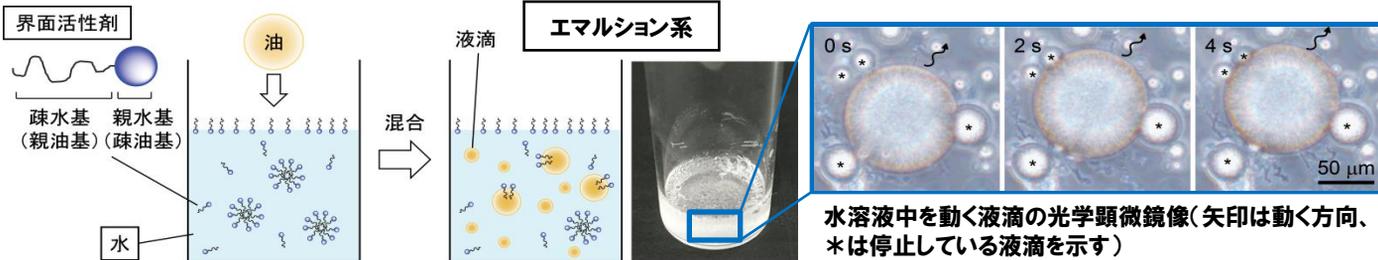


# 化学走性を示す液滴型マイクロロボット

応用化学科 助教 伴野 太祐 (banno@aplc.keio.ac.jp)

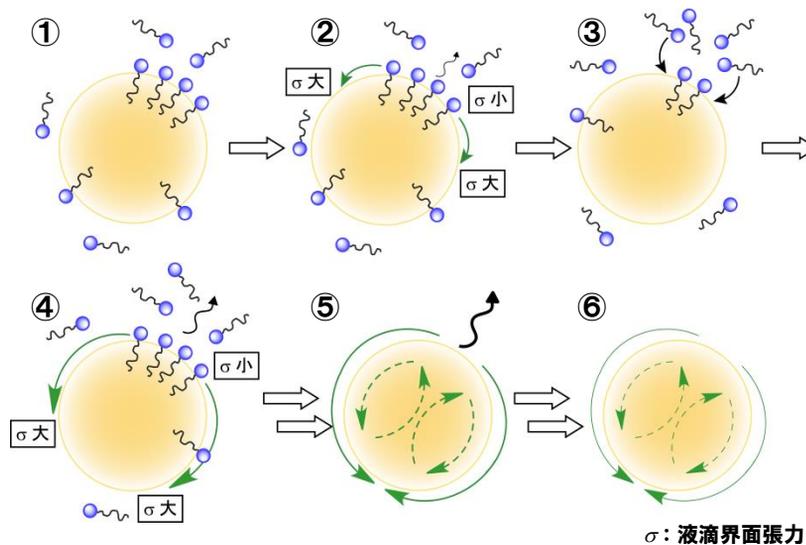
## 水溶液中を動く液滴

水、油、界面活性剤を混合した**エマルション系**が**平衡から遠く離れた状態**(外部環境と物質やエネルギーのやり取りをする状態)にある際に、マイクロメートルサイズ(1マイクロメートルは0.000001メートル)の液滴が水溶液中を自発的に駆動する現象が観測されます。



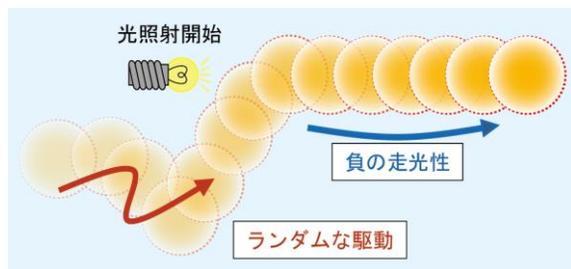
## 液滴が駆動する推定メカニズム

界面活性剤が液滴表面に不均一に吸着すると(①)、界面張力の低い領域から高い領域へと流れが生じます(②)。これを**Marangoni流**と言います。この流れにより液滴が少し動くと、その前面に界面活性剤が吸着するために(③)、液滴はさらに動くことができます(④)。これが繰り返されて液滴内外に大きな対流構造が形成されることにより、液滴は持続的に駆動するものと推定しています(⑤)。そして、液滴表面の界面張力が均一に近づき、液滴のサイズに対して一定以下の対流の大きさになると、液滴は駆動を停止します(⑥)。

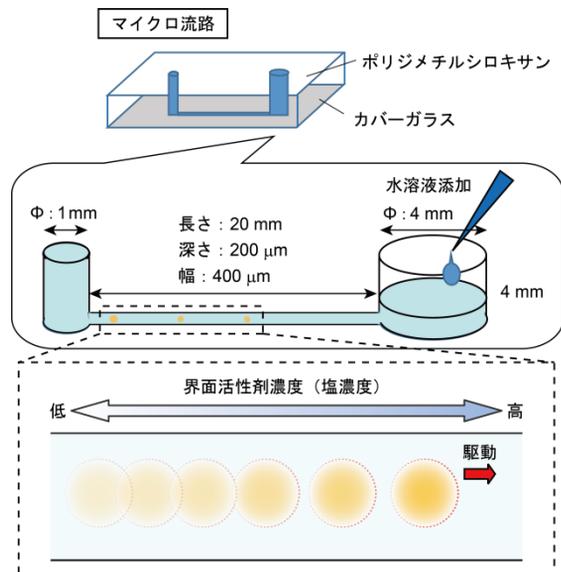


## 外部刺激に応答する液滴

光照射や化学物質の添加などの外部刺激(input)により液滴の片側だけの界面張力を変化させることで、液滴を一方方向に駆動させることができます(output)。このような**化学走性を示す液滴型マイクロロボット**には、自然環境を改善、探索したり、特定の場所に化学物質を輸送したりする機能体としての応用が期待されます。



光照射に対する方向性を持った動き



界面活性剤の濃度勾配に対する方向性を持った動き

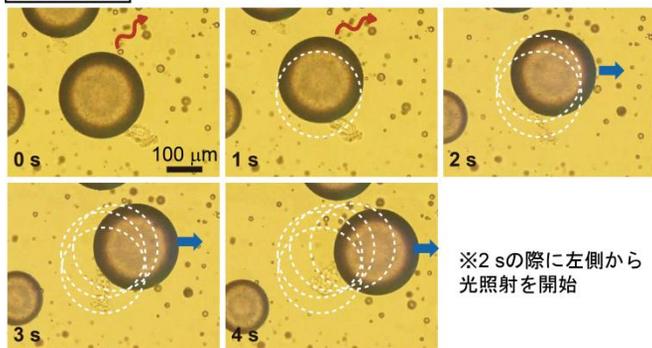
## 研究成果の一例

### ✓ 光照射に反応する液滴型マイクロロボット

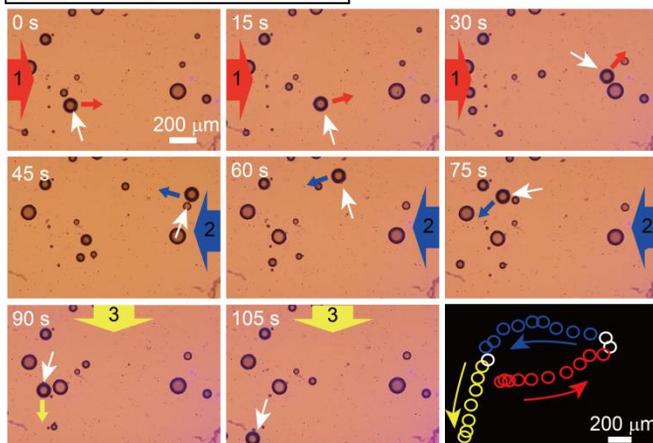
アゾベンゼン骨格を有するジェミニ型(二鎖二親水基型)カチオン性界面活性剤を含む水溶液中では、液滴が紫外光照射に対して逃げるように方向を変えて駆動する(負の走光性を示す)ことを見出しました。これは、アゾベンゼン骨格の光異性化に伴って**液滴の片側(光の照射側)のみで界面張力が低下すること**によるものと考えられます。また、これらの液滴は複数回の異なる方向からの光照射のいずれに対しても敏感に反応して駆動する向きを変えることから、液滴を目的の場所に送達する技術として有用です。

論文: *Chem. Commun.* 53, 2237–2240 (2017).

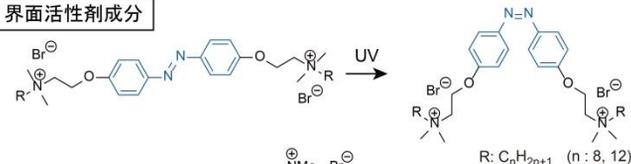
負の走光性



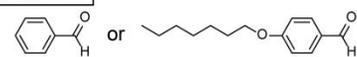
複数回の光照射に対する液滴の挙動



界面活性剤成分



油滴成分

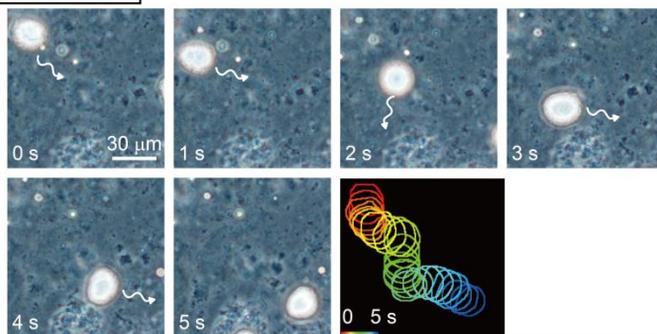


### ✓ 電解質濃度に応答する液滴型マイクロロボット

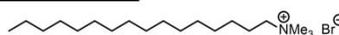
放置すると固化するような、強い相互作用がはたらく二種類の油成分からなる液滴がアメーバのように変形しながら駆動することを見出しました。これは、駆動する液滴の後方における界面活性剤の流入により油成分どうしの相互作用が弱まり、その結果として液滴の**前方に比べて著しく強い流れが生じる**ことによるものと考えられます。

論文: *Sci. Rep.* 6, 31262 (2016). 【オープンアクセス】  
【2016年8月にNHKニュースにて報道】

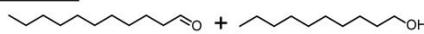
変形する液滴



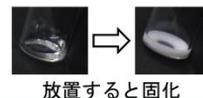
界面活性剤成分



液滴成分



電解質水溶液

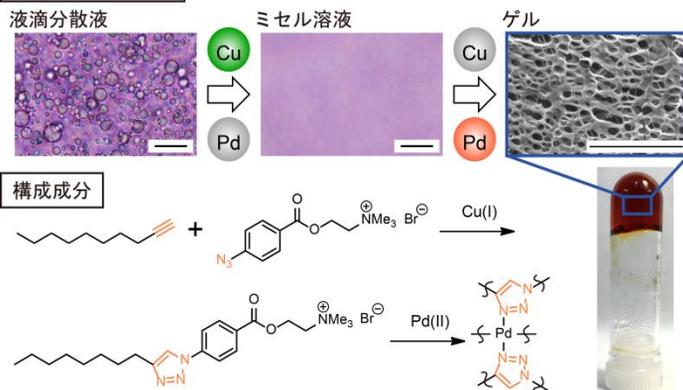


### ✓ 化学物質に応答する液滴型マイクロロボット

2種類の金属イオン存在下、**2つの異なる化学反応をトリガー**として液滴分散液がミセル溶液、さらにゲルへと連続的に構造転移する化学システムの構築に成功しました。

論文: *Chem. Commun.* 53, 8553–8556 (2017).

構造転移する液滴



化学物質の添加や光照射などの外部刺激によって分子構造が変化するような界面活性剤や油成分を有機合成することで、特徴的なダイナミクスを示す液滴型マイクロロボットの創製を目指しています。これらの要素技術を組み合わせることで、微小空間における探査ロボットや化学物質を輸送・回収する機能体、さらには特定の領域を化学修飾したりその場に構造体を形成させたりする技術の開発につながることが期待されます。