

**1.はじめに** 全国の都市河川において、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1つに、名古屋市の市民が中心となって行っている活動がある。対象河川は、名古屋市の中心部を流れる堀川である。これまでに、都市河川に環境導水を行うことで河川の水質改善を目指すなど、積極的な活動が行われてきた。筆者らは、この活動に参加する中で、堀川の水質が改善しない理由として、堀川が感潮都市河川であるという点に着目した。河川感潮域で生じる塩水遡上現象は、河川流量や潮汐、地形等により変動し、水環境に大きな影響を及ぼす。感潮域での鉛直方向の流動や水質を継続的に調査していくことは重要である。しかし、従来の調査においては、表層水の水質調査のみが定期的に行われているだけで、塩水遡上の実態に関する知見が得られていないのが現状である。

そこで本研究は、河川の水質に影響を及ぼす要因を解明することを目的とし、都市河川の水環境

改善への足掛かりにすべく、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 対象河川の概要** 本研究で対象とする川は、名古屋市の中心部を南北に流れる堀川で、江戸時代に名古屋城築城のための材木などを運搬するために採掘された人工河川である。庄内川から導水された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  $52.5 \text{ km}^2$ 、全長  $16.2 \text{ km}$  の感潮河川である。また、河口から  $14 \text{ km}$  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に堀川の概略図を示す。

**2.2 観測の概要** 観測場所としては納屋橋 ( $9.1 \text{ km}$ )、岩井橋 ( $8.1 \text{ km}$ )、巾下橋 ( $10.6 \text{ km}$ )、尾頭橋 ( $6.2 \text{ km}$ ) を選定した。図-1に観測地点の橋の位置を示している。計測は2004年6月から2004年10月にかけて定期的には大潮の日を選択して行った。表-1に観測日時を示す。計測法は、橋上から電磁流速計(アレック電子)とポータブル多項目水質計(東亜DKK)をロープで釣って下ろし、水面から鉛直下向きに  $0.5 \text{ m}$  間隔で底面まで鉛直分布を計測した。計測項目は水深、水温、 $\text{DO}$ 、電気伝導度、塩分濃度、濁度、流速で、時間間隔としては、1時間おきに行った。また、河川縦断方向

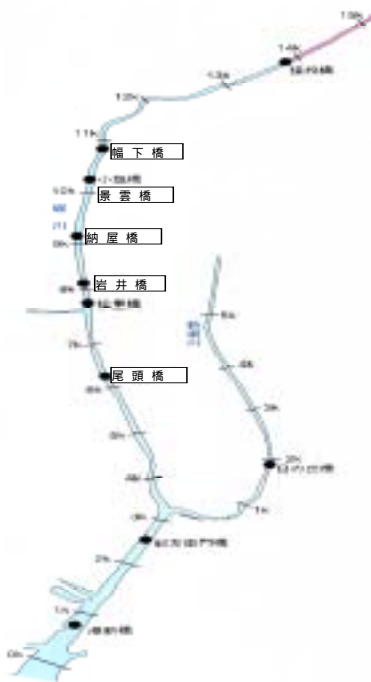


図-1 堀川の河道平面図と観測地点

表-1 観測日時

	観測日	観測時間	観測地点	潮位状態
第1回	2004.6.10	8:00~20:00	納屋橋	小潮
第2回	2004.8.2	0:00~24:00	納屋橋	大潮
第3回	2004.9.14	0:00~24:00	岩井橋	大潮
第4回	2004.10.28	7:00~19:00	尾頭橋 巾下橋	大潮
第5回	2004.11.19	9:00~17:00	河口~巾下橋	大潮
第6回	2004.11.26	9:00~17:00	河口~巾下橋	小潮

の水質変化を把握するために、小型船を利用して、11/19（小潮）と11/26（大潮）に河口から1kmおきに設定した計10地点において、各水質の鉛直分布を船上から計測した。

### 3. 観測結果と考察

**3.1 塩分の鉛直分布特性** 図-2(a)～(d)に測定地点の納屋橋・岩井橋・巾下橋・尾頭橋における塩分の鉛直分布の時間変化を示す。図は横軸に時間、縦軸に鉛直距離をとった等値線で表している。また、鉛直混合形態の分類の目安として $C_s/C_b$  ( $C_b$  (度)の値を用いることとする。 $C_s$ =表層塩分濃度、 $C_b$ =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。

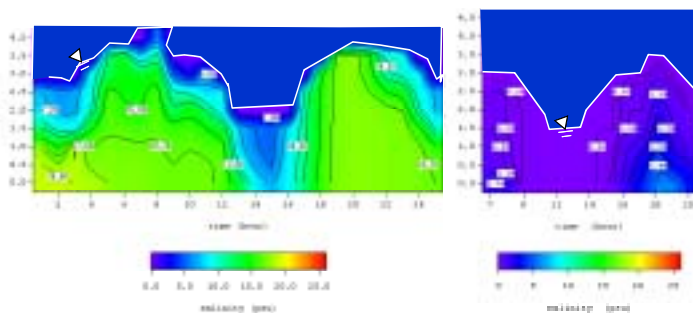
納屋橋では、上げ潮時には水深全体にわたって塩分が増大していき、8時の満潮時前後では底面側に濃度の高い塩水の進入が見られ上層は塩分が低い成層流状態となっていることがわかる。12時から16時の水位低下の大きい干潮時には淡水化が底層まで及び、15時から19時にかけての強い上げ潮時に高濃度の塩水流入により、全層がほぼ均一化

する強混合状態となっている。

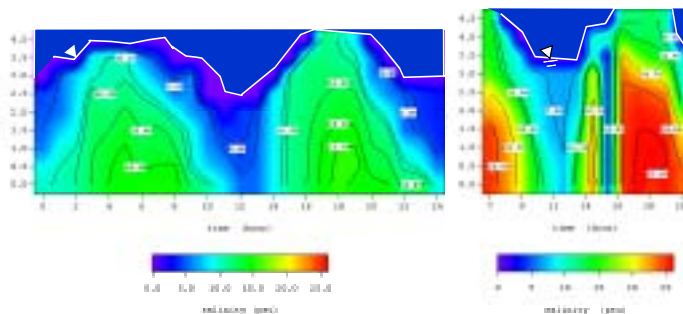
1km下流の岩井橋では、満潮時に濃度の高い塩水が底層に現れており、水面近くも比較的高い濃度を示している。また、12時の干潮時には、全層が淡水化している。

最上流の巾下橋では、18時の満潮時に若干の塩水が底層にみられるが、他地点よりも相対的に塩分は低い値になっている。

最下流の尾頭橋では、7時と18時の満潮時に濃度の非常に高い塩水が底層から中層にかけて現れており、上層でも比較的高い濃度を示している。しかし、12時の干潮時には、全層で塩分が低くなっており、大潮時には、1日を通じて河川水全体の塩分に大きな差が生じていることになる。図-3に各地点における混合指標の時間変化を示す。主に岩井橋では、強混合で占められ、尾頭橋では、12時の干潮時以外においては緩混合の値を示している。巾下橋では、干潮時には全層が淡水化することにより強混合を示すが、他の時期には弱混合に近い値を示している。次に、図-4に大潮と小潮時における混合指標の時間変化を示す。大潮時には



(a) 納屋橋 (9.1km)      (c) 巾下橋 (10.6km)



(b) 岩井橋 (8.1km)      (d) 尾頭橋 (6.2km)

図-2 各地点における塩分時間変化

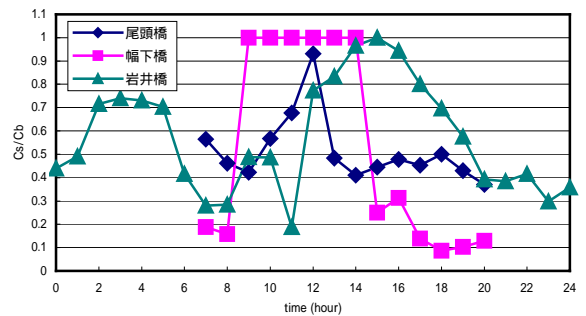


図-3 各地点における混合指標の時間変化

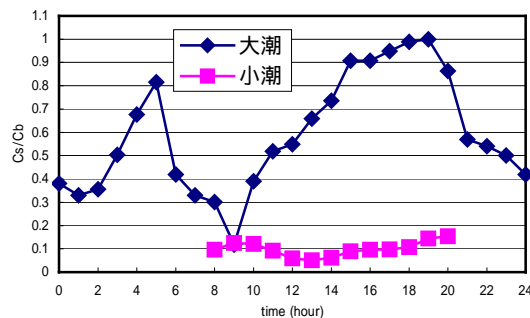


図-4 大潮と小潮における混合指標の時間変化

強混合で、小潮時には弱混合で占められ成層化しているのが分かる。

**3.2 塩分の縦断分布特性** 次に、縦断方向の塩分分布の検討を行う。図-5～6は第5～6回観測時における塩分の縦断分布である。図は横軸に河口からのまた、底層部分の多角形は河床を表している。図-5の小潮時には、8.1km地点の岩井橋まで高濃度の塩水が流入しているのが示されている。そして、塩水楔の先端が11km付近の中下橋まで遡上しているのが理解できる。また、表層水は比較的低い値で推移しており、鉛直混合形態は弱混合に近い形態を成している。一方、11/26の大潮時には6.2km地点の尾頭橋上流までしか20PSU以上の高濃度の塩水が流入していない。これは、観測時に潮位が満潮前であることより、小潮時との距離の違いが生じていると考えられる。しかし、塩水楔の先端は11km付近の中下橋を越えており、大潮時には11kmより上流まで確実に塩水が遡上していることになる。また、表層水も納屋橋付近まで、10psu以上の値を示していることから、強混合に近い形態を成している。

**3.3 DOの縦断分布特性** 次に、縦断方向のDO濃度分布の検討を行う。図-7～8にDOの鉛直分布の縦断変化を示す。図-7の小潮時には、10.6kmの中下橋までDOの値が1mg/l以下である。理由としては、塩水楔の先端が中下橋まで遡上しており、塩水楔に対応してDOの値が低くなっていると推

測される。また、鉛直混合形態が弱混合状態であることから上層は淡水である。上層0.5mのDOは大きいことから、上流から流入する河川水のDO濃度は比較的大きいものと推測できる。一方、図-8の大潮時は、全体的にDO濃度は小さい。これは、鉛直混合形態が強混合状態であることからDO濃度の低い塩水の影響が全水深に及んでいるものと推測される。また、上流域への影響も、小潮時よりも広範囲に及ぶことがわかった。

**3.4 濁度の縦断分布特性** 図-9～10に第5～6回観測時における濁度の鉛直分布の縦断変化を示す。図-9の小潮時には、全体的に濁度の値は小さい。しかし、塩水楔先端の11km付近の幅下橋において濁度の最大値が現れている。一方、図-10の大潮時には、20PSU以上の高濃度の塩水が流入している6.23km地点の尾頭橋上流までは、濁度の値は低くなっているが、3km地点から10km地点までの中～上層では、相対的に濁度の値が高くなっている。また、小潮時と同様、塩水楔先端の11km地点の中下橋上流において濁度の最大値が現れている。これは、上げ潮の逆流時に塩水楔先端部において河床から濁質が急激に浮上することによると考えられる。

#### 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である。また、z方向は、静水圧分布としている。

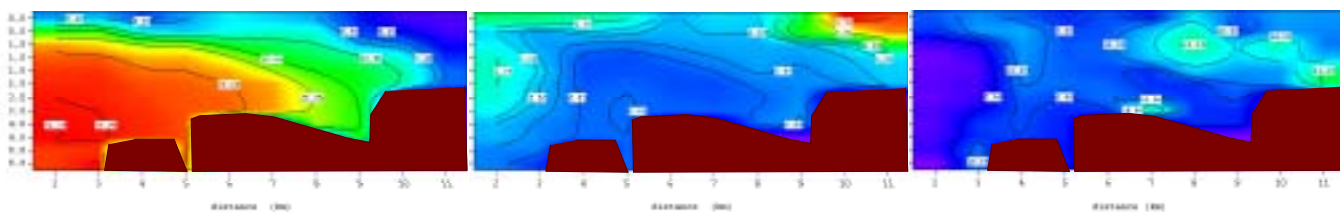


図-5 塩分の縦断分布 (11/19)

図-7 DOの縦断分布 (11/19)

図-9 濁度の縦断分布 (11/19)

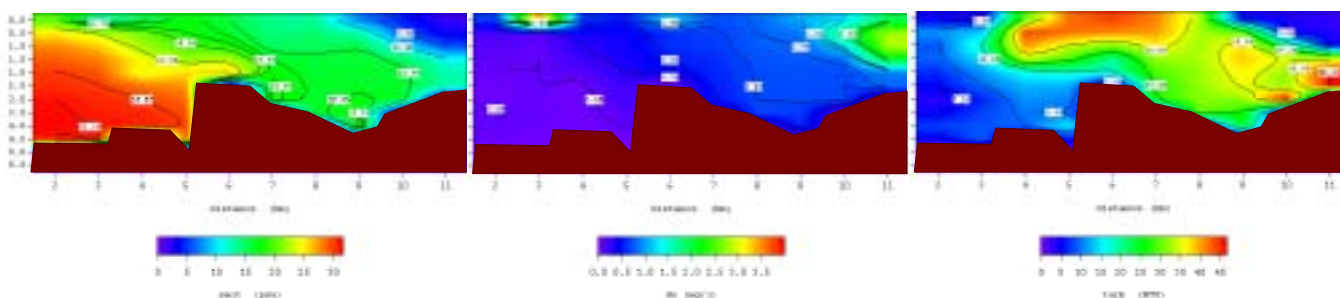


図-6 塩分の縦断分布 (11/26)

図-8 DOの縦断分布 (11/26)

図-10 濁度の縦断分布 (11/26)

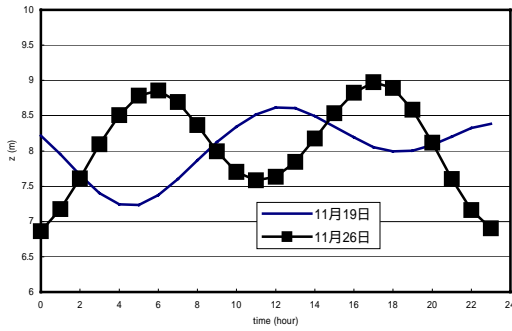


図-11 下流端に与えた潮位変化

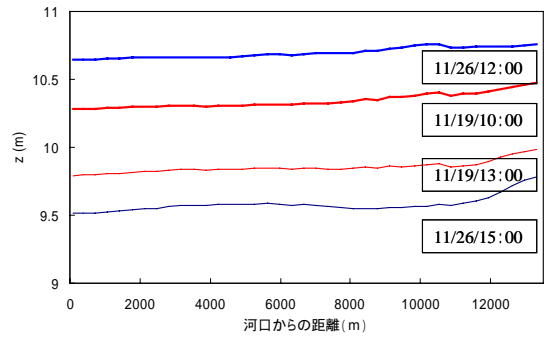


図-12 縦断方向の水位変化

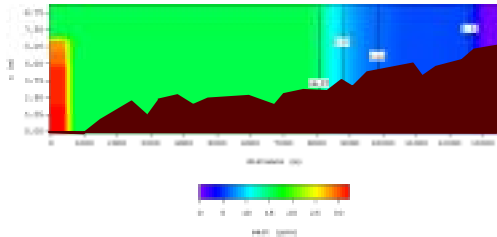


図-13 塩分の縦断分布 (11/19)

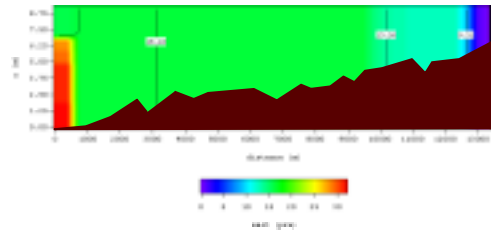


図-14 塩分の縦断分布 (11/26)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial uu}{\partial x} + \frac{\partial uw}{\partial z} = -\frac{g}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (1)$$

$$+ \frac{\partial}{\partial x} v_i \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} v_i \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)$$

$$\frac{\partial cl}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (ucl) + \frac{\partial}{\partial z} (wcl) = \frac{\partial}{\partial x} (v_x \frac{\partial cl}{\partial x})$$

$$+ \frac{\partial}{\partial z} (v_z \frac{\partial cl}{\partial z}) \quad (2) \quad \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

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

ここに、 $u, w$ は流下、鉛直方向の平均流速、 $p$ は圧力、 $v_i$ は渦動粘性係数、 $cl$ は塩化物イオン、 $v_x, v_z$ は各方向の濃度分散係数である。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。水位変化に、 $\sigma$ 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)の密度に関する状態方程式を用いて解析を行った。

**4.2 数値計算結果** 図-11に下流端条件に与えた潮位変化を示す。11/19は小潮で、11/26は大潮であり、干満の差に違いできていることが理解できる。図-12に観測時間における縦断方向の水位変化を示す。ここで、11/19は10～13時、11/26は12～15時に観測を行っており、その時間に対応

させている。11/19は2～3番目のデータであり、0.5mの水位上昇が見られる。11/26は1,4番目のデータであり、1mの水位上昇が見られ、下流端に与えたデータと一致していることから潮位変化による水位変化はうまく再現されているといえる。

図-13～14に第5～6回観測時の潮位変化を与えた場合の塩分の縦断分布図を示す。図は横軸に河口からの距離、縦軸に底面を0mにして鉛直距離をとった等値線で表している。両ケースともに鉛直方向には差が生じておらず、強混合の形態を示している。しかし、小潮時の図-13においては、10PSU以上の塩水が河口から8000mまでしか遡上していないのに対して、大潮時の図-14においては、12000m付近まで遡上しており、潮位差による違いが再現されているといえる。

**5.おわりに** 観測した区間において混合形態の違いが見られ、基本的には緩混合の形態を示し、大潮時と小潮時とでは、塩水楔の先端の位置は変化することがわかった。また、塩水楔は、上げ潮時に貧酸素水塊となって遡上し、塩水楔の先端において濁度の最大値が発生することが推測される。また、 $z$ 方向を静水圧分布とした鉛直二次元モデルによって、潮位変化を与えた場合の水位変化と塩水流動の再現が可能であることがわかった。

指導教官 富永 晃宏 教授