

中央大学理工学部 学生員○森田 敦子

中央大学理工学部 正 員 池永 均

中央大学大学院 学生員 袴田興太郎 大東 淳一

中央大学理工学部 正 員 山田 正

1.はじめに 地球上の大規模な流体運動を議論する際には、地球の自転による影響(コリオリ力)を考慮しなければならない。著者らはこれまでに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、非回転場においては蛇行すること¹⁾、回転場においては多数の渦を形成し、その渦の形成順序には規則性があること²⁾などを実験と数値計算により明らかにしてきた。本研究は回転場に遅い噴流を放出し続けるときの渦の形成機構と、遅い噴流によって形成された渦の諸特性を実験的に明らかにすることを目的としている。

2.実験内容及び方法 本研究は、表1に示す3パターン(R

表1 実験条件

実験番号	噴出口の条件	回転周期 T(s)	ロスビー数 Ro	エクル数 E
A	放出口:1本	0	-	-
		45	0.050	2.6×10^{-6}
		60	0.069	3.7×10^{-6}
		120	0.139	7.3×10^{-6}
B	放出口:2本 放出口間隔:30cm	0	-	-
		45	0.050	2.6×10^{-6}
		60	0.069	3.7×10^{-6}
		120	0.139	7.3×10^{-6}
C	放出口:2本 放出口間隔:60cm	0	-	-
		45	0.050	2.6×10^{-6}
		60	0.069	3.7×10^{-6}
		120	0.139	7.3×10^{-6}

水深: $h=37(\text{cm})$ 噴流流速: $u=2.5(\text{cm/s})$ フルード数: $Fr=0.013$ $Ro=V/2\omega L$ (代表スケールL: 噴流が広がる最大スケール=1.8m) $E=\nu/2\omega L^2$ (代表スケールL: 水深=37cm)

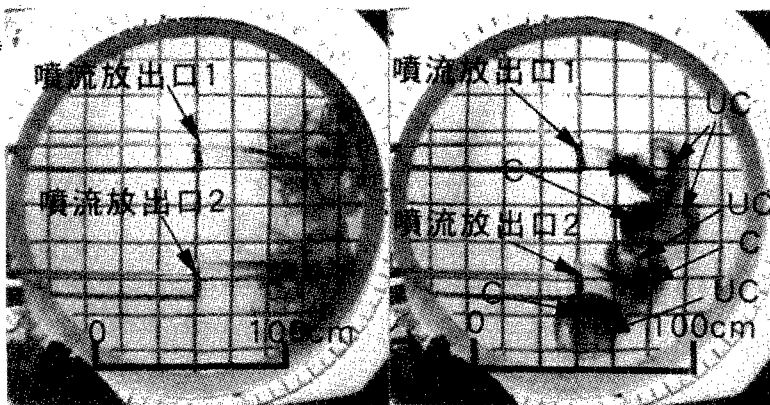
UN A, B, C)の条件で実験を行った。RUN Aは遅い噴流が回転場に形成する渦の形成機構を明らかにすることを目的とし、水槽の中心に設置した1本の噴流放出口を用いて実験を行った。噴流放出口は直径5mmの放出口を2cm間隔で鉛直方向に18点設置したものを使用した。

RUN B, Cは回転場に形成された渦の諸特性を明らかにすることを目的とし、水槽の中心から等距離にある2本の噴流放出口を用いて実験を行った。噴流放出口はRUN Aで使用したものと同一のものであり、その間隔はRUN Bでは30cm、RUN Cでは60cmとした。本実験で用いた回転水槽は水深37cm、直径180cmの円形であり、水槽全体は反時計回りに回転する。本実験は対象としている現象が非常にゆっくりとした乱流であるため、同一条件で実験を行った場合でも完全に現象を再現することはできないが、遅い噴流の全体的な挙動に注目すれば十分な再現性を確認できた。

3.実験結果及び考察 図1に示すように、遅い噴流は非回転場では噴流軸に対称的な拡散をし、回転場ではロスビー数(以下 Ro)に依存した挙動をする。回転場に放出された直後の遅い噴流は非回転場と同様な拡散をし、放出されて時間の経過した遅い噴流は鉛直方向に一樣な二次元流れとなる。これは慣性力と摩擦力が無視できる回転場においては、一般的にコリオリ力と圧力が釣り合うことを示したテラー=プラウドマンの定理に従うものである。

1)渦の形成機構: 図2-①に示すように、回転場において遅い噴流はコリオリ力を受け大きく右に曲がり、後続する流体を巻き込みながら

時計回りの渦(C)を形成する。時計回りの渦(C)は時間の経過とともに大きくなるが、ある程度の大きさに達すると遅い噴流は左に曲がり、反時計回りの渦(UC)を形成するようになる。これは渦がある程度の大きさになると渦に隣接する遅い噴流の圧力が、渦部の圧力より小さくなるためと考えられる。以降遅い噴流はこの機構を繰り返し、時計回りの渦と反時計回りの渦を交互に形成しながら全体として時計回りの流れを形成する。2)渦



RUN C-1

非回転場での遅い噴流の挙動

RUN C-4

回転場での遅い噴流の挙動

図1 非回転場と回転場での遅い噴流の挙動の比較(噴流放出7分後)

キーワード: 渦対、コリオリ力、二次元流れ、ロスビー数

連絡先: 〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27 中央大学理工学部土木工学科 (Tel 03-3817-1805)

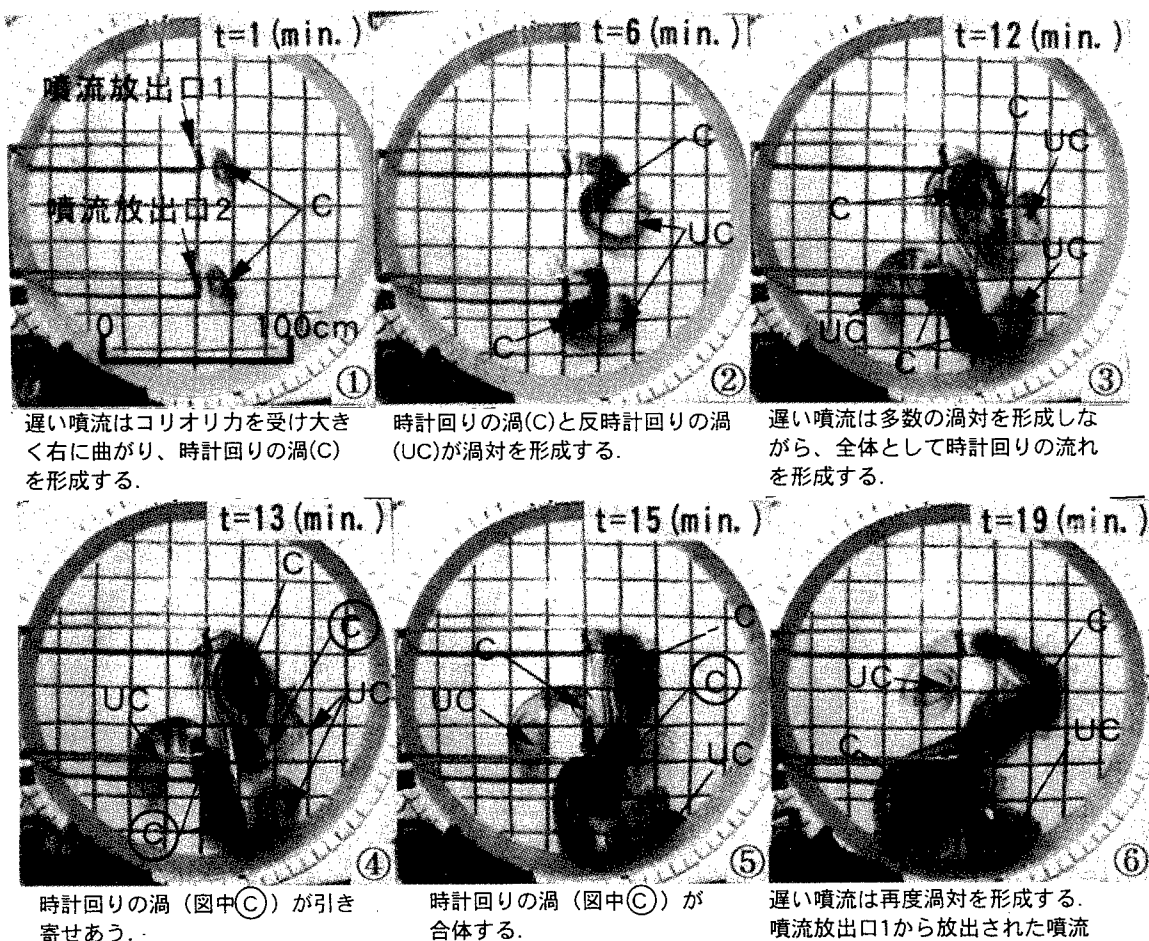


図2 遅い噴流が回転場に形成する渦の形成機構と諸特性 (RUN C-3)

対と渦の合体：図2-②, ③, ④, ⑤, ⑥に示すように、回転場において時計回りの渦(C)と反時計回りの渦(UC)が近接して存在する場合、これら2つの渦は対になって存在する(渦対)。噴流放出口前方や渦の移動によって生じる水槽内の流れの影響により一時的に渦対が壊れる場合もあるが、これらの影響のない場所では再び渦対になる。一方、回転方向が同じ渦の挙動は図2-③, ④, ⑤に示すように、複数の渦が合体し1つの大きな渦を形成する。以上の挙動は、遅い噴流を回転場に放出し続けた場合に遅い噴流が形成する渦の基本的特性である。③)渦が周囲に及ぼす影響：水槽の回転周期が大きい(Ro が小さい)場合には遅い噴流が渦径の大きな渦を形成し、また回転周期が小さい(Ro が大きい)場合には遅い噴流が多数の渦を形成するため、2)で述べた渦の基本的特性により、噴流放出後一定時間経過すると放出口付近の遅い噴流は渦を形成せず直進するようになる(図2-⑥)。噴流放出口を1本にした場合と2本にした場合の渦の挙動を比較すると、2本の放出口を用いた方が多数の渦を形成するため、渦同士の影響が大きくあられ遅い噴流は顕著に直進する。以上のことからコリオリ力が遅い噴流に与える影響と、遅い噴流によって形成された渦同士が互いに及ぼす影響は同程度であることがわかる。

4. まとめ 1)回転場において遅い噴流は時計回りの渦(C)と反時計回りの渦(UC)を交互に形成する。これは渦部と渦に隣接する遅い噴流の圧力勾配の向きに変化が起きるためであると考えられる。2)回転場では近接する時計回りの渦(C)と反時計回りの渦(UC)は渦対となって存在する。3)遅い噴流を回転場に放出し続けている場合、回転場に運動量が供給され続けているため、近接した同方向回転の渦は互いに合体する。4)本実験条件のもとではコリオリ力が遅い噴流に与える影響と、遅い噴流によって形成された渦同士の影響は同程度である。

参考文献 1)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. 2) 袴田興太郎・池永均・山田正・内島邦秀・大東淳一：遅い噴流が回転場に形成する渦の性質に関する実験的研究, 土木学会第52回年次講演会第2部, pp808-809, 1997