

中川運河の水質に及ぼす導入水の影響に関する研究

指導教員 富永晃宏 教授

山本 貴史

1. はじめに 中川運河は名古屋港と旧国鉄笹島貨物駅を結ぶ総延長 8.2km の運河であり、南は中川口閘門、北は松重閘門で区切られた極めて閉鎖的な水域である。2017 年 8 月までは主な水源が海水導入のみで富栄養化による有機汚濁が発生しており決して良好な水環境とは言えなかったが、同年 9 月、新しく高度処理が可能となった露橋水処理センターが 13 年振りに稼働を開始し、10 月 1 日から図-1 に示すようにささしまライブを経由する流入とセンターから直接流入を行っている。本研究は水処理センターからの流入による中川運河への影響を現地観測によって比較、検討し、数値シミュレーションを用いてさらなる水質改善方法を探るものである。

2. 現地観測の概要 水処理センター稼働前の 2013 年の水質データと比較するために、流入直後（2017 年 10 月～12 月）、流入 1 年後（2018 年 10 月～）において移動観測を行った。観測には多項目水質計（東亜 DKK 製 WQC-24）及び DO 計（YSI Environmental ProODO）を使用し、午前（7 時～9 時）及び午後（15 時～17 時）において各橋の水面から水底まで 0.5m 間隔で pH、DO、塩分、濁度、水温を測定した。観測場所を図-2 に示し、一連の観測日等を表-1 にまとめる。



図-1 中川運河北部



図-2 観測場所

表-1 観測日時等

	観測日	観測時間
第1回	(H29) 2017年10月17日	午前・午後
第2回	(H29) 2017年11月7日	午前・午後
第3回	(H29) 2017年11月24日	午前・午後
第4回	(H29) 2017年12月5日	午前・午後
第5回	(H30) 2018年10月4日	午前・午後
第6回	(H30) 2018年11月12日	午前・午後
第7回	(H30) 2018年11月27日	午前・午後
第8回	(H30) 2018年12月12日	午前・午後

3. 観測結果と考察 ここでは、西日置橋、猿子橋の 10 月上旬の DO の鉛直分布に関して考察する。

3-1. DO の結果と考察 図-3 にそれぞれの橋の地点での観測結果を示す。午前において 2013 年 (H25) 時では、流れが滞りやすいと考えられる西日置橋地点及び猿子橋地点では表層で約 1.7mg/L、底層では 0mg/L と貧酸素状態である。2017 年時では表層から中層にかけて最低環境基準の 2.0mg/L 程度、もしくは超える値が測定されわずかにだが DO 上昇の兆しが見える。また、底層では概ね 0mg/L を示しており、流入直後では処理水の影響をあまり受けていないことが分かる。ただし、流入箇所から最も近い猿子橋地点は西日置橋地点と比較して特に影響を受けていると言える。2018 年 (H30) 時ではよりその傾向が顕著に出ており、表層から中層においては DO が上昇し、処理水が支配的であると推察される。午後においては 2017 年 (H29) 時では 2013 年時とほぼ変化は無いが、2018 年時では急激に高い値が出ている。これは流入直後では元ある水が依然として支配的であり、植物プランクトンの光合成による酸素発生量がほとんど変化していなかったが、1 年経過したことにより植物プランクトンの光合成により発生している酸素ではなく、主に処理水自体の酸素量を測定できた結果だと推察される。底層に関しては午前と変わらず 0mg/L 程度であるので、現在も底泥による酸素消費量が激しく貧酸素状態であると言える。

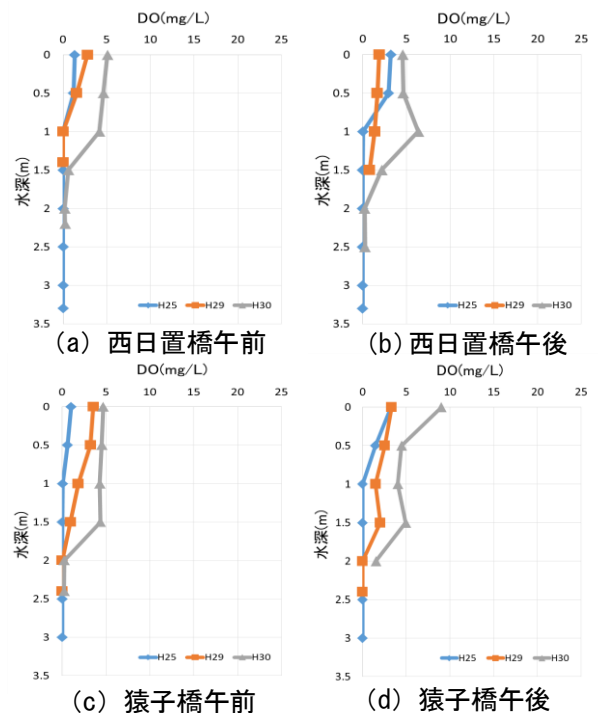


図-3 DO 鉛直分布 (10 月上旬)

4. 数値シミュレーションによる検討

4-1. 数値計算の概要 本研究では、アメリカ陸軍航空隊で開発された鉛直 2 次元モデルである CE_QUAL_W2 を用いた。このモデルは湖沼、貯水池を始め河川にも適用可能で、開発されて以来多数の水系で使用されている。日本では、塩水遡上の解析において北上川、高梁川等での適用実績があり、再現性が良いことが確認されている³⁾。

4-2. 計算領域と境界条件 計算期間は 2017 年 1 月 1 日～2018 年 12 月 31 日の 2 年間とし 2017 年 10 月 1 日から処理水の流入を始め、2018 年 12 月 31 日まで計算を行えば、ほぼ同条件で 2018 年 10 月、11 月、12 月の現地観測結果と比較できる。タイムステップ 5 秒で、河床データは 2013 年に観測されたものを用いる。図-4 に断面図、図-5 に鉛直メッシュを示し、表-2 に各セグメントの格子サイズを示す。以下に、各境界条件をまとめる。

(a) 気象：気温、降水量、降雨温度、降雨の水質、風向・風速、日射量、湿度、露点温度に関して、気象庁（名古屋）のデータを与えた。

(b) 中川口開門（河口から 0k 地点）：10:00 から 15:00 の 5 時間、海水導入を 3.858m³/sec（約 70000m³/day）行う。塩分は東海橋地点底層における値、水温及び DO は伊勢湾環境データベースより、伊勢湾湾奥のデータ 3 点（表層 1m、中層 12m、底層 25m）を平均した値を与えた。

(c) 露橋水処理センターからの排水：処理水の流入を 2017 年 10 月 1 日から常時、①センターの位置から 0.347（約 30000m³/day）を中層へ、②堀止部から 0.0579m³/sec（約 5000m³/day）を表層部へ、③同じく堀止部から 0.28 m³/sec（約 25000m³/day）を底層部へ行う。塩分を 0.0、DO を 5.0mg/L として与えた。

(d) 松重開門（河口から 7.2k 地点）：10:00 から 15:00 の 5 時間、降雨、(b)、(c) を足し合わせた流入量の同量を排出する。

4-3. 再現性の検討 再現性の検討を西日置橋地点、猿子橋地点、長良橋地点において 2018 年 10 月 4 日に行った移動観測の結果と、同時刻の数値計算結果を比較して行う。図-6 に 2018 年 10 月 4 日における現地観測と数値計算の DO に関する鉛直分布を示す。

4-3-1. 再現性についての結果と考察 西日置橋地点について考察する。9 時と比較して 15 時は表層において光合成による DO の上昇がはっきりと見られる。0.5m～1.5m の中層に関しては 9 時の方が微小だが高い値を示しているが、表層から底層にかけて底泥の酸素消費による DO の低下、日射による DO の上昇という全体の傾向を捉えることができていると言える。猿子橋地点について考察する。西日置橋地点と



図-4 計算領域（断面図）

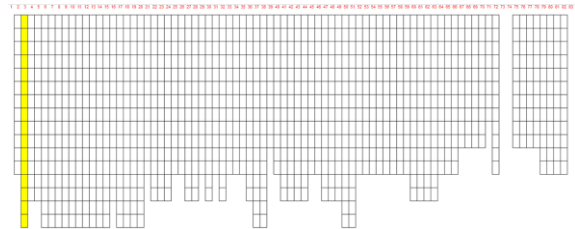
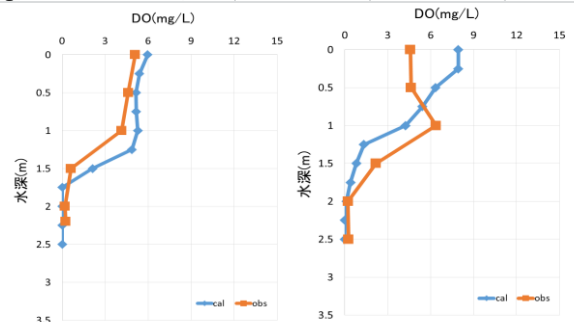


図-5 計算領域（鉛直メッシュ）

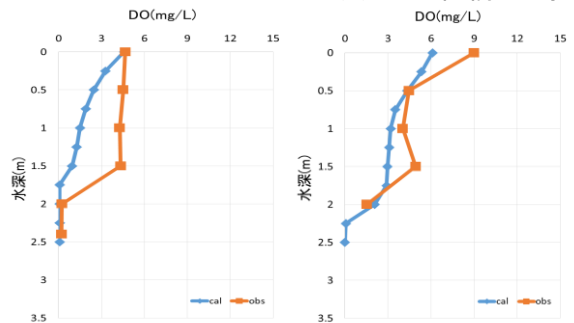
表-2 各セグメントの計算格子

segmnet	鉛直方向(m)	縦断方向(m)	水路幅(m)
segmnet2～15	0.25	100	90
segmnet16～54	0.25	100	65
segmnet55～63	0.25	100	90
segmnet64～72(東支線)	0.25	100	35
segmnet75(堀止)	0.25	100	170
segmnet76～82(北支線)	0.25	100	35



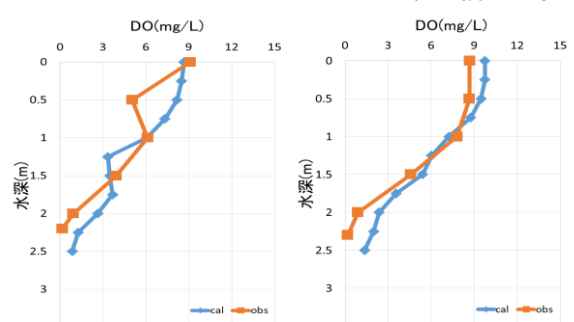
(a) 西日置橋 9 時

(b) 西日置橋 15 時



(c) 猿子橋 9 時

(d) 猿子橋 15 時



(e) 長良橋 9 時

(f) 長良橋 15 時

図-6 2018.10.4 現地観測 数値計算 DO 鉛直分布

同様に、全体の傾向を捉えているが、現地観測よりも総じて低い分布となった。これは、猿子橋地点が処理水流入箇所から最も近いことによって海水ではなく処理水が支配的であることを過大評価してしまっていると考えられる。長良橋地点について考察する。長良橋地点は比較的流れが安定しているので元々汚濁は激しくなく、日変化も微小である。数値計算ではその傾向を捉え、極めて当てはまりの良い結果となった。

4-4. 再現計算まとめ 底泥の酸素消費によって底層にかけて DO が減少している点、植物プランクトンの光合成によって9時よりも15時の方が DO が高い点、明らかな異常値がない点から十分に再現できたとし、今後の検討を行う。

5. 水質シミュレーション ここでは、様々な境界条件のケースを与えることでより中川運河の水質改善に有効な手段を検証する。表-3 にシミュレーションケースの流入量等を、表-4 に導水時間等を示す。

5-1. シミュレーションケースの解説 case0-a は現状（再現計算）、case0-b~case0-d は覆砂、河床掘削を行ったケース、case1 はせせらぎ通りと堀止底部への送水を廃止し、露橋水処理センターの地点から60000m³/day を排水させたケース、case2 は中川口ポンプ所から海水を24時間200000m³/day 導水させ松重ポンプ所から堀川へ24時間排水を行う完全循環型ケース、case3 は海水の導水を廃止し、処理水のみを流入させるケース、case4 は流れ方向を逆転させ24時間中川口ポンプ所から名古屋港へ排水するケースである。また、全ケースにおいて処理水の流入は再現計算と同じく2017年10月1日から行う。

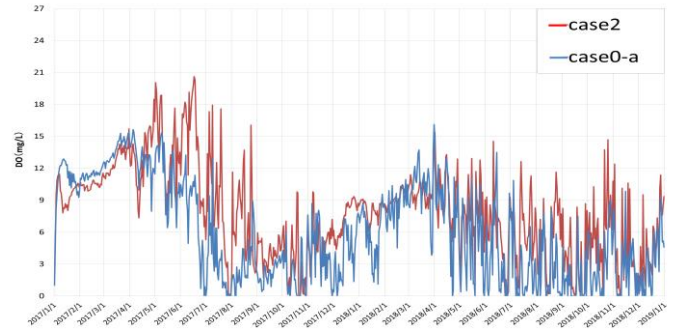
5-2. case0-a と case2 の比較 ここでは現状(case0-a)と、海水を24時間中川口ポンプ所から導水し完全に循環させる case2 を西日置橋地点、猿子橋地点の2地点において底層から0.5mの位置の2年間の時間変化を比較する。検討項目はDOである。図-7 にそれぞれの地点におけるDOの時間変化を示し、図-8 に2018年10月4日12時における中川口ポンプ所から松重ポンプ所までと堀止から北支線部のカウンター図を示す。西日置橋地点について考察する。2017年春季から夏季にかけてDOが上昇しており、水循環により1日に5時間しか導水を行わない現状よりも底泥の酸素消費が抑制されていると推察される。処理水流入直後は安定していないが2018年1月からは再び安定して高いDOが見られ、これは同様に海水が支配的であることが要因だと考えられる。猿子橋地点においても同様の傾向を示しており、北支線にも十分に海水が行き届き水交換が行われていることが分かる。概要にはページの都合上載せていないが、

表-3 シミュレーションケース（流入量等）

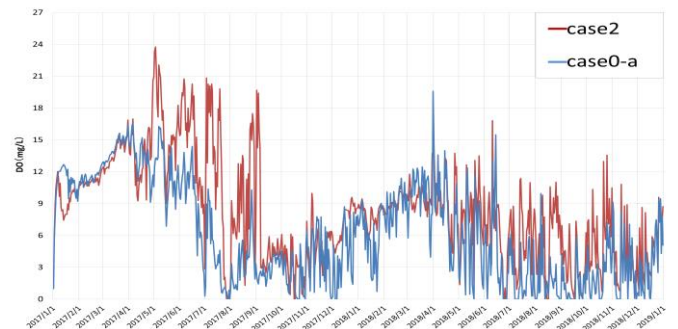
ケース名	導水量	海水	せせらぎ通り	堀止底部	センター	覆砂	河床掘削
case0-a	130000	70000	5000	25000	30000	なし	なし
case0-b	130000	70000	5000	25000	30000	あり	なし
case0-c	130000	70000	5000	25000	30000	なし	あり
case0-d	130000	70000	5000	25000	30000	あり	あり
case1	130000	70000	0	0	60000	なし	なし
case2	260000	200000	5000	25000	30000	なし	なし
case3	60000	0	5000	25000	30000	なし	なし
case4	60000	0	5000	25000	30000	なし	なし

表-4 シミュレーションケース（導水時間等）

ケース名	海水導水時間	処理水流入時間	排出口	排出時間
case0-a	10:00~15:00	0:00~23:59	松重ポンプ所	10:00~15:00
case0-b	10:00~15:00	0:00~23:59	松重ポンプ所	10:00~15:00
case0-c	10:00~15:00	0:00~23:59	松重ポンプ所	10:00~15:00
case0-d	10:00~15:00	0:00~23:59	松重ポンプ所	10:00~15:00
case1	10:00~15:00	0:00~23:59	松重ポンプ所	10:00~15:00
case2	0:00~23:59	0:00~23:59	松重ポンプ所	0:00~23:59
case3		0:00~23:59	松重ポンプ所	10:00~15:00
case4		0:00~23:59	中川口ポンプ所	0:00~23:59

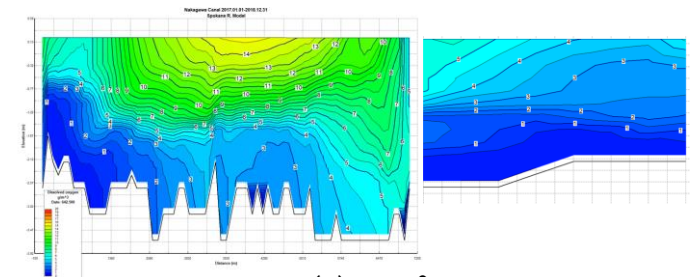


(a) 西日置橋地点

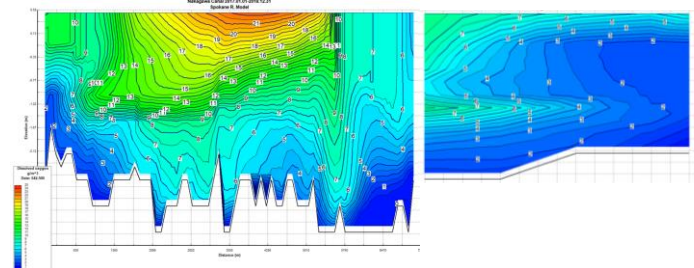


(b) 猿子橋地点

図-7 DO 時間変化 覆砂 河床掘削 底層から0.5m



(a) case0-a



(b) case2

図-8 DO 松重~中川口（左） 堀止北支線部（右）

長良橋地点も同様であり 2018 年夏季において他地点よりも海水が支配的であるため 2017 年夏季と同等の DO を示している。

5-3. case0-a と case3 の比較 ここでは case0-a と、処理水は現状と同条件で流入させ松重ポンプ所から堀川へ排水を行うが海水導入を廃止させた case3 とを比較する。図-9 に先と同様の DO の時間変化による比較、図-10 に 2018 年 10 月 4 日 12 時における中川口ポンプ所から松重ポンプ所までと堀止から北支線部のコンター図を示す。西日置橋地点について考察する。処理水流入直後の 2017 年 11 月までは低い DO が見られるが、これは依然海水が支配的であるからだと推察される。その後は明らかに case0-a とは異なり、非常に安定し連続した DO を確認できる。これは、海水が導入されないことによって植物プランクトンや有機塩類等が流入しないことが要因だと考えられる。猿子橋地点についても同様であるが、西日置橋地点と異なり流入直後の DO の低下が見られない。これは、流入箇所から最も近い地点のため明確に処理水の影響を受けるからだと推察される。先と同様こちらには載せていないが、長良橋地点についても同様であり、他地点と異なる点としては 2018 年夏季から冬季にかけての差異が大きいことがある。これは海水導入が無いことにより長良橋地点が他地点よりも流れが停滞しやすいことが原因だと考えられる。コンター図を見ると、case0-a では底層では 2 程度の低い DO が存在し、表層では最大 14 程度の高い DO が存在するという非常に差異の大きい分布を示している。しかし case3 では堀止部の底層や河床凹部では 4 程度の DO が見られるが、ほぼ全層において 6~8 程度の安定した DO が確認でき、成層化していないことが分かる。

6. まとめ 本研究では新しく高度処理が可能となった露橋水処理センターの処理水が中川運河に与える影響に関して調査した。現地観測から、稼働して 1 年を経たことにより十分に水交換が行われ水質は改善されつつあるが、底層は未だ底泥による酸素消費が激しく、貧酸素状態であることが分かった。数値シミュレーションから、覆砂、河床掘削が水質改善に有用であること、海水導入を廃止することによって成層化が解消され、DO の安定が見込まれることが分かった。しかし中川運河は都心に近い河川として名古屋港と繋がる水上交通や物流の手段として活用される役割を持つ。最も現実的に水質改善が可能で中川運河を活用するためには case2 のように海水を 24 時間導入し、水循環を促進させることが望ましいと考えられるが、case3, case4 のような淡水化についても今後細かい検討を行っていくべきである。

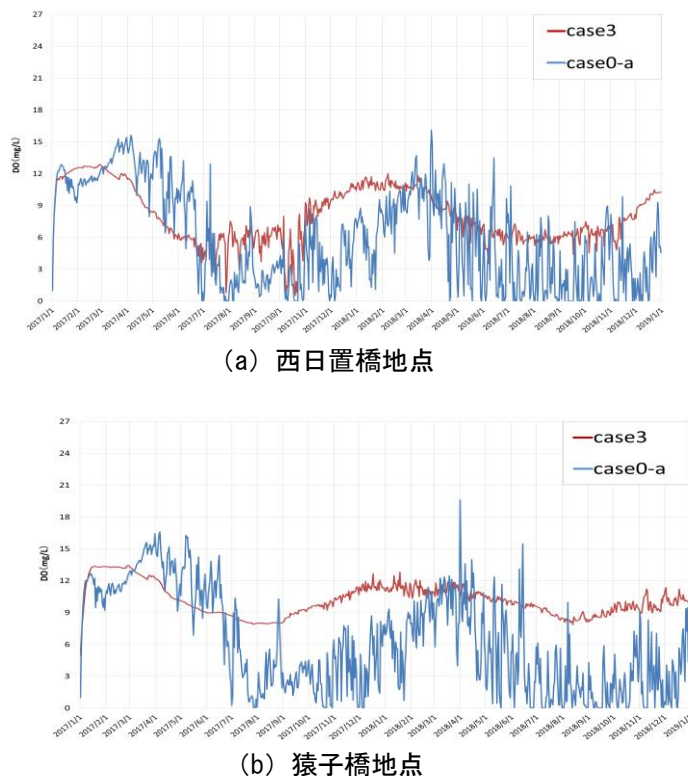


図-9 DO 時間変化 覆砂 河床掘削 底層から 0.5m

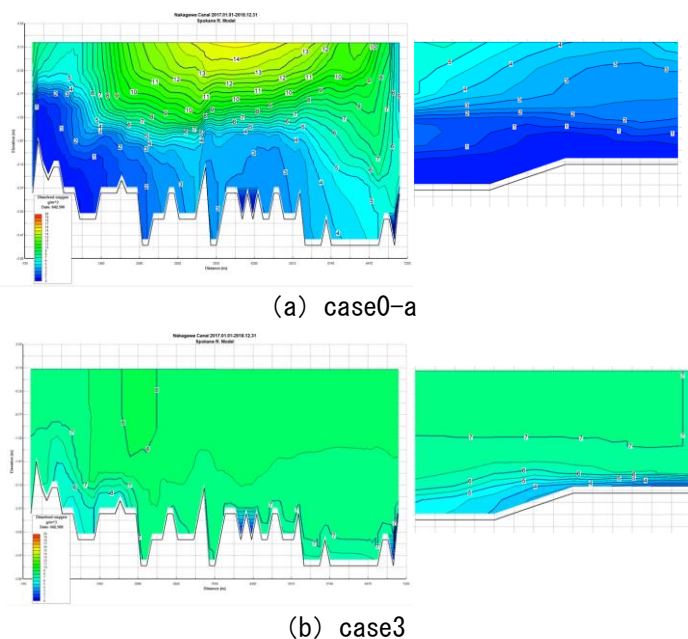


図-10 DO 松重~中川口 (左) 堀止北支線部 (右)

参考文献

- 1) 森下真那人, 中川運河における水質の季節変化に関する研究, 名古屋工業大学, 2015
- 2) 西史江, 榊原靖, 安藤良, 若山秀夫, 富永紀子, 中川運河の水質とその変化, 第 53 会名古屋市公衆衛生研究発表会 (名古屋市), 2011
- 3) 田島正廣, 井上恭次, 世界の河川及び湖沼の水質生態系モデルの比較, 農業農村工学会誌, Vol.75, No.8, p31~36, 2007