

乱流プルームの形状進化: 実験的アプローチ

Morphological evolution of turbulent plumes : experimental approaches

北村 翔吾 [1]; 隅田 育郎 [2]

Shogo Kitamura[1]; Ikuro Sumita[2]

[1] 金大・理・地球; [2] 金大・自然研

[1] Earth Sci., Kanazawa Univ.; [2] Nat.Sci.Tech., Kanazawa Univ.

はじめに: 乱流 (レイノルズ数 $gt 1$) プルームは自然界に多く見られ、火山の噴煙柱はその代表的な例である。乱流プルームは噴出後に周囲の流体を巻き込み、十分発達すると円錐状の特徴的な形状になる。噴出され定常状態になったプルームについては室内流体実験を用いて良く調べられており、例えば Kaminski et al. (2005) では浮力、流量の異なるプルームが上昇を続けるか途中で崩壊するかについて調べている。また、実際の火山の噴煙柱の画像を用いて上昇過程の詳細も調べられている (Patrick, 2007)。しかし、定常状態に達する前段階でのプルームの形状の特徴、巻き込み率の時間発展、及びそれらの無次元パラメータ (レイノルズ数、フルード数) 依存性についての研究は少ない。これらの間の関係が分かれば、火山の噴煙柱の形状の時間発展から噴出パラメータ (初速度、温度) が制約できる可能性がある。そこで私たちは流体実験から得られた画像よりプルームの形状を定量化し、その時間発展を調べた上で、レイノルズ数及びフルード数に対する依存性を明らかにする事を目的として基礎研究を行っている。以下にその予備的な結果を記す。

実験、解析方法: プルームとなる作業流体として、微量 (5×10^{-3} wt%) の蛍光染料を混ぜた練乳水溶液 (密度 1.020g/cc) 及び食塩水 (20wt%, 1.158g/cc) を用いた。水を満たした 30cm 四方、高さ 50cm のアクリル容器を用い、容器の上部に設置した内径 1mm のノズルから作業流体を噴出してプルームを生成する。実験は暗室の中で行い、プルームを見やすくする為に左右からスリット光を当て、前方から HD ビデオカメラで撮影してその画像を解析した。噴出速度は作業流体を入れた容器の高度を変化させることで制御でき、これによりレイノルズ数を変化させた。また、フルード数は作業流体を変えることによって変化させた。本実験ではレイノルズ数を 250~580、フルード数を 7~42 の範囲で変化させた。解析は撮影した動画から静止画像を切り抜き、落下速度、断面積、体積 (各高さで軸対称とした)、巻き込み率等を PC で計算してその時間発展を調べた。時間発展は、落下距離を除いて全てプルーム先端位置をノズル径で徐算した無次元高さで整理した。

結果と考察:

(1) 落下速度、断面積、体積の時間発展:

画像解析の結果、プルーム形状は時間が増すに従い (I) 先端が丸く指のような形状の Finger Like、(II) 直線状の尾と丸い頭を持つ Plume with Head、(III) 円錐状の形状を持つ Cone Like という 3 つのレジームに分類できることが分かった。I-II 及び II-III の遷移はプルームの先端位置がノズルから約 3~5cm、20cm 付近にある時点で起こった。落下距離の時間変化を調べたところ、高レイノルズ数、低フルード数ほど一定の高さにまで落下するのに要する時間は短いことが分かった。また落下速度の時間発展を調べたところ、低フルード数では落下に伴う減速の度合いが小さいことが分かった。これはフルード数が小さい程浮力が大きくなる為であると解釈できる。断面積及び体積の時間発展を調べたところ、無次元高さ 30~50 で増加率が增大しており、I-II レジームの遷移位置とほぼ対応することが確認された。

(2) プルームの形状の特徴:

バルク巻き込み率を (単位時間あたりの体積の増加分-注入流量)/(注入流量) と定義して計算したところ、無次元高さが約 200 で一定値となることが分かった。これは Cone Like レジームの遷移位置とほぼ一致する。またプルームの境界長さ/(断面積)^{0.5}、プルームの重心/先端位置の時間変化を調べたところ、無次元高さが約 30~50 で増加率が変化していることが分かり、I から II レジームへの遷移が明確に捕えられていることが確認された。これは遷移する位置でプルーム先端の速度が急に減速し、巻き込みを開始すると同時に、源からは常に作業流体が供給されているので、そのためプルーム先端の体積が膨れ上がるためだと考えられる。一方、プルームの尾の長さの時間変化を調べたところ、レイノルズ数の増加に伴って全体的に尻尾は短くなるが、無次元高さ約 110~130 で尾の長さが一定になることが分かった。従ってこの高さにおいて、II レジームをさらに二つのレジームに分類できると考えられる。以上の結果から、プルームの進化に伴う 3 つのレジームが遷移する高さが画像から判定できれば、噴出時のレイノルズ数、フルード数が制約でき得ることが分かった。