

流量変動に伴う生息場所サイズの変動が 河川性底生動物に及ぼす影響

山崎 久美子¹・三宅 洋²・今田 慎太郎³

¹学生会員 愛媛大学 大学院理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番)

E-mail: yamasaki.kumiko.09@cee.ehime-u.ac.jp

²正会員 愛媛大学講師 大学院理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番)

E-mail: miyake@cee.ehime-u.ac.jp

³学生会員 愛媛大学 大学院理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番)

E-mail: imada.shintaro.08@cee.ehime-u.ac.jp

本研究は、河川の源流部、山間部および扇状地部に底生動物群集の時間的変動を比較し、それに伴う生息場所サイズの影響を明らかにすることを目的とした。低水により止水化した河川区間では生息場所サイズの指標として、流量に加え、水塊体積および表面積を用いることで経時的な変動を詳細に把握することが可能になった。生息場所サイズの変動は自然要因ばかりではなく人為的要因も関与していることが明らかになった。また、底生動物群集の変動については、源流部で低水により生息密度が抑制されていた。中流部の典型的な間欠流区間ばかりではなく、河川ネットワークの末端に多数存在する源流部でも低水は底生動物群集の重要な決定要因であることが示唆された。

Key Words : flow fluctuation, habitat size, low flow, stream invertebrates

1. はじめに

(1) 流量変動

流量変動は河川生態系の特性を決定する支配的要因である¹⁾²⁾³⁾。流量増加に伴う出水は、短時間の強い攪乱 (pulse disturbances) として、物理的排除により直接的に河川生物の個体数を減少させるとともに、生息場所環境の改変を介して間接的にも河川生物に影響を及ぼす⁴⁾。例えば、出水に伴う河床砂礫の移動は、攪乱として底生動物の死亡を引き起こすと同時に、餌資源である付着藻類を減少させる⁵⁾。一方、流量減少による低水は、一定レベルの影響を与え続けるプレス型攪乱 (press disturbance) または時間とともに影響が強まるランプ型攪乱 (ramp disturbances) であり、出水と同様に直接的・間接的な影響を河川生物に影響を及ぼす⁶⁾。例えば、著しい低水は、干上がりにより底生動物の死滅を引き起こすと同時に、河床の細粒堆積物と河川水中の栄養塩量を増加させる⁷⁾。

河川における攪乱の研究は、出水攪乱に注目したものが多い⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾、2000 年以降は低水攪乱に注目した研究も盛んに行われており、流量増加および流量減少

の双方が河川生態系の特性を決定する要因として注目されている¹¹⁾。また、利水等の人為的要因による流況改変が進行している現状を受けて、出水および低水の双方に注目して流況改変が河川生態系に及ぼす影響を検討する研究が多く行われている¹⁾。

(2) 低水攪乱

低水は低水を引き起こし、さらに流量減少が進行することで表流水の干上がりが発生する。年間を通して表流水が存在する恒常河川に対し、一時的に表流水が消失する区間を有する河川を間欠河川という。さらに、間欠河川内においても、瀬切れが発生する間欠流区間と常に表流水が存在する恒常流区間が存在する。間欠流区間では、低水攪乱が底生動物群集に時間的な変動をもたらす主要因であると考えられている¹²⁾。

現在、世界各地の河川で人為的な流量減少に伴う低水および表流水の干上がりの発生が深刻化している¹³⁾。降水量の少なさ、河川長の短さなどの自然要因による干上がりに加え、人為的要因である飲用水、工業用水、農業用水のための表流水や地下水の過度の利用による干上がりの発生が問題になっており、河川生態系に及ぼす影響

が危惧されている¹¹⁾。例えば、愛媛県を流れる重信川では上流および中流間欠流区間にて自然状態でも瀬切れが発生することが知られているが、1970年代から瀬切れが拡大・長期化している。また、下流間欠流区間は自然状態では瀬切れはほとんど発生していなかったが、1980年代から瀬切れが顕在化し、徐々に拡大、長期化している。これらは、過度の水利用や流域における土地利用状況の変化などの人間活動の活発化が原因として挙げられている。

これまでの低水攪乱の研究は、河川中流部に存在する間欠流区間で発生する干上がりに着目したものが多かった²⁾¹⁴⁾。一方、間欠流区間であることが多い源流部における低水の発生状況や生物への影響に関する知見は乏しい¹⁴⁾。源流部は河川ネットワーク内に占める割合が高く、生息場所としての相対的重要性も高い。さらに、低水は間欠流区間でのみその影響を発揮するわけではない。例えば、恒常流区間であっても低水により岸際部の干出が発生する¹²⁾。すなわち、低水は全ての河川または河川区間にて、潜在的に河川生物に影響を及ぼしうる普遍性の高い影響要因と考えられるため、典型的な間欠流区間のみならず、多様な河川環境においてその影響を明らかにする必要があるものと考えられる。

日本は湿潤な気候を有し、大規模河川の多くが恒常河川であるため、河川の攪乱研究においては出水が主に注目されてきた。実際に、本流で長距離に渡って干上がりが観測される一級河川は瀬戸内海沿岸を中心とした地域にわずかに見られる程度である。しかしながら、急勾配河川の扇状地上では間欠流区間は珍しくなく、源流部は間欠流区間であることが多い。よって、河川生態系の特性を理解し、河川管理法を発展させるためには低水が河川生態系に及ぼす影響を把握する必要があるだろう。しかしながら、国内河川を対象に低水の影響を検討した研究は少なく、世界的にも、間欠河川の中流部における生物への影響を対象とした研究がほとんどである¹⁵⁾。

(3) 生息場所サイズの変動

表流水は河川生物にとって生息場所そのものであるため、低水による生息場所サイズの縮小は底生動物に強い影響を及ぼす。生息場所の縮小は底生動物に直接的な死亡をもたらすと同時に、生息場所環境を改変する¹⁴⁾。ただし、生息場所の縮小に伴い残存する生息場所への底生生物の密集が発生することで、単位面積あたりの個体数(生息密度)に増加傾向が見られる場合もある¹⁶⁾。干上がりが頻繁に発生する中流部の間欠流区間に限らず、源流部や恒常流区間においても流量変動により常に生息場所のサイズは変動していると考えられるが、これを把握した例は見られない。

一般的に、河川規模は流量により評価されることが多

い¹⁷⁾¹⁸⁾¹⁹⁾。しかし、低水によって著しく流速が減少して止水化した場合、流量では河川規模の変化を把握できない。一方、水表面積や水塊体積などの生息場所サイズの指標は、低水により止水化した河川区間でもその後の河川規模の変動を把握することが可能と考えられる。しかしながら、これら生息場所サイズの変動を流量変動にともない経時的に把握した例は少なく、底生動物群集の時間的変動との関係も明らかになっていない。

そこで本研究は小河川の源流部、山間部および扇状部に位置する恒常流区間および間欠流区間にて底生動物および生息場所サイズの調査を行った。各地点にて底生動物群集の時間的変動を比較し、その変動に対する生息場所サイズの影響を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

(1) 調査地概要

調査は2012年10月18日から12月18日にかけて、愛媛県を流れる重信川水系荒倉川および長尾谷川で行った(図-1、表-1)。両河川は松山平野の南に位置する行道山に源流部を持ち、流域は地質的に堆積岩で構成されている²⁰⁾。両河川の源流部、山間部および扇状部に1地点ずつ、計6調査地を設定した。源流部の調査地(A1, N1)は共に間欠流区間に、山間部の調査地(A2, N2)は共に恒常流区間に位置するが、扇状部については荒倉川(A3)では間欠流区間に、長尾谷川(N3)では恒常流区間に位置している。両河川の集水域は広く二次林に覆われていたが、居住地や水田、果樹園などの人間に

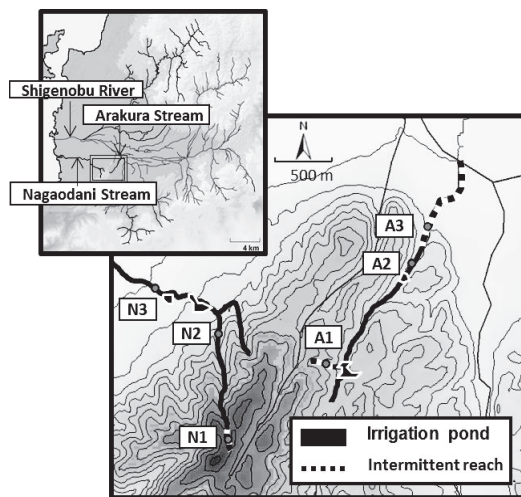


図-1 調査地図。丸は各河川における調査地点を表す。図中の点線は干上がり区間を、黒く塗りつぶされた範囲はため池を表す。

表-1 調査地概要 (平均値±標準誤差) .

Site	Reach type	Location		Elevation (m)	EC (mS cm ⁻¹)	DO (mg l ⁻¹)	pH	SS (mg l ⁻¹)
ARK1	Intermittent	N33°45'39"	E132°45'31"	171	0.212 ± 0.007	8.28 ± 1.20	7.4 ± 0.0	33.2 ± 6.1
ARK2	Perennial	N33°46'14"	E132°45'27"	72	0.265 ± 0.011	6.66 ± 0.85	7.3 ± 0.1	11.0 ± 2.2
ARK3	Intermittent	N33°46'27"	E132°44'60"	41	0.260 ± 0.006	8.87 ± 1.40	7.6 ± 0.1	6.8 ± 2.5
NGO1	Intermittent	N33°46'02"	E132°46'12"	322	0.194 ± 0.009	7.91 ± 0.97	7.3 ± 0.1	27.2 ± 14.1
NGO2	Perennial	N33°46'38"	E132°46'50"	129	0.370 ± 0.009	9.17 ± 1.21	7.6 ± 0.0	15.1 ± 5.1
NGO3	Perennial	N33°46'51"	E132°46'52"	32	0.396 ± 0.003	9.28 ± 1.64	7.7 ± 0.1	5.9 ± 1.3

表-2 各調査地における集水域特性.

Site	Secondary forest (%)	Paddy (%)	Farm (%)	Orchard (%)	Urban (%)	Open water (%)
ARK1	81.9	0	0	18.1	0	0
ARK2	50.9	0	0	48.3	0	0.7
ARK3	48.3	0	0	50.7	0.3	0.7
NGO1	71.4	0	0	28.6	0	0
NGO2	60.4	0	0	39.6	0	0
NGO3	42.2	4.9	0.9	47.4	2.6	2.0

よる土地利用も見られた (表-2) . 源流部調査地の上流でも, 荒倉川では栗林が, 長尾谷川では柑橘類の果樹園が見られた. なお, 長尾谷川の源流部調査地 (N1) では, 調査開始日前日の降雨以前は完全に表流水が消失していた. また, 荒倉川では A1 と A2 の間に, 長尾谷川では N2 と N3 の間に, 溜池が 2 個ずつ存在していた (図-1) .

(2) 野外調査

a) 生息場所サイズ調査

各調査地にて, 2012 年 10 月 18 日から 12 月 18 日にかけて, 生息場所サイズの変動に応じて 14 日おきに生息場所サイズ調査を実施した. 調査地に 8-16 m の調査区間を設け, 5 本のトランセクト (横断測線) を等間隔に設定した. 各トランセクトに沿った川幅 (水面幅, m) および最大水深 (cm) を計測した. 各調査地あたり 1 トランセクトにて USGS mid-section method に従い流量 (m³ s⁻¹) を計測した²⁾.

b) 野外調査

各調査地にて 2012 年 10 月 19 日, 11 月 20 日, 12 月 6 日および 12 月 14 日に底生動物調査を実施した. 10 月 19 日および 11 月 20 日は出水時に, 12 月 6 日は平水時に, 12 月 14 日は低水時にあたる. サーパーネットサンプラー (コドラート 25 cm × 25 cm, ネット長 1 m, 目合い 0.5 mm) を用いて底生動物を採取した²⁾. 採取は各調査地において等間隔に設定した 5 本のトランセクト (横断測線) の最上流および最下流の 2 本を除いた 3 本のトランセクト上の流心部 (最も流速が大きい場所) の各 1 地点で行った. 最上流と最下流のトランセクトは調査地外と接しており, 環境特性に調査地外の影響があると考

えられるため, サンプルの採取を行わなかった. 採取したサンプルは分析を行うまで 70%エタノールで保存した.

(計 90 サンプル) .

底生動物の餌資源量である付着藻類量を測定するために, 各底生動物サンプルに含まれる礫を無作為に 1 つ選び, 直径 24 mm の円孔を開けたゴム板を押し当て, 円孔内の付着藻類を特殊アクリル繊維 (ミクロクロス, 興洋) を用いて擦り取った²³⁾. このサンプルは, 分析を行うまで冷暗所で保存した.

底生動物サンプルの採取後, 各トランセクトに沿って等間隔に設けた 3 地点において, 河床直上流速 (cm s⁻¹), 平均流速 (60%水深流速 cm s⁻¹) および水深 (cm) を計測した. 流速の計測には, プロペラ式流速計 (モデル VR-301, ケネック) を用いた. また同地点を中心とする 25 × 25 cm の範囲内の底質を目視により砂 (sand : < 2 mm), 小礫 (gravel : 2-16 mm), 中礫 (pebble : 16-64 mm), 大礫 (cobble : 64-256 mm), 巨礫 (Boulder : > 256 mm), 岩盤 (Bedrock) に分類し, その面積割合を記録した²⁴⁾. 同範囲にて, 河床砂礫の埋込度 (浮き石, 載り石, はまり石) も記録した²⁵⁾. 各調査地において, 水質分析用の河川水サンプルを採取し, ハンディ多項目水質測定システム (Model 556MPS, YSI Inc., Yellow Springs) を用いて水温 (°C), 溶存酸素量 (mg l⁻¹), pH および電気伝導度 (mS cm⁻¹) を測定した. 各調査地において水準測量を行い, 水面勾配を測定した. また, 各底生動物調査時には生息場所サイズ調査も実施した.

(3) 室内作業およびデータ処理

生息場所サイズの変動を表す指標として, 調査地ごとの水表面積 (m²), 水塊体積 (m³) および流量 (m³ s⁻¹)

を算出した。水表面積は河川長に調査地の平均川幅を乗ずることにより算出した。また、水塊体積は水表面積に平均最大水深を乗ずることにより算出した。

各サンプルに含まれる底生動物を実体顕微鏡下で可能な限り下位の分類階級まで同定し、計数した。各底生動物サンプルに含まれる堆積粒状有機物量 (g m^{-2}) を強熱減量 (Ash free dry mass, AFDM) により求めた。底生動物を除去後、残ったサンプルを 65°C で 24 時間以上乾燥させ、乾燥重量を秤量した。さらに 550°C で 2 時間灼熱して再び秤量し、これらの差から堆積粒状有機物量を算出した。付着藻類サンプルからクロロフィル a 量 ($\text{chl. } a$ mg m^{-2}) を求めた。付着藻類を採取した特殊アクリル繊維を 20 ml の 99.5% エタノールに浸し (4°C , 24 時間)、色素を抽出した。抽出液の吸光度を分光光度計 (U 1800 形レシオビーム分光光度計, HITACHI) を用いて計測し、クロロフィル a 量を SCOR/UNESCO (1966) の方法に準じて算出した。

底生動物の群集構造を表すために、生息密度 ($N \text{ m}^{-2}$) と、多様度の 2 要素である分類群数 (調査地ごとの総出

現分類群数) および均等度 (構成種間の個体数の偏り) を算出した。均等度 (J) はシャノンの均等指数に基づき、 $J = -(\sum p_i \ln p_i) / \ln S$ の式により算出した。ここで、 p_i は i 番目の分類群の相対個体数、 S は分類群数である。上記の生息密度は単純な単位面積あたりの個体数であるため、水位上昇と生息場所サイズ増大に伴う希釈や水位低下と生息場所サイズ縮小に伴う密集の影響を受け得る。このため本研究では、単位河川長あたりの個体数 ($N \text{ m}^{-1}$, 以後総生息密度とする) も算出した。

(4) 統計解析

河川、調査地および調査時期の違いが生息場所環境変数および底生動物群集に及ぼす影響を明らかにするために、河川、調査地および調査時期を説明変数、底生動物変数 (生息密度、総生息密度、分類群数および均等度)、および生息場所サイズ変数 (水表面積、水塊体積および流量) を応答変数とする一般化線形モデル (generalized linear model: GLM) による解析を行った。調査時期および河川を解析に含める際にはダミー変数を使用した。調査地または調査時期について有意な差が見られた場合、Tukey の方法を用いた多重比較を行い、群間の比較を行った。また、要因間の交互作用の効果が有意だった場合、全処理区の間で同様の多重比較を行った。分類群数については、調査地内に繰り返しが無いため多重比較を行わなかった。

3. 結果

(1) 生息場所サイズ

生息場所サイズの指標である流量は降雨により増加し、その後減少するパターンを示した (図-2)。長尾谷川の源流部 (N1) では、11 月 16 日に流量は $0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ であったが、出水後の 11 月 18 日には $3.20 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ に増加し、12 月 13 日には流量が $0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ へと再び減少した。水表面積および水塊体積についても同様の時間的パターンを示したが、値が 0 になることは無かった (図-3)。また、水表面積の変動は、水塊体積および流量と比較すると小さかった。調査地上流に溜池がある A2, A3 および N3 では、10 月 31 日に水位調整のための人為的な出水があり、急激に生息場所サイズが拡大していた。

(2) 底生動物群集の変動

生息密度について、河川の主効果と河川-調査区間-調査時期の交互作用の効果が有意だった (河川: $T = -2.834$, $P < 0.001$; 河川 $\times$ 調査地 $\times$ 調査時期: $T = -2.171$, $P < 0.001$)。多重比較により群間の比較を行なった結果、

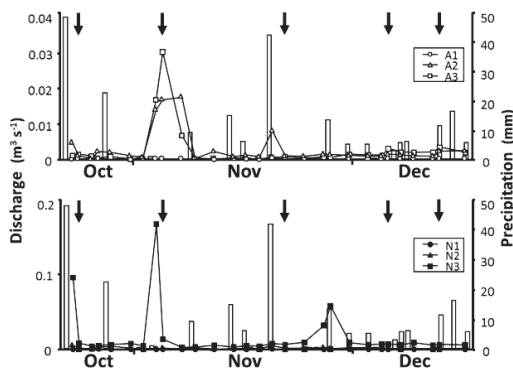


図-2 各調査地における流量の変動および降水量。図中の矢印は底生動物の調査日を表す。

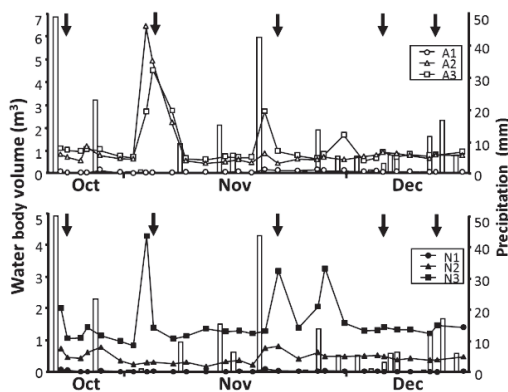


図-3 各調査地における水塊体積の変動および降水量。図中の矢印は底生動物の調査日を表す。

生息密度は低水が進行した第4回調査（12月14日）の荒倉川の調査地3で高く、源流部の間欠流区間およびN2では一貫して低かった（図-4）。総生息密度は河川および調査区間について有意な差が見られた（河川： $T = -2.918$, $P < 0.001$; 調査区間： $T = -0.152$, $P < 0.001$ ）。平均して長尾谷川より荒倉川で総生息密度は高かった。調査区間について多重比較を行った結果、総生息密度は扇状地部、山間部、源流部の順に低くなった。分類群数については、調査時期の主効果と、調査区間-調査時期、河川-調査時期および河川-調査地-調査時期の交互作用の効果が有意だった（調査時期： $T = 9.812$, $P < 0.001$; 調査区間×調査時期： $T = 2.511$, $P < 0.001$; 河川×調査時期： $T = 2.062$, $P < 0.001$; 河川×調査地×調査時期： $T = -2.393$, $P < 0.001$ ）。均等度についてはいずれの効果も有意ではなかった。

4. 考察

(1) 生息場所サイズ

本研究は、生息場所サイズの指標として水表面積、水塊体積および流量を用いることで流量変動による生息場所サイズの変動を明らかにした。これら3指標は、河川規模に関わらず出水時に増加し、時間の経過に伴い減少していた。ただし、流量については源流部が低水の進行により止水化した場合に、それ以降の生息場所サイズの減少を把握できなかった。一方、水表面積および水塊体積については、流量が観測不可能な場合でも、さらなる生息場所サイズの縮小を把握することが出来た。よって、流量に加え、川幅および水深の計測に基づく水表面積および水塊体積を指標とすることで、河川規模に関わらず継続した生息場所サイズの変動を把握することが可能になることが示された。

低水攪乱時には、川幅および水深の減少により、河川生物の生息場所は縮小する。本研究においても、源流部および扇状地部の間欠流区間では低水の進行とともに生息場所サイズが徐々に減少した。さらに、山間部および扇状地部に存在する恒常流区間の調査地でも、同様に生息場所サイズの減少が見られた。これらの結果は、河川または河川区間の間欠性を問わず、低水発生に伴い生息場所サイズの縮小が発生し、河川生態系に影響を及ぼしていることを示唆している。

生息場所サイズは自然的要因に加え、人為的要因により変動することが明らかになった。両河川において、上流に溜池が存在する調査地では、降水と対応しない流量変動が見られた。これらの調査地では、降雨から数日後に生息場所サイズの増加が見られたことから、降雨の影響が溜池によって遅延されたと考えられた。よって、本

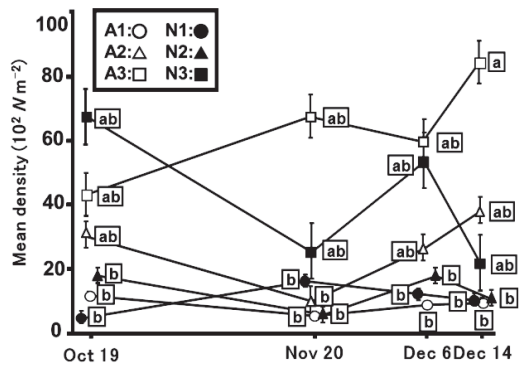


図-4 各調査日における底生動物の生息密度の時間的変動。アルファベットは多重比較の結果で、共通の文字が含まれる場合に有意差がないことを表す。

研究の調査地における流量変動は自然要因のみならず人為的要因の影響も受けており、それに伴う物理的攪乱や、生息場所サイズ、河川環境の改変は潜在的に底生動物に影響を及ぼす要因となり得る。

(2) 底生動物群集の変動

低水は底生動物群集の重要な決定要因であることが明らかになった。扇状地部の間欠流区間では低水進行時に生息密度が上昇していた。これは、生息場所サイズの縮小に伴い残存する生息場所へ移動し、底生動物が密集したことによるものと考えられた。一方で、源流部の間欠流区間では一貫して生息密度が低かった。源流部では、生息場所サイズが山間部および扇状地部と比較して平均的に小さく不安定で、上流からの流れに沿った底生動物の移入も制限されるため、常に底生動物量が少なかったものと思われる。よって、同じ間欠流区間であっても、流程内の位置により低水の影響は異なり、河川規模の小さな源流部においてその攪乱としての効果は大きくなるものと考えられた。

本研究では山間部の調査地である N2 においても源流部と同様な変動が確認された。この調査地では、源流と同様に生息場所サイズが非常に小さいため、N2 でも常に底生動物量が少なかったことが考えられた。よって、山間部や扇状地部においても生息場所サイズが比較的小さな区間では、源流部と同様に常に底生動物量が少なくなることが示唆された。

5. 結論

本研究は源流部、山間部および扇状地部の恒常流区間および間欠流区間で調査を行うことにより、各区間における低水の影響を明らかにした。源流部は低水により常

に生息密度と分類群数が低く抑えられていた。一方、扇状地部の間欠流区間では生息場所サイズの縮小に伴い底生動物が高密度化していた。これらの結果は、生息場所サイズの経時的パターンを詳細に把握することにより解釈が可能になった。今後は本研究の調査期間に見られなかった規模の低水を対象として、その影響を検討する必要があると思われる。以上より、本研究は低水が中流部の典型的な間欠流発生区間ばかりではなく、より小規模な河川区間においても底生動物に影響を及ぼすことを明らかにした。すなわち、低水攪乱はこれまでの研究が描いたよりも普遍的な底生動物の決定要因であることが示唆された。

謝辞：水質測定でご協力いただいた、愛媛大学沿岸環境化学センターの大西秀次郎氏に深くお礼申し上げる。本研究の野外調査および室内作業を手伝って下さった愛媛大学保全生態学研究室の潮見礼也氏、山根直也氏、田辺恵一氏、水上裕介氏および守口祥平氏に心より感謝する。

参考文献

- Poff, N. L., Allan, J. D., Bain, M. B., Karr, J. R., Prestegard, K. L., Richter, B. D., Sparks, R. E. and Stromberg, J. C. : The natural flow regime: A Paradigm for river conservation and restoration, *BioScience*, Vol. 47, pp. 769-784, 1997.
- Lake P. S. : Ecological effects of perturbation by drought in flowing waters, *Freshwater Biology*, Vol. 48, pp. 1161-1172, 2003.
- Sponseller, R. A., Grimm, N. B., Boulton, A. J. and Sabo, J. L. : Responses of macroinvertebrate communities to long-term flow variability in a Sonoran Desert stream, *Global Change Biology*, Vol. 16, pp. 2891-2900, 2010.
- Resh V. H., Brown A. V., Covich A. P., Gurtz M. E., Hiram W. L., Minshall G. W., Reice S. R., Sheldon A. L., Wallace J. B. and Wissmar R. C. : The role of disturbance in stream ecology, *Journal of the North American Benthological Society*, Vol. 7, pp. 433-455, 1988.
- Matthaei C. D., Arbuckle C. J. and Townsend C. R. : Stable surface stones as refugia for invertebrates during disturbance in a New Zealand stream, *Journal of the North American Benthological Society*, Vol. 19, pp. 82-93, 2000.
- Walters A. N. and Post D. N. : How low can you go? Impacts of a low-flow disturbance on aquatic insect communities, *Ecological Applications*, Vol. 21, pp. 163-174, 2011.
- Boulton A. J. and Lake P. S. : The ecology of two intermittent streams in Victoria, Australia. III. Temporal changes in faunal composition, *Freshwater Biology*, Vol. 27, pp. 99-121, 1992.
- Miyake Y. and Nakano S. : Effects of substratum stability on diversity of stream invertebrates during baseflow at two spatial scales, *Freshwater Biology*, Vol. 47, pp. 219-230, 2002.
- Suren A. M. and Jowett I. G. : Effects of floods versus low flows on invertebrates in a New Zealand gravel-bed river, *Freshwater Biology*, Vol. 51, pp. 2207-2227, 2006.
- Death R. G. and Winterbourn M. J. : Diversity patterns in stream benthic invertebrate communities: the influence of habitat stability, *Ecology*, Vol. 76, pp. 1446-1460, 1995.
- Sheldon F. and Thoms M. C. : Relationships between flow variability and macroinvertebrate assemblage composition: data from four Australian dryland rivers, *River Research and Applications*, Vol. 22, pp. 219-238, 2006.
- Wilhite D. A. : A methodology for drought preparedness, *Natural Hazards*, Vol. 13, pp. 229-252, 1996.
- Lake P. S. : Disturbance, patchiness, and diversity in streams, *Journal of the North American Benthological Society*, Vol. 19, pp. 573-592, 2000.
- Boulton A. J. : Parallels and contrasts in the effects of drought on stream macroinvertebrate assemblages, *Freshwater Biology*, Vol. 48, pp. 1173-1185, 2003.
- 峰松勇二・土肥唱吾・三宅洋 : 瀬切れが河川底生動物の生息場所環境および群集構造の流程に沿った変化に及ぼす影響, 環境システム研究論文集, Vol. 34, pp. 47-55, 2006.
- Dewson Z. S., James A. B. W. and Death R. G. : The effect of water abstractions on invertebrate communities in four small North Island streams, *New Zealand Natural Sciences*, Vol. 28, pp. 51-65, 2003.
- Cowx I. G., Young W. O. and Hellawell J. M. : The influence of drought on the fish and invertebrate populations of an upland stream in Wales, *Freshwater Biology*, Vol. 14, pp. 165-177, 1984.
- Dewson Z. S., James A. B. W. and Death R. G. : Stream ecosystem functioning under reduced flow conditions, *Ecological Applications*, Vol. 17, pp. 1797-1808, 2007.
- Datry T. : Benthic and hyporheic invertebrate assemblages along a flow intermittence gradient: effects of duration of dry events, *Freshwater Biology*, Vol. 57, pp. 563-574, 2012.
- 四国地方土木地質図編纂委員会編 : 四国地方土木地質図解説書, 国土開発技術研究センター, 1998.
- Cey E. E., Rudolph D. L., Parkin G. W. and Aravena R. : Quantifying groundwater discharge to a small perennial stream in southern Ontario, Canada, *Journal of Hydrology*, Vol. 210, pp. 21-37, 1998.
- Miyake, Y. and Nakano, S. : Effects of substratum stability on diversity of stream invertebrates during baseflow at two spatial scales, *Freshwater Biology*, Vol. 47, pp. 219-230, 2002.
- 谷田一三・三橋弘宗・藤谷俊二 : 特殊アクリル繊維による付着藻類定量法, 陸水学雑誌, Vol. 60, pp. 619-624, 1999.
- Inoue M., Nakano S. and Nakamura F. : Juvenile masu salmon (*Oncorhynchus masou*) abundance and stream habitat relationship in northern Japan, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, Vol. 54, pp. 1331-1341, 1997.
- 竹門康弘・谷田一三・玉置昭夫・向井宏・川端善一郎 : 棲み場所の生態学, 平凡社, 東京, 1995.

(2013. 7. 19 受付)

EFFECTS OF FLOW FLUCTUATION AND CHANGE IN HABITAT SIZE ON STREAM INVERTEBRATE ASSEMBLAGES

Kumiko YAMASAKI, Yo MIYAKE and Shintaro IMADA

This study aimed to compare temporal changes in stream invertebrate assemblages among stream reaches located in headwater, valley, and alluvial fan sections, and to elucidate the influence of low flow on the change in habitat size and stream invertebrate assemblages. We measured habitat area and habitat volume, in addition to simple discharge, for evaluating the habitat size even when severe low flow occurs and surface water becomes lentic. Changes in habitat size were caused by precipitation and artificial flashing from irrigation ponds. Total density of stream invertebrates was high at an intermittent reach located in alluvial fan section when low flow proceeded, probably because of the concentration to shrunk habitat. In contrast, the invertebrate density was low in the headwater reaches throughout the study period. We suggest that low flow is a prominent factor determining stream invertebrate assemblages and should be investigated in wide array of habitats.