

東洋大学工学部 ○学生員 下村 充
東洋大学工学部 正会員 福井 吉孝

建設技術研究所

正会員 関谷 明

1. はじめに

近年、既存の生態系の維持、保全が重要視され、中でも、魚類の迷入は早急に解決しなくてはならない問題の一つとなっている。

魚類の迷入とは、本来いるべき水域(河川等)から別の水域に移動することで、単に水産資源上の問題としてだけでなく、水域全体の生物環境保全上の問題となる。

ここでは、アユの遊泳行動のモデル化を行い、迷入防止装置の設置位置や規模、配置等への指針を与えることを目的としている。

2. 計算するモデルについて

計算モデルについては、実験から判ったアユが側壁選好をすることとアユの走流性を考慮して、水路中に在る植生の影響で流れが蛇行する場合での挙動の再現を試みた。

3. モデルの考え方

魚の遊泳行動は、水理条件や環境条件に左右されるが、微小時間における移動は、本質的にはランダムな動きと考えられる。

ここでは、アユの遊泳行動をランダムな動きと想定し、ランダムウォークの手法を用いて計算を行った。具体的には、ある地点にいるアユが次の瞬間に移動する方向をランダムに選択させ、移動速度をその方向の特性に合わせ、変化させるものとした。

3. ランダムな動きのモデル化

線型法により小数点以下 8 桁の乱数 Z ($0 \leq Z \leq 1$) を発生させ、その乱数 Z に 2π をかけることで流水中でのアユの移動方向 θ ($\theta = 2\pi Z$) を 0 から 2π の範囲で得るものとした。この時、下流方向に Y 軸、これと直角に X 軸を置いた。 θ は X 座標となす角であるとする。

単位時間毎の移動後のアユのいる地点の座標は、(1)式により求めるものとした。

$$\left. \begin{aligned} X_n &= V \Delta t \cos \theta + X_{n-1} \quad (0 \leq Z \leq 2\pi) \\ Y_n &= V \Delta t \sin \theta + Y_{n-1} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここで、 X_n 、 Y_n は現在の各座標を表し、 X_{n-1} 、 Y_{n-1} は前時刻の各座標を表す。移動速度 $V = \{(V_m - U) \times \alpha\}$ を構成する V_m (単位時間毎の基準値) と α (走流性の重み値) については、以下の条件から定め、 U は平均流速を表している。

a) アユの移動距離の基準 V_m について

V_m には、遊泳実験より得た、流れとアユの相対速度 1.4 m/s を用いた。

b) アユの走流性 α について

走流性とは、ランダムに選ばれた角度 θ が流向に対し 180° のとき、最も移動速度 V が速いと考えられる。アユのいる地点の流向 ϕ (X 軸となす角度) を読み取り、 α の計算式 (2) に代入する。

$$\left. \begin{aligned} |\phi - \theta| \leq 180 \text{ のとき} \quad \alpha &= \frac{|\phi - \theta|}{180} \\ |\phi - \theta| > 180 \text{ のとき} \quad \alpha &= \frac{360 - |\phi - \theta|}{180} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

このようにすると $\phi = 270^\circ$ $\theta = 90^\circ$ の時 $\alpha = 1.0$ となり、 $\theta = 270^\circ$ $\theta = 0^\circ$ の時 $\alpha = 270/180$ となって、結果的に走流性が表現されると考えられる。

c) アユの側壁選好性について

アユが、移動して水路の中央より左右何れかの側にきた時、次の計算ステップでその壁面に向かう移動距離を上記 b) で算出された V の 1.5 倍にすることにより、アユは壁面に早く到達し、結果、アユの壁面選好性が表現できるものとした。

4. 計算の条件

アユの側壁選好する様子と蛇行流れの場の計算条件を記す。

(1) 側壁選好の計算

一定の流速 $U (= 0.4 \text{ m/s})$ を設定した。 Δt は 0.01 s とした。実験の場合、放流地点から上流 1.0 m の地点で側壁選好を開始しているのので、解析でも仮想魚が計算始点から 1.0 m で側壁選好するものとした。なお、計算中での魚を仮想魚と言う。

(2) 樹木のある場での蛇行流れの計算

2次元のナビエストークスの式を平面 2次元へと変形し差分法によって u 、 v を計算した。なお、植生の項には透過係数を設定できるものとする。上記の計算によって、計算水路内の微小面積毎に u 、 v 定まり、仮想魚はその微小面積毎の u 、 v に対し走流していくようにした。このとき、 u 、 v は (3) 式により U (その微小面積での平均流速) と ϕ に変換されるものとする。

キーワード：ランダムウォーク、挙動解析、魚(鮎)

連絡先 東洋大学工学部環境水工研究室

〒350-8585 埼玉県川越市鯨井 2100 TEL: 049-239-1404

FAX: 049-231-4482

$$\left. \begin{aligned} U &= \sqrt{u^2 + v^2} \\ \phi &= \cos^{-1}\left(\frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}}\right) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

a) 計算のメッシュ

計算上のメッシュは、仮想魚の移動距離と実験水路を考慮し $\Delta X = \Delta Y = 0.04\text{m}$ とした。

b) 計算のピッチ

仮想魚の移動速度を考慮し、実験から $\Delta t = 0.01\text{s}$ のときが妥当だと判断した。

c) 境界条件

上流から、流量 $Q(=0.0024\text{m}^3/\text{s})$ を流入させた。側壁に到達または側壁を超えた場合、仮想魚は壁際で停止し、そこから再計算するものとする。

5. 結果

側壁選考を表すアユの遊泳実験結果と、その数値解析の結果を比較したものが図1、図2である。解析では、アユが放流地点から上流へ1.0m近傍で両岸沿いに移動し溯上し始める遊泳軌跡が得られ、実験での軌跡と比較的近い値を示すモデルが構築できた。

蛇行流れ場での仮想魚の挙動図 3, 4, 5, 6 は、魚の走流性のみを考慮した計算結果である。

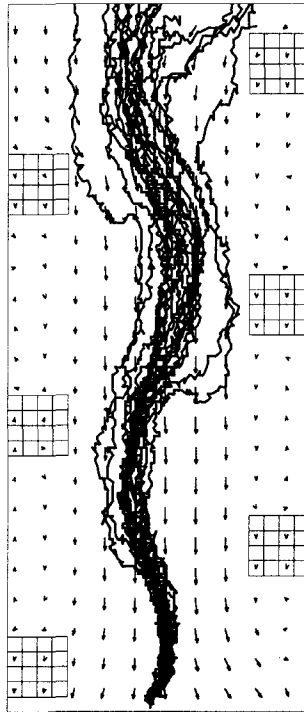


図3, 植生群幅小, 間隔小

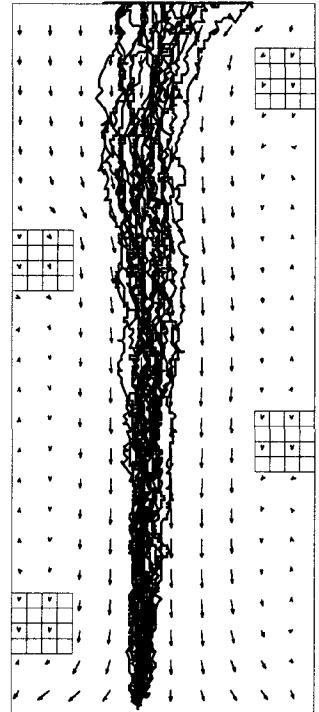


図4, 植生群幅小, 間隔大

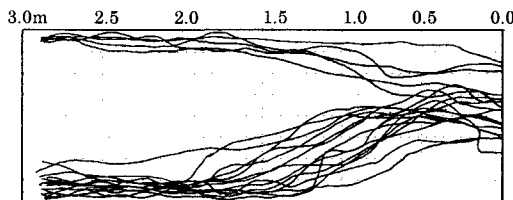


図1, 障害物無し実験結果

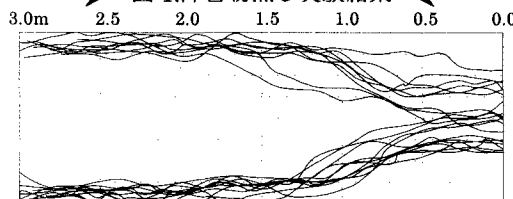


図2, 数値解析結果

6, おわりに

アユの遊泳行動のモデル化については、ランダムウォークの手法を用いることで、実魚の遊泳軌跡に近い動きを数値計算で再現できた。

参考文献

- 1) 関谷明, 福井吉孝, 坂本裕嗣, 湯目吏吉也: 魚類の迷入の実態と防止策について, 河川技術に関する論文集, 第7巻, pp. 233-238, 2001.
- 2) 全国内水面漁業協同組合連合会: 魚の迷入の実体とその対策へのアプローチ, pp. 157-185, 1996.

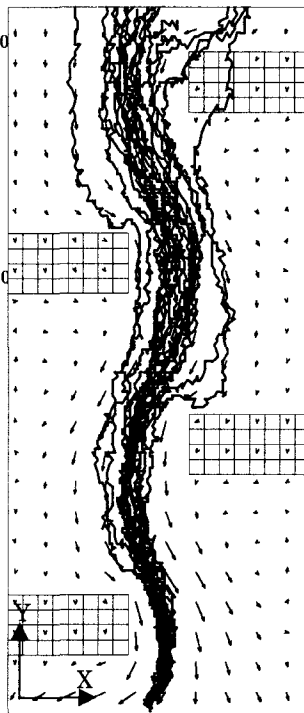


図5, 植生群幅大, 間隔大

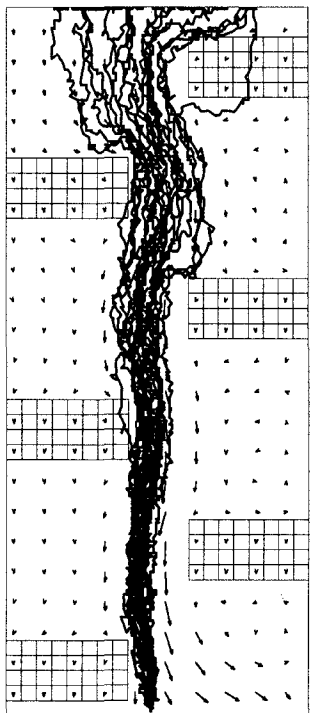


図6, 植生群幅大, 間隔小

← 0.4m/s □ 植生