

“界面活性剤を燃料に”水中を泳ぎまわる油滴

1. 発表者:

菅原 正 (東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻 相関・基礎科学系 教授)

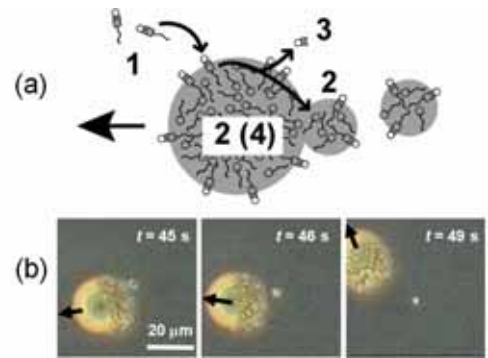
2. 発表概要

水中に形成したマイクロメートルサイズの油滴に、予め界面活性剤を分解する触媒を配合しておくこと、油滴が水中に溶けている界面活性剤を分解しながら、泳ぎまわることを発見した。さらに、泳ぎまわる油滴どうしは、衝突して一つに融合することもなく、互いに避け合ったり、連れ添ったりして泳ぐという新しい運動パターンを示した。

3. 発表内容

どんな現象を発見したか

油の粒を界面活性剤の溶液に添加すれば、油の粒に界面活性剤が取り込まれ、油は乳化される。しかし、油の粒に、界面活性剤を分解する触媒を予め配合しておけばどうなるであろうか？我々は加水分解されやすい合成界面活性剤(1)を水中に溶かしておき、触媒(4)を仕込んだ油滴(2)で、水中の界面活性剤を分解させる実験を行った。すると、油滴内部に取り込まれた界面活性剤が、油分子(2)と水溶性分子(3)に分解されるのに伴い、直径100マイクロメートルほどの油滴が、分解物を放出しながら、毎秒数十マイクロメートルの速さで一方向に泳ぐことを発見した。泳ぐ油滴の後部の表面には、界面活性剤が分解された油分子が集まるとは、次々と粒となって放出されてゆく(右図、図1)。また、泳ぐ油滴どうしが偶然接近した場合、正面から近づきあうと互いに避け合い、同方向で近づきあうと連れ添って泳ぐという新しい運動パターンを示すこともわかった(図2)。



なぜこのような運動をするのか？

この油滴の内部では、泳ぐ方向に沿った対流が生じ、分解物を油滴後部表面に寄せ集め放出する。界面活性剤を前部で取り込み、後部で分解物を放出することで、油滴表面の界面活性剤の濃度は非平衡状態に保たれる。それが駆動力となり、自ら泳ぐというメカニズムが考えられる。「自ら泳ぐことにより、油滴は新たな界面活性剤を得て泳ぎつづけることができる。」まさにセルフ・サステイナブルな系である。

今回発見した動く油滴の特徴

これまでに報告された動く油滴は、油滴の接するガラス界面との界面エネルギーを利用

したり、油滴の有機物質そのものを消費するものであった。今回の泳ぐ油滴の特徴は、以下の2点にある。

- 1) 外部からの界面活性剤を燃料としているため、界面活性剤を外から添加しさえすれば、泳ぎ続けられる。これは、生物が代謝の過程で運動エネルギーを得て動き続けることができることを、最も単純にしたモデルということができる。
- 2) 2つの油滴がたまたま近づきあうと、新しい運動パターンを示す。油滴が泳ぐことで、その周囲の環境（水の流れや燃料である界面活性剤濃度）を変え、その環境に油滴が応答することで運動パターンが変わるといふ、原始的なコミュニケーションのモデルとして興味深い。

4．発表雑誌

アメリカ化学会誌 *Journal of the American Chemical Society* 誌の電子版に4月8日付で Web に掲載。

Self-Propelled Oil Droplet Consuming “Fuel” Surfactant

Taro Toyota, Naoto Maru, Martin M. Hanczyc, Takashi Ikegami and Tadashi Sugawara.
JACS 131, 5012-5013 (2009)

5．注意事項

なし

6．問合せ先

東京大学大学院総合文化研究科 広域科学専攻 相関・基礎科学系
教授・菅原正

URL: <http://pentacle.c.u-tokyo.ac.jp>

7. 添付資料

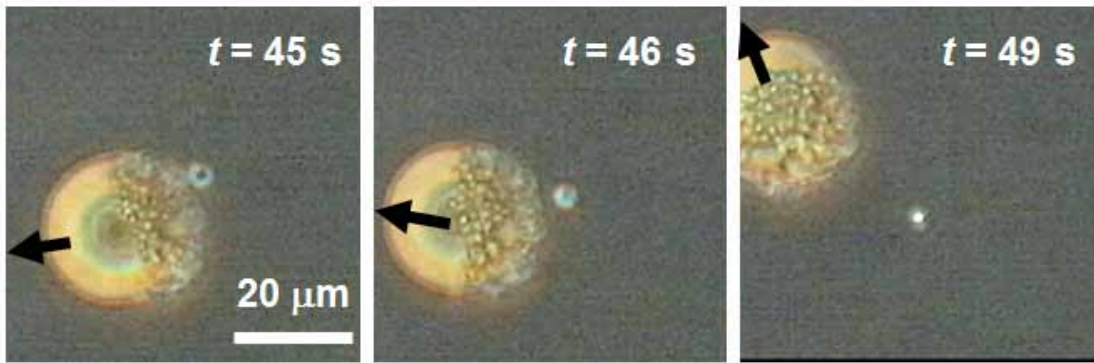


図1 界面活性剤の分解物（油分子）が集合した粒を後部に放出しながら泳ぐ油滴の顕微鏡像。黒矢印は油滴の泳ぐ方向。

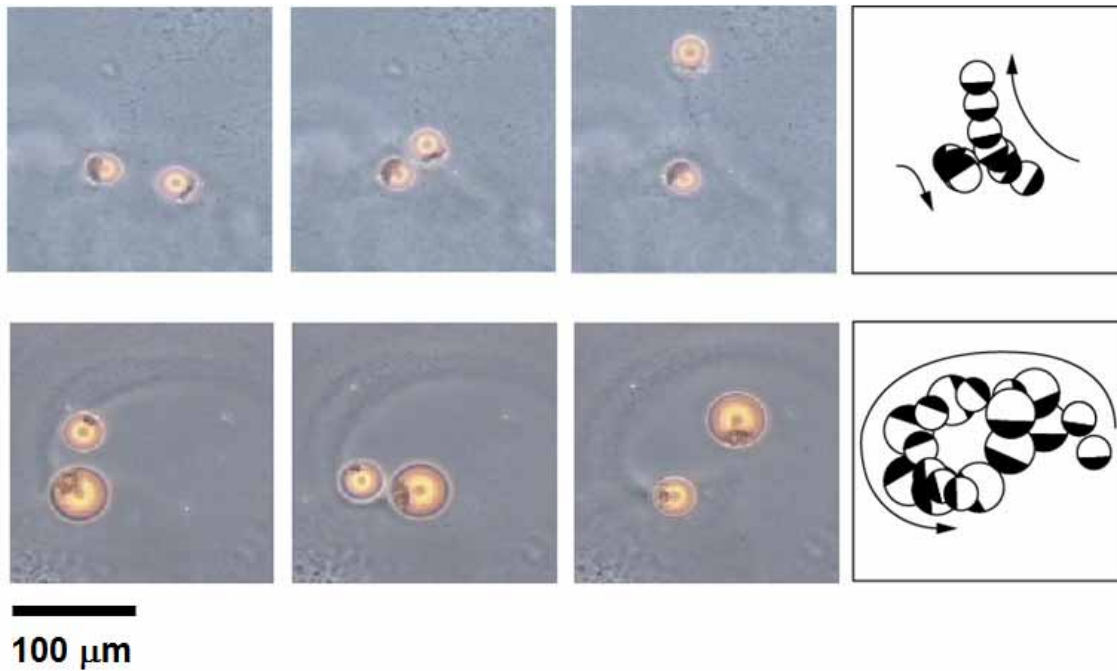


図2 2つの泳ぐ油滴の運動の連続顕微鏡像。（上段）正面から近づきあうときの避け合う運動（右の図は2秒ごとの写真を重ね合わせたもの）。（下段）同じ方向から近づきあうときの連れ添う運動（右の図は4秒ごとの写真を重ね合わせたもの）。

（撮影 共同研究者 千葉大 豊田太郎）

8. 背景説明

ヒトゲノム解読が完了した 2003 年以降、生命科学の領域においてポストゲノム研究の潮流が起こりつつある。その中の一つに、生命誕生の謎を解き明かす研究がある。太古の地球において、物質のみの世界から如何にして最初の生命体（原始生命体）が誕生したかを、実験モデルを通じて明らかにしてゆくスタイルの研究が、世界の幾つかの拠点で始まりつつある。イタリアのルイーダ博士（ローマ大学）のグループ、日本の菅原（東京大学）のグループ、アメリカのショスタク博士（ハーバード大学）のグループは、それぞれ独立に、遺伝子やタンパク質を持っていなくても、原料物質を取り込んで自己増殖する脂質のカプセルをつくり出すことに成功している。また、物質だけの世界において原始生命体が生きながらえるには、自己増殖と共に、自ら餌を求めて動き回り、排泄物や危険物質から逃れるという運動ができることが必須であり、そのような研究が待望されていた。

東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻の菅原正教授、千葉大学大学院工学研究科共生応用化学専攻の豊田太郎助教は、東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻の池上高志准教授、南デンマーク大学のハンクチック准教授らとともに、新たな界面活性剤と油分子を設計して、化学反応で自ら泳ぎまわる分子集合体を創出してきた。しかし、この分子集合体（油滴）は構成分子そのものを化学反応で消費してしまうため、持続的に泳ぐことができなかった。この問題点を解決するために、泳ぐ油滴の駆動源として加水分解する界面活性剤に着目した。通常、界面活性剤は、水中に油滴があればそれを細分化する乳化作用がある。しかし加水分解の触媒を油滴にあらかじめ仕込むと、油滴内の触媒で界面活性剤は油分子と水溶性分子に分解される。この反応を顕微鏡下で観察したところ、油滴は小さくなって乳化されてゆくのではなく、その大きさを維持しつつ、化学反応の分解物を放出しながら自発的に泳ぎまわることを見出した。さらに、泳ぐ油滴どうしが、たまたま互いに接近する場合、「正面から近づくとお互いを避け合い、同方向で近づきあうと連れ添って泳ぐ」という新しい運動パターンを示す。

本研究は、タンパク質などの生体分子が使用されていないにも関わらず、添加された物質を自ら泳ぎまわる燃料として利用する自律的な分子集合体の発見であり、原始生命体の運動モデルとして大変興味深い。また、2つの油滴がたまたま近づきあうと新しい運動性を示すという現象は、油滴が泳ぐことでその周囲の環境（水の流れや燃料である界面活性剤濃度）を変え、その環境に油滴が応答するという点で、原始的“走化性”（特定の化学物質の濃度の濃い方向に向かって、または、それを避けて動く性質）の獲得ということもできる。燃料に対する正の走化性と、自らが放出する分解物に対する負の走化性のバランスを巧みに使用した「原始生命体のコミュニケーションモデル」として極めて重要である。