

中央大学理工学部 学生員 ○袴田 興太郎
北見工業大学 正員 内島 邦秀

中央大学理工学部 正員 池永 均 山田 正
中央大学大学院 学生員 大東 淳一

1. はじめに 海洋や大規模な湖沼の流れ、地球大気の運動などを議論する際には、地球の自転による影響を考慮しなければならない。著者らはこれまでに、噴流がコリオリ力を受け始めるのはロスビー数(以下、 Ro)が1のオーダーであること¹⁾、噴流放出口のフルード数が非常に小さい流れ(以下、遅い噴流)は蛇行すること²⁾などを明らかにしてきた。本研究は回転場における遅い噴流の拡散過程を実験的に明らかにすることを目的とする。

2. 実験装置の概要 本実験で用いた水槽は200cm×200cmの正方形で深さは30cmである。水槽全体は中心がターンテーブルの回転軸から偏心のないように設置されており、反時計回りに回転する。また噴流の放出口は鉛直方向に5cm間隔で設置してある。

3. 実験内容 本研究の実験条件を表1に示す。2通りの噴流流速2.5cm/s, 4.0cm/sに対しそれぞれ水槽の回転速度のみを変え、回転効果が遅い噴流の挙動に与える影響を明らかにする。さらに流速の違いが、遅い噴流の挙動に与える影響を調べる。また、噴流流速は回転のない状態でトレーサの先端が放出口から10cm地点に達するまでの平均流速としている。

表1 実験条件

4. 実験結果及び考察

4.1 非回転場における遅い噴流の挙動について

図1は実験Aの非回転場(RUN A-1)における遅い噴流の時系列である。遅い噴流は放出後間もなく噴流軸に対し左右に渦をつくりながら蛇行を始めるが拡散は顕著にみられない。この場合トレーサは放出口から15cmの地点より3次的に拡散する。

		水深 h(cm)	噴流流速 u(cm/s)	フルード数 Fr	回転周期 T(s)	ロスビー数 Ro	エッジ数 E
A	RUN A-1	27	2.5	0.015	0	-	-
	RUN A-2	27	2.5	0.015	60	0.13	0.80
	RUN A-3	27	2.5	0.015	120	0.24	1.5
	RUN A-4	27	2.5	0.015	200	0.40	2.6
	RUN A-5	27	2.5	0.015	300	0.60	3.8
B	RUN B-1	27	4.0	0.025	0	-	-
	RUN B-2	27	4.0	0.025	60	0.20	0.80
	RUN B-3	27	4.0	0.025	120	0.38	1.5
	RUN B-4	27	4.0	0.025	200	0.65	2.6
	RUN B-5	27	4.0	0.025	300	0.95	3.8

4.2 回転場における遅い噴流の挙動について 図2は実験Aの回転場(RUN A-2)における遅い噴流の時系列である。放出口付近において、遅い噴流はコリオリ力を受け大きく右に曲がる。また慣性力が大きく放出に伴う流れが支配的となるため、トレーサは非回転場と同様3次的な拡散をする。一方放出口を離れた領域では、トレーサは水平方向の拡散をせず鉛直方向に一樣な2次元流れ(テラー=プラウドマンの定理)となる。すなわち表2の式(2.4), (2.5), (2.8)が示すように、各成分の鉛直方向の速度勾配が0となるためせん断力が働かず、トレーサは周囲流体への拡散がない安定した流れとなる。さらに2次元流れは多数の渦を形成する。これらの渦は他の渦やトレーサとの混合はあるが、非回転場のように3次的な拡散をすることはない。また、反時計回りの渦が時計回りの渦より多く形成される傾向があるが、渦の進行方向に一定の規則性はみられない。

4.3 回転速度の違いが遅い噴流の挙動に与える影響について 図3は実験Aの各回転周期の同時刻(噴流放出9分後)におけるトレーサの挙動を比較したものである。この図より放出口を離れた領域における遅い噴流が、回転速度(Ro)により全く異なる挙動をしていることが分かる。遅い噴流は水槽の回転速度が速く(Ro が小さく)なるにつれ、水平方向に拡散せず鉛直方向に一樣な2次元流れとなり、明確な輪郭を持つ渦を多数形成するようになる。

表2 テラー=プラウドマンの定理の導出

遅い噴流はコリオリ力と圧力勾配がつりあい

$$\frac{\partial p'}{\partial x'} = 2\rho\omega v' \quad (2.1) \quad \frac{\partial p'}{\partial y'} = -2\rho\omega u' \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial p'}{\partial z'} = 0 \quad (2.3)$$
 となっている。
 式(2.1), (2.2)を z で偏微分し式(2.3)の関係をを用いると

$$\frac{\partial u'}{\partial z'} = 0 \quad (2.4) \quad \frac{\partial v'}{\partial z'} = 0 \quad (2.5)$$
 を得る。また式(2.1), (2.2)をそれぞれ y, x で偏微分し、圧力 p を消去すると

$$\frac{\partial u'}{\partial x'} + \frac{\partial v'}{\partial y'} = 0 \quad (2.6)$$
 となる。式(2.6)と連続式

$$\frac{\partial u'}{\partial x'} + \frac{\partial v'}{\partial y'} + \frac{\partial w'}{\partial z'} = 0 \quad (2.7)$$
 より

$$\frac{\partial w'}{\partial z'} = 0 \quad (2.8)$$
 となる。
 ここで符号'は、回転系の座標に関して表した量である。

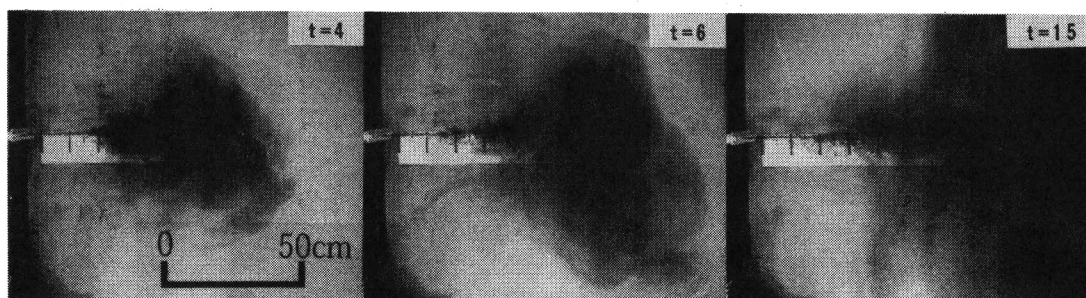


図1 非回転場(RUN A-1)における遅い噴流の時系列(分)

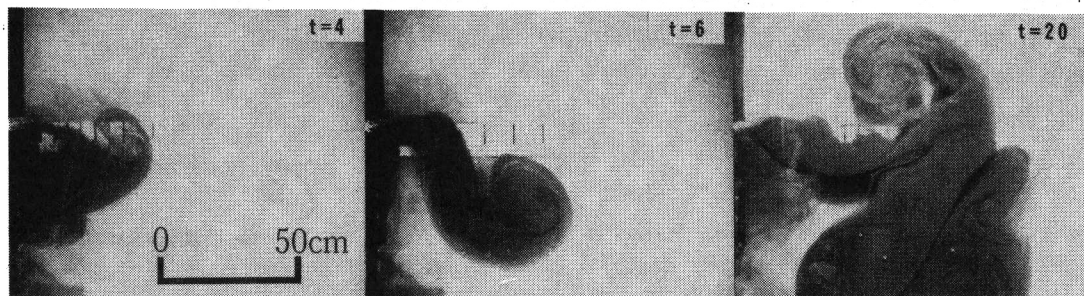
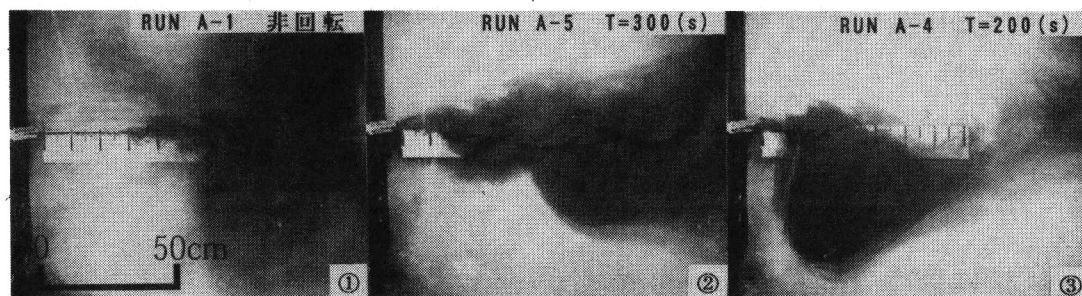
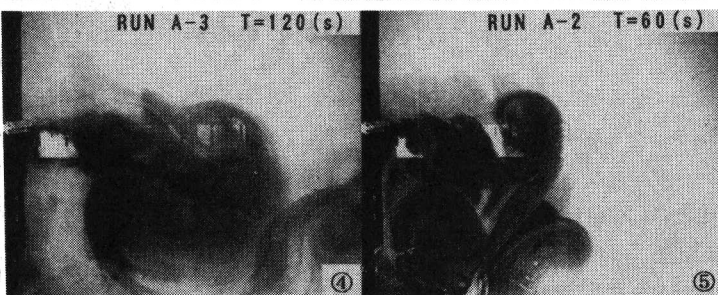


図2 回転場(RUN A-2)における遅い噴流の時系列(分)



噴流流速を変えた実験Bについても、4.1から4.3に述べた結果と同様の傾向が得られた。

5.まとめ 1)フルード数の非常に小さい遅い噴流は、回転場と非回転場とで全く異なる挙動をすることが確認できた。2)回転場における放出口から離れた領域でのトレーサの挙動は、回転速度(Ro)に依存する。3)回転速度が速く(Ro が小さい)なるにつれ、トレーサは鉛直方向に一樣な2次元流れ(テラー=プラウドマンの定理)となり、多数の渦を形成するようになる。2)回転速度が遅く(Ro が大きい)なるにつれ、渦は形成されにくく3次的に拡散するようになる。



①:非回転, ②:回転速度が遅い ←→ ⑤:速い
図3 回転周期の違いによる遅い噴流の挙動の比較
(噴流放出9分後)

参考文献 1)山田正・日比野忠史・宮崎誠・笠井雅弘:大型回転水槽を用いた回転流体に関する基礎的研究,第21回土木学会関東支部, pp. 154-155, 1994. 2)池永均・山田正・内島邦秀・笠井雅弘・大東淳一:閉鎖性水域に流入する遅い流れの挙動に関する実験的研究,第23回土木学会関東支部, pp. 326-327, 1996.