

# 粘弾性体における体積応力緩和に起因するシアバンディング

(東大生研) 高江恭平 田中肇

## 【はじめに】

古典的な線形弾性論において、等方性媒質の応力テンソルは体積弾性率およびシア（せん断）弾性率により特徴付けられる。これらはその名が示す通り、それぞれ体積変化及びシア変形に対してのばね定数という意味合いがある。このように体積変形とシア変形に対して異なる応答を示すという性質は、高分子溶液やゲルなどの粘弾性体においてもよく知られている事実である[1]。しかし、構成方程式において両者の差異を取り入れた考察は驚くほど少ない[2]。僅かであっても媒質の圧縮性があるとき、レオロジー特性がどのように修正されるだろうか？本研究ではこの視点から粘弾性体の構成方程式を再検討し、レオロジー特性を定性的に変えてしまう可能性について議論する。特に後述するように、体積粘弾性とシア粘弾性の差異を取り入れることでシアバンディング[3]を記述できることを示す。

## 【結果と考察】

レオロジーの構成方程式としてOldroyd-B model から出発し、流体の圧縮性を考慮する[4]。ここで現象論的に、線形弾性論及び流体力学と同様に、体積粘弾性とシア粘弾性の違いを導入する。そうして得たモデルについて、単純シア流における応力のふるまいを解析的・数値的に詳細に調べた。その結果、i) 均一状態を仮定したとき、シア応力はシア率に対して非単調な依存性を示し、しかもその表式はJohnson-Segalman modelによるものに酷似していること、ii) その結果として、強いシアのもとではシア速度勾配の小さな領域と大きな領域とに、密度変化を伴って自発的に分離するという、シアバンド形成が起こること（図）などを見出した。これらの結果はJohnson-Segalman modelによるものと類似であるが、我々のモデルは体積粘弾性という巨視的な物理量を用いて、レオロジー不安定性の分類に成功したという点、そして将来的な拡張の容易さという点で重要であると考えられる。

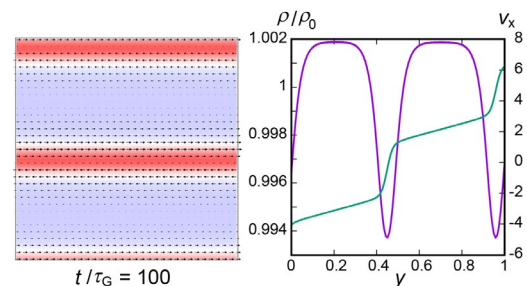


図:密度不均一化を伴うシアバンド形成の数値シミュレーション。

## 【参考文献】

- [1] J. D. Ferry, *Viscoelastic Properties of Polymers* (John Wiley & Sons, 1980); 松下裕秀他『高分子の構造と物性』（講談社, 2013）.
- [2] H. Tanaka and T. Araki, *Phys. Rev. Lett.* **78**, 4966 (1997); L. Grassia, A. D'Amore, and S. L. Simon, *J. Rheol.* **54**, 1009 (2010).
- [3] P. Olmsted, *Rheol. Acta* **47**, 283 (2008); T. Divoux *et al.*, *Annu. Rev. Fluid Mech.* **48**, 81 (2016); S.-Q. Wang, *Nonlinear Polymer Rheology* (John Wiley & Sons, Inc, 2018).
- [4] B. J. Edwards and A. N. Beris, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.* **36**, 411 (1990); P. C. Bollaudo and T. N. Phillips, *Arch. Rational Mech. Anal.* **205**, 1 (2012).