

I-11-2 河川環境の保全と復元に向けての河床環境の指標化に関する研究②

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平14～平17

担当チーム：自然共生研究センター

研究担当者：萱場祐一、皆川朋子

【要旨】

本研究では河床が河川環境における生態的役割が大きいことを鑑み、様々な人為的影響により劣化している河床環境の実態を把握し、この劣化の程度を指標化する試みを行う。研究ではダム下流の河床を対象とし、河床形状及び底質の変化に関する実態把握を行うとともに、特に、底質の変化が底生動物に与える影響を中心に環境解析を行った。この結果、底質における砂分の減少と巨礫の出現が特定の底生動物の種群に影響を与えていることが示唆された。また、これらの種群が底質の変化を示す指標種となりうることを示した。

キーワード：河川環境、河床、粗粒化、底生動物、ダム

1. はじめに

河川における人為的な改変は、生息場所構造の変化をとおして、あるいは物質の移動パターンを変化させることで、河川性生物相に影響を及ぼす⁽¹⁾。河床は河道内において河川性生物、特に底生動物の重要な生息場であり、人為的インパクトに伴う河床環境の変化と河川性生物に及ぼすレスポンスを把握することは重要な課題である。本研究では河床環境の変化と底生動物群集との関係を明らかにするため、ダム上下流及びダム下流河川に流入する支川を対象として検討を行う。ダム下流は上流からの土砂供給量が減少し、河床の粗粒化が生じている場合が多い、従って、上下流及び支川間においては多様な河床環境が見られ、河床環境傾度と底生動物群集との対応関係を見る上で都合が良い。また、検討を通じて河床環境の変化、特に、粗粒化を表現する指標種の抽出を行う。

2. 研究方法

調査は、本州中央部を流れ、伊勢湾に流れ込む矢作川（幹川流路延長 117 km、流域面積 1830 km²）の上流部（河口より 78 km 地点、海拔約 200 m）に位置する矢作第二ダム（35°14'N, 137°25'E）周辺で行った（図 1）。流域の周辺地質は両雲母花崗岩であり、矢作川は土砂が河川に供給されやすい砂河川である⁽²⁾。調査地の上流端に位置する矢作第二ダムは発電を目的とした重力式コンクリートダム（堤高 38 m、竣工 1970 年）である。このダムの直上流部には洪水調節、

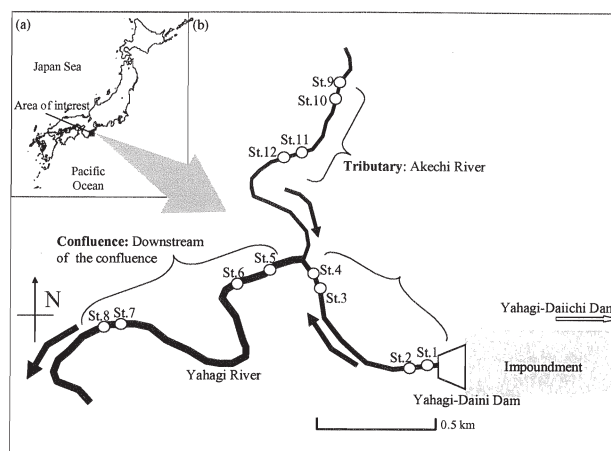


図 1 調査河川及び地点位置図

かんがい、水道用水の供給および発電を目的としたアーチ式コンクリートダムである矢作第一ダム（堤高 100 m、灌水面積 2.7 km²、集水面積 504.5 km²、竣工 1970 年）が位置する。調査区はこれらのダム下流部約 0.8 km 区間（ダム直下: Dam）、支川である明智川（集水面積 89.5 km²）下流部の約 0.5 km 区間（支川: Tributary）、および明智川が矢作川に流入する合流点の下流約 1.2 km 区間（合流点下流: Confluence）の 3 つを設定した。各調査区の河床形態には明瞭な瀬淵構造が見られたが、平均河床勾配、水深および流速といった物理環境要素を揃えるため、調査対象サイトは、早瀬（low gradient riffle⁽³⁾）に限定し（河川縦断方向に約 30 m、水面幅約 10 m: Table I）、各調査区からそれぞれ 4 サイト、計 12 の調査サイトを設け

表1 TWINSPANによる分類結果

| Sample Group | Tributary | Confluence | Dam2 | Dam1 | Level of Division |
|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|---------|---------------------------|-------------------|
| Site Number | 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 | 7 7 8 6 8 8 5 5 7 6 6 7 5 5 6 | 3 4 4 4 | 1 1 1 2 2 1 2 3 3 2 3 4 | 2 1 |
| Sample Code | a a e c e b b a b d c a d d d d d | c d a c b e c d a a d b a b b | b a b e | a b d a b e c c e d d a d | Taxa Group |
| Name of Taxa | | | | | |
| <i>Drumella basalis</i> | 6 8 6 - - 7 6 7 6 6 7 6 5 8 7 6 - | 7 7 5 7 - 7 7 7 7 7 6 6 6 7 8 | - - - - | - - - - - - - - - - - - | T1 |
| <i>Rhithrogena</i> sp. | 5 5 - 5 5 6 2 5 5 5 6 6 5 8 8 5 5 | 5 3 5 5 2 - - - - - - - - - - | - - - - | - - - - - - - - 1 - 2 - - | |
| <i>Glossosoma</i> sp. | 8 7 7 7 7 8 7 8 7 7 8 8 8 7 7 7 7 | 8 8 8 8 7 7 7 7 8 7 7 7 7 7 7 | 5 - - - | - - - - - - - - - - - 1 - | |
| <i>Kaminuria tibialis</i> | 7 7 - 7 6 6 7 7 7 7 8 7 6 6 7 - | 7 7 7 6 7 7 7 - 7 7 6 7 7 8 7 | 7 6 - - | - - - - - - - - - - - 6 - | |
| <i>Hydropsyche setensis</i> | 6 8 5 7 6 6 6 6 5 8 - 6 5 8 8 8 8 | 8 7 8 8 6 7 6 7 6 7 8 6 8 7 | 6 8 - - | - 5 5 5 8 8 - - - - - - | |
| <i>Stenopsyche sauteri</i> | - - - - - - - - - 5 - 7 7 7 7 | 8 8 8 8 7 7 7 8 8 8 7 7 7 7 8 | 7 6 8 7 | 7 - - - - - - - - - - - 8 | |
| <i>Epeorus ikanonis</i> | 7 7 - 7 6 8 8 8 8 8 7 7 7 8 7 8 8 | 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 - - - 7 | 7 7 7 6 | 7 - 8 7 7 8 - - - - - - | T2 |
| <i>Epeorus latifolium</i> | 6 6 - 5 5 8 5 8 5 5 8 8 6 6 5 5 5 | 6 6 6 5 5 6 6 7 7 7 6 7 7 8 6 | 5 8 6 5 | 8 - - 5 8 6 8 - - - - - - | |
| <i>Tvetenia</i> sp. | 5 5 5 5 5 - 2 6 5 8 5 5 5 5 5 5 5 | - 8 8 8 3 5 5 8 6 6 - - - - | 5 5 4 5 | 5 3 4 - 5 - - 3 - - - - | |
| <i>Uracanthella punctisetata</i> | 5 5 - 5 3 5 6 5 5 5 5 5 5 8 6 5 5 | 7 7 7 7 8 7 8 7 7 7 8 7 7 7 6 | 7 6 8 4 | 5 6 5 - 8 6 - 1 - - 8 5 | |
| <i>Baetiella japonica</i> | 5 5 5 5 5 6 6 6 5 8 5 5 5 8 8 8 8 | 5 4 5 6 5 5 4 4 5 3 6 5 5 8 4 | 7 7 8 5 | 8 4 5 - 5 6 3 1 6 8 8 4 | |
| <i>Stavosolus</i> sp. | 7 7 - 6 5 8 6 6 6 6 6 7 - 7 6 6 - | 7 7 7 7 6 7 7 7 7 7 7 7 6 7 | 8 6 6 - | 6 5 5 6 - 6 6 - 6 6 - - | |
| <i>Hydropsyche orientalis</i> | 7 7 6 6 6 7 7 7 7 6 7 7 7 7 7 7 | 7 7 7 7 7 8 7 7 7 6 7 7 7 7 7 | 8 8 8 7 | 8 7 7 7 7 8 7 7 7 7 8 - | |
| <i>Baetis thermicus</i> | 6 8 6 6 5 7 6 7 6 8 7 7 8 8 8 8 6 | 7 7 6 7 6 8 5 6 6 8 6 - - - - | 5 8 8 6 | 7 5 8 5 6 5 6 5 8 6 5 6 5 | T3 |
| <i>Antocha</i> sp. | 6 8 6 5 5 8 5 8 8 8 6 5 5 8 6 6 5 | 7 8 7 7 6 7 7 7 8 7 7 7 6 6 8 | 8 7 3 7 | 8 8 7 8 8 8 8 8 8 8 7 5 | |
| Orthocladiinae | 5 5 5 5 5 4 2 5 4 5 4 3 5 5 5 6 6 | 5 5 5 - 8 2 5 - 8 7 5 6 6 7 5 | 5 5 5 5 | 5 8 6 5 4 4 5 5 5 5 5 8 | |
| <i>Simulium</i> sp. | 3 3 - 5 5 7 1 5 6 2 5 5 8 6 8 6 | 5 5 5 6 6 6 8 5 4 - 5 4 - 3 5 | 8 8 6 7 | 7 2 6 6 6 6 6 5 7 6 7 5 | |
| <i>Isopychia japonica</i> | 2 2 8 - 5 - - - 6 6 5 - 8 8 - - 8 | 6 6 8 6 5 7 8 5 6 8 8 7 8 8 7 | 6 8 7 7 | 7 6 - 6 7 7 - - - 1 0 1 | |
| <i>Cheumatopsyche</i> sp. | 5 5 6 5 5 - - 5 - 5 - 5 4 5 6 5 6 | 6 6 7 6 6 7 6 7 6 7 6 6 6 6 6 | 7 7 6 7 | 7 7 8 6 7 7 6 4 7 7 7 5 | |
| <i>Stenopsyche marmorata</i> | 8 7 7 7 - 7 - 7 7 7 7 3 6 7 6 7 7 | 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 | 8 8 8 7 | 8 7 7 8 7 8 8 7 8 8 8 7 | |
| Tanyptodinae | 2 3 4 4 2 4 2 4 1 3 3 4 5 4 3 5 3 | 5 5 5 5 4 5 4 4 6 5 5 5 6 5 5 | 5 5 5 5 | 4 6 5 5 5 - 5 3 5 5 5 6 | |
| <i>Baetis sahoensis</i> | 1 1 - 6 1 - - 2 4 3 - - - - 3 - | 4 4 - - 1 1 1 - 5 5 - 5 5 - 7 | - 6 3 5 | 5 6 7 4 2 6 5 5 - 5 5 6 | T4 |
| <i>Hydroptila</i> sp. | - - - - - - - - - - - - - - - | 3 8 - - - - 1 - 4 2 - - - 8 | 5 5 5 4 | 5 6 6 6 5 5 5 5 5 5 4 4 | T4 |

た。調査はダムからの放流量が比較的少なく流量の安定した低水期である冬季に実施した。

1)物理環境計測

底生動物のサンプリングに先立って、サンプリング箇所物理環境として流速、水深、および河床材料組成を計測した。流速は調査地点の 50×50cm コドラートの四隅と中心の5点で 6割水深における流速を計測した。水深は流速を計測した地点と同じ5地点で計測した。河床材料組成は底質を 1: 砂 (sand, <2 mm), 2: 小礫 (gravel, 2-16 mm), 3: 中礫 (pebble, 17-64 mm), 4: 大礫 (cobble, 65-256 mm), 5: 巨礫 (Boulder, >256 mm)の5段階の順位変数で評価し、順位変数ごとの割合を記録した。河床を流下する掃流砂は、各調査区間のそれぞれ2地点に3基の流下土砂トラップを5時間設置した。算出した

2)流下有機物の採取

流下 POM (Particulate Organic Matter: 粒状有機物)を採取するため、ドリフトネット (開口 25×25 cm, メッシュサイズ 250 μm, 長さ 0.8m)を掃流砂の採取と同一地点に3つ設置し、15分間流下物を採取し、流下物中の FPOM (Fine Particulate Organic Matter: 0.5mm 以上 1 mm 未満の粒状有機物) および CPOM

(Coarse Particulate Organic matter: 1 mm 以上の粒状有機物)の強熱減量 (Ash Free Dry Mass: mg)をそれぞれ算出した。

3)付着藻類の採集

河床材料の上面の付着物を、ナイロンブラシを用いて5×5 cmの範囲で 1サイト3サンプルずつ計36サンプル採取し、Lorenzen⁽⁴⁾の方法でクロロフィル a量を算出した。

3)底生動物および堆積有機物の採取

物理環境を計測した後、底生動物を採取するため、調査地点にサーバーサンプラー (50×50 cm, メッシュサイズ 500 μm)を設置し深さ 10 cm までの河床材料を採取し、底生動物と有機物を拾い上げ、各サンプルの底生動物は可能な限り種レベルまで同定し、タクサごとに湿重量を最小目盛り 0.1 mg で計量した。有機物サンプル中には、細かい土砂が混在していたため、FPOM および CPOM の強熱減量 (mg m⁻²) を算出した。

4)データ解析

種組成が似通ったサンプルおよび出現傾向が似通ったタクサを明らかにするために、タクサごとの現存量を分類変数とした TWINSPAN により、サン

ルとタクサを分類した。TWISAPN での分割は、サンプルの分割が調査区に対応するかどうかを確かめることを目的としたため、ダム直下、合流点下流、および支川の3つに大まかに分けられた時点で終了した。さらに、底生動物と環境要因との関連性を調べるために、CCA (Canonical Correspondence Analysis: 正準対応分析)を行った。底生動物は上記 23 タクサの各現存量を対象にした。

3. 研究結果

TWINSpan によりサンプルとタクサを分類した結果、各サンプルは調査区に応じて明瞭に分割された。サンプルは最初の分割でダム直下のサンプル群とその他の調査区のサンプル群とははっきりと二分された(表1)。そして次の分割では、合流点下流のものと支川のものに分割された。合流点下流のサンプルでありながら、支川のサンプル群に分類されたものが1サンプルあったが、残り47サンプルにおいては調査区に応じてサンプルは分割された。また、タクサはカミムラカワゲラ (*Kamimura tibialis*)、ヤマトビケラ属 (*Glossosoma* sp.)などダム直下で現存量が著しく小さかったタクサ群 T1、ナミヒラタカゲロウ (*Eperous ikanonis*)、アミメカワゲラ属 (*Stavsolus* sp.)といったダム直下で現存量が小さいタクサ群 T2、ウスバヒゲガガンボ属 (*Antocha* sp.)、コガタシマトビケラ属 (*Cheumatopsyche* sp.)などダム直下で現存量が大きいタクサ群 T3、およびサホコカゲロウ (*Baetis sahoensis*)、ヒメトビケラ属 (*Hydroptila* sp.)の2タクサで構成されるダム直下で著しく現存量が小さかったタクサ群 T4 に分割された。また、最初の分割ではヤマトビケラ属、次の分割ではチャバネヒゲナガカワトビケラ (*Stenopsyche sauteri*)が、それぞれ Indicator Species として挙げられた。

底生動物データと環境要因データを用いた CCA の結果から、河床材料の粒度組成、掃流砂量、流下動物プランクトン量および堆積 FPOM 量が各調査区の物理環境の違いを説明する主な因子であることがわかった(図2)。第一軸は巨礫の割合および流下動物プランクトン量と正の相関、また砂の割合、小礫の割合、大礫の割合、および掃流砂量との負の相関がそれぞれ強かった。また、第二軸は堆積 FPOM と正の相関を示した。タクサに関しては、ウスバヒゲガガンボ属 (*Antocha* sp.)やアシマダラブユ属 (*Simulium* sp.)などの固着型⁽⁵⁾のタクサはダム直下と同じ領域にプロットされ、巨礫の割合との対応関係

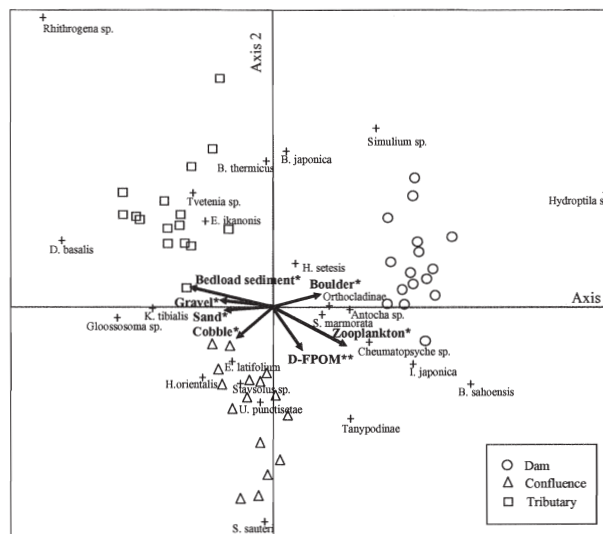


図2 CCAによる解析結果

が見られた (Table IV)。ヒゲナガカワトビケラ (*Stenopsyche marmorata*)、ウルマーシマトビケラ (*Hydropsyche orientalis*)、およびコガタシマトビケラ属 (*Cheumatopsyche* sp.)といった濾過食者もダム直下と同じ領域にプロットされた。一方、ヤマトビケラ属 (*Glossosoma* sp.)、ナミヒラタカゲロウ (*Eperous ikanonis*)、およびカミムラカワゲラ (*Kamimura tibialis*)は支川と同じ領域にプロットされた。

4. 考察

本調査よりダム直下、合流点下流、および支川の底生動物の群集組成を比較した結果、ダム直下には特異な底生動物群集が形成されていることが示された。TWINSpan によりサンプルとタクサを分類した結果、最初の分割でダム直下のサンプルとそれ以外のサンプルとがはっきり別れ、合流点下流の底生動物群集がダム直下のものより支川のものに類似していることが明らかになった。各サンプルはほぼ調査区に対応した分割のされ方をしており、底生動物群集が各調査区で特徴的であることがわかった。

底生動物データと環境要因データを用いた CCA の結果から、河床材料の粒度組成の違いが調査区間の生物相の違いを説明する因子の一つであることがわかった。各調査区は一軸に対応して明瞭に分離され、ダム直下のサンプルは正の領域、合流点下流のサンプルは中央部、および支川のサンプルは負の領域にプロットされた。一軸の固有値は他の軸の値よりも著しく大きいため、一軸との強い相関関係にあ

る河床材料組成は各サイトの底生動物群集に強く影響を及ぼす環境因子であると考えられる。TWINSpanによる解析でダム直下と支川および合流点下流との底生動物群集の違いを代表するIndicator speciesとされたヤマトビケラ属はCCAの結果から砂の割合との関係が強いものと推測される。この属は河床表面の砂を口から吐いた絹糸で固め巣とする携巢型種であり⁽⁵⁾、河床の礫表面に生息し、礫表面上の付着藻類を摂食する⁽⁶⁾。この属はダム直下ではほとんど確認されず、合流点下流および支川において現存量が大きかった。ダム直下には河床表面に砂が確認されておらず、生息場所である河床表層に砂が存在しないという状況がヤマトビケラ属の定着を阻害している可能性がある。ダム下流においてヤマトビケラ属が出現しにくいということはMarchant and Hehir⁽⁷⁾の調査結果と一致している。また、Voelz and Ward⁽⁸⁾はダム下流においてダムから離れ下流のサイトになるにつれて河床表面に占める砂の割合およびヤマトビケラ属の生息密度が大きくなることを報告している。

一方、ダム直下ではウスバヒメガガンボ属およびアシマグラブユ属の現存量が大きかった。これらのタクサは固着型に分類され、大きな礫に好んで生息すると言われている⁽⁵⁾。CCAの結果から、本調査地において巨礫の割合が大きいうダム直下の特徴がこれらのタクサの生息に好適であったと考えられる。このように河床材料組成が底生動物群集に強く影響を及ぼすということは、

本研究より底生動物群集組成は調査区間で明瞭に異なり、一部の底生動物は河床材料組成の違いを反映していることが示唆された。

5. まとめ

本研究では、ダム上下流及び支川における河床と底生動物群集に関する調査・解析を通じて以下の知見を得た。

- 1) 河床の粗粒化の内砂の減少により影響を受けるタクサとしてヤマトビケラ属が考えられた。この結論は既往の調査結果とも一致しており、砂分の抜け落ちを表現する指標種となり得る可能性を示唆している。
- 2) 河床の粗粒化の内、巨礫の割合が増加することによる影響を表現するタクサはウスバヒメガガンボ属およびアシマグラブユ属が考えられた。
- 3) 底生動物群集の変化は河床材料の組成だけでなく、

掃流砂量、流下動物プランクトン量および堆積FPOM量等他の環境要因の影響を受けるため、今後、これらの要因を踏まえた河床環境の指標種を選定することが必要である。

4) 本結果は1回の調査結果に基づいて得られた知見であることから、今後他のサイトにおける調査を実施し、本研究で得られた結果の一般性を確認する必要がある。

参考文献

- 1) Rapport DJ, Whitford WG: "How ecosystems respond to stress.", *Bioscience*, 49, pp.193-203, 1999
- 2) 森山昭雄・浅井道広: 矢作川河床堆積物と給源岩石の造岩鉱物との粒度組成関係, *地理学評論* 53, 557-573, 1980
- 3) Bisson PA, Nielsen JL, Palmason RA, Grove LE.: "A system of naming habitat types in small streams, with examples of habitat utilization by salmonids during low stream flow." In *Acquisition and Utilization of Aquatic Habitat Inventory Information*, Armantrout NB (ed.). The Western Division of the American Fisheries Society: Portland; pp.62-73, 1982
- 4) Lorenzen CJ.: "Determination of chlorophyll and phaeo-pigments spectrophotometric equations.", *Limnology and Oceanography* 12, pp.343-346, 1967
- 5) 津田松苗: 水生昆虫学, pp.239-240, 北陵館, 1983
- 6) Wiggins GB.: "Larvae of the North American caddisfly genera (Trichoptera).", University of Toronto Press, 1977
- 7) Marchant R, Hehir G.: "The use of AUARIVAS predictive models to assess the response of lotic macroinvertebrate to dams in south-east Australia.", *Freshwater Biology*, 47, pp.1033-1050, 2002
- 8) Voelz N, Ward JV.: "Biotic and abiotic gradients in a regulated high elevation Rocky Mountain river.", *Regulated Rivers: Research & Management* 3: pp.143-152, 1989