自己駆動粒子の集団ダイナミクスとKramers 方程式

鳥や魚の群れなどアクティブに動くものの集団はアクティブマターと呼ばれて近年盛んに研究されている。従来の 1 個 1 個の自己駆動粒子の運動を直接数値計算する方法に対して、粒子の位置と速度に関する分布関数に関する非線形 Kramers 方程式を数値計算して集団運動状態や孤立波状態に対応する解を得た。

何百羽以上のムクドリの集団飛行や何万ものイワシの群れの旋回運動などアクティブに動く粒子(自己駆動粒子)の集団を物理学の観点から研究する分野が近年盛んになっている。この分野の研究が盛んになったきっかけは、1995 年の Vicsek モデルの提案であった。Vicsek モデルは離散時間の確率モデルで、次の時刻の粒子の運動方向はその粒子のまわりの粒子の運動方向の平均値にある乱数を加えて決まる。ゆらぎの効果が大きい場合には各粒子の運動方向はランダムになるが、ゆらぎが小さくなると全体として一定の方向にそろって運動するようになる。ゆらぎの大きさを変えると統計力学における秩序無秩序相転移に対応する転移現象が生じる。Vicsek モデルの提案以降、この数理モデルに関して数多くの研究がなされてきた。その中で、Chaté 等や Bertin 等は相転移点付近で粒子密度が局所的に高い領域が自発的に生じその領域が一定速度で伝搬する現象を発見した。この状態は孤立密度波状態と呼ばれているが、その形成メカニズムは必ずしも明確になっているとはいえない。

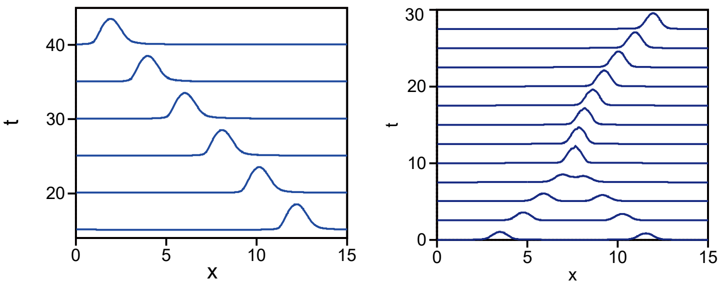

図　左：1 個の孤立波、右：2 個の孤立波の正面衝突。横軸は位置を表し、時間は上向きに進む。

最近、九州大総合理工学府の研究グループは、1 次元運動をする自己駆動粒子の集団に対して、粒子の位置と速度の分布関数に関する非線形 Kramer 方程式を提案して数値計算を行った。その結果、Vicsek モデルで見られたのとよく似た秩序無秩序相転移および孤立波状態がこの方程式の解として現れることを示した。左図は孤立波が左に一定速度で伝搬する様子を示している。右図に示すように、孤立波を２つ正面衝突させると融合して 1 つの孤立波になる。このモデルの空間一様な定常解は、熱平衡分布で表すことができ、秩序無秩序相転移は秩序変数に対するセルフコンシステント方程式の分岐現象として扱えることができる。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌 Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)の 2017 年 11 月号に掲載された。

原論文

Solitary Wave State in the Nonlinear Kramers Equation for Self-Propagating Particles
Hidetsugu Sakaguchi and Kazuya Ishibashi: J. Phys. Soc. Jpn. **86** (2017) 114003

問合せ先：坂口　英継（九州大学総合理工学府）