

透過型・不透過型砂防ダムが存在する山地溪流における底生動物の多様性評価

東北大学 学生会員 ○糠澤 桂
東北大学 正 会 員 風間 聡
東北大学 正 会 員 渡辺 幸三

1. はじめに

山地溪流における砂防事業の一環の砂防堰堤（砂防ダム）は、流下土砂量の調節、河川浸食及び土砂崩れの防止等の多様な効果が期待される¹⁾。しかしながら、砂防堰堤の型式の一つである不透過型は河川を本来流下している水や無機・有機物質の連続的な流れを阻害し、堰堤上流では土砂の堆砂やそれに伴う上流の河床勾配の緩和や河床堆積物の均質化、下流では河床低下が発生するなど、河川環境に与える影響は大きい。

近年、土砂管理・生態系保全の観点から砂防堰堤にスリットを設けた透過型砂防堰堤の計画・設置が全国的に進められている²⁾。スリットによる透過口がある透過型堰堤の設置される河川区間では、河川の流れが自然に近い状態に再現されることから、1)堰堤上流部への土砂の過剰堆砂防止、2)下流の貯水ダムへの土砂量の調節作用、3)河川の水生生物の移動や生息環境の改善³⁾、等が期待されているが、3)に関しては、底生動物を対象とした報告はほとんど無いのが現状である。

底生動物はその生活型も多種多様⁴⁾であり、局所的な環境変動にも敏感に反応する性質を持つ。このため、底生動物を対象として、本研究の対象地域である山地河川における透過型・不透過型砂防堰堤のインパクトを検証することは有意義であると考えられる。

以上より、本研究では山形県大井沢川における生態系の健全性を把握する目的で、底生動物群集の種多様性及びヒゲナガカワトビケラ地域集団の遺伝的変異をマイクロサテライト DNA マーカーにより解析した。

2. 方法

1) 対象領域

対象領域は山形県寒河江川流域内の大井沢川である（図-1）。寒河江川との合流地点以外には周辺に人家は無く、樹林に覆われている。大井沢第2ダムは1968年、第3ダムは1978年、第4ダムは1984年に完成している。また、第2ダムは2004年10月、第3ダムは2007年1月にスリット化工事が完成している透過型砂防堰堤である。第4ダムは不透過型砂防堰堤である。調査は、第4ダム、第3ダム、第2ダムそれぞれの直上・直下（st.3-st.7）およびダムの影響が無いと考えられる地点として第4ダムよりさらに約300m上流の1地点（st.1）、第2ダムよりさらに約1000m下流の1地点の計8地点（st.8）において行った。

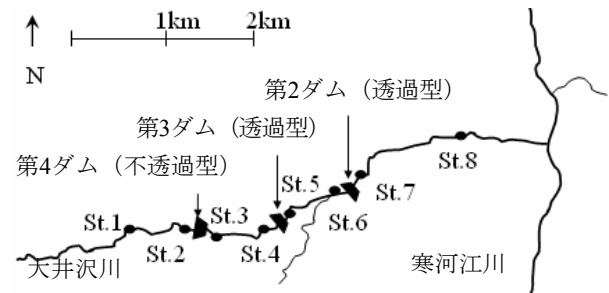


図-1 山形県大井沢川の調査地点

2) 対象種及びサンプリング

対象種はヒゲナガカワトビケラ（*Stenopsyche marmorata*）である。幼虫は河川の上流域から下流域まで広く分布しており、河床礫の隙間に分泌絹糸で作った巣網を張って営巣し、河川を流れる微細粒状性有機物（FPOM）を摂食する造網型トビケラに分類される。また、幼虫期における流下の補償行為として成虫は水面上0.3m～1mを遡上飛行するコロニー化サイクル（営巣活動）を有することが知られている⁵⁾。

ヒゲナガカワトビケラの定性的サンプリングは平成20年11月11～16日の期間に、全8地点において対象種が20個体になるまで行った。また、全4地点（st.2, st.3, st.6, st.7）において平成21年4月17日から7月16日にかけて、定量サンプリングを各1回ずつ行った。1つの地点において、約20～30mの河川区間内の無作為に選んだ3箇所においてコドラード付きサーバーネット（30cm×30cm、メッシュサイズ250μm）を用いて定量サンプリングを行った。各地点において3回サンプリングした個体数の合計を総個体数とした。サンプリングした底生動物は実験室に持ち帰りその日のうちに99.5%エタノールを用いて固定した。サンプルは、150倍の実体顕微鏡を用いて日本産水生昆虫検索図鑑に従い可能な限り細かい分類レベル（種・属・科）の同定を行い、それらをまとめて分類群とした⁶⁾。

3) 群集相違度（地点間の種多様性）

各地点間の群集構造の類似性を、Piankaの類似度指数 $\alpha^7)$ を用いて評価した。 α は0から1の間の値をとり、1の場合には相互の種構成と出現比率は同一となる。 α は以下の式から算出した。

$$\alpha = \sum \frac{p_{Ai} \cdot p_{Bi}}{\sqrt{\sum p_{Ai}^2 \cdot \sum p_{Bi}^2}}$$
$$p_{Ai} = \frac{n_{Ai}}{N_A} \quad p_{Bi} = \frac{n_{Bi}}{N_B}$$

ここで、 N_A 、 N_B は地点A、Bの総個体数、 n_{Ai} 、 n_{Bi} は地点A、Bにおけるi分類群の個体数である。

また、各地点間の群集構成の違いを、群衆類似度 α を用いて群集相違度 $\theta=1-\alpha$ により評価した。 θ は 0 から 1 の値をとり、0 のときは地点間の群集構成が一致することを表す。

4) マイクロサテライト分析

マイクロサテライト分析とは塩基配列中に存在する CA, GT などの 2~数 bp (base pair) の単純な反復配列 (マイクロサテライト) を PCR 増幅し、DNA 多型を検出する方法である。

本研究では、Yaegashi ら⁸⁾が開発した 11 領域のマイクロサテライト DNA マーカーのうち、DNA 抽出した実験サンプルとの PCR 反応が良好な 4 領域のプライマーを使用した。試薬の割合は、TaKaRa TaqTM (5 units/ μ l) 10 $\times$ PCR Buffer (Mg²⁺ free), 25mM MgCl₂, dNTP Mixture (2.5mM each), 滅菌水, 10%Tween20 を配合するプライマーに合わせて調合した。その混合液を 30 秒間の熱変性 (94 $^{\circ}$ C), 30 秒間のアニーリング (45 $^{\circ}$ C), 2 分間の伸張反応 (72 $^{\circ}$ C) のサイクルにより 35 回 PCR 反応を行った。PCR 反応にはサーマルサイクラー (TaKaRa) を用いた。その後、PCR 増幅された DNA 断片を ABI PRISM[®]310 Genetic Analyzer (Applied Biosystems) によるキャピラリー電気泳動を行い、310GeneScan[®]3.1.2 (同上) を使用してフラグメントの検出を行った。

5) 遺伝的多様性

遺伝的多様性とは、種内に存在する遺伝子の多様性を意味する。これには 1) 地理的に隔離された個体群間にみられる遺伝子の変異と、2) 個体群内の個体間にみられる遺伝子の変異がある。本研究においては、1) の個体群間の遺伝子多様性の変異を表現する指標である遺伝距離 D を Arlequin3.1⁹⁾を用いて計算した。

3. 結果と考察

1) 群集相違度

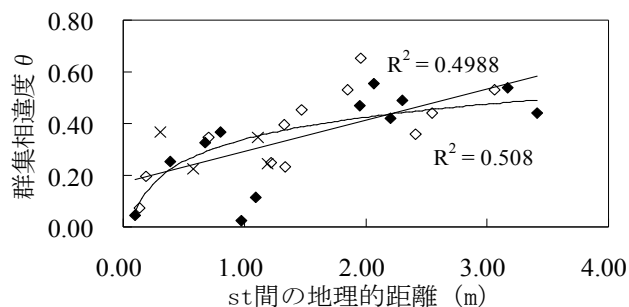
st 間の地理的距離と群集相違度の関係を、不透過型堰堤のある (◆)・透過型堰堤のある (◇)・堰堤の無い対照 (コントロール) の区間 (×) として図-2 (A) に示す。st 間の地理的距離と相違度にはやや強い相関 ($R^2=0.508$) が見られた。最上流地点 (st.1) と最下流地点 (st.8) の距離は約 3.41km であるが、標高差は約 120m である。平均河床勾配が 1/28 の溪流河川の大井沢川においては、中下流河川に比べて、距離が若干離れた場合でも、標高、水温、水勢などの環境条件が大きく変化すると考えられる。以上より、最大距離が 4km 未満の st 間においても、群集組成が距離に依存して異なる結果は理解できる。

2) 遺伝距離

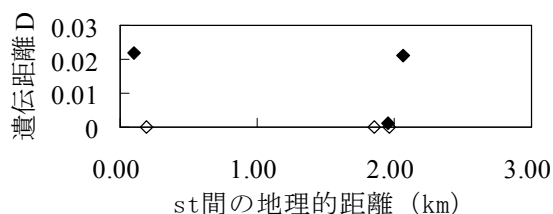
4 地点の st 間の地理的距離と遺伝距離については特筆すべき相関は見られなかった (図-2 (B))。この理由としては解析に使用した地点数の不足が考えられる。また、透過型の区間 (◇) における遺伝的変異がほとん

ど見られなかった一方、不透過型の区間 (◆) は st.2-st.6 間 (地理的距離: 1.95km) 以外の区間で僅かな遺伝的変異 (0.021-0.022) が示された。この結果は、不透過型堰堤が透過型堰堤と比較してヒゲナガカワトビケラの遡上飛行を阻害し、種間の交流を妨げている可能性を示唆している。

謝辞: 本論文は河川環境管理財団から助成を受けた。ここに深甚なる謝意を表します。



(A)



(B)

◆ : 不透過型 ◇ : 透過型 × : コントロール

図-2 (A) st 間の地理的距離と群集相違度 θ . (B) st 間の地理的距離と遺伝距離 D

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター砂防研究室: 土石流・流木対策設計技術指針解説, 364 号, 2007
- 2) 大久保駿・阿部宗平・水山高久: スリットを有する砂防ダム, 床固めの建設実態, 砂防学会誌, Vol48 No.5, pp16-20, 1996
- 3) 加地弘一: 落差工のスリット化による河床勾配復元が環境に与える影響, 山梨県水産技術センター試験・研究課題の外部評価, 2007
- 4) 竹門康弘: 底生動物の生活型と摂食機能群による河川生態系評価, 日本生態学会誌 (*Japanese Journal of Ecology*) 55: 189-197 (2005)
- 5) 大串龍一: 水生昆虫の世界, 東海大学出版会, 2004
- 6) 川合禎次 (編): 日本産水生昆虫 - 科・属・種への検索, 東海大出版会, 2005
- 7) 中村寛志: 生物群集の解析手法と環境アセスメント, *Journal of the Faculty of Agriculture SHINSHU UNIVERSITY* Vol36 No.1, 2000
- 8) Yaegashi S, Watanabe K, Omura T: Isolation and Characterization of Microsatellite Loci of Japanese Caddisfly *Stenopsyche marmorata* (Stenopsychidae)
- 9) L Excoffier, G Lavel, S Schneider: Arlequin ver.3.1: an integrated software package for population genetics data analysis, *Evolutionary Bioinformatics Online*, 2005