

固／液複合体の自発運動モード選択

京都大学 大学院 理学研究科 高島 美弥 *

非平衡状態における液滴や固体粒子、ゲルなどの自発的運動に関して、これまでに実験的・理論的にさまざまな研究がなされてきた。このようなマクロな自発運動の駆動力として、流体界面の自発的な揺らぎ運動がよく知られており、特に化学マランゴニ効果と呼ばれる現象が利用されることがある [1, 2]。化学マランゴニ効果は、化学的な濃度勾配によって界面張力が空間的に不均一になることが原因で界面が不安定化する現象である。最近になって、このような界面張力の不均一性によって駆動される自発運動系では、適切な物理的あるいは化学的な境界条件を設定することで、マクロな不規則運動が規則的な運動に転化することが明らかになりつつある [3]。本研究では、等方的な境界条件のもとで、運動する固／液複合体に空間的な対称性の破れを導入することにより規則的な運動が生じることを見出した。また、固体のサイズに依存して特徴的な自発運動モードが変化することが実験的にわかったので、報告する。

実験では、オレイン酸の油滴とそのナトリウム塩である固体のオレイン酸ナトリウム (固形界面活性剤) から成る固／液複合体を水上に浮かべ、自発運動を観測した。また、円柱形のオレイン酸ナトリウムの長さを変化させて、同様の実験を行った。油滴と固形界面活性剤を接触させることにより、固／液複合体の前後の対称性を人為的に破りつつ非平衡場を与え、並進運動の方向を制御することに成功した。それに加えて、複合体が自発的に左右方向の対称性を破ることで回転運動が生じることを見出した。この時、固形界面活性剤のサイズを変化させるとその長さが大き

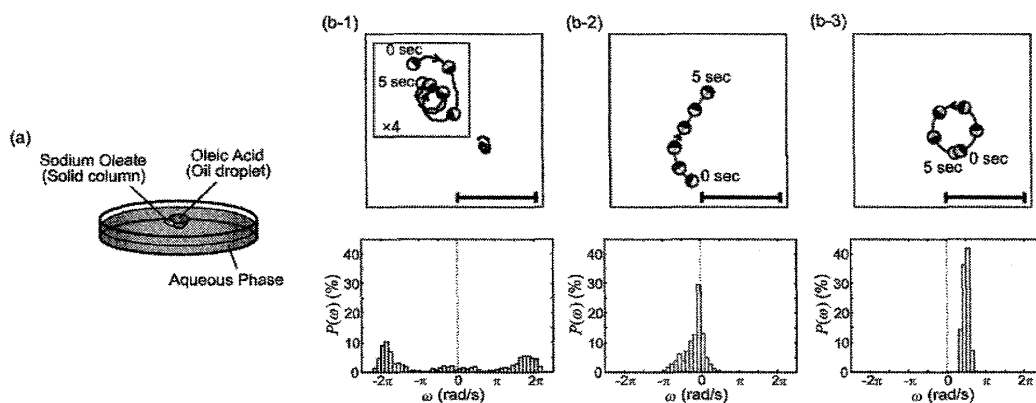


Fig. 1: (a) 実験の概略図。(b) 複合体の自発運動モード変化の様子。油滴重心の軌跡 (上) と 60 秒間の自転角度 ω の分布図 (下) を示した。(b-1) 固体の長さ $l \approx 1$ mm、自転運動。(b-2) $l \approx 3$ mm、並進運動。(b-3) $l \approx 5$ mm、公転運動。(Scale bar: 10 mm)

*E-mail: takabatake@chem.scphys.kyoto-u.ac.jp

くなるにつれて、自転運動 (Fig. 1(b-1))、並進運動 (Fig. 1(b-2))、公転運動 (自転を伴う並進運動、Fig. 1(b-3))、のように支配的な運動モードが変化する様子が観測された。また、各々の自発運動モードを解析することにより、自転運動の安定性が複合体の運動モード選択を支配していることが明らかとなった。

回転運動の分岐は、角速度の分布関数の対称性を考慮に入れた非線形抵抗を採用することにより以下のような無次元常微分方程式で表現できる：

$$\frac{d\theta}{dt} = \tilde{\omega}; \quad \frac{d\tilde{\omega}}{dt} = -\tilde{\eta}_\omega(\tilde{\omega})\tilde{\omega} + \tilde{N} + \tilde{\xi}_\omega, \quad (1)$$

$$\tilde{\eta}_\omega(\tilde{\omega}) = \tilde{\eta}_1 - \tilde{\eta}_2 \tilde{\omega}^2 + \tilde{\eta}_3 \tilde{\omega}^4 = \tilde{\eta}_1 (1 - \alpha \tilde{\omega}^2 + \beta \tilde{\omega}^4). \quad (2)$$

ここで、 $\tilde{\xi}_\omega$ はランダム力であり、 $\tilde{\eta}_\omega(\tilde{\omega})$ は抵抗力だけでなくマランゴニ不安定性による駆動力を含む抵抗関数である。 $\alpha/\beta^2 > 4$ の時には $\tilde{\xi}_\omega$ に起因する不規則運動に対して実効的な抵抗が負になる場合があり、揺らぎが増幅され規則的な回転運動が生じやすくなる。また、 \tilde{N} は複合体の形状の左右非対称性に起因する項であり、固体が油滴と接合する際に非対称に接すると形状が左右非対称になり、回転運動をしやすくなることを表している。

本発表では固/液複合体のさまざまな自発運動モードを示すとともに、上記の簡単な力学モデルを用いて運動モード選択に関する議論を行い、実験結果との比較を行った。

This work was partially supported by a Sasagawa Scientific Research Grant (No. 22-220) from the Japan Science Society.

参考文献

- [1] S. Nakata and S. Hiromatsu, Chem. Phys. Lett. **405**, 39 (2005).
- [2] K. Nagai, Y. Sumino, and K. Yoshikawa, Colloids Surf. B Biointerfaces **56**, 197 (2007).
- [3] Y. Sumino and K. Yoshikawa, Chaos **18**, 026106 (2008).