

Swarm-Oscillators

田中 ダン*

福井大学 大学院工学研究科 知能システム工学専攻

非平衡下にある分子群において、分子の内部自由度がマクロなオーダーに効いてくる状況を考える。分子の並進運動や分子間相互作用が、分子内自由度とカップルし、非自明な協同現象を創発する。ここで言う分子とは、動的な自由度を内包する一般の素子を指す。例えば、遺伝子や蛋白質の内部ネットワークを持つバクテリア、反応拡散系などにおけるブリーザー、交通流・粒子流・生体分子モーターなどのモデル (ASEP、自己駆動粒子系など) における粒子、BZ-AOT 系のようなエマルジョン中の反応性液滴、細胞性粘菌、蟻などの社会性昆虫、群れを成す魚などのネクトンや鳥、解糖反応下のイースト菌、などである。

このような系ではパターン形成のみならず、集合体の機能も創発する。例えば、哺乳類において細胞の集団運動が生体組織を作るときに重要であるという報告や、ある種の菌が集団運動することで病原性を増すという報告がある。また、単純なロボットの集合体 (Swarm-Robots) に高度な作業を担わせるという群知能の研究も盛んである。

本講演では、これらの系に通底する数理構造を探索するべく、単純なモデルを構築し、解析結果の幾つかを紹介する。但し、ad-hoc なモデル構成は極力避けたい。そのため、ある広いクラスの数理モデルから、縮約により単純なモデルを導出する。導出されたモデルは

$$\dot{\phi}_i = 1 + [\kappa P_i + c.c.], \quad (1)$$

$$\dot{\mathbf{r}}_i = -\nabla_{\mathbf{r}_i} P_i + c.c., \quad (2)$$

である。ここで ϕ_i 、 $\mathbf{r}_i$ は、 i 番目の分子の内部状態と位置である。 κ は複素定数で、 P_i は分子間の相互作用を表し、

$$P_i = \sum_{j \neq i} e^{-i(\phi_j - \phi_i)} G(\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i) \quad (3)$$

で与えられる。 G は距離とともに減衰する結合関数である。このモデルは、走化性を示すリミットサイクル振動子集団を縮約することで得られ、[1] や [2] の非局所結合振動系の拡張系でもある。またこのモデルは、ネットワーク上の振動子群や、流動的な XY スピングラスと捉えることもできる。このモデルはパラメータによって、FIG. 1 のように多様な創発構造を示す。なお、本研究とコンセプトの一部を共有する先行研究 (coupled map gas など) も紹介し、それらとの相同性、相異性にも言及する。

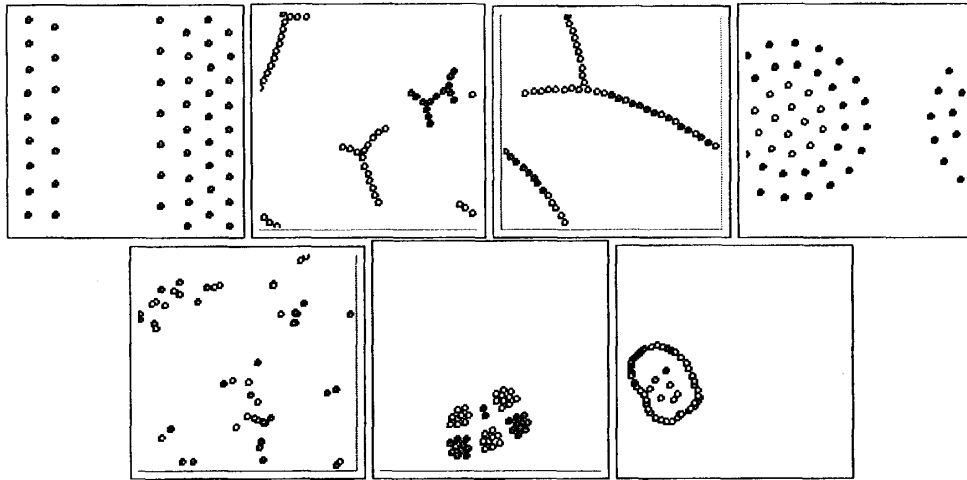


FIG. 1: 分子の二次元空間における分布のスナップショット。色は、分子の内部状態 ϕ を表す。今回、分子として質点を採用したが、可視化のため大きさを持たせて図示している。周期境界条件。(但し、結合関数 G は距離とともに指数関数的に減衰するため、充分大きな系において境界条件は重要ではない。) 上段は左から、crystal, branch(small), branch(large), firework の各相の典型的終状態で、分子の空間配置は時間的にほとんど変化しない。下段は左から、gas, clustered clusters, cell membrane の各相の典型的終状態で、分子の空間配置は時間的に変化し、特に後二者は分子群の集合形態をほぼ保持したまま動きまわる(間欠的な変化はある)。

This work was partially supported by a JSPS Research Fellowships for Young Scientists and by the Ministry of Education, Science, Sports and Culture, Grant-in-Aid for Young Scientists (Start Up), 18840020, 2006.

* Corresponding author: dan@scphys.kyoto-u.ac.jp

[1] D. Tanaka and Y. Kuramoto, Phys. Rev. E, **68**, 026219 (2003).

[2] D. Tanaka, Phys. Rev. E, **70**, 015202(R) (2004).