

被食者の群れの形成が捕食率に与える影響の数理的研究

日大生産工 (学部) ○松熊 克典
日大生産工 (卒業生) 北崎 真和

日大生産工 (卒業生) 角谷 知郁
日大生産工 野々村 真規子

1 はじめに

Reynoldsが考案したBoidモデル¹⁾は、動物群の数理モデルとして非常に有名である。Reynoldsはオブジェクトに3つの単純な規則「分離」・「整列」・「結合」を用いて各個体を行動させることによって、群れの振る舞いを再現させた。Cambuiらはこのモデルを元にして魚の群れが外部刺激や近隣間での局所的相互作用が影響していると考え、魚群をモデル化し研究している。我々は、被食者の群れ形成が行動規則に則って捕食率にどのような影響を与えるのか研究するために、捕食者を取り入れてCambuiらのモデル²⁾の数値計算を行った。

2 基礎理論及び従来研究

Cambuiらのモデル²⁾では、魚が群れとして行動させるためにReynoldsの考えを基に、3つの領域「衝突回避領域 (REP)」・「仲間探し領域 (ATT)」・「集団形成領域 (ORI)」を考えている (図1)。時刻 t での i 番目の魚の位置を $\vec{r}_i(t)$ 、速度を $\vec{v}_i(t)$ 、 i 番目の魚と j 番目の魚の距離を $d_{ij} = |\vec{r}_i - \vec{r}_j|$ とする (図2)。このとき、REP領域は $d_{ij} < r_r$ 、ATT領域は $r_o < d_{ij} < r_a$ 、ORI領域は $r_r < d_{ij} < r_o$ と書ける。

時刻 $t + \tau$ での魚の位置は $\vec{r}_i(t + \tau) = \vec{r}_i(t) + \vec{v}_i(t) \cdot \tau$ で決定される。この速度 $\vec{v}_i(t)$ は次のベクトルによって求められる。

$$\vec{d}_i^{(REP)} = - \frac{\sum_{j \neq i}^{Nr} \vec{r}_{ij}}{|\sum_{j \neq i}^{Nr} \vec{r}_{ij}|} \quad (1)$$

$$\vec{d}_i^{(ATT)} = \frac{\sum_{j \neq i}^{Na} \vec{r}_{ij}}{|\sum_{j \neq i}^{Na} \vec{r}_{ij}|} \quad (2)$$

$$\vec{d}_i^{(ORI)} = \frac{\sum_{j=1}^{No} \vec{v}_j}{|\sum_{j=1}^{No} \vec{v}_j|} \quad (3)$$

このとき、 $\vec{r}_{ij} = (\vec{r}_j - \vec{r}_i) / |\vec{r}_j - \vec{r}_i|$ である。 $\vec{r}_{ij}$ は i 番目の魚から j 番目の魚に向かう単位ベクトルである。 N_r, N_a, N_o はそれぞれREP領域、ATT領域、ORI領域に存在する魚の数である。これらの式を

用いて、衝突回避領域内に魚が存在する場合の速度 $\vec{v}_i(t)$ は

$$\vec{v}_i(t) = \vec{d}_i^{(REP)} \quad (4)$$

とし、存在しない場合は

$$\vec{v}_i(t) = \frac{1}{2} \left[\vec{d}_i^{(ATT)} + \vec{d}_i^{(ORI)} \right] \quad (5)$$

とする。また、3つの領域のいずれにも魚が存在しない場合は速度 $\vec{v}_i(t)$ を変化させない。

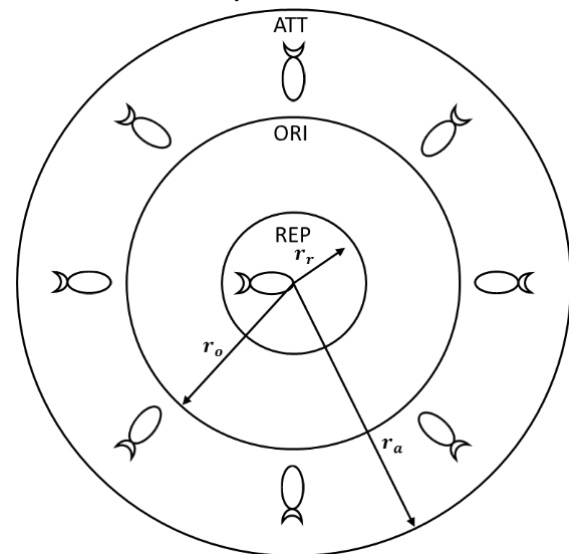


図1. 魚の行動領域

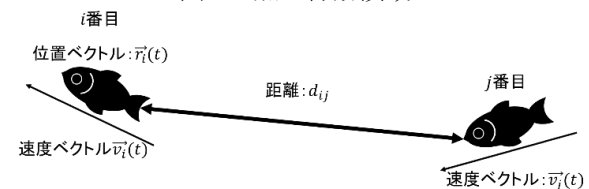


図2. 時刻 t での魚 i と魚 j

3 提案手法及び本研究

本研究では、魚の向きを滑らかに変化させるために、(5)式の代わりに

$$\vec{v}_i(t) = \frac{c_A \vec{d}_i^{(ATT)} + c_O \vec{d}_i^{(ORI)}}{\left| c_A \vec{d}_i^{(ATT)} + c_O \vec{d}_i^{(ORI)} \right|} \quad (6)$$

Mathematical Investigation for the Influence of Predation on School of Fish

Katsunori MATSUKUMA, Tomohumi KADOYA, Masakazu KITAZAKI and
Makiko NONOMURA

を用いた。ここで、 $\overline{D}_i^{(ORI)} = \frac{\overline{v}_i + \sum_{j=1}^{N_o} \overline{v}_j}{\left| \overline{v}_i + \sum_{j=1}^{N_o} \overline{v}_j \right|}$ である。

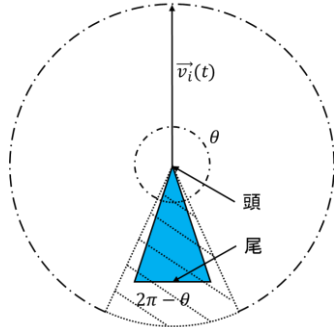


図3. 視野角度 θ

図3のように魚の向き $\overline{v}_i(t)$ によって向きを変える三角形によって魚を表す。魚の片眼視野角度 θ も文献3)と文献4)を参考にしてモデルに取り入れた。斜線部分である角度 $2\pi - \theta$ に存在する魚との相互作用は考えないことで死角を表現する。

4 実験結果および検討

魚の総数 $N=50$ 、 $c_A = 1$ 、 $c_r = 10$ 、 $r_r = 1f$ 、 $r_o = 3f$ 、 $r_a = 4f$ として、数値計算を行なった。 f は魚のサイズである。図4-図6は、片眼視野角度 θ の違いによる群れ形成の影響を調べた結果である。REP、ORI、ATTのいずれかの領域に別の魚が存在する場合に、群れに属しているとした。時間ステップ数1000での魚の分布図を図4に載せる。群れに属している魚を赤い三角で、群れに属していない魚を青い三角で示す。

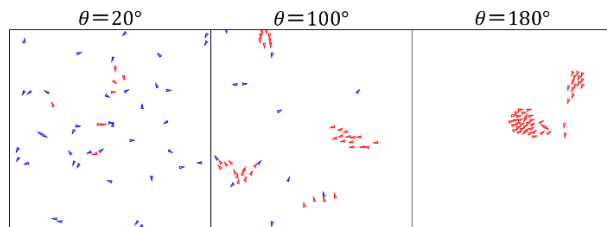


図4. 視野角度 θ を考慮した魚の群れの様子

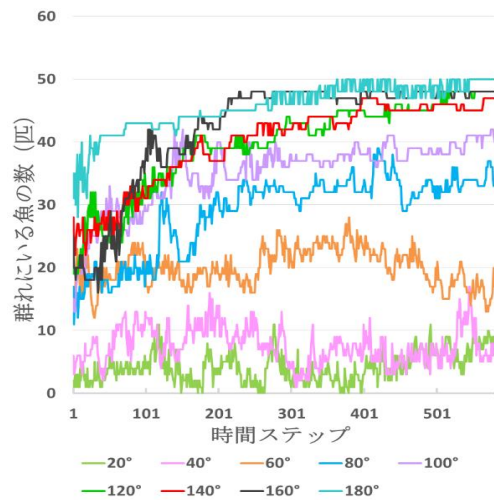


図5. 時間ステップによる群れ形成の変化

図5は、群れに属している魚の数の時間変化をプロットしたものである。視野角度は 20° から 180° までを、 20° 間隔で設定した。この図から視野角度が大きい方が群れに属している魚の数が多くなる。

図6は群れに属する魚の数の時間平均を300から1000ステップの間で計算したものである。この図から 40° 以上の視野角度で群れを形成し、 150° 以上の視野角度でその群れを維持できていることがわかる。

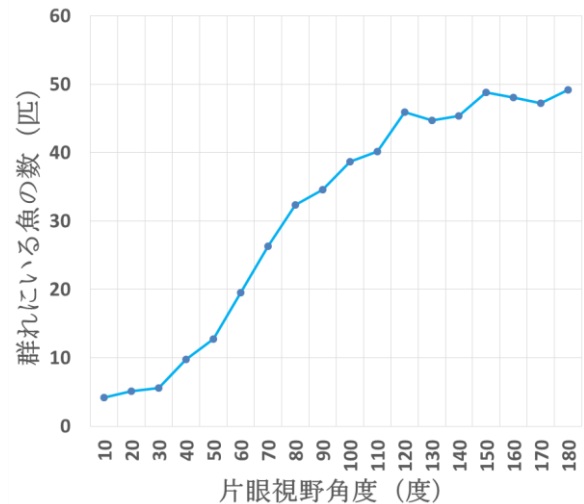


図6. 視野角度 θ による群れ形成の変化

5 まとめ

Cambuiらのモデルを元に、視野を考慮した魚の群れの数値計算を行い、群れに属する魚の数と片眼視野角度の関係を調べた。その結果、群れの形成と維持に適している片眼視野角度が、実際の魚の片眼視野角度($150^\circ \sim 160^\circ$)に近い角度範囲となった。ポスターセッションでは、この結果を踏まえて、捕食者を入れた数値計算結果を報告し、被食者の群れの形成が捕食率に与える影響を議論する。

「参考文献」

- 1) Craig W. Reynolds, "Flocks, herds, and schools: A distribute behavioral model", Computer Graphics 21 (4), Jul. (1987), pp. 25-34.
- 2) Dorilson Silva Cambui, Alexandre Rosas., "Density induced transition in a school of fish", Physica A, 3908-3914, (2012)
- 3) 北崎真和, "魚の集団行動の研究", 平成26年度卒業論文.
- 4) 角谷知郁, "捕食を考慮した魚の群れの数値計算", 平成27年度卒業論文.