

運河部の貧酸素水塊に及ぼす 内湾部の貧酸素水塊の影響

INFLUENCE OF ANOXIC WATER IN BAY ON ANOXIC WATER IN CANAL AREA LOCATED IN THE BAY

岡田知也¹・古川恵太¹

Tomonari OKADA and Keita FURUKAWA

¹正会員 博(工) 国土交通省国土技術政策総合研究所 沿岸海洋研究部海洋環境研究室
(〒238-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

We demonstrated that the anoxic water in Tokyo Bay did not have directly strong influence on the anoxic water in Shibaura Canal and Shinonome Canal. The influence was examined from data of vertical distribution measurements from the bay to the canals and continuous measurements of dissolved oxygen concentration and salinity at five stations in the area. The results showed that the upper surface layer of the anoxic water in the canal corresponded to the halocline, which was at about 5 m depth, and the depth of the halocline in both Tokyo West Passage and the canals changed at the same time. However, the upper surface layer of the anoxic water in the bay did not correspond to the halocline.

Key Words: Anoxic water, dissolved oxygen concentration, density stratification, canal, Tokyo bay

1. はじめに

内湾域の水環境の改善において、従来からの富栄養化対策を目的とした水質改善に加えて、沿岸域、特に人と海が接することができる水際における生物生息場の再生が活発化している¹⁾。例えば、干潟造成、藻場造成、また環境共生型の護岸等である。このような沿岸域の再生は、物質循環および生物の生息環境の観点から重要であるばかりでなく、人々が海と触れ合う場を提供する観点からも重要である。近年では、生態系サービス^{2), 3)}といった新たな視点の下、様々なサービス(例えば、食糧供給、気候調節、学術・リクリエーション等の精神的・文化的利益、生活環境)を提供する場としても注目されている。

東京湾や大阪湾をはじめとした高度に開発された沿岸域に目を向けると、それらの沿岸域は、幾つもの埋立地の間に運河が形成され、運河網となっている場合が多い。このような運河網の周辺には、多くの工場、倉庫および港湾施設等があり、以前は人々が近づき難い所であった。ところが、近

年の人々の自然への関心の高まりや、周辺地域の土地利用の変化(高層マンション、商業施設の建設)によって、そのアクセスに関する条件は変わりつつある。アクセスの条件が整えば、運河は、立地条件としては、都市部の人々が海に親しむことができるポテンシャルを持つ空間であると考えられる。

ところが、運河部の水質は、周辺背後地および下水処理場からの流入負荷によって富栄養化状態となっている場合が多く、底泥はヘドロ化し、底層では貧酸素水塊がしばしば発生する^{4), 5)}。このような運河部の水環境の改善に際し、内湾部からの影響の強さが問題となる。なぜなら、その影響が強い場合には、運河内部のみの水環境改善をいくら実施しても、大きな効果は期待できないからである。また逆に、内湾部からの影響が小さい場合には、運河部のみの底質改善策の効果が期待できることとなる。運河域の水質に関する調査はこれまでに実施されているが、内湾域との関連性について、検討しているものは多くない。例えば、京浜運河(横浜・川崎地区)に対しては、運河部と内湾部との関係について触れているが、主な着目点

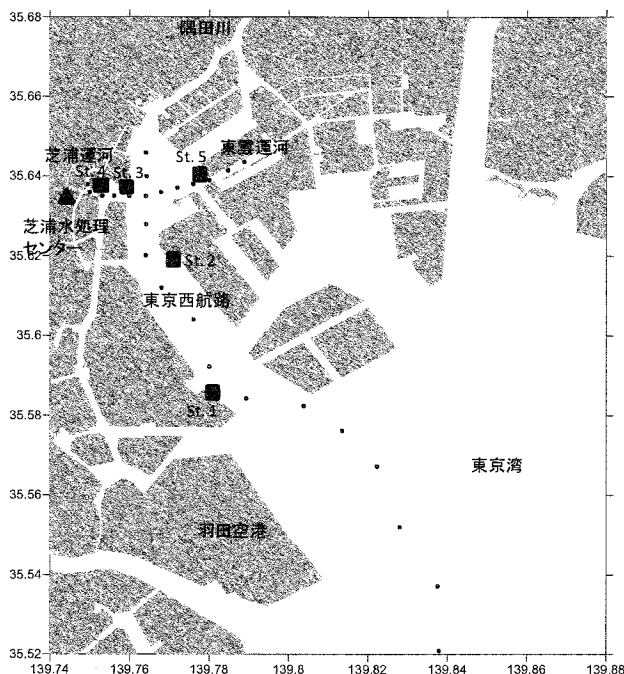


図-1 観測地点図。●：多項目水質計観測地点，■：連続観測地点

は、運河部（航路部）で形成された貧酸素水塊の内湾部に対する影響であり⁶⁾、着目する影響の方向が逆である。

そこで、本研究では、東京港の奥部に位置する芝浦運河および東雲運河を対象として、運河部の貧酸素水塊に及ぼす内湾部の貧酸素水塊の影響を明らかにすることを目的とする。

2. データ

(1) 縦断面観測

調査は、東京湾の羽田沖（内湾部）から東京西航路を通じて隅田川方向のライン（Line1）、東雲運河方向のライン（Line2）および芝浦運河方向のライン（Line3）で行われた（図-1, 3, 4）。以後、東京西航路を航路部、芝浦運河および東雲運河を運河部と呼ぶ。各ラインにおいて、2008年9月および11月に、多項目水質計（JFEアレック電子（株）社製AAQ）を用いて水温、塩分、溶存酸素（DO）濃度、濁度の縦断面観測を実施した（図-1）。東京西航路においては、航路を避けるように観測地点を設定したため、ラインが蛇行している。潮汐変動の影響をなるべく少なくするため、全観測は満潮時を中心に4時間以内に実施した。

(2) 定点連続観測

塩分、水温およびDO濃度を2008年8月13日（地点によって異なる）から11月28日まで5地点において連続測定した。約週1回のメンテナンスおよび設

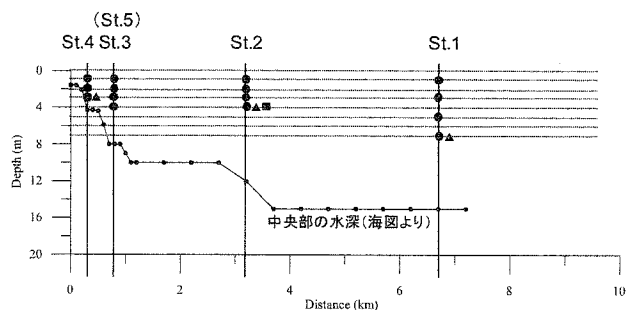


図-2 各連続観測地点の水質計（●：水温塩分計，▲：溶存酸素濃度計，■：水深計）設置水深と運河および航路中央部の水深の関係。横軸は芝浦運河内の多項目水質観測地点の端の点からの距離。

置水域の制限から、センサーは護岸から吊下げる係留方式とした。センサー表層から底層まで1 m 間隔 (st.1 のみ2 m 間隔) で設置した (図-2)。ただし、護岸部前面の水深は、護岸が面する航路や運河部の中央部の水深よりも浅く、護岸部前面で底層であっても、航路や運河部の中層に相当していた。水温および塩分の測定には、COMPACT-CT (JFE アレック電子社製) を、DO 濃度の測定には COMPACT-DOW (JFE アレック電子社製) を、水位の測定には COMPACT-TD (JFE アレック電子社製) を用いた。水温、塩分、水深の測定間隔は10分、DO 濃度の測定間隔は30分とした。

3. 結果

(1) 縦断面分布

9月6日の運河部における貧酸素水塊（ここでは、DO濃度が20 %以下とした）の上面の水深は3 - 4 mだった（図-3 (d)）. 航路部においても、その水深は3 - 4 mで、運河部から航路部全域にかけてほぼ水平だった. しかし、内湾部においては、その水深は内湾方向に向かうに従い深くなり、羽田空港沖合では水深10 m以深だった. この貧酸素水塊の水平方向の特徴は、高濁度の水塊に対しても同様だった（図-3 (e)）.

密度成層は運河部から内湾部にかけて、ほぼ水平だった(図-3(c)). 表層の塩分は20以下で、水深3-4 m付近に塩分躍層が形成されていた(図-3(b)). 運河部-航路部における貧酸素水塊および高濁度水塊の上面の水深は、その塩分躍層に一致しており、塩分では約23の等値線に一致していた。しかし、内湾部においては、それらは、塩分23の等値線には一致していなかった。

9月16日の運河部における貧酸素水塊の上面の水深は、9月6日と比べて低く、5 m 付近だった。航路部においても、その水深は5 m 付近であり、その水深が運河部から航路部にかけて水平である特徴

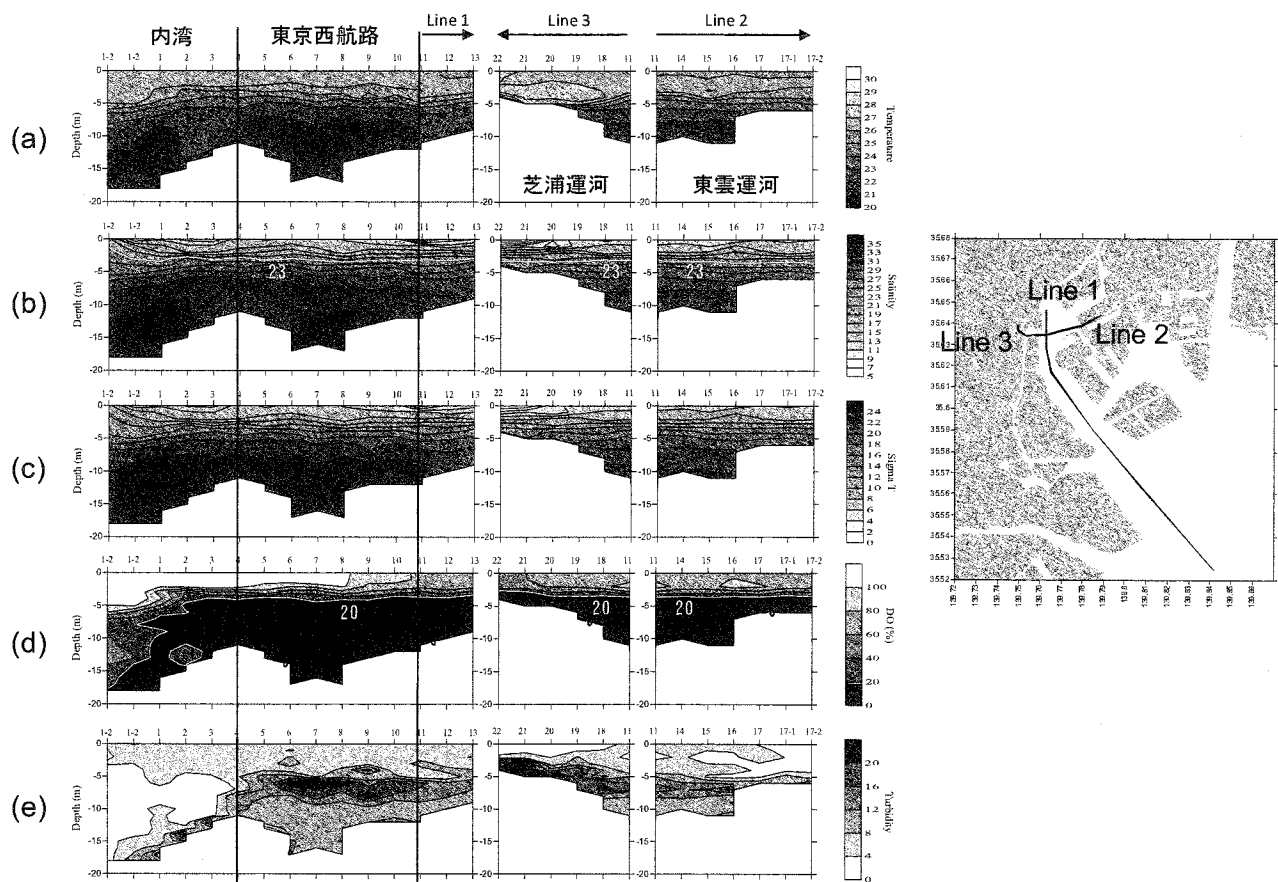


図-3 2008年9月6日調査時の各水質項目の縦断面分布。(a) 水温, (b) 塩分, (c) σ_t , (d) DO濃度, (e) 濁度。

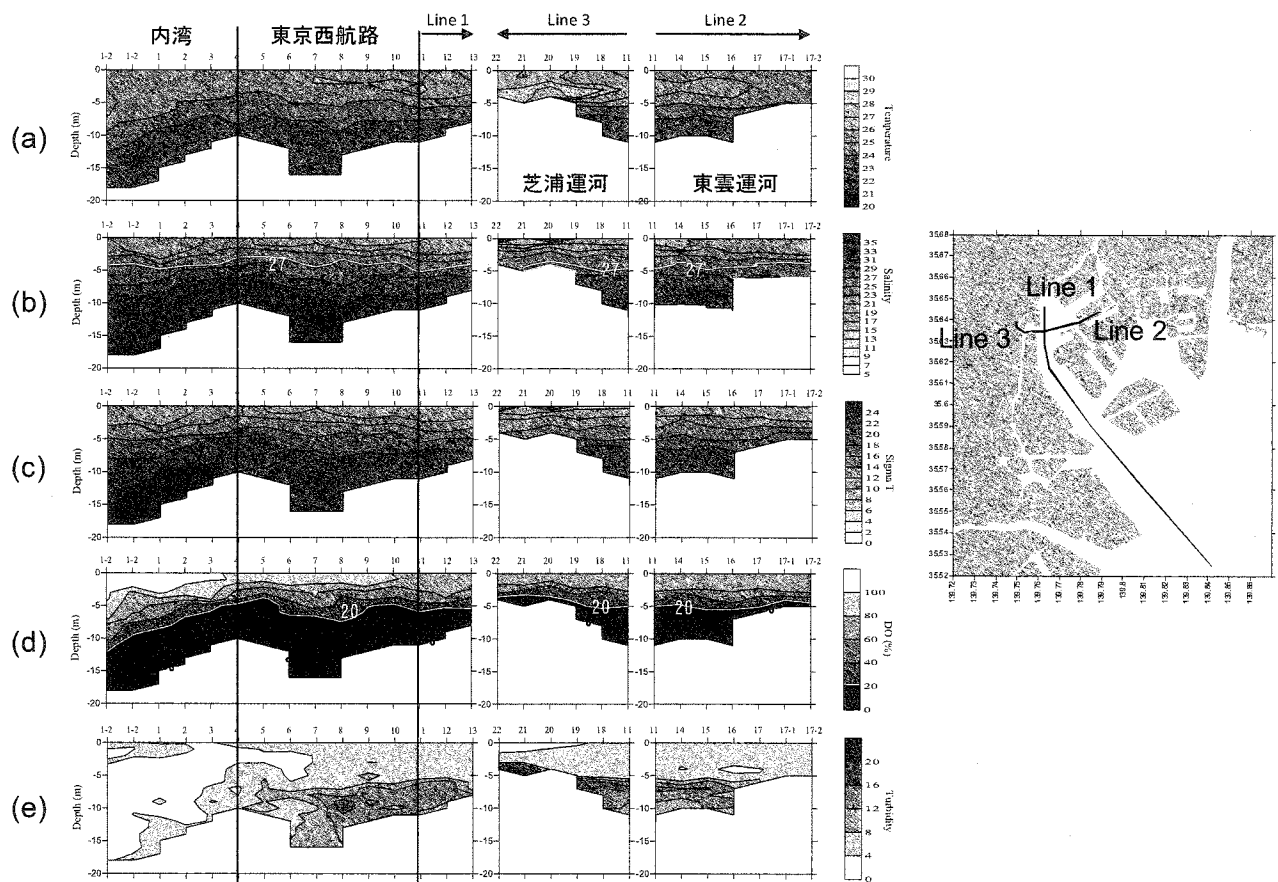


図-4 2008年9月16日調査時の各水質項目の縦断面分布。(a) 水温, (b) 塩分, (c) σ_t , (d) DO濃度, (e) 濁度。

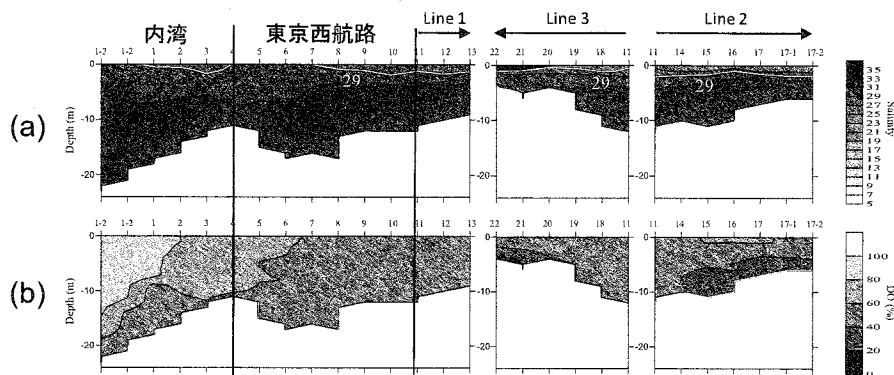


図-5 2008年11月19日調査時の各水質項目の縦断面分布。(a) 塩分, (b) DO濃度。

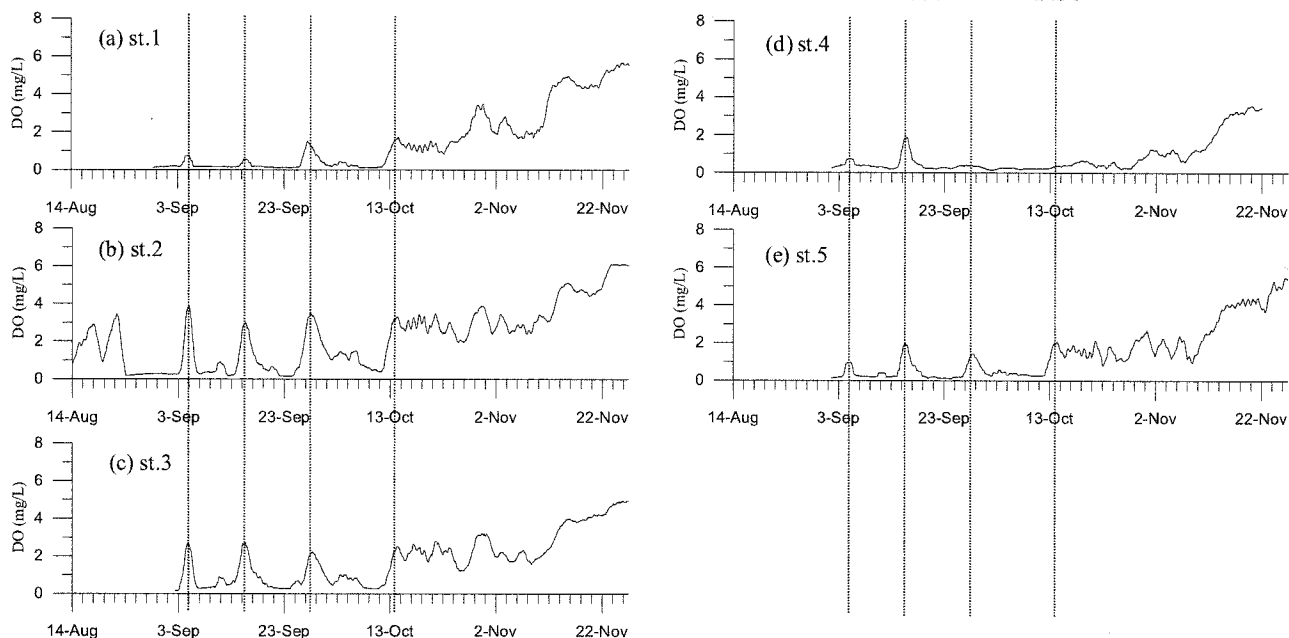


図-6 各地点のDO濃度の時間変化。DO濃度は12時間の移動平均を施している。

は9月6日と同じだった。しかし、その水深は9月6日程水平方向に直線的ではなかった。

9月16日の成層は、9月6日と比べて弱く、明瞭な躍層がなかった。表層の塩分は20以上であり、表層から水深5 m付近の等密度線は疎だった。この成層が弱かったことが、貧酸素水塊の上面の水深が直線的でなかった要因であろう。

11月19日における貧酸素水塊は、内湾部および航路部には存在せず、芝浦運河内に一部残っている程度だった。表層1 m程度に塩分29以下の水塊がある程度で、表層の塩分は9月と比べて高かった(図-5)。また、成層は9月と比べて弱く、躍層はなかった。

(2) 時間変化

貧酸素水塊が発生していた10月13日以前において、DO濃度が0 mg/l付近から突発的に回復する現象が、9月5日、15日、28日にあった(図-6)。この回復のタイミングは全地点において同じだった。

DO濃度が突発的に回復した時には、各地点の塩分の鉛直分布も急激に変化していた(図-7)。9月5日は表層から水深4 mまで塩分23以下の低塩化、9月15日および28日は表層から水深4 mまで塩分29以上となる高塩化だった。低塩化と高塩化と方向は違うが、共通点は成層が相対的に弱くなり、躍層の水深が下がっていることだった。

(3) DO濃度と降水量および潮差の関係

成層構造を変化させる要因として大きなものは、河川河口域の成層の変化要因⁷⁾から類推すると、淡水流入量と潮差が考えられる。淡水流入量が大きい場合、または潮差が小さい場合に、成層は強くなる。本検討範囲の淡水流入量を的確に把握することは容易ではないので、ここでは淡水流入量を降水量(気象庁東京气象台⁸⁾)で代用した。

観測開始から貧酸素水塊が発生していた10月13日までの期間において、各地点共に、1日当りの降水量が大きい方が日最大のDO濃度は小さくなる

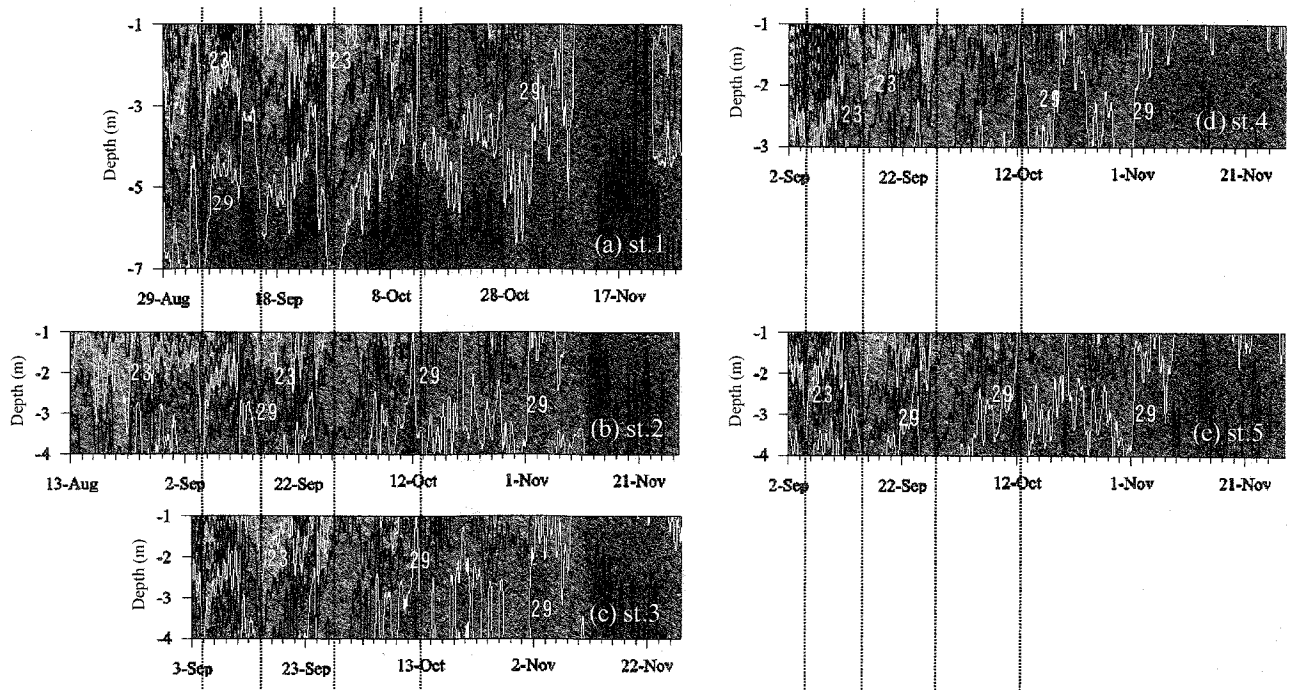


図-7 各地点の塩分の鉛直分布の時間変化。塩分は12時間の移動平均を施している。

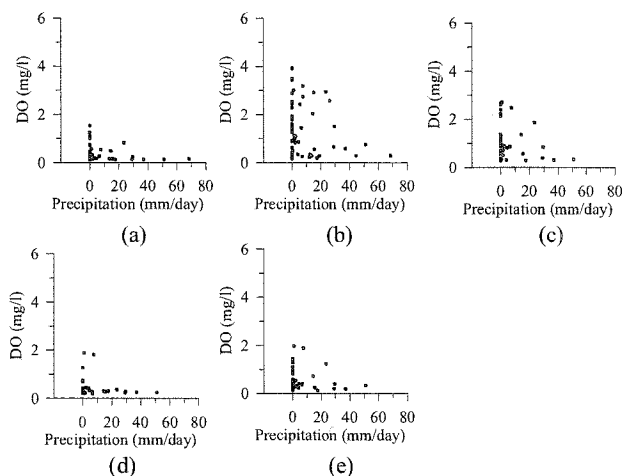


図-8 1日当りの降水量と日最大DO濃度の関係。データは観測開始から貧酸素水塊が解消する10月13日までを用いた。(a) st.1, (b) st.2, (c) st.3, (d) st.4, (e) st.5。

傾向があった(図-8)。降水量が小さい場合にはDO濃度は高い値から低い値まで示したが、降水量が大きい場合にはDO濃度は低い値のみだった。

また、同期間において各地点共に、1日当りの最大潮位差が小さい程、日最大のDO濃度は小さくなる傾向があった(図-9)。潮差が小さい場合にはDO濃度は小さい値のみだったが、潮差が大きい場合にはDO濃度は高い値から小さい値を示した。

4. 考察

DO濃度の時間変化(図-6)に示された様に、運河部では、貧酸素水塊が発生する期間において貧

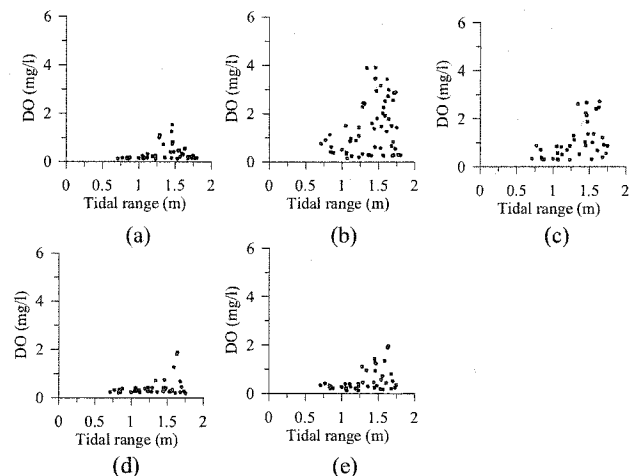


図-9 1日当りの最大潮差と日最大DO濃度の関係。データは観測開始から貧酸素水塊が解消する10月13日までを用いた。(a) st.1, (b) st.2, (c) st.3, (d) st.4, (e) st.5。

酸素水塊が週に1度程度の頻度で回復していた。縦断面観測結果をこのDO濃度の時間変化に対応させると、9月6日の観測結果(図-3)は貧酸素状態の時に当たり、9月16日の観測結果(図-4)は貧酸素水塊が解消し再び貧酸素水塊が形成しつつある時に相当する。

9月6日と16日を比較すると、成層状態が大きく異なっていた。9月6日の成層は強く、明瞭な躍層が3-4m程度に存在していたのに対して、9月16日の成層は弱く、比較的明瞭でない躍層が4-5m程度に存在していた。そして、貧酸素水塊の上面の水深は、その躍層の位置に依存し、9月6日においては水深3-4m、9月16日においては水深5mとなっていた。したがって、運河部の貧酸素水塊の回復

は、この成層状態の変化によって躍層の水深が下がり、貧酸素状態となっていない表層の水塊が底層まで達したことによって起こっていたと考えられる。一方、運河部の底層に貧酸素水塊が存在する時は、躍層の水深が運河部の水深よりも上がっている時であり、この貧酸素水塊は、航路部の貧酸素水塊の移流による直接的な影響を強く受けていると考えられる。ただし、運河部底層でも酸素消費はあるので、運河部の貧酸素水塊の要因は全て航路部からの影響と言う訳ではない。

このように、この水域においては、貧酸素水塊の消長に対して、成層の状態は強い影響要素であろう。そして、この成層に関して、次のことが観測結果から得られている。①塩分・水温およびDO濃度共に、運河部から航路部にかけて等値線が水平であったこと（図-3, 4）。②貧酸素水塊が回復した時に各地点の塩分成層が同じく変化していたことに示された様に、その塩分成層は、航路の入り口付近（st.1）から運河部まで、同じタイミングで変化していたこと（図-6）。③航路の入り口付近（st.1）から運河部までのDO濃度は、降水量と潮差に対して同じ様に依存していたこと（図-8, 9）。これらのことから、運河部から航路部にかけては、成層の鉛直分布だけでなく形成機構まで一体の構造（成層構造）であると考えられる。

航路部と内湾部間においては、塩分の鉛直分布は同じだったにもかかわらず、DO濃度および濁度の鉛直分布は大きく異なっていた（図-3, 4）。特に中層部（水深5-10m付近）において、航路部では貧酸素・高濁度であったが、内湾部では貧酸素でも高濁度でもなかった。このことは、航路部の中層部の貧酸素水塊および高濁度は、内湾部からの直接的な移流ではないことを示すだろう。

今回のデータのみでは、航路最深部のデータがないため、底層部における直接的な影響は言及できない。しかし、縦断面観測結果において、航路部内部において底層水が湧昇し運河部に水塊が流れこんでいる様子は見られなかったので、内湾部の貧酸素水塊が直接的に航路部に流入する定常的な機構はないものと推測される。

表層の塩分が小さいこと、成層が強いこと、各地点の成層が同じタイミングで変わること、その成層の変化の要因は降水量（淡水流入量）と潮差に依存すること、DO濃度および濁度の鉛直分布が航路部と内湾部で大きく異なることを考慮すると、あたかも隅田川の河口が東京西航路口であるかの様であり、前述した運河部-航路部に渡る同じ成層構造の水塊は、内湾部の成層構造とは異なる構造下にあると考えられる。

上記の考察を踏まえると、運河部（芝浦運河および東雲運河）の貧酸素水塊の改善を目指したとき、次のことが考えられる。①運河部のみの対処

では意味はなく、航路部まで同時に実施する必要がある。②内湾部と運河部には移流による直接的な影響は強くないので、運河部の貧酸素水塊の改善に対しては、内湾部まで合わせて実施する必要は必ずしもない。③内湾部の影響は運河部にはないものの、航路部にはあるので、長期的にみた場合、航路部の改善の効果が序々に薄れ、間接的に影響が及ぶ可能性は念頭に置いておく必要がある。

5. まとめ

東京湾湾奥に位置する芝浦運河および東雲運河内の貧酸素水塊は、東京西航路とは密接な関係があるが、内湾部の貧酸素水塊の直接的な影響を受けていないと考えられる。したがって、芝浦運河および東雲運河の貧酸素水塊の改善を目指した時には、東京西航路と合せて水質・底質改善策を実施する必要があるが、東京湾全域の底質改善を実施しなくても改善効果が期待できると考えられる。

今回の対象の様な淡水供給の影響が強く、強い成層が形成される運河部の水環境を考えるに際しては、同じ成層構造（鉛直分布および形成機構）を持った水域の範囲はどこであるかの視点が重要であることが示された。つまり、水域をゾーニングする際には、単なる水質・底質指標だけでなく、成層構造も指標とする新たな視点が重要であると考ええる。

参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所：海辺の自然再生にむけて、国土技術政策総合研究所沿岸海洋研究部海洋環境研究室，43p，2007。
- 2) ミレニアム生態系評価 (Millennium Ecosystem Assessment)，<http://www.millenniumassessment.org>，2005。
- 3) 横浜国立大学21世紀COE翻訳委員会：生態系サービスと人類の将来，オーム社，241p，2007。
- 4) 岡田知也，古川恵太：東京湾沿岸域における音響装置を用いた詳細な底質分布図の作成とベントス生息状況，海岸工学論文集，第52巻，pp.1431-1435，2005。
- 5) 佐藤千鶴，古川恵太，岡田知也：京浜運河における底生生物からみた自然再生の可能性，海洋開発論文集，Vol.22，pp.211-216，2006。
- 6) 有路隆一・田中陽二・諸星一信・松坂省一・鈴木高二朗：横浜川崎地区京浜運河における水質の現状調査，海洋開発論文集，Vol.24，pp.627-632，2008。
- 7) 岡田知也，中山恵介，荒川河口域における潮差変動に伴うChlorophyll a分布および河川流入負荷量の変動，土木学会論文集，No. 754/II-66，pp.33-50，2004。
- 8) 気象庁：年報CD-ROM，2008。