

# 不混和二相混合物の相分離過程

## Phase separation process of immiscible binary-Liquid mixture

# 佐藤 美寿々[1]; 隅田 育郎[2]

# misuzu sato[1]; Ikuro Sumita[2]

[1] 金大・自然; [2] 金大・理・地球

[1] Natural Sci and Tec., Kanazawa Univ.,; [2] Earth Sci., Kanazawa Univ.

### 1. はじめに

水と油の様に互いに不混和な系は自然界に普遍的に、様々なスケールで存在する。(マグマ (Silicate-Carbonate)、核形成 (Fe-Silicate)、土星内部の滴形成 (H-He) などが知られている。) これらの系は臨界温度以上で混和すると考えられるが、それ以下では不混和二相に分離し (段階 1)、さらに混合物の組成 (体積分率)、表面張力、密度差、粘性率などのパラメータに依存する重力分離過程を経て完全に二相に分離する (段階 2)。これまで物理学の分野において、段階 1 (平板もしくは無重力下) については多く実験されてきたが、段階 2 については低粘性率の物質を用いた実験 (1, 2) がある程度で、高粘性率の物質の分離過程については研究例に乏しい。また、分離のパラメータ依存性、分離に要するタイムスケール、分離時のパターン形成については未解決である。本研究では不混和二相混合物の重力下での分離力学を粘性比の大きな二流体を用いたアナログ実験を通じて理解することを目的とする。このような研究は、カーボナタイトのような不混和二相混合物を主成分とする火山岩の組織からその形成過程を推定するための基礎となる。

### 2. 実験方法

アクリル水槽 (5 × 10 × 18 cm<sup>3</sup>) に着色した蒸留水 (密度: 1.002 g/cc 粘性率: 1 mPas) とサラダ油 (密度: 0.925 g/cc 粘性率: 55 mPas) を入れ (油の体積分率  $\psi_0(0)$  を変える) 攪拌装置で試料を攪拌し、エマルジョンを作る。攪拌を止め、一定時間ごとに写真を撮り、観察、画像解析を行う。このとき巨視的挙動についてはカメラで、微視的挙動については顕微鏡を用いる。可変パラメータは、油の体積分率  $\psi_0(0)$  である。

### 3. 結果

#### (1) 定性的な分離

攪拌前完全に分離していた二相は、攪拌後、油に富む相・未分離の相 (混合相)・水に富む相に分離し、 $\psi_0(0)$  が 0.65 以下の時は、混合相には油滴が packing され、 $\psi_0(0)$  が 0.65 以上の時は水滴と油滴が packing される。上部境界、下部境界の位置をそれぞれ UB、LB とし、混合相に含まれる油滴の割合  $\psi_0(t)$  は、 $\psi_0(0)$  と境界の位置から  $\psi_0(t) = (UB - MB) / (UB - LB)$  でもとめられ、間隙率は  $\phi_W(t) = 1 - \psi_0(t)$  としてもとめられる。

#### (2) 境界の移動

境界 (LB, UB) の移動は二相の量比にかなり依存するが、二相が懸濁している段階 ( )、境界移動速度が大きな段階 ( )、境界移動速度が小さな段階 ( )、混合相が崩れる段階 ( ) に分けられる。

### 4. 解析

#### (1) 油の体積分率 $\psi_0(0)$ 依存性

(a) 油の体積分率  $\psi_0(0)$  が 0.65 以上のとき下部境界 (LB) の出現時間は大幅に遅れ、水滴の割合 (1 -  $\psi_0(0)$ ) の増加により境界出現時間が増大する。これは、水滴の数密度が増加するためだと解釈される。

(b) 混合相には油滴が packing され、その間を水がダルシーの法則に従って、浸透流として流れることによって LB が移動するというモデルをたてた。油滴の間隙にある水の体積分率、 $\phi_W$  に強く依存する浸透率 (Kozeny-Carman の式) を用いることによって、LB 移動速度を良く説明できる。

#### (2) 境界移動

境界の位置よりもとめた  $\phi W$  は、時間とともに変化している。Kozeny-Carman の式で粒径一定として LB 移動を見積もると、時間の経過とともに実験データからのずれが見られた。画像より粒径は成長しているため、粒径が空隙率  $\phi$  の二乗に反比例するという粒径成長モデルを用いると 段階の境界移動を良く説明することができる。

## 5 . 核形成過程との対比

地球の核形成は不混和な二相 (Fe、Silicate) が関与している。初期に混合された二相が完全に溶融している場合、鉄の滴が沈降し、Silicate メルトが浸透流として上昇すると考えられる。これは、構造的に本研究の  $\psi(0)$  が 0.65 以上の場合の相分離に類似している。一方、部分溶融している場合は、融点の低い鉄が岩石の粒界を浸透すると考えられ、 $\psi(0)$  が 0.65 以下の場合の相分離に相当する。地球は次第に冷えているので、初期に完全溶融していたとしても、時間の経過とともに後者の分離に移行していくと考えられる。

## 6 . まとめ

(1)境界 (UB, LB) 移動は 4 段階に分けられる。

(2) $\psi(0)$  が 0.65 以下のとき混合相には油滴が packing され、 $\psi(0)$  が 0.65 以上のとき油滴と水滴が packing される。

(3)境界出現時間、terminal  $\psi(t)$ 、terminal LB の  $\psi(0)$ 依存性を明らかにした。

(4) 段階の境界移動は時間依存する  $\phi W(t)$ 、 $r(t)$ を用いて説明できる。

(5)滴の合体併合過程は混合層の厚さの減少を強く律速する。

## 参考文献

[1]To K-W. and C-K.Chan(1992),Europhys.Lett, 19 (4), 311-316

[2]To K-W. and C-K.Chan(1994),Physica A, 205, 320-329