

## 渦巻く化学反応：Belousov-Zhabotinsky (BZ) 反応の数理

産総研・山口智彦

あまたの生命過程で時間・空間的な秩序構造が自己組織化的に発生するさまを目の当たりにしても、私たちはそれが自然科学の法則に反しているとは思わない。けれども 20 世紀中葉に至るまで、生命現象は従前の科学法則にはなじまない vital なものとして扱われていた。生命観のパラダイムシフトに少なからぬ貢献をしたものが、1950-60 年代にロシアで「発明」された Belousov-Zhabotinsky (BZ) 反応である。

BZ 反応は、自律的なリズムの形成や動的パターン形成など、様々な生命現象に現れる時空間構造を実験室で観測できる化学モデルと位置づけることができる。その反応過程は、A:インヒビターの消費→B:アクティベーターの自触媒的增加→C:インヒビターの生成→A…という 3 つの反応プロセスが一方向のみに循環する反応機構で説明される (FKN メカニズム)。FKN メカニズムの理解には BZ 反応液に添加剤を加える摂動実験が有効である。例えば界面活性剤を加えると、パターンが発生するまでの誘導時間、パターンの伝播速度、振動周期が変化する。これらの変化は FKN メカニズムのプロセス A、B、C の変化をそれぞれ反映したものとして理解することができる。

FKN メカニズムから反応速度式 (連立常微分方程式 (ODEs)) を書き下し、さらに 2 変数にまで縮約したものをオレゴネータと呼ぶ。時間的な周期性のみならずラセン波 (図 1) などの空間パターンも、オレゴネータをもとに議論できる。ラセン波は波面断点 (チップ) 周辺におけるアクティベーターの拡散 (散逸) によって自律的に形成される。ラセン波の中心部にはインヒビターが堆積し、コアと呼ばれる不活性領域が自己組織的に形成される。ラセン波の回転周期は、チップがコアの縁を一周する時間できまる。それゆえ、ラセン波には幾つかの自己組織化の連鎖を認めることができる (表 1)。

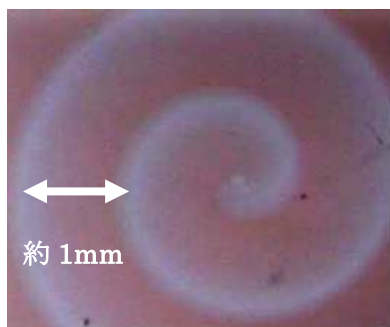


図 1 : BZ 反応の動的ラセン波 (時計回りに回転)

表 : BZ ラセンの階層的自己組織化

構造	時間	空間
振動反応(0D)	大 $T_b$	小 $\phi \sim (DT_b)^{1/2}$
波列(1D)	$T < T_b$	$\lambda \sim (Dk_5)^{1/2} T$
ラセン波(2D)	$T < T_b$	コアの自己組織化
	周期の自己組織化	コア径による分岐
領域(境界)	小 $(T_1 - T_2)/(T_1 + T_2)$	大 生存競争