

都市感潮河川域における溶存酸素の変化特性

Variation Characteristics of Dissolved Oxygen in Tidal Area of Urban River

18N3100026H 濱野 優至 (河川・水文研究室)
Yushi HAMANO/ River Engineering and Hydrology Lab.

Key Words : urban tidal waters, dissolved oxygen, field observation

1. はじめに

近年日本においては、治水安全度や利水機能を高めるだけでなく、河川の景観や生態系などの環境面にも考慮した川づくりが重要視されている¹⁾。しかしながら、都市感潮河川域は下水処理場からの流出水や生活排水が集中するエリアであり、水面の白濁化や硫化水素臭発生などの課題が未だ解決されていない。その結果、生物の生息空間や住民の親水空間としての都市河川の価値を大きく低下させている。

一般に水面の白濁化や悪臭の発生は水中の溶存酸素 (Dissolved Oxygen : DO) 濃度の低下に伴って生じることが指摘されており²⁾、都市感潮河川域においては、DO 濃度あるいは飽和度の低下要因を明らかにするための多くの研究が行われている。都市感潮河川域の貧酸素化の要因としては、貧酸素化した海水の遡上³⁾、河床底泥による酸素消費⁴⁾、降雨時の出水による河床底泥の巻き上げに伴う化学的酸素消費⁵⁾、CSO (Combined Sewer Overflow : 雨天時合流式下水道越流水) の流入による有機物分解に伴う酸素消費⁶⁾などが指摘されている。

ただし、河川の水質環境はその流域特性や出水時・平水時で異なる性質を示すため、各河川における水質改善対策を検討する際には、河川ごとに知見を集積していくことが必要とされている⁷⁾。実際、都心を流れる日本橋川では図-1に示すように2000年から現在にかけて、溶存酸素濃度は継続して低い値を示しており、悪臭の発生や水面の白濁化を防止するための環境保全値(2 mg/l)を度々下回っている。それに伴い、水面の白濁化や悪臭の発生、魚の大量斃死が2020年現在でも問題となっている。

そこで本研究では、首都高の地下化に代表される水辺再生事業進行に伴い、水質の改善が急務となっている日本橋川およびその周辺の都市感潮河川を対象にして現地調査を行い、①日本橋川におけるDO飽和度の変化特性を明らかにすること、②現地調査結果を踏まえて、有効だと推察されるDO改善対策を考案し、数値計算を用いてその有効性を評価することを試みた。

2. 対象河川の概要および観測手法

(1) 観測対象河川の概要

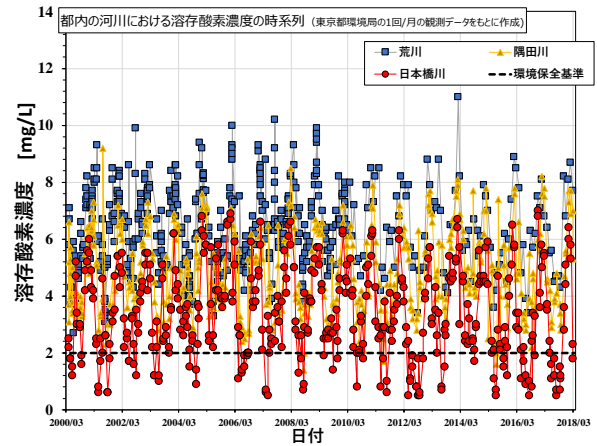


図-1 都内の感潮河川における溶存酸素濃度の比較 (日本橋川は現在に至るまで継続して、都内を流れる感潮河川の中で最も貧酸素状態であり、環境保全値を度々下回っている)

現地観測は日本橋川のほか、観測結果の比較を行うことを目的として荒川、隅田川、神田川及び東京湾を対象に行った。

荒川は、秩父山系甲武信ヶ岳 (標高2457 m) に源を發し東京湾に流入する、幹線流路延長173 km、流域面積2940 km²の一級河川である。荒川に関しては河口から21 km地点までの感潮域を観測対象とした。隅田川は荒川の支川であり、岩渕水門 (河口から20.5 km地点) で荒川から分流し、途中神田川、日本橋川と合流し東京湾に注ぐ都市河川である。神田川は三鷹市井の頭の池に源を發する、幹線流路総延長24.6 km、流域面積105 km²、下水道普及率100%の都市河川である。日本橋川は神田川の支川であり、流路総延長4.8 kmの都市河川である。

(2) 観測手法

現地観測は計3回行った。1回目の観測は2017年12月12日に実施し、荒川、隅田川、神田川、日本橋川及び東京湾を対象として49ヶ所で現地での一斉採水及び現地計測を行った。1回目の調査は平水時かつ小潮期の順流時に行った。東京湾を除く各観測地点においては、橋上より多項目水質計 (DS5-X, 環境システム(株)製) を用いて水温、塩分濃度、DO濃度の計測を行った。東京湾においては観測船により湾内を移動し、採水及び多項

目水質計を用いた計測を行った。2回目及び3回目の観測では潮汐に伴うDO飽和度の変化を把握するため、日本橋川西河岸橋地点（河口から5.5km）にて2018年11月21日～22日および2018年12月11日～12日の期間に、ワークホースタイプADCP（TRDI社製、周波数1200kHz）を用いて流速の鉛直分布の連続計測を行った。加えて、日本橋川西河岸橋地点及び日本橋川河口にて2時間おきに多項目水質計（DS5-X、環境システム(株)製）を用いて水温、塩分濃度、DO濃度の計測を行った。

3. 都内の感潮河川における溶存酸素飽和度の空間分布特性、および時間変化特性

(1) DO飽和度の空間分布特性

図-2に荒川、隅田川、日本橋川におけるDO飽和度の計測結果を示す。図より、神田川・日本橋川においては、上流から貧酸素状態なわけではなく、非感潮域と感潮域の境界あたりから値が低下していることがわかる。荒川・隅田川との値と比較すると、神田川・日本橋川のDO飽和度は最大で40%ほど低い値を示している。さらに、日本橋川におけるDO飽和度は東京湾の値よりも低いことが分かる。

次に、隅田川、日本橋川におけるDO飽和度及び塩分濃度の鉛直分布の計測結果を図-3に示す。まず塩分濃度に着目すると、いずれの河川でも、表層では低い値を示し、水面から1～2mほどの深さで急激に濃度が上昇しており、東京湾の海水が塩水楔型で遡上していることが分かる。次にDO飽和度に着目すると、隅田川においては、どの地点においても鉛直分布形がほぼ一様であり、河床付近においても40%程度の飽和度がある。つまり、東京湾より遡上してくる海水は貧酸素状態ではないことが分かる。一方で日本橋川では、底層ほどDO飽和度が低い値を示しており、河床付近では0%に近い値となっている。両河川における観測結果の比較より、日本橋川底層においては、河床堆積物による酸素消費が生じていることが推察される。

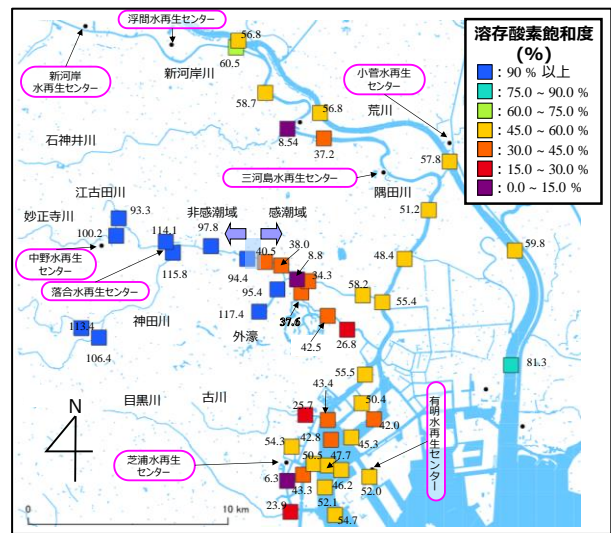


図-2 溶存酸素飽和度（河床付近）の空間分布図
（神田川・日本橋川では、上流から貧酸素状態なわけではなく、感潮域から急激にDO飽和度が低下している）

(2) 潮位変化に伴うDO飽和度の時間変化

図-4に東京湾晴海地点での天文潮位および日本橋川西河岸橋地点における流下方向流速の鉛直分布の連続観測結果を示す。この図より、日本橋川は下げ潮期に表層から中層の水が海側へ流下し、上げ潮期には全層で河川水が逆流していることがわかる。河川流速の絶対値は最大で約0.3 m/s程度であり、潮位の変動に応じて6時間ほどで順流と逆流を繰り返していることが分かる。つまり日本橋川においては河川水が長期間滞留しやすいことが推察される。次に潮汐に伴うDOの変化を見るために、流速観測と同時期に日本橋川河口地点で2時間おきに計測したDO飽和度と塩分濃度の鉛直分布を図-5に示す。この図から、上げ潮の時間帯（②～④、⑧～⑨）には底層の塩分濃度とDO飽和度が徐々に高くなっていき、下げ潮の時間帯（⑤～⑦、⑩～⑪）には底層の塩分濃度の低下とともにDO飽和度も低下していく傾向が見られる。つまり、日本橋川へと遡上してくる塩

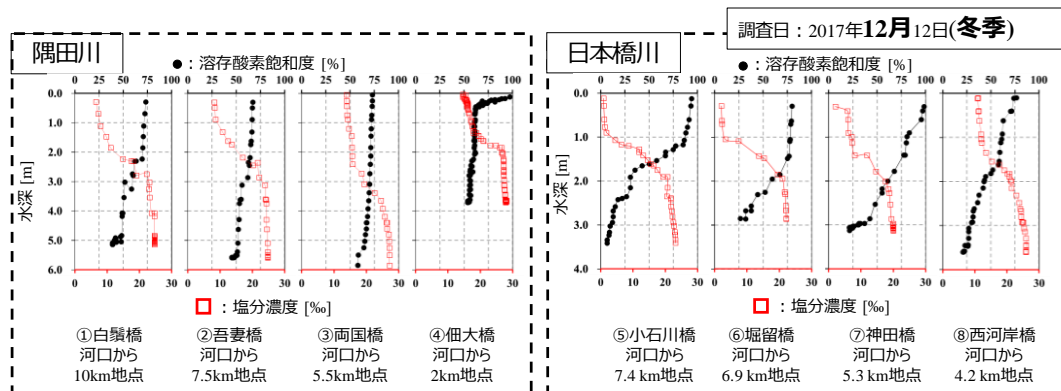


図-3 隅田川・日本橋川における溶存酸素飽和度と塩分濃度の鉛直分布

（両河川での計測結果の比較により、日本橋川底層での貧酸素状態は、海域からの貧酸素水の遡上が原因ではなく、河床堆積物による酸素消費だと推察できる。）

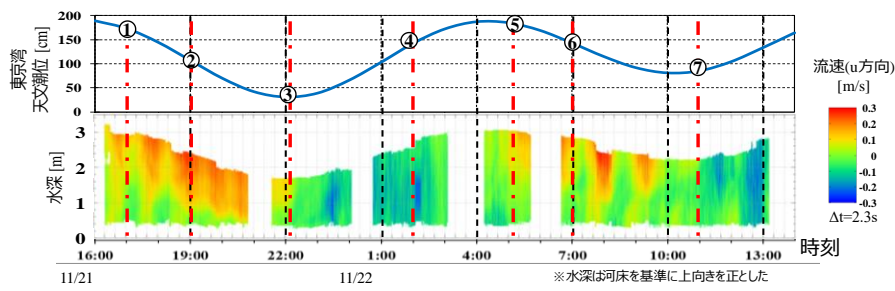


図-4(a) 東京湾の天文潮位と日本橋川における流速の時間変化（大潮時の観測結果）

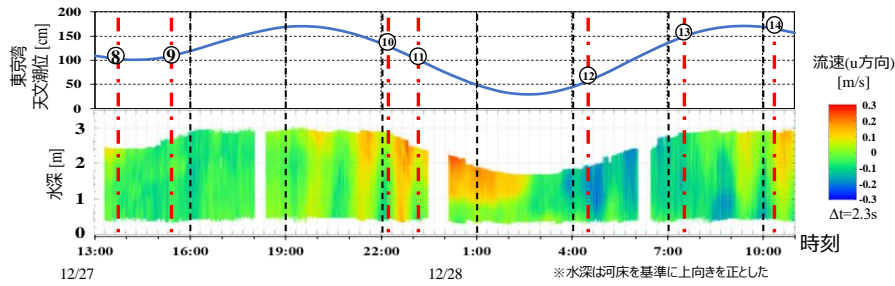


図-4(b) 東京湾の天文潮位と日本橋川における流速の時間変化（小潮時の観測結果）

（日本橋川では、下げ潮期には水が海へと流下し、上げ潮期には逆流している。河床付近の水は潮位に依らずほとんど流動しておらず（流速±0.1 m/s以下）、表層～中層の水も、東京湾の潮位に応じて、約6時間おきに順流と逆流を繰り返している）

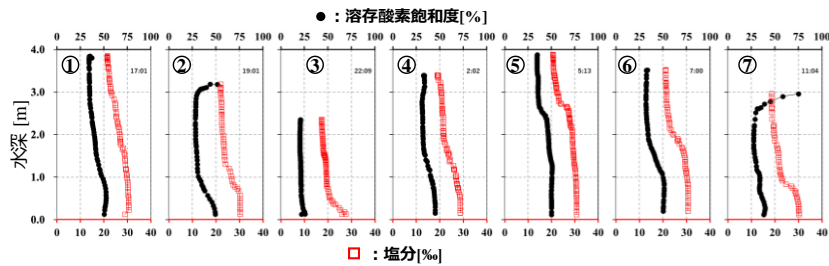


図-5(a) 日本橋川河口部における溶存酸素飽和度と塩分濃度の時間変化（大潮時の観測結果）

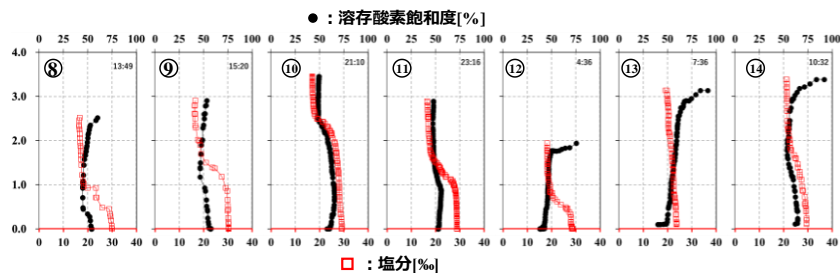


図-5(b) 日本橋川河口部における溶存酸素飽和度と塩分濃度の時間変化（小潮時の観測結果）

（上げ潮の時間帯（②～④，⑧～⑨）には底層の塩分濃度とDO飽和度が徐々に高くなっていき、下げ潮の時間帯（⑤～⑦，⑩～⑪）には底層の塩分濃度の低下とともにDO飽和度も低下していく）

水は、日本橋川よりも高いDO飽和度であり、海域からの遡上水によって日本橋川のDO飽和度が回復していることが分かる。

4. 日本橋川における水質改善策の検討

(1) 水質計算の概要

現地観測結果より、日本橋川においては、感潮域からDO飽和度が低下すること、加えて潮汐によって流動

が支配されており、ほとんど流速がないため、河川水が長期滞留していることが推察できる。さらに河床に堆積した底泥によって酸素消費が起きていることが、貧酸素状態をもたらす要因の1つだと推察される。これらの観測結果を数値シミュレーションからも考察し、さらには水質改善対策の検討を行うために、日本橋川における水理・水質シミュレーションモデルを作成し、

数値計算を行った。水理計算には1次元不定流式を用い、水質計算には移流拡散方程式に生物化学変化項を加えた以下の式(1)を用いた。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \Delta C \quad (1)$$

ここでCは各水質濃度，uは流下方向流速成分，Dは拡散係数， ΔC は水質要素ごとの生物化学変化項である。本研究では，溶存酸素濃度の他，植物プランクトン，生物化学的酸素要求量の計3つの要素を考慮した。

計算に際して，あらかじめ決めなければならないパラメータがいくつか存在するが，これらは既往の文献⁷⁾を参考に決定した。ただし酸素消費速度については，現況に適合した値が不明であったため，数値を意図的に変えて8パターン計算を行った。

(2) 計算結果

図-6に神田川・日本橋川における縦断的な流速とDO濃度の計算結果を示す。着目すべき点は2点ある。まず上流側の流速が早い箇所，つまり滞留時間が短いエリアでは，酸素消費速度が高い場合でも，DO濃度の低下はほとんどないことが分かる。一方で流速が低下し，滞留日数が長くなる下流側では，酸素消費速度は高くなるにつれて，DO濃度が低下している。このことから，底泥による酸素消費と河川水の滞留，2つの要素が組み合わさることによって，貧酸素化がもたらされることが分かり，現地観測結果からの推測と同様の結論が得られた。

上記の計算結果および現地観測結果より，日本橋川におけるDO改善対策として，DOの供給と滞留日数の低減，2つの側面から有効だと考えられる導水対策を想定し，数値計算を行った。その計算結果を図-7に示す。計算結果より，潮汐の状況によって多少差はあるが，1 m³/sの導水でDO濃度は最大で約0.8 mg/l増加することが分かり，導水によって日本橋川のDO濃度を改善可能なことが分かる。

5. まとめ

本論文は都市感潮河川である日本橋川，隅田川，荒川及び東京湾を対象とした水質に関する現地調査の結果と水質改善策の検討をまとめたものである。得られた知見を以下に記す。

- (1) 現地観測結果から，日本橋川のDO飽和度低下は底泥有機物による酸素消費，潮汐の影響により河川水が長期間滞留すること，これらの複合的な要因によってもたらされていることが推察される。
- (2) 日本橋川を対象とした水質計算結果より，河川水の滞留と底泥の酸素消費，2つの要素が組み合わさってDO濃度の低下が生じていることが分かり，現

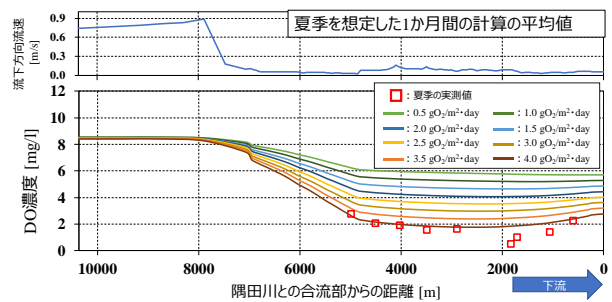


図-6 神田川・日本橋川における縦断的な流速とDO濃度の計算結果

(河川水の滞留と底泥による酸素消費，2つの要素が組み合わさることによってDOの低下が生じる。)

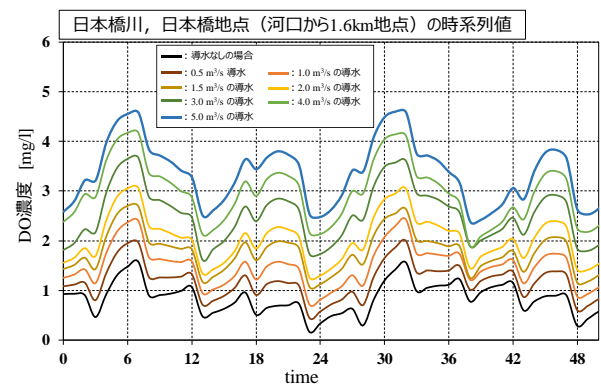


図-7 導水対策を実施した場合の日本橋川日本橋地点におけるDO濃度の計算結果

(1 m³/sの導水で，DOは最大で約0.8 mg/l増加する。)

地観測結果からの推測と同様の結果が得られた。

- (3) 日本橋川のDO改善対策として，1 m³/sの導水で最大0.8 mg/lのDO濃度改善効果が得られることが分かった。

参考文献

- 1) リバーフロント整備センター：川からの都市再生－世界の先進事例から－，技報堂出版，2005。
- 2) 三浦心，堀田哲夫，根岸均，鶴田泰士：都市河川汽水域における青潮の発生機構に関する調査と解析，水工学論文集，第53巻，1453-1458，2009。
- 3) 二瓶康雄，山口紘栄，柏田仁，岩本演崇：魚大量斃死時における河川感潮域のDO環境特性，土木学会論文集B2(海岸工学)Vol.B2-65，No.1，1021-1025，2009。
- 4) 入江政安，寺中恭介，山口とも，西田修三：都市河川河口域の底質特性と貧酸素化への影響－現地調査と底質モデルによる解析－，土木学会論文集B2(海岸工学)Vol.B2-65，No.1，1061-1065，2009。
- 5) 呉修一，渡邊暁人，多田直人，山田正：都市河川感潮域における水質の空間分布特性に関する現地観測，水工学論文集，第52巻，1105-1110，2008。
- 6) 松梨順三郎・池田有光・海老瀬潜一・中田喜三郎：環境流体汚染，森北出版，1993
- 7) 川島博之・鈴木基之：浅い富栄養化河川水質シミュレーションモデル，化学工学論文集，第10巻，第4号，1984。