

直鎖状の走化性エージェントモデルの運動性と安定性

大澤智興¹

¹ 九州工業大学大学院 情報工学研究院 物理情報工学研究系

概要

走化性エージェントが、非相互に作用することで直鎖状に連結したモデルについて提案し、その鎖の運動性と安定性について報告する。

Motility and stability of chemotactic agents that chained linearly

Chikoo Oosawa¹

¹ Graduate School of Computer Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology

Abstract

Here we propose a model that can form chained agents due to non-reciprocal chemotactic interactions. Motility and stability of the chains are discussed.

1 序論

自己駆動可能なエージェント集団が形成する時空構造は、複雑で多様でありその現象を再現するモデルも多数提案されている。ここでは、複数の走化性エージェント [1] が非相互に作用することで、エージェントが連なった鎖が形成できることを示すとともに、その鎖の運動性と安定性について報告する。

2 モデル

本モデルにおける各エージェントは、時間ステップごとに、2次元格子 (x, y) を4方向に移動可能であるが、そのステップごとに、アリのように足跡である化学物質 (フェロモン) を放出 (f_P) し、その強度 I は、

$$I_{x,y}(t+1) = I_{x,y}(t) + f_P \quad (1)$$

$$I_{x,y}(t+1) = I_{x,y}(t)(1 - \delta) \quad (2)$$

$$I_{x,y}(t+1) = I_{x,y}(t)(1 - \alpha) - \frac{\alpha}{4}[I_{x+1,y}(t) + I_{x-1,y}(t) + I_{x,y+1}(t) + I_{x,y-1}(t)] \quad (3)$$

に従う。式 (2) は、足跡の分解 (昇華) を示し、式 (3) は、足跡の拡散を意味する。これらの作用により足

跡強度場 ($I_{x,y}$) は、時間的に変化する。

エージェントは、形成された強度場に依存し移動する。その移動確率は、ソフトマックス関数を用いて表記されるが、 N 個のエージェントを直鎖状に行列させるために、 i 番目のエージェントと $(i+1)$ 番目のエージェントは、以下に示す式に従う、

$$p_i \propto \exp[k_{ii} \cdot I_i(x, y)] \cdot \exp[k_{ij} \cdot I_j(x, y)]. \quad (4)$$

ここで、各々エージェントは、異なる足跡物質を放出していることに注意されたい。式 (4) の $k_{ii} < 0$ の条件では、自己の足跡に対して回避的に移動するため、これは自己駆動の成分となる。その一方で、 $k_{ij} > 0$ の条件は、 j 番目のエージェントは、 i 番目のエージェントからの足跡に追従する成分となる。ここで、 $j = i - 1$ に限定すると、エージェント間の非相互な作用を行列 k_{ij} として表記でき、

$$k_{ij} = \begin{cases} k_{ii} < 0 \\ k_{ij} > 0 \text{ 但し, } j = i - 1 \\ k_{ij} = 0 \text{ 但し, 上記以外の } i \text{ と } j \end{cases} \quad (5)$$

となる。

3 計算条件、解析方法

$N = 1$ から 32 まで変化させると共に、 $|k_{ii}| = |k_{ij}| = 0, 1, 5, 10, 20,$ に設定し、ステップ数 $t = 0 \sim 1000$ まで計算した。初期位置は、ステップ数に対して十分広い平面を用意し、その中心に直鎖状に配置した。これら鎖状エージェントの運動性を評価するために、初期位置からの平均 2 乗変位を全てのエージェントから求め、運動性の指標とした。

4 結果と考察

$N = 1$ かつ $k_{ii} = k_{ij} = 0$ では、エージェントの運動性はランダムウォークになることを確認した。 $|k_{ii}| = |k_{ij}|$ が大きいほど、自己駆動 (自己回避) する確率が増えるため、直進性が増大した (図 1)。また N が大きいほど、 $|k_{ii}| = |k_{ij}|$ が小さい程、分裂や融合が見られた。これは鎖の長さが伸びるため、分裂する確率も上がるためであるが、これら断片が移動中に融合することもあり、結果として時間的に、分裂と融合を繰り返す複雑な運動を示した。特に、分裂現象は、エージェント鎖が交差する時に生じやすかった、各エージェントの移動は、式 (4) に従って移動するが、同時に排除体積効果もあるため、同じ位置に複数のエージェントが共存することは許されていない。その一方で、エージェントは、走化性で移動するため鎖が交差することは許されている。従って、エージェント鎖が交差することで局所的な渋滞を引き起こされ、結果的に追従するエージェントが先行するエージェントの足跡を見失うことで分裂が生じやすくなると考えられる。

5 展望

提案モデルのような現象は、ジャコウネズミのキャラバン行動や、ヤヌス粒子 [2] でみることができる。分裂や融合の現象の解析には、鳥の群れサイズ分布で示された解析方法 [3] が適用できるかもしれない。

本報告では、単一の鎖について述べたが、複数の直鎖を用意し、それら複数鎖により生じるレーン形成などの時空構造を調べることもできる。さらに、式 (5) について、 $k_{1N} > 0$ を導入すると、エージェント鎖の先頭と末端を連結させることができ環を形成させることもできる。また、Kano モデル [4] における、相互作用行列を参考にして、式 (5) を変更することで、本モデルにおいても人工生命のモデル [5] としての可能性を探究できる。

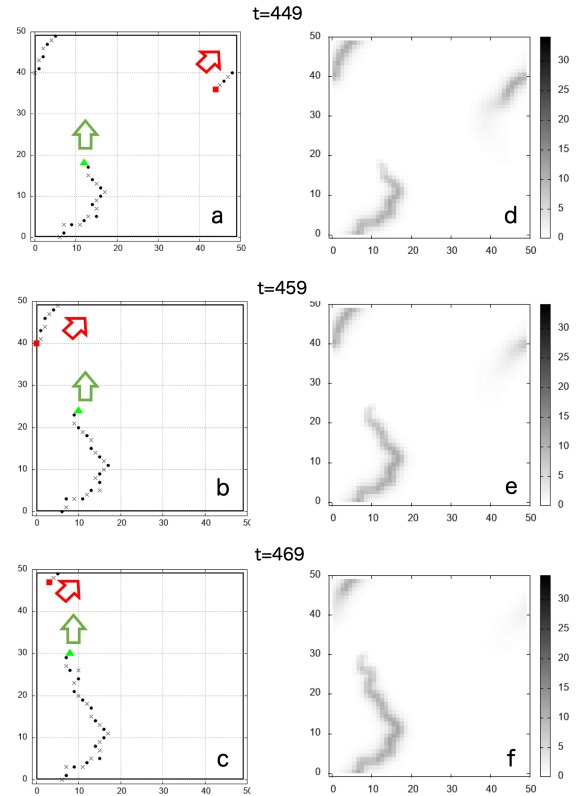


図 1: エージェント鎖の例: $\alpha = 0.5, \delta = 0.1, f_P = 5, N = 32, |k_{ii}| = |k_{ij}| = 10,$ 周期境界条件下であるため足跡や鎖が境界を跨いでいる。左側の列は、鎖状の走化性エージェントの位置を示す。右側の列は、全てのエージェントからの足跡の総量を示し、一番右側のバーは足跡の強度表示である。上から時間経過を示しているおり、a と d、b と e、c と f は、それぞれ同じ t の状態を示している。緑三角と赤四角は、それぞれ鎖の先頭と末端を示す。●と×は、それぞれ偶数番目と奇数番目のエージェントであり、白抜き大きな矢印は、先頭 (緑) と末端 (赤) のエージェントの移動方向を示している。

参考文献

- [1] C. Oosawa, J. Robot. Mechatron., Vol.35 No.4, pp. 918-921, (2023)
- [2] D. Nishiguchi et al., New J. Phys. 20 015002 (2018)
- [3] Y. Hayakawa, S. Furuhashi, Phys. Rev. E 86, 031924 (2012)
- [4] T. Kano, et al., Proc. 14th Euro. Conf. Artif. Life (ECAL), 237 (2017)
- [5] 大澤智興, 森本雄祐, 第 31 回インテリジェント・システム・シンポジウム (FAN2023), Fr-B4-1 (2023)