

## 樟脳船の集団の自発的運動

末松 J. 信彦<sup>2</sup>, 粟津 暁紀<sup>1</sup>, 中田 聡<sup>1</sup>, 西森 拓<sup>1</sup>広島大学理学研究科数理分子生命理学専攻<sup>1</sup>明治大学先端数理科学インスティテュート/研究・知財戦略機構<sup>2</sup>

概要:水面を自発的に滑走する樟脳船集団を準一次元水路に浮かべ運動を観察した。その結果、交通流の渋滞現象に対応する挙動、および、アリの行列で認められるようなクラスターモードを確認した。この実験および、数理模型による解析をとおして、樟脳船の集団運動は、i)交通流と同様の振る舞いのみならず、条件に応じて、非常に多彩な運動モードを表現することが可能であること、ii)実験でのパラメータ制御や数理的解析も比較的容易で集団運動のモデル実験系として有望であることが示された[1]。

## 1 はじめに

自律的に駆動する個体の集団運動は、生物の群れの運動を理解するという学理的な興味だけでなく、交通渋滞の発生機構など現実的な問題にも関係する意義深い研究対象といえる。集団運動の研究は、従来、鳥や魚の群れなど、生物を対象とした観察や数理モデルを用いた研究が主流であったが、実験的制御が容易で、かつ、

個体間相互作用が究明し易い、無生物モデル実験系の確立も求められてきた。

例として、界面活性剤水溶液中でガラス基板上を走る油滴[2]、水面を滑走するアルコール液滴[3]などが挙げられる。特に樟脳の運動は、プラスチック板を付けて船にすることで運動特性を制御することが可能で、一次元水路中で相互作用する 2 隻の船の運動が同期することなども示されている[4]。

樟脳分子は疎水性で、水面に展開されると表面張力を下げる作用がある。加えて昇華性があるため、水面に展開された樟脳の濃度は時間とともに低下する。樟脳船は、プラスチック板で樟脳分子の水面拡散を抑制することにより、表面張力の非対称性を生みだし、一方向的な自律運動を誘起するシステムである。そこで、多数の樟脳船を一次元水路に浮かべ、これを集団運動のモデル実験系として確立することを目的として本研究を行った。

## 2 実験・数理模型および考察

樟脳船は、直径 6 mm の円形に切り出した OHP フィルムの片方の端に樟脳円板をバスボンドで接着して作成した(図 1a)。水相は蒸留水またはグリセリン水溶液(5, 10 mM)を用いた。

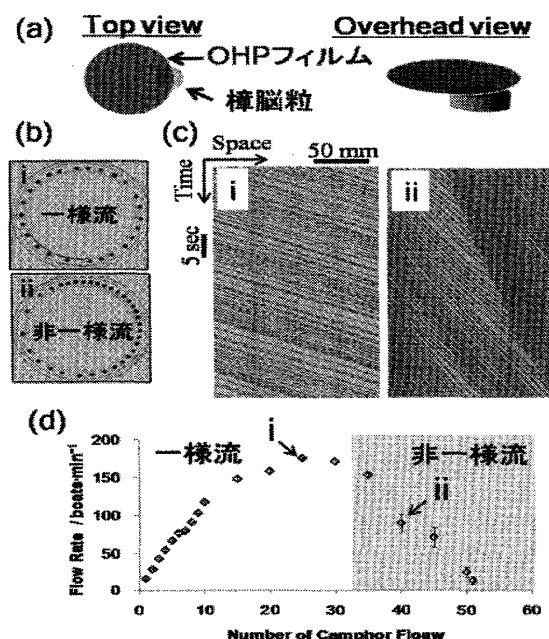


図 1 : (a) 樟脳船の模式図。(b) 樟脳船集団のスナップショット。黒い丸が樟脳船を示し、輪状の擬一次元水路を時計回りに自律運動している。(c) 時空間プロット。(d) 流量の船数依存性。

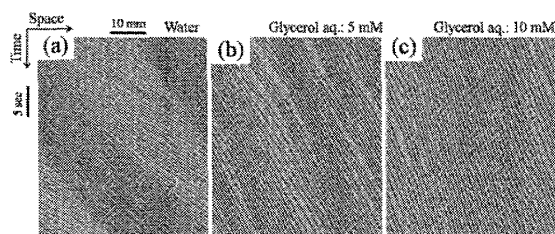


図2：水相の粘度に依存した集団運動の様子を示した時空間プロット。水相には、(a) 蒸留水、およびグリセリン水溶液 (b) 5 mM、(c) 10 mM を用いた。船の数はいずれも 40 隻。

蒸留水の水相に船を浮かべたところ、船の数に依存して二種類の集団運動が認められた。船の数が30隻以下のとき、船は空間均一に分散した状態で、一様な速度を保って自律運動した(一様流; 図 1b-i, c-i)。一方 35 隻以上になると、船の数密度は高密度領域と低密度領域に分離した(非一様流; 図 1b-ii, c-ii)。このとき、高密度領域の先頭の船は加速し、低密度領域を通過して再び高密度領域の最後尾に着くという、先頭の入れ替わりが繰り返された。

水路のある地点を 1 分間に通過する船の数を流量として測定し、船の数に対してプロットした結果、30 隻までは単調に増加し、それ以上では減少に転じた(図 1d)。これは高速道路における車の渋滞にも認められる現象である。また、粘性抵抗の高いグリセリン水溶液を水相に用いて 40 隻の船を浮かべた。その結果、蒸留水では非一様流が観察されていたのに対し、グリセリン濃度の増加に伴い一様流へと転移した。

さらに、長時間実験を行った後の水相(蒸留水)では、複数の高密度領域(以後、クラスターと呼ぶ)が安定に存在する分布が認められた。前述の非一様流(図 1a-ii, b-ii)とは異なり、この分布ではクラスターの先頭の入れ替わりは起こらなかった。これはアリの行列などで認められる

クラスターモードに相当すると考えられる。

我々は並行して、個々の樟脳船の運動および船間相互作用を数理モデルで再現し、その解析を試みた。単体の樟脳粒の運動に関する数理モデルはすでに長山らにより報告されている[5]。そこで、こ長山モデルらを参考に樟脳場を介して相互作用する樟脳船の数理モデルを構築した。以下結果の概略だけ示す(図 3)

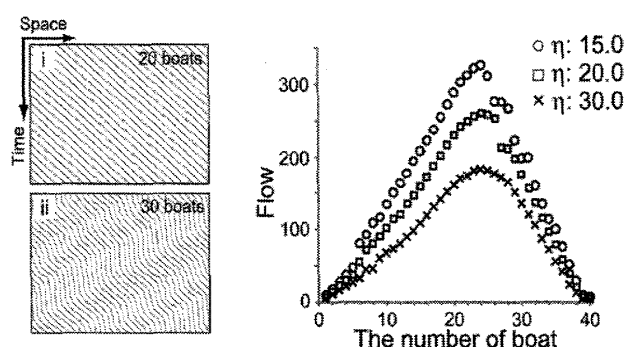


図3: 数値計算結果。船の数に依存した、時空間プロット(粘性係数 $\eta$ : 15)(左図: 20 隻と 30 隻の場合)、および、船の数--流量の関係(右図: 粘性係数 $\eta$ : 15, 20, 30)。

### 3 まとめ

本研究では、樟脳船を使用し、自律駆動粒子の集団運動の実験および数理モデルの作成を行った。その結果、樟脳船は集団運動研究における有用な無生物モデル実験系であることが示された。

### 参考文献

- [1] N.J. Suematsu, S. Nakata, A. Awazu, H. Nishimori, Phys. Rev. E 81 (2010) 056210.
- [2] Y. Sumino, N. Magome, T. Hamada, K. Yoshikawa, Phys. Rev. Lett. 94 (2005) 068301.
- [3] K. Nagai, Y. Sumino, H. Kitahata, K. Yoshikawa, Phys. Rev. E 71 (2005) 065301.
- [4] S. Nakata, Y. Doi, H. Kitahata, J. Phys. Chem. B 109 (2005) 1798.
- [5] M. Nagayama, S. Nakata, Y. Doi, Y. Hayashima, Physica D 194 (2004) 151.