

粉体を含む粘性流体におけるレイリー・テイラー不安定の実験とその解析

Experimental Study on Rayleigh-Taylor Instability of a Viscous Fluid Containing Granular material

道岡 弘樹[1], 隅田 育郎[2], 並木 敦子[3]
Hiroki Michioka[1], Ikuro Sumita[2], Atsuko Namiki[3]

[1] 金大・自然科学, [2] 金大・理・地球, [3] 金沢大・地球
[1] Natural Sci & Tec., Kanazawa Univ, [2] Earth Sci., Kanazawa Univ., [3] Dept. Earth Sci., Kanawasa Univ.

はじめに

密度の小さい流体層がより密度の大きな流体層に覆われると、その境界において密度不安定性が増大し、重力不安定解消現象が引き起こされる。こうした現象はレイリー・テイラー不安定（以下 R・T 不安定）と呼ばれており、粘性流体の系で詳しい研究がなされているが、粉体を含む粘性流体を用いた R・T 不安定の研究は現在でもほとんどなされていない。

このような系の実験的研究は、Votz et al. (2000,2001)で行われたが、彼らの実験は低粘性系と低パッキングフラクションの系でパラメータ依存性に関しては殆ど調べられていない。

本研究では高パッキングフラクションで粘性や粒径などのパラメータを変化させて、粉体を含む粘性流体の R・T 不安定性のふるまいを調べ、粒径や粘性依存性を明らかにすることを目的とする。このような研究は、例えばマグマ溜りのダイナミクスを理解するための基礎となり、非ニュートン流体系のダイナミクスを理解する上で非常に興味深い。

実験方法

ガラスビーズとグリセリン水溶液(0%~99%)の入った高さ 35mm×幅 65mm×奥行き 10mm のスチロールケースを恒温水槽の中に入れる。圧密状態、ケース内部の温度を水槽の設定温度と同じにさせるため、約1日待つ。実験は、ケースを反転させ、その後の不安定性のふるまいをパラメータ（粘性と粒径）変えてビデオ録画し、それを画像解析する。

パラメータ：

本研究では特に と に着目している。

粘性流体の粘性

ガラスビーズの粒径

* パッキングフラクション = 0.6

結果と考察

・基本的なふるまい

初め、平らであったグリセリン（下部）と、グリセリンとガラスビーズの懸濁液（上部）の境界面にはやがて非常に細かなブルームが発生する。ブルームは粘性の高低、粒径の大小にかかわらず時間の経過とともに合体やグリセリン水溶液の浸入により希釈を受けて大きくなり、波数が減少する。このとき、ブルームの位置は指数関数的に増大する。さらに時間が経過すると、やがて上部のガラスビーズを含む懸濁液の層全体がプレートの沈み込みのようにポロッと剥がれ落ちる。その後、非常に細かなガラスビーズの懸濁液がゆっくりと沈降し、不安定が解消される。ブルームの成長には他にも粉体層内での水平方向の粉体の供給の度合いの大小が考えられるが、現時点でそのメカニズムを定量的に述べられるまでには至っていない。

・粘性依存性

結果

- ・粘性が高いほど初期不安定からの波数の時間的变化（減少）の割合が大きい。
- ・粘性が高いほど短波長が卓越する。
- ・ブルームの成長率は液体の粘性率に反比例する。

考察

粘性比の大きな2層流体の R・T 不安定の線形安定論により導かれた理論式（Whitehead and Luther, 1975）と、本実験で得られた実験式とを比較した。

本研究の実験式は、グリセリンとガラスビーズの懸濁液の実効的粘性率をグリセリンの粘性率の数100倍にし、

かつ層厚を粒径数個分でスケーリングすると、2層流体のR・T不安定の理論式とよく一致する。

・粒径依存性

結果

- ・ブルームの成長率は粒径にほぼ比例する。
- ・粒径が大きくなるにつれ、長波長的なアーチを形成する。
- ・粒径の大きなものはブルームの連結度が悪い。

考察

ブルームの成長率は2層粘性流体系では、高粘性層の層厚に比例するので、実験結果は層厚を粒径でスケーリングすることにより説明できる。

粒径が大きなものほど連結度が悪くなるのは、ガラスビーズに働く浮力とガラスビーズとグリセリンの界面に働く界面張力の比（界面張力/浮力）が小さくなるためと考えられる。

地球への応用

本研究で明らかになったスケーリング則をマグマだまりへ応用した。Worster et al. (1993) によれば、深さ10mから100mの玄武岩質マグマで構成されるマグマだまりの部分溶融層の厚さはおよそ3～5mになる。部分溶融層がR・T不安定により壊れるタイムスケールは105秒のオーダーで、固化するタイムスケールは106～108秒のオーダーである。溶岩湖で部分溶融層が形成されると、部分溶融層とメルトの間でR・T不安定が起こりうる可能性がある。

まとめ

- ・成長率の液体粘性率と粉体の粒径の依存性の実験式を求めた。
- ・2層粘性流体についての線形安定論の理論式と比較した結果、不安定成長のスケーリングは層厚ではなく、粒径数個分の厚みを用いてスケーリングすると説明できる。
- ・スケーリング則をマグマへ応用した。このメカニズムは粒径スケールでのマグマ混合に有効である。