

十三湖における遡上塩水の鉛直構造(その 2)

八戸工業大学 鈴木 祥高・佐々木 幹夫、東北大学 田中仁・梅田信

1. はじめに

十三湖は岩木川の河口に位置し、岩木川は十三湖を通り湖口から日本海に流れている。十三湖の湖口を現地では水戸口と呼んでおり、水戸口への導流堤建設が始まったのが大正 14 年であり、完成は昭和 22 年である。この導流堤建設により、湖には定期的に海水が遡上するようになり、湖内の汽水湖環境は河口閉塞時の湖に比べると安定するようになってきている。湖に生息するシジミも自然産卵、自然繁殖するようになり、シジミは安定して獲れるようになっている。しかし、漁獲量は年変動を繰り返しており、汽水環境のどの変化がシジミ漁に影響を与えていているかについては未だに未解明といえる。そこで本研究では、湖における汽水環境特性を明らかにすることを最終的な研究目的とし、今年度は昨年度に続き、遡上塩水の現地観測を行い、遡上している塩水の鉛直構造を検討してみる。

2. 観測方法

観測は自記式の塩分計、流向流速計を用いて、7 月中旬から 9 月中旬にかけて行った。図 1 に観測地点を示す。観測地点に流向流速計、塩分計を設置した。写真 1 に流向流速計と塩分計の固定状況を示す。(図 1  印) 流向流速計は底面から 57 cm の位置に設置した。設置は観測地点に船で行き船上よりロープに固定した塩分計を鉄パイプに縛り付けて固定した。写真 2 は計測器の設置状況を示す。塩分計の位置は湖の底より約 15 日間隔で 30 cm、60 cm、90 cm、120 cm の位置に設置した。写真 3 は計測器設置完了後の様子を示す。左に塩分計、右に流向流速計を設置した。

3. 結果と考察

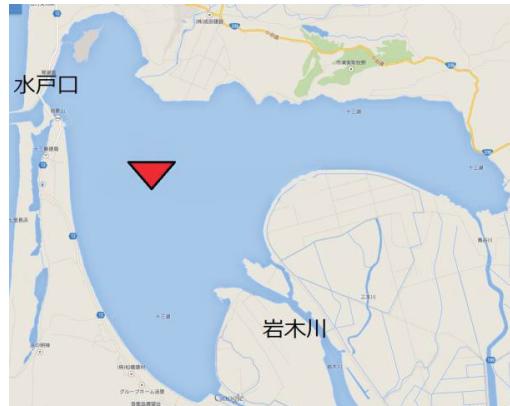


図 1 塩分観測位置 ( 塩分水温計・流向流速計設置)



写真 1 現地観測の状況

* Perpendicular structure of salt water moved into Lake Jusan (No2)by Y.Suzuki, M.Sasaki, H.Tanaka, and M.Umeda



写真2 計測器の設置状況



写真3 計測器設置完了後の様子
右側：流向流速計、左側：塩分計

3. 1 塩水溯上状況

図2に塩分の観測結果を示す。

観測は7月28日から8月2日に湖底よりZ=60cmの位置で行っている。ここに、Zは底面から鉛直上向きにとった距離である。塩分は7月28日と29日には朝から上昇し、すぐに減少し、昼から夜にかけ濃度の低い時間が続いた。8月1日朝には塩水が上昇しすぐに減少したが、塩分は高い濃度が続いていた。2日は午前中に再び上昇し、午後に上昇しているが濃度はやや低い。

図 3 に水戸口の順流と逆流を示す。流量がプラスのときは順流(湖から海へ)、マイナスのときは逆流を示す。28 日には午前と午後に 2 回逆流が生じている。午前および午後の逆流は図 2 の塩分濃度が高くなっている観測にある時間差をおいて対応している。その他の日も同様に午前と午後にいる観測に対応している。水戸口上は水戸口の流れで概略判断でき、図 3 に示すように塩分濃度の変化は対応していない場合も見られる。

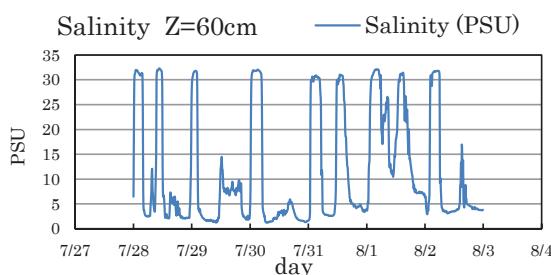


図2 塩分観測結果

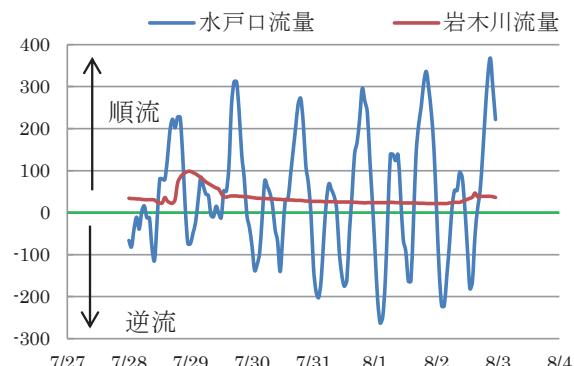


図3 水戸口の順流と逆流

図 4 に水戸口の流量と岩木川の流量を示す。観測を始めた 7 月 14 日から流量は順流と逆流

を繰り返していることがわかる。図4に示すように7月25日の午後から26日にかけ岩木川の流量が上昇している。このとき、水戸口では逆流が無くなっている。7月29日岩木川の流量が上昇しているが、水戸口では逆流が生じている。しかしほかの日と比べ逆流が小さいことが分かる。

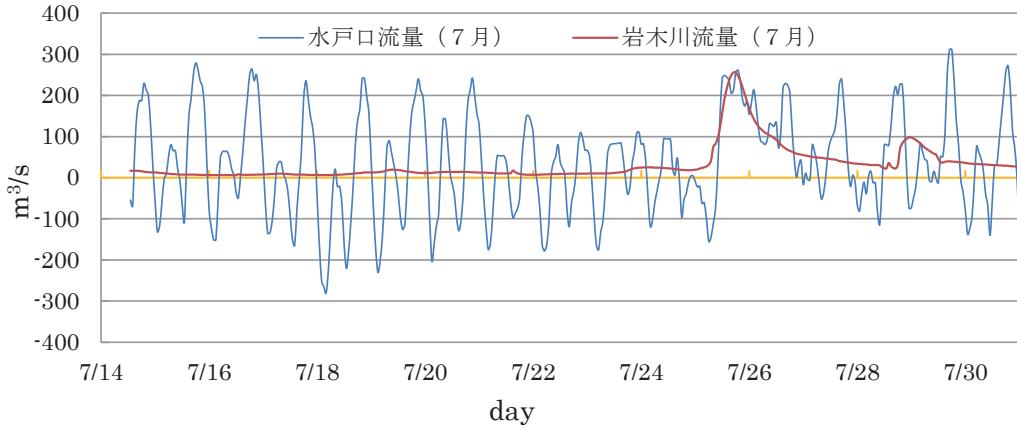


図4 水戸口の流量と岩木川の流量

3. 2 塩分濃度の予測

塩水の動きは塩分濃度の変化で推定される。塩分濃度は Sasaki, Tanaka & Umeda(2012)によれば以下のように与えられる。すなわち、逆流時には鉛直方向に分割した各層の塩分濃度 c は k 番目の層内において次式(2)で与えられる。

$$c_k = (C_{\max k} - C_{\min k}) \{1 - \exp(-\alpha_{1k} \xi_k)\} + C_{\min k} \quad (1) \quad c_k = C_{\min k} \text{ at } \xi_k = 0 \quad (2)$$

$$c_k = C_{\max k} \quad \text{at } \xi_k = \infty \quad (3) \quad \xi_k = \beta_{1k} \int |u_k| dt / l_o + \beta_{2k} x_k / l_o + l_{01k} / l_o \quad (4)$$

式(4)において、 t および x は時間、および流路に沿う陸から海へ向かって取られた座標、 u_k は流速、 l_0 は場の代表的な長さであり、ここでは $l_0 = 3600 \text{ m}$ としており、 β_1 および β_2 は任意の定数であり、逆流時に $\beta_1 = 1$ 、 $\beta_2 = 3$ 、順流時に $\beta_1 = 1$ 、 $\beta_2 = -3$ 、 L_{01} は逆流開始時の塩水フロントの位置に相当する距離である順流時には塩分濃度は次式(5)により与えられる。

$$c_k = (C_{pk} - C_{\min k}) \exp\{-\alpha_{2k} (\xi_k - \xi_{ok})\} + C_{\min k} \quad (5) \quad c_k = C_{pk} \quad \text{at } \xi_k = \xi_{ok} = \xi_k \Big|_{t=0} \quad (6)$$

$$c_k = C_{\min k} \quad \text{as } \xi_k = \infty \quad (7)$$

ここに、時間 t は順流開始時に 0 となる。また、式(5)において、 C_{pk} は順流開始時の塩分濃度である。式(1) および (5) より、逆流および順流時の塩分が計算される。

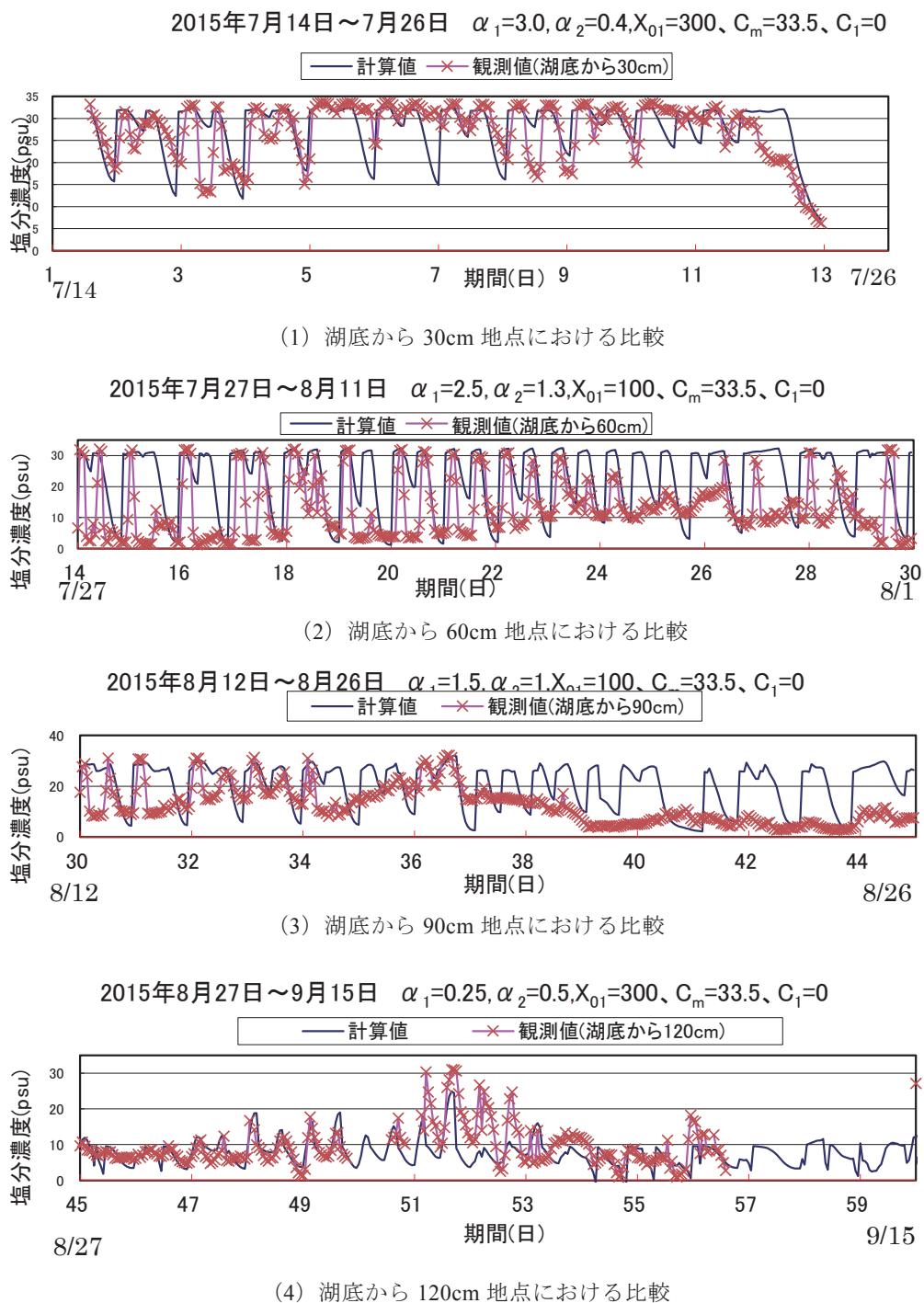


図 5 塩分濃度理論値と観測値の比較 2015 年 7 月 14 日～9 月 15 日

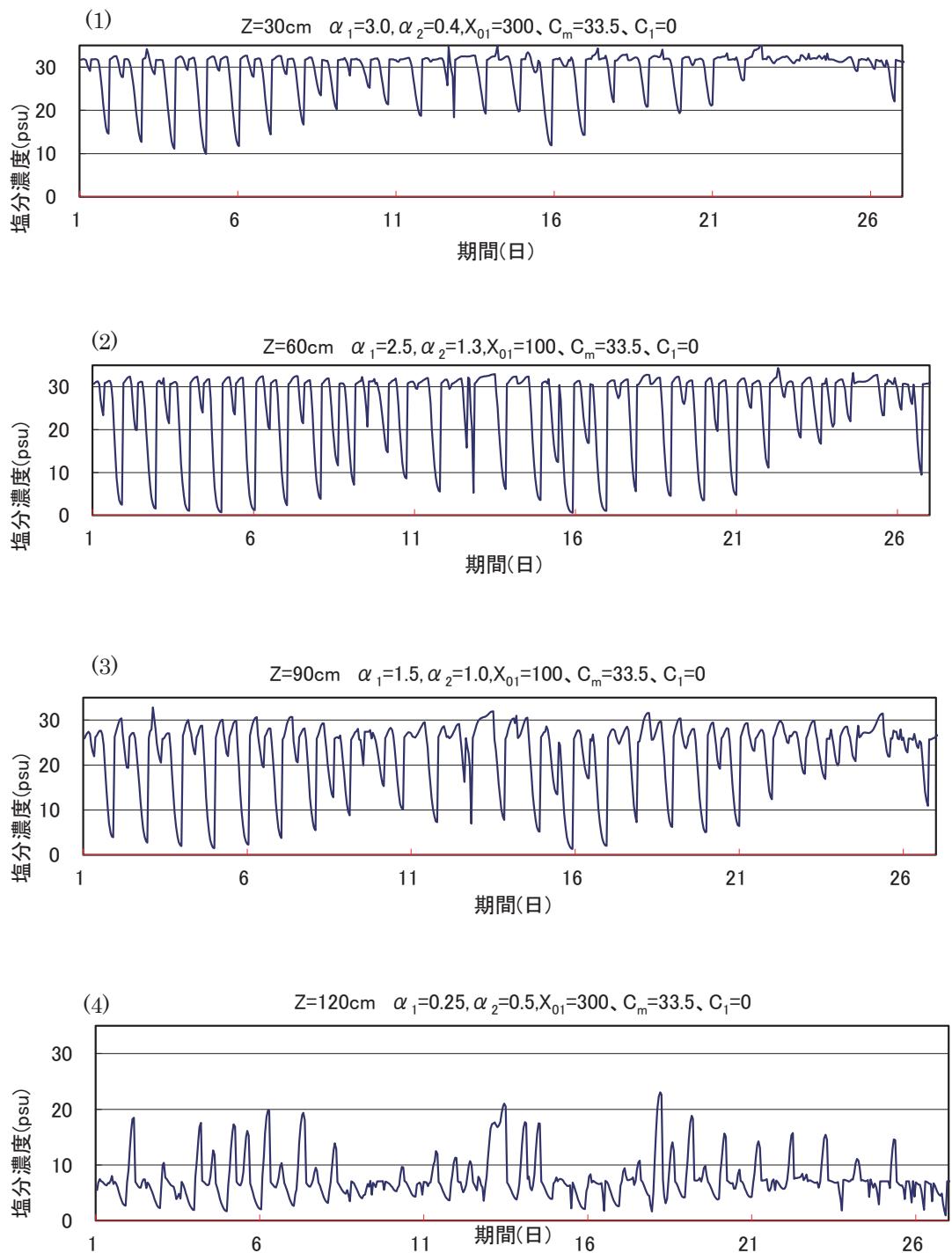


図 6 2015 年 7 月における塩分予測

図 5 に式 (1) および式 (5) を用いて湖底から 30cm、60cm、90cm、および 120cm における塩分の予測を行った計算結果を示した。図 5 の(1)は湖底から 30 cm 位置にあるため塩分濃度は全体的に高いことがわかる。5 日ごろの観測結果に計算値を合わせてみた。期間日 14 日から 5 日目までの計算値と観測値は良い一致を示しているが、6 日から 10 日目は観測値に計算値を近づけることが出来なかつた。そのあとの 12 日から 13 日までは、観測値と計算値の誤差が大きくなってしまった。図より下層部では塩分濃度が高い時間が長いことがわかる。次に図 5(2) は湖底から 60 cm の位置の結果を示しており、(1) より塩分濃度が低くいときが多くなっていることがわかる。(2) は 14 日から 18 日の塩分濃度が高くなっているところに計算値をあわせた。全体的に計算値と観測地は良い一致を示している。しかし、25 日から 30 日目までは合わせることが出来なかつた。中層下部は塩分濃度が高い時間が長いが、低い時間もあることがわかる。次に図 5(3) は、湖底から 90 cm の位置にあり塩分濃度も(1)、(2) と比べて低くなってきていることがわかる。(3) では 33 日と 36 日目の観測結果に計算値を合わせた。30 日から 36 日目までは塩分濃度が高いところは計算値を合わせることが出来た。37 日から 45 日目は差が大きく予測することが出来ていない。中層上部は塩分濃度が高い時間が短く低い時間が長いことがわかる。最後に(4) は湖底から 120 cm の位置にあり、今回の調査でもっとも高い位置にあるため、塩分濃度の低い時間が長いことがわかる。45 日から 49 日の観測結果に計算値を合わせた。全体的に計算値が合っており予測することが可能といえる。上層部は塩分濃度が低い時間が長い。

図 6 に 2015 年 7 月における湖の中央付近における塩分予測(計算値)を示した。図 6 より、底面近くでは(図 6(1))、5 日ごろに 10Psu まで塩分が淡くなったときがみられるが、ほとんどは 20Psu の濃度となっており、塩分の濃い日が続いており、完全に淡水化されることはなかったことがわかる。また、上層では(図 6(4))、5Psu 前後の塩分濃度の日が続いており、淡水との混合がみられ、完全に淡水化されるまでには至っていないことがわかる。

4. 結論

湖に自記式の水温・塩分計と流向・流速計を設置し、現地観測を実施し遡上塩水の鉛直構造を調べた結果、以下のことがわかった。

- (1) 逆流の規模は小さいが、塩分濃度の変化が大規模であり、逆流の大きさと塩分の変化は対応していない場合もあった。
- (2) 塩分濃度は佐々木・梅田・田中の式を用いて、 α_1 、 α_2 、および X_{01} の値を見出すことで予測することが可能となった。観測値と計算値は比較的良い一致を示している。
- (3) 佐々木・梅田・田中の式を使用することで、塩水遡上を概略判断することが可能となつた。

参考文献

1. 佐々木幹夫・梅田 信・田中 仁 (2013.3) : 岩木川河口における塩淡水交換特性、東北地域災害科学研究、第 49 卷、pp.139-144.
2. Mikio Sasaki, Hitoshi Tanaka and Makoto Umeda : THEORY ON SALT-WATER MOVEMENT IN IWAKI RIVER MOUTH, ICHN, November 4-7, 2012 in Orlando, Florida.