アユ個体群の遡上行動と成長過程の数理モデリング

Numerical Modeling of *Ayu*-Fish Population Dynamics in a Natural River

○加島　智也*，伴　道一**

Tomoya KASHIMA and Michichikazu BAN

１．はじめに

近年，人間の活動が河川生態系に対して影響を与えているとの指摘が多く見られる．清流のシンボルとされるアユにおいても例外ではなく，水質悪化，濁水，河床の荒廃などの影響を受け，資源量の減少が著しい．湖産アユまたは人口種苗が放流される河川が多い一方で，産卵場の造成などの努力により，天然アユの遡上を実現している河川もある．しかし，天然遡上アユもしくは放流アユがその後順調に成長し，これが漁獲へと結びつくとは限らず，水量不足，餌不足，低水温，長期濁水，冷水病などの諸要因により，資源量の著しい減耗が起こる．瀬・淵といった河道形態の多様度の低下がこれに拍車をかけているとも考えられている．

アユに関してはその生理・生態学的知見が多く蓄積されており，本研究ではこれらをもとにアユ個体群の移動・成長に関する数理モデルの構築を試みる．これを用いて，遡上直後の個体群が上流へとその生息域を広げつつ成長し始める，河川生活期初期の遡上・成長過程が，河床および河道形状という外的要因から受ける影響の定量化を試みる．数理モデルにはセルオートマトン手法を用い，個体行動（移動・摂餌・なわばり形成）および群れ行動を再現する．次に，「瀬」「淵」「トロ」といた水深，流況，餌（付着藻類）量の異なる場での個体群の成長過程の解析モジュールをこれに追加し，河川の物理的・幾何学的条件がアユの成長に与える影響評価を試みる．本報告では，主に前者の基本モデルの構築について述べる．

２．アユ個体群行動の数理モデル

セルオートマトンは偏微分方程式で表現される非定常な物理現象（例えば波動や拡散）を理論的に，もしくは差分法などの数値解析手法によらずに再現することができる．具体的には，解析対象をセルと呼ばれる区分領域に分割し，ある離散的状態量を各セルに対して定義する．その状態量を，近傍セルとの相互作用のみを考慮することで変化させ，複雑系全体の現象を表現する．物理現象のみならず微生物の増殖過程，建物内を移動する人の流れ，交通流など多くの現象に適用が試みられている．

モデル化においては解析対象の本質を損なうことなく，できるだけ単純化した局所近傍則と状態遷移則を作成するが肝要である．本研究が対象とするアユ個体群のモデル化においては，個体アユの集合（群れ形成）・分散・なわばり競争・遡上（水流に対する反応）といった行動要素と摂餌による成長，そして餌となる藻類現存量の減少と再生産を考慮することとした．

３．群れ行動の局所近傍則

春の遡上初期には，アユは群れを形成する．摂餌対象は徐々に藻食へ移行し，その中の成長の速い個体はなわばりを形成し，およそ 1m^2 の広さの河床を占有し，礫表面の付着藻類を摂食する．ランダムにセル間を移動する個体の動きに個体密度に応じた制約を付加することで群れ行動を再現する．Fig.1 に示す中央セルに位置する個体が次に移動（あるいは留まる）セルを決定する．

---

* 高知大学大学院農学研究科修士課程　Graduate School of Agriculture, Kochi University

** 高知大学農学部 Faculty of Agriculture, Kochi University

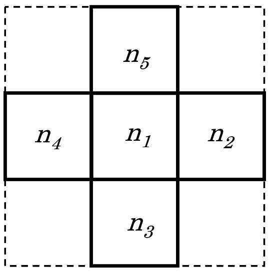
キーワード：河川環境，アユ，個体群，数理モデル，セルオートマトン

(1) セルの個体数 n_i (i =1～5)から対応する関数値 $F(n_i)$ を求める.

(2) $P_i = F(n_i) / \sum_{i=1}^{5} F(n_i)$ で移動確率を求める.

(3) 一様乱数と(2)の移動確率から，中央セルに居る全ての個体ごとの移動先セルを決定する.

ここで, 関数 F は個体の移動先に対する選好性または現位置からの忌避性を表現するために導入したもので，Fig.2 のような形状を定義した．ここで，K は平均的な群れの個体密度（尾/m^2），n_i はセルの個体密度である.



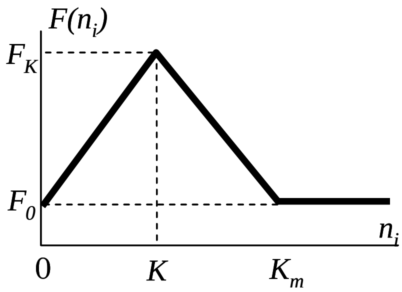


Fig.1　2 次元配置セルと移動先　Fig.2　移動確率の重み付け関数

４．解析結果

関数 F のパラメータを F_0=1，F_k=100，K=600，K_m=1200，計算領域を縦 10 横 10 の計 100 セル計算時間 t=200 と仮定し，初期条件として全セルに個体数 5 を与えた計算結果の例をあげる.

計算結果として，セルの個体数の履歴 $N_i(t)$を Fig.3 に示す．Fig.3 の $N_1(t)$と $N_2(t)$をみると，t が大きくなるにつれて，その個体数は増加し，他の $N_i(t)$よりも大きな個体数を維持していることがわかる．これは，$N_1(t)$と $N_2(t)$のセルに群れができたことを示す.

さらに，$N_1(t)$と $N_2(t)$をみると 2 つのグラフは周期的に変動し，一方が増加しているときにもう一方は減少するという関係がみられる(Fig.4)．$N_1(t)$と $N_2(t)$のセルは隣接していることから，この 2 つの周期的な変動は，群れが移動したこと示している.

以上のことから，本研究で考案した局所近傍則が個体の群れの形成と移動を再現できると考える.

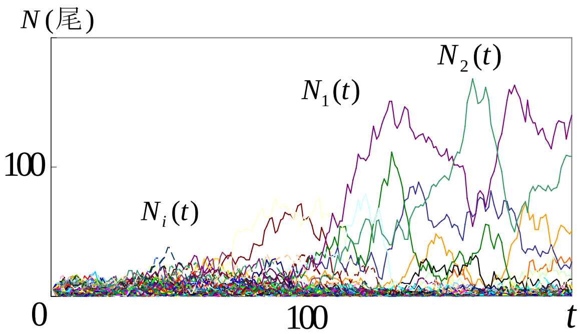


Fig.3　セルの個体数の履歴 $N_i(t)$

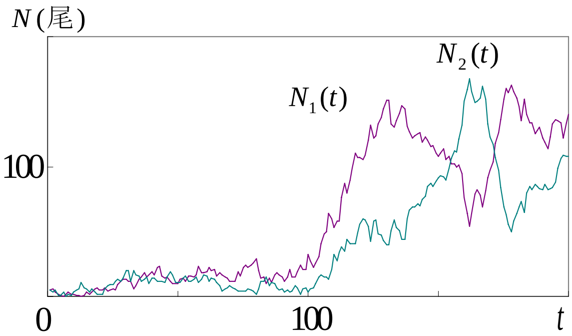


Fig.4　隣接する 2 セルの個体数の履歴

参考文献

1) 森下信：セルオートマトン－複雑系の具象化－，養賢堂，2003

2) B.L.パートリッジ：魚はどのようにして群れをつくるのか，日経サイエンス社，1984

3) 川那部浩哉：遡上アユの生態とくに淵におけるアユの生活様式について，日本生態学会誌，1956