

回転流体における軸対称乱流プルームの合体に関する室内実験



*山本 博基 (京都大学大学院理学研究科), Claudia Cenedese (Woods Hole Oceanographic Institution)

要約: 本研究では回転系における均質流体中での、2つの軸対称乱流プルームの合体に関する室内実験を行った。プルームの振る舞いは時刻 $t = 0.75T_f$ ($T_f = 2\pi/f$) までは非回転系での合体理論 (Kaye and Linden, 2004) に従った。その後、プルームは回転の効果を受けて、1つまたは2つの渦を生成した。生成される渦の数は、エントレインメント定数、プルーム源間の距離、浮力フラックス、およびコリオリパラメータから予測できることが分かった。

1. はじめに

点源から発生する軸対称乱流プルームは様々なスケールで観測される。火山の噴煙、煙突からの排煙、海底火山の熱水噴出などが好例である。環境場の回転や成層の有無はプルームの振る舞いに影響を与えるため、様々な実験的研究が行われてきた。

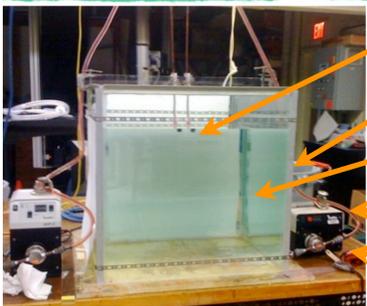
Fernando, Chen, and Ayotte (1999) は回転均質流体中の軸対称乱流プルームの発達を調べ、プルームは $z = 1.7F_0^{1/4}t^{3/4}$ で発達し、 $t = 0.75T_f$ 後、すなわち $z_f = 5.5F_0^{1/4}f^{-3/4}$ 発達してから回転の効果は顕著に現れることを示した。

一方、2つのプルームの点源が隣り合っている場合、プルームはやがて1つに合体することが知られている。Kaye and Linden (2004) は非回転均質流体中のプルームの合体を理論的および実験的に調べ、合体する深さ z_m は $z_m = (0.44/\alpha)x_0$ に従うことを示した。ただし α はエントレインメント定数、 x_0 は点源間の距離である。

本研究では、回転均質流体中での2つのプルームの振る舞いを回転水槽実験で調べる。

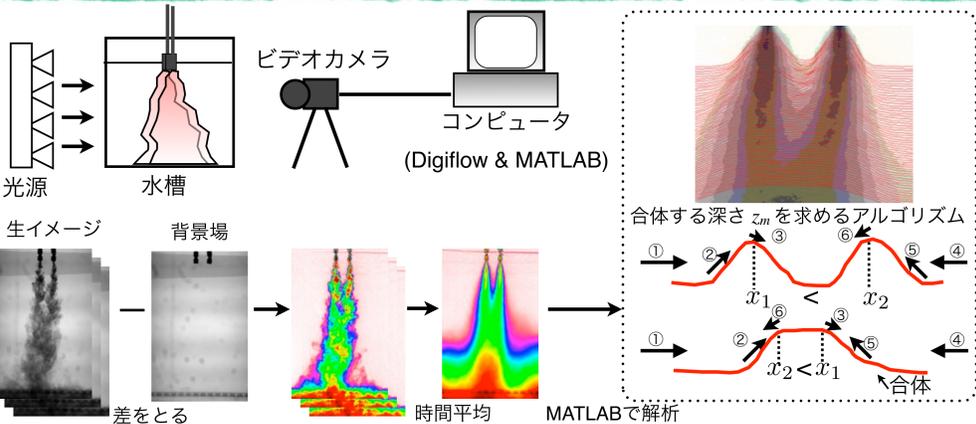
2. 実験設定

2.1 装置



- Cooperノズル：乱流プルーム発生器
- 水槽：底面 $60 \times 60 \text{ cm}^2$, 深さ 45cm
- 真水 (1.0 g/cm^3)
- 着色した海水 (1.25 g/cm^3)
- ポンプ：流量一定 ($1.7 \text{ cm}^3/\text{s}$)

2.2 可視化手法



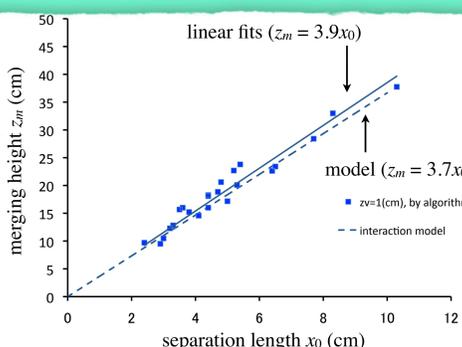
2.3 実験パラメータ

非回転実験 (Kaye and Lindenの追試) : $x_0 = 2.4 \sim 10.3 \text{ cm}$
 回転実験 : $f = 0.05, 0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0 \text{ s}^{-1}$, $x_0 = 3, 5, 8, 10 \text{ cm}$
 浮力フラックス : $F_0 = 41 \text{ cm}^4/\text{s}^3$
 エントレインメント定数 : $\alpha = 0.12$ (Baines and Turner (1969) の方法で測定)

3. 実験結果

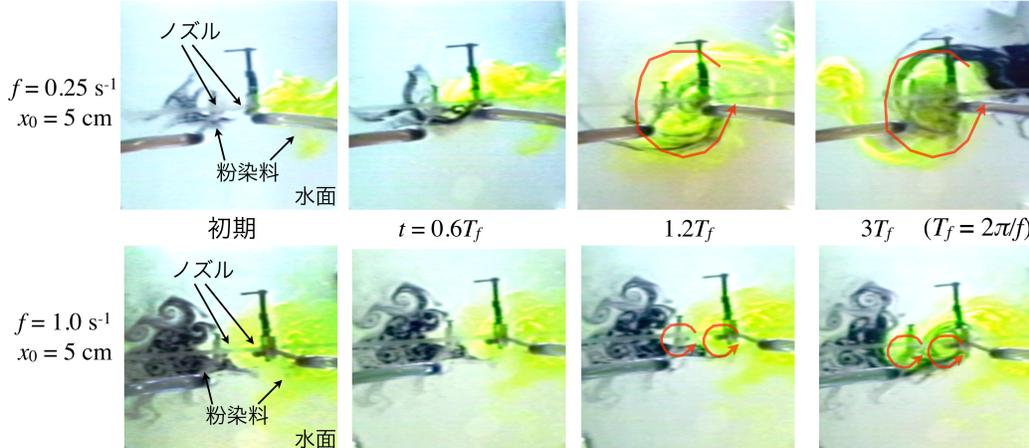
3.1 非回転実験

点源間の距離 x_0 と合体する深さ z_m との関係は Kaye and Linden の理論 $z_m = (0.44/\alpha)x_0$ とよく一致。



3.2 回転実験

回転実験ではプルームは、エントレインメントの流れに働くコリオリ力の作用で渦を生成した。プルームは生成した渦に流され、非定常状態になった。渦は f と x_0 に依存して1つまたは2つ生成された。

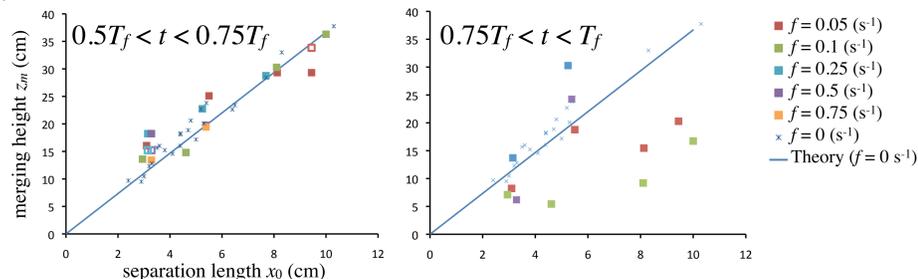


水面を上から見た図。初期に粉染料を水面に配置して流れを可視化している。

4. 解析

4.1 合体する深さと回転の効果

下図は回転の効果が出る前 ($0.5T_f < t < 0.75T_f$) と後 ($0.75T_f < t < T_f$) での x_0 と z_m との関係を示している。これより $t < 0.75T_f$ では z_m は非回転系での理論 $z_m = (0.44/\alpha)x_0$ に従うことがわかる。しかし $t > 0.75T_f$ では z_m は理論値から大きくずれている。

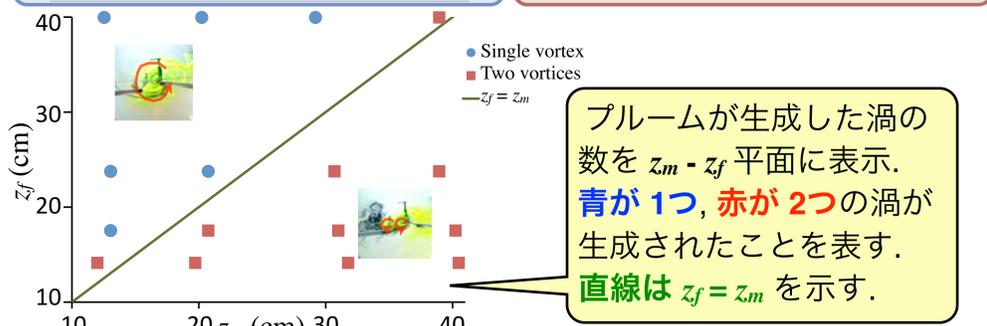


4.2 プルームが生成する渦

プルームが生成する渦の数の違いは、回転の効果を感じる深さ $z_f = 5.5 F_0^{1/4} f^{-3/4}$ と合体する深さ $z_m = (0.44/\alpha)x_0$ の大小関係で理解できる。

$z_f < z_m$ ならばプルームは回転の効果を感じる前に合体し、合体後のプルームが1つの渦を生成する。

$z_f > z_m$ ならばプルームは合体する前に回転の効果を感じ、2つのプルームが各個に渦を生成する。



謝辞

本研究は発表者が米国 Woods Hole Oceanographic Institution のフェローシッププログラム Geophysical Fluid Dynamics 2009 に参加して行われたもので、参加にあたり神戸大学・北海道大学グローバルCOEプログラム/惑星科学研究センターの支援を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- Baines and Turner, 1969: *JFM*, **37**, 51-80
- Fernando, Chen, and Ayotte, 1998: *Physics of Fluids*, **10**, 2369-2383
- Kaye and Linden, 2004: *JFM*, **502**, 41-63