

## 重信川瀬切れ区間の河床間隙水域における動物相の把握

### Hyporheic invertebrates and fish

### in an intermittent reach of Shigenobu River

三宅 洋\*・中野 裕\*・土肥 唱吾\*・峰松 勇二\*

Yo Miyake\*・Hiroshi Nakano\*・Shogo Dohi\*・Yuji Minematsu\*

We sampled hyporheic invertebrates and fish in an intermittent reach of Shigenobu River by digging out dried-up streambeds using hydraulic excavator. Three study sites were established in midstream segment of the river (ca. 5.9 km from mouth): HU (hyporheic upstream, 1 day from dry-up), HD (hyporheic downstream, 6 days from dry-up) and PP (perennial pool). A total of 1,868 individuals and 24 taxa were found in the hyporheic invertebrate samples. The densities of invertebrate taxa were in general highest at PP, followed by HU and HD. However, the densities of coleopteran taxa were higher at hyporheic study sites than at PP. We captured one individual of endangered Japanese spinous loach, *Cobitis shikokuensis*, at HU. This is the first record of the species captured from the hyporheic zone. We concluded that the hyporheic zone possibly serve as refugia for stream animals during droughts in intermittent streams.

*Key words: hyporheic zone, intermittent stream, hydraulic excavator, stream invertebrates, stream fish, Japanese spinous loach*

#### 1. はじめに

河川底質を構成する砂礫間に広がる河床間隙水域 (hyporheic zone) は、河川動物の未知の生息場所として注目を集めてきた<sup>[1]</sup>。河床間隙域に生息する無脊椎動物 (hyporheos) の存在が示唆されて以来、多くの研究によりその存在量および群集構造の時空間的変異が探求されてきた<sup>[2]</sup>。これまでに、無脊椎動物が生息可能な地下水域が非常に広域に広がる場合があること<sup>[3]</sup>、表流水中を凌ぐ量の無脊椎動物が存在する場合もあること<sup>[4]</sup>、河床間隙水域中で特徴的に見られる分類群がいることなどが示されている<sup>[5]</sup>。河床間隙水域は、近年では表流水域に劣らず重要な生息場所であることが示唆され、その特性を把握せずに河川動物相を包括的に理解することは難しいと考えられている<sup>[6]</sup>。

河川動物は、洪水や渇水による攪乱時にその影響を回避するために避難場所を利用することが知られている。例えば、魚類は渇水時にも残存する淵に移動することが報告されており<sup>[7]</sup>、洪水時には河岸の比較的流速の遅い場所に避難することが知られている<sup>[8]</sup>。また、無脊椎動物は渇水時に淵や河床間隙水域に避難することが報告されており<sup>[9]</sup>、洪水時には安定した礫間に避難することが知られている<sup>[10]</sup>。特に、渇水により干上がりが起こる瀬切れ河川では表流水が完全に消失することがあるため、

---

\* 愛媛大学大学院理工学研究科

\* Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

原稿受理 平成 20 年 10 月 31 日

河床間隙水域が重要な避難場所となる可能性が示唆されている<sup>[11]</sup>。瀬切れ河川の河床間隙水域には例えばゲンゴロウ科やダルマガムシ科（いずれも昆虫綱コウチュウ目）などの無脊椎動物が特徴的に見られることが報告されている<sup>[12]</sup>。しかし、実際に河床間隙水域が避難場所としてどの程度利用されているかについては意見が分かれている<sup>[11], [12]</sup>。また、北アメリカ、ヨーロッパおよびオセアニア以外の地域では河床間隙水域の動物相に関する知見はほとんど得られていない。

河床間隙水域に生息する動物（主に無脊椎動物）は様々な方法で採取されている<sup>[2]</sup>。最もシンプルな方法としてはショベルなどを用いた河床の掘削がある。この方法は実施に莫大な労力を要すると共に定量性に問題がある<sup>[2]</sup>。定量採取を可能にする方法としては河床コアの採取が挙げられるが、河床が粒径の大きな礫で構成されている場合には実施が困難である<sup>[13]</sup>。また、河床に打ち込んだパイプを井戸（well）として長期間設置し、深度ごとに開けた穴から河床間隙水とともに動物を採取する方法もある<sup>[3]</sup>。定量性の向上や深度毎の正確な採取を目指した方法としては、あらかじめ河床に打ち込んだパイプに液体窒素を注入することにより周囲の間隙水を凍結させて河床材料とともに生物を採取する方法（冷凍コア法, freeze-core technique）がある<sup>[14]</sup>。この方法に際しては、採取の過程で生物が表層に移動することを阻止するために、河床に電気を流して生物を麻痺させる前処理を行うことが多い<sup>[13]</sup>。他には、金属製のネット内に砂礫を設置した人工基質を河床に埋設し、これに移入した動物を採取する方法もある<sup>[14]</sup>。これらの方法はいずれも多く多くの河川で実施された実績があるものの、採取に先立って何らかの物体を河床に設置する方法は、調査実施までに準備期間を要すると共に、流量の増加により設備が流出してしまう可能性もある。また、多くの方法では採取できるサンプルの量が少ないため、生物が低密度でしか生息しない場合には有効性が低い。本研究では、上記の欠点を克服し得る方法として、建設機械である油圧ショベル用いた河床の掘削を河床間隙水域における動物サンプル採取に導入し、瀬切れ河川における河床間隙水域の動物相の特徴を把握することを主目的とした。さらに、表流水が存在する区間の動物相と簡単な比較を行うことにより、河床間隙水域の避難場所としての機能に関する予備的な知見を得ることも目的とした。

## 2. 方法

本研究は、2007年9月13日に、愛媛県中予地方を流れる重信川の中流域で行った。重信川は東温市東三ヶ方森（標高 1,233 m）に源流をもち、山間部を下った後、道後平野の中心を西流しながら瀬戸内海に注ぐ幹川流路延長 36 km、流域面積約 445 km<sup>2</sup>の一級河川である（Fig. 1）。重信川流域は広く堆積岩で覆われている。山岳部には人工林や二次林が多く認められるが、中・下流の平野部は広く住居地および水田などの農地で占められており、流域市町の人口は約 60 万人である。

重信川流域は瀬戸内海式気候のため、台風や梅雨前線に伴う豪雨はあるものの、年間を通して降水量は少ない（約 1,300 mm）。重信川は源流から河口までの距離が短かつ急流であるため降水は短時間に海へ流出し、さらに土砂生産量が多いために瀬切れが頻繁に発生する。重信川の瀬切れ区間は、河口からの距離が 18-22 km の区間、10-16 km の区間および 5-8 km の区間の 3 区間である。上流および中流の瀬切れ区間は自然状態でも瀬切れが発生していたことが知られているが、1970 年代から下流の区間でも瀬切れが顕在化し、徐々に瀬切れ区間が拡大するとともに瀬切れ期間発生が長期化している。下流の瀬切れ区間では、最下流の出合水位観測所における流量が約 2 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> 以下で瀬切れが発生することが知られている。平成 18 年の水位－流量換算式によると、流量が 2 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> の時の水位は 1.20 m である。（国土交通省四国地方整備局松山河川国道事務所、未発表データ）。

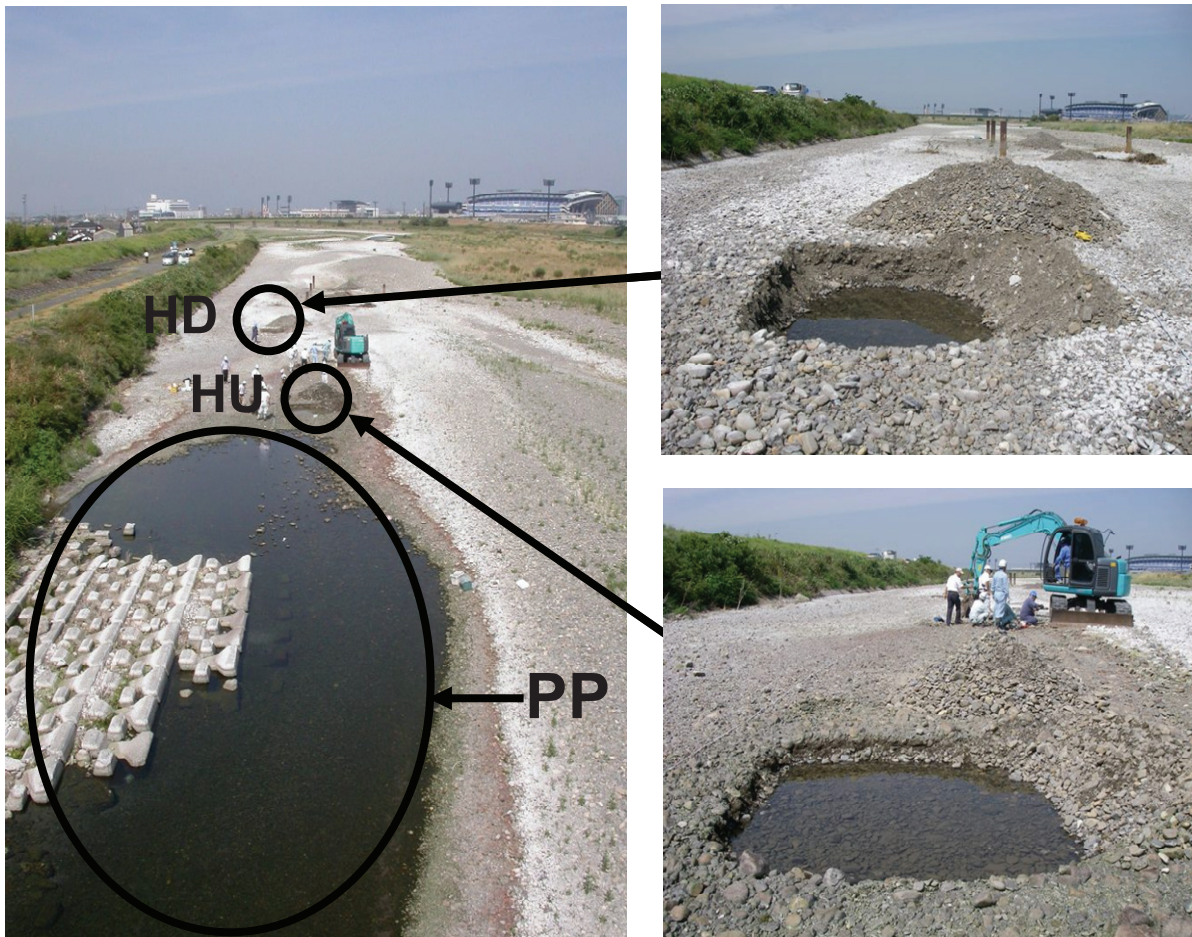


Fig. 1. Location of study sites. HU: Hyporheic upstream, HD: Hyporheic downstream, PP: Perennial pool.

河口から約 5.9 km の地点にある中川原橋下流の河川区間で 2007 年 9 月 13 日に現地調査を行った (Fig. 1)。調査時に表流水が存在した淵 (PP : Perennial pool) に 1 地点, その下流の表流水が消失した区間に 2 地点の調査地を設けた。PP の下流端から 3 m および 40 m 下流側の瀬切れ区間の河床を油圧ショベル (SK70SR-2, KOBELCO) により掘削して地下水面を露出させ, それぞれ上流側調査地点 (HU : Hyporheic Upstream) および下流側調査地点 (HD : Hyporheic Downstream) とした (Fig. 1)。各調査地点の水表面積は HU で  $6.0 \text{ m}^2$ , HD で  $7.0 \text{ m}^2$ , PP で  $270.0 \text{ m}^2$  であり, 間隙水域調査地点の河床地下水面高は HU で 16 cm, HD で 46 cm であった (Table 1)。なお, 掘削は伏流水が出現し調査を行うために十分な水深 (HU : 17 cm, HD : 16 cm) が得られるまで行った。調査前および調査時における観察によると, HU では調査実施前日の 9 月 12 日に, HD では調査実施 6 日前の 9 月 7 日に表流水が消失していた。各調査地点の河川水または河床間隙水の溶存酸素量は, HU で  $6.93 \text{ mg l}^{-1}$ , HD で  $4.14 \text{ mg l}^{-1}$ , PP で  $7.40 \text{ mg l}^{-1}$  であった。なお, 水温, 水深, 電気伝導度, pH, 硝酸態窒素量およびリン酸態リン量については調査地間で大きな変異は見られなかった (Table 1)。調査を行った河川区間の底質は主に大礫 (cobble, 64-256 mm) および中礫 (pebble, 16-64 mm) で構成されており, 部分的に小礫 (gravel, 2-16 mm) および砂 (sand, < 2 mm) も見られた<sup>[16],[17]</sup>。

Table 1. Description of study sites.

Site	Abbrev.	Area (m)	Water temp. (°C)	Groundwater level (cm)	Mean depth (cm)	EC (mS cm <sup>-1</sup> )	DO (mg l <sup>-1</sup> )	pH	NO <sub>3</sub> -N (mg l <sup>-1</sup> )	PO <sub>4</sub> -P (mg l <sup>-1</sup> )
Hyporheic upstream	HU	2.3 × 2.6	26.9	-16	17.3	0.240	6.93	7.6	1.480	0.080
Hyporheic downstream	HD	2.4 × 3.2	25.7	-46	15.7	0.246	4.14	7.6	1.635	0.040
Perennial pool	PP	36.0 × 7.5	26.9		18.6	0.246	7.40	7.6	1.485	0.045



各調査地点において、D フレームネット（開口部 25 × 25 cm，ネット長 40 cm，目合い 0.5 mm，離合社）を用いて無脊椎動物を採取した。HU および HD では各 2 サンプルを同時に採取した。採取にあたっては、調査地全域の河床を足で 1 分 30 秒間攪乱し、浮遊した無脊椎動物をすくいとった。PP では 36 m の調査区間を設け、調査区間内の流心部

Table 2. Invertebrate density at each study site.

Taxon	Density ( $N m^{-2}$ )		
	HU	HD	PP
INSECTA 昆虫綱			
EPHEMEROPTERA カゲロウ目			
Potamanthidae カワカゲロウ科			
<i>Potamanthus formosus</i> キイロカワカゲロウ	0.7		8.0
Ephemeridae モンカゲロウ科			
<i>Ephemera</i> spp. モンカゲロウ属	0.3		
Caenidae ヒメシロカゲロウ科			
<i>Caenis</i> spp. ヒメシロカゲロウ属	13.9		16.0
Ephemerellidae マダラカゲロウ科			
<i>Torleya japonica</i> エラブタマダラカゲロウ	0.3		
Baetidae コカゲロウ科			
<i>Baetis</i> sp. I コカゲロウ			16.0
Heptageniidae ヒラタカゲロウ科			
<i>Ecdyonurus kibunensis</i> キブネタニガワカゲロウ			16.0
ODONATA トンボ目			
Gomphidae サナエトンボ科			
<i>Nihonogomphus viridis</i> アオサナエ	0.2		
Calopterygidae カワトンボ科			
<i>Calopteryx cornelia</i> ミヤマカワトンボ	0.2		
TRICHOPTERA トビケラ目			
Hydroptilidae ヒメトビケラ科			
<i>Hydroptila</i> spp. ヒメトビケラ属	0.2		
COLEOPTERA コウチュウ目			
Dytiscidae ゲンゴロウ科			
Hydroporinae ケシゲンゴロウ亜科	14.9		8.0
Colymbetinae ヒメゲンゴロウ亜科		0.3	
Hydrophilidae ガムシ科			
<i>Helochaeres</i> spp. スジヒラタガムシ属	27.6	0.1	
Gyrinidae ミズスマシ科			
<i>Gyrinus</i> spp. ミズスマシ属	0.5		
Psephenidae マスダドROMシ科			
<i>Psephenoides</i> spp. マスダドROMシ属	0.2		
Elmidae ヒメドROMシ科			
<i>Elminae</i> ヒメドROMシ亜科	5.4	0.8	
DIPTERA 双翅目			
Tipulidae ガガンボ科			
<i>Tipula</i> spp. ガガンボ属	0.2		
Chironomidae ユスリカ科			
Orthocladinae エリユスリカ亜科	4.3	0.7	48.0
Tanytopodinae モンユスリカ亜科	2.2		8.0
Chironominae ユスリカ亜科	8.4	1.2	24.0
ARACHNOIDA 蛛形綱			
ACARINA ダニ目			
Acarina ダニ目	0.8		8.0
CRUSTACEA 甲殻綱			
AMPHIPODA ヨコエビ目			
<i>Crangonyx floridanus</i> フロリダマミズヨコエビ	2.8		24.0
CYCLOPOIDA ケンミジンコ目			
Cyclopoida ケンミジンコ目	2.6		8.0
PODOCOPIDA カイミジンコ目			
Podocopida カイミジンコ目	17.9	0.1	64.0
ISOPODA ワラジムシ目			
Asellidae ミズムシ科			
<i>Asellus hilgendorffii</i> ミズムシ	198.0	1.6	472.0
OLIGOCHAETA 貧毛綱			
Oligochaeta ミミズ綱	0.2		8.0
HIRUDINEA ヒル綱			
PHARYNGOBDSELLIDA ヒル目			
Erpobdellidae イシビル科			
<i>Erpobdella lineata</i> シマイシビル	4.8		32.0

2 地点において 25 cm × 25 cm の範囲の河床を足で攪乱し、流下した無脊椎動物を下流に構えた D フレームネットにより採取した。採取したサンプル（計 6 サンプル）は分析を行うまで 5%ホルマリン溶液で保存した。続いて、エレクトロフィッシャーを用いて各調査地で魚類の採捕を行った。エレクトロフィッシャーの電撃により一時的に麻痺した魚類をタモ網で採捕した。HU および HD では調査地全域で、PP では 20 × 2 m の調査区間を設け下流から上流に向かって採捕を行った。採捕した魚類は現場で同定、計数した後に放流した。

無脊椎動物は実体顕微鏡下で可能な限り下位の分類群まで同定を行い、計数した。各調査地において、無脊椎動物の生息密度 ( $N m^{-2}$ )、無脊椎動物の総出現分類群数、魚類の生息密度 ( $N m^{-2}$ ) および魚類の総出現種数を算出した。

### 3. 結果

全サンプルで合わせて 2,026 個体、25 分類群の無脊椎動物が採取された。このうち、河床間隙水域の HU では 1,832 個体、23 分類群の、HD では 36 個体、7 分類群の無脊椎動物が採取された (Table 2)。また、表流水が存在した PP では 158 個体、15 分類群の無脊椎動物が採取された。生息密度で比較すると、PP ( $1,264.0 N m^{-2}$ )、HU ( $305.3 N m^{-2}$ )、HD ( $4.7 N m^{-2}$ ) の順に低くなった。HU および HD において最も優占的に見られた分類群（相対密度 3.0%以上）はミズムシ (*Asellus hilgendorffii*, 相対密度 64.1%) であり、以下、スジヒラタガムシ属 (*Helochaeres* spp., 8.9%)、カイミジンコ目 (Podocopida, 5.8%)、ケシゲンゴロウ亜科 (Hydroporinae, 4.8%)、ヒメシロカゲロウ属 (*Caenis* spp., 4.5%)、ユスリカ亜科 (Chironominae, 3.1%) の順で多くみられた。これら 6 分類群で HU および HD における総個体数の 91% を占めていた。また、PP において優占的にみられた分類群はミズムシ (62.1%) であり、

Table 3. Fish captured at each study site.

Species	Number of individuals		
	HU	HD	PP
ANGUILLIFORMES ウナギ目			
Anguillidae ウナギ科			
<i>Anguilla japonica</i> ウナギ			1
CYPRINIFORMES コイ目			
Cyprinidae コイ科			
<i>Zacco platypus</i> オイカワ			28
<i>Phoxinus oxycephalus</i> タカハヤ			3
<i>Pseudogobio esocinus</i> カマツカ			2
<i>Cyprinus carpio</i> コイ			7
<i>Carassius</i> sp. ギンブナ			12
Cobitidae ドジョウ科			
<i>Cobitis biwae</i> シマドジョウ			10
<i>Cobitis shikokuensis</i> ヒナイシドジョウ	1		5
SILURIFORMES ナマズ目			
Siluridae ナマズ科			
<i>Silurus asotus</i> ナマズ			1
PERCIFORMES スズキ目			
Gobiidae ハゼ科			
<i>Rhinogobius</i> sp. CB シマヨシノボリ			5
<i>Tridentiger brevispinis</i> ヌマチチブ			12

Fig. 2. Photograph of Japanese spinous loach, *Cobitis shikokuensis*, captured from the hyporheic zone.



以下、カシミジンコ目 (8.4%), エリユスリカ亜科 (Orthoclaadiinae, 6.3%), シマイシビル (*Erpobdella lineata*, 4.2%), ユスリカ亜科 (3.2%), フロリダマミズヨコエビ (*Crangonyx floridanus*, 3.2%) の順で多くみられた。これら 6 分類群で PP における総個体数の 87% を占めていた (Table 2)。

河床間隙水域で特異的に採取される無脊椎動物が見られた。優占分類群を含め多くの分類群は PP よりも HU および HD で生息密度が低かった (Table 2)。一方、コウチュウ目に属するスジヒラタガムシ属およびヒメドロムシ亜科 (Elminae) については、HU または HD にて比較的高密度で採取されたものの、PP では採取されなかった。また、同じくコウチュウ目に属するケシゲンゴロウ亜科については、PP でも採取されたが、HU よりも生息密度が低かった (Table 2)。

全調査地点で合わせて 87 個体、11 種の魚類が採捕された。表流水が存在した PP では 86 個体、11 種の魚類が採捕された。河床間隙水域の調査地では、HU においてヒナイシドジョウ (*Cobitis shikokuensis*) が 1 個体採捕された (Table 3)。ただし、この個体はエレクトロフィッシャーではなく、D フレームネットでの無脊椎動物採取の際に採捕された。生息密度で比較すると、PP ( $2.15 N m^{-2}$ ), HU ( $0.17 N m^{-2}$ ), HD ( $0 N m^{-2}$ ) の順に低くなった。PP において優占的にみられた種 (相対密度 10% 以上) はオイカワ (*Zacco platypus*, 32.6%) であり、以下、ギンブナ (*Carassius* sp., 14.0%), ヌマチチブ (*Tridentiger brevispinis*, 14.0%), シマドジョウ (*Cobitis biwae*, 11.6%) の順で多くみられた。これら 4 種で PP における総個体数の 72% を占めていた (Table 3)。

#### 4. 考察

本研究では、表流水が消失している地点の河床間隙水域中から無脊椎動物および魚類の生存を確認することができた。表流水回復後にこれらの動物は表流水中に移動できると考えられるため、河床間隙水域は表流水の消失からの避難場所となっている可能性がある<sup>[9],[11]</sup>。ただし、表流水が存在する調査地点よりも河床間隙域の調査地で無脊椎動物および魚類の生息密度が低く、特に表流水の消失からの期間が長い調査地点 (HD) では著しく低い値を示した。また、これに伴って無脊椎動物の分類群数および魚類の種数も減少していた。本研究では調査地点により採取方法が異なるため生息密度および多様性の単純な比較は難しいが、河床間隙水域が持つ表流水の消失からの避難場所として

の機能は限定的であり、この水域は短期間の消失の間のみ動物が利用可能な生息場所であると考えられた。河床間隙水域の避難場所としての重要性については懐疑的な見方も多いが<sup>[12]</sup>、今後は個体の移動追跡などの手法により機能を直接的に解明する研究の実施が期待される。動物密度が低下した原因としては河床間隙水域における溶存酸素量の低下に伴う死亡が考えられる。ただし、本研究では動物の餌資源環境についての評価を行っていないため、藻類、微生物、堆積有機物などの餌資源を計測し、総合的に死亡要因を評価する必要があると思われる。

河床間隙水域を特異的に利用する無脊椎動物の存在が示唆された。河床間隙水域で優占的に見られた、ミズムシ、カイミジンコ目、ヒメシロカゲロウ属およびユスリカ亜科を含む多くの分類群は、河床間隙水域で生息密度が低下していた。よって、これらの分類群は河床間隙水域を選好しているわけではなく、表流水の消失に伴い河床下に潜行したものが残存していたものと考えられる。一方、本研究ではコウチュウ目の水生昆虫が河床間隙水域で特異的に採取された。河床間隙水域におけるコウチュウ目の出現は既存研究からも報告されている<sup>[12]</sup>。この理由としては、行動特性や生理的特性が河床間隙水域での生息に適していること、生活史の一部または全体で河床間隙水域を利用していることなどが推測される。ただし、これら分類群の特性や河床間隙水域の利用形態についてはこれまでに多く情報が得られていないことから、今後の生態学的研究の実施が期待される。

河床間隙水域中でも生存可能な魚類の存在が明らかになった。表流水が存在していた調査地点において採捕されたヒナインドジョウが河床間隙水域の HU においても 1 個体採捕された。これまでもヒナインドジョウが河床間隙水域を利用できるとする文献は見られるが<sup>[18]</sup>、実際に河床間隙水域からヒナインドジョウを確認した例は見られない。本研究により、ヒナインドジョウは河床間隙水域において少なくとも 1 日間は生息可能であり、表流水の消失時に河床間隙水域へ避難する能力があることが初めて示された。ヒナインドジョウは環境省および愛媛県のレッドリストで絶滅危惧 1B 類 (EN) に分類される四国固有の純淡水性魚類である<sup>[18]</sup>。本研究における発見は、今後の重信川および他の生息河川におけるヒナインドジョウ個体群の保全に重要な情報を提供するものである。一方で、他の魚類については河床間隙水域からは確認されなかったことから、表流水の消失により死滅したか、または近接する表流水が残存する河川区間に避難したものと推測される。従って、多くの魚類にとって河床間隙水域は生息が困難な場所であり、避難場所としての利用は不可能であると考えられた。

本研究では、油圧ショベルを用いた河床掘削により河床間隙水域に生息する河川動物相を明らかにした。無脊椎動物および魚類の生息状況から、河床間隙水域は少なくとも短期間は表流水の消失からの避難場所として利用可能であると考えられた。また、個体数は少ないながらも河床間隙水域を特異的に利用する動物を確認することができた。油圧ショベルを用いた大規模な掘削により広い面積からサンプルを採取できたことが、低密度で生息する生物の確認につながったものと考えられる。油圧ショベルの利用は必ずしも容易とは言えないが、河川工事等で低水路内に油圧ショベルが頻繁に侵入する河川においては、付随的に調査を行う機会を得やすいものと考えられる。表流水が存在する地点での実施が難しく定量的ではないなどの欠点はあるものの、油圧ショベルを用いた掘削を河床間隙水域調査の一つの手段として有効利用することにより、生態系保全を考慮した瀬切れ河川の管理手法の確立に貢献するより多くの生態学的情報の収集が可能になるものと考えられる。

## 5. 謝辞

本研究を遂行するにあたり調査の便宜を図って下さった国土交通省四国地方整備局松山河川国道事務所の中川達郎氏に深く感謝する。また、水質測定でご協力を頂いた沿岸環境科学研究センターの大西秀次郎氏にお礼を申し上げる。愛媛大学大学院理工学研究科の井上幹生氏および川西亮太氏には魚

類の生態に関する貴重な情報をご提供頂いた。研究を通してお世話になった国土交通省四国地方整備局松山河川国道事務所および愛媛大学理工学研究科保全生態学研究室のスタッフに感謝したい。

## 6. 引用文献

- [1] Allan J. D. & Castillo M. M.: "Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters", 2nd ed., Springer, Dordrecht, 2007.
- [2] Williams D. D. & Hynes H. B. N. : The occurrence of benthos deep in the substratum of a stream, *Freshwater Biology*, Vol. 4, pp. 233-256, 1974.
- [3] Stanford J. A. & Ward J. V. : The hyporheic habitat of river ecosystems, *Nature*, Vol. 355, pp. 64-66, 1988.
- [4] Smock L. A., Gladden J. E., Riekenberg J. L., Smith L. C. & Black C. R. : Lotic macroinvertebrate production in three dimensions: channel surface, hyporheic, and floodplain environments, *Ecology*, Vol. 73, pp. 876-886, 1992.
- [5] Stanford J. A. & Gaufin A. R. : Hyporheic communities of two Montana rivers, *Science*, Vol. 185, pp. 700-702, 1974.
- [6] Jones, Jr J. B., & Holmes R. M. : Surface-subsurface interactions in stream ecosystems, *Trends in Ecology and Evolution*, Vol. 11, pp. 239-242, 1996.
- [7] Magoulick D. D. & Kobza R. M. : The role of refugia for fishes during drought: a review and synthesis, *Freshwater Biology*, Vol. 48, pp. 1186-1198, 2003.
- [8] David B. O. & Closs G. P. : Behavior of a stream-dwelling fish before, during, and after high-discharge events, *Transactions of the American Fisheries Society*, Vol. 131, pp. 762-771, 2002.
- [9] Cooling M. & Boulton A. J. : Aspects of the hyporheic zone below the terminus of a South Australian arid-zone stream, *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, Vol. 44, pp. 411-426, 1993.
- [10] Matthaei C. D., Arbuckle C. J. & 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.
- [11] Hesel G. C., Jones P. & Lim R. P. : Hyporheic macroinvertebrates in riffle and pool areas of temporary streams in south eastern Australia, *Hydrobiologia*, Vol. 532, pp. 81-90, 2005.
- [12] del Rosario R. B. & Resh V. H. : Invertebrates in intermittent and perennial streams: is the hyporheic zone refuge from drying?, *Journal of the North American Benthological Society*, Vol. 19, pp. 680-696, 2000.
- [13] Bretschko G. : Quantitative sampling of the fauna of gravel streams, *Verhandlungen der Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, Vol. 22, pp. 2049-2052, 1985.
- [14] Pugsley C. W. & Hynes H. B. N. : A modified freeze-core technique to quantify the depth distribution of fauna in stony streambeds, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, Vol. 40, pp. 637-643, 1983.
- [15] Bo T., Cucco M., Fenoglio S. & Malacarne G. : Colonisation patterns and vertical movements of stream invertebrates in the interstitial zone: a case study in the Apennines, NW Italy, *Hydrobiologia*, Vol. 568, pp. 67-78, 2006.
- [16] 峰松勇二・土肥唱吾・三宅洋：瀬切れが河川性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, 2005.
- [17] 土肥唱吾・峰松勇二・井上幹生・三宅洋：瀬切れ上流一下流間における河川生物群集の比較，環境システム研究論文集，Vol. 34, pp. 57-66, 2005.
- [18] Shimizu T. : Geographic differentiation of *Cobitis shikokuensis* inferred from mtDNA RFLP analysis, *Ichthyological Research*, Vol. 55, pp. 101-111, 2008.