河川低次生態系シミュレーションへの魚類動態モデルの導入

名古屋大学 大学院工学研究科　学生会員　○溝口 裕太
名古屋大学 大学院工学研究科　正会員　戸田 祐嗣

1．序論

河川生態系の豊かさを評価する指標生物として底生無脊椎動物（以下，底生動物）が広く用いられている．これまで我々の研究グループでは，この底生動物に対して，各々の餌資源と関連付けた分類法である摂食機能群（以下，摂食型）および，これらの生息場となる河床構造と結び付けた分類法である河床生息型の両者を踏まえた動態モデルの開発を進めてきた[1]．モデルの構造上，既開発の底生動物動態モデルはボトムアップ的にバイオマスが推定されるが，実河川では底生動物は魚類の餌資源として高次の生物相を支える役割を担っており，魚類の捕食圧に代表されるトップダウンの影響を継続的に受けていると考えられる．したがって本研究では，既開発の生産者（付着藻類）および消費者（底生動物）を考慮した河川低次生態系シミュレーションモデル[1]に魚類動態モデルを導入することを目的とする．また，モデルの有用性を確認すると共に，魚類が底生動物群集構造へ及ぼす影響を検討する．

2．魚類動態モデル

（1）モデル化のコンセプト：魚類が底生動物へ与えるトップダウンな影響を低次生態系シミュレーションへ導入する観点から，主として底生動物を捕食する雑食性魚類および，付着藻類を摂食する藻類食性魚類の 2 種を対象とした．また，魚類動態モデルの構造は図-1 のように，魚類のバイオマスを算出する成長モデルに加えて，生息ポテンシャルの空間的な分布特性に追随してバイオマスを分布させることで，擬似的に魚類の移動性を考慮し，これらを行動モデルとして定義した．

（2）成長モデル：魚類のバイオマスは，次式に示す基礎方程式[2,3]より導く．また，湖沼を対象とした研究ではあるが，各パラメータについては既往文献[3]を参照した．

$$\frac{dB_{Fi}}{dt} = B_{Fi}\left\{C_{Fi}\left(1-D_{Fi}-U_{Fi}\right)-R_{Fi}h_{Ri}\left(T_W\right)-M_{Fi}-P_{Fi}\right\} \quad (1)$$

ここに，B_{Fi}：魚種 i の現存量，C_{Fi}：消費速度，D_{Fi}：動的行動，U_{Fi}：排泄率，R_{Fi}：呼吸速度，$h_{Ri}(T_W)$：水温制限関数，M_{Fi}：死亡速度，P_{Fi}：捕食速度である．

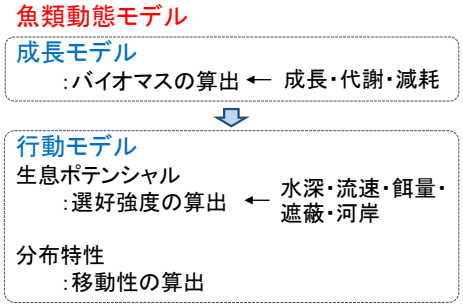

図-1　モデル化のコンセプト

（3）行動モデル：楊ら[4,5]が提案した生息場評価手法から魚類の生息ポテンシャルを求めるとともに，この解析値を用いて各魚類の行動圏内にある複数水域の選好強度より分布率を算出[6]し，この空間的な分布率の変化に魚類バイオマスが追随すると仮定することで，移動性を加味した．

1)生息ポテンシャルの評価：既往研究[4,5]を参考とし，魚類の行動様式を摂餌，休息，逃避モードに分類，また各々の因子ウェイトを加味することで各水域の選好強度を評価した．これに加え，選好強度の算出には図-1 に示す水深，流速等の SI 曲線が必要であることから，種間の競争関係が指摘されているものの，雑食性魚類としてオイカワ，藻類食性魚類としてアユを仮定し，既往研究[4,5,7]を参照に各々の SI 曲線を設定した．

2)分布特性の推定：魚類の移動性を加味した分布特性を表現するために，成長モデルによって算出された魚類現存量を分布率[6]を用いて修正する．次式のように，魚類現存量は移動可能な行動圏内の選好強度に応じて配分されることとした．

$$B_{Fi}^{*t+1} = \sum_{l}^{L}\left(B_{Fi}^{t+1}\frac{P_l^{t+1}}{\sum_l^L P_l^{t+1}}\right) \quad (2)$$

ここに，B_{Fi}^{*t+1}：行動モデルにより修正された時刻 $t+1$ における魚種 i の現存量，B_{Fi}^{t+1}：成長モデルより算出された魚類現存量，P_l^{t+1}：水域lにおける複合選好強度，L：移動可能地点数である．

3．解析結果と考察

（1）解析の概要：本研究では，魚類動態モデル導入による底生動物群集の応答特性を把握する観点から，河床

キーワード　河川生態系，数値モデル，底生動物，魚類，成長モデル，行動モデル
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　ＴＥＬ052-789-3831

地形，水理水質条件については，前報 [1]と同様に阿木川ダム周辺を参考として設定し，2000 年 9 月から 2005 年 2 月のダム上流および下流区間を対象とした数値計算を実施した．また本モデル化で対象とした両魚種は，阿木川ダム流入・流出河川おいて出現頻度が高い魚種 [8]であり，比較的妥当な想定であると考えられる．

（2）魚類動態モデルの導入結果：解析期間終了日におけるダム下流区間の物理環境と藻類食性魚類の空間分布を図-2 に例示する．ここから，魚類分布は複合的な選好強度より決定されるものの，本ケースにおいては水深・流速に依存することがわかる．また，図-3 に示す両魚類現存量の増減は餌資源量に依存しており，突発的には想定した年 1 回の洪水（図中の矢印）による減少が確認された．これは，本モデルでは魚類の洪水流失を考慮していないため，水域間の生息ポテンシャルの差異が縮小し，生息密度の均質化が生じたことに起因する結果であると推察される．また，付着藻類を摂食する藻類食性魚類の増減が雑食性魚類と比して大きいのは，藻類現存量の季節変化が底生動物より著しいことに起因する．

（3）底生動物群集構造の応答特性：両魚類の餌資源量と，これらと共通の餌資源を有し，かつ捕食圧を受ける底生動物（捕食者，刈取食者）の現存量を対象として，魚類動態モデル導入の影響を図-4 より考察する．全底生動物現存量は概ね半減する一方，成長速度が大きい付着藻類の減少幅は小さい．また刈取食者や捕食者は，魚類現存量の増加に伴い減少幅が拡大し，捕食者にいたっては 1 割程度の現存量まで低下することが確認された．図-5 は，ダム上下流区間における摂食型毎の群集構造に関して，観測値(Obs.) [9]および魚類モデル未導入(Cal.)と導入(Cal.(F))の結果を示している．両解析結果の比較より，魚類の影響を相対的に強く受ける刈取食者および捕食者の割合が減少する一方で，濾過食者および堆積物食者の割合が増加した．またダム上流区間に関しては，魚類モデル導入によって一部の再現性が向上したが，下流区間は低下したように見受けられる．本研究では藻類食性魚類の季節的な回遊性などダイナミックな行動特性を十分に加味できていないため，上流と比して魚類現存量が大きい下流区間の刈取食者現存割合の低下に拍車をかけたと推察される．今後は，魚類現存量の現地データに基づく検証や，魚類が底生動物群集に及ぼす影響について検討し，魚類動態モデルの精度向上を図りたい．

謝辞：本研究は特別研究員奨励費(15J10717)の助成を受けて実施された．ここに記して御礼申し上げる．

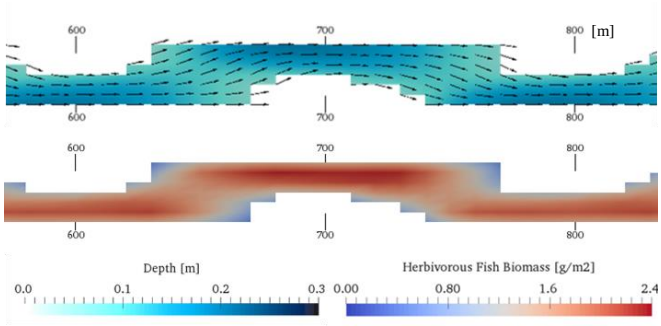

図-2　水深・流速(上段)及び藻類食性魚類(下段)の分布

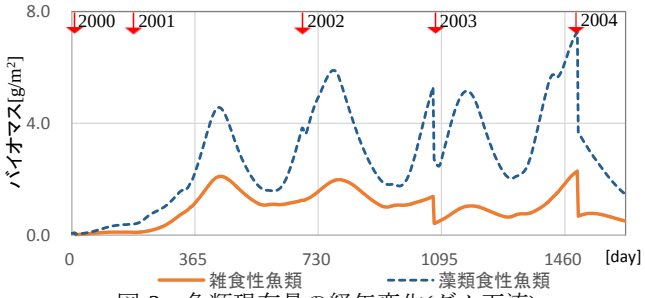

図-3　魚類現存量の経年変化(ダム下流)

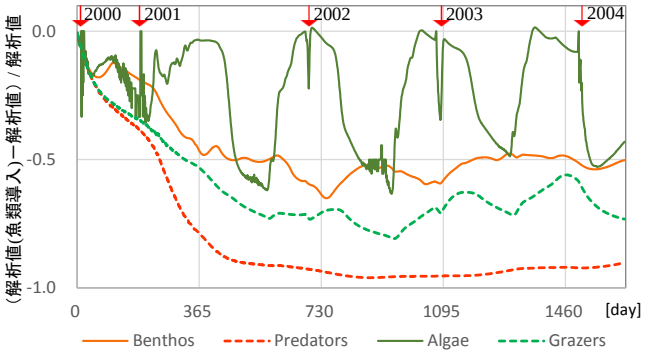

図-4　主要生物応答特性の経年変化(ダム下流)

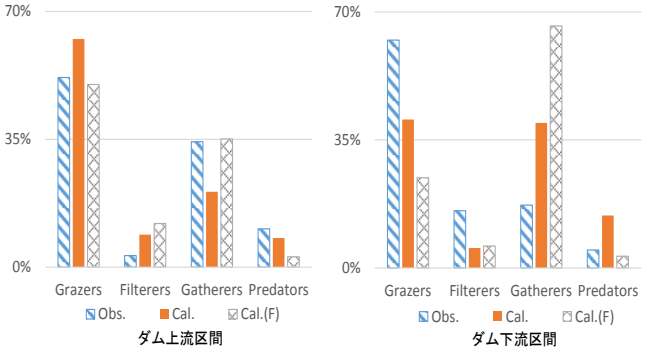

図-5　摂食型毎の底生動物群集構造

参考文献：[1]溝口・戸田: 土木学会論文集 B1(水工学) 72, I_1009–I_1014 (2016). [2]DeAngelis et al.: Am. Nat. 134, 778–805 (1989). [3]Naito et al.: Water Res. 36, 1–14 (2002). [4]楊ら: 土木学会論文集 636, 35–45 (1999). [5]楊ら: 土木学会論文集 671, 13–23 (2001). [6]関根ら: 土木学会論文集 503, 177–186 (1994). [7]田代・辻本: 水工学論文集 46, 1151–1156 (2002). [8]国土交通省: 河川水辺の国勢調査, (阿木川ダム魚類調査 http://mizukoku.nilim.go.jp). [9]Katano et al.: J. North Am. Benthol. Soc. 28, 311-351 (2009).