

(II-17) 水理実験による魚の適応行動予測モデルの研究

国士舘大学 工学部 土木工学科 学生会員 伊熊 直子
電源開発㈱茅ヶ崎研究センター 会員 喜多村雄一

1. 研究の目的

通常、貯水池の環境影響予測では、貯水池の鉛直一次元の水温、流動予測に基づいて、水質、動植物プランクトンについて予測を行うのが一般的である。しかしながら、こうした手法を発電所などの取水口からの小魚の取込み現象や取込みによる小魚の生息数変化、あるいは小魚の減少による食物連鎖の変化といった現象に適用することは難しい。本研究では、こうした現象をモデル化するために、人工生命 (A-life) の手法を適用することを試みた。この手法は、生物を一種の粒子と考え、これに行動特性と量的特性を与えて動物プランクトンの走行性、魚の群れ行動、流れ場の遊泳等をモデル化するものである。

このモデルの適用性については、文献資料等からの推定パラメータを用いた解析によって、基本的な生物の行動特性を表現し得ることを確認しているが、実用に際しては、解析で使用する行動特性パラメータの取得およびその方法が非常に重要となる。本研究は、水理実験による行動特性パラメータの取得を試みたものであり、以下にその結果について記す。

2. 適応行動予測モデル

ここでは、流れ場のモデルおよび粒子の適応行動に係わる基本的法則について簡単に述べる。

流れ場および粒子の行動予測は、三次元直交差分メッシュ空間で数値モデル化する。流れの解析は、連続式、三次元流動の方程式 (NS方程式) 等で構成される。粒子は、流体の流れの中で質量を持つものとして、流体抵抗により移動する。さらに、各粒子は粒子自身に属性 (例えば固体種の区別、魚の行動特性) を持っている。粒子行動は、至近の粒子と粒子のグループとの相互位置関係で決まる。その行動は、移動速度の増減、向きの変更等、基本的に以下の3項目の法則に従う。

(1) 遊泳速度の調整

流水中における粒子間の最適遊泳距離の保持、衝突回避のための移動速度調整、最大限界速度等。

(2) 遊泳ベクトルの調整

至近粒子との並進移動、他の粒子グループ (群れ) の重心への移動、流れ方向への移動、障害物の回避移動等。

(3) 適応行動の決定領域等

衝突回避領域、並進行動領域、求心行動領域、探索 (視認) 領域、死角領域等。

現段階では、適応行動パラメータとして主に表1に示すようなパラメータを設定している。

表1 適応行動主要パラメータ

No.	パラメータ	No.	パラメータ	No.	パラメータ
1	粒子の視角	7	流れに逆らう特性の限界流速	13	群れの中心に向かうベクトルの重み係数
2	粒子の最大速度	8	定常「ターン」速度	14	流れの方向に向かうベクトルの重み係数
3	粒子の加速率	9	見える距離の限界 + α の距離	15	粒子の寿命による死滅率
4	粒子の減速率	10	壁認識距離	16	特定の空間集まりやすいベクトルの重み係数
5	見える距離の限界	11	壁近傍での最小粒子速度	17	粒子のゆらぎ角度
6	最適「ターン」距離	12	仲間粒子のベクトルと合わせる重み係数	18	壁衝突回避ベクトルの重み係数

3. 実験設備

適応行動パラメータ取得に関する水理実験は、図1に示すような幅、高さ20cmの直線水路および曲線水路を使用して実施した。実験水路は、透明アクリル板で製作し、各パラメータ実験において魚の行動が目視またはビデオカメラ等によって撮影可能なものとした。また、実験魚としては、体長3cm程度のアカヒレを使用した (図2参照)。アカヒレは小型コイ科の熱帯魚であり、比較的耐久性があること、また群れ行動を観察できることから実験魚として採用した。

4. 水理実験による適応行動パラメータ

今回、水理実験によって得たパラメータを表2に示す。実験を実施したパラメータは6項目である。これ

キーワード：魚、適応行動、人工生命、予測モデル、貯水池

連絡先：電源開発㈱茅ヶ崎研究センター環境水理 G 0467-87-1211 (代表)

は、表1に示した適応行動パラメータのうち、解析において比較的有意であると判断したパラメータおよび今回の実験設備で実施可能なパラメータを考慮して決定したものである。また、これら6パラメータに加え、補足または参考として3項目の実験を実施した。

実験の結果、定常クルージング速度、最大速度で定義される遊泳速度に関するパラメータは、流れ場の状況および解析対象とする魚の遊泳行動（適応行動特性）にもよるが、それぞれ最適、限界クルージング速度、耐久、突進速度といったような定義も可能であることが分かった。また、その他のクルージング距離、見える距離の限界といったパラメータについてもある程度、水理実験によって取得が可能であることが分かった。

5. 結論

本論文のまとめは、以下のとおりである。
(1)簡易な水理実験設備および小魚を使用して、人工生命(A-life)手法を適用した魚の適応行動予測モデルのパラメータ取得を試みた。
(2)その結果、適応行動予測モデルの主要パラメータは、簡易な水路における水理実験によってある程度推定することが可能である。また、遊泳速度に関するパラメータは、魚の適応行動特性によっては、定義、使用パラメータを変更・付加する必要がある。
(3)今後の課題として、今回の水理実験によって得られたパラメータを用いた解析と実際の魚の適応行動を比較検討し、適応行動パラメータの検証を行う必要がある。
(4)また、大型魚を用いた水理実験によるパラメータの取得手法について検討を行う必要がある。これらを確認することで本適応行動予測モデルは、今後より精度の高い予測手法として利用可能と考えられる。

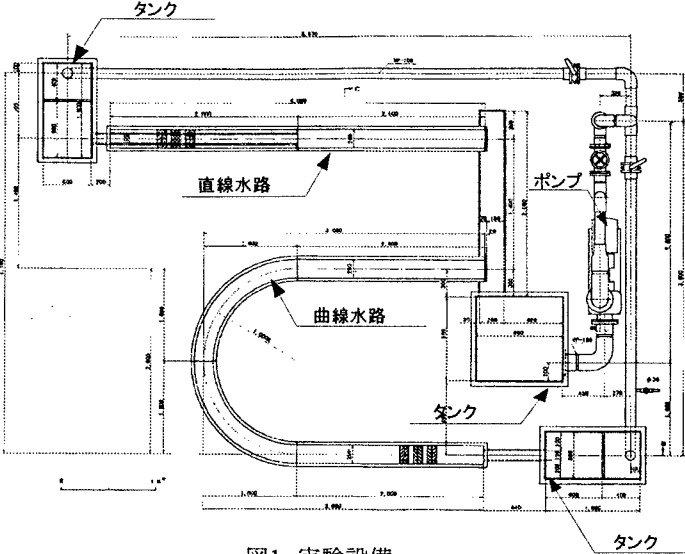


図1 実験設備

“アカヒレ”

学名: *Tanichthys albonubes*
体長: 3-4cm

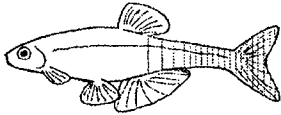


図2 実験魚

表2 水理実験による適応行動パラメータ

魚子モデル(A-life)における 魚子の行動特性パラメータ	内 容	実験方法	実験等の値 ¹⁾	実験値	備 考
定常クルージング速度	一般に、遊泳曲線において、ある速度以下になると急に 遊泳持続時間が大きくなる傾向がある。このあたりの 速度では、魚は比較的長時間(10分~数時間)維持する ことなく泳ぎ続けることが可能である。 ↓ 遊泳行動持続のために最適な速度	—	2~4BL/s程度	—	最適クルージング速度~最も快適な遊泳速度
	—	遊泳速度実験	U=α(α:遊泳曲線) U:遊泳速度 α:遊泳持続時間 k, a:定数	37.3cm/s	限界クルージング速度~クルージング速度の限界値
魚子の最大速度	魚の発揮しうる速度の内、最大のものを範囲最大遊泳 速度、あるいは突進速度という。突進速度は、ごく短 時間しか維持できず、1~数秒間持続可能な速度と定義さ れる。	遊泳速度実験 耐久速度実験	— 文献においては、遊泳曲線 における定数αが1秒間だけ 持続可能な遊泳速度の増強 値を与えたとされている。一 通常10BL/s程度とされる。	— 46.3cm/s	— 耐久速度~流れがこの速度以上では、体勢を保持できない
見える距離の限界	個体が他の個体、もしくは餌を認識できる最大距離	認識距離実験により、個体 (前掲魚)の認識距離を実 験により確認	—	60cm	—
遊泳クルージング距離	群行動において、各個体は最適な個体間距離を保つよ うに行動する。	最適クルージング距離実験 対象魚2匹による間隔距離 測定	最適個体間距離 1.0BL (最小接近距離 0.3BL)	5.1cm	—
流れに逆らう特性の有無判定	ある流速以上のときのみ流れに逆らうことを考慮する。	流れに逆らう流速判定実験	—	8.0cm/s	—
障害物回避	個体が障害物としての壁を認識できる最大距離	障害物回避距離実験	—	10cm程度	—

【参考文献】

1) C. G. Langton: 人工生命, 日本機械学会誌, Vol.97, 906, pp 403-407, 1994
2) Craig W. Reynolds, Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral model, Computer Graphics, Vol. 21, No.4(Proceedings of SIGGRAPH '87) 25-34, 1987
3) 王井信行, 水野信彦, 中村俊六編: 河川生態工学, 1993, 東京大学出版会
4) Y. Kitamura, T. Shinjo, and S. Onishi: Numerical modeling for fish adaptive behavior in reservoir, 28th IAHR Congress in Graz, Austria
5) 加藤孝弘, 喜多村雄一: 土木学会関東支部 第27回技術研究発表会 講演概要集, pp000-000, 2000
6) T. Kato, Y. Kitamura: Numerical modeling for fish adaptive behavior in stream, ICIE-2000 in Korea