

餌の濃度変化に適応するアリの行列形成の数理モデル

南 和宏⁽¹⁾, 手老 篤史⁽²⁾

(1) 九州大学大学院数理学府. Email : minami.kazuhiro.380@s.kyushu-u.ac.jp

(2) 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所

概要

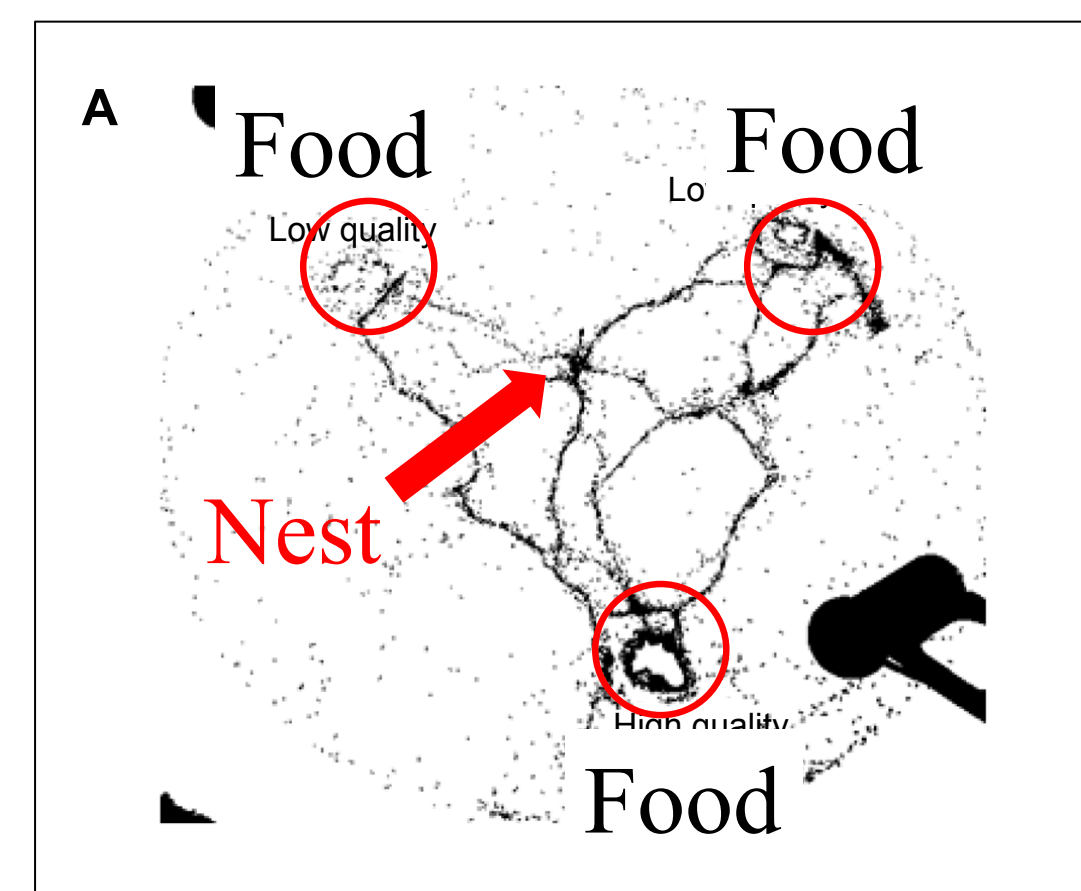
生物界における輸送ネットワークは、環境変化に適応する能力を持っている。例えばアルゼンチンアリは、餌の濃度に応じて割り当てを調整し、高濃度の餌により多くのアリが向かうように行列を形成したことが実験で確認された。

この実験結果から、我々は「探索アリ」と「帰巢アリ」の存在を仮定し、餌の濃度変化に適応するネットワークを構築する数理モデルを作成した。

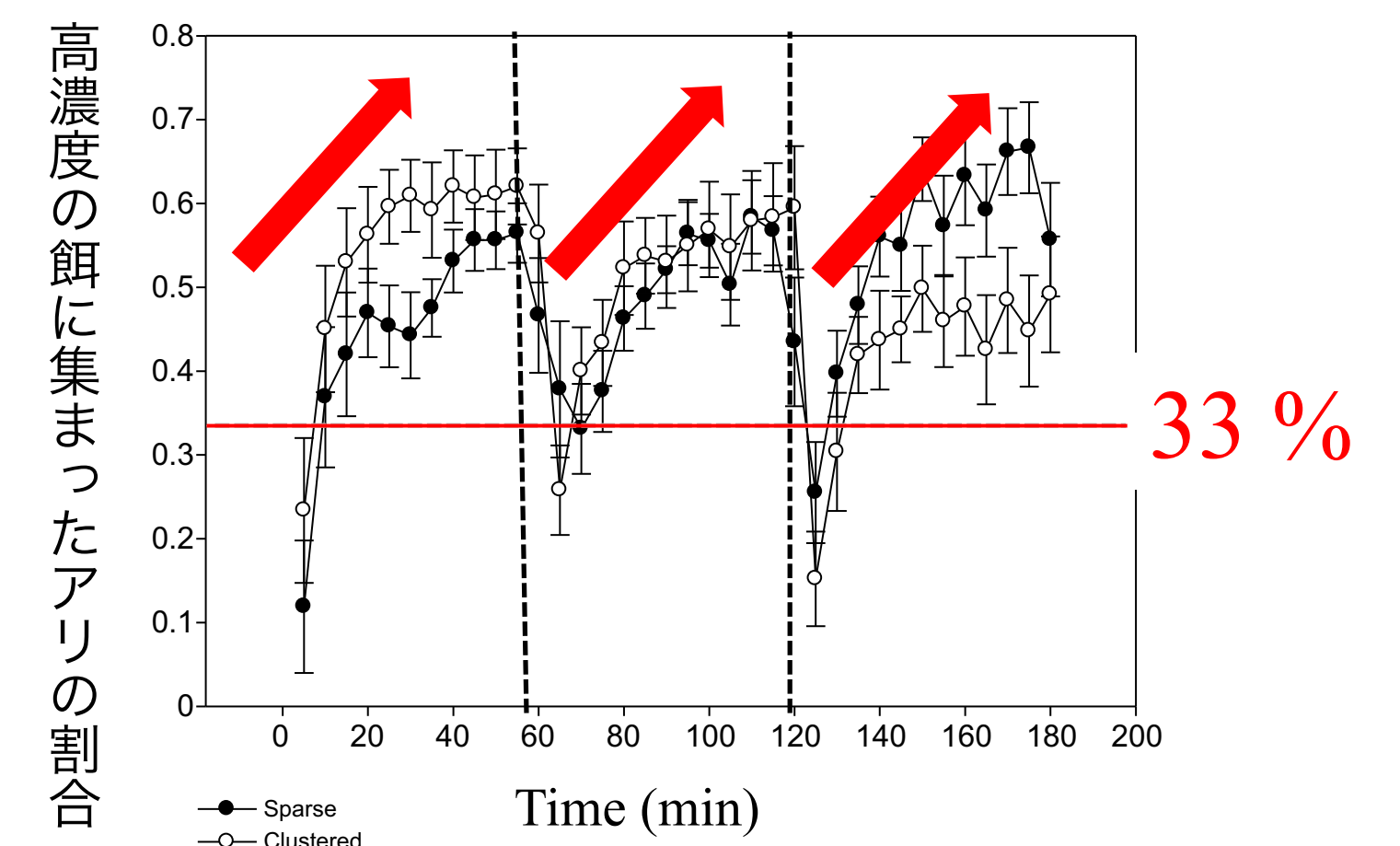
実験 [1]

- 巣の周りに3つの餌を配置すると、アリは各餌に繋がる行列を形成した。
- 餌の濃度を変化させると、多くのアリが高濃度の餌に集まった。

アリによる行列

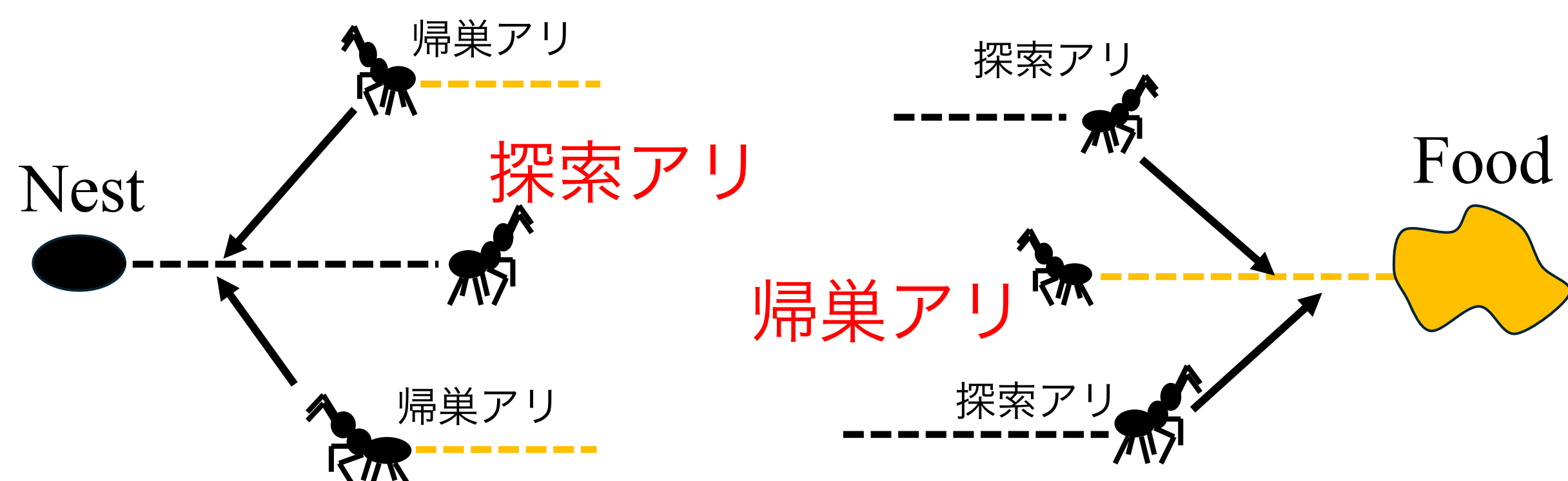


高濃度の餌に集まったアリの推移

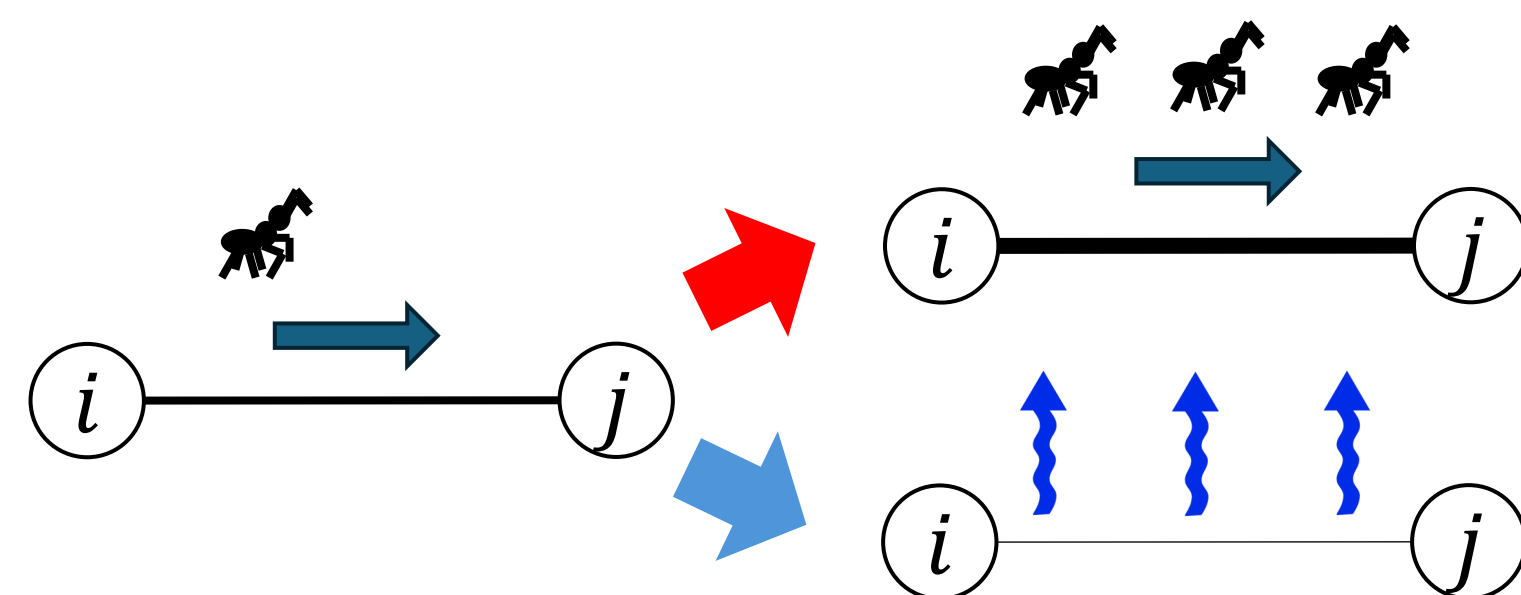


提案モデル [2][3]

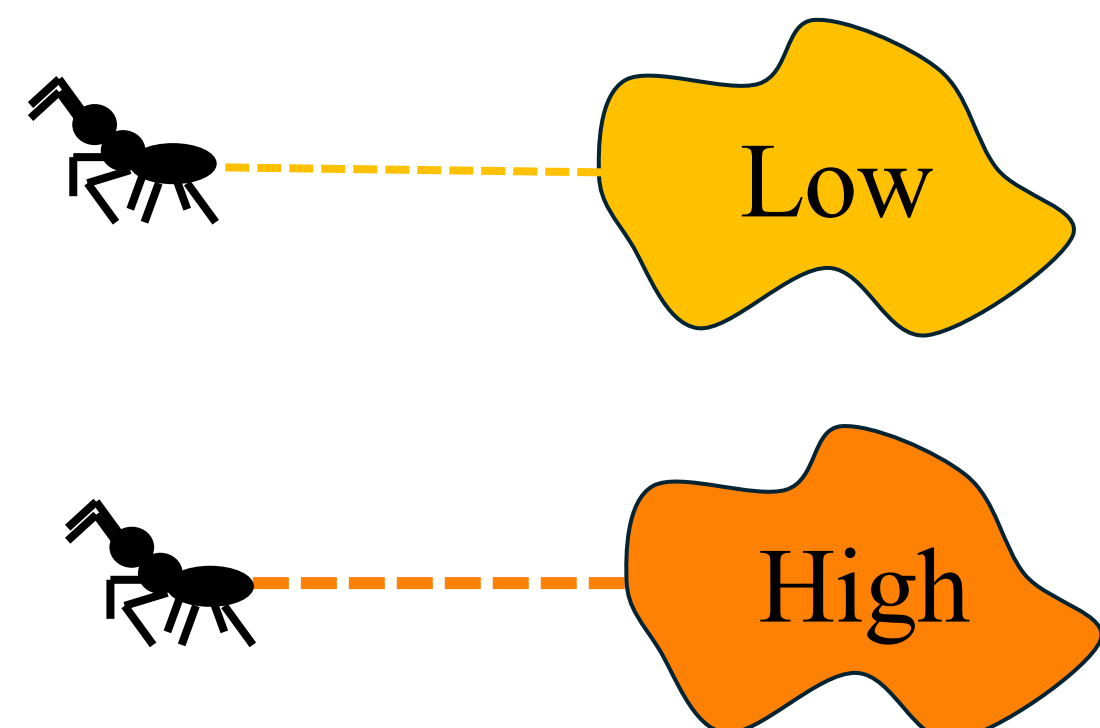
- 探索アリは帰巢アリの、帰巢アリは探索アリのフェロモンにしたがって移動する。



- アリがエッジ上を通過すると、フェロモン量が増加する。同時に、蒸発により一定の速度で減少する。



- 餌の濃度が高いほど、帰巢アリが放出するフェロモンが増加する。



- アリがノード i からノード j に移動する確率

$$\text{探索アリ} \quad P_{ij}^S = \frac{(k + \sum_{l=1}^f D_{ij}^{H_l}) / L_{ij}}{\sum_{e \in E_i} (k + \sum_{l=1}^f D_e^{H_l}) / L_e}$$

$$\text{帰巢アリ} \quad P_{ij}^{H_l} = \frac{(k + D_{ij}^S) / L_{ij}}{\sum_{e \in E_i} (k + D_e^S) / L_e}$$

- ノード i からノード j への流量

$$\text{探索アリ} \quad Q_{ij}^S = N_i^S P_{ij}^S - N_j^S P_{ji}^S$$

$$\text{帰巢アリ} \quad Q_{ij}^{H_l} = N_i^{H_l} P_{ij}^{H_l} - N_j^{H_l} P_{ji}^{H_l}$$

- エッジ ij 上のフェロモン量の時間変化

$$\text{探索アリ} \quad \frac{dD_{ij}^S}{dt} = \frac{(Q_{ij}^S)^2}{1 + (Q_{ij}^S)^2} - r D_{ij}^S$$

$$\text{帰巢アリ} \quad \frac{dD_{ij}^{H_l}}{dt} = \frac{(c_l Q_{ij}^{H_l})^2}{1 + (c_l Q_{ij}^{H_l})^2} - r D_{ij}^{H_l}$$

<変数>

P_{ij} : ノード i からノード j に移動する確率

Q_{ij} : ノード i からノード j への流量

D_{ij} : エッジ ij 上のフェロモン量

N_i : ノード i 上のアリの数

c_l : 餌 l の濃度

<定数>

k : フェロモンに対する反応度

L_{ij} : エッジ ij の長さ

f : 餌の数

r : 蒸発スピード

<記号>

S : 探索アリ

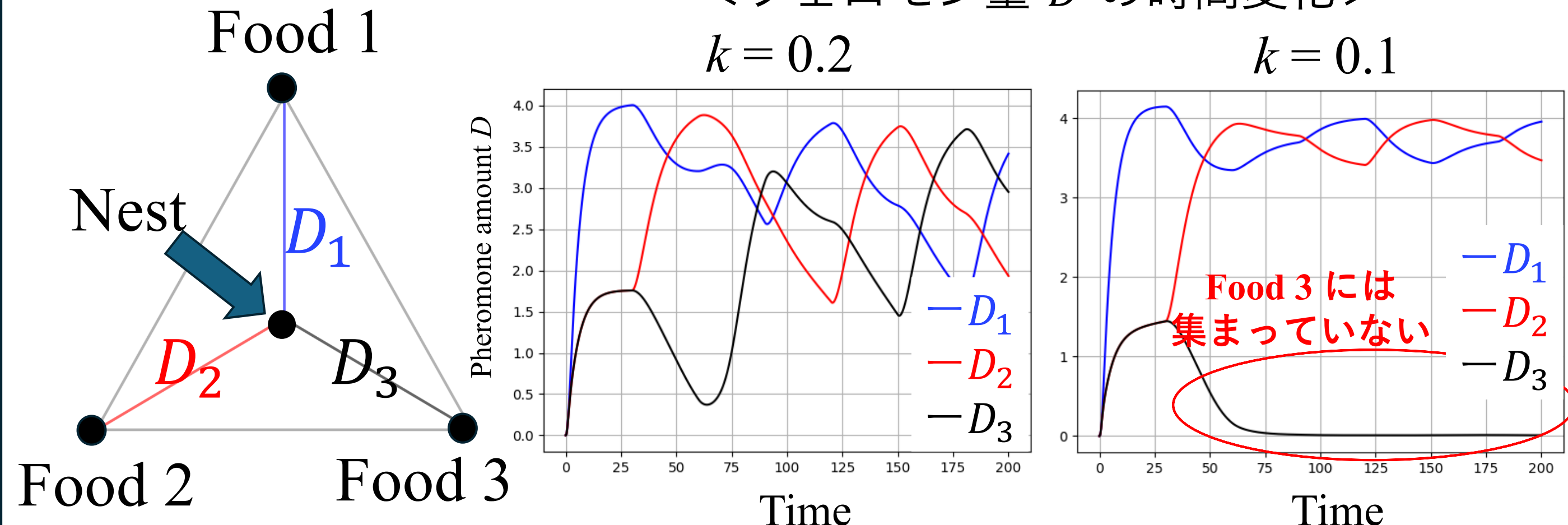
H_l : 餌 l からの帰巢アリ

E_i : ノード i に隣接するエッジの集合

シミュレーション 1

Food 1 → Food 2 → Food 3 の順で餌を高濃度に変化させ、各エッジ上のフェロモン量の時間変化を観察した。

<フェロモン量 D の時間変化>



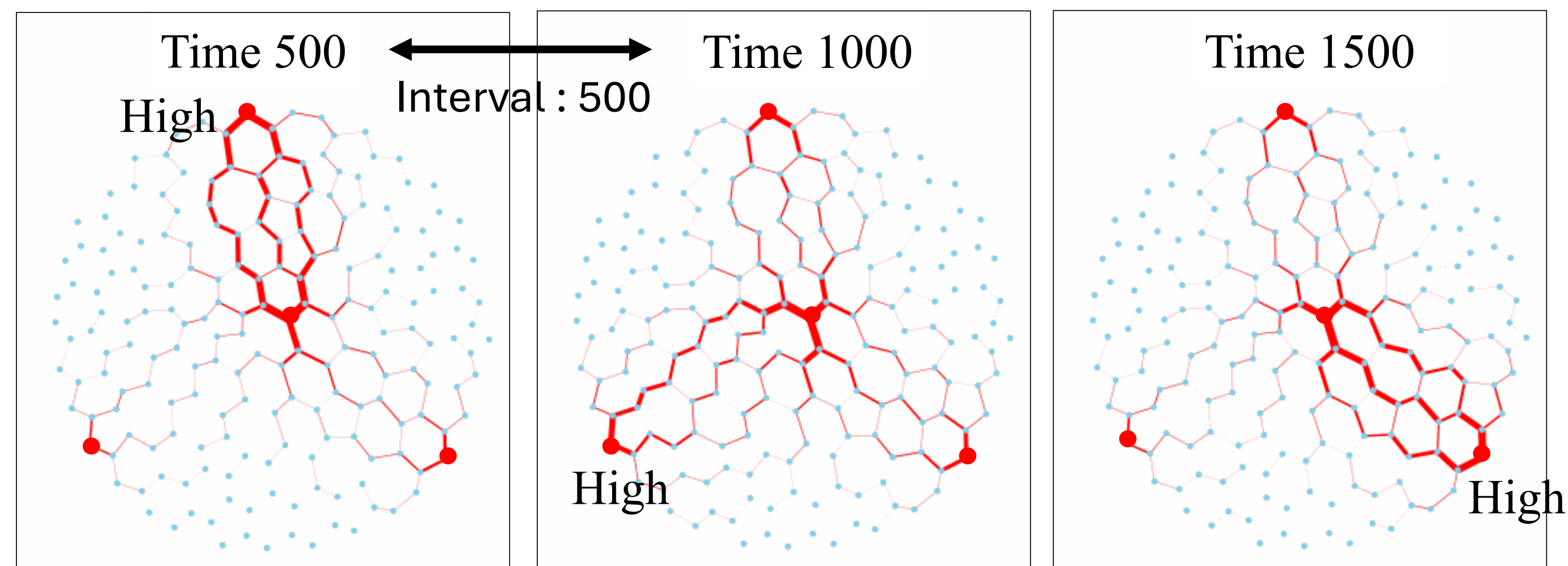
☞ $k = 0.2$: 各辺のフェロモン量が周期的に変化した。

$k = 0.1$: 多くのアリが Food 1 と Food 2 に集まった。

シミュレーション 2

複雑なネットワークに対してもシミュレーションを行った。

☞ 実験結果と同じように、高濃度の餌にアリが集まる様子が再現できた。



考察と今後の展望

(考察 1) 探索アリと帰巢アリの存在を仮定することで、餌の濃度変化に対応するアリの行列の再現に成功した。

(考察 2) パラメータ k の値は、アリが環境変化に対応できるかどうかに関連すると考えられる。

(展望 1) 餌の濃度と巣から餌までの距離の関係を数学的に解析する。

(展望 2) 本モデルを交通網のような人間社会のネットワークに応用する。

参考文献

[1] Latty, T., Holmes, M. J., Makinson, J. C., & Beekman, M. (2017). Argentine Ants (*Linepithema Humile*) Use Adaptable Transportation Networks to Track Changes in Resource Quality. *Journal of Experimental Biology*, 220(4), 686–694.

[2] Ma, Q., Johansson, A., Tero, A., Nakagaki, T., & Sumpter, D. J. t. (2013). Current-Reinforced Random Walks for Constructing Transport Networks. *Journal of The Royal Society Interface*, 10(80).

[3] Dorigo, M., & Stützle, T. (2004). *Ant Colony Optimization*. Bradford Books.