

群れの中に相互作用のある群れの動き (2つの群れの中に相互作用がある場合の群れの動き)

古市 望

日本大学大学院 理工学研究科

§.1 はじめに

自然界の中で“群れ”というものはよく見かけることができる。草食動物・魚・鳥など多くの種類の動物が群れをつくって生活している。たとえば、イワシのような小魚は群れで行動することによって、一つの大きな個体の様に振る舞い、マグロなどの外敵から身を守る。また、渡り鳥のV字飛行は単独で飛ぶよりも負担が少ないといわれているし、ある種の肉食動物は単独で狩りをするよりも群れで狩りをするの方が捕獲率が高い。つまり、生物が群れをなして行動することは生存する上で有利に働く場合が多い。

実際の生物の群れを観察することによって、群れの構造や群れようとする力は調べられてきた^[1,2]。また、最近では自律的に動くシステムとして“群れ”というものが注目されてきている。しかし、今までの群れのモデルは一つの群れについてのものが多かった^[3,4,5,6]。そこでわたしは2つの群れの中に追いかける・逃げるといった相互作用がある場合に、この2つの群れがどのような振る舞いをするのか調べた^[7]。

§.2 モデル

わたしのモデルでは2次元の平面上に追いかける群れ (*Hunter*) と逃げる群れ (*Beast*) の2つの群れを考えている。また、簡単のため群れを構成する各個体は質点とし、頭の向きや死角は考えていない。

N を *Hunter* の個体数、 N' を *Beast* の個体数とする。また \vec{r}_i ($i = 1, 2, \dots, N$) を *Hunter* の i 番目の個体の位置ベクトル、 \vec{r}_k ($k = 1, 2, \dots, N'$) を *Beast* の k 番目の個体の位置ベクトルとする。このとき *Hunter* と *Beast* の2つの群れの動きは運動方程式 (1) にしたがう。

$$\left\{ \begin{array}{l} m \frac{d^2 \vec{r}_i}{dt^2} = -\gamma \frac{d\vec{r}_i}{dt} + c \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \vec{f}_{ij} + d \sum_{k=1}^{N'} \vec{g}_{ik} \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (\text{Hunter の方程式}) \\ m \frac{d^2 \vec{r}_k}{dt^2} = -\gamma \frac{d\vec{r}_k}{dt} + c' \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq k}}^{N'} \vec{f}_{kl} - e \sum_{i=1}^N \vec{g}_{ki} \quad (k = 1, 2, \dots, N') \quad (\text{Beast の方程式}) \end{array} \right. \quad (1)$$

\vec{f}_{ij} 、 \vec{f}_{kl} は Y. Hayakawa らが用いた同じ群れに属する各個体が群れようとする力であり

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{f}_{ij} = - \left(\frac{1}{|\vec{r}_j - \vec{r}_i|^3} - \frac{1}{|\vec{r}_j - \vec{r}_i|^2} \right) (\vec{r}_j - \vec{r}_i) \quad (i, j = 1, 2, \dots, N) \\ \vec{f}_{kl} = - \left(\frac{1}{|\vec{r}_l - \vec{r}_k|^3} - \frac{1}{|\vec{r}_l - \vec{r}_k|^2} \right) (\vec{r}_l - \vec{r}_k) \quad (k, l = 1, 2, \dots, N') \end{array} \right.$$

という形をしている。この力は群れを構成する個体同士が離れているときには引力になり、逆に近くにいるときには斥力になる。したがって同じ群れに属する個体間の距離をほぼ一定に保とうとする力になる。

$d\vec{g}_{ik}$ は *Hunter* が *Beast* を追いかける力で、 $-e\vec{g}_{ki}$ は *Beast* が *Hunter* から逃げる力である。それぞれ

$$\left\{ \begin{array}{ll} d\vec{g}_{ik} = d\left(\frac{1}{|\vec{r}_k - \vec{r}_i|^2}\right)(\vec{r}_k - \vec{r}_i) & (i = 1, 2, \dots, N; k = 1, 2, \dots, N') \\ & (\text{Hunter が Beast を追いかける力}) \\ -e\vec{g}_{ki} = -e\left(\frac{1}{|\vec{r}_i - \vec{r}_k|^2}\right)(\vec{r}_i - \vec{r}_k) & (k = 1, 2, \dots, N'; i = 1, 2, \dots, N) \\ & (\text{Beast が Hunter から逃げる力}) \end{array} \right.$$

となっている。

§.3 結果

シミュレーションの結果は大きく *Beast* が *Hunter* から逃げられる場合 (図 1) と *Beast* が *Hunter* に追いかけられる場合 (図 2) の 2 つにわけることができる。*Beast* が *Hunter* に追いかけられる場合でも *Hunter* に追いかけられる *Beast* は特定の *Beast A* や *Beast B* ではなく、パラメーターによって *Beast A* になったり、*Beast B* になったりする。この *Beast* のなかで *Hunter* に追いかけられるものが *Beast A* になるのか、*Beast B* になるのかという境界は複雑でどちらが追いかけられるのかは簡単には決まらない。

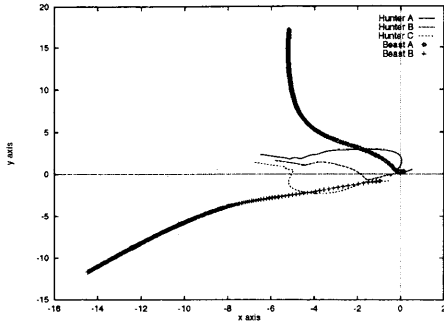


図 1: *Beast* が *Hunter* から逃げられる場合

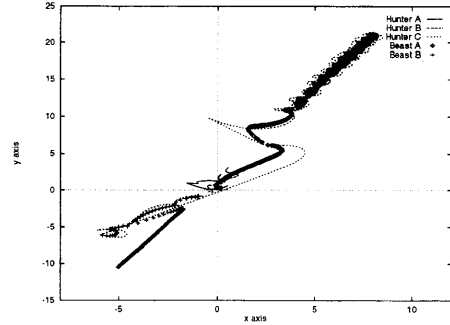


図 2: *Beast* が *Hunter* に追いかけられる場合

参考文献

- [1] Breder, C. M.: Equations Descriptive of Fish Schools and Other Animal Aggregations, *Ecology* **35**, 1954
- [2] Brian L. Partridge: The Structure and Function of Fish Schools, *Scientific American* **246**, 1982
- [3] N.Sannomiya, K.Matsuda: A Mathematical Model of Fish Behavior in a Water Tank, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* **SMC-14**, 1984
- [4] 三宮信夫, 島田亮, 中峯浩: 魚群行動における自律分散機構のモデリング, 計測自動制御学会論文集 **Vol.29**, 1993
- [5] S.Niwa: Self-organizing Dynamic Model of Fish Schooling, *Journal of Theoretical Biology* **171**, 1994
- [6] Y.Hayakawa, T.Mizuguchi, M.Sano, N.Shimoyama, and K.Sugawara: Private Communication
- [7] 古市望: 群れの間に相互作用のある群れの動き, 日本物理学会講演概要集 1995 年 秋の分科会 第 3 分冊, pp579, 1995