

真正粘菌変形体の環境適応性

京都大学 数理解析研究所 上田 肇一
北海道大学 電子科学研究所 高木 清二, 西浦 廉政
公立はこだて未来大学 複雑系知能学科 中垣 俊之

1 はじめに

生物の特徴の一つとして環境変化に対して適切に行動を選択する能力が挙げられる。真正粘菌変形体と呼ばれる単細胞生物では外部刺激に対する行動決定機構が生物実験によって盛んに研究されてきた。

細胞は収縮弛緩運動や先端の伸展運動などを見せるが、それらの運動を巧みに利用し環境の変化に適応しているように見える。収縮弛緩リズムは外層ゲルにあるアクトミオシン繊維の運動によって起こり、それによって圧力の変化が生じ周期的なゾルの流れが発生する。一方、細胞の伸展運動がみられるときには細胞先端部は柔らかい構造になっており、ATP やカルシウムイオンの濃度が先端部において局所的に高いことが報告されている 1), 2)。本稿ではゾルの流動と先端部で起きる化学反応を相互作用させた数理モデルを提案し、環境変化に対する適応性の仕組みを考察する。

2 モデル

ここではモデル方程式の概略を述べる。モデル方程式の詳細は論文 3) を参照されたい。

2.1 ゾルの流動

真正粘菌の表面はゲルで覆われており、ゲルの収縮弛緩に合わせて細胞内部の圧力が周期的に変化する。細胞内部を流れるゾルはその収縮弛緩運動によって発生する圧力勾配に従って流動する。ゾルの流動は Darcy の法則に従うと仮定する。

$$s_t = (sM p_x)_x,$$

ここで、 s はゾルの量、 p は圧力、 M は定数とする。圧力 p は次の方程式に従うと仮定する。

$$p = \beta f \left(\frac{s - s_b}{\bar{s}} \right), \quad (1)$$

ここで、 $\bar{s}$ は単位時間における s の平均値、 s_b は $\bar{s}$ の周りを時間周期的に変動する変数とする。

2.2 先端部で起きる化学反応

伸展運動中は細胞先端部でカルシウムイオンや ATP の濃度が上昇することが知られている 1), 2)。また、それらの化学物質の濃度上昇と同時に先端部のゲルが柔らかくなることが知られている。そ

ここで、ゲル内部で化学反応が起き、その化学反応の活性—不活性化に応じてゲルの硬さが変化すると仮定する。化学反応は次のような形で記述する。

$$\begin{aligned}\tau u_t &= (D_u(w)u_x)_x - F(u, v, w) - r_u(w)u + \sigma_u(s)(u_0 - u), \\ \tau v_t &= (D_v(w)v_x)_x + F(u, v, w) - r_v(w)v + \sigma_v(s)(v_0 - v),\end{aligned}\quad (2)$$

ここで、 v はゾル化因子の濃度、 u はゾル化因子の制御因子の濃度、 w はゲルの量、 $\sigma(s)$ は s の単調増加関数とする。

ゲルの硬さは (1) 中の β によって表現されており、ここでは β を v の関数として記述する。

$$\beta(v) = \beta_1 + (\beta_2 - \beta_1) \exp(-\beta_3 v),$$

ここで、 $\beta_i (i = 1, 2, 3)$ は正定数とする。

3 数値実験結果

細胞先端部分が忌避物質に接したときの振る舞いを再現することを試みる。忌避物質の存在する領域では r_v の値を大きくとる。数値実験結果を図 1 に示す。数値実験では忌避物質に接したときに先端部が一度消滅し、環境の良い場所で新たな先端部が生成されることが観察され、実験結果 3) と定性的に一致する結果を得ることができた。このような先端部の生成と消滅過程は (2) の化学反応の活性—不活性化によって生じるパルス波の生成と消滅に対応している。

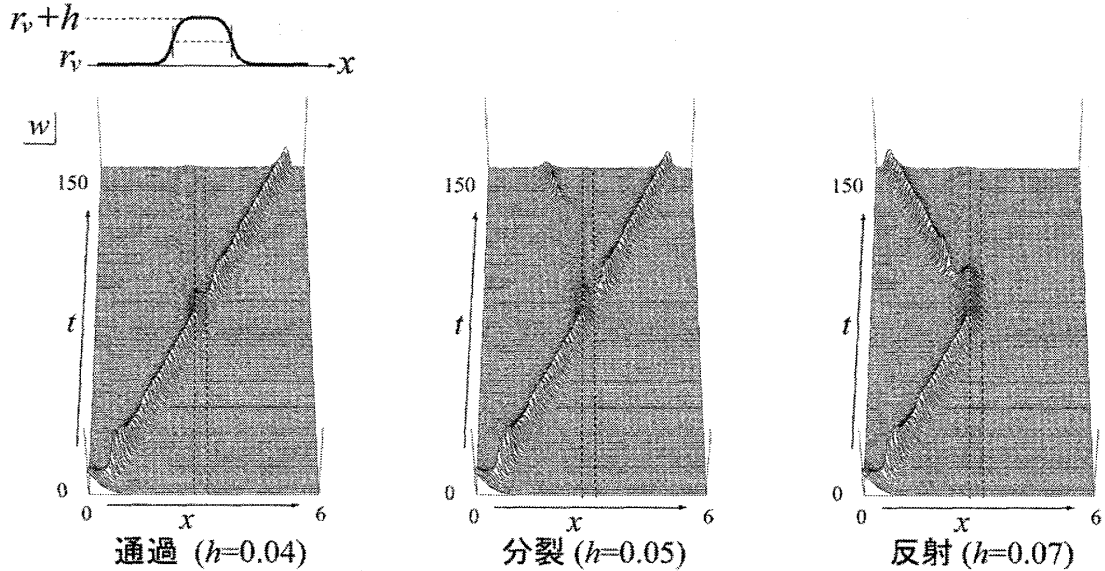


図 1: 濃度に応じて 3 種類の反応がみられる。 h は忌避物質の濃度に対応する。点線は忌避物質の存在領域。

参考文献

- 1) T. Ueda, K. Matsumoto, T. Akitaya and Y. Kobatake, Exp. Cell Res. **162**, 486 (1986).
- 2) K. Natsume, Y. Miyake, M. Yano and H. Shimizu, Cell Structure and Func. **18**, 111 (1993).
- 3) K.-I. Ueda, S. Takagi, Y. Nishiura and T. Nakagaki, Phys.Rev.E (accepted).