

樹状経路構造と信号伝播

日大生産工 〇末永 裕之 日大生産工 野々村 真規子
東北大学 元池 育子

1 まえがき

私たちの体の中にある神経細胞などは樹状という不思議な形状をしている。そして、この樹状経路はその上を信号が伝播することによって少しずつ形を変化させていることが知られている。樹状という形をとることによる利点はどのようなものがあるのかなどを理解し、簡単な数理モデルを使って生命の信号処理を解き明かしていくというのが本研究の目的である。

2 モデル方程式

文献 (1) をもとに計算を行い、樹状経路形成と経路上をはしる信号伝播を再現した。樹状の経路形成には、経路形成因子 (a) と成長痕因子 (w) と成長促進因子 (f) の3変数を考える。経路上を走る信号伝播には、活性因子 (u) と抑制因子 (v) の2変数を使用している。系の記述には時空間状態を離散化したセルオートマトン法を用いる。まずは、信号電波履歴に依らない形状形成ダイナミクスのための数値計算を行った。経路形成因子が成長促進因子を取得し成長痕因子を残しながら樹状経路を形成していく様子を表した式を次に示す。

If $f_{ij}(t) \geq f_c$ and $E_{ij}^a(t) > a_c$
 $\Rightarrow a_{ij}(t+1) = 1$
 else if $a_{ij}(t) = 1$
 $\Rightarrow a_{ij}(t+1) = 0, w_{ij}(t+1) = 1$ (1)
 成長促進因子の分散化を平均化した式を次に示す。

$$f_{ij}(t+1) = \max \left[\frac{1}{\#N_{fr(kl-ij) \leq R_f}} \Sigma f_{kl}(t) - f_{cons} a_{ij}(t), 0 \right] \quad (2)$$

次に樹状経路構造をはしる信号伝播を表した式を以下に示す。

$$\begin{aligned} &\text{If } u_{ij}(t) = 0 \text{ then} \\ &v_{ij}(t+1) = \max [v_{ij}(t) - g_{dw}, 0] \\ &\text{If } [v_{ij}(t) \leq V_{exc} \text{ and } E_{ij}^u \geq k_{exc}] \\ &\Rightarrow u_{ij}(t+1) = 1 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} &u_{ij}(t) = 1 \text{ than} \\ &u_{ij}(t+1) = \min [v_{ij}(t) + g_{up}, V_{max}] \\ &\text{If } (v_{ij}(t) \geq V_{rec}) \\ &\text{than } \Rightarrow u_{ij}(t+1) = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

$$S_{ij}^u(t+1) = S_{ij}^u(t) + m_u E_{ij}^u(t) - 1 \quad (5)$$

樹状経路上を信号が伝播するようにした式は以下のとおりである。

$$\begin{aligned} &\text{If } f_{ij}(t) \geq f_c \text{ and } S_{ij}^u(t) > S_c \text{ and} \\ &[E_{ij}^a(t) > a_c \text{ or } w_{ij}(t) > 0] \\ &\Rightarrow a_{ij}(t+1) = 1, S_{ij}^u(t+1) = 0 \\ &\text{else if } a_{ij}(t) = 1 \\ &\Rightarrow a_{ij}(t+1) = 0, w_{ij}(t+1) = 1 \end{aligned} \quad (6)$$

成長促進因子の分散化を平均化した式は (2) の式と同様のものを用いる。

信号伝播が途絶えた場合の縮退効果を表した式は以下に示す。

$$\text{If } w_{ij}(t) > 0 \text{ and } S_{ij}^u(t) \leq S_c \text{ and } E_{ij}^u(t) < w_c \Rightarrow w_{ij}(t+1) = 0 \quad (7)$$

Formation of Branching pattern coupled with signal propagation

Hiroyuki SUENAGA, Ikuko N. MOTOIKE, Makiko NONOMURA

3 実験結果および検討

樹状の枝分かれした分岐形状は経路形成因子が成長促進因子を取得しようと競い合った際の成長痕の空間分布として形作られている。その形状特性は、経路形成因子の易動度や成長促進因子の初期値などに依存している。作成した樹状経路構造の図を以下に示す。

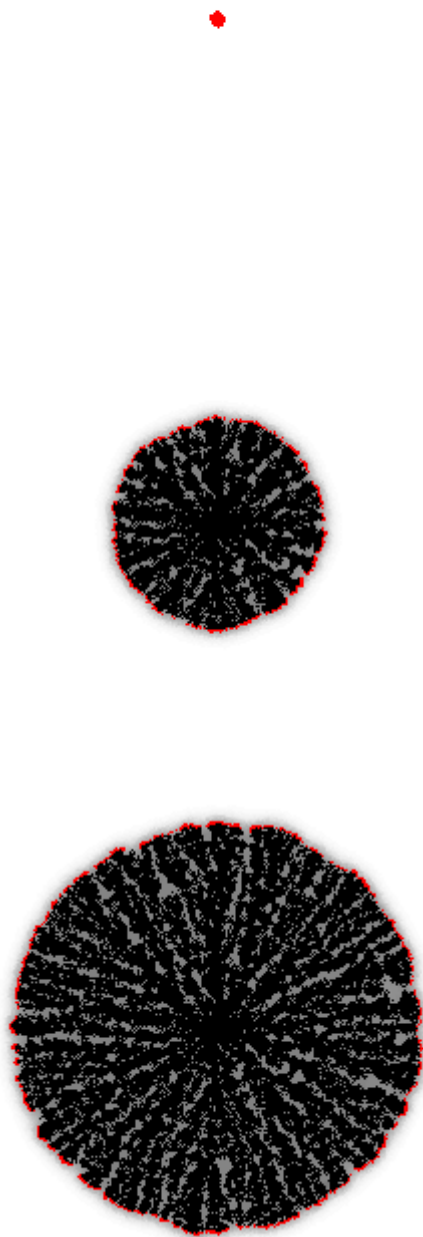


図 樹状経路形成のシミュレーション

4 おわりに

今後は信号電波履歴に依らない形状形成ダイナミクスのみの場合と、相互作用があり、場の中心から定期的に信号が送られてくる場合の樹状経路構造の比較を行い、信号伝播が樹状経路構造にどのような影響を与え、変化をしていくのかを調べていきたい。また、今までは樹状経路の促進効果についての研究を集中的に行ってきたので、次に信号伝播が途絶えた場合の経路の縮退効果について樹状経路構造にどのような影響が与えられるのか、またどのようなパターンが存在するのかなどについて調べていきたい。

「参考文献」

- 1) Ikuko N. Motoike and Hisako Takigawa-Imamura: PHYSICAL REVIEW E 82 (2010)