, ▼St. D, ▽St. E, ▲St. F, □St. G. 有機物起源の分類は葉(leaves), 他生性(Allochthonous), 自生性(Autochthonous)とした。なお, 割合は地点および採取条件ごとの試料の平均値を示している。また, 流速条件の $V \geq 0.2 \text{ m/s}$ は $0.5 \geq V \geq 0.2 \text{ m/s}$, $V < 0.2 \text{ m/s}$ は $0 \leq V < 0.2 \text{ m/s}$ をそれぞれ示している。)

変化は小さかった。筆者らの過去の論文¹²⁾では, 落葉期の平均流量 $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下の河川において粒径 2 mm 以上のPOM濃度に季節変化がみられたとしていたが, 今回の調査では, 平均流量 $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上である地点においてLPOM濃度に落葉期の影響がみられた。

(2) POM組成と起源の経時変化

a) 粗大POMの変化

LPOMはすべての地点で落葉および落枝のみが採取され, その他は採取されなかった。また, 落葉の割合は浮遊性有機物で65%以上, 堆積性有機物で85%以上であった。なお, この流域での採取される自生性POMは直径 10 mm 以下のものが大半を占めているため, 採取できなかったと考えられる。

堆積性MPOMの起源割合の経時変化を図-3に示す。まず, 図-3に示した値を使用し, 調査期間全体(5~11月)におけるの平均起源割合を起源別に算出すると, 落葉はダム上流で流速 0.2 m/s 以上の場合に46~61%, 流速 0.2 m/s 未満の場合に35~63%の範囲であった。また, 落葉を含めた他生性有機物割合はほとんどで90%以上であった。しかし, ダム下流では流速に関係なく落葉の平均割合が調査期間中のSt. Dで20%以上, St. E以降で40%以上になった。また, 落葉を含む他生性有機物の割合は流速 0.5 m/s 以下においては流速に関係なく(流速 0.2 m/s 以上のSt. Dにおける57%を除き), 全ての場所で70%以上となり, ダム上流に比べ20%程度の減少が見られた。

調査期間中での季節的な割合変化はダム上流においてあまりみられなかった。さらに, 下流においては通常期に比べて落葉期に落葉および他生性有機物が減少し, 自

生性有機物が増加する傾向があったが, 流速 0.2 m/s 未満の場合のSt. Gでは, 落葉を含む他生性有機物の割合が増加しており, この限りではなかった。

図には示していないが, 浮遊性MPOMの調査期間全体におけるの起源別の平均割合を比較したところ, 月別の平均値がダム上流で落葉の割合(60~65%)が最も高く, 次に他生性有機物の割合(18~35%)が高くなるが多かった。また, 調査期間全体の落葉を含めた他生性有機物割合は90%以上になることがほとんどであった。ダム下流では落葉および他生性有機物の割合が上流に比べ減少し, 自生性有機物割合が増加した。しかし, 落葉を含む他生性有機物の調査期間中全体の平均割合はSt. Dで50%, St. Gでも65%であり, ダムから離れることで徐々に回復する傾向があった。なお, 月別の平均割合を比較するとダム上流St. Aにおいて落葉期に自生性有機物が44%まで増加し(通常期は10%未満), 下流ではSt. D以外は落葉および他生性有機物が増加しており, 上下流で異なる傾向を示した。

b) FPOMにおけるCN比の変化

堆積性FPOMのCN比(mol/mol)の経時変化を図-4に示す。9月におけるSt. Aの流速 0.2 m/s 以上と11月におけるSt. Aの流速 0.2 m/s 未満の場合を除き, 各地点における月別の平均値は流速, 季節に関わらずダム上流で10~37, ダム下流では10~30の範囲であり, ダム上下流の変化は小さかった。また, 各起源において物質の月別の平均CN比はダム上流の他生性有機物において27~47, 自生性有機物において7~10, ダム下流の他生性有機物において32~43, 自生性有機物は9~16, ダム由来の有機物は6~11の範囲であった(図省略)。試料とこれら起源物質のCN

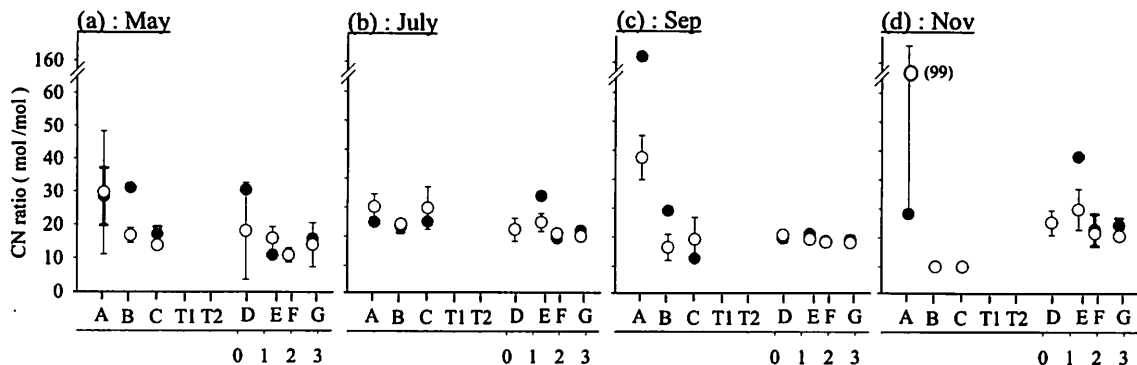


図4 堆積性FPOMのCN比の経時変化 (● $V \geq 0.2 \text{ m/s}$, ○ $V < 0.2 \text{ m/s}$. CN比は各地点の平均値とそれぞれの標準偏差を示している。なお、St. D~Gの下に数字はダム放流口からの距離(km)を示している。また、流速条件の $V \geq 0.2 \text{ m/s}$ は $0.5 \geq V \geq 0.2 \text{ m/s}$, $V < 0.2 \text{ m/s}$ は $0 \leq V < 0.2 \text{ m/s}$ をそれぞれ示している。)

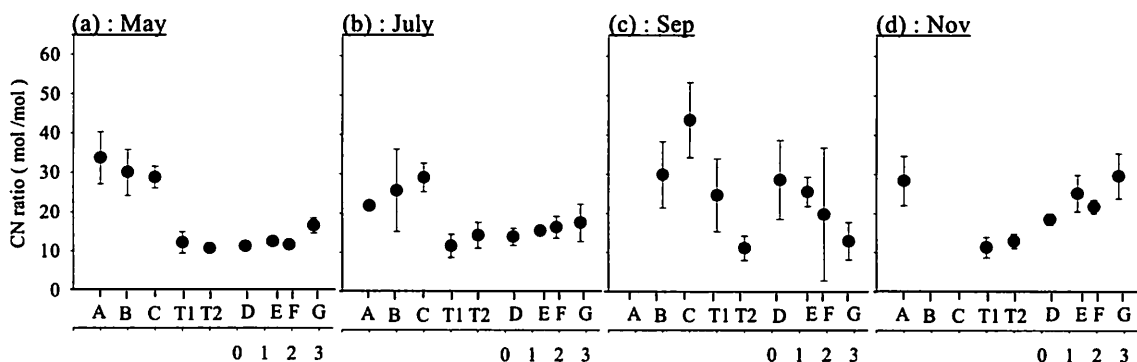


図5 浮遊性FPOMのCN比の経時変化 (CN比は各地点の平均値とそれぞれの標準偏差を示している。ダム湖内のSt. T1とT2は調査時のダム取水口深度(5-9月は8~10.7m, 11月は25.2m, 取水口幅は8m)の平均値とそれぞれの標準偏差を示している。なお、St. D~Gの下に数字はダム放流口からの距離(km)を示している。)

比を比較したところ、ダム上流の試料には他性生有機物と自生性有機物が含まれることが、ダム下流の試料にはすべての起源が含まれることが示唆された。なお、一部の結果からダムが下流のCN比に影響していることは示されたが、一方で影響がないという結果も示された。明確な結論を出せない要因として、堆積性POMは河川流入したタイミングが一定ではなく、河川の条件によって沈降、堆積および巻き上げを繰り返し、破碎や分解等が進んでいることが多いため、流入時と数値が変化していることも考えられる。

次に、比較のため浮遊性FPOMの結果を図-5に示す。月別の平均CN比の範囲は、ダム上流では28~44、ダム湖(取水深度の平均)では11~14(T1の9月を除く)、ダム下流では12~29であった。ダム上流では落葉などの他性生有機物に近い値を示し、ダム下流は地点によって他性生有機物、自生性有機物およびダム由来の有機物の範囲にあることが示唆された。なお、通常期のCN比は、ダム上流では高くなり、ダム湖で減少した。ダム下流においては、ダム湖由来の有機物による値の押し下げがみられたが、5~7月はダムから離れるにつれて少しずつ増

加した。しかし、9月は減少した。さらに、落葉期のSt. Gではダム上流の28を上回る、30まで回復していた。つまり、落葉期においては他性生有機物の流入や生成があったと考えられる。

以上のように、浮遊性FPOMのCN比はダムの影響で不連続になっていることから、それらが沈降することによって少なからず堆積性FPOMにも影響があり、それらを餌とする生物群集や餌資源にも影響があると考えられる。実際に、筆者らの過去の調査においてもダムの存在が、生物の餌資源に違いをもたらすことが示された¹¹⁾。

c) FPOMにおける安定同位体比の変化

炭素および窒素安定同位体比 [$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$] を用いたFPOMと起源物質の比較を図-6に示す。各月の堆積性FPOMの安定同位体比は流速0.2m/s以上のダム上流で[-28.6~-24.3, -4.2~-1.5], ダム下流で[-29.0~-25.3, -5.8~-1.3], 流速0.2m/s未満のダム上流で[-27.4~-24.1, -5.4~-1.4], ダム下流で[-28.7~-24.8, -4.4~-1.1]であった。浮遊性FPOMの安定同位体比はダム上流で[-26.5~-24.1, -3.3~-0.1], ダム湖で[-29.9~-24.6, 0.2~3.7], ダム下流で[-28.7~-25.1, -3.3~0.8]であった。また、起源物質

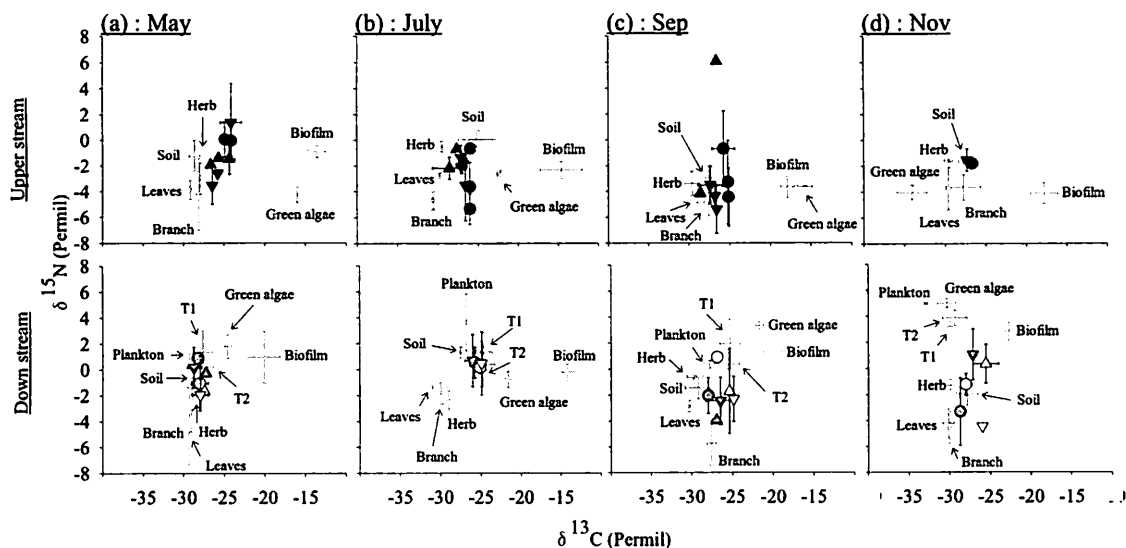


図-6 炭素および窒素安定同位体比を用いたFPOMと起源物質の経時変化(ダム上流St. A, St. B, St. C : ● 浮遊, ▲ 堆積 ($V \geq 0.2\text{m/s}$), ▼ 堆積 ($V < 0.2\text{m/s}$), ダム下流St. D : ○ 浮遊, △ 堆積 ($V \geq 0.2\text{m/s}$), ▽ 堆積 ($V < 0.2\text{m/s}$), FPOMと起源物質は各地点の平均値とそれぞれの標準偏差を示している。また, St. T1とT2は調査時の取水深度の平均値とそれぞれの標準偏差を示し, 流速条件の $V \geq 0.2\text{m/s}$ は $0.5 \leq V \leq 0.2\text{m/s}$, $V < 0.2\text{m/s}$ は $0 \leq V < 0.2\text{m/s}$ をそれぞれ示している。)

の月別平均値 [$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$] の範囲はダム上流の他生性有機物 [-28.7~28.4, -3.8~2.0], 自生性有機物 [-25.9~14.8, -4.1~2.5], ダム下流の他生性有機物 [-29.5~28.9, -3.0~1.1], 自生性有機物 [-26.5~17.9, -0.5~3.9], ダム由来の有機物 [-32.9~26.8, 0.3~5.0] であった。堆積性FPOMの $\delta^{13}\text{C}$ は, 流速に関係なく, 5月以外でダム上流のSt. Aより下流のSt. Dの方が高くなり, St. Gにおいてさらに高くなった。なお, 5月においてSt. Aがもっとも高く, 他の月とは逆の傾向を示した。浮遊性FPOMの $\delta^{13}\text{C}$ は季節に関係なくダム上流のSt. Aより下流のSt. Dが低くなった。さらに, St. DよりSt. Gの方が高くなった。一方, $\delta^{15}\text{N}$ は通常期においてダム上流のSt. Aより下流のSt. Dの方が高くなり, St. Dは9月のみ上昇し, 他は減少した。落葉期はSt. AよりSt. Dが低く, St. Gでは上昇した。

図-6に示された試料と起源物質の位置関係を比較する。ダム上流の通常期において($\delta^{15}\text{N}$ は変動幅が大きく比較できないが) $\delta^{13}\text{C}$ でみると自生性有機物よりも他生性有機物の起源の方に近く, 落葉期においては土壌由来有機物の付近に位置している。一方で, ダム下流において5月のSt. Dではダム由来の有機物の近くに位置しているが, St. Gではそれよりも他生性有機物の方向に移動している。7月のSt. Dでは土壌由来の有機物やダム由来の有機物に近いが, St. Gでは自生性有機物の方向に移動している。9月のSt. Dでは他生性有機物に近く, St. Gでは自生性有機物の方向へ移動している。11月のSt. Dでは他生性有機物に近く, St. Gでは自生性有機物の方向に移動する。結果からダム上流の試料は常に他生性有機物の割合が多い事

が考えられた。一方で, 下流ではダムの影響がありながらも地点によって起源の割合が変化していることが示唆された。堆積性FPOMの起源物質である他生性有機物, 自生性有機物は, 安定同位体比により分類することができ, 主に堆積性FPOMの安定同位体比は, それらの範囲内に分布していることがわかった。そこで, 他生性有機物, 自生性有機物, ダム由来有機物を起源とした混合モデルによる起源推定を行った。

(3) 混合モデルを用いたFPOMの起源解析

図-6に示した試料と各起源物質の安定同位体比 [$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$] (Permil) をもとに, 他生性有機物, 自生性有機物, ダム由来有機物を対象に, 起源の混合割合の推定を行った。表-2に混合モデルで使った起源物質の安定同位体比の値を示し, 解析結果をFPOMにおける試料採取条件別の起源混合割合の経時変化として図-7に示す。なお, モデル解析において起源物質の安定同位体比は, 各試料と同じ月に採取したものを使用し, また, 起源物質の値として, 他生性有機物は落葉, 落枝, 草および土壌由来有機物の各値の平均値を, 自生性有機物は緑藻, 河床生物膜の値の平均値を基本的として使用した。しかし, そのまま使用した場合, 十分な分析精度が得られずモデルが適用できない試料があった。そこで, これらに対しては他の粒径における起源割合や過去の調査を参考に決定した各起源の値を使用した。まず, ダム上流の11月において他生性有機物の土壌由来有機物, 自生性有機物の河床生物膜を使用した。この場合, 全試料の安定同

表-2 起源物質のモデルに用いた安定同位体比 [Permil] (他生性有機物は落葉、落枝、草本および土壌由来有機物の平均、自生性有機物は緑藻、河床生物膜の値の平均を基本的には使用している。一部に例外あり。)

	Upper stream								Down stream							
	May		July		Sep		Nov		May		July		Sep		Nov	
	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
他生	-28.5	-3.1	-28.7	-2.0	-28.4	-3.8	-27.7	-1.6	-28.7	-2.1	-29.1	-1.09	-29.2	-2.7	-29.5	-3.0
自生	-14.8	-2.6	-18.5	-2.5	-16.8	-3.7	-17.8	-4.1	-22.3	1.4	-17.9	-0.5	-20.8	2.3	-26.5	3.9
ダム									-29.1	1.0	-26.8	3.6	-27.8	0.3	-32.9	5.0

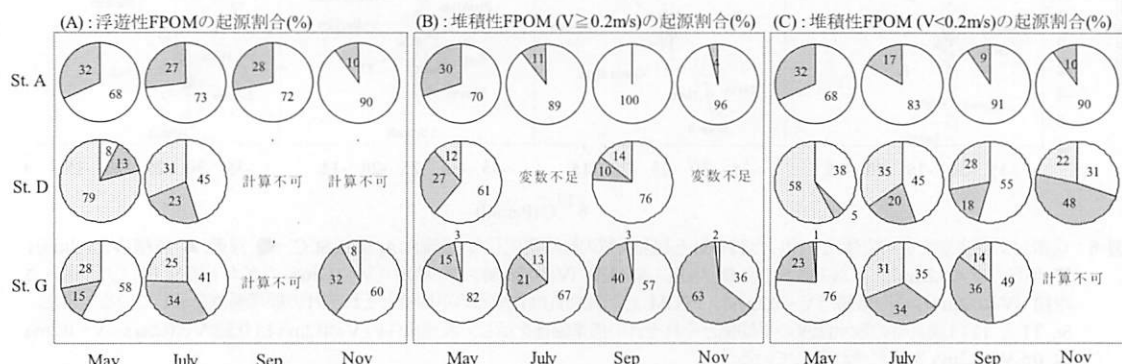


図-7 FPOMにおける試料採取条件別の起源混合割合の経時変化 (□ 他生性有機物, ■ 自生性有機物, ■ ダム由来の有機物。計算不可は、起源物質の適応範囲外で割合の計算ができなかったもの、変数不足は、試料未採取または安定同位体比が検出できなかったものを示している。なお、流速条件の $V \geq 0.2\text{m/s}$ は $0.5 \leq V \leq 0.2\text{m/s}$, $V < 0.2\text{m/s}$ は $0 \leq V < 0.2\text{m/s}$ をそれぞれ示している。)

位体比の値が土壌由来の有機物の付近にあるため他生性有機物の起源物質として適切であると判断し、この値と河床生物膜を用いた時のみ起源の推定が行えたため、河床生物膜を自生性有機物の起源とした。なお、試料の中には起源物質の組み合わせを変えても起源推定が行えないものがいくつかあった (図-7 の計算不可がこれにあたる)。これらについては今回用いた起源物質自体が適切ではない可能性や解析手法が適切でないことも考えられるため、今後検討していく必要がある。

起源推定の結果、ダム上流 (St. A) では調査期間において他生性有機物が優占していた。また、流速 0.2m/s 未満の堆積性 FPOM も他生性有機物が優占していた。ダム下流の St. D では、4 月に浮遊性 FPOM と流速 0.2m/s 未満の堆積性 FPOM でダム由来有機物が優占していたが、その他は他生性有機物が優占していることが多かった。St. G では、11 月の流速 0.2m/s 以上の堆積性 FPOM 以外は、他生性有機物が優占していた。なお、ダムの影響はダム放流口から 3km 程度の地点でも受けているが、河畔からの有機物の流入や河川内生成が上流同様に行われているため、ダム由来の有機物が他の起源に置き換わったと考えられる。

4. おわりに

揖斐川流域の運用開始間もない徳山ダムを対象として、揖斐川上流域の堆積性 POM 動態を明らかにした上で、新設ダムが堆積性 POM 組成とその起源に与える影響を検討した。以下に結果を示す。

- (1) 堆積性および浮遊性 POM では、LPOM が落葉期の影響をより受けやすいことが示唆された。
- (2) 堆積性 POM では、通常期は FPOM が優占しているが、落葉期においては、LPOM が著しく増加する上流と流速 0.2m/s 未満の場合の St. E ~ G で LPOM が優占した。
- (3) 堆積および浮遊性 LPOM では、落葉および落枝のみが採取された。また、堆積性 MPOM では、ダム上流において落葉と他生性有機物が常に優占した。しかし、下流において、落葉期に自生性 POM が増加することで優占した。
- (4) 堆積性 FPOM の CN 比は、9 月における St. A の流速 0.2m/s 以上と 11 月における St. A の流速 0.2m/s 未満の場合を除きダム上下流での変化は小さかった。しかし、浮遊性 FPOM の CN 比はダムの影響で不連続になっていることから、それらが沈降することで、少なからず堆積性 FPOM にも影響があると推測された。
- (5) 堆積性 FPOM の $\delta^{13}\text{C}$ は流速に関係なく、5 月以外でダ

ム上流の St. A より下流の St. D の方が高くなり、St. G においてさらに高くなった。なお、5 月は St. A がもっと高く、他の月と逆の挙動を示した。 $\delta^{15}\text{N}$ は試料によって異なる挙動を示すため、特徴付けが出来なかった。

(6)FPOM は、ダム上下流で常に他生性 POM が優占していた。また、ダム放流口から 3km 程度離れた St.G でもダムの影響を受けているが、河畔からの有機物の流入や河川内生成が上流同様に行われているため、ダム由来の有機物が他の起源に置き換わった。

謝辞：研究はふるさとぎふ再生基金公募事業（岐阜県）の一環として行い、ダム水源調整センターからの助成を受けた。また、独立行政法人水資源機構からのご協力をいただいた。ここに併せて謝意を表す。

参考文献

- 財団法人河川環境管理財団：河川の水質と生態系－新しい河川創出に向けて－ pp.6-9, 技報堂出版, 2007.
- 中村太士：河畔域における森林と河川の相互作用, 日本生態学会誌, vol. 45, pp. 295-300, 1995.
- Gomi T., Sidle R. C. and Richardson J. S.: Understanding processes and downstream linkages of headwater systems, *BioScience*, vol. 52, pp. 905 - 916, 2002.
- Vannote R. L., Minshall G. W., Cummins K.W., Sedell J.R. and Cushing C. E.: The river continuum concept, *Can.J. Fish. Aquat. Sci.*, vol. 37, pp. 130 - 137, 1980.
- Hall Jr R. O., Wallace J. B. and Eggert S. L.: Organic matter flow in stream flood webs with reduced detrital resource base, *Ecology*, vol. 81, pp. 3445 - 3463, 2000.
- 谷田一三：シマトビケラ類幼虫の摂食生態と生態的分化。In 日本昆虫学会誌－すみわけと多様性をめぐって。木元篤弘, 武田博清編, pp. 124 - 132, 東海大学出版会, 1987.
- Hieber M. and Gessner M. O.: Contribution of stream detritivores, fungi, and bacteria to leaf breakdown based on biomass estimates, *Ecology*, vol. 83, pp. 1026 - 1038, 2002.

- Kawaguchi Y., Taniguchi Y. and Nakano S.: Terrestrial invertebrate inputs determine the local abundance of stream fishes in a forested stream, *Ecology*, vol. 84, pp.701 - 708, 2003.
- 香川尚徳：河川連続体で不連続の原因となるダム貯水による水質変化, 応用生態工学, Vol.2, No.2, pp.141-151, 1999.
- 谷田一三, 竹門康弘：ダムが河川の底生動物へ与える影響, 応用生態工学, Vol.2, No.2, pp. 153 - 164, 1999.
- 葛口利貴, 吉村千洋, 小林慎也, 廣岡佳弥子, 李 富生, ダム湖による河川有機物動態の変化が底性動物群集にあたえる影響, 環境工学研究論文集, Vol.47, pp. 401 - 411, 2010
- 小林 慎也, 吉村 千洋, 河井 良友, 葛口 利貴, 李 富生：森林域において河川の粒状有機物動態に及ぼす試験洪水期のダムの影響, 土木学会論文集, Vol. 65, No.4, pp. 237-245, 2009.
- 国土交通省中部地方整備局：木曽川水系河川整備計画, 2007
- 水資源開発公団徳山ダム建設所：徳山ダム周辺の自然環境, 水資源開発公団, 1999.
- 環境庁：第3回自然環境保全基礎調査現存植生図, (財) 日本野生生物研究センター, 1988.
- Thomas S. C. and Malczewski G.: Wood carbon content of tree species in Eastern China: Interspecific variability and the importance of the volatile fraction, *Journal of Environmental Management*, vol. 85 pp. 659 - 662, 2007.
- Lamlo S. H. and Savidge R. A.: A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 25, pp.381 - 388, 2003.
- Hauer F. R., Lamberti G. A.: Methods in stream ecology Second edition, pp. 642 - 645, *Academic Press*, 2007.
- Coplen T. B., Bohlke J. K., De Bièvre P., Ding T., Holden N. E., Hopple, J. A., Krouse H. R., Lambert A., Peiser H. S., Revesz K., Rieder S. E., Rosman K. J. R., Roth E., Taylor P. D. P., Vocke P. D., and Xiao Y. K.: Isotope-abundance variations of selected elements (IUPAC Technical Report), *Pure Appl. Chem.*, Vol. 74, No. 10, pp. 1987 - 2017, 2002.

(2011. 5. 30 受付)

Composition and Origin of Particulate Organic Matter in the Upper-Reach River Sediment of Ibi River and the Impacts of a Newly Constructed Dam

Shinya KOBAYASHI¹, Takaaki NUMATA², Fusheng LI¹, Kayako HIROOKA¹
and Chihiro YOSHIMURA³

¹ River Basin Research Center, Gifu University

² Graduate School of Engineering, Gifu University

³ Department of Civil Engineering, Tokyo Institute of Technology

To investigate the composition of particulate organic matter (POM) in riverbed sediment of forest rivers and the impacts of newly constructed dams, investigations were conducted by targeting on the upper-reach Ibi River, on which the newly constructed Tokuyama Dam has been under operation for about one year. The investigations were conducted from May to November 2009. Analysis of data including the data for the stable isotopes of nitrogen and carbon demonstrated that for the fine particulate organic matter (FPOM) with sizes in 1 μm -1mm in the upper reach sites before the dam and that in the downstream sites after the dam, allochthonous species constituted for a main proportion. For the large particulate organic matter (LPOM) that can be easily distinguished by eyes, the accumulation on the riverbed was found to be increased in the downstream sites after the dam (except for the site immediately beneath the discharge date of the dam) in the litterfall season when the water flow rate at the sites is below 0.2 m/s, and was found to be the dominant fraction of the whole POM.