

# 視野角度を考慮した魚群形成が捕食率に与える影響

日大生産工 ○奈良 真弥 日大生産工卒 松熊 克典  
日大生産工卒 北崎 和真 日大生産工卒 角谷 和郁  
日大生産工 野々村 真規子

## 1 まえがき

動物は群れを作って行動をする習性のあるものが存在する. その中でも魚はリーダーがいなくてもかかわらず, 群れを作る代表的な動物である. Cambuiらは魚群の数理モデルを用いて, 魚の密度と魚群形成の関係について研究している<sup>1)</sup>. 我々はそのモデルを魚の視野角度を表現できるように拡張した<sup>2)3)4)</sup>. 本研究ではこのモデルを用いて, なぜ捕食者が見つかる可能性が高くなるにもかかわらず群れを作るのかを明らかにすることを目標に, 魚の視野角度と群れの形成の関係, および捕食時間の変化について数値的に研究を行った.

## 2 実験方法および測定方法

Cambuiらのモデル<sup>1)</sup>では, 魚の群れの行動として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 $\vec{v}_i(t)$ とし,  $i$ 番目と $j$ 番目の魚の距離を $d_{ij} = |\vec{r}_i - \vec{r}_j|$ とする(図2). 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. それぞれの領域で 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. ここで,

$$\begin{aligned} \vec{d}_i^{(REP)} &= -\frac{\sum_{j \neq i}^{N_r} \vec{r}_{ij}}{\left| \sum_{j \neq i}^{N_r} \vec{r}_{ij} \right|} \\ \vec{d}_i^{(ATT)} &= \frac{\sum_{j \neq i}^{N_a} \vec{r}_{ij}}{\left| \sum_{j \neq i}^{N_a} \vec{r}_{ij} \right|} \\ \vec{d}_i^{(ORI)} &= \frac{\sum_{j=1}^{N_o} \vec{v}_j}{\left| \sum_{j=1}^{N_o} \vec{v}_j \right|} \end{aligned}$$

とすると, Cambuiらはこれらの式を用いて REP 領域内( $d_{ij} < r_r$ )に魚が存在する場合の速度 $\vec{v}_i(t)$ は $\vec{v}_i(t) = \vec{d}_i^{(REP)}$ とし, 存在しない場合 $\vec{v}_i(t) = \frac{1}{2} \left[ \vec{d}_i^{(ATT)} + \vec{d}_i^{(ORI)} \right]$ とした. また, いずれの領域にも魚が存在しない場合は速度

$\vec{v}_i(t)$ を変化させないとした. ただし,  $\vec{r}_i$ 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を表す.

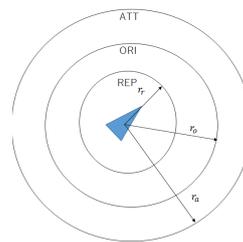


図1. 行動領域

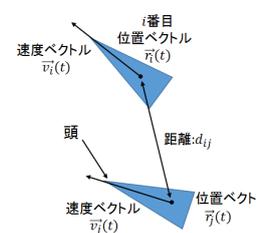


図2. 時刻 $t$ での魚 $i$ と魚 $j$

魚の尾から頭の向きが速度ベクトル $\vec{v}_i(t)$ と一致すると仮定して, 視野を考えた. 群れを作る際の片眼視野角度を $\theta_1$ とし, 被食者が捕食者を見つける際の片眼視野角度を $\theta_2$ とした. 図3の赤の斜線部分は群れを作る際の死角を, 青の斜線部分は捕食者を感じできない死角とする. 今回は,  $\theta_1$ を10度, 90度, 180度とし $\theta_2$ を10度から180度まで変更し実験を行った. 試行回数は10回で行った. システムサイズは $500 \times 500$ , 魚を50匹に固定している.

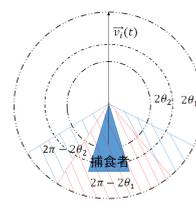


図3. 視野角度

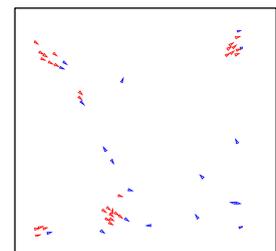


図4. 群れの形成

捕食者の実装方法を次に記す. 時刻 $t$ での捕食者の位置ベクトルを $\vec{s}_r(t)$ , 速度ベクトルを

Influence of formation of fish school considering viewing angle on predation ratio  
Masaya NARA, Katsunori MATSUKUMA, Masakazu KITASAKI  
KADOYA Kazunori, Makiko NONOMURA

$\vec{s}_p(t)$ とする。魚*i*と捕食者の距離は $s_{ai} = |\vec{s}_r - \vec{r}_i|$ とする。捕食者には行動領域として被食者である魚の行動領域とは違う「捕食領域」と「獲得領域」の二つの領域を与えている。捕食領域に被食者が入ると追走し、獲得領域に入ると捕食する。また捕食者には視野を導入していない。サメは鋭い嗅覚によって獲物を感知し捕獲しているからである。なので、捕食者は死角がなく獲得領域に入ってきた魚を追走する。

### 3 実験結果および検討

図4は捕食者なしで、群れを形成するかどうかを調べた数値計算結果である。群れに属している魚を赤い三角形、群れに属していない魚を青い三角形で表している。死角が広いほど群れを作りにくいことがわかった。

図5は $\theta_1=10$ 度のとき、 $\theta_2$ を10度ごとに変化させた際の捕食時間の変化をグラフにしたものである。ほぼ群れを作らないため捕食者は魚を1匹ずつ見つけ捕食していくため全て捕食するには時間がかかった。また、 $\theta_2$ の範囲が広くなるにつれ捕食する時間が長くなっていくことがわかる。

図6は $\theta_1=90$ 度のとき、 $\theta_2$ を10度ずつ変化させた際の捕食時間の変化をグラフにしたものである。 $\theta_1=90$ 度のときはいくつかの群れを成すため捕食者は1つの群れを見つけるとまとめて捕食していくため $\theta_1=10$ 度のときより捕食時間は減っていることがわかる。しかし、 $\theta_2=130$ 度、 $160$ 度のときの値にばらつきが生じてしまった。その原因としては残りの魚が1、2匹になったときに捕食領域内に魚が入らず時間に誤差が出てしまったことが考えられる。

図7は $\theta_1=180$ 度のとき、 $\theta_2$ を10度ごとに変化させた際の捕食時間の変化をグラフにしたものである。 $\theta_1=180$ 度のときはまとまった群れになるため捕食者が被食者を見つやすいため捕食時間が短いことがわかる。誤差の範囲が大きい $\theta_2=90$ 度、 $180$ 度を除けばほぼ捕食時間が横並びであることがわかる。このことから $\theta_1$ が大きいほど群れが作られやすいので群れたほうが捕食者に食べられやすいことがわかる。

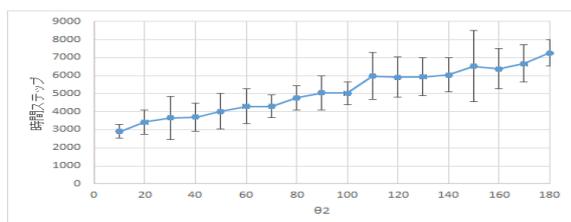


図5.  $\theta_1 = 10$ 度の際の捕食時間

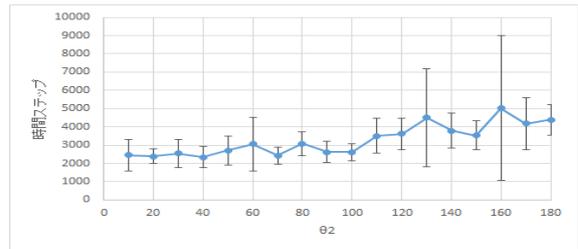


図6.  $\theta_1=90$ 度の際の捕食時間

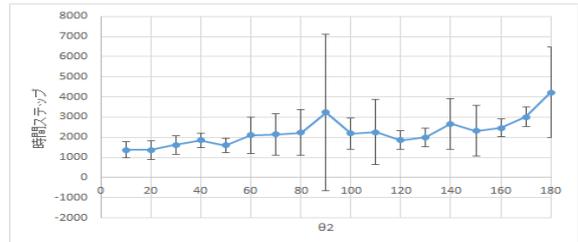


図7.  $\theta_1=180$ 度の際の捕食時間

### 4 まとめ

今回の実験で $\theta_1$ の角度が小さいほうが群れを成さず捕食に時間がかかることがわかった。 $\theta_1$ の角度が大きくなると群れを作るため魚が捕食者をつけても群れを成しているため逃げ切るのは難しいと考える。群れを成していないほうが広い海の中では捕食者に見つかる危険性も可能性も少なく被食者にとっては良いのではないかと考える。

今後の予定としては誤差の範囲を小さくするために試行回数を増やしていき、 $\theta_1$ の角度を細かくして実験していこうと思う。また、魚の数を変えたときにどのような変化が生じるのかを見ていこうと思う。

#### 「参考文献」

- 1) Dorilson Silva Cambuí, Alexandre Rosas, “Density induced transition in a school of fish”, Phys, A, 3908-3914, (2012)
- 2) 松熊克典, 「被食者の群れの形成が捕食者に与える影響」, 平成 29 年度 卒業論文
- 3) 北崎和真 「魚の集団行動の研究」, 平成 26 年度卒業論文
- 4) 角谷知郁 「捕食を考慮した群れの数値計算」 平成 27 年度卒業論文