

小川原湖塩水遡上特性

八戸工業大学工学部土木建築工学科 木村 皇介・佐々木 幹夫、
鉄建建設(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にしている(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(汽水湖のなかでは 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 6 主要河川で、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進入塩分量の増加や、塩淡水境界面上昇が考えられている。しかし、湖への塩水進入については不明な点が多く、解明が急がれる。そこで、本研究では、湖口における塩水遡上特性を明らかにすることを研究の目的としている。今年度は、湖口部、北部湖岸近くに位置する滞筋における遡上塩水塊の挙動を現地観測により検討してみる。観測は平成 30 年 11 月 7 日から 12 月 10 日までの約 1 ヶ月間行った。



図 1 小川原湖位置

2.観測方法

観測は自記式の流向流速計 (No. 104) (写真 1)、小川原湖漁協より貸与を受けて使用した塩分水温計 (No.1060, No.1061) (写真 2)、水温塩分計 (No.336, No.337) (写真 3)、水温塩分計 (No.007) (写真 4) を用いて、2018 年 11 月 7 日から 12 月 10 日にかけて行った。



写真 1 流向流速計 (No.104)

写真 1 に示す流向・流速計を底面から 0.8m の高さに設置し測定を行った。底面近くの流動をとらえるために下層の流動を測定することに重点を置いた設置となっている。写真 2 は小河原湖漁協組合の塩分計であり、漁協の厚意によりこの塩分計を借りて測定を行って

*Characteristics of saltwater intrusion in Lake Ogawara by Kosuke Kimura, Mikio Sasaki and Satoshi Kunugi

る。写真3は昨年度に新たに本研究室で購入した新しい水温塩分計であり、底面から0.3mと0.6mの高さに設置低層の塩水の動きをとらえるように使用している。



写真2 使用した小川原湖漁協の水温塩分計 (No.1060, 1061)



写真3 水温塩分計 (No.336, 337)



写真4 ワイパー付き水温塩分計 (No.007)

写真4はワイパー付きの水温塩分計であり、長期にわたると計測器にフジツボ等の貝類が付着し測定が困難になるためにワイパーを付けている塩分計である。

図2に観測地点を示す(図2▲印) 観測場所には滞筋が通っているためこの地点での観測を行った。写真5に流向流速計と塩分計の設置状況を示す。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流向流速計と塩分計を取り付けたロープに鉄パイプを縛り付けて固定した(写真5)。



図2 湖口における観測位置(▲)

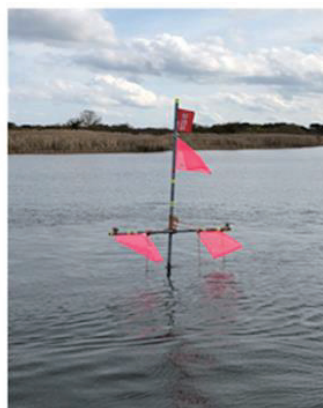


写真5 計測機器の設置

図3は11/7~12/10までの観測を行った際の機器の設置位置である。観測開始時の水深は1.8mだった。流向流速計(No.104)は底面から0.8m、水温塩分計(No.1060, 1061)はそれぞれ底面から1.2m、1.5m、(No.336, 337, 007)は0.3m、0.6m、0.9mの位置に設置した。

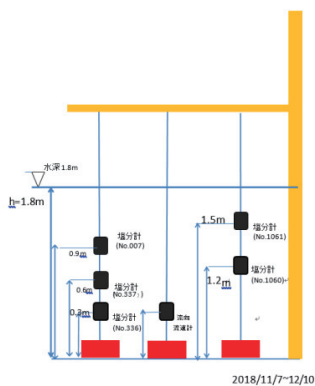


図3 塩分水温計および流向流速計の設置位置

3. 遡上塩水の塩分鉛直分布の検討

湖口より1km下流にある高瀬橋における塩水の混合形態は強混合が多く塩分の鉛直分布は無視できるとした調査研究が多い。しかし、湖口まで進む塩水は鉛直分布が大きくなり、塩分の分散は無視できない。2016年度に観測した塩分分布より得られる進入塩水塊の鉛直分布を検討してみる。

湖口における流速は古村・佐々木・功刀（2017）による河口水位と湖水位により次式のように与えられる。

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

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

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

式 (1) および (2) において、順流は湖から海へ向かう流れ、逆流は海から湖に向かう流れを意味している。式 (1) および (2) により与えられる 2016 年 10 月の流速は図 4 に示すようになる。

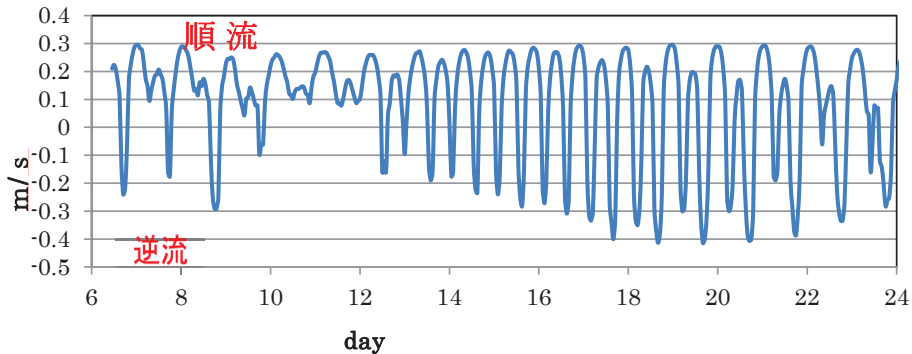


図 4 小川原湖湖口における順流と逆流（2016 年 10 月）

図 4 に示すように逆流はほぼ連日生じている。しかし、湖口に到達する塩水は限られており逆流の継続時間が長く、大きな速度に達するときだけであり、10 月 18 日から 25 日にかけて塩水が湖口に到達する。図 5 に下層の塩分予測を示した。ここに、塩分の予測は Sasaki, Tanaka and Umeda (2017) が以下のように示した理論により計算している。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 (3) で与えられる。

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

$$c_k = C_{\min k} \quad \text{at} \quad \xi_k = 0 \quad (4)$$

$$c_k = C_{\max k} \quad \text{at} \quad \xi_k = \infty \quad (5)$$

$$\xi_k = \beta_{1k} \int |u_k| dt / l_o + \beta_{2k} x_k / l_o + l_{o1k} / l_o \quad (6)$$

式(6)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。

$$c_k = (C_{pk} - C_{\min k}) \exp\{-\alpha_{2k} (\xi_k - \xi_{ok})\} + C_{\min k} \quad (7)$$

$$c_k = C_{pk} \quad \text{at} \quad \xi_k = \xi_{ok} = \xi_k \Big|_{t=0} \quad (8)$$

$$c_k = C_{\min k} \quad \text{at} \quad \xi_k = \infty \quad (9)$$

ここに、時間 t は順流開始時に 0 となる。また、式(7)において、 C_{pk} は順流開始時の塩分濃度である。式(3) および (7) より、逆流および順流時の塩分が計算される。

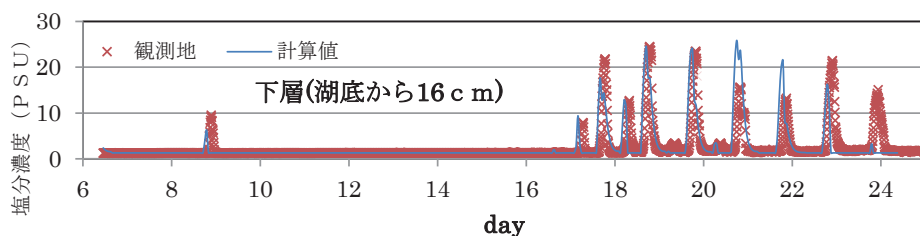


図5 小川原湖口における 2016 年 10 月の塩水遡上

ここに、塩分の計算は次の境界条件を用いている。

$$\alpha_1 = 3.2, \alpha_2 = 1.5, l_{o1} = -1200, l_{o2} = 0, C_m = 33.5, C_1 = 1.3 \quad (10)$$

古村・佐々木・功刀によると上層(底面から 32 cm の高さ)の理論定数は以下のようになる。

$$\alpha_1 = 2.7, \alpha_2 = 1.0, l_{o1} = -1300, l_{o2} = 0, C_m = 33.5, C_1 = 1.3 \quad (11)$$

図6は式(10)および(11)により与えられる 2016 年 10 月の湖口における進入塩水の塩分分布を示しており、下層と上層の 2 層より塩分分布を予測した結果を示しているが鉛直分布はさらに変化した方が自然に見える。そこで、4 層の塩分予測結果より鉛直分布を予測したのが図7である。図7より、塩分の鉛直変

化は4層の場合はより自然に見える。すなわち、ここに入る塩水の鉛直分布は無視できないことを示している。

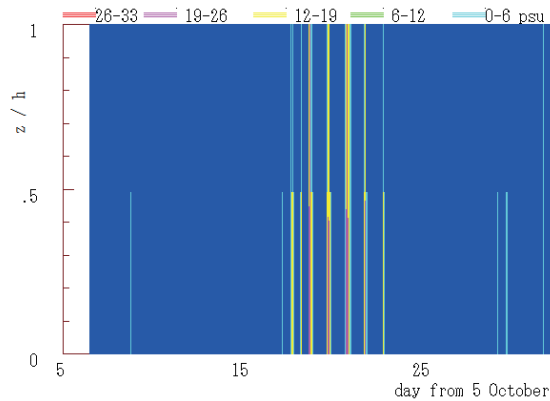


図6 湖口に進入する塩水の塩分鉛直分布（2016年10月）（2層の場合）

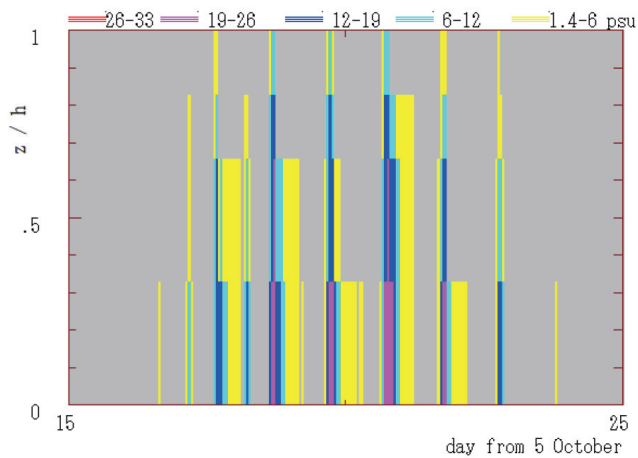


図7 湖口に進入する塩水の塩分鉛直分布（2016年10月）（4層の場合）

4. 結び

湖口に進入する塩水の塩分鉛直分布は無視できないことを明らかにした。

参考文献

- (1) 古村朋也・佐々木幹夫・功刀 智：小川原湖汽水環境調査、東北地域災害科学研究、第53巻、pp.77-82,2017.03.
- (2) Mikio Sasaki, Tanaka H. and Umeda M. “Characteristics of Salt Water Movement in Iwaki River Estuary, Japan” Journal of Earth Science and Engineering, Vol. 7, No.1, pp10-19,2017.