

フラクタル次元を用いたブルーム進化のモデル実験

Laboratory experiments of turbulent plume and their fractal dimensions

北村 翔吾 [1]; 隅田 育郎 [1]

Shogo Kitamura[1]; Ikuro Sumita[1]

[1] 金大・理・地球

[1] Earth Sci., Kanazawa Univ.

ブルームは自然界に多く見られ、地球や惑星の大気、及び海洋などで普遍的に見られる。例えば火山の噴煙柱や、海底のブラックスモーカーが吐き出す煙などがよく知られている。従って、このような現象を理解するためにはブルームの物理過程を理解する事が非常に重要である。ブルームの成長過程については室内実験を用いて良く調べられており、Fernando et al. (1998) はブルームの落下速度(上昇速度)や幅、落下距離のパラメータ依存性について研究を行っている。しかし、ブルームについての形状(フラクタル次元、巻き込み率など)とパラメータ(レイノルズ数など)の関係についての研究は少ない。乱流の輪郭のフラクタル次元のレイノルズ数依存性は、Sreenivasan et al. (1989) によって調べられており、ブルームについても同様に特徴づけられる可能性がある。従って本研究ではアナログ実験を行い、ブルームの形(巻き込み率、フラクタル次元)の進化とレイノルズ数の間の関係を明らかにする事を目的とした。以下にその予備的な結果を示す。

ブルームとなる作業流体として、微量(5 × 10⁻³wt%)の蛍光染料を混ぜた練乳水溶液(密度 1.020g/cc)を用いた。水を満たした 16cm 四方、高さ 25cm の容器を用い、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ブルームを生成する。実験は暗室の中で行い、ブルームを見やすくする為に左右からスリット光を当て、前方からデジタルカメラで 1 秒間隔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ることができる。本実験ではレイノルズ数を 250 ~ 1260 の範囲で変化させた。

ブルームの巻き込み率は、レイノルズ数依存性を調べる為に全ての実験でノズルの先端からブルームヘッドまでの落下距離が 15 ± 1cm となった所での体積を画像から計算し、その地点までに放出された流体の累積流量との比として計算した。また、ブルームの形の複雑性の指標としてフラクタル次元を用い、本実験では「ボックス・カウント法」で計算した。フラクタル次元のレイノルズ数依存性も、体積の場合と同様にブルームヘッドまでの落下距離が 15 ± 1cm になった所で全ての実験についてフラクタル次元を計算した。

ブルームの形と巻き込み率：

画像解析の結果、ブルームの形状は、レイノルズ数の範囲に応じて噴出後から蛇行しながら落下拡散する蛇行拡散型(250 < Re < 360)、円錐型を保ちながら拡散する円錐型(800 < Re < 1260)、その中間にあり、噴出後は長い尻尾と頭を持ち、その付け根に 0.5 ~ 1cm の渦を持つが、次第に円錐形に遷移していく遷移型(360 < Re < 800)という 3 つのレジームに分類できることが分かった。その境界は Re ~ 360、800 付近であった。15 ± 1cm まで落下するのに要した時間を調べたところ、蛇行拡散型と遷移型ではレイノルズ数が増加すると共に減少し、円錐型では一定値となった。これはレイノルズ数が大きくなるにつれて初速度が増大し、巻き込みによる減速が顕著になる為であると解釈できる。巻き込み率のレイノルズ数依存性を調べたところ、レジームに関係なく巻き込み率はレイノルズ数に伴って増加し、高レイノルズ数程渦乱流による周囲の流体の巻き込みが顕著であることが確認された。

フラクタル次元：

画像からフラクタル次元のレイノルズ数依存性を計算した結果、蛇行拡散型ではフラクタル次元はエラーバーの範囲でほぼ一定値(1.10)であることが分かった。遷移型、円錐型ではレイノルズ数と負の相関があり、相関係数は - 0.82 である。また蛇行拡散型から遷移型でフラクタル次元が増加(1.10 から 1.17)することが分かったが、これは前者では主要な渦のスケールが 2cm であるのに対し、遷移型では 0.5 ~ 1cm の渦ができることが原因であると考えられる。一方で、遷移型から円錐型に移行するにつれて、0.5 ~ 1cm の渦が消滅するため、フラクタル次元が減少すると考えられる。以上の結果は、ブルームの画像からレジームを判断し、フラクタル次元を求めることによって、レイノルズ数が制約できる可能性を示す。

Fernando H.J.S., et al, Phys. Fluids, 10, 2369-2383, 1998.

Sreenivasan K.R., et al, Phil. Trans. R. Soc. London, 421, No.1860, 79-108, 1989.