

**1.はじめに** 河川環境改善のための施策が様々な都市で行われている。それらの活動の一つに、名古屋市民が中心となって行っている活動がある。対象河川は名古屋市中心部を流れる堀川である。市民運動の輪が広がりつつある昨今、名古屋市も堀川の水質悪化を防ぐべく様々な施策を行っている。筆者らは市民活動に参加しつつ、堀川の水質が改善しない原因として、堀川が感潮河川であることに着目した。感潮河川で生じる塩水遡上現象は河川流量、潮汐、地形等により変動し、水環境に大きな影響を及ぼす。実河川では潮汐があり非定常の塩水楔の挙動を調べることは重要と考えられる。そこで本研究は特に大潮、小潮の潮による違いで

の非定常塩水楔の挙動が河川の水質に影響を及ぼす要因を明らかにすることを目的として、堀川の水質改善の阻害要因となる塩水遡上について現地観測を行い、塩水・淡水の鉛直混合特性の場所的・時間的変化について検討した

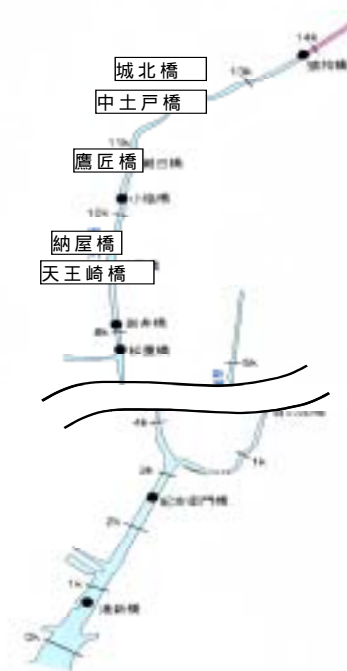


図-1. 堀川の概略図

ものである。また、鉛直二次元数値モデルによって対象水域の塩水流動の再現計算を行い、その適用性を検討した。

**2.現地観測の概要**

**2.1 堀川の概要** 本研究で対象とする堀川は名古屋市の中心部を南北に流れる川で、江戸時代に名古屋城築城に伴い、材木や食料などを運搬するために採掘された人工河川である。自己水源をもちず庄内川から導水される水と下水処理水を主な水源とし、名古屋港に注ぐ、流域面積 52.5km<sup>2</sup>、全長 16.2km の感潮河川である。また、河口から 14km までが感潮域であり、川の大部分を感潮域が占めることになる。図-1 に、観測場所の橋の位置を示した、堀川の概略図を示す。

**2.2 観測の概要** 観測方法は二種類の方法で行った。

**2.2-1 定点鉛直分布観測**

計測方法は、橋上からポータブル多項目水質計 WQC-24 (東亜DKK) をロープで釣って下ろし、水面から鉛直下向きに0.5m間隔で底面まで鉛直分布を計測した。計測項目は水温、水深、水質、DO、電気伝導度、塩分濃度、濁度、である。時間間隔としては、1時間おきに行った。

**2.2-2 定点固定長期観測**

計測方法は、橋上からポータブル多項目水質計をロープで釣って河底から 20cm の高さに固定した。計測項目と時間間隔は定点鉛直分布観測と同様である。表-1 に観測日時と期間、場所、潮位状態を示す。

**3.観測結果と考察**

**3.1 塩分濃度の鉛直分布特性** 図-2(a),(b)に小潮と大潮時の天王崎橋における塩分濃度の鉛直分布の時間

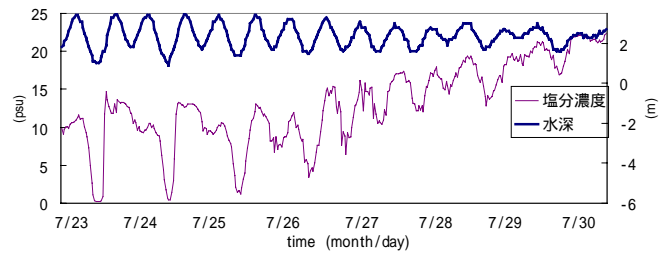
表-1 観測日時、場所、潮位状態

観測型	観測回	観測日と観測時間	観測地点	潮位状態
定点鉛直	第1回	2005 / 9 / 25 0:30 ~ 22:30	納屋橋, 天王崎橋	小潮
	第2回	2005 / 10 / 17 2:00 ~ 26:00	納屋橋, 天王崎橋	大潮
	第3回	2005 / 11 / 16 0:30 ~ 25:30	納屋橋, 天王崎橋	大潮
定点固定	第4回	2005 / 7 / 23 1:30 ~ 2005 / 7 / 30 24:00	中土戸橋, 鷹匠橋	大潮~小潮
	第5回	2005 / 8 / 11 17:00 ~ 2005 / 8 / 25 12:00	城北橋, 鷹匠橋	小潮~大潮
	第6回	2005 / 11 / 10 15:00 ~ 2005 / 11 / 12 9:00	城北橋, 中土戸橋	小潮

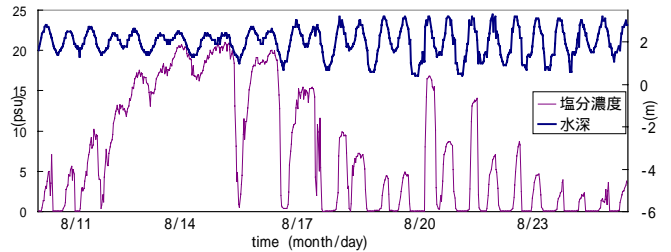
変化を示す。図は横軸に時間(h), 縦軸に鉛直距離をとった等値線で表している。大潮の満潮時には底層から上層付近にかけて 18psu 以上が流入しているが, 干潮時には底層まで塩分が小さくなっている。また小潮では満潮, 干潮での違いはなく常に底層から 2m 以内に 18psu 以上の高濃度の塩分で占められている。大潮に比べて小潮は平均で 5psu 高いことも特徴である。

また鉛直混合形態の分類の目安として  $C_s/C_b$  の値を用いることとする,  $C_s$  は表層塩分濃度  $C_b$  は底層塩分濃度であり,  $C_s/C_b \leq 0.1$  で弱混合,  $0.1 < C_s/C_b \leq 0.5$  で緩混合,  $0.5 \leq C_s/C_b$  で強混合と分類される。図-3(a), (b)には大潮と小潮における天王崎, 納屋橋での混合状態を示す。大潮では小干潮時に緩混合になるものの, それ以外では強混合を示しており, 観測での鉛直方向に混合していることが確かめられた。また小潮では常に弱混合に近い緩混合状態であり, 成層化しやすい状態であることが確認できる。

**3.2 塩分の長期変動特性** 図-4(a), (b)に定点固定観測における鷹匠橋での第4回と第5回の塩分の時間変化を示す。横軸を時間(day/month)とする。第4回の観測で, 7/23~7/25の大潮期, 0~10psu 以内で水深と同調している, すなわち満潮時には値が大きくなり, 干潮時には小さくなる。特に干潮時は0近くまで塩分濃度が小さくなる。しかし, 小干潮時には, 塩分濃度が常に大きな値を示す。また 7/28~7/30の小潮期では水深



(a) 第4回 (大潮~小潮)



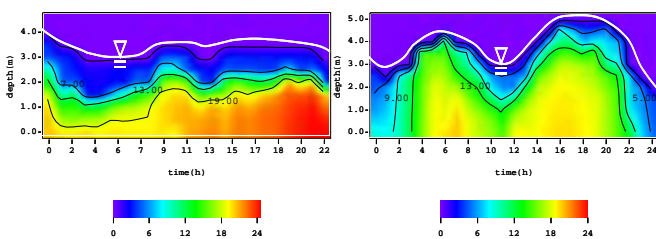
(b) 第5回 (小潮~大潮)

図-4 鷹匠橋での塩分の時間変化

変化と同調しているものの, 塩分濃度は常に 15psu 以上の高い値を示している。ここから小潮時のほうが大潮よりも塩水楔が上流にあると考えられる。

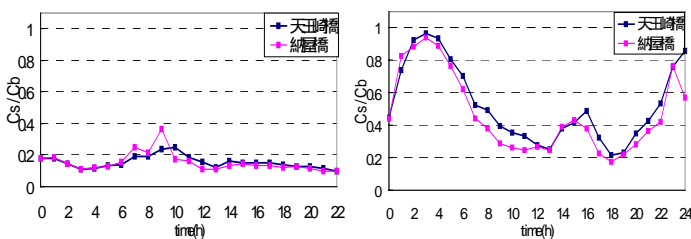
第5回では小潮時に, 第4回と同様に 15psu 以上の高い値を示し, 小潮時には常時, 底層に高濃度塩水が流入していると考えられる。大潮時には第4回ほどの高い値は示さないが, 水深の変化と同調して値が上下する傾向は第5回と同様である。

**3.3 降雨による塩分濃度への影響** 降雨による影響を考察する。図-5(a), (b)に第2回と第3回, 共に大潮時, 納屋橋における塩分の鉛直分布の時間変化を示す。第2回観測日に計 15mm, 観測日前々日には 22mm の降雨を記録した。第3回では観測前々日~観測日までの降水量は 0mm である。第2回を降雨時, 第3回を晴天時として比較すると, 0, 24 時の干潮で底層まで塩分が小さくなることは同じ傾向である, しかし第三回で小干潮時に 18psu 以上の塩分が底層に観測されている一方, 第2回では小干潮時に 4psu まで



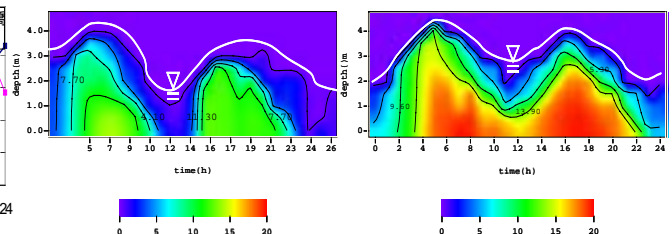
(a) 小潮 (9/25) (b) 大潮 (11/16)

図-2 天王崎橋での塩分時間変化



(a) 小潮 (9/25) (b) 大潮 (11/16)

図-3 混合指標の時間変化



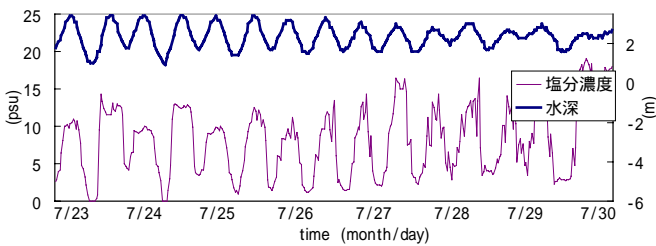
(a) 降雨時 (10/17) (b) 晴天時 (11/16)

図-5 納屋橋での塩分時間変化

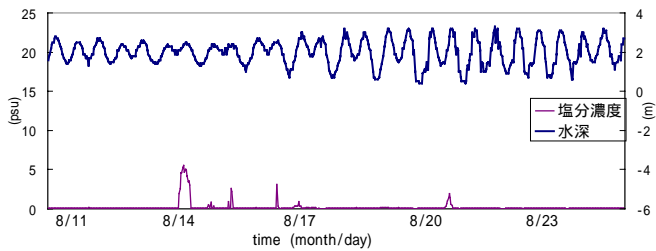
で小さくなっている。また一番の違いは全体の塩分の値であり、第2回は第3回に比べて平均で4psuも小さい。鷹匠橋で第4回と第5回の大潮時を比較すると第5回の大潮時の塩分が第4回に比べて値が小さい。特に5mm以上の降雨量のあった8/16, 18, 20, 21日の直後、塩分の値が著しく小さくなっている。降雨量により、塩分濃度が小さくなること、また塩水流入を下流に押し下げることが推測される。

### 3.4 塩分濃度の場所的変化特性

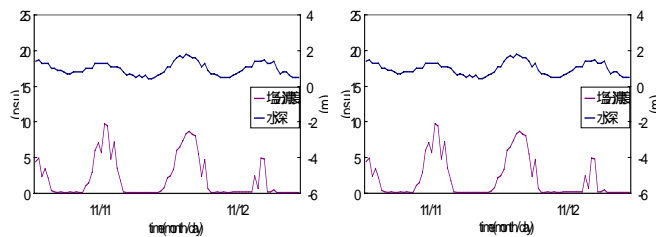
図-6(a),(b)に定点固定観測における第4回の中土戸橋と城北橋での、(c),(d)に第6回の中土戸と城北での塩分と水深の時間変化を示す。城北橋では、第4回での鷹匠橋と同様に大潮時の0, 24時の干潮に値が0になるが、小潮時は干潮時でも5psuを下回ることはなく、第6回でも大潮時に10psuを記録しており、河口から11.8kmの中土戸橋でも塩水が流入していることが理解できる。一方、中土戸橋の上流0.5kmの城北橋では、



(a) 第4回 中土戸橋 (大潮~小潮)



(b) 第5回 城北橋 (小潮~大潮)



(c) 第6回 中土戸橋 (d) 第6回 城北橋

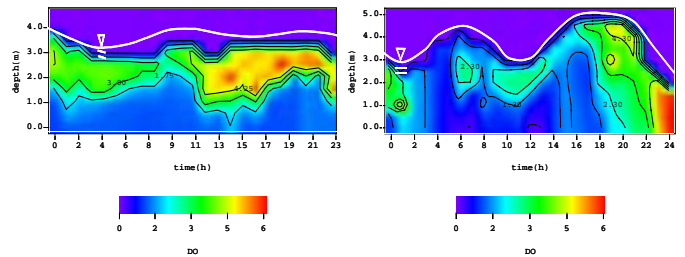
小潮

図-6 塩分の時間変化

小潮時に5psuの塩分を記録し、第6回でも2psuを記録しており、塩水楔が城北橋近辺まで来ていると考えられる。

3.5 DOと塩分の関係 図-7(a),(b)に小潮と大潮時の天王崎橋におけるDOの鉛直分布の時間変化を示す。

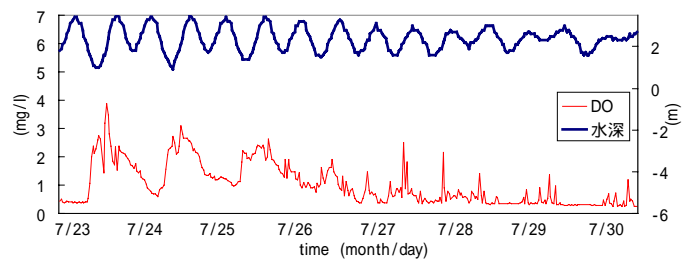
図-2と比較すると塩分の大きいところはDOが小さくなっていることがわかる。図-8(a),(b)に定点固定観測における鷹匠橋での第4回と第5回のDOと水深の時間変化を示す。横軸を時間(day/month)とする。図-4と比較すると小潮時の塩分が15psu以上の時に、DOは1mg/l以下になる。これより、塩分とDOは反比例の関係であることが理解できる。また第4回の大潮時には上げ潮と同時にDOも急激に上がることから、大潮時には強混合状態の河川水が底層のDOまで影響を及ぼしていることが伺える。



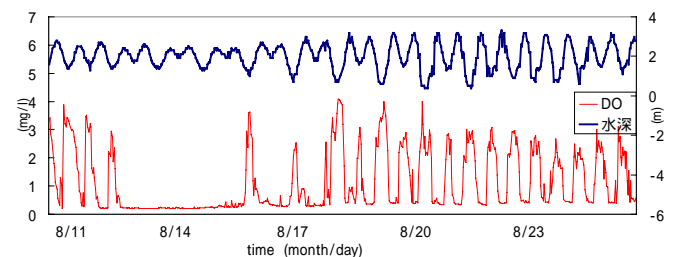
(a) 小潮 (9/25)

(b) 大潮 (11/16)

図-7 天王崎橋でのDO時間変化



(a) 第4回 (大潮~小潮)



(b) 第4回 (小潮~大潮)

## 4.鉛直二次元数値計算

4.1 基礎方程式 鉛直二次元モデルによる基礎方程式は以下のとおり、z方向は、静水圧分布としている。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial uu}{\partial x} + \frac{\partial uw}{\partial z} = -\frac{g}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}$$

$$+\frac{\partial}{\partial x} v_{tx} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} v_{tz} \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial cl}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (ucl) + \frac{\partial}{\partial z} (wcl) = \frac{\partial}{\partial x} \left( v_x \frac{\partial cl}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( v_z \frac{\partial cl}{\partial z} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

$$\rho = \rho_T + 0.0074S(\%) \quad (4)$$

$$S(\%) = 0.03 + 1.805cl(g/l) \quad (5)$$

$u, w$ は流下、鉛直方向の平均流速、 $p$ は圧力、 $v_{tx}, v_{tz}$ は渦動製粘生係数、 $cl$ は塩化物イオン濃度、 $v_x, v_z$ は各方向の渦拡散係数である。計算方法は、下流端に名古屋港の潮位データを与えることで、水位変化をさせた。水位変化は、 $\sigma$ 座標を用いた。水面の圧力に対応した水位を定め、その水位を等間隔に分け、 $z$ 座標の更新を行っている。また、塩水遡上を考察するために、式(2)の物質収支則を基礎方程式と式(4)の

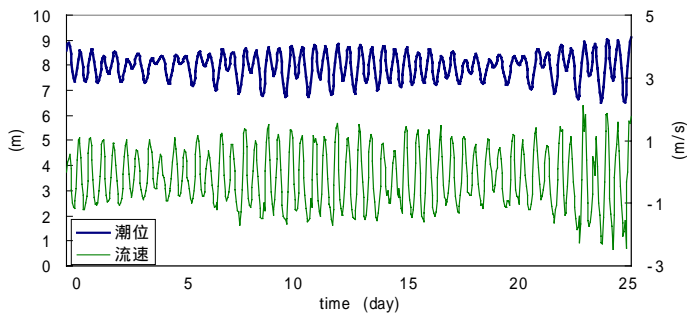


図-9 下流端に与えた潮位と納屋橋での計算による流速

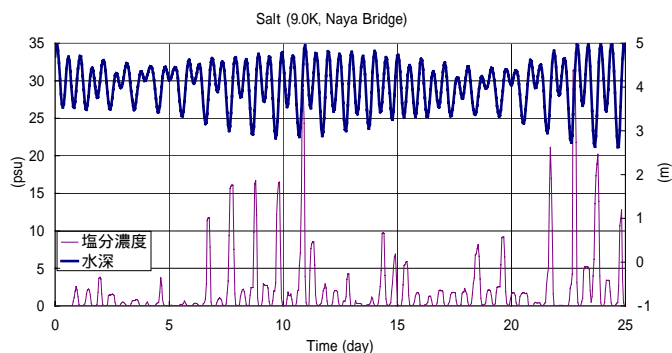


図-10 計算による堀川での水深と塩分濃度の時間変化

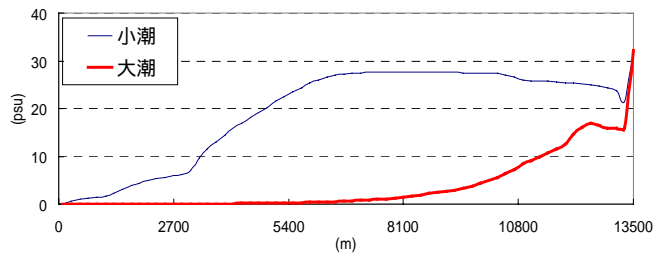


図-11 計算による満潮時での塩分濃度の場所的变化

密度に関する状態方程式を用いて解析を行った。なお  $v_{tx}, v_{tz}$  は成分による鉛直混合抑制効果を表現するために局所リチャードソン数を用いて変化させた。

4.2 数値計算結果 図-9に下流端に与えた潮位変化と計算による納屋橋での流速を示す。図-10は計算による納屋橋での水深と塩分濃度の時間変化である。納屋橋での水深は、大潮時、干潮時とそれぞれの満潮、干潮時とも、下流端に与えた潮位と同調している。水深変化は再現されていると言える。塩分濃度は観測時と異なり小潮時に比べて大潮時の値が大きくなっているが、満潮、干潮に合わせて塩分が増減しているところは再現されていると言える。図-11は縦軸を塩分、横軸を流下方向距離とした塩分の場所的变化を示す。大潮、小潮の満潮時を取り出した。小潮期は大潮期に比べて塩分濃度が大きくなった、また観測時と同様に塩水は大潮期より小潮期のほうが、上流まで浸入している。

## 5.おわりに

大潮期には干潮時には緩混合となるが、それ以外は強混合状態であり、特に満潮時にその傾向が強く、強混合状態で塩水と河川水が鉛直方向に混ざり合っている。小潮期は、常に弱混合であり、河底に高濃度の塩水が停滞している。また降水量の影響で、塩分濃度が小さくなり、塩水楔が下流に押し下げられることと、河口より12.3km上流の城北橋まで塩水が遡上している可能性がある。DOと塩分は反比例の関係にある。大潮時、強混合状態の河川水が河床のDO値に影響を与えていると推測される。潮位変化を与えた鉛直二次元モデルによって、堀川河道内の塩分濃度の場所的、時間的変化をある程度、再現できることが分かった。今後、大潮期での塩分濃度が小さくならない様、流下方向だけでなく鉛直方向の塩水と河川水の混合形態を大きくしていく必要がある。 指導教官 富永 晃宏 教授