

小川原湖汽水環境調査

八戸工業大学 古村 朋也・佐々木 幹夫、鉄建設(株) 功刀 智

1. はじめに

本研究では、青森県の東部に位置する小川原湖を調査対象地としている(図1)。小川原湖は湖沼面積 62.12km²、水面の標高は2014年の年平均水位が 0.291mとなっている。小川原湖は、日本の湖沼では11番目の面積規模を有している(汽水湖の中では5番目)。青森県では、最大の湖である。また、流入河川は七戸川や花切川などで流出河川は高瀬川となっている。小川原湖の水質が平成16年から平成26年にかけて急激に悪化している。水質悪化の原因として塩分進入量の増加や、よれによる塩淡水境界面上昇が考えられている。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、遡上塩水の現地観測を行い、遡上塩水の鉛直構造を検討してみる。観測は、平成28年10月6日から平成28年11月10日に実施した。



図1 小川原湖位置

ここで、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、遡上塩水の現地観測を行い、遡上塩水の鉛直構造を検討してみる。観測は、平成28年10月6日から平成28年11月10日に実施した。

2. 観測方法

観測は自記式の塩分水温計、流向流速計を用いて、前述のように10月6日から



図2 観測機器設置位置 (●印) 図3 設置位置

11月10日にかけて行った。図2に観測地点を示す(図2、●印)。塩分水温計、流向流速計に観測中貝類がつかないようにビニールテープ巻き、重りとロープをつけた。写真1に現地観測で使用した水温・塩分計を示す。流向流速計は底面から48cmの高さに設置した。計器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(写真1)を鉄パイプに縛り付けて固定した(写真2)。塩分計の位置は湖の底より10/6から10/24までは16cmで10/24から11/10までは32cmに設置した。

* Study on salt water movement in Ogawara Lake by T.Komura, M.Sasaki, and S.Kunugi



写真1 現地観測に使用した塩分計

写真2 計測機器設置完了後の様子
左側下：流向流速計 右側下：水温塩分計

3. 結果と考察

3.1 塩水遡上状況

図4に、観測値と計算値を示した。ここに、計算値は、次式より求めている。

$$V = 0.122 \sqrt{2g \Delta z} \quad \Delta z > 0 \quad (\text{順流}) \quad (1)$$

$$V = 0.22 \sqrt{2g |\Delta z|} \quad \Delta z < 0 \quad (\text{逆流}) \quad (2)$$

ここに、 $\Delta z = Z_0 - Z_1$ Z_0 ：小川原湖の水位 Z_1 ：高瀬川河口の水位

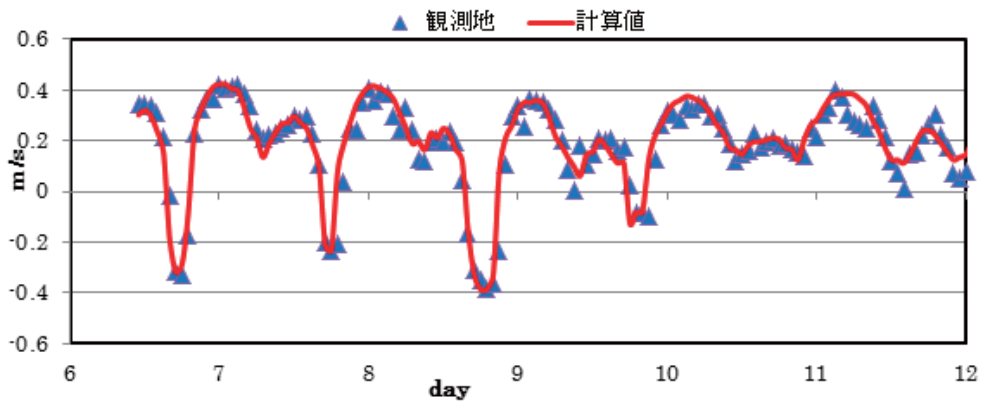


図4 観測値と計算値の比較

図に示すように、順流の時は、 $V = 0.122 \sqrt{2g \Delta z}$ (式(1))で、逆流の時は、 $V = 0.22 \sqrt{2g |\Delta z|}$ (式(2)) とすると計算値と実測値の一致は良いようである。

図5に高瀬川の流速を示す。図において縦軸の値がプラスの時は順流（湖から海へ）の速度（m/s）で、マイナスの時は逆流（海から湖）の速度（m/s）を示している。6日から10日までに4回規模の大きい逆流があって、10日から12日の朝まで逆流はない。12日夜からは23日の夜までの11日間で21回の規模の大きい逆流が生じている。

図6に湖底から16cmの高さの塩分観測結果を示す。図の縦軸は塩分濃度を示し、単位はpsuである。

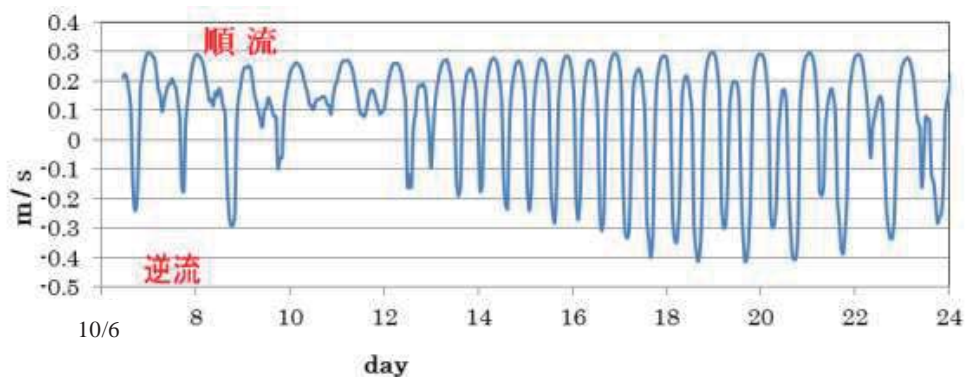


図5 高瀬川の流速 計算値

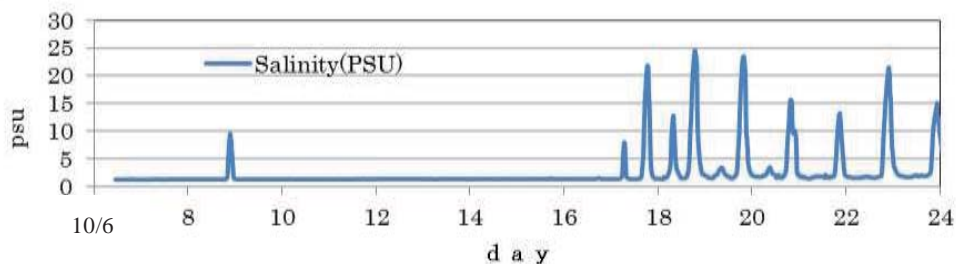


図6 塩分観測結果 上層(Z=16cm、Z=底面からの距離)

図6に示すように湖底16cm（下層）の時は、10/8、20:00から23:00に高い濃度となりすぐに減少し、10/17から10/24の期間は、塩分濃度の高い上昇が9回みられる。塩分濃度は10/18、19:20に最大となっている。10/8の塩分上昇に対応する流速を見ると図5より10/8の夜の逆流に対応している。しかし、その前後の逆流では塩分上昇は生じていない。10/17から10/23の夜までの間に逆流が生じているが、この期間の逆流では海水が遡上しており、逆流と塩分上昇の対応はみられる。しかし、逆流があっても塩分濃度の上昇がみられないときもあり逆流があったから塩水が進入するとは限らない。

図7に10/24から11/10までの式(1)および(2)による高瀬川における流速推定値を示した。10/26から逆流が生じている。6日の朝と7日の朝並びに10日の午前中は逆流が生じていない。

図8に底面から32cmの高さの塩分濃度を示した。図8より10/26、10/29は少しだが塩水が来ているときがある。11/1、11/3から11/4には最大20psuまでの上昇がみられる。しかしこの

期間には逆流は12回生じているのに対して、塩分上昇は10回しか見られず、塩分上昇の回数が少ない。11/8の夜から11/9の朝までは10psu程度までの塩分上昇がみられる。11/5夜には塩分濃度が最大となり、26psu程度まで上昇している。流速は図7に示すように逆流は1日に1~2回生じているが、逆流があっても塩分上昇がない場合もある。すなわち、逆流が生じてはいるが上層までは塩水が到達していない場合もあることを示している。

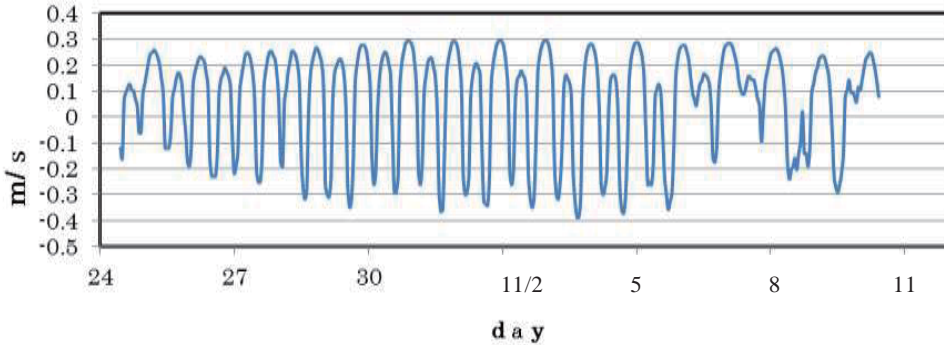


図7 高瀬川の流速 計算値

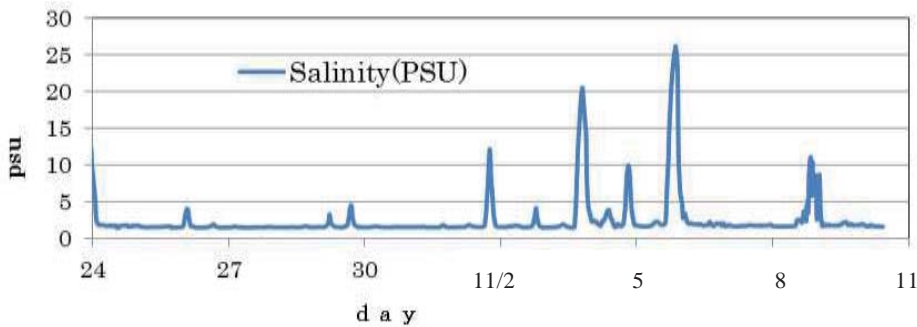


図8 塩分観測結果(Z=32cm、Z=底面からの距離)

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)⁽¹⁾⁽²⁾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 は水底から水面までの全水層を n 分割した時の k 番目の水層内において次式(2)で与えられる。

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

$$c_k = C_{\max k} \quad \text{at} \quad \xi_k = \infty \quad (3) \quad \xi_k = \beta_{1k} \int |u_k| dt / l_o + \beta_{2k} x_k / l_o + l_{o1k} / l_o \quad (4)$$

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_o は場の代表的な長さであり、ここでは $l_o = 3600 \text{ m}$ 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_{o1} 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。

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

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

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。

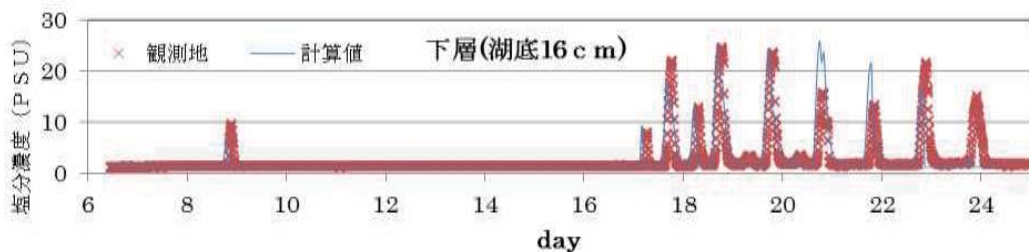


図9 2016年10月6日から10月24日 $z = 16 \text{ cm}$ における塩水遡上の予測
 $\alpha_1 = 3.2$ 、 $\alpha_2 = 1.5$ 、 $x_{01} = 1200$ 、 $x_{02} = 0$ 、 $C_m = 33.5$ 、 $C_1 = 1.3$

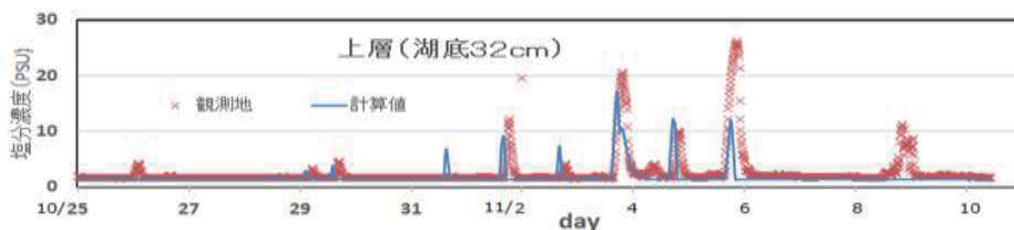
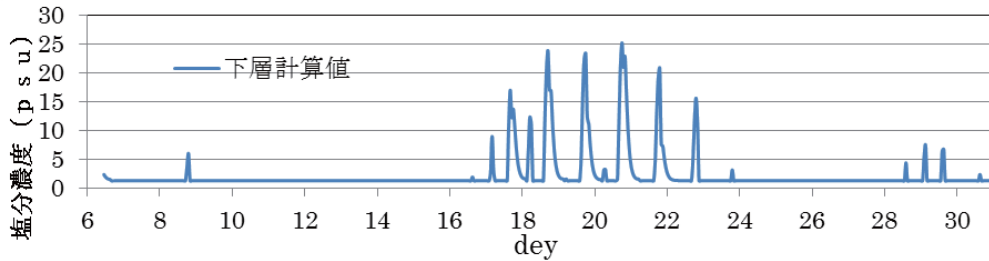


図10 2016年10月24日から11月10日 $z = 32 \text{ cm}$ における塩水遡上の予測
 $\alpha_1 = 2.7$ 、 $\alpha_2 = 1$ 、 $x_{01} = 1300$ 、 $x_{02} = 0$ 、 $C_m = 33.5$ 、 $C_1 = 1.3$

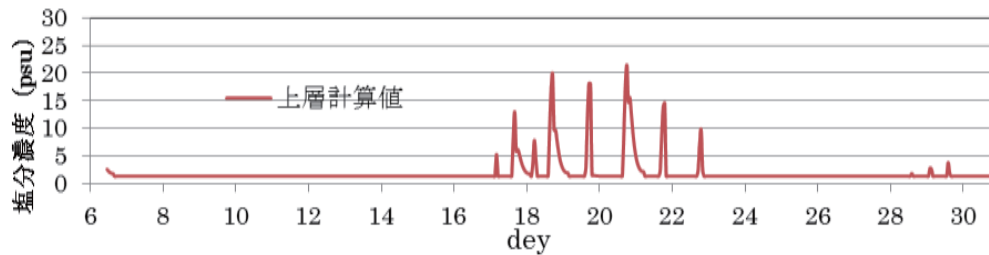
図9および図10に式(1)および式(5)を用いて湖底から16cm、32cmにおける塩水遡上の予測を行った計算結果を示した。図9は湖底から16cmの位置における塩分予測値であり、 $\alpha_1 = 3.2$ 、 $\alpha_2 = 1.5$ 、 $x_{01} = 1200$ 、 $x_{02} = 0$ 、 $C_m = 33.5$ 、 $C_1 = 1.3$ とした結果である。10/22夜に塩分濃度が観測されているが計算値が小さくなっている。しかし、10/20と10/21夜の塩分は計算値の方が観測値よりも大きくなっている。

図10は湖底から32cmの位置における塩分予測値であり、計算は $\alpha_1 = 2.7$ 、 $\alpha_2 = 1$ 、 $x_{01} = 1300$ 、 $x_{02} = 0$ 、 $C_m = 33.5$ 、 $C_1 = 1.3$ にしたところ、観測値と計算値には多少の差異が認められるがだいぶ良い結果となっている。11/8の午後から11/9の朝にかけて計算値には塩分上昇がみられない。この原因としては底地形の影響が考えられるが現時点では原因が不明である。32cmの高さでは、上層(最小全水深63cmのため上層)ということもあって塩分濃度が大幅に大きくなるのが少ない。



$$\alpha_1=3.2, \alpha_2=1.5, x_{01}=1200, x_{02}=0, C_m=33.5, C_1=1.3$$

図 11 下層計算値 2016年10月6日から31日



$$\alpha_1=2.7, \alpha_2=1, x_{01}=1300, x_{02}=0, C_m=33.5, C_1=1.3$$

図 12 上層計算値 2016年10月6日から31日

図 11 は下層における塩分計算値で、図 12 は上層における塩分計算値を示す。17日から22日夜までの6日間で塩水進入がみられるが塩分濃度は上層の方が低くなっている。8日の夜、16日の昼、23日の夜、30日の夜は下層では塩分濃度が上がっているが(図 11)、上層では塩分上昇はみられず(図 12)、これらの日には塩水は上層には到達していない。28日夜から29日の午後までは上層でも塩水の進入がみられる。

4. 結論

湖付近の高瀬川河道に自記式の水溫・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 逆流があっても塩分濃度の上昇がみられないときもあり逆流があったから塩水が進入するとは限らない。
- ② 塩分濃度を佐々木等(2012)の式を用いて、順流、逆流の混合係数 α_1 、 α_2 、ならびに塩水塊フロントの位置 X_{01} の値を見出すことで予測することが可能となった。

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 巻、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 Orland, Florida.