

異方性を持つ場での興奮波伝播

京都大学大学院理学研究科 & CREST 一野 天利¹

興奮特性は、生物に広く見られる現象であり、例えば心筋細胞や神経軸索などで見られる。神経軸索上を伝播する興奮波を記述する方程式の数理構造は反応拡散方程式であり、反応拡散系の枠組みで理解することができる。反応拡散系の実験系として有名な化学振動反応である Belousov-Zhabotinsky (BZ) 反応を用いて、興奮場の形状を任意に作り、その場での興奮波の振る舞いを調べた。そして、興奮場の形状により興奮波の一方向伝播、つまりダイオード特性が得られること、さらには基本的に論理演算素子や時間情報を含む演算が可能であるなど、興奮場上での演算についての様々な結果が得られた。

BZ 反応では金属触媒としてルテニウム錯体を用いることにより、光に対する感受性を持たせることができる。光感受性を持つ BZ 反応では、光を照射することにより、反応の阻害物質である Br^- を生成するので反応を抑制することができる。そのため、光を照射する部分と遮蔽する部分を作ることにより、任意の形状の興奮場を作成可能となる。図 1 (A) のように興奮場の形状を設定すると、興奮波の一方向伝播、つまりダイオード特性を得ることができる。

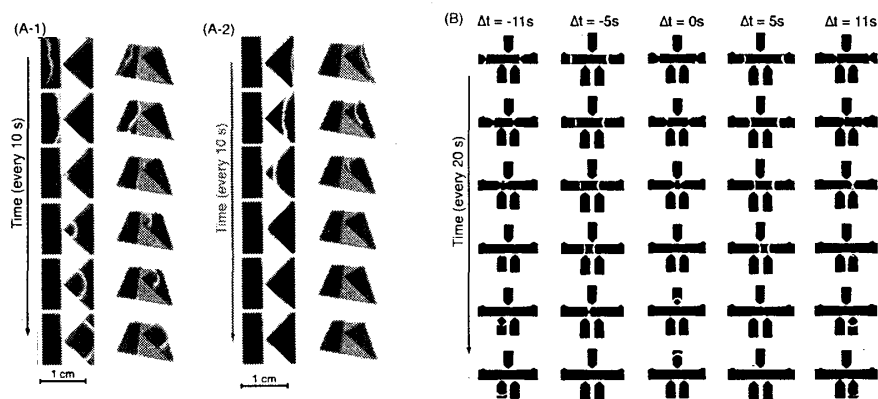


図 1: 実験結果: (A) 化学ダイオードの実験結果: 光照射下における光感受性 BZ 反応による化学ダイオード。白い部分の光強度は、 $3.23 \times 10^4 \text{ lx}$ である。黒い部分と白い部分はそれぞれ興奮場と抑制領域である。(A-1) 左から右へ化学波が伝播している。(A-2) 化学波が右側の領域から左側の領域へ伝播できない。(A-1) と (A-2) での左側の絵は、ビデオカメラの映像から作ったものである。右側の絵は、それらの絵を疑似三次元化したものである。ここで垂直方向への変化は、化学波の“高さ”もしくは“明るさ”を表している。(B) 時間差検出回路の実験結果: 時間差検出回路。この時の光強度は 2.77×10^4 である。5つの異なった時間差 Δt による実験。

¹E-mail: ichino@chem.scphys.kyoto-u.ac.jp

ダイオード特性が得られるため、基本的な論理演算素子である論理和、論理積、否定演算が作成できる。また、興奮波が興奮場を有限時間で伝播するため、興奮波自身が時間情報を持っている。そのため、時間情報を含む演算である、信号入力的时间差を検出する回路を作成できる（図 1(B) 参照）。

また、光感受性 BZ 反応における Br^- の生成量は光強度に依存している。つまり、光強度が大きいほど大量の Br^- が生成される。生成された Br^- は、周りへ拡散し、興奮場内にも拡散し、その量が多ければ、興奮場内の興奮波を崩壊させることがわかっている。そこで、光強度をうまく調節することにより、ダイオード特性が得られる場に必要であったギャップが無くても一方向伝播が可能ではないか、と考え、実験と光感受性 BZ 反応にあわせて修正された 3 変数オレゴネーターに拡散項を付け加えた反応拡散方程式を用いたコンピュータ・シミュレーションを行い、ギャップが無くてもダイオード特性が得られることを確認した。図 2 にコンピュータ・シミュレーションによる結果を示す。

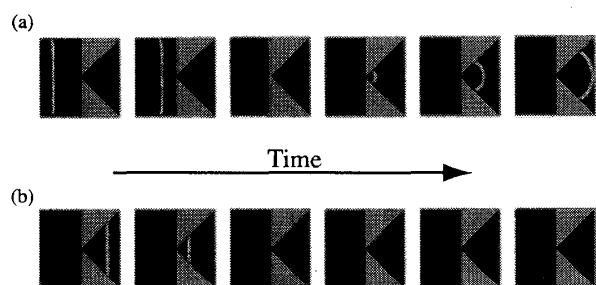


図 2: シミュレーション（3 変数オレゴネーター）による興奮波の整流作用のスナップショット。(a) 左側から伝播してきた興奮波は右側へと伝播している。(b) 右側から伝播してきた興奮波は左側へと伝播できない。黒と灰色の領域は、それぞれ興奮領域と抑制領域である。そして、白で表した領域は、方程式 (1)～(3) による v の値の変化を疑似カラーで表した化学波の伝播を示している。

本発表では、整流作用を実現する興奮場のシステムサイズについての議論や、光感受性 BZ 反応を用いた実験結果についても報告する予定である。

参考文献

- [1] K. Agladze, et al., *J. Phys. Chem.*, **100**, 13895-13897 (1996).
- [2] I. Motoike and K. Yoshikawa, *Phys. Rev. E*, **59**, 5354-5360 (1999).
- [3] T. Ichino, et al., *J. Chem. Phys.*, **118**, 8185-8190 (2003).