

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 7 日現在

機関番号：16301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22710237

研究課題名（和文） 河川地下に潜伏する無脊椎動物：河床間隙水域は干上がりからの避難場所か？

 研究課題名（英文） Responses of macroinvertebrates to drying disturbance:
A test of the hyporheic refuge hypothesis

研究代表者

三宅 洋（MIYAKE YO）

愛媛大学・大学院理工学研究科・講師

研究者番号：90345801

研究成果の概要（和文）：本研究は、河川の地下に広がる河床間隙水域に生息する河川性大型無脊椎動物相を明らかにした。さらに、水位低下にともなう表流水の干上がりが発生した際に、一部の分類群の生息密度が河床間隙水域にて上昇することを示した。以上より、河床間隙水域は無脊椎動物の避難場所として機能するため、河川生態系保全においては表流水域ばかりではなく地下の河床間隙水域にも注目すべきであることが示された。

研究成果の概要（英文）：In this study, we demonstrated the community structure of lotic macroinvertebrate assemblages in hyporheic zone below streambed. Population densities of several common taxa were found to increase in the hyporheic zone when the drying of surface water occurred. Our results suggested that hyporheic zone served as a refugia for invertebrate during drying event and thus hyporheic zone should be a target habitat of lotic ecosystem conservation.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2011 年度	600,000	180,000	780,000
2012 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：資源保全学、資源保全学

キーワード：河川生態学、河川性無脊椎動物、河床間隙水域、避難場所、干上がり

1. 研究開始当初の背景

(1) 河川の「干上がり」と「避難場所」

現在、世界各地の河川で、流量の減少にともなう表流水の消失（干上がり）が進行している。この主要な原因と考えられる地球温暖化や水利用量の増加は抑制が容易ではない。よって、将来的にも干上がり範囲の拡大および期間の長期化が予想され、これによる河川生態系の健全性の低下が懸念されている。

河川表流水を利用する河川生物にとって、干上がりは生息場所そのものの消失を意味し、これにより劇的な死滅が引き起こされる。よって、人為的要因による干上がりの発生・激化が、河川生物群集に及ぼす影響は甚大であるといえる。しかしながら、例えば生物が死滅した区間であっても、降雨等により表流水が回復した後は速やかに生物の再移入が起こり、2~3週間程度で元の個体数まで回復することが知られている。移入元は避難場所（refugia）と呼ばれ、干上がりの起こらない支流や湧水などの恒常的水塊が候補として挙げられる。これら避難場所には、干上がりは河川生物に及ぼす影響を緩和する機能が期待されるため、応用的な河川生態学の分野で強い注目を集めている。

(2) 河川性無脊椎動物の避難場所としての「河床間隙水域」

表流水が河床内に浸透した、溶存酸素を含んだ水域を河床間隙水域（hyporheic zone）と呼ぶ。1974年に河床間隙水域に生息する無脊椎動物（ハイポレオス：hyporheos）の存在が報告され、にわかに河川生態学者の注目を集めた。現在では、特に河川中流部の地下には広大な河床間隙水域があり、ハイポレオスは、河床上の表流水域に生息する無脊椎動物（ベントス：benthos）を量的に凌ぐ場合もあることが知られている。よって、ハイポレオス相を把握せずに河川全体の無脊椎動物相を包括的に理解することは難しいといえる。しかし、その採取の困難さからハイポレオスに関する情報はベントスと比較して限定的であり、特に国内においては論文化された研究が見られないのが現状である。

河床間隙水域が注目を集めている理由の一つに、その生息場所としての安定性がある。河床間隙水域は、洪水や干上がりが起こった場合でも、表流水域のように強い物理的攪乱を受けることは無い。さらに、河床間隙水域は表流水と隣接していることから、干上がりからの避難場所としての重要性が高い空間ではないかと予想されている（河床間隙水域避難場所仮説：hyporheic refuge hypothesis、

HRH）。ただし、干上がりに関してこの説を検証した研究は少なく、それらの実施規模も小さい。また、仮説の予想と合致する結果も未だ見られない。

(3) 着想に至った経緯

主に水生昆虫、甲殻類などにより構成される河川性無脊椎動物は、河川食物網の要に位置している。特に、大型（体長 0.5 mm 以上）の無脊椎動物は、有機物の分解者などとして高い生態的機能を有するとともに、魚類等の餌資源としても重要である。申請者は平成 17 年から本研究の対象河川である重信川流域で、干上がりは大型無脊椎動物群集の時間的・空間的変異に及ぼす影響に関する研究を行ってきた。平成 19 年には建設機械（油圧ショベル）を用いて干上がりが発生した河床を試験的に掘削し、河床間隙水域から多様な大型無脊椎動物を採取している。さらに、平成 21 年には塩化ビニールパイプ製の井戸型サンプラー（詳しくは、「研究の方法」参照）を開発した。これを用いた予備的な調査により多数の大型無脊椎動物の採取に成功し、河床間隙水域にて特徴的に出現する種がいることを把握している。また、既存研究のレビューから、重信川はこれまでに HRH が検証された河川よりも堆積砂礫層が厚いため河床の透水性が高く、大型無脊椎動物による河床間隙水域の利用可能性が高いと考えた。以上の経験および科学的知見を総合し、本研究計画の着想を得た。

2. 研究の目的

本研究では、まず、河川の地下に広がる河床間隙水域における河川性大型無脊椎動物の生息状況を明らかにする。次に、水位低下にともなう表流水の干上がりが発生した際に、河床間隙水域が無脊椎動物の避難場所として機能するか否かを検証する。以上より、干上がり発生河川の生態系保全における河床間隙水域の重要性を評価することを目指す。

具体的には以下 4 点を遂行する。

- (1) 河床間隙水域に生息する大型無脊椎動物の量・種組成およびその時間的・空間的変異の把握
- (2) (1)の変異に影響を及ぼす生息場所環境要因の特定
- (3) 河床間隙水域避難場所仮説（HRH）の検証
- (4) 無脊椎動物各種における河床間隙水域の利用能力の評価

3. 研究の方法

(1) 調査河川概要

愛媛県道後平野を流れる重信川本流にて調査を行った。重信川では古くからある程度の干上がりが見られた。1980年代からは、干上がり区間の拡大と期間の長期化が起り、河川生態系に及ぼす影響が懸念されている。干上がり激化の原因としては、松山平野における人口増加や農地拡大などによる水利用量の増加が指摘されている。重信川本流には、現在、源流から15.4-19.1 km、20.5-27.6 km および29.4-33.4 kmの3箇所に、低流量時に表流水が消失する干上がり区間が存在する。

(2) 河床間隙水域における調査方法

新たに開発した塩化ビニールパイプ製の井戸型サンプラーを使用してハイポレオスを採取した(図1)。ハイポレオスの採取深度は、これまでの試行によりベントスの混入が避けられることが分かっている河床下30 cmで行った。各調査地点で、先端から10 cmに開口する円孔が河床下30 cmに位置するまで、サンプラーを木製ハンマーで打ち込んだ。設置後5時間以上の時間を空けた後、手動ポンプにより5 Lの河床間隙水(細粒土砂、デトリタスおよびハイポレオスを含む)を採取した。なお、干上がりの進行過程で、水深が小さく干上りの早い瀬に生息するベントスは、地下にある河床間隙水域よりも、むしろ水深が大きく干上がりの遅い淵へ移動すると考えられる。よって、本研究では調査対象を淵のみに限定した。

ハイポレオスは実体顕微鏡を用いて同定、計数した。オートアナライザーを用いて河川水サンプルを分析し、溶存する全窒素量および全リン量を測定した。ハイポレオスサンプルに含まれるデトリタス(ハイポレオスの潜在的餌資源)の量を強熱減量(AFDM)により測定した。

(3) ハイポレオス相の把握

平成22年度に重信川の上流域から下流域にかけての広い範囲で河床間隙水域の調査を実施し、ハイポレオス相を明らかにした(広域調査)。源流から14.9-33.9 kmの河川区間に8地点の調査地を設定した。これらの調査地は、申請者がベントスの長期調査を、2005年5月から3ヶ月ごとに行っている調査地(全14調査地)に含まれている。なお、これら8調査地は、各干上がり区間の上流側および下流側の、表流水が恒常的に存在する河川区間に位置する。

上記ベントス長期調査と同時期の、2010年8月および11月に河床間隙水域調査を行った。各調査地で代表的な瀬を1箇所ずつ選定し、流心に各3箇所の調査地点を設けた。

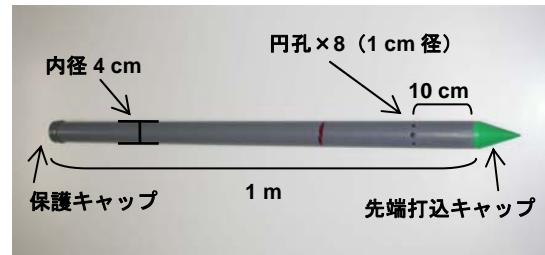


図1 井戸型サンプラー

調査の進行とともにサンプル処理とデータ処理・解析を進めた。ハイポレオスの採取水あたりの生息密度(NL^{-1})を用いた序列解析(非計量的多次元尺度法、NMS)により、定期調査により採取されるベントスとハイポレオスとの間で群集構造を比較した。NMSにより得られる各軸と各分類群の生息密度および生息場所環境変数との間で相関係数を算出することにより、群集構造変異に貢献している分類群および生息場所環境を明らかにした。

(4) HRHの検証

河床間隙水域が干上がりからの避難場所として機能している場合、干上がりの進行に伴ってハイポレオス密度が増加するはずである。本調査では、表流水の減少にともなうハイポレオス密度の経時的変化を明らかにすることにより、HRHを検証した。

これまでに基礎データの蓄積が最も進んでいる、源流から21.6~23.8 kmの干上がり区間内から代表的な淵を6箇所選出し、調査地とした。各調査地内の流心部と岸際部の各2箇所に調査地点を設定した(計4地点/調査地)。

平成22年10月から平成23年9月にかけて1ヶ月毎に河床間隙水域調査を実施した(定期調査)。さらに、平成23年1-2月、4月および8月に発生した干上がりの前後にも同様の調査を実施した(干上がり調査)。

定期調査では、表流水が存在する場合は、ハイポレオスの調査と同時にベントスの調査も実施した。Dフレームネットを用いた標準的な方法により、各調査地点周辺の河床からベントスを定量的に採取するとともに、その生息場所環境(水深、餌資源量等)を測定した。サンプルはハイポレオスと同様の方法で処理した。

調査の進行とともにサンプル処理とデータ解析を進めた。解析では、ベントスおよびハイポレオスの密度の時間的変動を把握した。これにより、干上がり区間のハイポレオス密度が、干上がりの進行に伴って特異的に増加するか否かを明らかにした。同様に干上がり前後の比較も実施した。分類群毎の解析により干上がり発生時に河床間隙水域への移動を行っている種を抽出した。

4. 研究成果

(1) 広域調査

合計 2367 個体、52 分類群の無脊椎動物を河床間隙水域から確認した。最も優占的に見られた分類群はシコクメクラヨコエビ (20.2%) で、以下、ユスリカ亜科 (19.9%)、ミズムシ (15.8%)、カイミジンコ目 (12.9%)、エリユスリカ亜科 (6.8%)、フロリダマミズヨコエビ (5.7%)、ヒメドロムシ亜科幼虫 (4.3%) の順であった。これらのうち、シコクメクラヨコエビは地下性無脊椎動物であり、フロリダマミズヨコエビは外来性無脊椎動物である。

NMS の結果、全調査地を通してベントスとハイポレオスの群集構造に違いがあることが明らかになった。相関分析の結果より、ベントスではシロタニガワカゲロウやイシワタマダラカゲロウ等の分類群が、ハイポレオスではシコクメクラヨコエビやヒメドロムシ亜科幼虫等の分類群が優占していることが示された。

ハイポレオスの群集構造は季節間の変異は小さかったものの、上流から下流にかけて明瞭な変化が見られた。相関分析の結果、下流ではエリユスリカ亜科、カイミジンコ目等の汚濁耐性の高い分類群が優占していることが示された。生息場所環境との相関により上流から下流に向かって栄養塩濃度の上昇が見られたことから、この変化は農業・生活排水の流入による水質汚濁によりもたらされているものと考えられた。

(2) 定期調査

ベントス、ハイポレオスともに出水により生息密度が低下した (図 2)。これは出水に伴う物理的攪乱による除去と、生息場所の拡大による希釈効果の双方によるものと考えられた。

ベントスとハイポレオスの生息密度は低

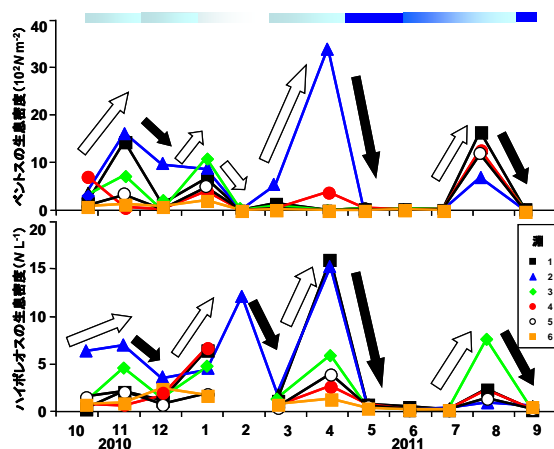


図 2 ベントスおよびハイポレオスの生息密度の時間的変動。黒矢印は流量増加 (出水) による変動を、白矢印は流量減少 (低水、干上がり) による変動を表す。

水に対して異なる変動パターンを示した。低水の進行に伴いベントスの生息密度は一時的に上昇したが、干上がりにより 0 になった。これは、生息場所の縮小に伴う密集とその後の死滅によるものと推測された。一方、ハイポレオスの生息密度は低水の進行から干上がり発生後に至るまで上昇し続けた。ベントスは干上がりにより完全に死滅せず、一部は河床間隙水域に移動していたものと考えられた。

(3) 攪乱調査

ハイポレオスは干上がり発生時に表流水域から河床間隙水域に移動することが示唆された。ハイポレオスの生息密度は干上がり発生前よりも発生後に高かった (図 3)。各分類群の解析から、ミズムシおよびケンミジンコ目の生息密度が干上がり発生後に著しく上昇していた (図 4)。これら分類群は比較的止水的な生息場所を選好することが知られており、河床間隙水域での生息により適していたものと推測された。

(4) まとめ

本研究により、河川上流域から下流域にかけての幅広い生息場所におけるハイポレオス相が明らかになった。さらに、河床間隙水域は河川性無脊椎動物の干上がりからの避難場所として機能しており、この結果は HRH を支持するものであった。ただし、河床間隙水域を避難場所として利用は全ての分類群にとって可能なわけではなく、止水性の高い限られた分類群に限定されることが明らかになった。

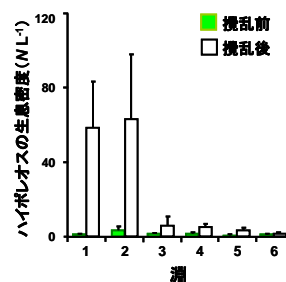


図 3 干上がり攪乱発生前後のハイポレオスの生息密度の比較。

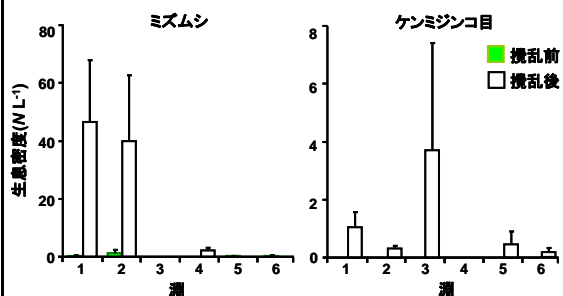


図 4 干上がり攪乱発生前後の河床間隙水域におけるミズムシおよびケンミジンコ目の生息密度の比較。

広域調査で示されたとおり、人間活動の影響は表流水域のみならず河川地下に広がる河床間隙水域にも及んでいる。また、世界各地の河川で流量減少に伴う干上がりが進行している。本研究の結果は、河川生態系の保全、特に利用頻度の高い無脊椎動物の保全にあたっては河床間隙水域の保全を図るべきことを強く示唆するものである。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件)

①Kawanishi R, Inoue M, Dohi R, Fujii A and Miyake Y (in press) The role of hyporheic zone for a benthic fish in an intermittent river: a refuge, not a graveyard. *Aquatic Sciences*. 査読有り, DOI: 10.1007/s00027-013-0289-4

②山根 直也・酒井 亨・三宅 洋 (2011) 河川の流量減少が外来性底生動物の侵入過程に及ぼす影響. 土木学会論文集 G (環境), 67(6): II_29-II_36. 査読有り, URL: <http://jglobal.jst.go.jp/public/20090422/201102299941140047>

③Kawanishi R, Inoue M, Takagi M, Miyake Y and Shimizu T (2011) Habitat factors affecting the distribution and abundance of spinous loach *Cobitis shikokuensis* in southwestern Japan. *Ichthyological Research* 58(3): 202-208. 査読有り, DOI: 10.1007/s10228-011-0208-4

[学会発表] (計8件)

①山崎 久美子・三宅 洋・潮見 礼也・今田 慎太郎. 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. 土木学会四国支部第 19 回技術研究発表会, 2013 年 5 月 11 日, 松山

②山根 直也・門田 浩太・三宅 洋. 間欠河川における底生動物の流程分布の長期的変動および指標種の抽出. 土木学会四国支部第 18 回技術研究発表会, 2012 年 5 月 19 日, 高知.

③山根 直也・酒井 亨・三宅 洋. 河川の流量減少が外来性底生動物の侵入過程に及ぼす影響. 第 39 回環境システム研究論文発表会, 2011 年 10 月 22 日, 相模原.

④酒井 亨・林 悠允・三宅 洋. 干上がり河川におけるベントスおよびハイポレオスの流程分布. 土木学会平成 23 年度全国大会第 66 回年次学術講演会, 2011 年 9 月 7 日, 松

山.

⑤山根 直也・酒井 亨・三宅 洋. 河川の流量減少は外来性底生動物の侵入を促進するか? 土木学会平成 23 年度全国大会第 66 回年次学術講演会, 2011 年 9 月 7 日, 松山.

⑥酒井 亨・林 悠允・三宅 洋. 干上がり河川におけるベントスおよびハイポレオスの流程分布. 土木学会四国支部第 17 回技術研究発表会, 2011 年 5 月 14 日, 高松.

⑦山根 直也・酒井 亨・三宅 洋. 河川の流量減少は外来性底生動物の侵入を促進するか? 土木学会四国支部第 17 回技術研究発表会, 2011 年 5 月 14 日, 高松.

⑧酒井 亨・中野 裕・井上 幹生・三宅 洋. 河床間隙水域は攪乱時の避難場所として無脊椎動物に利用されるか? 応用生態工学会第 14 回研究発表会, 2010 年 9 月 22 日, 札幌.

[図書] (計1件)

①三宅 洋 (2013) 講談社, 「河川生態学」 中村太士編, 「流量変動・攪乱の重要性」 pp. 169-191.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三宅 洋 (MIYAKE YO)
研究者番号: 90345801

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

井上 幹夫 (MIKIO INOUE)
愛媛大学大学院理工学研究科・准教授
研究者番号: 10294787

酒井 亨 (SAKAI TORU)
愛媛大学大学院理工学研究科
博士前期課程大学院生

中野 裕 (NAKANO HIROSHI)
愛媛大学大学院理工学研究科
博士前期課程大学院生

林 悠允 (HAYASHI YUSUKE)
愛媛大学工学部環境建設工学科
学部生