

河川底生動物動態モデルの開発

名古屋大学大学院 学生会員 ○溝口 裕太
 名古屋大学大学院 正会員 戸田 祐嗣

1. 序論

河川生態系シミュレーションのために、底生無脊椎動物（以下、底生動物）を摂食機能（以下、摂食型）毎に分類し、各々の餌資源と関連付けた動態モデルが開発されている¹⁾。また、底生動物の動態を規定する要素は餌資源の他、これらの生息場も重要であり、河床材料の粗粒化が進行したダム下流河川では、物理環境の変質が底生動物の種構成に影響を与えることが確認されている²⁾。そこで本研究では、物理基盤の変質をも含んで予測可能なモデルを構築するために、摂食型および生息型³⁾の両者に基づいた底生動物動態モデルを開発し、複数のダムで計画されている下流河川への土砂還元が、生態系に与える影響を予測・評価可能な生態系シミュレーションの基礎を構築することを目的とする。

2. 底生動物動態モデル

(1) **モデル化のコンセプト**：図-1にあるように、底生動物現存量は河川環境中の餌資源および生息場によって規定される。これらの2つの情報を動態モデルの増殖速度と関連付けることで、これを直接的および環境収容力を介して間接的に制限する要素とした。なお、対象とする底生動物の摂食型および生息型を表-1に示す。

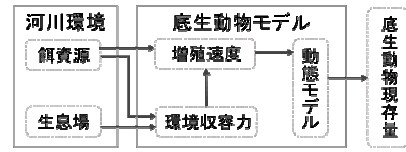


図-1 モデル化のコンセプト

表-1 底生動物の摂食型および生息型

摂食型(FFGs)	現存量[g/m ²]	生息型(BRGs)	現存量[g/m ²]
Shredders	B_{SRj}	Surface	B_{iSF}
Grazers	B_{GRj}	Inter-stones	B_{iIS}
Filters	B_{FCj}	Interior	B_{iIT}
Gatherers	B_{GCj}		
Predators	B_{PRj}		

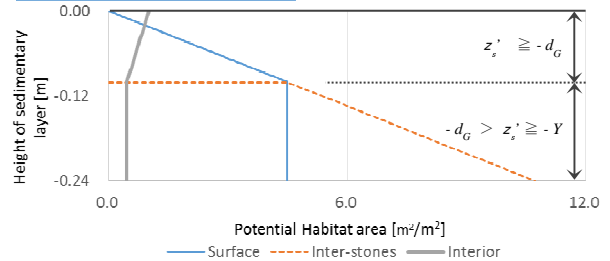


図-2 各生息型の生息適正面積

d_G を載り石に区分する。細砂堆積高 z_s' が小さいほど礫下砂生息型(Interior)の生息ポテンシャルは小さく、礫上面生息型(Surface)は大きくなると仮定した。

2) 浮き石 ($-d_G > z_s' \geq -Y$)：細砂堆積高 z_s' が代表粒径- d_G より小さく、交換層厚- Y 以上の状態であり礫間生息型(Inter-stones)の生息適正空間が卓越すると仮定した。

また、式(1)中の環境収容力は次式により求める。

$$K_{ij} = K_{max} \frac{Feed_{ij}}{\sum_i Feed_{ij}} \frac{HBT_j}{\sum_j HBT_j} \quad (2)$$

ここに、 K_{max} ：最大環境収容力、 HBT_j ：底生動物の河床生息型（礫上面、礫間、礫下砂）の生息適正面積である。

3. 浮遊砂動態モデル

礫床河川を対象とした底生動物の生息場の解析においては、河床の骨格となる石礫を掃流砂、礫上面および礫間に堆積する細砂を浮遊砂として取り扱い、地形変化は掃流砂のみに起因するとした。

また、掃流砂はMPM式、長谷川の式および土砂の連続式、浮遊砂は移流・拡散方程式を用いた。なお、浮遊砂の浮上量については、礫による遮蔽率を考慮した芦田・藤田⁵⁾の式を用いた。

(2) **摂食型モデル**：餌資源を介して底生動物現存量を規定する摂食型モデルは戸田⁴⁾をベースに構築した。なお、摂食による増殖(C_{ij})⁴⁾は次式に示す。

$$C_{ij} = \mu_{maxij} \frac{Feed_{ij}}{k_{ij} + Feed_{ij}} \left(1 - \frac{BB_{ij}}{K_{ij}} \right) \quad (1)$$

ここに、 μ_{maxij} ：最大摂食速度、 k_{ij} ：摂食に関する半飽和定数、 BB_{ij} ：底生動物現存量、 K_{ij} ：環境収容力、 $Feed_{ij}$ ：摂食型 i 、生息型 j の餌資源量である。

(3) **生息型モデル**：本研究で対象とする生息3種類の生息適正空間について記す。ここでは礫上面および礫間に細砂が堆積する礫床河川を想定し、石礫の代表粒径100mmとした場合の生息適正空間を図-2に記載する。なお、詳細を下記に示す。

1) はまり石および載り石 ($z_s' \geq -d_G$)：細砂堆積高 z_s' が河床材料の代表粒径- d_G より大きい状態をはまり石、 $z_s' = -$

キーワード 河川生態系, 数値モデル, 底生動物, 粗粒化, 生息場

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL 052-789-3728

4. 解析結果と考察

(1) 解析条件：本研究では戸田ら¹⁾の河川生態系モデルをベースに上記のモデルを組み込み、数値解析を行った。なお、木曾川支川の阿木川における底生動物調査結果²⁾との比較からモデル精度を検証するため諸条件は阿木川ダム周辺を参考に設定した^{2,6,7)}。また、解析ケースは上流端から浮遊砂が供給されるダム上流区間(UD)および供給されない下流区間(DD)の2条件とした。調査結果(個体数)と解析結果(現存量)は、各地点の総数で無次元化し比較した。個体当たりの重量が小さいユスリカ科と、総量の小さい破碎食者は結果から除外した。

(2) 現地河川への適用：図-3には、各地点(UD：ダム上流, DD：ダム下流)での各摂食型, 図-4は各生息型の底生動物割合について、調査データとの比較結果を示す。まず、ダム下流区間(DD)の摂食型では全類型、生息型は礫下砂生息型を除き構成割合を概ね再現できた。粗粒化が進行したダム下流河川で礫下砂生息型を十分に再現できなかった理由としては、局所的な堆砂現象を表現できなかったことや、モデル化の段階で礫下砂生息型の生息ポテンシャルを過小に評価した可能性が考えられる。

また、ダム上流区間(UD)の摂食型構成割合については、上流端の水質条件に貯水池データを用いた影響で濾過食者を過大、採集食者を過小に算定したと考えられるが、その他は概ね再現できた。生息型では上述のように河床構造の複雑さを十分に反映できないため礫間生息型の現存量が小さく見積もられた。しかしながら、ダム下流区間とは異なり、礫上面および礫下砂生息型が支配するダム上流区間に特徴的な群集構造を再現することができた。

(3) 河床材料の粗粒化と底生動物の応答：図-5はダム下流区間(DD)における2002年～2004年の細砂堆積高(以下、細砂高)の流程分布と、図-6は礫間生息型の現存量を示す。図-5より上流端からの浮遊砂供給が遮断されると区間上流端より細砂高の減少が進み、それが下流方向へと進行することがわかる。また図-6から礫間生息型の現存量は、細砂高の減少が下流方向へと伝播するのに伴い生息ポテンシャルが拡大することから、現存量の増加に繋がることがわかる。また、その他の生息型は細砂高の減少による生息ポテンシャルの減少や、礫間生息型との生息場を巡る競争に敗れることで、その現存量は減少した。

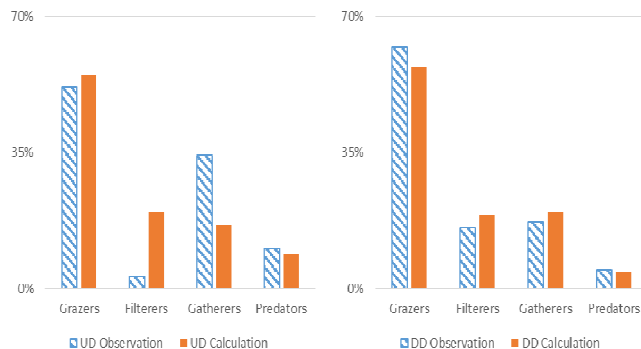


図-3 摂食型毎の底生動物割合の比較

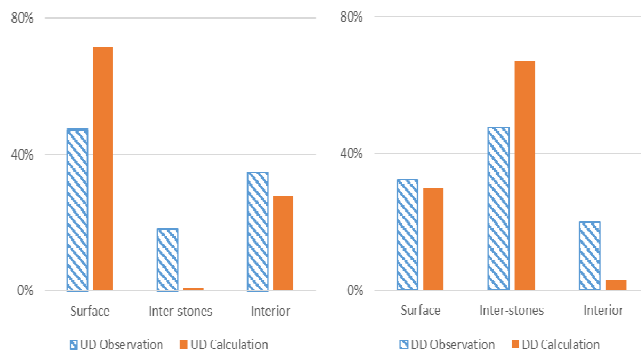


図-4 生活型毎の底生動物割合の比較

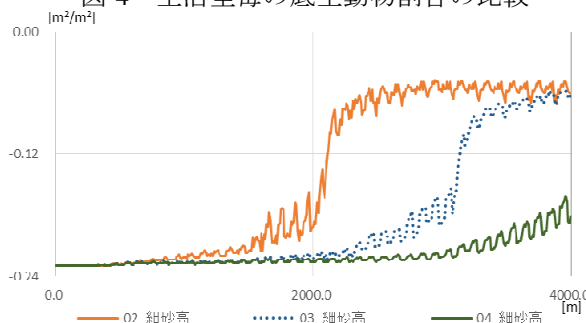


図-5 断面平均細砂堆積高の推移(DD)

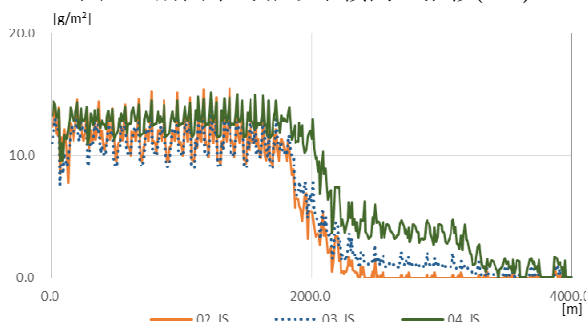


図-6 礫間生息型の底生動物現存量の推移(DD)

参考文献

1)戸田祐嗣ら:土木学会論文集 G, 69(6), pp.II_127- II _138, 2013. 2)Katano I. et al. :Journal of North American Benthological Society, 28(2), pp.311-351, 2009. 3)小林草平ら:陸水学雑誌, 71, pp.147-164, 2010. 4)Jorgensen S.E. and Bendoricchio G. :Fundamentals of Ecological Modeling(3rd Ed.), Elsevier, Netherlands, 2001. 5)芦田和男, 藤田正治:土木学会論文集, No.375, II-6, pp.107-116, 1986. 6)国土交通省:ダム諸量データベース(<http://dam5.nilim.go.jp/dam/>) 7)独立行政法人水資源機構:阿木川ダム定期報告書(概要版), 2011.