

空間スケールの減少に伴う反応拡散系の特異性

京都大学 大学院理学研究科 北畑 裕之¹

反応拡散系は、非平衡状態を陽に記述することができるため、生命現象等、非平衡開放系における時空間パターン形成のモデルとしてよく用いられている。例えば、熱帯魚の体表模様は Turing パターンの特徴を持っていると言われているし、また、神経パルスの伝播も反応拡散系のフレームワークで議論される。

しかし、これまで、反応拡散系におけるパターン形成は、系が十分に大きいとして境界は無視して議論することが多く、系の空間スケールの違いによるパターン形成への影響についてはほとんど議論されてこなかった。

系のサイズが十分に大きいときには、境界の効果は重要ではないが、系のサイズが小さくなってくると、境界の効果を考えることが必要となる。生命現象を反応拡散系の視点から捉えようとするとき、細胞サイズの現象では、境界の効果は無視して考えることはできない。このように、反応拡散系において、境界がどのような影響を与えるかを調べることは重要な研究課題であると言える。

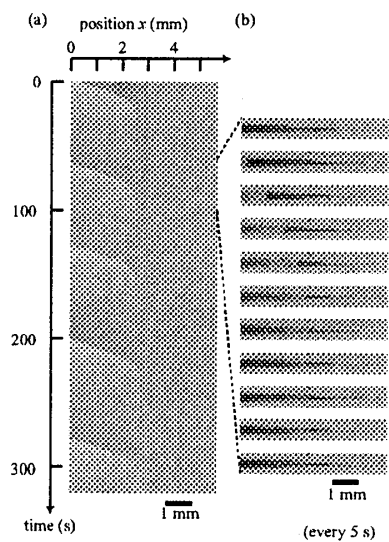


図 1: ガラスキャピラリー内での化学波の伝播の様子。太い領域から細い領域に伝播していくにつれて波の速度が遅くなり、消滅する様子が見られる。

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

反応拡散系の実験系として有名な Belousov-Zhabotinsky (BZ) 反応において、ターゲットパターンやスパイラルパターンなどの時空間構造が自発的に生成されることがよく知られている。また、化学反応から縮約した理論により、定量的な議論もほぼ確立されている。しかし、BZ 反応における境界の効果は、最近になって微小反応場では化学波が形成されず、場全体が uniform に振動する現象や、化学波の挙動に界面張力が影響している [1] との明確な実験事実が報告されるまでは、ほとんど無視されてきた。

今回、ガラスキャピラリ中で BZ 反応を行い、その内径の変化による化学波の挙動の変化を調べた。その結果、ある内径以上であれば、化学波の伝播挙動（伝播速度）に変化は見られないが、ある内径よりも細くなると化学波の伝播速度が遅くなり、更に細いところでは化学波は伝播しなくなることを見出した（図 1 参照） [2]。

図 1 より計測した化学波の位置と速度の関係を図 2(a) に示す。化学波の伝播速度は、個々の反応過程を計測することにより、溶液の水素イオン濃度と拡散係数の積に比例することが知られている。ガラス表面は一般的に負に帯電しているため、表面付近での水素イオン濃度は減少すると考えられる。この表面の効果を取り入れて速度の変化を議論した。内径が r のキャピラリにおける水素イオン濃度が

$$H(r) = H_0 - k \frac{2\pi r}{\pi r^2}$$

として計算し、実験結果からパラメータを決定すると図 2(b) のように実験結果を定性的に再現することができた。この現象は、ガラスキャピラリの内側のガラスが反応に影響しているためと考えられる。

これは反応拡散系における境界の影響の一例であるが、現実には様々なところで境界の影響が効いていると考えられる。特に、今回のように小さな空間スケールの系を扱う際には重要になってくるので、理論的な枠組みを作り上げる必要がある。

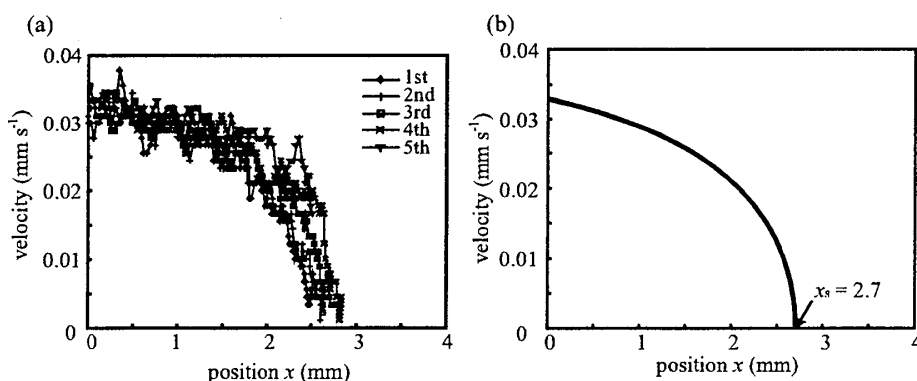


図 2: 化学波の位置・速度の関係。(a) 実験結果。(b) 理論計算結果。

参考文献

- [1] H. Kitahata, R. Aihara, N. Magome, K. Yoshikawa, *J. Chem. Phys.*, **116**, 5666 (2002).
 [2] H. Kitahata, R. Aihara, Y. Mori, K. Yoshikawa, *nlin-PS/0407015*.