

相互に通信する分子通信系シミュレーションによる濃度依存性の検証

Two-step reinforcement learning for model-free redesign of nonlinear optimal regulator

堀研究室 学籍番号：82411805 川口竜輝

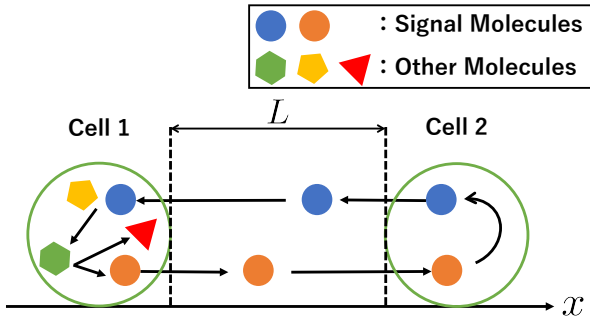


Fig. 1: Image of 1 dimension Molecular Communication System

1. 研究背景・目的

自然界において、細胞はシグナル分子と呼ばれる伝達物質を別の細胞に送ることで情報の伝達を行っている。このような細胞間の情報伝達を相互に行う系は分子通信系と呼ばれ、系は細胞内での化学反応と細胞間のシグナル分子の伝達によって構成されている。分子通信系では、系内部の細胞の濃度が系全体の状態に影響を与えることが知られているが、その量的な関係を調べた研究は少ない。細胞の濃度を帰ると系内部の細胞の状態が変化する例が存在シミュレーションを用いて量的な関係を調べたものが少ない受信細胞の時間発展に特化したシミュレーション法が存在この方法は送信機と受信機を区別しているため、相互に通信することができないという問題が存在そこで、受信細胞に到達する確率分布が時間シフトであり、分布が変化しないことに着目受信細胞内でシグナル分子が生成されたら到達時刻を計算した確率分布から計算するこれにより相互通信ができるシミュレーション法ができる

2. 相互通信可能な分子通信系

1次元の分子通信系において、時刻 $t = t_0$ に放出された分子が時刻 t 、位置 $[\xi, \xi + d\xi]$ に存在する確率を $p(\xi, t|t_0)$ とするとき、次の拡散方程式が成立する。

$$\frac{\partial p(\xi, t|t_0)}{\partial t} = \mu \frac{\partial^2 p(\xi, t|t_0)}{\partial \xi^2} \quad (1)$$

この時、文献 1 において、位置 $\xi = \xi_1$ に到達する確率分布は

$$F(t) = 1 - \int_{-\infty}^{\xi_1} p(\xi, t) d\xi \quad (2)$$

3. 数値例による検証

Fig. 1 にあるように、細胞が 2 つ存在する 1 次元の分子通信系を考える。ただし、系の拡散係数 $\mu = 3.0 \times 10^{-4}$ 、細胞間距離を L とする。ここで細胞 1 内部には分子 A, B, X が存在し、次の細胞内部の反応によってシグナル分子 Y を放出する。

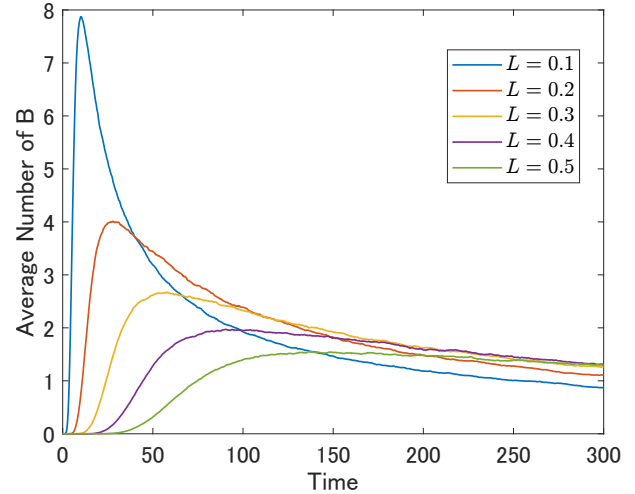
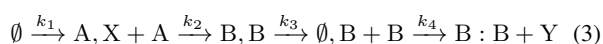


Fig. 2: Comparison of the time evolution of the average number of B among each L

細胞 2 内部には分子 Y が存在し、次の反応によってシグナル分子 X を放出する。



この時、時刻 $t = 0$ において細胞 1 から分子 Y が 10^2 個放出されたとき、細胞 1 における分子 B の時間発展を 10^4 回シミュレーションし、その平均を $L = 0.1 \mu\text{m}, 0.2 \mu\text{m}, 0.3 \mu\text{m}, 0.4 \mu\text{m}, 0.5 \mu\text{m}$ に対して計算した。ただし、 $k_1 = 5.0 \text{ mm}^{-1}$ 、 $k_2 = \log(2)/20 \text{ mm}^{-1}$ 、 $k_3 = k_4 = k_5 = 0.02 \text{ mm}^{-1}$ とした。この時、各 L に対する分子 B の時間発展を Fig. 2 に示す。Fig. 2 より、細胞間距離が短いほど分子 B の過渡応答が急峻であり、距離依存性を持つことが確認できる。

4. 結論と今後の展望

本稿では、相互通信可能な分子通信系のシミュレーション法による密度依存性の検証に向けて、相互通信可能な 1 次元の分子通信系の数値シミュレーションを行った。具体的には、送信細胞と受信細胞が固定されたシミュレーション法に対して、シグナル分子の到達確率分布が分子の放出時刻だけシフトすることを利用して相互通信可能な分子通信系のシミュレーションを提案した。今後の展望としては、現在のシミュレーション法を利用して 2 次元の相互通信する分子通信系に対して複数の濃度におけるシミュレーションを行い、濃度依存性の検証を行う。

参考文献

- [1] R. S. Sutton *et al.*, 2nd ed. MIT Press, 2018.
- [2] B. Kiumarsi *et al.*, *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol. 29, no. 6, pp. 2042–2062, 2018.