

13.9 河川を流下する栄養塩類と河川生態系の関係解明に関する研究

研究予算：運営費交付金（治水勘定）

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：水環境研究グループ（河川生態）

研究担当者：天野邦彦、中村圭吾、中西哲、尾嶋百合香、小林草平

【要旨】

本研究では河川の物理環境と流況が物質動態に与える影響の定量化を行うとともに、物理環境と物質動態の関係性を検討する。また、流域レベルでは、河川生態系を支える栄養塩の由来を明らかにすることが生態系を保全する上で重要であるため、安定同位体調査を用いてその由来を明らかにし、河川生態系の保全に資する知見を得ることを目的に実施した。平成 19 年度は、2つの調査を実施した。ひとつは、平成 18 年度に引き続き同じ水質下において河床の動きやすさが物質動態や水生生物に及ぼす影響を明らかにするために、江の川（広島県）の 3 地区（ダム上流、ダム下流の河床が動きやすい河原再生地区、比較的河床が固定されているダム下流の河原再生未実施地区）において河床堆積性有機物および水生生物の差異を比較した。その結果、再生区は攪乱環境にあり、ダム下流でありながら、付着藻類の更新が頻繁に起こっており、活性度が高いことがわかった。しかし、出水の少ない期間が続くとダム下流の環境に近づくことが分かった。つぎに、河川生態系を支える栄養塩の由来に関する調査を豊川（愛知県）において実施した。安定同位体を用いて、水生生物を構成する有機物の由来を調査し、栄養塩を含む物質循環について検討を行った。平成 19 年度は対象を上流まで広げ、年間を通じ水質を測定し流域の土地利用との関係を調べるとともに、安定同位体分析による底生動物の有機物源の推定およびその上下流変異をもとに、上流から下流の間に行われる水中と河床の物質の交換について検討を行った。安定同位体分析にもとづき底生動物のエネルギー源は、上流は陸域有機物、中流は河川内有機物、下流は陸域有機物であることが考えられ、下流へ運ばれる有機物は質的に低いものが相対的に多く含まれている可能性が考えられた。

キーワード：河原再生、江の川、豊川、底生動物、BOM、付着藻類、安定同位体、有機物

1. はじめに

河川生態系は、多様性が高く、生物多様性保全の観点から重要である。物理環境とエネルギー・栄養としての物質動態は河川生態系の特徴を強く規定する。これまで物質動態の問題は、水質汚染、つまり公害として取り扱われ、河川管理者は水質に関する環境基準の達成を目標としていた。しかし、河川環境の保全と整備が目的となった今日においては、環境基準達成のためだけの水質管理でなく、河川生態系保全の観点からの物質動態管理のあり方も求められている。

そこで本研究においては、河川の物理環境が物質動態に与える影響の定量化を行い、その関係性を検討する。さらに、健全な河川生態系を維持しうる環境容量（水質許容値）は、一律ではなく、河川の物理環境により異なると考えられるので、河道特性ごとの河川生態系保全のための水質許容値を設定するための基礎データを作成する。また、流域レベルで

は、河川生態系を支える栄養塩の由来を明らかにすることが生態系を保全する上で重要であるので、安定同位体調査を用いてその由来を明らかにし、河川生態系保全のための流域対策に役立つ知見を得ることを目的に研究を実施する。

平成 19 年度は、主に 2つの調査を実施した。ひとつは、18 年度に引き続き、江の川において河床の動きやすさが物質動態や水生生物に及ぼす影響を明らかにするために、ダム上流、ダム下流の河床が動きやすい河原再生地区、河床が動きにくい河原再生未実施地区において河床堆積性有機物、底生動物、付着藻類の差異を比較し検討した。つぎに、河川生態系を支える栄養塩の由来に関する調査手法を確立するために豊川において上流から下流までの水質と土地利用の関係を調査するとともに、安定同位体を用いて、水生生物を構成する有機物の由来を調査した。

2. 河原再生による物質動態の変化が水生生物に及ぼす影響

2.1 概要

同じような水質の河川においても河川のダイナミクス（地形、流況）により、そこに出現する生態系は異なる。現在の多くの河川は以前よりも環境が安定し、そのために本来の河川生態系が損なわれている。土砂供給が減少し、河川流況が安定するダム下流はその典型的な河川環境であると考えられる。そこで、人為的に河床のダイナミクスを復元した事例として河原再生をとりあげ、河原再生による攪乱環境の復元が、河床堆積性有機物などの物質動態や水生生物に及ぼす影響について検討した。また、自然河道(reference)としてダムの上流区間においても調査を実施した。

2.2 方法

2.2.1 対象地区

調査を実施した江の川は、広島県北広島町にある阿佐山(1218m)に源を発し、土師ダム、三次盆地を経てから、ふたたび山間部を流れ、島根県江津市から海に流れ込む、幹川流路延長 194km、流域面積 3,870km²の中国地方最大の 1 級河川である。調査対象地区は、この江の川の上流部、広島県安芸高田市周辺 (172.4K~190K) である(図-2-1)。

この地区は、昭和 49 年に土師ダム(提体:179K)が完成したことにより、下流河川流量が減少し、流量変動が少なくなった(図-2-2)。その後、河川改修により川幅が拡大し、河床掃流力の減少したこと、河床砂利の採取、人的な樹木利用の減少などの要因により、河道内の河原景観が減少し、その一方で樹林化が進行した。そこで、現地では、河原景観の再生を目標として、平成 18 年 3 月に土師ダム下流の可愛地区(172K 周辺)において中州の切り下げ等により全長 2.3km 区間の河原再生が実施された。

調査区は、以下の 3 地区である(図-2-1)。再生区は河原再生の実施により、直上流の側岸侵食が誘発され、レキが供給され河床の攪乱環境が復元していると考えられる地点である。またダム下流であるため流況は比較的安定している。ダム下流対照区(ダム下対照区)は、再生区から 1km ほど上流で、流況・水質などは同等と考えられる。ここは、ダム下流で流況が安定している上に、河原再生未実施のため河床も比較的安定している本来のダム下流の環境を維持している地点である。ダム上流対照区(ダム上対照区)はダム上流で本来の河道環境に近い流

況と河床ダイナミクスを有すると考えられる。また、下流と異なり、マサ土からなる河床砂も多い。

また、対象地区は平水流量が 4m³/s、平均年最大流量が 400m³/s 程度であるが、1 回目の調査の 2 ヶ月前ほどに既往最大クラスの 1107m³/s の出水があり、大きな攪乱を受けた。その後、調査場所においてはほとんど大きな出水はなく、3 回目の調査の前 7 月中旬に 80m³/s 程度の出水があったのみである。

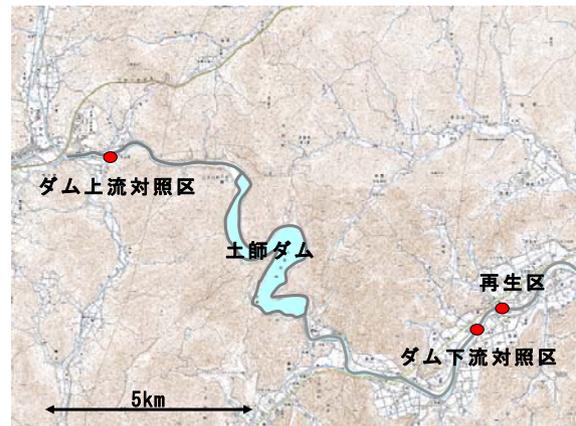


図-2-1 江の川調査場所

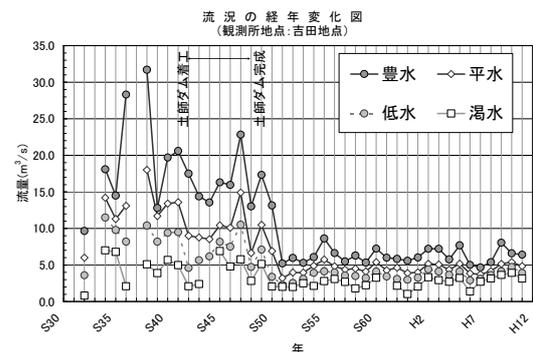


図-2-2 調査地区のダム建設後の流況変化

2.2.2 調査方法

調査は、平成 18 年 11 月 20 日~22 日、平成 19 年 3 月 6 日~7 日、同年 8 月 8 日の 3 回実施した。

a) 物理特性の把握

各標本の採集地点において、水温、水質 (pH、電気伝導度、溶存酸素、濁度、透視度)、水深、流速、礫の状態 (浮石、載り、沈み等) を記録した。また、GPS 測量により、調査箇所 の地形や河床勾配等を記録した。

b) 底生動物及び河床堆積性有機物(BOM)

採集箇所は、上記の 3 地点とし、1 地点につき 4 箇所 (計 12 箇所) において底生動物調査を行った。調査には、コドラート (25×25cm、メッシュサイズ

500 μ m) を用いて、コドラート内のすべての底生動物及び河床堆積性有機物(BOM: Benthic organic matter)を採集した。採集した標本は、その場で固定して持ち帰った。

c) ソーティング・同定

底生動物のソーティングを行い、底生動物と河床堆積性有機物を分別した。底生動物は、同定を行うとともに、種毎の個体数、湿重量を測定した。

d) 河床堆積性有機物(BOM) および強熱減量(AFDM)

底生動物のソーティングを行った残渣を 1000 μ m 目のふるいで選別した。それにより、500~1000 μ m と 1000 μ m 以上の残渣を得て、それぞれの強熱減量(AFDM: Ash Free Dry Mass)を測定した。強熱減量の測定は、60 度で 24 時間、低温乾燥させた後、さらに 550 度で 3 時間の強熱乾燥を行い、この低温乾燥と強熱乾燥の質量差を強熱減量(AFDM)とした。本調査では、500-1000 μ m の残渣から得た強熱減量の値をFBOM (Fine Benthic Organic Matter)、1000 μ m 以上の残渣から得た強熱減量の値を CBOM (Coarse Benthic Organic Matter) として区別した。

e) 付着藻類

1 地点につき 4 箇所(計 12 箇所)の付着藻類調査を行った。1 箇所の調査地点において、底生動物採取位置の近隣に 25cm \times 25cm のコドラートを設置し、その中に存在する河床表面の礫を採取し、採取した礫表面に存在する付着藻類全てをブラシにて、はく離・採取したものを 1 サンプルとした。採取するに当たり、付着藻類が発達していないと思われるレキ底面に付着した砂レキ(昆虫巣など)は取り除いた。

得られた資料を、同定/計数用及び、クロロフィル a/強熱減量測定用に 2 分し、同定/計数用サンプルは 1%ホルマリンで固定した。クロロフィル a/強熱減量測定用サンプルは冷蔵保存した。それぞれのサンプルを持ち帰り、沈殿量、種の同定、種別の細胞数(糸状藻類については糸状体数)、乾燥重量、強熱減量、クロロフィル a、フェオフィチンを測定した。

2.3 結果・考察

2.3.1 物理環境

各地点の平均流速は、80-100cm/s で地点間に有意差はなかった。また、河川勾配は、再生区でやや大きかったが全体で 1/50~100 程度で大きな差はなかった。水温・pH・濁度に大きな差はなく、調査時の水質は同程度であった。礫のサイズは、10cm 前後で、

ダム上下対照区は浮石層が 1~2 層、再生区は 2~3 層程度であった。

2.3.2 底生動物

各季の総確認種数は 71~88 種であった。季節別・地点別の確認種数を表 2-1 に示す。再生区でやや種数が多い傾向があるが、顕著な差は見られなかった。また、一般に言われているように、冬期に種数、密度ともに大きい傾向があった。

優占種は、ダム下流の 2 地点ではアカマダラカゲロウ、コガタシマトビケラが多く、特に再生区ではアシマダラブユ属が多かった。ダム上対照区では、ウルマーシマトビケラ、アカマダラカゲロウ、クダトビケラ属が多く、ダム下対照区とはやや異なる種が優占した。これについては、餌資源や物理環境の差によるものか、流程分布の差によるのかは定かではない。

表 2-1 季節別・地点別確認状況

回数	時期	月	ダム下	再生区	ダム上	総確認種数
1 回	秋季	11	52	52	49	75
2 回	冬季	3	56	64	64	88
3 回	夏季	8	53	56	47	71

種多様性について多様性指数(H')を用いて比較を行ったが、大きな差はなかった。したがって、底生動物の多様性や現存量等の観点からは、これらの地点におけるダムの影響は小さいと考えられる。

河原再生を行った再生区では、レキの滑面を好むアシマダラブユ属やマスダドロムシ属が多く見られた。これは再生区が攪乱環境下であり、付着藻類の更新が頻繁に起きているためと考えられる。アシマダラブユ属の生息密度を図 2-3 に示す。特に 2 回目の調査で有意(scheffe test, P<0.05)に生息密度が高かった。

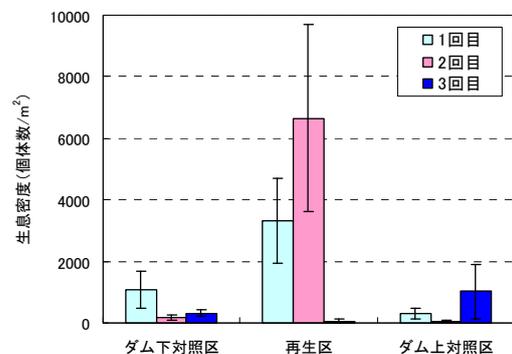


図 2-3 アシマダラブユ属の生息密度

2.3.3 河床堆積性有機物(BOM)

現地における目視観察では、落葉などの大きな河床堆積性有機物である CBOM (coarse benthic organic matter)がダム下対照区と比較して、ダム上対照区で明らかに多い印象を受けた。分析結果も同様であり、ダムの上下流で比較すると、CBOM はダム上対照区で有意に多いことが確認された(図-2-4)。ただし、これによる底生生物への影響は特に観察されなかった。一方、微細な有機物の指標である FBOM (堆積性微細有機物) の地点差はなかった。

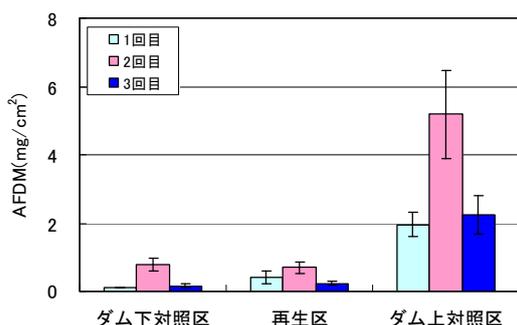


図-2-4 各地区のCBOMの強熱減量(AFDM): ダム上対照区で多く、ダム下対照区で少ない。再生区はその中間となっている(バーは標準誤差)

2.3.4 付着藻類

全体としては、地点ごとに20~30種前後の付着藻類が確認された。平均種数に大きな差はないと考えられるが、3回目の調査においては、ダム下対照区において、ダム上対照区より有意に種数が多かった(図-2-5)。

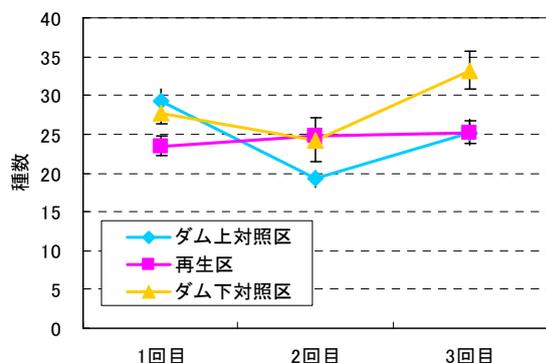


図-2-5 地点別確認種数の変化

優占種については、地点ごとの大きな差はなく、比較的清浄で流れのある環境で一般的によく見られる糸状藻類の *Homoeothrix janthina* や珪藻の

*Achnanthes convergens*などが優占した。

付着藻類の強熱減量(AFDM)の値は、サンプルに占める有機物量(ここでは主に付着藻類の現存量)の指標となる。AFDMは、1回目から3回目の間に徐々に大きくなる傾向があった。これは調査前に既往最大級の出水があり、その後、大きな出水がなかったことが要因と考えられる。AFDMはダム下対照区が最も大きく、ダム下対照区とダム上対照区では有意な差が認められた(Scheffe, $P < 0.01$) (図-2-6)。このことはダム下対照区では他の地点に比べて有機物が多いことを示している。

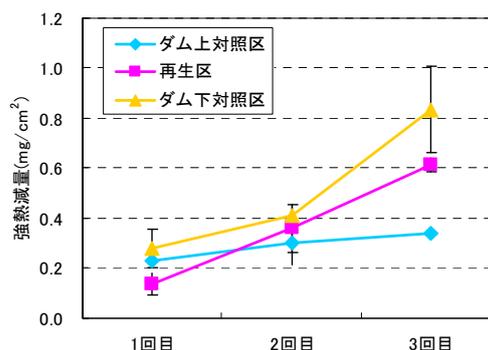


図-2-6 地点別の強熱減量の変化

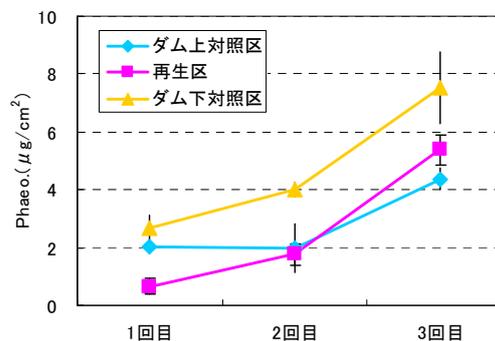
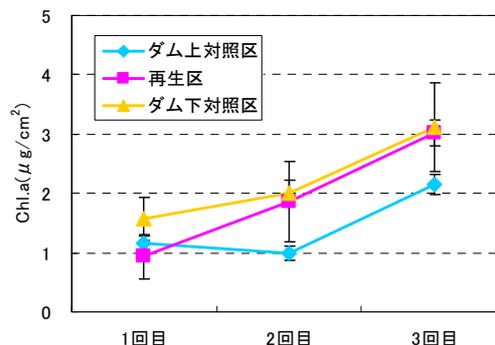


図-2-7 地点別のクロロフィル a (上段) 及びフェオフィチン (下段) の変化

藻類量を示すクロロフィル a と死滅した藻類量を示すフェオフィチンの量を図-2-7に示す。クロロフィル a、フェオフィチンともにダム下対照区が

全般的に大きい傾向があった。クロロフィルaについてダム下対照区はダム上対照区より大きく、再生区は、最初ダム上対照区に近く、時間の経過とともにダム下対照区に近づく傾向があった。しかし、クロロフィルaについては、地点間で有意な差は見られなかった。一方、フェオフィチンについては、2回目の調査において、ダム下対照区はダム上対照区と比較して、有意に大きいことが分かった。また、再生区においては、当初大きな攪乱を受けたため、低い値となったが時間の経過とともに、ダム下対照区と同程度の値となった。

これらのことから再生区は、流況の安定したダム下流にありながら、平均するとダム上流に近い藻類の活性を示したと言える。つまり、比較的質の高い付着藻類を餌資源として供給できるポテンシャルを示したものと言える。しかしながら、図-2-7に示すように流況の安定が続くと、ダム下対照区の環境に近づくことも分かった。したがって、付着藻類の環境という観点からは、河原再生などによって河床地形の攪乱を起こすことによって、ある程度攪乱環境を回復できると考えられるが、それが長期的に維持されるためには、流況による攪乱も不可欠であることを示唆したものと考えられる。

3. 豊川流域における土地利用と水質、底生動物の炭素・窒素源

3.1 概要

河川水に含まれる物質は、水質として河川生物の生息環境を規定するとともに、栄養塩類や有機物は直接的・間接的に生物に取り込まれ生物群集の形成維持に不可欠な物質でもある。したがって、栄養塩類や有機物の増加による水質の悪化はしばしば生物多様性の減少を招くが、逆に水質がきれいすぎる河川で生物生息量や多様性が低いこともめずらしくはない。つまり河川生物は水質の影響を強く受けているが、水質と生物の関係は直線的ではなく、物質濃度の範囲や組み合わせによって様々である。また、河川の水質は陸域からの物質供給とともに河川内の物理・化学・生物的なプロセスによって変化するのであり、水質と生物の関係は一方向の作用のみで決まるものではない。水質と生物の関係は、特に生物が水質に及ぼす影響については未解明な部分が多い。

愛知県豊川において (1) 河川水質に対する周辺土

地利用の影響、(2) 河川生物の生産力を支える有機物の起源、(3) ならびに河川有機物サイクルにおける底生生物の働きを明らかにすることを目的に研究に取り組んでいる。平成18年度は豊川の下流部を中心に炭素・窒素安定同位体分析をもとに河川底生動物群集に取り込まれている炭素・窒素源、河口に到達する流下有機物の炭素源の推定を試みた。平成19年度は対象を上流まで広げ、季節を通して水質を測定し流域の土地利用との関係を調べるとともに、安定同位体分析による底生動物の有機物源の推定およびその上下流変異をもとに、上流から下流にいたるまでの間に行われる水中と河床の物質のやりとりについて検討を行った。

豊川は愛知県東部に位置し、愛知県北設楽郡設楽町の段戸山(標高:1,152m)を源流としている流域面積724km²、幹川流路延長77km、流域内人口約21万人(H7河川現況調査)の一級河川である。設楽町を源流とする寒狭川と宇連川が合流し豊川本川となり新城市、豊川市、豊橋市を通り三河湾へ流れている。河口域はヤマトシジミやアサリ(稚貝)が有名であるが、その生産量は近年劇的に減少しており、河川水質の問題性が指摘されている。豊川の下流では江戸時代から設けられている「霞堤」や昭和40年完成の「放水路」が河道構造の一部となっている。また農地開発に伴う用水路整備のため、大野頭首工や牟呂松原頭首工からの取水は多く、人間による水利用の多い河川である。一方で、水質は一級河川の中でも極めて良好であるとともに、浅瀬や河原が多く存在し、レクリエーションなどの河川利用率は高く、自然環境・親水場提供の観点では河川の機能を十分に果たしている。

3.2 豊川流域の土地利用と上下流の水質

3.2.1 調査内容

豊川の上流から下流への水質変化を把握するため、18地点(本川14地点、支川4地点)で水質調査を行った(図-3-1)。最下流の地点は本川11.8km付近(放水路分岐)であり、最上流の地点は本川70km付近(境川、大名倉川の地点)である。下流から6地点目(合流点下)までは豊川本川、7地点目(長篠橋)から上流は寒狭川にあたる。



図-3-1 調査地点

各地点において2007年3月、5月、8月、10月、11月、12月、2008年2月の計7回、HORIBA-D54を用いて電気伝導度（EC）およびpHの測定を行った。また同時に0.1mmメッシュのフルイを通して河川水を採水ボトル（5L）にとり、直ちに冷蔵保存して分析室に持ち帰った。分析室では採水をガラス製フィルター（Whatman製GF/C、孔径：0.12μm）で濾してフィルター上の粒状有機物重量（強熱減量）を測定するとともに、ろ過水についてBran Luebee社のAACS-IIIを用いて硝酸塩、リン酸塩濃度を測定した。

また、各地点の集水域における土地利用状況を地形データおよび土地利用数値情報から求めた。1/25000の標高データ（国土地理院）をもとにGISソフト（Arc-view version 9.0.1）で水文計算を行い、各地点の集水域を定義しポリゴンを作成した。各ポリゴンに対応する土地数値情報（日本地図センター）を抜き出し、それにもとづき集水域内における田、畑、森林、市街地等の面積割合を算出した。

3.2.2 結果と考察

豊川流域の土地利用分布、および各調査地点の集水域において異なる土地利用タイプが占める割合を図-3-2に示す。豊川流域ではそのほとんどが森林であり、下流の河川沿いは田、畑、市街地によって占められているものの、最下流の場所においても80%以上の面積が森林であった。上流から地点6（合流点下）までは田畑は6%以下、市街地も2%以下であるが、その地点から下流へ田畑と市街地の割合は徐々に増加していた。支川の海老川と巴川では下流地点に匹敵する田畑と市街地の面積割合がみられた。

図-3-3にpH、EC（mS/m）、硝酸塩濃度（mg/L）、

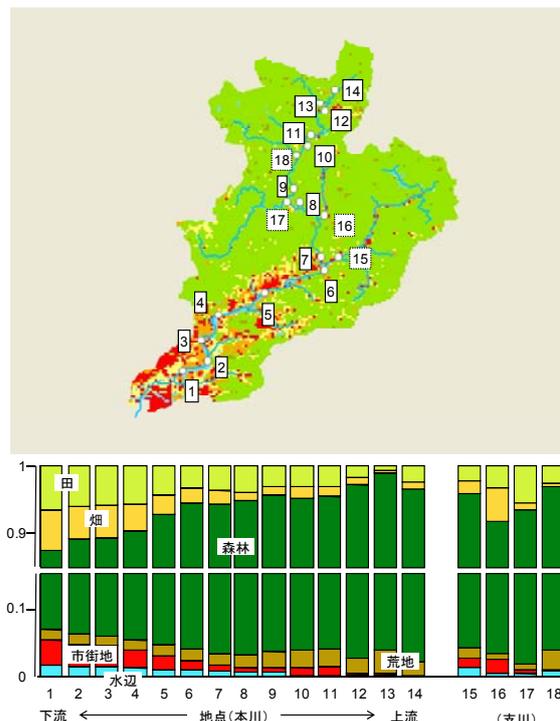


図-3-2 豊川流域の土地利用（縦軸0.15-0.85は省略）

粒状有機物（mg/L）の上下流変位を示す。これらの観測項目において全地点を通じた顕著な季節的傾向は見られなかった。pHは多くの地点において概ね7-8の範囲の値を示したが、下流から地点10（田峯）までは8を超える時期があり、特に牟呂松原頭首工下流に位置する地点4（江島橋）では8以上が多く観測され最高は9を超えた。この地点でpHが高いのは、頭首工におけるプランクトン光合成のはたらき、もしくは河川内光合成のはたらき（この地点では流下物に河川糸状藻類が多く含まれていることが観察されている）が強いからという可能性がある。

ECは地点9（源氏橋）から上流では概ね6 mS/m以下の低い値を示し、それより下流で徐々に増加する傾向がみられた。地点4（江島橋）から下流では調査時期による値の変化が大きく、最下流の放水路分岐では8 mS/m（3月）から18 mS/m（5月）までみられた。硝酸塩もECと同様に地点9から下流へ増加していたが、地点5（新城橋）から下流では増加の程度が大きかった。支川の黄柳合流下ではEC、硝酸塩濃度とも本川最下流点に匹敵する高い値がみられ、また海老川や巴川でも近隣の本川地点に比べて高い傾向にあった。

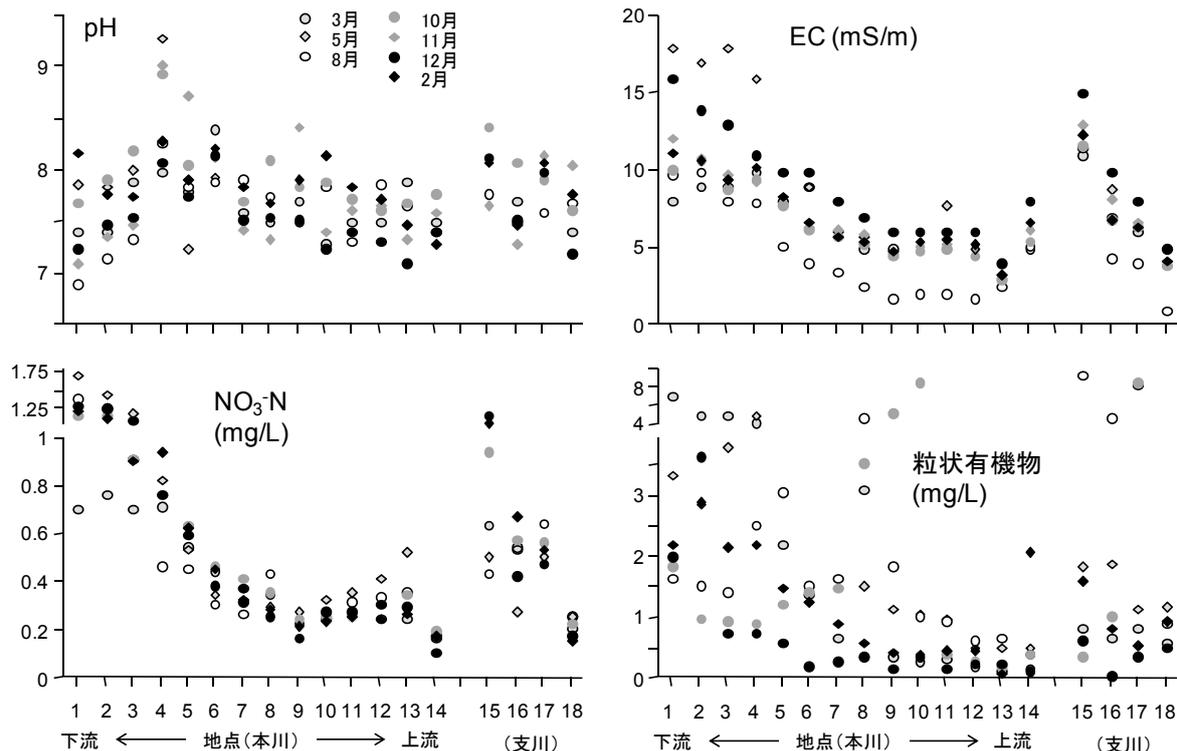


図-3-3 豊川の水質特性

このように下流への土地利用の変化と EC・硝酸塩濃度の変化は概ね一致するものであったが、細かく見ると値が高まる地点や増加の程度において土地利用からは説明出来ない部分もあった。地点9から下流への EC・硝酸塩濃度の増加には、海老川や巴川など高い値を示す特定の河川の流入が関わっていることが考えられる。黄柳合流下では、田畑・市街地の面積的には小さいものの上流の畜産場の存在が水質に大きく影響していると考えられる。また、流域に占める森林の割合は高いが下流では河川周辺に田畑や市街地が集中しており、河川の水質を予測する上で、河川の距離に応じた陸域の影響度を明らかにすることが今後必要であると思われる。

粒状有機物濃度は最上流 3 地点で最も低く 0.5 g/L 以下の場合が多かった。地点5 (新城橋) から下流の地点では 1.5 g/L 以上の高い値を示す場合が多かった。また、特に下流地点では調査日による濃度の変異が大きく、正確な上下流パターンを知るにはより短期間隔で調べていく必要がある。

3.3 豊川の水温特性

3.3.1 調査内容

上述の18地点のなかの7地点において水温の連続観測を行った。各7地点において増水時に流されにくくかつ干上がらないような場所 (多くの場合淵) を選び防水性の水温ロガー (StowAway Tidbit Data Loggers、Onset Computer Application 社製、精度 ±0.2 °C) を設置した。ロガーは川岸の樹木や岩へワイヤーでつなぎ止め、増水時の紛失を少なくする処置をほどこした。また地点によっては、ロガーの

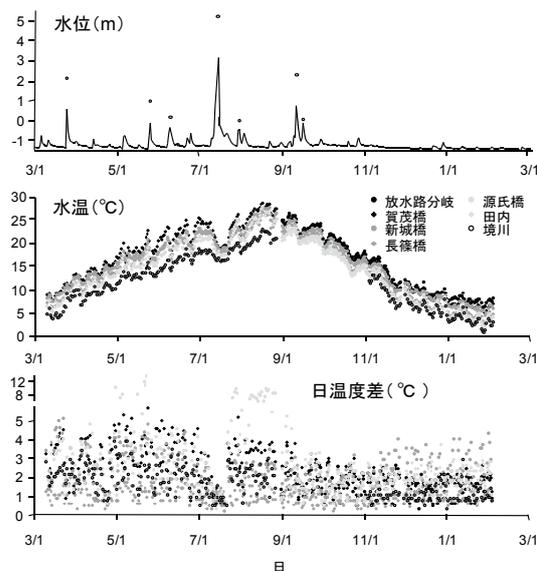


図-3-4 豊川の水温特性

上に石を数個載せて人目につかないようにした。データは2007年3月から2008年2月まで1時間間隔で記録した。上述した処置をとったものの、5月や7月の出水時に数地点でロガーが流されたり陸上に打ち上げられたりした。またワイヤーが鋭利な刃物で切断され、データが回収できないロガーもあった。

3.3.2 結果と考察

水温観測時の水位変動として地点1（放水路分岐点）付近の当古で観測された水位（豊橋河川事務所、日平均）を図-3-4に示す。3月から9月まで1mを越す出水が各月1回程度みられ、4mを越した7月の出水が最大であった。どの地点においても出水時には水温が低下する傾向が見られ、特に7月出水時には1週間に渡って前後よりも低い水温が続いた。概ね8月中旬に温度のピークがあり、地点3（賀茂橋）では28℃に達した。2月の温度が最も低く、最上流点（境川）で1℃、最下流点でも6℃であった。上下流地点の温度差は季節により異なった。5-8月は下流と上流の温度差が6-8℃の日が多かったが、9-11月は4℃未満の日が多かった。

図-3-4には各地点の日温度差も示してある。地点9（源氏橋）で5、7、8月に5℃より高い値を示しているのは、増水によりロガーが水中外に出たためである。日温度差は必ずしも下流ほど大きいということはなく、地点7（長篠橋）では一年を通して日温度差が2℃以下が保たれ、また9月以降では地点5（新城橋）や地点11（田内）で下流地点よりも高い日温度差がみられた。地点7は峡谷部の区間にあたり、谷が深く日射量が抑えられていることが日温度差の低い理由の1つと考えられる。

3.4 豊川底生動物の炭素・窒素源

3.4.1 調査内容

2007年3月および8月に上述18地点において底生動物およびそれらの餌資源である付着藻類、流下有機物の採集を行った。底生動物は各地点の瀬において多く見られる5-10の分類群をそれぞれ3-5個体採取した（底生動物種による食性の違いを考慮し、付着物食者、ろ過食者、捕食者の種類を含むように採取した）。付着藻類は瀬のなかから選んだ3つの礫（粒径10-20cm）の表面をブラシで擦り採集した。流下有機物は流れの中に5-10分間設置したプランクトンネット（孔径：0.1mm）で捕捉された有機物

である。これらのサンプルは直ちに冷凍保存し分析室に持ち帰った。炭素及び窒素の安定同位体比（ $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ ）は元素分析計（Thermo Electron社製、Flash EA）を前処理装置として接続した安定同位体比測定用質量分析装置（Thermo Electron社製、Delta PlusXL）を用いて測定した。同位体の分析に先立ち、底生動物は胃内容物を除去し、また流下有機物は相対的に量の多い100-250 μm の粒径を分離し分析に用いた。

3.4.2 結果と考察

$\delta^{13}\text{C}$ の値は多くの地点で流下有機物が最も低く、次いで底生動物、付着物が最も高かった（図-3-5）。底生動物は流下有機物を餌資源とするろ過食者が低く、付着物食者が高く、捕食者はそれらの中間に位置する傾向にあった。上下流の違いに注目すると、底生動物と流下有機物において、最下流地点（放水路分岐）から上流へ徐々に高くなり、地点9-11（源氏橋、田峯、田内）でピークとなり、それより上流では低くなる傾向がみられた。付着物は隣接した地点間で大きく異なる場合がみられるものの、概ね底生動物や流下有機物に見られる上下流変異を示した。底生動物の $\delta^{13}\text{C}$ は上流地点では付着藻類に近い値であるが、下流地点では流下有機物の値に近づき、流下有機物を下回るろ過食者もみられた。

$\delta^{15}\text{N}$ は多くの地点において、流下有機物が最も低い値を示したが、底生動物と付着物の間に一定した関係は見られなかった。底生動物のなかでは付着物食者が最も低く、ろ過食者、捕食者の順に高い傾向にあった。上下流の変異に注目すると、3月において、底生動物と流下有機物において最下流地点から上流へ徐々に低くなり、地点8（布里）付近で最も低くなり、そこから上流へは高くなるが最上流地点ではまた低くなる傾向がみられた。8月は3月に比べて上下流変異が小さいが、3月と同じような上下流パターンがみられた。

CN比はほとんどの地点において底生動物が最も低く、付着物は比較的底生動物に近い値を示すが、流下有機物はかけ離れた値を示した。CN比についてははっきりとした上下流変異パターンは見られなかった。

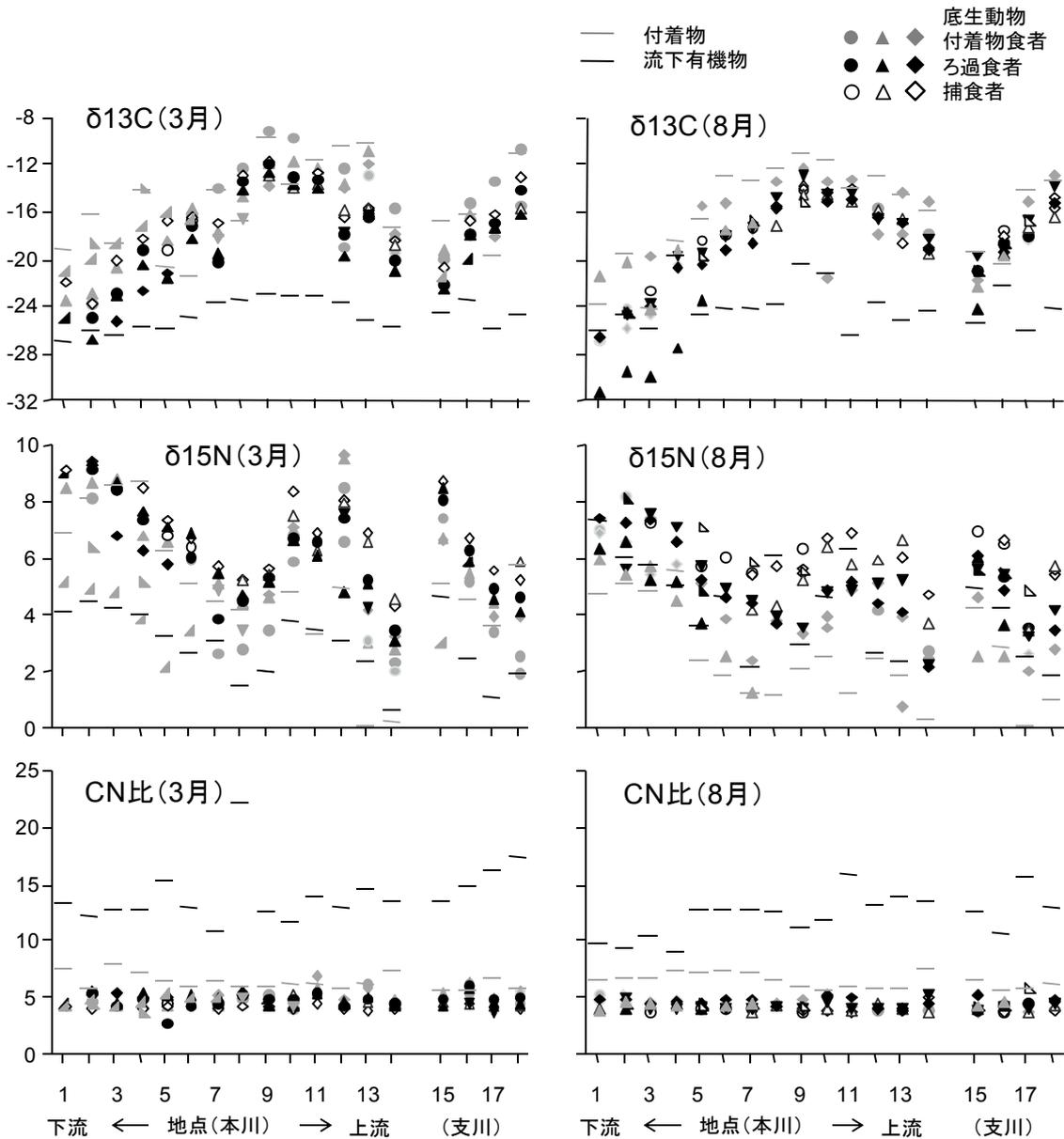


図-3-5 安定同位体、CN比の上下流変異

$\delta^{13}\text{C}$ の空間的変位は、大まかに自生性有機物（河川内生産有機物）と他地性有機物（陸域生産物）の相対的重要性を示していると考えられている。この観点で底生動物の炭素源を解釈すると、最上流から中流へは陸域由来から河川内由来の有機物へと変化しているが、さらに下流へ進むと逆に河川内由来から陸域の有機物へと変化していることになる。最上流部では河道が樹冠で覆われ落葉など陸上有機物の供給が多いのに対し、樹冠がなくなる下流では河床の日射量とともに付着藻類の生産力が増加し、 $\delta^{13}\text{C}$ が高くなることは、一般に知られるパターンである。これに対し、下流のある地点からさらに下流へいくと逆に $\delta^{13}\text{C}$ が低くなるという報告はあまりない。

しかし、河口における研究では河川からの流入有機物は $\delta^{13}\text{C}$ が低いことを示す研究が見られることから、河川最下流で $\delta^{13}\text{C}$ が低くなることは珍しいことではないものと思われる。

河川上下流方向の生態系特性の変化においてしばしば取り上げられる河川連続体仮説⁶⁾では、森林に覆われている最上流では落葉などの陸域有機物、樹冠がなくなる中流では河床生産物が、下流では上流から流れてくる有機物が底生動物のエネルギー源として重要となることを予測している。しかし上流から流れてくる有機物が陸域由来なのか河川由来なのかは言及していない。豊川の downstream 地点において陸域の有機物が多くなっているとすると、その由来は

①河川を通して運ばれてきた上流からの陸域有機物、②河畔など河川横方向の陸域有機物、または③支川からの人為汚濁物質が考えられる。②の横方向の供給が大きいことは考えにくい。また、人為汚濁の大きなところで $\delta^{15}\text{N}$ が高いことは一般に知られているが $\delta^{13}\text{C}$ が低いという報告はない。どの地点においても流下有機物の $\delta^{13}\text{C}$ は付着物のそれより低く、流下有機物には絶えず陸域の有機物が多く含まれているものと考えられる。一般に陸域より河川内由来の有機物の方がCN比は低く、生物の食物としての質が高いと考えられる。中流において質の高い河川由来の有機物が選択的に消費され、生物にとって餌資源とならない質的に低い陸生有機物が下流に行くほど相対的に多くなり、下流においてそれらが徐々に蓄積している可能性が考えられる。河川を通過していく中で栄養塩や有機物の質がどのように変化しているかを明らかにしていくうえで、下流で低い $\delta^{13}\text{C}$ を示す有機物源の特定に加えて、河川生物の利用による有機物量・質の変化を今後評価していく必要がある。

4. まとめ

4.1 河原再生による物質動態の変化が水生生物に及ぼす影響

江の川（広島県）の3地区（ダム上流、ダム下流の河床が動きやすい河原再生地区、比較的河床が固定されているダム下流の河原再生未実施地区）において河床堆積性有機物および水生生物の差異を比較した。その結果、再生区は攪乱環境にあり、ダム下流でありながら、付着藻類の更新が頻繁に起こっており、活性度が高いことがわかった。しかしながら、出水の少ない期間が続くとダム下流の環境に近づくことが分かった。

4.2 豊川流域における土地利用と水質、底生動物の炭素・窒素源

愛知県豊川において源流から河口付近までを含む地点において土地利用、水質、水温特性を調べ、安定同位体に基づき底生動物のエネルギー源の検討を行った。集水域における田畑や市街地の面積割合の高い下流地点ほどECや硝酸態窒素濃度が高い傾向にあったが、細かく見ると集水域を単位とする土地利用からは説明できない部分もあった。安定同位体分析にもとづき底生動物のエネルギー源は、上流は陸域有機物、中流は河川内有機物、下流は陸域有機物であることが考えられた。河川において質の高い有機物は比較的すぐに消費され、下流へ運ばれる有機物は質的に低いものが相対的に多く含まれている可能性が考えられた。

参考文献

- 1) Cardinale BJ, Palmer MA, Sawan CM, Brooks S and Poff NL: The influence of substrate heterogeneity on biofilm metabolism in a stream ecosystem, *Ecology* 83(2), pp.412-422, 2002.
- 2) Allan JD: Stream ecology structure, Kluwer Academic Publishers, 1995.
- 3) 柴谷篤弘、谷田一三：日本の水生昆虫、種分化とすみわけをめぐって、東海大学出版会、1989.
- 4) ダム水源環境整備センター：第10回水源生態研究セミナー講演集、pp.125-149、2008.
- 5) 南川雅男・吉岡崇仁：生物地球化学、培風館、2006.
- 6) Vannote RL, Minshall WG, Cummins KW, Sedell JR, Cushing CE: The river continuum concept, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37, pp.130-137, 1980.

STUDY ON THE RELATIONSHIP BETWEEN RIVER ECOSYSTEM AND MATERIAL CYCLING IN A RIVER

This river study focuses on the quantitative evaluation of the influence of physical condition to river ecosystem through the nutrient or material cycling. In the Gonokawa River, the effect of gravel-bed restoration at the downstream of the dam was studied. We elucidated that gravel-bed restoration stimulates the disturbance of riverbed and activates the attached algae, i.e. supplies better food source; however the activation does not last if stable flow regime continue for a long time. Thus, gravel-bed restoration has a potential to activate river bed even in the downstream of dam, yet the flow fluctuation is also necessary to sustain the activity. In the Toyo River, we investigated that how land use affect water quality from the source to river mouth, and which nutrient and organic sources support the river ecosystem with stable isotope method. We found that the energy of macroinvertebrates derives from terrestrial organic matter in the upstream, potamic organic matter in the middle stream and terrestrial organic matter in the downstream. Our results also exhibited the possibility that organic matter in the downstream relatively contains low-quality organic matter.

Key words: gravel-bed river restoration, the Gonokawa River, the Toyo River, macro invertebrates, BOM, attached algae, stable isotope, GIS, landuse, organic matter