

5Y-8

捕食者-被食者生態系に基づき個体数の変動する 群れのアニメーション作成

佐藤大輔[†]
日本大学[†]

吉田典正[‡]
日本大学[‡]

1. はじめに

映画やゲームの作成において、魚や鳥などの群れの動きを自動的に生成する手法は不可欠なものとなっている。そのような手法として Boid アルゴリズム¹⁾が有名であり、関連する研究として²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾などがある。本研究では、捕食者と被食者の二種の魚が、Boid アルゴリズムによって群れを作りながら行動し、捕食行為と出産・成長・死亡のサイクルを繰り返しながら、数理生態学⁷⁾におけるロトカ・ヴォルテラの式に基づいて群れの個体数を変化させる手法を提案する。また、シミュレーション中に使用者が個体数の変化を行えるようにすることで、人とソフトとの対話性を考慮したアプリケーションの作成を行う。本研究では映画やゲームなどでの応用を期待し、群れを常時制御可能な形で時間とともに個体数を変化させることを目的とする。

2. Boid アルゴリズム

Boid アルゴリズムは 1986 年 Craig Reynolds が提案したもので、群れを成す個体すべてに①結合（群れの中心に向かう処理）②引き離し（一定距離以上仲間に近づけさせない処理）③整列（仲間と進む方向およびスピードを合わせる処理）の共通な三つのルールを与える。そのルールが各個体間に相互作用することで群れを形成させるアルゴリズムである。

3. ロトカ・ヴォルテラの式

ロトカ・ヴォルテラの式は、互いに競争関係にある群れについての式と、捕食者-被食者関係にある群れについての式がある。前者の式を利用した研究⁶⁾はすでに行ったので、本研究では次式に示す後者の式を利用する。

$$\frac{dN_1}{dt} = (\epsilon_1 - \lambda_1 N_1 - k_1 N_2) N_1 \quad (3.1)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = (-\epsilon_2 - \lambda_2 N_2 + k_2 N_1) N_2 \quad (3.2)$$

t は時刻、 N_i は種 i の個体数、 ϵ_i は内的自然増殖率、 λ_i は種内競走係数、 k_i は種間競走係数である。この式は、捕食者-被食者の関係にある二つの種の群れを考え、時刻 t において、式(3.1)が被食者の、式(3.2)が捕食者の群れの個体数の変移を微分方程式によって表した式である。

横軸を被食者の個体数 N_1 、縦軸を捕食者の個体数 N_2 として、式(3.1)の左辺を0としたときの直線式を①、式(3.2)の左辺を0としたときの直線式を②としてグラフに表し、各グラフにおいて点A（両種とも200の個体数）を初期状態として Δt 時間先の両種の個体数を繰り返し求めてプロットするシミュレーションを行うと、図1の(a)から(d)のようなグラフが描ける。

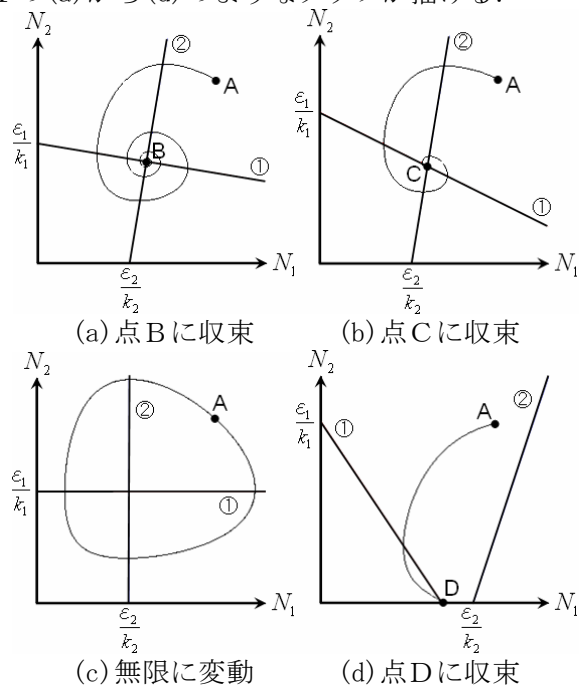


図1 ロトカ・ヴォルテラのグラフ

グラフからわかるように最終的な両種の個体数は、両種の ϵ_i と k_i および λ_i の値によって制御可能であり、線①や線②の傾きによって収束するまでの変動の仕方を制御することができる。つまり、ロトカ・ヴォルテラの式を繰り返し計算することで捕食-被食の関係にある二種の群れの個体数の変動をシミュレーションすることが

Simulation of shoals of Fish in Predator-Prey Models

[†] Daisuke SATO, Nihon university

[‡] Norimasa YOSHIDA, Nihon university

でき、パラメータの制御によって、様々なシミュレーションパターンを作成することができる。

4. 捕食行為

各個体に体力値を与える。捕食者は被食者を追いかけるときに、被食者は捕食者から逃げるときに体力値を減らす。体力値が0になった個体は一定時間速度を遅くさせる。また、捕食者には空腹値を与え、捕食行為が行われたときに被食者のサイズに見合った値を捕食者の空腹値にプラスする。このようにすることで、体力値と空腹値の制限により、様々なパターンの捕食活動を再現する。

5. 出産・成長・死亡による個体数の調整

本研究では、各個体に成長・出産・死亡のサイクルを繰り返させ、出産期になった個体は、ロトカ・ヴォルテラの式から求めた Δt 時間先の個体数と、現在の個体数を比較して出産数を自分で決定する。こうすることで、捕食者の個体数および捕食行為によって減少した被食者の個体数は、出産数の調整によってロトカ・ヴォルテラの式から求めた群れの個体数に等しくなる。

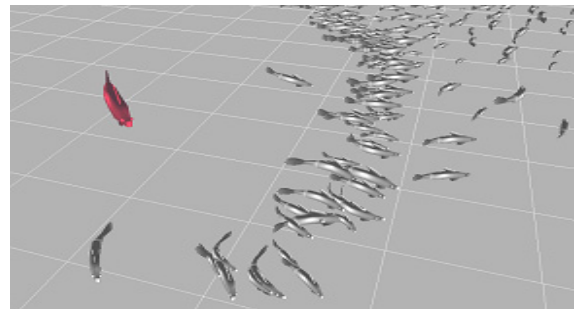
6. 対話的アプリケーションの作成

人とシミュレーションソフトとの対話性を考慮し、本研究では金魚すくいをイメージしてフィールド上から魚を網ですくい上げ、その魚をフィールド上から消すことができるようする。すなわち使用者がある種の群れの個体数を大幅に減少させることができ、その後の両種の個体数変化を学ぶことができる。図2に、Visual C++ 6.0を用いて作成した実行画面を示す。

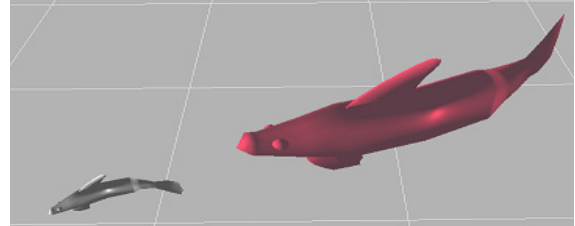
7. まとめ

本研究では、捕食者-被食者関係にある二つの群れを想定し、捕食行為と出産・成長・死亡のサイクルによって群れの個体数を時間と共に変化させる手法を提案した。各群れの個体数の制御はロトカ・ヴォルテラの式によって求めた Δt 時間先の個体数に合うように、群れの出産数を制御することによって行った。また、ロトカ・ヴォルテラの式のパラメータを設定することで、収束する二つの種の個体数や収束までの変動のしかたを簡単に制御することが可能である。

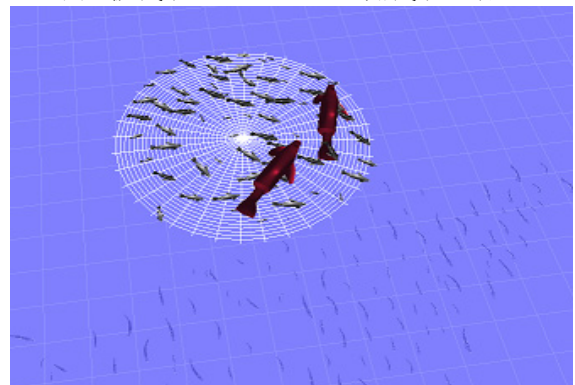
また、金魚すくいをイメージして、使用者がシミュレーション中に対話的に群れの個体数を変化させることができ、その後の個体数変化を学ぶことができるようにした。



(a) 捕食者から逃げようとする被食者の様子



(b) 被食者を追いかける捕食者の様子



(c) 網で魚をすくった様子

図2 実行画面

参考文献

- 1) Craig W. Reynolds, "Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model", Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH), 21(4), Jul. (1987), pp.25-34.
- 2) Steven Woodcock, "群れの生成: グループの行動をシミュレーションするシンプルなテクニック", Game Programming Gems, ボーンデジタル, (2001), pp.295-307.
- 3) D. Terzopoulos, X. Tu, and R. Grzeszczuk, "Artificial fishes: Physics, locomotion, perception, behavior", Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH), pp.43-50, (1994).
- 4) 鶴沼, 安生, 武内: "群集行動のモデリング-仮想都市空間における人の群れと環境とのインタラクション", 電気学会論文C, Vol. 115, No. 2, pp.212-221, (1995).
- 5) 松延, 水森, 蔡, "自己組織化理論を用いた群れのアニメーション作成", 情報処理学会グラフィクスとCAD研究会, 112, (2003), pp.59-64.
- 6) 佐藤, 吉田, "互いに競争関係にある二種の群れのシミュレーション", 情報処理学会グラフィクスとCAD研究会, 115, (2004), pp.35-40.
- 7) 寺元英著, "数理生態学", 朝倉書店, (2000).