

岩木川河口における塩水遡上特性

八戸工業大学 正 佐々木 幹夫
八戸工業大学 学 芦川 聡太

1. 緒言

青森県東部を北上する岩木川の河口に十三湖がある。この湖には海水が入り、湖は汽水湖となっている。塩水の湖への遡上は湖内の水質を規定し、十三湖に固有の汽水環境を形成している。著者らの一人佐々木は4年前よりこの十三湖で塩水をはじめ水温、DO等の現地調査を実施している。ここでは、塩水の遡上特性を把握するために塩水の遡上予測モデルを検討してみたので報告する。

2. 塩水遡上モデル

移流拡散の場を水深方向に n 層に分割したとき k 番目の層内の物質拡散は層内の鉛直方向の変化が小さいものとする。次式により表される。

$$\frac{\partial c_k}{\partial t} + u_k \frac{\partial (c_k)}{\partial x} + q_k = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{xk} \frac{\partial c_k}{\partial x} \right) \quad (1)$$

ここに、 t は時間、 x は流れの方向の距離、 c は拡散物質、 D_x は x 方向の拡散係数、 q_x は下層や上層からの拡散物質の流入および流出量である。いま、物質 c を塩分に固定し、塩水は流れに乗って遡上や降下をするものとして、次式に示す新たな変数を導入する。

$$\xi_k = \beta_{1k} \int |u_k| dt / l_o + \beta_{2k} x_k / l_o + x_{o1k} / l_o \quad (2)$$

ここに、 β_1 および β_2 は定数、 x_{o1} は塩水フロントの位置、 l_o は場の代表的な長さである。

ここで、座標 x を海に向かってとり、流れは順流で正 ($u > 0$)、逆流で負 ($u < 0$) となる。式 (1) の厳密解が逆流の場合以下のように与えられる (佐々木・田中・梅田 (2009))。

$$c_k = (C_{3k} - C_{1k}) \{1 - \exp(-\alpha_{1k} \xi_k)\} + C_{1k} \quad (3)$$

ここに、 C_3 は塩分の最大値、 C_1 は塩分の最小値である。また、上式 (3) において、 α_k が負であれば、そのときは $\alpha_k = 0$ となるものとする。すなわち

$$\xi_k = 0 \quad \text{when } \alpha_k < 0 \quad (3)$$

一方、順流の場合は次のように境界条件を取る。逆流から順流に転流したとき塩分はピークでありそれ以降は塩水が海に戻るのだから徐々に塩分は下がる。

$$c_k = C_{pk} \quad \text{at } \xi_k = \xi_{ok} = \xi_k(t=0) \quad (4)$$

$$c_k = C_{1k} \quad \text{as } \xi_k = \infty \quad (5)$$

ここに、 C_{pk} は転流時の塩分であり、逆流最後の塩分濃度に等しい。このとき、式 (1) の厳密解は次式により与えられる。

$$c_k = (C_{pk} - C_{1k}) \exp\{-\alpha_{2k} (\xi_k - \xi_{ok})\} + C_{1k} \quad (6)$$

定数 β_1 は β_2 は任意であるから式 (3) および (6) における β_1 および β_2 の値が常に正になるように選ぶことにする。すなわち、次式を満足するように選ぶものとする。

$$\beta_{1k} - \beta_{2k} > 0 \quad \text{when } u_k < 0 \quad (7)$$

$$-\beta_{1k} - \beta_{2k} > 0 \quad \text{when } u_k > 0 \quad (8)$$

キーワード：河口の水理、塩水楔、汽水環境、物質拡散、塩水遡上

連絡先：青森県八戸市妙大開 8 8 - 1、 : 0178 - 25 - 8074、Fax : 0178 - 25 - 0722

よって、定数 β_1 および β_2 は次のように取れる。

$$\beta_1 = 1 \quad \beta_2 = -1 \quad \text{when } u < 0 \quad (9)$$

$$\beta_1 = 1 \quad \beta_2 = -2 \quad \text{when } u > 0 \quad (10)$$

式(3)および(6)に示した解は塩水が流れに乗って動く場合、すなわち、移流拡散が卓越する場合に適用される解である。十三湖のような湖でも湖に入った塩水が湖内でも勢い良く流れに乗って移動するのであれば精度良く塩水の動きを再現できることになる。

3. 塩水遡上予測

図1は2009年9月27日の12時に十三湖中央部で船上より計測器を下げて測定した塩分濃度を用いて計算値と実測値を比較したもので、実測は塩水が湖から引くときに測定していることが計算値から推測できる。

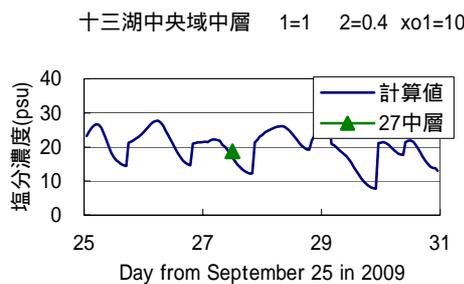


図1 計算値(実線)と実測値()の比較($C_3 = 33.5$, $C_1 = 0$, $\beta_1 = 1.0$, $\beta_2 = 0.4$, $x_{01} = 10$)

観測値は27日12時の1つだけであり、計算は流速の値が十三湖水位より計算されるので25日から3日間示している。計算は C_3 , C_1 , β_1 , β_2 および x_{01} の5つの定数を決めれば値が求まる。観測値が1つの場合は塩分変動が実現象にどれだけ計算値があるか判断できない。このため、それを確かめるために、2007年に得られている現地観測を用いて理論と実測の比較を以下に試みてみた。

図2は連続観測値と計算値の比較を示したもので、計算値は C_3 , C_1 , β_1 , β_2 および x_{01} の5つの値により異なってくる。図2(1)(2)は β_1 の値を1.5, 1.5と変化させたもので、図より β_1 の値はその中間にあり、1.0の値が良く合っている(図示省略)。 β_1 の値は塩水が遡上するときの塩水塊内部の混合度を示すもので淡水と塩水の混合の度合いに応じてその値を調整していくことになる。

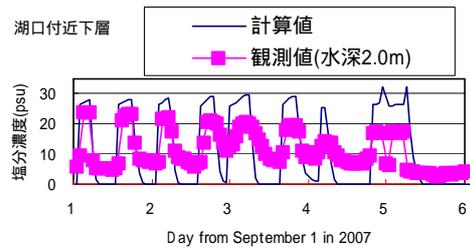


図2(1) 塩分の計算($\beta_1 = 1.5$, $\beta_2 = 10$)

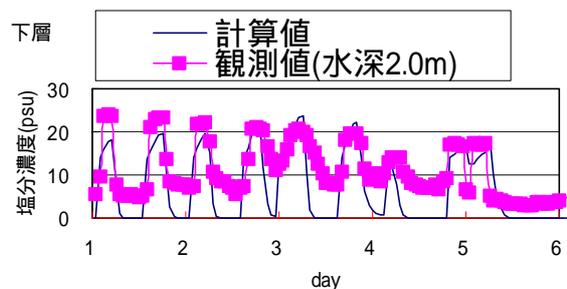


図2(2) 塩分の計算($\beta_1 = 0.5$, $\beta_2 = 10$)

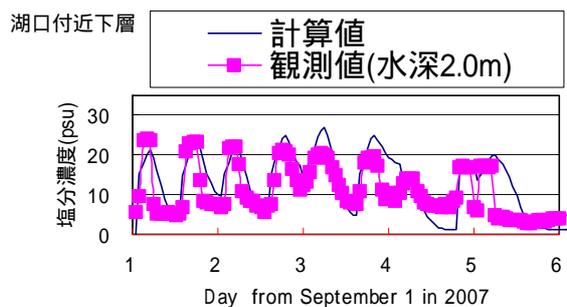


図2(3) 塩分の計算($\beta_1 = 0.5$, $\beta_2 = 1$, $x_{01} = 100$)

図2(3)は β_2 の値を1にしたもので実測との一致は良くなっている。計算値と実測値との一致は塩水の遡上が流れに乗って動いており、十三湖における塩水塊の動きは水戸口の流れに支配されていることを意味している。

4. 結論

塩水の遡上域を物質の拡散場として任意の点の塩分変化を拡散方程式により表せるものと考え、十三湖の中の塩分変化を予測してみた。計算値は実測値に良く対応し、それらの一致は良いことを示した。このことは、十三湖のなかの塩水は順流・逆流の流れの乗って遡上・降下をしていることを意味している。

謝辞 この研究1部は平成21年度科研費(基盤研究(B))(代表東北大学田中仁)により実施した。