

(II-94) 流水中における魚の適応行動予測に関する研究

電源開発(株)茅ヶ崎研究センター

会員 加藤 孝弘

〃 茅ヶ崎研究センター

会員 喜多村雄一

1. 研究の目的

通常、貯水池の与える環境影響予測では、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) の手法を適用した。すなわち、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ことを試みた。

2. 解析方法

2.1 数学モデル

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。

$$\Delta Au = 0 \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V} Au \nabla u = -\frac{1}{\rho} \nabla P + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 u + g \dots \dots (2)$$

ここに、 u :速度、 P :圧力、 ρ :密度、 V :障害率、 A :空間率、 g :重力加速度、 μ :粘性係数、 $\nabla: \delta u / \delta x + \delta v / \delta y + \delta w / \delta z$ 計算格子は直交格子であり、 V 、 A はFAVOR関数である。 μ は、 $\kappa-\epsilon$ モデルのような乱流モデルである。

生物は粒子として扱い、場合によって一つのグループとして定義しても良い。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。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{1}{\rho} \nabla P + g + \beta(u-U)|u-U| \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 U :粒子の平均速度、 β :抗力係数である。抗力係数は、以下に示す粒子周りのレイノルズ数 ($= d \rho (u-U) / \mu$) の関数で表される。 d は粒子径 (魚の場合は等価直径) である。

$$C_D = \frac{4d}{R_e} \beta = \frac{24}{R_e} + \frac{6}{1 + \sqrt{R_e}} + 0.4 \dots \dots \dots (4)$$

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、向きの変更等の簡単な法則に従う。

2.2 適応行動の法則

これらの適応行動の法則は、以下の3つの事項による。

(1) 遊泳速度の調整

流水中の粒子は、至近の粒子との最適な遊泳距離 (L_{oc}) を保ちながら移動する (図1)。

この場合、粒子間の衝突回避を行うため、移動速度の調整のみを行う。最適遊泳距離は、粒子長の約1/2程度である。また、各粒子の平均の速度 (U_{ad}) は、ほぼ一定である。さらに、粒子は最大限界速度を持ちそれを超えない。

$$U(n+1) = \alpha_1 U(n) \quad L_{BF} < L_{OC} \text{ or } L_{BB} > L_{OC} \\ = \alpha_2 U(n) \quad L_{BF} > L_{OC} \text{ or } L_{BB} < L_{OC}$$

$$U(n+1) = \alpha_1 U(n) \quad |U(n)| > U_{ad} \\ = \alpha_2 U(n) \quad |U(n)| < U_{ad} \dots \dots \dots (5)$$

ここで、 α_1 :加速率、 α_2 :減速率、 L_{BF} :前方粒子との距離、 L_{BB} :後方粒子との距離である。

(2) 遊泳ベクトルの調整

粒子は、至近の粒子と平行に移動しようとする。また、粒子は、他の粒子グループの重心に向かう (図2)。流れの方向に向かうのは、限界流速を超える場合に行動する。粒子は、障害物を避けて移動する。粒子は、特定の好適空間を持つ。捕食粒子は、被捕食粒子を追って移動する。反対に、被捕食粒子は、捕食粒子から逃げる。さらに、粒子の方向決定には揺らぎを考慮する。

$$D = \frac{U(n)}{|U(n)|} + \sum_{i=1}^8 \beta_i \frac{F_i}{|F_i|} + \sqrt{2} \beta_9 R$$

$$U(n+1) = |U(n)| \frac{D}{|D|} \dots \dots \dots (6)$$

ここで、 D :適応行動後のベクトル、 β_1 :平行移動の重み係数、 β_2 :群れの中心に向かうベクトルの重み係数、 β_3 :流れの方向に向かうベクトルの重み係数、 β_4 :壁衝突回避ベクトルの重み係数、 β_5 :特定

キーワード: 魚、適応行動、粒子、人工生命、貯水池、三次元モデル

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

の空間に集まるベクトルの重み係数, β_6 :捕食粒子から遠ざかるベクトルの重み係数, β_7 :被捕食粒子に近づくベクトルの重み係数, β_8 :被捕食粒子のグループ中心に近づくベクトルの重み係数, F_i :各適応行動のベクトルの重み係数である。

(3) 適応行動の決定領域等

各粒子は, 行動を決定する領域 (図3) として, 衝突回避領域, 並進行動領域, 求心行動領域, 探索 (視認) 領域, 死角領域を持つ。また, 粒子の増殖, 補足による消滅, 寿命を考慮する。

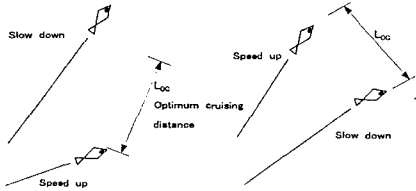


図1 最適遊泳距離の調整

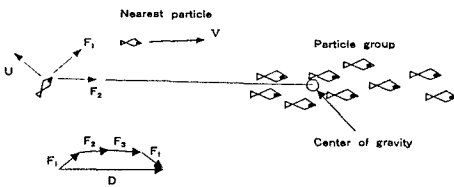


図2 遊泳ベクトルの調整

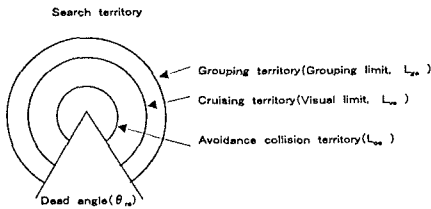


図3 適応行動の決定領域

3. 解析結果と考察

図4に示すような500×500×150mの直方体水槽 (貯水池を想定) において粒子モデルの機能確認を行う目的で解析を実施した。尚, 解析では水槽内の流速分布に変化を与えるため, 内部に障害物を設定した。また, 水槽下流端の500m部分に取水口を設け, 取水口への迷入魚の個体数確認を含めて実施した。

流れ場の解析条件は, 上流端に流速 (=0.08m/s) を連続条件として与え, 下流の取水口から取水する定常状態を想定した。粒子の種類は, 2種類を想定し (大魚, 小魚), 2,000~7,000secの5,000sec間のシミュレーションを行った。尚, 魚の行動特性, 増殖, 死滅等のパラメータは, 文献資料および調査資料より推定した。

水槽の流動解析結果を図5に示す。取水口付近では, 0.03m/s程度の流速が発生している。図6

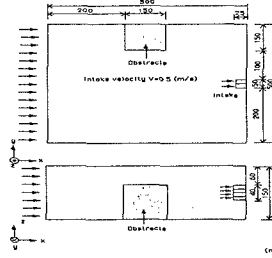


図4 モデル貯水池

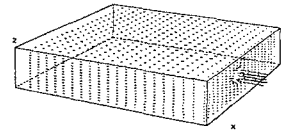


図5 流動解析結果

に水槽内に配置した魚の初期状態を示す。(小魚111匹, 大魚8匹をランダムに配置。●:小魚, ■:大魚) 計算開始後, 小魚は群れを形成し, 大魚が小魚を追う状況も見られた。図7は $t=7,000\text{sec}$ の状態を示したものである。計算の結果として, 取水口付近に群れを成した小魚のうち, 迷入魚は, 12匹, また小魚13匹が死滅し, 9匹が大魚に捕食された。魚の増減は, 最終的に小魚が34匹減少して77匹に, 大魚が3匹増殖して11匹となった。魚の行動特性等に推定値が含まれているにもかかわらず, 計算におけるアニメーションを見ても, 不自然な魚の動きは認められず, 比較的良好な結果が得られた。

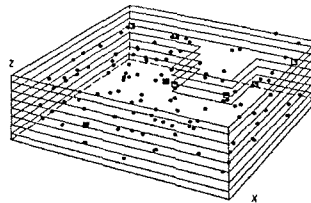


図6 解析開始時の粒子位置

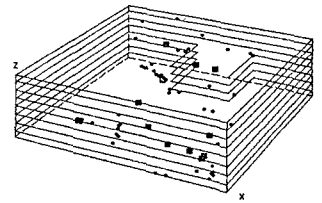


図7 解析終了時の粒子位置

4. 結論

本論文のまとめは, 以下のとおりである。

- (1) 従来手法では, 予測不可能であった水中を動き回る動物プランクトン, 魚等の行動および増減をA-lifeの考え方に基づく自律行動と量的特性を質量粒子に与えるモデル化を行った。
- (2) 粒子モデルは, 自由表面を持つ三次元運動方程式, 連続条件, エネルギー保存, 濃度保存式から構成される流動解析を使用する。
- (3) 解析結果から, 本モデルによって基本的な生物の行動特性を表現できることが確認できた。
- (4) 本モデルのプログラムは簡単であることから, 流れの解析プログラム上に移植, または連携することが可能である。

今後の課題としては, 自律行動を行う生物種についての行動特性値, 量的特性値およびパラメータの設定に関する検討が必要である。本予測手法は, 今後生物種の特性値を実験, 実測等により確認することで, より精度の高い予測手法として利用可能と考えられる。

【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) 玉井信行, 水野信彦, 中村俊六編: 河川生態工学, 1993, 東京大学出版会