

# バーティカルスロット式魚道を遡上する魚の挙動のモデル化 Modelling Fish Movement in a Vertical Slot Fishway

藤原 正幸\*                      ○秋元 麻衣\*\*  
FUJIHARA Masayuki\*        ○AKIMOTO Mai\*\*

## 1. はじめに

魚道を遡上する魚の挙動に関する研究は、水中ビデオを用いた現地観測と、実際の魚を用いた水理模型実験により進められてきているが、コンピュータモデルを用いたものはほとんどない。計算によって魚の挙動をある程度予測することができれば、設計段階においてその効果を評価することが可能になる。本研究では、バーティカルスロット式魚道における魚道内の魚の挙動をシミュレートするモデルの構築に取り組んだ。

## 2. 魚の挙動モデル

魚道内での魚の挙動（速度  $\vec{u}$ ）は、流況に大きく支配されると考えられるため、次に示すニュートンの第2法則を基とした運動方程式によって表現できると考えた。

$$m \frac{d\vec{u}}{dt} = \vec{F} = \begin{pmatrix} T \cos \theta - D \cos \alpha \\ T \sin \theta - D \sin \alpha \end{pmatrix} \dots\dots (1)$$

ここで、 $T$ 、 $D$ 、 $\theta$ 、 $\alpha$ はそれぞれ魚の推進力、抗力、それらのかかる方向である。抗力  $D$  は以下の式で表現される。

$$D = \frac{1}{2} \rho A C_d U^2 \dots\dots (2)$$

ここで、 $\rho$  は水の密度、 $C_d$ 、 $U$ 、 $A$ はそれぞれ魚の抗力係数（=0.6）、相対速度、流れ方向の射影面積である。一方、推進力  $T$  は遊泳速度より求める。魚の遊泳速度は、60分程度維持できる巡航速度（ $U_{cru}=2\sim 5BL/s$ ：BL=体長）と、数秒程度しか維持できない突進速度（ $U_{max}=10\sim 20BL/s$ ）の2種類に分けられる。魚が巡航速度と突進速度を一定に保ち遊泳できるとすると、このときの推進力  $T_{cru}$ 、 $T_{max}$  はそれぞれ次のように表せる。

$$T_{cru} = \frac{1}{2} \rho A C_d U_{cru}^2 \dots\dots (3) \quad T_{max} = \frac{1}{2} \rho A C_d U_{max}^2 \dots\dots (4)$$

本研究では  $U_{cru}=4BL/s$ 、 $U_{max}=15BL/s$  とし、水路内の流速が巡航速度の0.8倍を超えるところでは突進速度を最大2.0s間使用できるように設定した。

また、一度突進速度を使用した後でも、一定時間（以下、「休息時間」とする）経過した後ならば、再度突進速度を1.0～2.0sの範囲内で使用できるように設定した。

さらに、個々の魚の挙動は確率過程にあるとして、推進力の方向は流れに向かう方向を中心に正規分布するように(5)式で表現した。

$$\theta = \theta_0 + \sigma R \dots\dots (5)$$

図1に示すように、 $\theta_0$ は流れに向かう方向（角度）、 $\sigma$ は

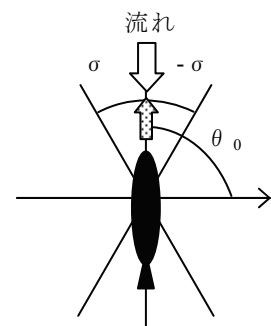


図1 推進方向の設定  
Thrust force direction

\*愛媛大学農学部 (Faculty of Agriculture, Ehime Univ.), \*\*愛媛大学大学院農学研究科 (Graduate School of Agricultural Science, Ehime Univ.)  
キーワード：突進速度，休息時間，遡上率

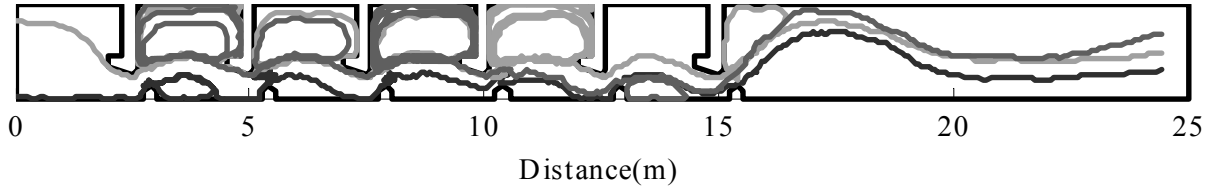


図2 パーティカルスロット式魚道における魚の挙動  
Trajectories of fish movement in a vertical slot fishway (BL=0.3m)

標準偏差， $R$ は正規乱数である．また，推進方向のばらつきは流れ場の流速 $WV$ によっても変化すると考えられるため， $WV \leq 6BL/s$ のときには $\sigma = \pi/6$ ， $WV > 6BL/s$ ならば $\sigma = \pi/18$ に設定した．

### 3. 結果及び考察

パーティカルスロット式魚道及び魚の諸元は表1と表2のとおりで，シミュレーション時間は10分間とした．得られた結果を図2に示す．図2より，隔壁背部の滞留域を利用し，遡上していることが分かる．また，一度滞留域に入った場合に，シミュレーション時間内には抜け出すことのできなかつたものもあった．魚道において滞留域は休息場所として利用されており，現実に考えられる状況を再現することができたといえる．

次に，体長による遡上率の変化について検討した．10分間での遡上率（全数50匹）を表3に示す．表3から，体長が大きくなるほど遡上率が高くなっていることがわかる．また，体長0.2mと0.4mのシミュレーション結果（ $x=9 \sim 15m$ 付近）を図3と図4に示す．スロット部において，体長0.2mの魚は流されやすく，体長0.4mの魚では流されず遡上していくことがわかる．これより，流速の大きいところでは，その流れに逆らいきれず流されてしまうという状況を表現できたといえる．

### 4. まとめ

魚道内での魚の挙動のシミュレーションモデルを構築し，パーティカルスロット式魚道に適用することにより，遡上経路と体長による遡上率の違いを示した．今後は実測により，モデルの精度を検討する必要がある．

表1 魚道の諸元  
Condition of fishway

水路長 (m)	25.0
水路幅 (m)	2.0
水路勾配	1/25
上下流端水深 (m)	1.33
流量 ( $m^3/s$ )	0.488

表2 魚の諸元  
Condition of fish

体長 (m)	0.3
体重 (kg)	0.4
休息時間 (s)	30.0

表3 遡上率  
Ascending rates

体長 (m)	0.2	0.3	0.4
体重 (kg)	0.3	0.4	0.8
遡上率 (%)	0	44	78

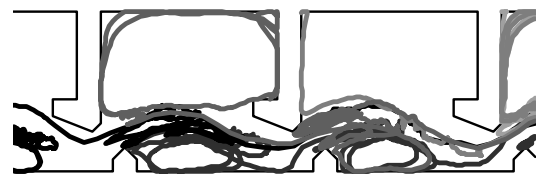


図3 体長0.2mの魚の挙動  
Trajectories of fish movement (BL=0.2m)

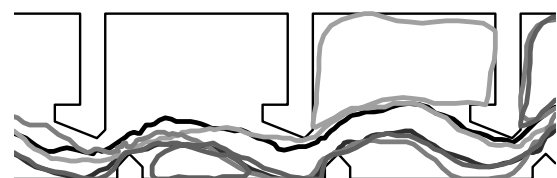


図4 体長0.4mの魚の挙動  
Trajectories of fish movement (BL=0.4m)