

二種の近傍に着目した鳥の群れ行動を示す MAS モデルの比較

吉田 史織 (指導教員：浅本 紀子)

1 はじめに

ムクドリは、ねぐらに向かうときに非常に大きな群れを形成し、多数の個体があたかも集合意識を持っているかのように一体となった動きを見せる。このように鳥の群れ行動を表すモデルについては、Reynolds の boid モデル [1] を初めとしてさまざまなモデルが検討されており、アミューズメント、生物学、物理学など多くの分野で研究が行われている。現在、群れの行動は、単純なルールによる個体間の相互作用の結果として形成される一種のマルチエージェントシステム (MAS) であるという見方が一般的である。Reynolds はこれらのルールとして (1) Separation (障害物回避), (2) Alignment (速度並列化), (3) Cohesion (群れの集中) の 3 つの力を各個体に与えることを提案した。これらのルールは厳密には定義されておらず、パラメータの設定方法によって群れは異なった挙動を見せる。また、実際の群れを調査した観測結果 [2] によると、群れの中の個体における異方性の創発から、1 個体が相互作用する範囲は近傍の 7 羽であるという Topological distance の認識が示された。この近傍を用いたモデルは、当初の boid モデルで採用されていた Metric distance を用いたモデルよりも、より強力な群れの集中力を持つということも示されている。[2] 本研究では、シミュレータ artisoc を用いてこれらのモデルを構築し、近傍の取り方によるモデルの振る舞いの違いについて比較を行う。

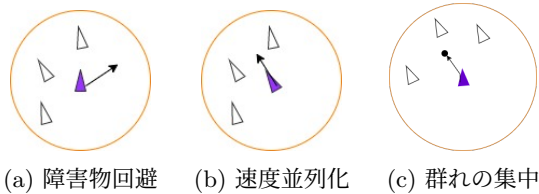


図 1

2 関連研究

2.1 多様な boid モデル

Reynolds が提案した、(1) Separation (障害物回避), (2) Alignment (速度並列化), (3) Cohesion (群れの集中) の 3 つの力を各個体に与えることで、群れ行動を形成するモデルは boid model と呼ばれ、この考え方を基として多くのモデルが提案されてきた。このモデルでは、各個体は測量的な距離 r の観測範囲を近傍として持ち (Metric distance)、近傍内に存在する他 boid を認識する。一方で、Ballerini らは実際のムクドリの群れを調査し、ムクドリはより近い位置に存在する他ムクドリとの間に、より強い異方性を持つこと、そして 7 番目辺りに位置する他ムクドリとの間で異方性が無くなるということを示した。これによって実際のムクドリは、測量的な距離でなく、自分から見てより近い順番に隣接する他個体を認識するという近傍 (Topological distance)

の取り方が実証された。濱谷 [3] は、ムクドリの群れがより近い他ムクドリとの間により強い異方性があるという現象を、Topological 近傍に基づいた群れ形成アルゴリズムに導入し、その振る舞いを検証した。新里 [4] が考案した Metric-Topological Interaction (MTI) モデルは、Metric distance と Topological distance をに近傍内の二個体の方向の差の大きさによって切り替えるモデルである。対して、坂本 [5] が考案した Weighted Metric-Topological Interaction (WMTI) モデルは、周囲との角度差によって Metric distance と Topological distance で得られたそれぞれのベクトルを重みをつけ、合成し同時に用いる。

2.2 異方性の発現

Ballerini らは、観測データから各個体における近傍個体が存在する方向をそれぞれ求め、その分布には強い偏りがあることを示した。この「近傍個体が存在する方向」については、群れ全体の進行方向と各個体から近傍個体へと向かう単位ベクトルからなる 3 次元の角度 (緯度と経度で表現する) で定義する。全個体について、最近傍個体についてのこの角度を算出し、その分布を mollwidge 法により 2 次元の角度分布図へ射影した結果、任意の個体に対する最近傍個体が群れ全体の進行方向に沿って存在する確率は他の方向に比べ極端に低いことが分かった。この状態のことを「異方性」と呼ぶ。また、この異方性は近い個体ほど強く表れ、7 番目あたりに隣接する他個体との間で失われる。このことから、ムクドリが作用する範囲は近傍の 7 羽であるという結論が得られている。

2.3 スケールフリー相関

スケールフリー相関は、Cavagna [6] によって定義された。群れの中には、速度ゆらぎが他個体と大きく異なる領域が存在し、群れ全体の大きさに対するその領域の大きさの割合が、群れのスケールと関係なく一定で表れる現象を指す。なお、エージェント i における速度ゆらぎ u_i について定義する。

$$u_i = v_i - \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N V_k$$

N は群れにおける個体数であり、各個体の速度ベクトル v_i から全個体の速度ベクトルの平均を引くことで、各個体の速度ゆらぎ u_i が求まる。この速度ゆらぎを用いて相関係数が定義され、群れの相関長が求められる。現在、この相関長が群れサイズに比例することが示されている。ここで群れサイズは群れに属する二つの鳥の間の最大距離とされている。

3 モデルの概要

MAS のプラットフォームである artisoc を用いて、Metric distance を用いたモデル (以下 Metric モデル) 及び Topological distance を用いたモデル (以下 Topological モデル) を実装した。フィールドの範囲は 200×200 、エージェントの数は 1000、初期配置は 50×50 の範囲でランダムに配置し、各モデルにおいて 200 ステップ実行した。また初期速度については、ランダムに与えた

角度 θ と 0.1-0.3 の範囲でランダムに与えた初期スピード m から、速度ベクトル $(v_x, v_y) = (m \cos \theta, m \sin \theta)$ を算出した。

3.1 エージェントの行動ルール

本モデルは関連研究を参考にし、以下のルールを適用し加速度を与え、次ステップにおける速度、位置を算出した。また、各個体が一定の速さを越えることを防ぐために、速さが 3 を越えた場合は速度ベクトルの正規化を行った。また重みについては $K^{ca} = 1.5, K^{vm} = 3, K^{fc} = 4$ とした。加速度 u_i の定義は以下に示す。

$$u_i = \frac{K^{ca} u_i^{ca} + K^{vm} u_i^{vm} + K^{fc} u_i^{fc}}{8}$$

- **Separation(障害物回避)**：分離近傍内のエージェントとの衝突を避ける動きを加速度 u_i^{ca} で表す。この力は、注目個体 i から分離近傍内に存在する他エージェント j に対して働く。ここで、 K^{ca} は重み、 n_{ij} は i から j へのベクトル、 p はエージェントの位置、 $\|p_j - p_i\|$ は i と j の距離を表す。それぞれのベクトルは、注目個体からの距離の二乗の逆数で重みづけされており、近いエージェントへの回避行動がより強く反映される。

$$u_i^{ca} = K^{ca} \sum_j \left(-\frac{n_{ij}}{\|p_j - p_i\|^2} \right)$$

- **Alignment(速度並列化)**：近傍内のエージェントと向きや速度を合わせる動きを加速度 u_i^{vm} で表す。この力は、注目個体 i から近傍内に存在する他エージェント j に対して働く。ここで、 K^{vm} は重み、 n_i は i の近傍内に存在する j の数を表す。
- $$u_i^{vm} = K^{vm} \left(\frac{1}{n_i} \sum_j v_j - v_i \right)$$

- **Cohesion(群れの集中)**：近傍内のエージェントの重心位置に向かう動きを加速度 u_i^{fc} で表す。この力は、注目個体 i から近傍内に存在する他エージェント j に対して働く。ここで、 K^{fc} は重みを表す。
- $$u_i^{fc} = K^{fc} \left(\frac{1}{n_i} \sum_j p_j - p_i \right)$$

3.2 エージェントが用いる近傍

両モデルとも、二種類の近傍を使用した。Metric モデルについて (1)Separation(障害物回避) については距離 0.5 未満の個体に対して、(2)Alignment(速度並列化)・(3)Cohesion(群れの集中) については距離 3 未満の個体に対して力が働くように近傍をとった。Topological モデルについて (2)Alignment(速度並列化)・(3)Cohesion(群れの集中) についての近傍を、注目個体から近隣 7 つの個体と変更した。

4 検証結果

4.1 各個体の速度揺らぎの平均

各ステップごとの全エージェントの速度揺らぎの二乗の平均を求めたところ、以下ようになった。両成分において、Topological モデルの方が速度揺らぎは大きくなっている。

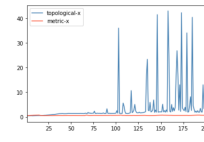


図 2: x 成分

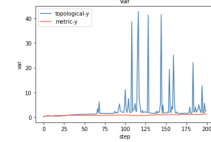


図 3: y 成分

4.2 衝突回数の変化

同ステップ時に、エージェント 5 体以上が同じ位置に存在することを衝突と定義し、ステップ毎にその回数をグラフにした。尚、衝突している個体の数については考慮していない。

以下のように Metric モデルより Topological モデルの方がエージェント同士の衝突回数が少ないことが示された。

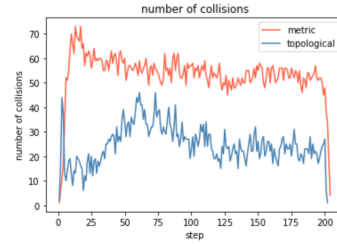


図 4: ステップ毎の衝突回数

5 今後の課題

鳥の群れのような動きを表現するモデルについての関連研究から、二種類の近傍の取り方という点に注目し、シミュレータ artisoc を用いてそれぞれのモデルを実装し、検証を行った。今後は異方性評価指数を用いて、異方性の誘発という現象に着目した観点から検証を行いたい。また、本研究ではエージェントの数を 1000 個と固定したので、その数をランダムに変更して実験を行うことで群れの個体数による動きの変化を評価したい。

参考文献

- [1] C.W.Reynolds. “flocks, herds, and schools: A distributed behavior model, computer graphics”.
- [2] M. Ballerini. “interaction ruling animal collective behavior depends on topological rather than metric distance”.
- [3] 濱谷圭輔. “topological distance に基づいた群れ形成アルゴリズム”.
- [4] 新里高行. “群れの中のゆらぎの構造と運動的機能”.
- [5] 坂本佑樹. “群れ挙動におけるスケールフリー相関”.
- [6] Cavagna. “scale-free correlation in the bird flocks.”.