

指導教員 富永晃宏 教授

海野 優樹

## 1. はじめに

堀川及び新堀川は、図-1 に示すようにそれぞれ庄内用水元杵樋門、堀留水処理センターを水源とする感潮河川であり、河口から約 3.6km 地点で合流し、名古屋港へ注ぐ。堀川は河口から 14km 地点まで、新堀川は全域が感潮域となっており、両河川共に塩水の遡上により下層は高塩分・低 DO の貧酸素水塊が存在し、水質悪化が問題となっている。近年、堀川は改善傾向にあるが、新堀川は依然として汚濁が顕著である。両河川が合流し、潮汐によって再遡上することで、新堀川の汚濁水が堀川に影響を与え、堀川の水質改善がこれ以上望めないことが考えられる。また、それぞれの河川については研究が進められてきたが、両河川の合流に焦点を当てた研究は見られない。そこで本研究では、現地観測と数値シミュレーションを行い、両河川の水質改善策の提案を目指す。

## 2. 現地観測概要

### 2-1. 合流部水質観測

新堀川、堀川の合流部における水質を把握するため、2018 年 9 月 3 日（小潮）に多項目水質計（東亜 DKK 製 WQC-24）、及び DO 計（YSI Pro ODO）を用いて水質観測を行った。観測地点は図-2 に示す 5 地点である。船舶に乗り込み①から⑤の地点で水面から水底まで 0.5m 毎に各水質項目を計測した。上げ潮で 2 回、下げ潮で 2 回、合計 4 回ずつ計測したものを後述の観測結果にまとめる。

### 2-2. 中流域水質観測

河口から同距離（7.3km）にある 2 地点における水質を比較するため、山王橋（堀川）、法螺貝橋（新堀川）において 2018 年 11 月 8 日（大潮）に水質連続観測を行った。観測地点を図-3 に示す。それぞれの地点で、橋上から 2-1 と同様の水質計測機器を用い、水面から水底まで 0.5m 毎に各水質項目を計測し、これを 6:00 ~ 16:30 の間で 30 分毎に繰り返し行った。

## 3. 現地観測結果と考察

### 3-1. 合流部水質観測

堀川、新堀川を比較するため地点④（白鳥橋）、⑤（浮島橋）における DO、塩分の観測結果をまとめたものをそれぞれ図-4、図-5 に示す。

まず図-4 より、両河川共にすべての時間で底層において貧酸素状態であることが分かる。しかし、下げ潮時には、堀川下流部において表層から中層にかけて比較的高い DO 値を示していることが分かる。これにより、塩水の流下と共に上流の河川水が流下しており、



図-1 堀川（赤）及び・新堀川（青）



図-2 船舶観測観測地点



図-3 連続観測観測地点

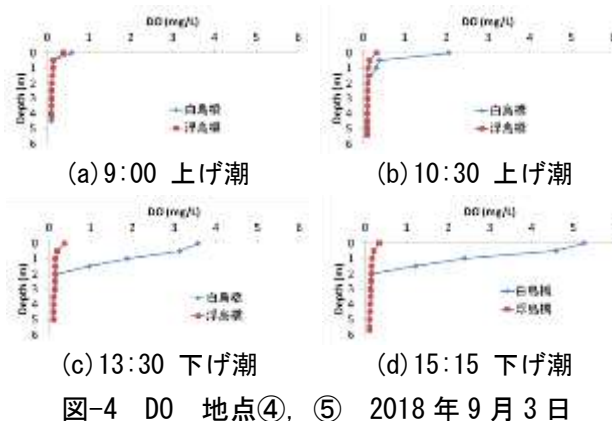


図-4 DO 地点④、⑤ 2018 年 9 月 3 日

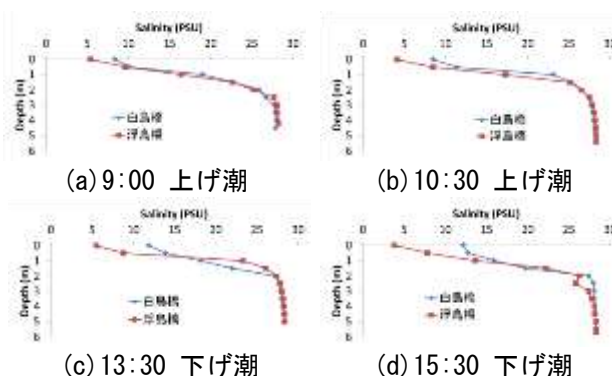


図-5 塩分 地点④、⑤ 2018 年 9 月 3 日

この地点よりも上流は高い DO 値を示しているのではないかと推測される。

図-5 の塩分に注目すると、両河川共にすべての時間帯で底層に塩水が存在しており、下げ潮時にもこれらの地点では塩水が完全には流下せず、常に成層化していることが分かる。

次に合流部以下の DO、塩分をコンター図にまとめたものをそれぞれ図-6、図-7 に示す。

図-6 より、全時間帯において下層に貧酸素水塊が存在していることが分かる。また、9 時の時点で中層の下流に存在していた DO 値の比較的高い水塊が、潮汐によって遡上している様子が見て取れる。

図-7 より、全時間帯において成層化が見られ、下層では 28PSU 程度の非常に高い塩分を示していることが分かる。

### 3-2. 中流域連続水質観測

図-8 に DO、図-9 に塩分の時間変化を示し、それぞれ (a) を堀川の山王橋、(b) を新堀川の法螺貝橋とする。

図-8 (a) より、堀川 7.3km 地点では満潮時には中層から底層において 1mg/L 以下の低い DO 値を示していることが分かる。しかし、干潮になり塩水が流下すると底層においても高い DO 値を示している。これは、堀川の河川水自体が大きく改善されてきていることの一つの指標になるといえる。

図-8 (b) より、新堀川 7.3km 地点ではほぼ全層で 0.5mg/L 以下の貧酸素状態であることが分かる。特に干潮時には、表層においても貧酸素である。

堀川と新堀川を比較すると明らかに新堀川で貧酸素状態が顕著である。

図-9 (a) より、堀川 7.3km 地点では、満潮時には成層化が見られるものの、干潮時には強混合を示していることが分かる。この地点では塩水が確実に流下しており、前述の DO 値の改善についての記述を裏付けているといえる。

図-9 (b) より、新堀川 7.3km 地点では全時間帯で成層化が顕著であり、干潮時においても塩水が存在している。水位が変化していることから、塩水は流下しているものの上流域まで高塩分の塩水が遡上していると考えられる。

### 3-3. 現地観測まとめ

上げ潮時には合流部以下では成層化したまま全層に渡って遡上し、新堀川よりも堀川へと流れ込む流量が大きいと考えられる。そのため堀川合流部以上では遡上する際に鉛直混合が発生し成層化があまり見られない。また、下げ潮時には滞留することなく流下する。しかし、新堀川では下層で塩水が滞留しており、流量が乏しいため塩水の上層を滑るように流下し、成層化が維持されたままであることが考えられる。これは

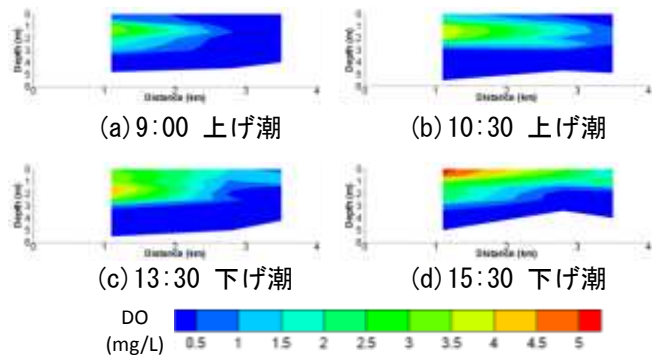


図-6 DO 合流部以下 2018年9月3日

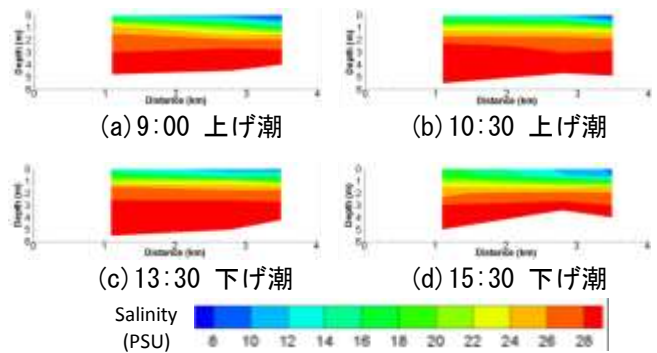
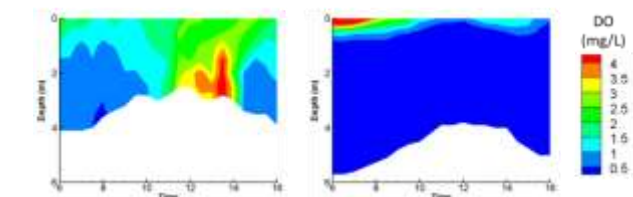
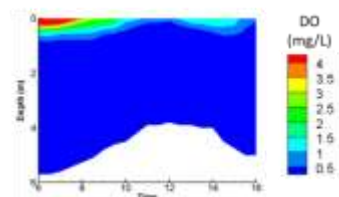


図-7 塩分 合流部以下 2018年9月3日

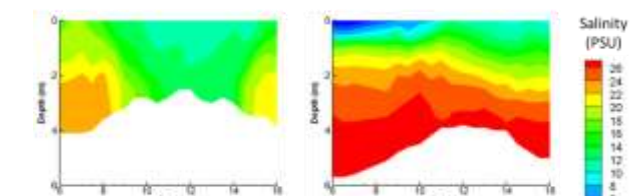


(a) 山王橋 (堀川)

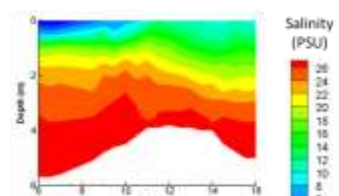


(b) 法螺貝橋 (新堀川)

図-8 DO 2018年11月8日



(a) 山王橋 (堀川)



(b) 法螺貝橋 (新堀川)

図-9 塩分 2018年11月8日

2016年に行った流速観測<sup>1)</sup>でも示唆されている。このような下流域での複雑な流れ構造が 7.3km 地点での水質の違いを引き起こしていると言える。

## 4. 数値シミュレーションによる検討

### 4-1. 数値シミュレーションの概要

本研究では、アメリカ陸軍工兵隊で開発された鉛直 2次元モデルである CE-QUAL-W2 を用いて検討を行う。このモデルは、多数の水系で適用されており、高い再現性が確認されている<sup>2)</sup>。

### 4-2. 計算領域と境界条件

本研究では、堀川は河口から 13.8km 地点まで、新堀川は全域を計算領域とした。また、今回の計算は 2018 年 1 月 1 日から 2019 年 1 月 1 日を対象とし、z 方向格



子幅を 0.5m, x 方向格子幅を 100m とする。

計算格子は図-10 のように設定した。各境界条件は以下に示す。尚、気象条件は気象庁の 1 時間観測データを与えた。また、降雨時には雨水吐等から未処理水の流入があるが、上流端及び各水処理センターから与えた。

(a) 堀川

(I) 上流端: 全層から河川水が流入されるとして、 $0.3\text{m}^3/\text{s}$  の流量を与えた。また、各水質項目には過去の観測データから用いた。

(II) 下流端: 水位は名古屋港の 1 時間潮位データを用い、各水質項目は過去の観測データ、名古屋港の観測データを与えた。

(b) 新堀川

(I) 上流端: 表層から 0.5m の範囲で流入されるとし、 $1.24\text{m}^3/\text{s}$  の流量を与えた。また、各水質項目には過去の観測データから与えた。

4-3. 再現性の検討

2018 年 9 月 3 日及び 2018 年 11 月 8 日に行った水質観測の結果と計算結果を比較し、再現性の検討を行う。尚、両日とも 9 時のデータを用いる。

2018 年 9 月 3 日 9 時 (上げ潮) の計算結果を図-11 に示す。(a), (b) はそれぞれ白鳥橋 (堀川下流部) の塩分, DO, (c), (d) は浮島橋 (新堀川下流部) の塩分, DO である。

堀川下流部では、上層では実測値よりも若干高い値を示しているが、成層化している様子が概ね再現できていると言える。また、DO も表層でわずかに高い値を示しているが、中層以深において  $0\text{mg/L}$  を示しており、こちらも概ね再現できていると言える。新堀川下流域においても堀川同様の計算結果を示しており、表

層では塩分, DO 共に差異はあるものの概ね再現できていると言える。

次に 2018 年 11 月 8 日 9 時 (下げ潮) の計算結果を図-12 とする。(a), (b) はそれぞれ山王橋 (堀川中流域) の塩分, DO, (c), (d) は法螺貝橋 (新堀川中流域) の塩分, DO である。

まず山王橋に着目すると、実際には緩混合形態であることに對し、計算では強混合を示しているが、下流域での成層化と違いが表れている。また、DO は深度を増すにつれ緩やかに低下する様子が再現できている。法螺貝橋に着目すると、塩分は差異があるものの、堀川中流域と異なり成層化している様子が表れている。また DO も堀川中流域と異なり中層以深において  $0\text{mg/L}$  を示しており、両河川中流域における違いが明確に表れた。

以上のように、下流域では両河川共に成層化し貧酸素水塊が見られ、中流域ではそれぞれの特徴が表れており、本数値計算は両河川の水質変化を概ね再現できたとみなし、数値シミュレーションを行うこととする。

4-4. 数値シミュレーション結果及び考察

本研究では、上述したように新堀川の水質汚濁が顕著であり、堀川に対しても悪影響を与えていると考えている。そのため、主に新堀川の水質改善案策を提案し、その結果両河川の水質に生じる変化を考察する。したがって新堀川の汚濁の原因として考えられる乏しい流量、底層の酸素消費、合流式下水道による未処理水の流入に着目し、数値シミュレーションを行う。表-1 にシミュレーションケースを示す。再現計算時における計算結果を case0 とし、これを基準とし検討を行う。まず、図-13 に 2018 年 9 月 3 日 9 時における白鳥橋、浮島橋、図-14 に 2018 年 11 月 8 日 9 時における



図-10 計算格子

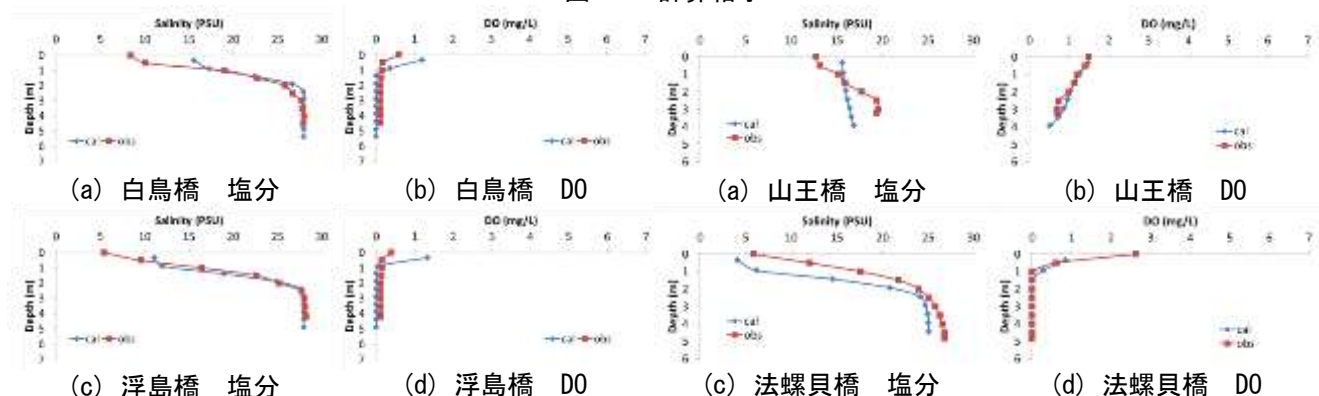


図-11 2018 年 9 月 3 日 9 時 再現性確認

図-12 2018 年 11 月 8 日 9 時 再現性確認

山王橋、法螺貝橋での case1, 4, 14 の計算結果を示す。

図-13 より、未処理水流入抑制を行うことで表層の DO が大きく上昇していることが読み取れる。対して、覆砂を行うだけでは下流域において DO の改善は見られない。これは未処理水が流入することで新たに堆積物が増加し酸素を消費することや、下流域では塩水による影響が大きいことが考えられる。両改善策を実施しても中層以深の DO は改善されない事から、塩水による影響が非常に大きいことが分かる。図-14 より、中流域では両改善策を実施することで相乗効果が見られ、新堀川下層においても DO の向上が見られた。以上のように中流域では両河川において DO の改善が見られたが、下流域においては塩水を流下させることが重要であると考えられる。

そこで、次に導水について検討を行う。導水方法による違いも検討するため、case3-3, 3-b, 23 をまとめる。

図-15、図-16 に 2018 年 9 月 3 日 9 時の白鳥橋、浮島橋における導水を行った場合の塩分、DO の計算結果を示す。新堀川下流域では、表層において塩分の低下及び DO の上昇が見られ、それに伴い堀川下流域においても若干ではあるが表層において塩分の低下、DO の上昇が見られた。また、導水方法による違いは見られなかった。次に図-17、図-18 に 2018 年 11 月 8 日 9 時の山王橋、法螺貝橋における導水を行った場合の塩分、DO の計算結果を示す。新堀川中流域においては、表層から底層まで塩分の低下が見られ、DO の改善も見られたが、下層においては DO の改善は見られなかった。また、導水方法による違いが見られ、最も表層で塩分が低下し、DO が上昇したのは河床上昇部からの導水であった。これに対し、河床上昇部下流からの導水時には中層において最も塩分の低下と DO の上昇したのが分かる。また、堀川中流域においても塩分の低下と DO の改善が見られたが、こちらは導水方法による違いは表れなかった。

## 5. まとめ

本研究では、堀川、新堀川の複雑な流れ構造がもたらす水質汚濁の現状について明らかにした。両河川が合流し、潮汐によって再遡上する際に堀川へ流量が大きいことから新堀川では水交換や鉛直混合が発生せずに汚濁が進行すること、堀川では新堀川の汚水が流れ込むことで悪影響がある事が推察される。

また、数値計算では両河川の塩分と DO に関して再現ができ、それぞれの特徴を捉えることができた。覆砂及び未処理水流入抑制は同時に行うことで相乗効果が見られ、導水による塩水の流下、DO の上昇も確認でき、新堀川のみで導水を与えた場合でも堀川の水質に影響を与えることが判明した。導水箇所をさらに下流にすることで下流域の改善も期待できる。

表-1 シミュレーションケース

case名	河床形状	覆砂	導水	未処理水流入抑制	備考
case0	-	-	-	-	初期ケース
case1	-	両河川全域	-	-	-
case2	新堀川上流端掘削	-	-	-	-
case3-1	-	-	1.0m <sup>3</sup> /s	-	上流端河床上昇部から流入
case3-3	-	-	3.0 m <sup>3</sup> /s	-	上流端河床上昇部から流入
case3-b	-	-	3.0 m <sup>3</sup> /s	-	上流端河床上昇部 下流から流入
case23	新堀川上流端掘削	-	3.0 m <sup>3</sup> /s	-	上流端河床上昇部を 掘削して底層から流入
case4	-	-	-	○	-
case14	-	両河川全域	-	○	-
case13-3b4	-	両河川全域	3.0 m <sup>3</sup> /s	○	上流端河床上昇部 下流から流入
case13-3c4	-	両河川全域	3.0 m <sup>3</sup> /s	○	中流域神宮東橋付近 底層から流入

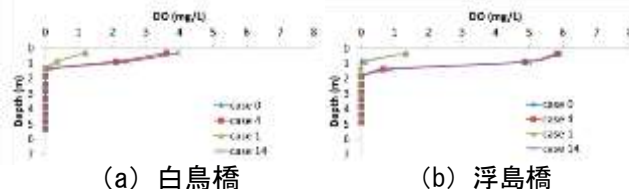


図-13 2018年9月3日 9時 case14 DO

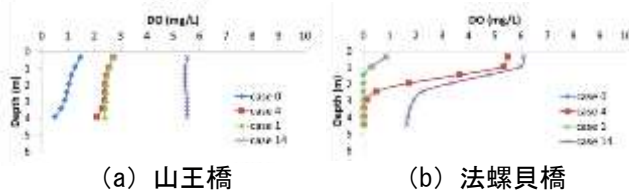


図-14 2018年11月8日 9時 case14 DO

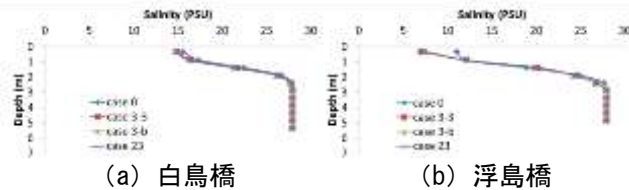


図-15 2018年9月3日 9時 導水 塩分

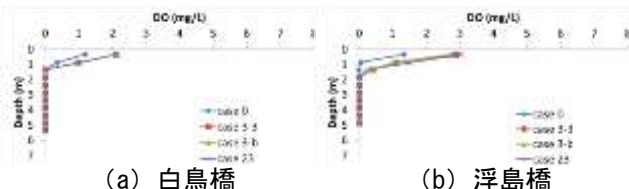


図-16 2018年9月3日 9時 導水 DO

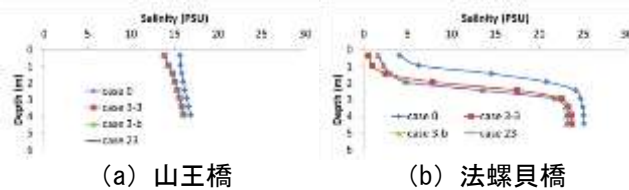


図-17 2018年11月8日 9時 導水 塩分

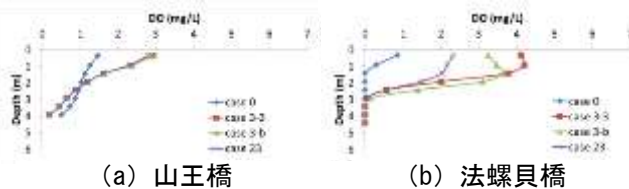


図-18 2018年11月8日 9時 導水 DO

参考文献：

- 1) 宇野裕奎:「新堀川における潮汐流動と河床形状が水質に及ぼす影響とその制御に関する研究」
- 2) 田島正廣, 井下恭次:「世界の河川および湖沼の水質生態系モデルの比較」