

東京電機大学 理工学部 正会員 有田 正光

東京大学 工学部 正会員 玉井 信行

1.はじめに 近年、流れの中の組織的な大規模運動(ラージスケールのコヒーレントな運動)についての研究がさかんになってきている。組織的な大規模運動を温排水の拡がりの中に見出した研究としてはScarpace-Green¹⁾の研究があげられる。彼等は実在プラントからの温排水の拡がりについての赤外線写真より、5分~8分程度の周期で発生する密度フロントの存在を報告している。また平野²⁾らは敦賀原子力発電所の実験より同様な密度フロント(彼等はスリッパと呼んでいる)が4分~5分の周期で発生すると報告している。また、この様な密度フロントは福島第一原子力発電所における赤外線写真よりも明らかである。この現象の存在は放出場の急激な温度変動を意味し、生態系の保全にとっての問題を提起するものである。本研究は室内実験によって現場における周期的な密度フロントの発生を再現し、その成因と特徴を検討しようとするものである。

2.実験装置の概要 本実験に使用した平面水槽は縦80cm、横50cmであり、水槽の底面中央に高さ $h_0=0.5$ cm、幅 $b_0=1$ cmの矩形的放出口が設置してある。実験においては密度差をつける為に塩水を使用する事とし、淡水中に30%の濃度の塩水を放出して実験を行った。水槽中へ放出される塩水は流量計を通された後、染料の注入により可視化されて水槽中へ放出される。図1に放出場の模式図および座標系を示す。

3.実験結果と考察

3.1 流れのパターン分類 本研究においては流れの流動パターンを次の3種に分類する事とした。-----
パターンA: 一見、ポテンシャル流的拡がりをするもので密度流としての拡がり卓越するもの。; パターンB: 放出口近傍において一連の密度フロントが発生し、ペアリングを繰り返しながら全域フロントが目視できるもの。; パターンC: 放出口より密度噴流全域に渡って乱れが卓越し、周期的密度フロントが染料による可視化によって観察されない場合である。本研究の対象とするのはパターンBの場合であり、密度界面に発生する渦列の渦のスケールが密度流縦断面全域に及ぶ様なものである。上述のA, B, Cのパターン分類をここではフーリガン数 θ を指標として行う事とした。つまりパターンAは θ が限界フーリガン数 θ_c の近傍で、パターンBは $\theta < \theta_c$ の条件で、パターンCは $\theta \gg \theta_c$ の条件で発生する。

図2は周期的密度フロントが発生する場合の流れの可視化写真より描いた模式図である。同図は周期的密度フロントが発生する場合の展典例を示すものであり、実験条件は放出密度フルード数 $F_{D0}=3.93$, 放出レイノルズ数 $Re_0=463$, フーリガン数 $\theta=0.052$, 限界フーリガン数 $\theta_c=0.178$ の場合である。

3.2 周期的密度フロントの発生周波数 前述の実験条件の下に調べられたX軸上(放出軸上)の任意の点の周期的密度フロントの発生周波数 f_p を放出口における水理量を用いて式(1)の形で無次元化し、ストローハル数の形で示した

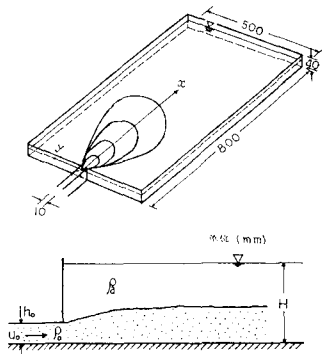


図1 座標系と実験装置の概要

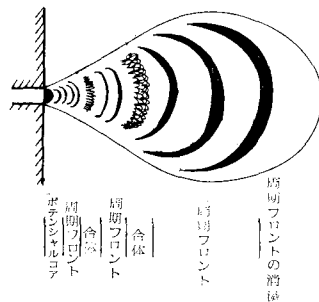


図2 周期的密度フロントの発生・合体・消滅

図3 St- α/h_0 の関係

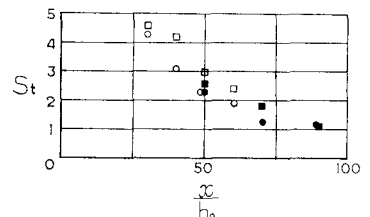


図3 St- α/h_0 の関係

ものが図3である。同図より密度フロントの合体および密度流としての水平方向の拡がりによって流軸方向に St_m 数が低下している様子が分る。また、式(1)中の流速 U_0 を密度フロント発生周波数の測定点における流速 U で無次元し、式(2)の形でストローハル数を再定義して図3を書き直したものが図4である。

図4より St_m は測定域全域に渡って0.1~0.2の間の値をとる事が分る。つまり、いわゆるPreferred modeは0.15と見做す事ができる。

3.3 実験結果の現場における再現性 従来の密度噴流に関する実験は乱流構造を実験と現場で相似とすべく、実験における放出レイノルズ数をできるだけ大きくするのが常であった。しかしその様な場合、図2のごとき周期的密度フロントは可視化されなかった。この事は大規模流れの観点からは流れの相似性に問題があったと考えざるを得ない。

本研究で考えた様にクーリガン数が現象を支配するパラメータになり得るとすれば流体の粘性が大きな意味を持つてくる。この場合、現場における粘性に乱れの影響を考慮した滑動粘性係数を使用する事がもっともらしい。この様な立場に立ってPoint-Beach原子力発電所における実験データと実験結果との比較検討を行う。Point-Beach原子力発電所に限らず、一般に温排水は斜面上へ放出される。従って上下層の界面に大規模渦が発生するのは図5に示される様に上層温水の斜面上からの剥離点 x_c である。この場合の上層厚を h_c 、上層流速を U_c とする。実験データの分析より、ほぼ $x_c \cong 200^m$ 、 $h_c \cong 4^m$ 、 $U_c \cong 20^{\text{cm}}/\text{sec}$ である。したがってその場合のストローハル数 St_m を実験結果と一致させる事にすれば式(3)の通りである。

$$St_m = f_p h_c / U_c = f_p \cdot 4 / 20 \cong 0.15 \quad \text{----- (3)}$$

これより $x = x_c$ 点において発生する密度フロントの周期($1/f_p$)は2.22分となる。この周

期のフロントが合体し、また水平方向へ拡がる事によって密度フロントの周期が大きくなってゆく。本計算より、現場において出現すると報告されている5分~8分の周期の密度フロントが実験によって再現されていると考えられる事ができる。

図2に示される大規模流動が現場において再現される為の条件を求めてみる。実験におけるクーリガン数 $\Theta = 0.052$ を再現する為には、上述の様に $U_c = 20^{\text{cm}}/\text{sec}$ 、 $h_c = 4^m$ 、さらに F_{hc} (斜面からの上層の剥離点 $x = x_c$ における密度フルード数)を1もしくは1.5と仮定して式(4)より滑動粘性係数 λ を求めると、 $F_{hc} = 1$ に対して $\lambda = 1.12$

$$\Theta = 0.052 = \left(\frac{1}{F_{hc}^2 Re_c} \right)^{1/3} = \left(\frac{1}{F_{hc}^2 \frac{U_c h_c}{\lambda}} \right)^{1/3} \quad \text{----- (4)}$$

cm^2/sec 、 $F_{hc} = 1.5$ に対して $\lambda = 2.53^{\text{cm}^2}/\text{sec}$ となる。これは現場における鉛直滑動拡散係

数のオーダーである。

以上、本研究は現場において観測される周期的密度フロントが室内実験において再現しうる事、およびその発生条件について考察を加えたものである。本研究は実験的にも理論的にも詳細な研究を必要としている。

参考文献：1) Scarpace F.L., Green III: Dynamic Surface Temperature Structure of Thermal Plumes, Water Resources Reserch, Vol. 19, No. 1, 1973. 2) 水野恵介・平野敏行: 沿岸海域における流入水の初期拡散機構について、水産研究報告, 才36巻, 1976.

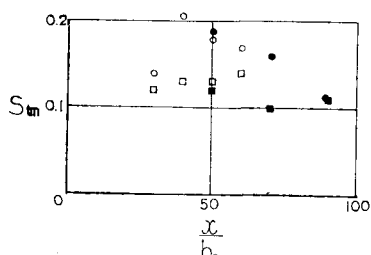


図4 $St_m - x/h_0$ の関係

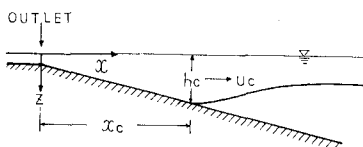


図5 放出場の模式図

$$St = f_p h_0 / U_0 \quad \text{----- (1)}$$

ここに h_0 = 放出水深, U_0 = 放出流速

$$St_m = f_p h_0 / U \quad \text{----- (2)}$$