

河川における瀬の河床主材料と底生動物群集の関係

小林草平* 三輪準二** 天野邦彦***

1. はじめに

河川において水生昆虫を主とする底生無脊椎動物（以下底生動物）は、食物網の基礎資源である付着藻類やデトリタスから魚類などの高次消費者へ栄養を伝える役割を持つ。また、底生動物は付着藻類や粒状有機物の摂食を通して水中の栄養塩や有機物濃度にも影響力を持ちうる¹⁾。底生動物のこうした機能や影響力の大きさは底生動物の現存量や構成種に依存する。河床単位面積あたり重量で表される底生動物現存量は季節や出水前後、また同地点でも瀬と淵などの流れ場によって異なることが知られている²⁾。しかし、採集時期や流れ場の条件を揃えても、区間、流程、河川によって現存量は異なるのが通常である。こうした現存量の変異について、特に河道特性との関連は明確になっていない。環境と調和のとれた河川管理を考える上で、生態系の基礎的情報として底生動物現存量についての理解は欠かせない。

汚濁河川や酸性河川など生物が棲みにくい一部の河川を除けば、底生動物現存量は河床や河床近傍の物理特性に大きく左右されると考えられる。例えば、流れが速ければ粒状有機物が多く供給される分、それを食物とする底生動物が多く生息しうる。また、多くの底生動物が河床表面の礫の上面や下面、近傍の砂・砂利に生息している。礫の大きさや周辺の砂・砂利によって、底生動物が住み込める空隙の広さ、定着するための安定性が異なる。底生動物に対する河床材料の重要性は認識されているが³⁾、その関連性を具体的に示す研究は少ないのが現状である。著者らはこれまで主に瀬（流れが速く浅い場、一般に底生動物が多い）の河床主材料（河床表面に確認される主な礫、河床の骨格をなす礫）に注目した研究を複数の礫床河川で行ってきた。本報では、対象空間スケールの異なる2河川の研究の結果を基に、河床と底生動物の関係について議論を行う。

2. 瀬の物理特性と底生動物群集の調査

2.1 豊川における調査

豊川は愛知県東部の一級河川（流域：724km²、全長：77km）で比較的水質がよく、山地から河口付近まで礫床と瀬淵構造が続いている。豊川では上下流流程スケールでの底生動物現存量の変異とその要因を研究した。14調査地点を設定し、上下流比較のため便宜的にこれらの地点を平野部、峡谷部、山間部、山地部の4流程景観に区分した。

各地点において瀬の物理特性と底生動物を調査した（図-1）。まず物理特性としては、底生動物の生息に直接影響する平水時の流速、河床礫径、河床礫の動きにくさを評価した。このうち流速は瀬の水面幅と水面勾配（現地測量）、および平水時流量（近隣の水位観測所データ）をもとに Manning式から推定した⁴⁾。また、河床表面から水中に突き出ている礫（主材料）50個の中径を測定し、平均値を主礫径（ d_o ）として求めた。年最大流量時の河床の摩擦速度^{*}を算出し [$u_*^2 = ghi$ 、 u_* ：摩擦速度（ms⁻¹）、 g ：重力加速度（9.8ms⁻²）、 h ：平均水深（m）、 i ：エネルギー勾配（mm⁻¹）]、それによる可動礫径 [$U_{*c}^2 = 80.9d_e$ 、 U_{*c} ：摩擦速度（cms⁻¹）、 d_e は可動礫径（cm）] に対する主礫径の比（ d_o/d_e ）をその調査地点での河床の礫の動きにくさとして評価した。次に、底生動物に



図-1 様々な礫径の瀬（I：豊川平野部の小径礫の瀬、鬼怒川上流のII：中径礫、III：大径礫、IV：岩床の瀬）

Relationship between the size of main bed materials and benthic macroinvertebrates in gravel-bed rivers

*土木用語解説：摩擦速度

については定量採集を4季節行った。各季節、瀬の中の3ヶ所においてそれぞれ河床30cm×30cmの範囲において礫表面や砂・砂利の中に潜む底生動物をサーバーネット（網目0.25mm）に洗い流すことで採集した。

2.2 鬼怒川上流の調査

栃木県鬼怒川上流において川治ダムと川俣ダムの間に小規模なダム（黒部ダム、東京電力管理、堤高：28.7m）があり、ダム下流では河床の砂礫量が少なく岩床が現れている。現地には岩床の瀬が多数存在するほか、様々な礫径の瀬が存在する。ここでは区間内スケールでの現存量の変異と礫径との関係を研究している。瀬を主礫径を基に小礫（5-10cm）、中礫（10-30cm）、大礫（>30cm）、岩床の4タイプに区分した。各タイプの瀬で2ヶ所からそれぞれ河床50cm×50cmの範囲の底生動物をサーバーネット（網目0.25mm）で採集した。この調査は河道特性に大きな違いのない3km離れ

た2つの区間でそれぞれ行った。

豊川と鬼怒川のいずれの調査も採集物はホルマリン5%固定し分析室に持ち帰り、底生動物を取り出して分類群（属または科レベル）を特定、分類群ごとに乾燥重量を測定した。乾燥重量は採集面積（0.27m²または0.5m²）で除して現存量（gm⁻²）で表した。

3. 調査結果と考察

3.1 豊川における流程景観と瀬の底生動物

瀬の平均流速は0.8-1.9ms⁻¹の範囲をとり、上下流の中程の流程にあたる峡谷部や山間部の地点で大きかった（図-2）。主礫径は平野部と峡谷部では上流地点ほど大きかったが山間部と山地部ではどの地点も>16cmで上下流の明瞭な傾向はなかった（図-2）。河床礫の動きにくさは平野部では全地点で1以上であったのに対し、峡谷部、山間部、山地部では礫径が最大の地点11を除き0.4-0.9の範囲であった（図-2）。

底生動物現存量は、平野部と山間部の地点が高く、峡谷部と山地部の地点に比べて平均で1.7-2.5倍の差があった（図-3）。豊川では158の分類群（属または科レベル）が出現し地点間で分類群構成は異なった。これら底生動物を移動性（固着

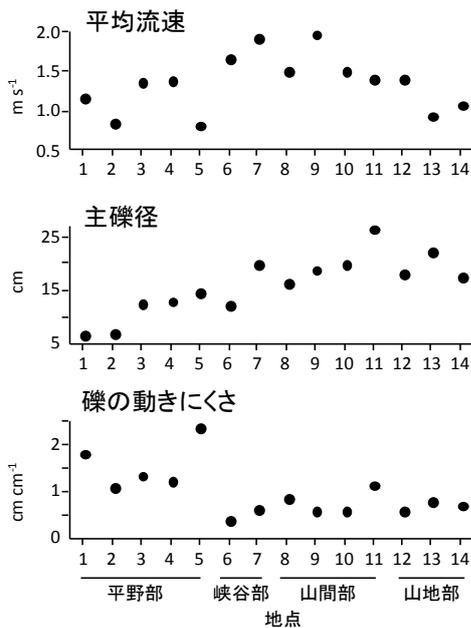


図-2 豊川の各地点における瀬の物理特性

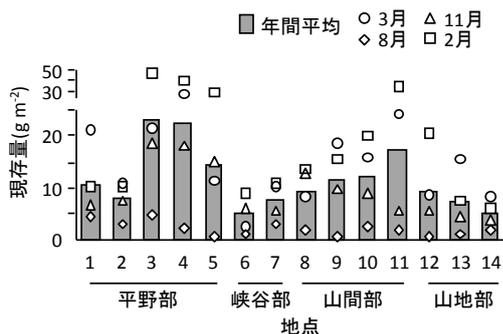


図-3 豊川の各地点における全底生動物現存量

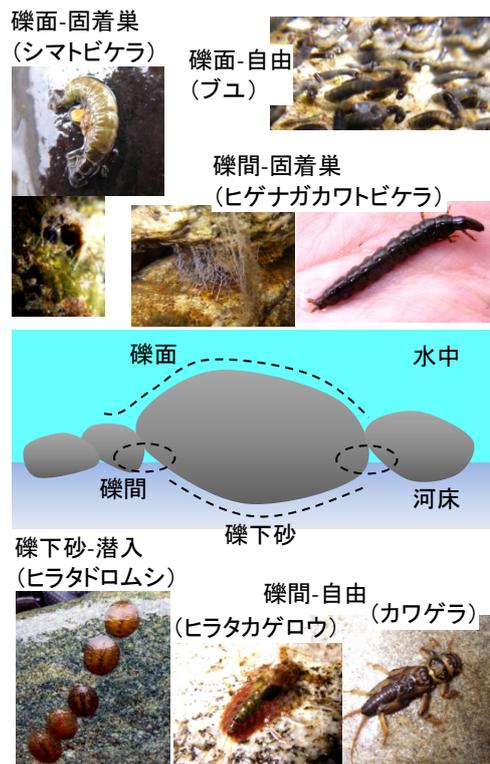


図-4 河川の瀬にみられる底生動物と河床生息型の例

巢や可携巢の有無)と生息拠点(休息場)とする位置(礫上面、礫間、砂・砂利に面した礫下など)に基づき河床生息型⁵⁾に区分し(図-4)、優占するグループを比較した。その結果、平野部の地点で主に優占していたのは、礫上面ないし側面に巢を張る礫面-固着巢型と、はまり石下の締まった空間や砂・砂利の中に潜り込む礫下砂-潜入型であった(図-5)。これらは比較的移動性が小さく定住性が強いグループである。さらにこれらのグループの現存量は、礫の動きにくさと正の関係がみられた(図-6)。一方、山間部や山地部で主に優占したのは、礫間や礫下面の空隙に巢を張る礫間-固着巢型と、自由に動き回る礫間-自由型であった(図-5)。これらは礫に挟まれた適度な大きさの空隙を必要とするグループである。これらのグループの現存量は主礫径と強い正の関係がみられ、特に15cm以上の礫径で現存量が明瞭に高まっていた(図-6)。

豊川では平野部と山間部で底生動物の現存量が高かった。河床特性と優占する河床生息型に基づき、それぞれ異なる理由で高い現存量が維持されていることが推測される。すなわち主礫径の大き

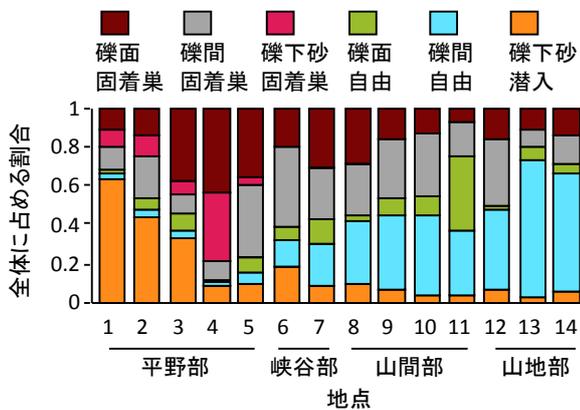


図-5 底生動物の河床生息型構成

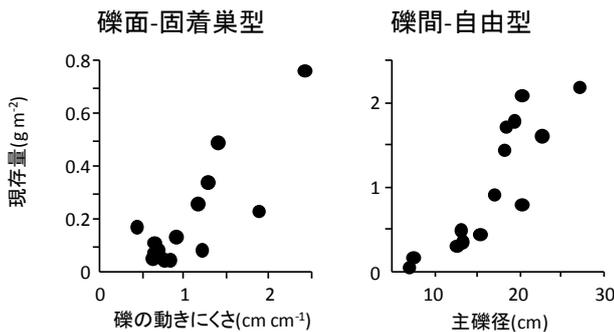


図-6 瀬の物理特性と現存量の関係の例

な山間部では河床空隙量が多いために、空隙を利用する底生動物によって全体として高い現存量が維持されている。空隙の重要性は、ヒゲナガカワトビケラ(礫面-固着巢型)やヒラタカゲロウ科やカワゲラ科(礫間-自由型)の仲間が浮き石を好むことなど個々の分類群によってはこれまでも報告されている²⁾。山間部とともに山地部でも主礫径は大きいですが、流速の大きい山間部の方が流れを好む分類群によって高い現存量が維持されていた。一方、平野部では主礫径が小さいにも関わらずその礫は動きにくいことが示された。平野部では礫間の空隙を必要とするグループは少ないが、空隙を必要としない定住型のグループが多い。平野部では河床が安定しているため、定住型の底生動物が集まり成長することができ、その結果底生動物全体として高い現存量が維持されやすいと考えられる。

3.2 鬼怒川上流における瀬の礫径と底生動物

底生動物現存量は中礫と大礫の瀬で大きく、小礫や岩床の瀬に対して3-4倍であった(図-7)。底生動物を河床生息型に区分すると、大礫と岩床の瀬で優占しているのは礫面-自由型で主にブユ科であった。ブユ科を除くと現存量は大礫では15%、岩床では6%にまで減少した。岩床で現存量が高いのはこうした限られた分類群のみで、礫間-固着巢型や礫間-自由型など空隙を要する底生動物は生息しにくいと推察される。程度は異なるが同様のことが大礫の瀬についても考えられる。大礫の河床では砂利や小径の礫がなければ底生動物にとっての空隙を提供していない可能性がある。

小礫の瀬では礫面-自由型に加えて礫面-固着巢型や礫間-固着巢型など定住性の強い底生動物の少なさが特徴の1つで、小礫は底生動物が定着する基質として不安定であることを示している。また、小礫の瀬ではカワゲラ科(礫間-自由型)な

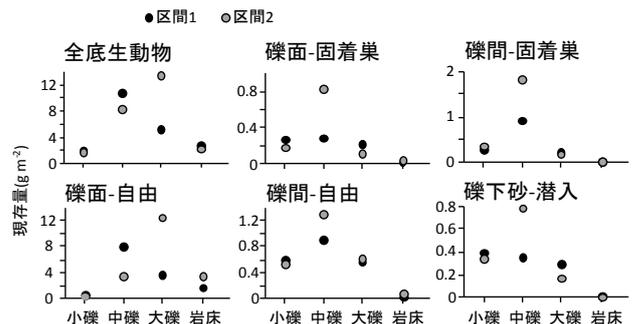


図-7 鬼怒川上流における瀬のタイプと底生動物現存量

ど大型の底生動物にとっての空隙が少ないと考えられる。

中礫の瀬には様々な底生動物、特に礫間-固着巢型と礫間-自由型の現存量が他のタイプの瀬に対して大きかった(図-7)。このことから、中礫は適度な河床安定性と河床空隙を底生動物に提供していることが伺える。様々な粒径の河床材料が底生動物の生息に意味を持つが、そのなかでも中礫は特に底生動物の現存量を高める重要な役割を果たしていることが本結果から示唆される。

4. まとめ

2つの調査は対象空間スケールが異なるが、いずれも底生動物現存量における主礫径の重要性を示している。主礫が大きいほど河床の空隙量が増し、空隙を利用する底生動物が高い生息量を維持できる。ただし、特に>30cmなど礫が過度に大きいと底生動物にとっての空隙を提供しない可能性がある。また、主礫径が小さくても、出水時に発生する掃流力に対して大きければ、礫間空隙を必要としない定住型のグループによって高い現存量が維持されうる。これらの関係や機構は礫床であれば他の河川でも通じる考えである。

本研究で主礫径に代表させて河床と底生動物の関係を考えてきた。礫周辺での実際の空隙を考えると、砂・砂利の量や粒度を主礫との相対的な関係から明らかにすることが今後望まれる。また、本研究で各地点の特性として礫の動きにくさを河道の掃流力から単純に求めた。底生動物への具体的な影響を考えると、礫が動く頻度や河床割合について評価していく必要がある。

各河川・各流程にはその場の河床に見合った底生動物群集が形成されていると考えられる。河床

礫径は治水上の管理のみならず、河川生物の生息場の基礎情報であり、生態系保全を考える上でまず把握すべきものである。河川における底生動物の多さは、生物の豊かさや生態系機能の指標である。河川環境との調和のとれた河川管理をしていくためにも、河川の河道特性に応じてどれくらい底生動物がいるのが通常か、礫供給や流量の変化は礫径や安定度を通して底生動物の多さにどの程度影響しうるか理解していく必要がある。

謝 辞

河川データや現地調査でご協力いただいた国土交通省豊橋河川事務所、同省設楽ダム事務所、同省日光砂防事務所、同省鬼怒川ダム統合管理事務所、栃木県日光土木事務所、東京電力株式会社に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- Wallace, J. B. and J. R. Webster (1996) : The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. Annual Review of Entomology, 41: 115-139.
- 西村登、信本励、三橋弘宗：山陰・北陸・近畿地方16河川における底生動物の現存量とそれに関連する要因、ホシザキグリーン財団研究報告、5: 161~206、2001.
- Minshall, G. W. (1984) : Aquatic insect - substratum relationships. In: The Ecology of Aquatic Insects, Resh, V. H. and D. M. Rosenberg (eds.): pp.358-400. Praeger, New York.
- 土木学会：水理公式集 [平成11年版]、社団法人土木学会、東京、1999.
- 小林草平、中西哲、尾嶋百合香、天野邦彦：愛知県豊川における瀬の物理特性と底生動物現存量、陸水学会誌、71:147~164、2010.

小林草平*



独立行政法人土木研究所つくば
中央研究所水環境研究グループ
河川生態チーム 専門研究員
農博
Dr. Sohei KOBAYASHI

三輪準二**



独立行政法人土木研究所つくば
中央研究所水環境研究グループ
河川生態チーム 上席研究員
Junji MIWA

天野邦彦***



国土交通省国土技術政策総合研
究所環境研究部河川環境室長
工博
Dr. Kunihiko AMANO