

フラクタル解析を用いた火道内混合の進化過程の研究

Fractal analysis of experimentally unstable flow in a conduit

佐藤 鋭一 [1]; 山崎 和仁 [2]

Eiichi Sato[1]; kazuhito yamasaki[2]

[1] 神戸大・自然・地球惑星; [2] 神大・理・地球惑星

[1] Earth and Planet. Sci., Graduate School of Sci. and Tech., Kobe Univ.; [2] Earth and Planetary Sci., Kobe Univ

降下火砕堆積物や火砕流堆積物中には、一般的に苦鉄質マグマと珉長質マグマが混合の途中で凍結したとされる縞状軽石が含まれており、その成因として火道内でのマグマ混合が考えられてきた (Wada, 1995)。火道内混合のメカニズムは、物性の異なる 2 種類の液体をパイプ内に流す実験によって明らかにされ、混合の境界条件が推定された (Koyaguchi, 1985; Blake and Campbell, 1986; Freundt and Tait, 1986; Koyaguchi and Blake, 1989; Sato and Sato, 2009)。Blake and Campbell (1986) はパイプの中央を流れる液体のレイノルズ数に注目し、レイノルズ数が大きくなるに従い流れの不安定の度合いが大きくなり、周囲の液体をより取り込むことを示した。また、Freundt and Tait (1986) は液体に不安定が生じる条件をレイノルズ数と 2 種類の流体の粘性比によって表し、粘性比が大きくなるほど小さいレイノルズ数でも不安定が生じることを示した。しかし、これまで行われた研究では主に中央を流れる液体に不安定が生じる条件に注目しており、混合の程度を定量化した研究は行われていない。本研究では、物性の異なる 2 種類の液体をパイプ内で流下させる実験を行い、2 種類の液体の境界の形状をフラクタル次元で表し、混合の程度および混合の進化過程を議論した。

実験にはアクリル板を用いて作成した容器 (60 mm*60 mm*80 mm; 底辺*底辺*高さ) の底にアクリルパイプ (内径: 10 mm, 長さ: 600 mm) を取り付け装置を用いた。実験は容器内に異なる物性をもつ 2 種類の液体 (liquid 1: 低粘性 (v_1)・低密度 (d_1)・赤色に着色; liquid 2: 高粘性 (v_2)・高密度 (d_2)・無色透明) を上部に liquid 1, 下部に liquid 2 となるように密度成層させ、パイプ内にはあらかじめ liquid 2 を満たしておいた。パイプの下部には栓が取り付けられており、液体の流れがない状態である。実験は栓を開くことで始まり、重力によって液体を流下させた。パイプ内での液体の流れはビデオカメラで記録し、2 種類の液体の境界の複雑さを示す指標として、ボックスカウンティング法によってフラクタル次元を求めた。この実験では、パイプ内での流れを 2 次元の画像として処理している。

実験開始後、liquid 2 のみがパイプに吸い込まれ、liquid 1 がある高さになると liquid 2 の粘性力によって引っ張られ、2 種類の液体は同時にパイプ内を流下する。そのとき liquid 1 はパイプの中央、liquid 2 は liquid 1 の周囲を流れている。初め liquid 1 は安定した糸状の形態を示すが、時間の経過とともに数珠状に連なった形状へと発達する。個々の数珠のサイズは時間とともに大きくなっていき、最終的にはパイプ内のほとんどを liquid 1 が占めるようになる。周囲の液体の取り込みは、数珠のサイズが発達していく段階で確認できる。Liquid 1 のレイノルズ数は時間とともに上昇するが、数珠状の形態が発達してからは、ほぼ一定のレイノルズ数を保ち、パイプ内のほとんどを liquid 1 が占めるようになると、再びレイノルズ数が急激に上昇する。中央を流れる液体に不安定が生じるレイノルズ数 ($Re_{critical}$) と液体の粘性比 (v_2/v_1) には、 $Re_{critical} = 4.0 \cdot 10^4 \cdot (v_2/v_1)^a$ となる関係が得られた。ここで、 a はおよそ -0.6 となる。これは Freundt and Tait (1986) で推定された関係とほぼ同じである。また、2 種類の液体の境界の複雑さを表すフラクタル次元 (D) は実験初期の糸状のときに最小で ($D = 1.01-1.02$)、細かい数珠が形成されると最大になり ($D = 1.04-1.06$)、数珠が発達していくと再び小さくなっていく。つまりフラクタル次元が最大となったときに 2 種類の液体の接触面積が最大となり liquid 2 を取り込む能力が最も大きくなるが、数珠が発達することで liquid 2 を取り込む能力は減少し、取り込まれた liquid 2 が liquid 1 の流れの中で混合するというメカニズムに移行するものと考えられる。今後、レイノルズ数とフラクタル次元の関係を検討し、混合過程の進化を明らかにする予定である。