有明海における淡水影響域(ROFI)の評価法に関する一考察

九州大学大学院　学生員　○扇塚　修平　正会員　矢野真一郎・田井　明　フェロー　小松　利光

１．はじめに

近年の有明海では赤潮や貧酸素水塊の大規模化が確認されている．有明海における赤潮と貧酸素水塊については多くの研究が行われており，赤潮発生の主な要因としては出水時の大量の栄養塩類負荷が挙げられている．また，貧酸素水塊は，海域に流入した河川水による塩淡成層と海面における熱の加入から起こる水温成層が長期間継続した場合に起こると考えられている．このように，筑後川をはじめとする多数の河川（一級河川は 8 本）からの淡水流入とそれにより運ばれる物質（有機物，栄養塩類，土砂など）の影響が大きいと考えられている．したがって，海域に流入した河川水の挙動やその影響範囲を評価することは，有明海において赤潮や貧酸素水塊が発生するメカニズムを理解し，その解決策を講じる上で重要であると考えられる．海域に流入した河川水の影響については，Simpson(1997)によって ROFI(Region Of Freshwater Influence)という概念が提示されている．扇塚ら(2010)は ROFI の概念を用いて，過去の大規模一斉観測データをもとに解析を行っている．しかし，元来 ROFI は淡水の影響を強く受ける河口から潮汐により混合が促進される領域の間に存在すると定義されており，有明海のような閉鎖性内湾では，温度成層の影響を多少なりとも受けることが考えられる．本研究では，水温変動の影響を除いた ROFI に関する解析を行い，扇塚ら(2010)の水温変化も含んだ結果と比較することを試みたので報告する．

２．観測概要

本研究では，2001 年 10 月 16 日に有明海全域を対象として行われた「有明プロジェクトⅠ」(以下, 有明 PI)，2003 年 7 月 20 日に北部有明海を対象として行われた「有明プロジェクト II」(以下, 有明 PII)，ならびに 2004 年 8 月 8 日に行われた諫早湾観測のデータを用いて解析を行った．これらの観測ではいずれも ADCP による流動構造の曳航観測, 多項目水質計による海洋構造（塩分・水温分布）観測が行われている．これらのデータを用い，次に示す方法で解析を行った．

３．解析方法

ROFI の概念では，淡水の影響が及び，密度成層が形成されている範囲を評価するにあたって 3 つの指標を考える[Simpson *et al*.(1990)]. 1 つ目は淡水の流入により生み出された水平密度勾配により引き起こされるエスチャリー循環(Estuarine Circulation)の成層への寄与を表すもので，成層した状態を完全に混合するために必要なポテンシャルエネルギーϕの変化率を意味する次式で評価する．

$$\left(\frac{\partial\phi}{\partial t}\right)_E = \frac{1}{320}\frac{g^2h^4}{N_z\rho}\left(\frac{\partial\rho}{\partial x}\right)^2 \tag{1}$$

ここで，h：水深(m)，ρ：海水の密度(kg/m^3)である．N_zは鉛直方向の混合係数(m^2/s)であり，次式で表されると仮定している．

$$N_z = \gamma|\hat{u}|h \tag{2}$$

ここで，γ：定数(=3.3×10^{-2})，$\hat{u}$：水深平均流速(m/s)である. 2 つ目は, 潮汐による混合(Tidal Stirring)の寄与で,

$$P_t = \left(\frac{\partial\phi}{\partial t}\right)_T = \frac{4}{3\pi}\varepsilon k\rho\frac{u_1{}^3}{h} \tag{3}$$

で表される．ここで，ε：潮流の混合効率を意味するファクター(=0.004)，k=2.5×10^{-3} の海底摩擦係数，u_1：流速の振幅(m/s)である. 3 つ目は潮流の鉛直シアが水平密度勾配に働くことによって引き起こされる密度分布の歪み(Tidal Straining)の寄与であり，次式で表される．

$$\left(\frac{\partial\phi}{\partial t}\right)_{st} = 0.031gh\hat{u}\frac{\partial\rho}{\partial x} \tag{4}$$

以上の式に各観測から得られたデータを代入し，各測点で各測定時間帯における 3 つの指標の平面分布を求めた．本研究では，水温分布の密度分布への影響を除くために，場の代表水温として，各観測時点の平均水温を用いて密度を算出している．すなわち，密度分布は塩分分布によってのみ生じるとして，解析を行った．そして, Estuarine Circulation と Tidal Stirring の比（以下, EC/TSti），Tidal Straining と Tidal Stirring の比（以下, TStr/TSti）を求め，各測定時間帯と 1 周期平均の平面分布を求めた．

４．結果

Fig.1 に有明 PI における 1 周期平均の EC/TSti（左上），有明 PI における 1 周期平均の EC/TSti（左中），諫早湾観測における 1 周期平均の EC/TSti（左下），有明 PI の満潮時と干潮時の TStr/TSti（中上・右上），有明 PII の満潮時と干潮時の TStr/TSti（中下・右下）をそれぞれ示した．多くの場合において大浦沖では成層が強く，島原半島沿岸では混合が強いというこれまでの報告に

キーワード　有明海，ROFI，淡水影響域，密度成層
連絡先　〒819-0395　福岡県福岡市西区元岡 744　九州大学 W2 号館 1013　TEL092-802-3412

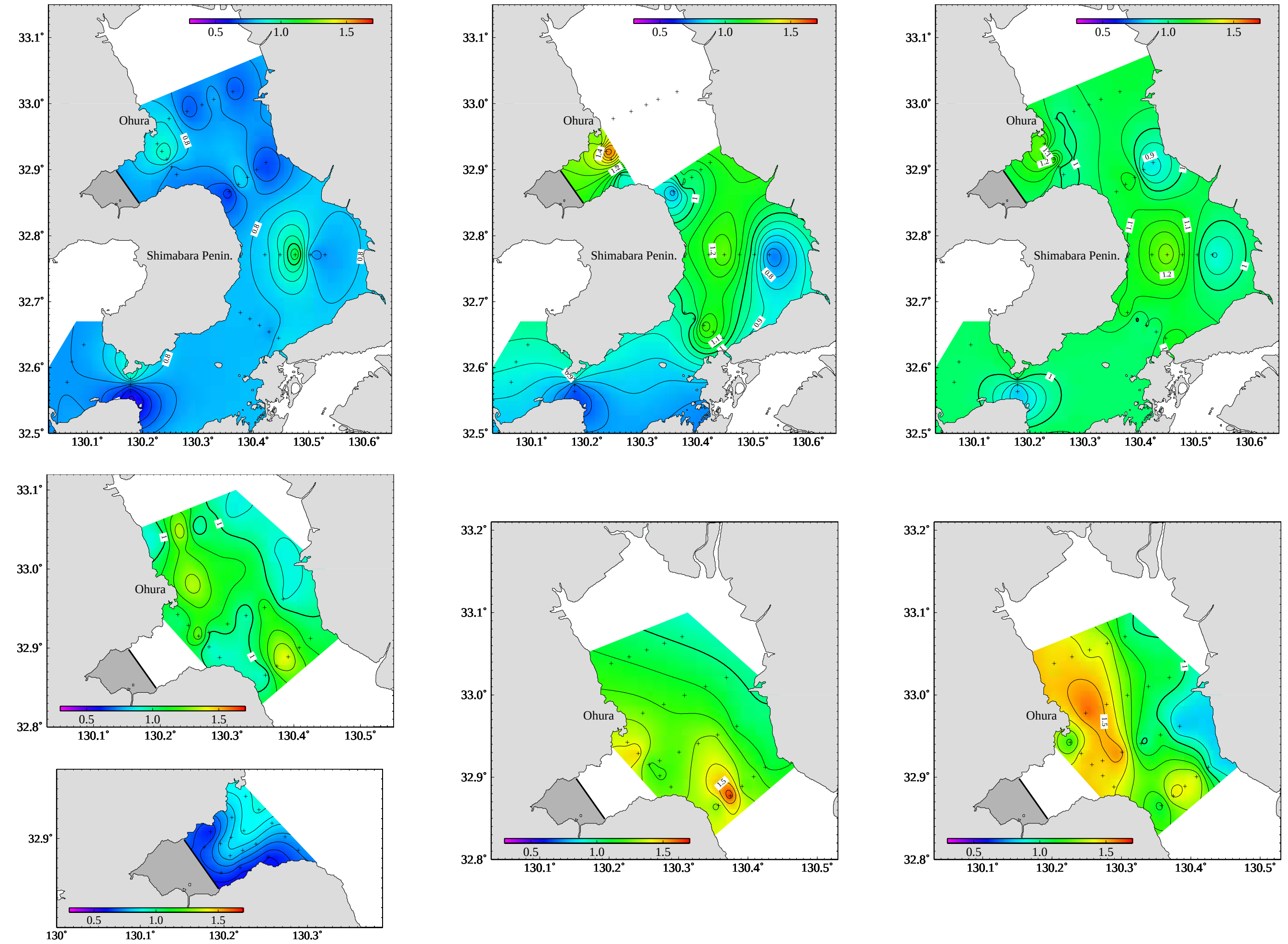

Fig.1　（左上図）有明 PI における 1 周期平均の EC/TSti　（左中図）有明 PII における 1 周期平均の EC/TSti　（左下図）諫早湾観測における 1 周期平均の EC/TSti　（中上図）有明 PI における満潮時の TStr/TSti　（右上図）有明 PI における干潮時の TStr/TSti　（中下図）有明 PII における満潮時の TStr/TSti　（右下図）有明 PII における干潮時の TStr/TSti

則した傾向が確認できた．

潮時による変化を見ると，EC/TSti については 1 潮汐間の変化は小さかった．したがって，EC/TSti が大きい領域は淡水の影響により定常的な成層が形成されやすい範囲を表していると考えられる．一方，TStr/TSti は周期的な成層の消長を表わすと考えられる．有明 PII では時間変化が比較的大きく，干潮時に最大となる傾向が示されたが，有明 PI では大きな時間変化が見られなかった．この理由としては，有明 PI は有明 PII に比べ河川からの出水が少なく，Tidal Straining により成層が発生する条件である水平密度勾配が大きくなかったことが考えられる．また，有明 PII（中下，右下図）において，図に示した範囲で最も南の海域において成層の強い海域が見られるが，この領域は潮流が大きいため，一般に成層が発達しにくいと考えられており，今後別の観測データを利用して詳細に調べる必要がある．なお，この海域の水深が非常に大きいこともこのような評価となった一因と考えられる．

水温を固定せず分布を考慮した場合と比較したところ，同様な傾向が確認された．このことより，水温を固定しない場合でも，今回の観測結果に関しては淡水影響域を評価できていると考えられる．

5．結論

本研究では過去に実施された有明海の一斉観測データを基に ROFI に関する解析を行った．この解析方法では，定常的な成層構造と周期的な成層構造の分離が行えるため，観測結果だけからは見えてこない成層構造の特徴を評価できたと考えられる．今後は，数値シミュレーションを併用した ROFI 構造の解析を行い，有明海における環境変動の要因分析に利用していきたい．

［**謝辞**］

本研究は平成 21 年度科学研究費補助金（基盤研究(C)，研究代表者：矢野真一郎）により実施された．ここに記し，謝意を表する．

［**参考文献**］

1) Simpson, J.H.(1997) *J. Mar. Sys*., 12, 3-15.
2) Simpson, J.H., *et al*.(1990) *Estuaries*, 13(2), 125-132.
3) 扇塚ら(2010) 平成 21 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 281-282.