

液滴蒸発後に現れるパターンの数値計算

日大生産工(学部) ○関谷 駿
日大生産工 野々村 真規子

阿南工業高等専門学校 山田 耕太郎
広島大学 小林 亮

1 まえがき

溶液を基板上に滴下させると、蒸発によって、溶質のパターンが形成されることが知られている。この現象は基板の修飾などの工学的応用に向け、様々な研究が行われている[1][2]。本研究は文献[3]の数値モデルを用い1次元の数値計算を行うことで、パターンの多様性を明らかにすることを目的としている。

2 実験方法および測定方法

数値計算で用いるモデルは、液滴の形を表す $h(\mathbf{r}, t)$ と溶質の濃度 $s(\mathbf{r}, t)$ 、析出物質の濃度 $q(\mathbf{r}, t)$ の3変数で表される。 \mathbf{r} は基板上での位置、 t は時刻を表す。 \mathbf{r} での溶液の厚み h の式は以下のとおりである。

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \nabla \cdot \left\{ \frac{1}{3} h^3 \nabla \left[-\gamma \chi(h) \nabla \cdot \left(\frac{\nabla h}{\sqrt{1 + (\nabla h)^2}} \right) + \chi'(h) \left(\gamma \frac{1}{\sqrt{1 + (\nabla h)^2}} - \Gamma \right) + h \right] \right\} - f_e \quad (1)$$

$$f_e = e [p_0 \exp(A\Phi) - p_v] \quad (2)$$

$$\Phi = -\gamma \chi(h) \nabla \cdot \left(\frac{\nabla h}{\sqrt{1 + (\nabla h)^2}} \right) + \chi'(h) \left(\frac{\gamma}{\sqrt{1 + (\nabla h)^2}} - \Gamma \right) \quad (3)$$

f_e は液滴の蒸発を表す。又、 χ は溶液があるところ($h > 0$)では1、ないところ($h = 0$)では0となる関数とする。数値計算では以下の式を用いる。

$$\chi_s(h) = \begin{cases} \tanh\left(\frac{h}{\delta}\right) & h > 0 \\ 0 & h \leq 0 \end{cases} \quad (4)$$

溶質の濃度 s と析出物質の濃度 q の式は以下のとおりである。

$$\frac{\partial s}{\partial t} = -\nabla \cdot (sv) + D_s \nabla \cdot \left[h \nabla \left(\frac{s}{h} \right) \right] - G(h, s, q) \quad (5)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \nabla \cdot [\tilde{D}_q \nabla q] + G(h, s, q) \quad (6)$$

$G(h, s, q)$ は析出を表し、

$$G(h, s, q) = \begin{cases} \omega_1 q (s - hc_1) & s < hc_1 \\ \omega_2 s (q - k(h, s)) & s \geq hc_1, q \geq k(h, s) \\ \omega_3 q (q - k(h, s)) & s \geq hc_1, q \geq k(h, s) \end{cases} \quad (7)$$

とする。

3 実験結果および検討

蒸発がない場合について、式(1)を空間1次元で50000ステップ数値計算したものを図1に示す。図1の横軸は x 、縦軸は h である。用いたパラメータは以下の通りとした。

$$\begin{aligned} \gamma &= 2.0 & \delta &= 0.01 & \Gamma &= 0.2 \\ e &= 0.0025 & p_0 &= 1.0 & p_v &= 0.0 \\ A &= 0.0 & dt &= 0.0005 & dx &= 0.01 \end{aligned}$$

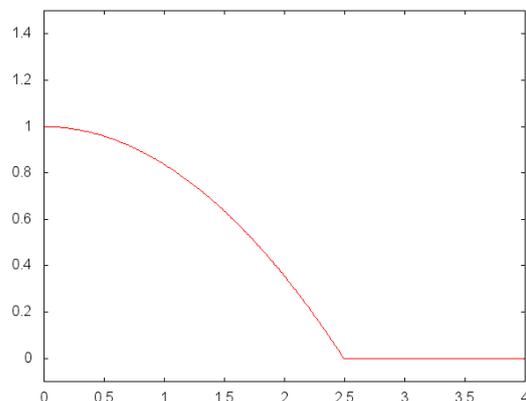


図1 蒸発なし

Pattern formation during droplet evaporation

Shun SEKIYA, Kohtarou YAMADA, Makiko NONOMURA and Ryo KOBAYASHI

図2は蒸発をさせた場合のシミュレーション結果である。計算を進めていくと液滴が蒸発し基板上的 h の値が小さくなり、蒸発過程が表現出来ていることがわかる。

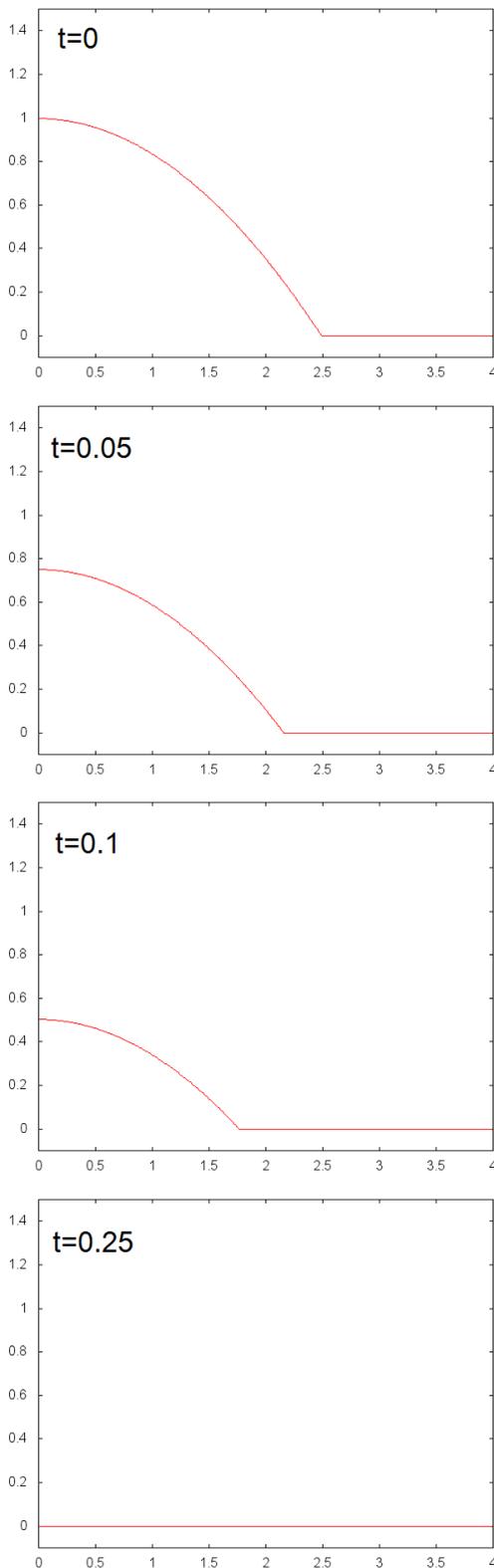


図2 蒸発あり

4 おわりに

図1、図2から式(1)で基板上的の溶液の蒸発を数値計算できることがわかる。学術講演会では溶質の析出を表す式(5)と式(6)も取り入れた計算結果を報告する。

「参考文献」

[1] O.Karthauss, L. Grasijo, N.Maruyama and M. Shimomura: *Ghaos* **9** (1990) 308.

[2] R. D. Deegan: *Phys. Rev. E* **61** (2000) 475.

[3] Makiko Nonomura, Ryo Kobayashi, Yasumasa Nishiura and Masatsugu Shimomura: *JPSJ* **72** (2003) 2468.