

33. Anisotropic Domains in Shear Flow

京大・基研 小 貫 明

§ 1 問 題

2相分離した液体をシェアーのある流動状態にしてみよう。すると境界面は破碎され細かいドメイン構造ができる。シェアーがある程度大きければ、ドメインサイズは充分小さく重力による沈降は無視できる。このような現象は、日常我々が経験するところのものであり、多様な場合がある。私が特に興味深く思うのは、(i) 臨界点近くの2成分溶液、そして、(ii) からみあった高分子混合物、である。前者に対しては既にある程度予備的な光散乱実験がある。後者には工業的に大きな意味がある。この小論では、前者に対し期待される物理を考察してみる。

はじめに2つの実験について言及する。 T_c 以下にした不安定な溶液を毛細管(~ 1 cm)に通し、レーザー光を透過させてみる。するとスクリーン上のスピノダルリングは1本の明るいすじ(streak とよぶ)に変化する(Beysens and Perrot 1984)。これはドメイン構造が急激に伸長されることに対応する。また2相分離した溶液に定常シェアーをかけてやると、境界面はなくなり一様にまざる。定常状態が実現される(Hashimoto)。

§ 2 Spinodal decomposition in shear

臨界点近くでは、特性的時間は次に与えられる。

$$\tau_\xi = \xi^2 / D = 6\pi\eta\xi^3 / k_B T_c \quad (1)$$

ここで D は拡散係数、

$$\xi \propto |T_c - T|^{-\nu}$$

は相関長、 η は粘性率である。簡単のため2成分の濃度比は臨界値にあるとし、温度 T を T_c 以下にする。シェアーがなければ、いわゆるスピノダル分解がおこる。シェアー S があると、ドメインの変形がおこる。2つの場合がある。

$$(i) \text{ weak shear case } \quad S\tau_\xi < 1,$$

$$(ii) \text{ strong shear case } \quad S\tau_\xi > 1.$$

前者の場合、ドメインは ξ よりずっと大きくなりドメインの異方性も大きくはならない。多く

の場合ドメインの大きさは、 $\sigma/\eta S$ の程度である。 σ ($\sim 0.1 k_B T_c / \xi^2$) は表面張力。臨界点からはずれてくると $(\sigma/\rho S^2)^{1/3}$ の程度になる場合もある。 ρ は密度である。strong shear の場合は、ドメインの特性時間よりずっと早く伸長がおこる。この場合は著しく異方的な構造ができる。散乱は鋭い streak で特徴づけられる。詳しくは、私のプレプリントを参照してください。

§ 3 Nucleation in shear

off-critical な場合を考えよう。ドロプレットがシェアーで変形、破碎される。このためドロプレットの大きさは、ある程度以上は大きくならない。しかしシェアーが充分弱ければ、観測可能な程度のドロプレットが出現するわけである。いわゆる臨界核が出現する必要条件は

$$S \tau_\xi < \phi \ll 1$$

である。 ϕ は volume fraction である。いったん出現したドロプレットは流れのため（拡散でなく）衝突、重合していく。このような成長過程（growth process）のタイムスケールは $1/S\phi$ である。しかしもうひとつの面白い側面は臨界核の birth process に対するシェアーの効果である。即ち、シェアーが充分小さくドロプレットの表面がはっきりできているなら、ドロプレットは表面張力のおかげでこわれぬ。しかしシェアーがいくら弱くても表面がはっきり形成されていないのなら、シェアーは濃度ゆらぎを（accumulative に）四散しうる。この最後の側面については、今のところ何の結論も出せない。

§ 4 コメント

シェアーによってできたドメイン構造は、ポリマーの分野で極めて重要な研究対象である。しかも手つかずに残っている。そのレオロジーは大変異常で、かつ普遍的であるようである。即ち数多くの系（dispersion, liquid crystal etc.）で見られる。ドメイン破壊による非ニュートン性などがその例である。

以上のような現象は、物理として扱われることはまずなく、大変 exotic なものであるが、何かができれば新しいと思う。類似の現象はいくらでもあると思うのである。