第Ⅱ部門　　干潟における貧酸素水塊の遡上挙動に関する実験的研究

大阪大学工学部　学生会員　○Sia Mei Shen
大阪大学大学院工学研究科　学生会員　間瀬　友記
大阪大学大学院工学研究科　学生会員　久須　遼介
大阪大学大学院工学研究科　フェロー　青木　伸一

1. 研究の背景と目的

内湾で発生する底層貧酸素水塊の干潟や浅場への遡上（青潮，苦潮）は，アサリなどの底生生物の大量斃死の原因となっており，近年，日本のアサリ漁獲量に大きな負の影響を与えている．しかしながら，貧酸素水塊の浅海域への遡上や干潟上での拡散メカニズムはまだ十分解明されておらず，気象条件などから苦潮発生を正確に予測することは難しいのが現状である．このような背景のもとに，著者ら[1)]は，三河湾の六条潟を対象に，干潟周辺海域の水質構造の短期的な変化を調べている．本研究では干潟を模した地形を用いた二成層場に対する水理実験により，風による密度界面の挙動および鉛直混合現象について検討し，貧酸素水塊の遡上・混合・残留特性について考察した．

2. 水理実験

実験では，干潟を模した地形を風上側に設置した２次元風洞付水槽に，塩水を用いて密度成層を作成し，種々の風速で風を作用させて密度界面の挙動を観察した．また，電気伝導度計（C1 – C3）を図-1 のように設置して塩分を計測することにより，下層水の湧昇および混合状況を定量的に調べた．

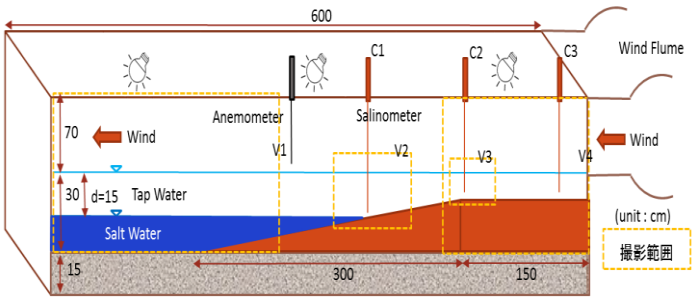

図-1　実験に用いた風洞付水路の模式図

実験ケースの設定および実験データの整理については，次式で与えられるウェダバーン数（以後W_e数と表記）を指標とした．

$$W_e = R_i \times \frac{2d}{l} = \frac{\Delta\rho g d}{(\rho - \Delta\rho)u_*^2} \times \frac{2d}{l}$$

$$= \frac{2}{\left(\frac{\Delta\rho}{\rho}\right)^{-1} - 1} \times \left(\frac{d}{h}\right)^2 \times \left(\frac{h}{l}\right)^2 \times \left(\frac{u_*}{\sqrt{gl}}\right)^{-2}$$

ここでは，リチャードソン数R_iは成層度，u_*は摩擦速度であり，$u_* = (C_D\rho_a/\rho_0)^{1/2}U_a$で表される．摩擦速度$u_*$は風速$U_a$と一次関数的な関係にあることが分かる．ここで$\rho_a$は空気の密度，$\rho_0$は上層水の密度を表す．また，$C_D$は抵抗係数を表し，一般的に$1.3\times10^{-3}$を用いる．$h$は全水深，$d$は上層水深，$\rho$は下層密度，$\Delta\rho$は上層と下層の密度差，$l$は水路全長，$g$は重力加速度,である．

実験水路は全長 600[cm]，高さ 45[cm]，幅 15[cm]であるが，実海域（六条潟）と相似な地形を再現することはできず，水平縮尺 1/133，鉛直縮尺 1/17 のひずみ模型となっている（干潟前面の斜面勾配は 1/12.5）．水槽の風下端にはステンレス製の金網を用いた消波装置が設置されており，水槽を覆う高さ 70[cm]の木製の風洞が風上側の軸流送風機に接続されている．

本研究で行った実験ケースを表-1 に示す．上下層の水深 dを 0.15[m]に固定し，風速と上・下層水の密度差を変化させて実験を行った．風速は u_a=5, 7, 10 [m/s]の 3 種類，上・下層水の密度差は$\Delta\rho$=4, 10, 20 [kg/m^3] の 3 種類変化させ，合計 9 ケースについて実験を実施した．We 数がほぼ等しいが風速と密度差が異なるケースを比較することで，支配的な要因を探ることを目的とした．1 ケースの測定時間は 30 分間とし，最初の 10 分間送風し，その後風を停止させて密度界面の挙動の観察と電気伝導度を連続的に記録した．

Sia Mei Shen, Tomoki Mase, Ryosuke Kusu, Shin-ichi Aoki　　shen_s@civil.eng.osaka-u.ac.jp

表-1 実験ケース

Case	u_a [m/s]	$\Delta\rho$	$d[m]$	u_{a*}[m/s]	R_i	W_e
M1	5	20	0.15	0.006366	725	48.4
M2	5	10	0.15	0.006366	363	24.2
M3	5	4	0.15	0.006366	145	9.7
M4	7	20	0.15	0.008913	370	24.7
M5	7	10	0.15	0.008913	185	12.3
M6	7	4	0.15	0.008913	74	4.9
M7	10	20	0.15	0.012732	181	12.1
M8	10	10	0.15	0.012732	90	6.0
M9	10	4	0.15	0.012732	36	2.4

3. 実験結果

Channel 1 （C1）ピーク［斜面上での最大値］

電気伝導度計 C1 は斜面の中央に位置しており，送風時および送風停止後の斜面上での密度界面の変化を見ることができる．また，C1 のピーク値は，下層水が斜面に沿って浅場へ湧昇していく過程とその際の混合状態を示している．実験結果を図-2 に示す．図の縦軸Δρ'/Δρ は，電気伝導度から換算した淡水との密度差Δρ'を初期状態での密度差Δρ との比として表したもので，底層水との混合率を意味している．Δρ'/Δρ と We 数との関係をみると，We 数が小さいほど斜面フロントにおける密度と下層水密度との差が小さく，密度界面が上昇しやすくなっていることがわかる．

Channel3（C3）ピーク［干潟上での最大値］

C3 のセンサーは干潟縁辺部から 50 [cm]離れたところに位置しており干潟上の密度変化を見ることができる．図-2 を見ると，C1 と同様に We 数が小さいケースで，干潟上への底層水の侵入が発生していることがわかるが，C3 では Δρ'/Δρ の値が C1 の 30%程度まで小さくなっている．これは斜面を遡上した底層水が斜面の摩擦や風の影響により上層水と混合しやすくなるためと考えられる．

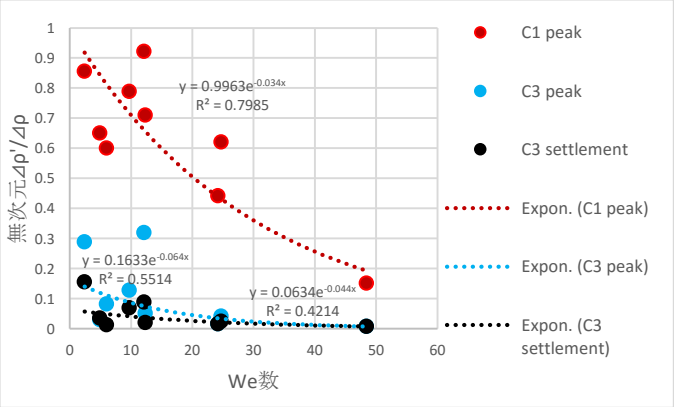

図-2 W_e数とΔρ′/Δρとの関係

Channel3（C3）収束［浅場での残留］

風を停止した後に，遡上してきた底層水が浅場に残留する度合を C3 の収束値を用いて考察する．図-2 中の黒点線が C3 収束の近似曲線であるが，C3 のピーク値と同様に，ここでも We 数が小さい範囲で大きな値を示している．図-3 は，C3 の収束値とピーク値の関係を示したものであるが，両者には高い相関がみられる．すなわち，底層水が干潟上まで遡上してくれば，その 40%程度が残存することがわかった．

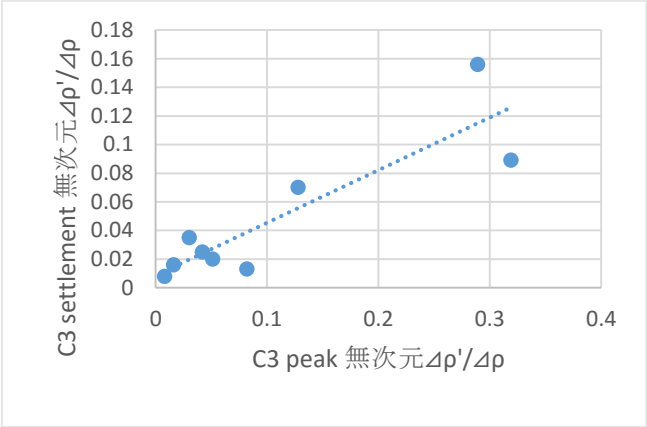

図-3 C3 におけるΔρ'/Δρのピーク値と収束値の関係

4. 結論

- ✓ 底層水の遡上は概ね We 数を用いて評価できるが，同程度の We 数のケースにおいても，風速や密度差がともに大きいケースの方が密度界面の変動が大きい．
- ✓ 湧昇水が干潟上まで遡上してくる場合，干潟上の混合率のピーク値は，最大でも斜面上のピーク値の 30%程度であり，また干潟上のピーク値の 40%程度が干潟上に残留する．

5. 参考文献

1) 青木伸一・間瀬友記・蒲原聡：風による底層貧酸素水塊の浅海域遡上について：土木学会論文 B2(海岸工学)，Vol. 70, No. 2, I_1141-I_11145，2014.

2) Shintani, T., De La Fuente, A., Yarko, N., and Imberger, J., Generalizations of the Wedderburn number: Parameterizing upwelling in stratified lakes, Limnol. Oceanogr., Vol.55, No.3, pp.1377-1389, 2010