

アルコール液滴の自発的運動

京都大学 理学部 永井 健、住野 豊、北畑 裕之

非平衡条件下で液-液界面がマクロに揺らぐ現象は化学工学分野などでよく知られているが、このゆらぎの特質については未だ不明な点が多い。本研究では、アルコール水の相分離系について、液滴のゆらぎ運動を観察し、その特質について考察したので報告する。

ペンタノールを水に加えると、少量なら溶けるが、ある程度加えると相分離を起こし、水の上にペンタノール rich 相の液滴ができる。このペンタノールの液滴は大きさを変えると動きが変化する。大きさが 1cm ほどの液滴は図1のように $3\sim 5\text{mm}$ の液滴まで自発的に分裂する。また 1mm ほどの液滴は図2のようにほとんど変形しない。液滴をこれらの中間くらいの大きさ ($3\sim 5\text{mm}$) にすると図3の様にくの字型に変形し、凸になった方向に動き出す。

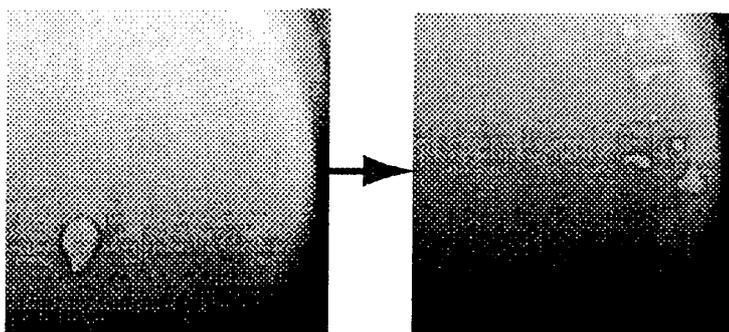


図1: 大きいペンタノールの液滴を作ったとき。自発的に分裂していく。

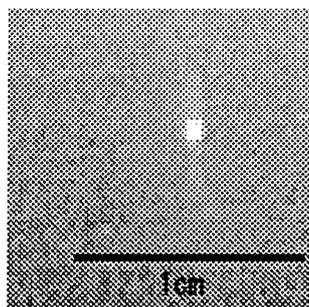


図2: 小さいペンタノールの液滴を作ったとき。ほとんど変形していない。

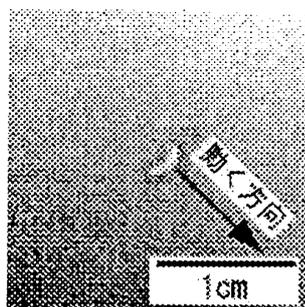


図3: 中間の大きさの時。くの字になって動く。

ペンタノールの液滴がくの字型になったとすると、液滴の前後で曲率の差があるので、液滴からのペンタノールの拡散速度に差が出る。そのため液滴の前後でペンタノールの濃度勾配に差ができ、それによる界面張力差によって動く。[1]

今回、ペンタノールの液滴の大きさによって動きの特徴が変化する原因に注目し、界面張力による界面不安定性によって議論する。ペンタノール rich 相と水 rich 相の界面が直線である場合を考え、そこに小さな波が立ったとすると、界面が長くなるので界面張力 (γ_1) によって平面に戻されようとする。また波の山の部分と谷の部分で界面の曲率が違うので、ペンタノールの拡散によって濃度勾配に差ができ、波が大きくなるように力 (γ_2) が働く (図 4)。すなわち、 $\gamma_2 > \gamma_1$ のとき波は不安定化することになる。

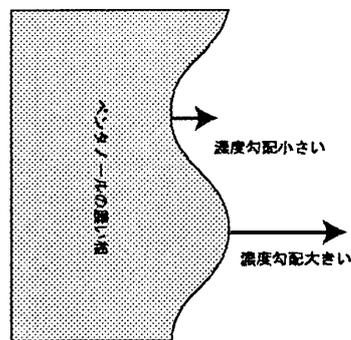


図 4: 矢印が界面張力の大きさを表す。矢印の大きさの差が γ_2

今、波として、頂点と x 軸の交点の三点を通る円 (半径 R) をつなげて正弦波 ($y = A \sin kx$) を近似したもので考えると

$$\gamma_1 = \gamma_{10} k^2 A$$

$$\gamma_2 = -\gamma_{20} \sqrt{\frac{\alpha}{D}} \frac{d}{dr} \ln \{I_0(r) K_0(r)\} \Big|_{r=\sqrt{\alpha/D} R}$$

と評価できる (ただし γ_{10} 、 γ_{20} は定数、 α は蒸発速度、 D は拡散係数、 $I_0(r)$ 、 $K_0(r)$ は変形ベッセル関数)。

$$\frac{dA}{dt} \propto -\gamma_1 + \gamma_2$$

であり、 $0 < kA \ll 1$ とすると、 $k \ll 1$ で $\frac{dA}{dt} > 0$ 、 $k \gg 1$ で $\frac{dA}{dt} < 0$ となり、特定の波数だけが不安定化することがわかる。 $\frac{dA}{dt} = 0$ となる波数を k_c とすると $k_c \propto \sqrt{\alpha}$ となる。これから蒸発速度が速いほうが特徴的な波数は小さいことがわかる。また実験でも蒸発速度を変えたときの特徴的な液滴の大きさを調べると、蒸発速度が速いほど特徴的な大きさが小さくなることがわかった。

参考文献

- [1] S. Nakata, Y. Iguchi, S. Ose, M. Kuboyama, T. Ishii, and K. Yoshikawa, "Self-rotation of a camphor scraping on water: New insight into the old problem", *Langmuir*, **13** (1997) 4454-4458.