

化学反応によって駆動される液滴の運動： 化学-機械エネルギー変換の実空間モデル

京都大理・物Ⅰ 北畑 裕之

e-mail: kitahata@chem.scphys.kyoto-u.ac.jp

生物は、Carnot サイクルのような熱機関とは異なり、等温条件下で化学エネルギーを仕事に直接変換している。Curie-Prigogine の定理により、等方的な線形非平衡系を考えている限り、スカラー量である化学エネルギーをベクトル量である仕事に変換することは不可能である。生物の運動機関は非平衡散逸系の特徴を利用した巧妙なメカニズムを用いているはずである。しかし、その動作原理は未だ解明されていない。われわれのグループでは、これまでに、化学振動反応である Belousov-Zhabotinsky (BZ) 反応において、鉄触媒の酸化状態は還元状態より約 3 mN/m 界面張力が大きいいため、化学反応に同期して張力が振動することを見出している¹⁾。本研究では、この現象を利用し、BZ 反応を用いて、現実空間上で等温条件下の化学-機械エネルギー変換を行わせることを試みた。

まず、化学反応に伴う界面張力の変化が引き起こす Marangoni 対流についての実験を行った。2 枚のガラス板の間に約 1 mm のスペースを作り、そこに BZ 反応溶液とオレイン酸を流し込んで界面を作った。倒立顕微鏡により、界面部分を拡大、観察したところ、図 1 のような対流が見られた。また、界面張力項を加えた Navier-Stokes 方程式を用いて数値計算を行った結果 (図 2)、実験と定性的に一致することを確認した。

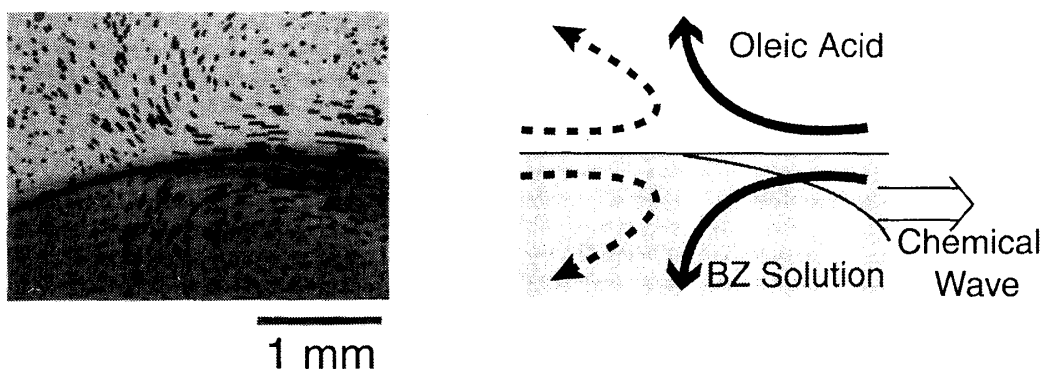


図 1: BZ 反応によって引き起こされる対流現象。右は模式図。

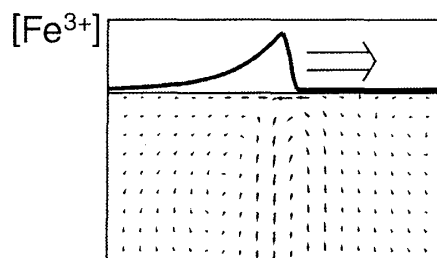


図 2: 界面張力を加えた Navier-Stokes 方程式を用いた数値計算結果。実験結果と定性的に一致している。

次に、この対流現象を用いて、等温条件下で化学-機械エネルギー変換をする系を考案した。なお、BZ 反応ではほとんど熱が発生しないことが知られており、ほぼ等温系であるということが出来る。オレイン酸に $1 \mu\text{l}$ の BZ 反応溶液を浮かべ、上から拡大して、観察した。このとき、化学振動反応に同期して、BZ 液滴が振動する現象が観測された。(図 3) この運動は、BZ 反応溶液に比べて、オレイン酸の粘性が大きいことに起因していると思われる。同じ界面張力が加わったとき、もしそれぞれの相が独立に存在するなら、粘性の小さな BZ 反応溶液相のほうが流速が大きくなるはずである。しかし、界面では、接する 2 相の流速は等しくならなければならない、そのため、2 相の間で運動量の交換が行われなければならない。この運動量の交換によって、液滴全体が運動していると考えられる。

この自発的に振動する BZ 反応液滴の系は、等温系で化学-機械エネルギー変換する現実空間での系である。今回の系では、BZ 反応の自己触媒反応に起因する強い非線形性、および、スケールを小さくし、界面の効果を増やすことで、化学波の発生による空間の等方性の崩れの影響が大きくなって、スカラー量である化学エネルギーからベクトル量である仕事を取り出せた。生物の運動機関でのエネルギー変換においても、化学反応の強い非線形性と空間等方性の崩れ、スモールスケールであるという点が本質的に効いていると思われる。

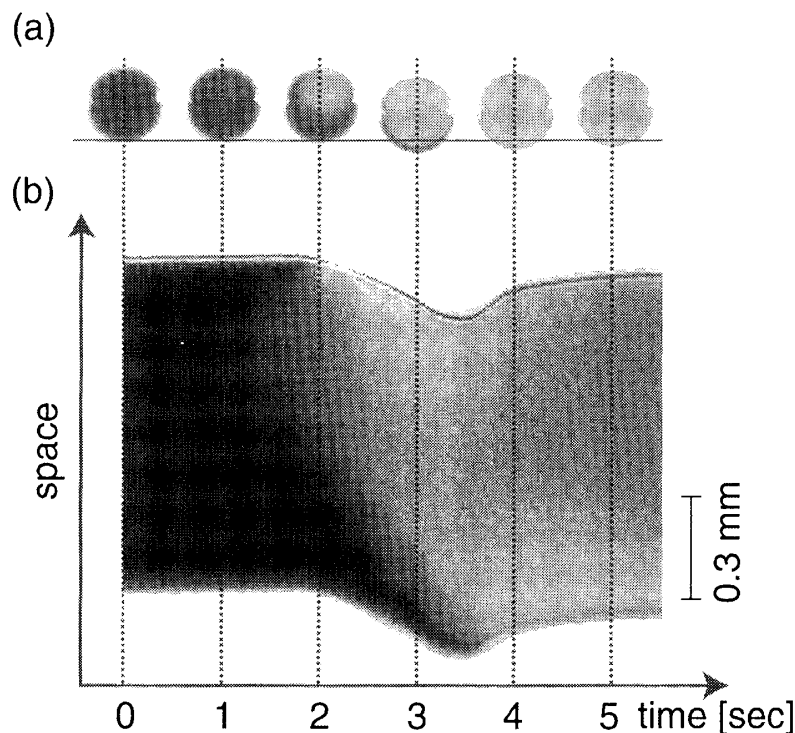


図 3: 振動する BZ 反応の液滴。(b)の図は(a)の点線部分を切り出し積算した時空間プロット。色の淡い部分が酸化状態の領域で、化学波が界面に到達すると反応液滴が動き出す。

謝 辞 本研究は、一野天利、相原良一（名古屋大情報）、馬籠信之、吉川研一（京都大理・CREST）各氏と共同で行ったものである。

参考文献 1) K. Yoshikawa, *et al.*, Chem. Phys. Lett., **211**, 211 (1993).