

魚大量斃死時における河川感潮域の DO 環境特性

DO Environments in Tidal Rivers with Massive Fish Death

二瓶泰雄¹・山口紘栄²・柏田仁³・岩本演崇⁴

Yasuo NIHEI, Hirosaka YAMAGUCHI, Jin KASHIWADA and Hirotaka IWAMOTO

Although massive fish death was mostly observed in tidal rivers and mainly caused by hypoxic water mass, there was little information on DO environments in large tidal rivers. To investigate DO environments in tidal rivers with and without massive fish death, we conducted field measurements on hydrodynamics and water quality environments in the Sumidagawa and Arakawa Rivers. In summer, larger intrusion of sea water was found in Sumidagawa River than Arakawa River mainly due to the difference of river discharges, and then DO concentration in the Sumidagawa River was relatively lower than in the Arakawa River. Also found that the intrusion of hypoxic seawater mass and inflows of CSO due to hydrologic events have an important role on reduction of DO concentration in the Sumidagawa River.

1. はじめに

河川における魚の大量斃死事故は一般に夏期に多く、東京都内の河川を例にとると、2008 年も隅田川や新中川において 7, 8 月に発生した。この東京都内河川の場合、**図-1** に示すように、1998~2006 年の間に計 156 件の魚大量斃死事故が生じており、その発生原因としては貧酸素状態 (DO 低下) が 72 件と半分程度を占める。また、DO 低下による魚大量死の発生場所は感潮域に集中している (例えば、東京都環境局, 2006)。

魚大量斃死時の DO 低下の原因として、降水後の出水による底質巻上げが指摘されることが多い。しかしながら、感潮域の DO 環境は、貧酸素化が著しい海域からの海水遡上状況や海域・陸域からの有機物供給状況により大きく変化するため (西条・奥田, 1996)、底質巻上げによる DO 消費のみが DO 低下の主原因かどうかは不明である。また、DO 低下を主因とする魚大量斃死事故の発生件数は河川間で大きく差があり、その理由は不明である。

本研究では、河川感潮域における魚大量斃死の主原因である DO 低下状況の実態を把握するために、2008/7/31 と 8/6 に大量斃死事故が生じた隅田川と全く生じていない荒川の感潮域において、水理・水質環境に関する現地調査を行った。その結果に基づいて、両河川における海水遡上状況や DO 環境を把握すると共に、魚大量斃死時の DO 低下状況の形成要因を考察する。

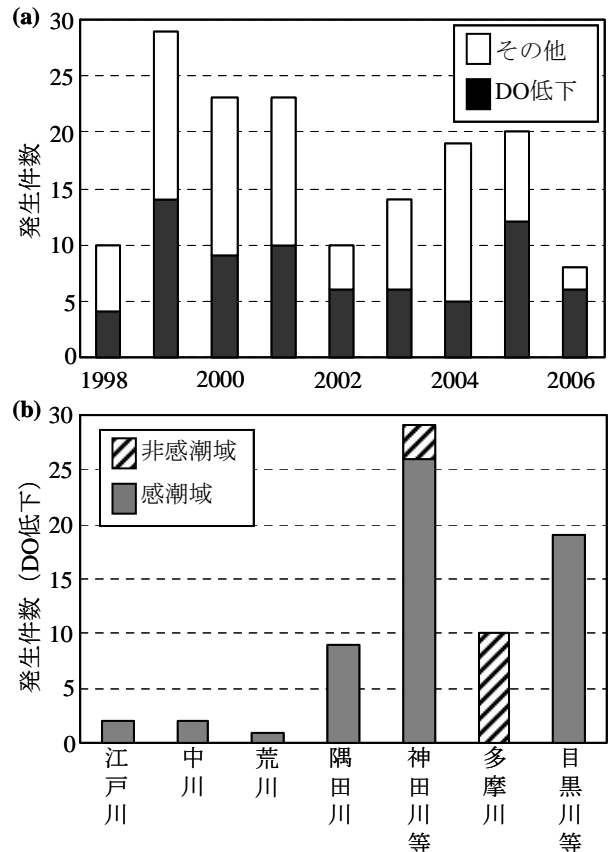


図-1 東京都内河川における魚大量斃死事故の発生件数(a)と DO 低下を原因とする発生場所(b) (1998~2006 年の合計)

2. 現地観測方法の概要

(1) 研究サイトの特徴

研究対象サイトは、東京湾に注ぐ隅田川と荒川の感潮域であり、その位置を**図-2** に示す。隅田川は岩淵水門で荒川から分派し、新河岸川・石神井川・神田川と合流し東京湾に注いでおり、その全長は 23.5 km、流域面積は 640

1 正会員 博(工) 東京理科大学准教授理工学部土木工学科
2 東京都 (元東京理科大学学部生)
3 パシフィックコンサルタンツ(株) (元東京理科大学学部生)
4 学生会員 東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻修士課程

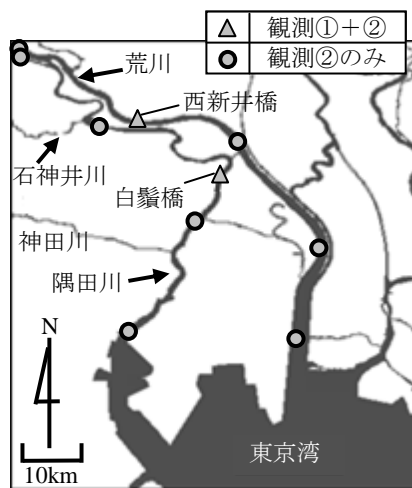


図-2 対象河川及び観測地点

km²である。隅田川は全域感潮域となっており、河床底質は粘土・シルト分が卓越している(二瓶ら, 2009)。一方、荒川は、甲武信ヶ岳を源流とし、埼玉県と東京都を流れ、全長は173 km、流域面積は2300 km²である。順流域末端は秋ヶ瀬堰であり、感潮域の長さは34 kmと長い。荒川感潮域の底質は、粘土・シルトや細砂が多い。前述した荒川から隅田川への分派率はおよそ0.15~0.20であるが(二瓶ら, 2007)、大洪水の時には岩淵水門が閉じられ隅田川への分派流量は0となる。

両河川におけるDO低下による魚大量死事故は、図-1に示すように、1998~2006年の間に隅田川では9件、荒川感潮域では1件である。このように、両河川では、魚大量死状況やそれと関連するDO環境が大きく異なっていることが推察される。

(2) 観測概要

両河川感潮域の水理・水質環境を把握するために、長期連続観測(観測①)と短期集中型空間分布観測(観測②)という2種類の現地観測を実施した。観測①では、隅田川・白髭橋(河口より+9 km)と荒川・西新井橋(+13 km)において、水位、流量、水温、塩分濃度、濁度、DOの長期連続観測を行っている。流量に関しては、水平設置型超音波ドップラー流速分布計(H-ADCP, Teledyne RDI製)による流速計測と数値解析を融合した新しい流量モニタリングシステムを適用している(二瓶・木水, 2007; Nihei & Kimizu, 2008)。本システムの有効性は、順流部(江戸川)のみならず(Nihei & Kimizu, 2008), H-Q式が使えない感潮域においても検証されている(原田ら, 2008)。他の測器としては、水位には水圧式水位計(Level Troll, In situ社製)、濁度にはワイパー付光学式濁度計(Compact-CLW)、塩分濃度にはワイパー付水温塩分計(Compact-CTW)、DOには隔膜式カルバニ電池型DO計(Compact-DOW, 以上JFEア

レック(株)製)、水温には小型水温計(Water Temp Pro, Onset製)である。観測期間は隅田川では2007/7/12から、荒川では2008/7/2より現在までである。なお、センサーの不具合で荒川のDOなど一部計測できていない。また、水温センサーのみ複数の高さで計測できたが、その他の項目は1点のみ(上層)の計測となる。

一方、観測②では、2種類のSTDセンサー(Compact-STD, JFEアレック(株)製; Minisonde5, 環境システム(株)製)を用いて、両河川感潮区間を移動し、水温・塩分濃度・濁度・DOの空間分布特性を把握する。観測地点は図-2のように両河川共に5つである。観測日と回数は、大潮期(2008/9/16, 17)では満潮時と干潮時の2回、小潮期(同年9/24)では1回のみである。

3. 結果と考察

(1) 流量・塩分濃度・DOの時間変動特性

a) 流況と海水遡上特性

隅田川と荒川の感潮域における基本的な流況・水質特性を調べるために、観測①が行われた隅田川・白髭橋と荒川・西新井橋における流量・塩分濃度・濁度・DOの時間変化を図-3に示す。ここでは、観測期間の中で特徴的な変化が見られた2008/7/15から8/31までの結果を表示している。同図(a)には都内3箇所(東京, 新木場, 練馬)のアメダスデータを平均した日雨量も示す。前述したように、荒川では計測機器の不具合によりDOデータは欠測している。また、7/18~22には、測器の都合により、荒川の全データが欠測となっている。さらに、隅田川のDOと関連する海域のDOデータとして、千葉灯標(底層)におけるDO観測データ(海上保安庁提供)も合わせて図示している。

流量としては、両河川共に潮汐流の振幅が大きく、その大きさは荒川では500~600 m³/s、隅田川では400 m³/s程度となっている。これらの大きさは江戸川や多摩川という大河川の小規模洪水に相当しており、両河川における潮汐流量の大きさが伺える。そのため、都内のみで50 mm程度の日雨量が観測されても、両河川の流量には降雨の影響は見られない(8/5など)。2008年度において生じた大きな出水は、前線性豪雨によるイベント(8/29~31, 08年8月出水)のみであり、この時には都内を中心として広域に降雨が観測された。この出水時のピーク流量は荒川では1400 m³/s、隅田川では550 m³/sに達する。

塩分濃度(上層)に関しては、隅田川では潮位と連動して塩分濃度は変化し、最大14‰に達している。また、隅田川の塩分濃度は全般的に荒川よりも大きい。その荒川に関しては、塩分濃度がほぼ0の期間が多く、隅田川と比べて、海水遡上状況が大きく異なっていることが予想される。また、08年8月出水時には、両河川ともに塩

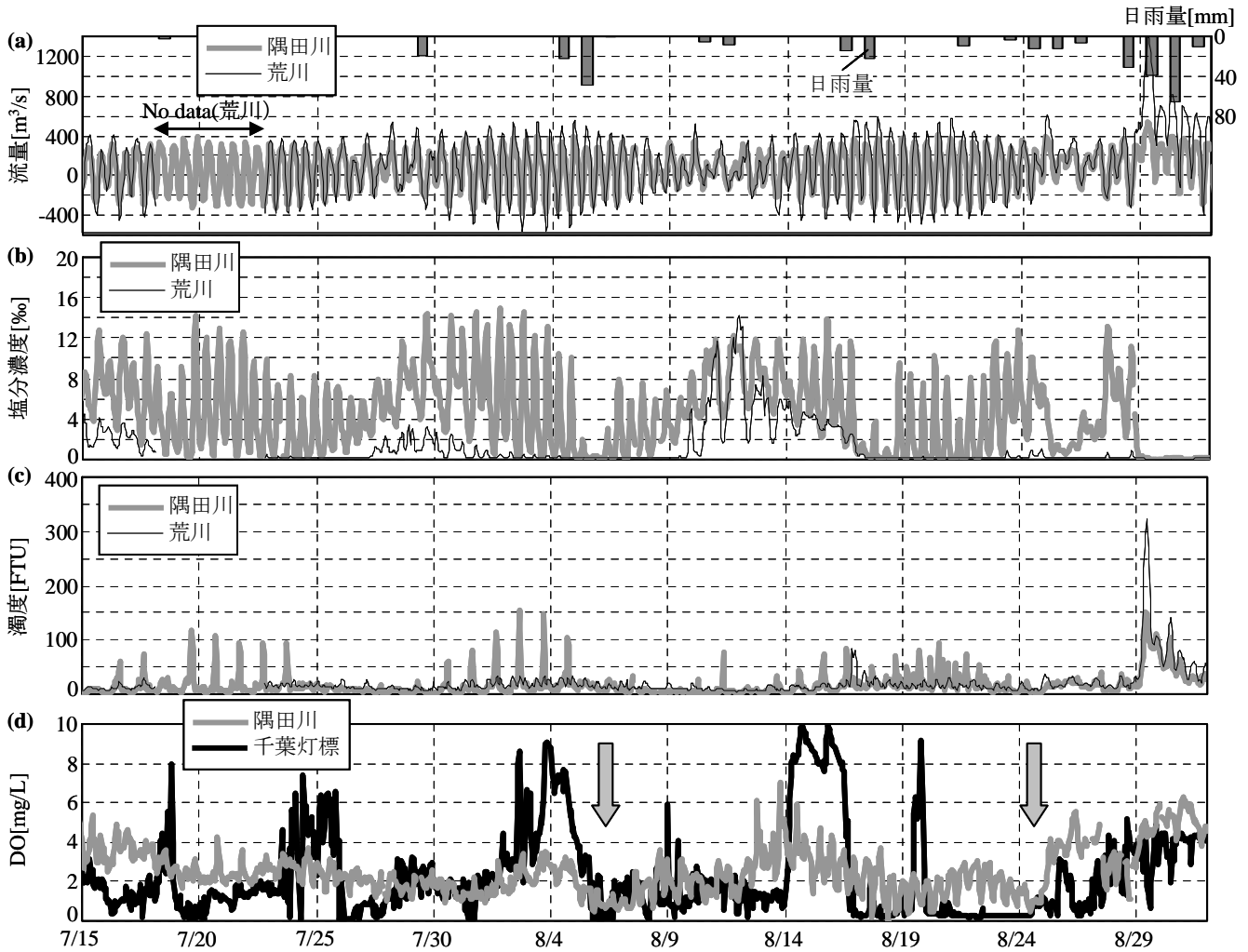


図-3 隅田川・白髭橋と荒川・西新井橋における日雨量と流量(a), 塩分濃度(b), 濁度(c), DO(d)の時間変化 (DOのみ隅田川と千葉灯標の結果を掲載し, 日雨量は都内3箇所のアメダスデータの平均値である. (d)の矢印は隅田川のDOが急減した時を明示)

分濃度は0となっている。一方、濁度に関しては、両河川共に08年8月出水時に大きくなっており、その最大値は荒川で300 FTU、隅田川で150 FTUとなる。この出水時を除いた他の降雨イベントでは濁度の増加は見られない。また、潮汐によっても濁度は増減しており、上げ潮時に濁度最大値を取る Turbidity Maximum (西条・奥田, 1996) が現れている。その様子は隅田川で顕著であり、海水遡上と対応した結果となっている。

b) DO

隅田川のDOは、大局的には、①潮汐に起因する変動、②海域のDO変化と対応した潮汐より長い周期の変動、③降雨後に生じる急激なDO低下、という3種類の変動が見られる。①では潮位変化に伴う半日周期の変動が卓越し、海水遡上に伴ってDOは減少する。これは、夏期東京湾底層では貧酸素化が進行するためであり(安藤ら, 2005)、千葉灯標のDOからも見られる。②としては、隅田川のDOは1週間程度の周期で上下しており、その変

動の様子や大きさは千葉灯標のDOと類似している部分も多い。そこで、7日間移動平均した両地点のDOの相関性を調べた結果、相関係数が約0.55~0.60となり、隅田川感潮域の一週間程度の平均的なDO変動には海域DOの影響が認められる。さらに、③では、図中矢印で示す8/6や8/24頃において隅田川のDOは急激に減少している。その直前には都内で降雨が観測されており、DOの急激な低下が降雨の影響であることが推察される。このように、隅田川のDOは海域(変動①, ②)や陸域(変動③)の影響を受けて変化していることが示された。

(2) 塩分濃度・DOの空間分布特性

詳細な海水遡上特性を把握するために、大潮・満潮時(2008/9/16, 17)と小潮時(2008/9/24)における塩分濃度とDOの空間分布を図-4に示す。大潮時では、両河川共に、観測範囲全般にわたり概ね強混合状態となっている。海域から高塩分水塊が遡上し、その遡上距離は隅田川の方が長い。塩分濃度が高いほどDOは低く、隅田川

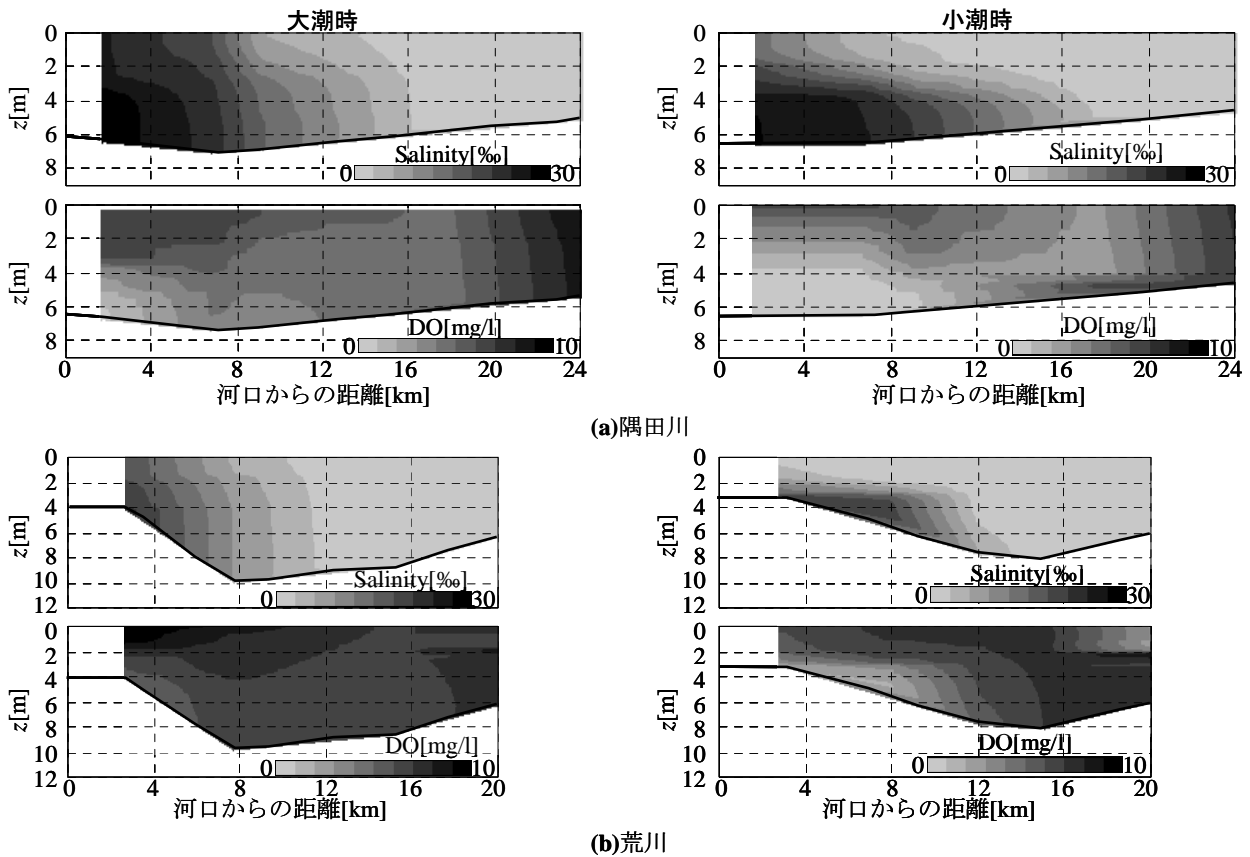


図-4 大潮時（2008/9/16, 17）と小潮時（同年9/24）における塩分濃度とDOの空間分布

の河口底層付近のDOは2 mg/L以下である。一方、海水遡上距離が短く塩分濃度が低い荒川では、観測範囲全域でDOは5 mg/L以上であり、貧酸素化していない。

小潮時では、両河川共に弱混合状態となり、海水が底層を侵入する密度成層が形成され、それに伴い海域の貧酸素水塊も遡上する。この小潮時も、隅田川の方が荒川よりも高塩分・低DOとなり、隅田川の海水遡上距離が相対的に長い。さらに、特筆すべきこととして、塩分濃度がほぼ0となる上流域において低DOとなる部分が両河川共に見られ、陸水起源の貧酸素水塊が存在している。

このような大潮時や小潮時の塩分特性は、前節で記述した長期連続データの結果と一致する。荒川ではDOの連続データを取得できていないが、上記の結果から、隅田川と比べて荒川のDOは全般的に高く貧酸素状況となる時間や場所が少ないものと推察される。上述した夏期では、隅田川の方が荒川よりも海水遡上量が大きく、高塩分・低DO化しやすい。この要因として流量に着目すると、月平均流量としては、7月では荒川83 m³/s、隅田川62 m³/s、8月では荒川131 m³/s、隅田川83 m³/sとなる。

このように夏期では荒川の流量が相対的に大きいいため海水遡上量が小さく、DO低下が生じないものと考えられる。

(3) 魚大量斃死時におけるDO低下の要因

荒川よりも低DOとなった隅田川・白鬚橋を対象として、魚大量斃死時（7/31, 8/6）におけるDO低下の要因

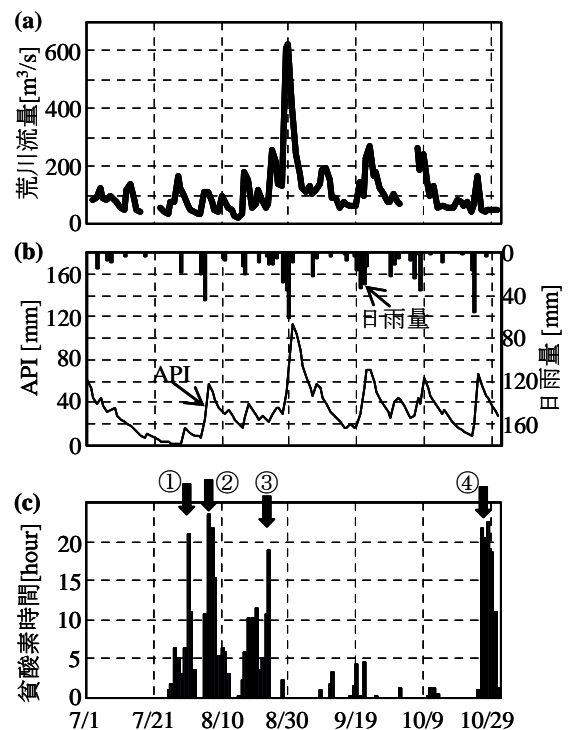


図-5 荒川流量(a)と日雨量とAPI（都内3箇所アメダスデータの平均）(b)、隅田川の貧酸素時間（DO<1.5 mg/L）(c)に関する経日変化（2008年）

を検討する。そこで、DOがある閾値を下回る時間を「貧酸素時間」と定義し、魚大量斃死時を含む2008/7/1～10/31における貧酸素時間の経日変化を図-5に示す。ここでは、DOの閾値として1.5 mg/Lを採用する。また、図中には、荒川の日平均流量及び日雨量（東京、新木場、練馬のアメダス地点の平均値）とその日雨量から算出される先行降雨指標API(Antecedent Precipitation Index; 水村, 1998)も合わせて示す。このAPIが小さいと先行する期間の降雨量が少ないことを意味する。この期間では、図の矢印で示すように、貧酸素時間が15時間を上回る4つのイベントが見られ、イベント①と②では魚大量斃死事故が報告されている。この全イベントにおいて、都内で観測された降雨から数日後に貧酸素時間のピークが現れること、APIが小さいこと、荒川の流量は小さいことが共通している。また、これらのイベントでは濁度は低く（日平均値は30 FTU以下）、一般に原因として指摘される底泥巻上げ現象は見られない。さらに、荒川の流量が増加するような流域全体にわたる出水イベント（08年8月出水）ではDOは下がらず、むしろ増加している。

以上より、出水が流域全体でなく都内で限定され、かつ、APIが小さい状況において隅田川のDOが低下している。これより、東京周辺のみならず降雨が発生すると、隅田川には荒川からの出水影響よりも、合流式下水道からの雨天時越流下水(CSO)の流入が顕著となる。また、APIが小さいためCSO起源の有機物・栄養塩負荷が大きい。そのため、CSOに含まれる大量の有機物の分解により河川水中のDOが消費され、降雨から数日間にてDOは急激に低下する。海域の貧酸素化が著しい夏期では感潮域のDOも平均的に低いため、これに降雨(CSO)影響が加わると、感潮域の貧酸素化はより進行するものと考えられる。以上より、魚大量斃死時のDO低下の主要因として、降雨イベントによる底質巻上げではなく、貧酸素化した海水遡上の影響に加えて、大量のCSO流入による有機物分解に伴う酸素消費が挙げられる。また、合流式下水道のポンプ場の数は隅田川の方が荒川感潮域よりも圧倒的に多く、この違いと海水遡上特性の差が隅田川と荒川のDO低下状況の違いを形成しているものと推察される。なお、上記の議論を精緻化するには、数値解析などを用いて定量的な検討を行う必要があり、今後の課題とする。

4. まとめ

本研究では、東京都内河川で頻発する魚大量斃死事故の主要因であるDO低下状況の形成要因を明らかにするために、2008年度夏期に魚大量死事故が生じた隅田川と生じていない荒川感潮域において水理・水質環境に関する現地観測を実施した。得られた主な結論は、以下の通りである。

1) 両河川感潮域における海水遡上特性は大きく異なり、

夏期では、隅田川の方が荒川よりも相対的に海水遡上が顕著である。この隅田川と荒川の海水遡上特性の違いは、概ね、荒川の流量が隅田川よりも大きいためである。

2) 海水遡上状況の違いを反映して、隅田川では海域の貧酸素水塊が大きく侵入し、DOは荒川より相対的に低い。

3) 魚大量斃死事故が生じた期間を含めて夏期・隅田川のDOが低下した時には、底質浮遊による濁度上昇は観測されず、都内限定の降雨により合流式下水道からのCSO流入が顕著であり、また、先行降雨指標APIは小さい。そのため、貧酸素化した海水遡上と大量のCSO流入による有機物分解に伴う酸素消費、という2点がDO低下の主要因であることが示唆された。

なお、下水流入による貧酸素化は古典的な都市中小河川の環境問題であるが、隅田川のような大河川でも生じていることは興味深い。今後、更なる観測データの蓄積と数値解析を行い、より定量的な検討を行う予定である。

謝辞：本研究は、NEDO・平成17年度産業技術研究助成事業（研究代表者：二瓶泰雄）の成果の一部である。東京都土木技術支援・人材育成センター・高崎忠勝氏には、現地観測実施に際してご協力頂いた。国土交通省関東地方整備局荒川河川下流事務所と東京都第五建設局には、現地観測実施に際して便宜をはかって頂いた。(株)ハイドロシステム開発の皆様には、観測作業の一部を実施して頂いた。ここに記して深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 安藤晴夫・柏木宣久・二宮勝幸・小倉久子・川井利雄（2005）：1980年以降の東京湾の水質汚濁状況の変遷について—公共共用水域水質測定データによる東京湾水質の長期変動解析—, 東京都環境科学研究所年報, pp.141-150.
- 西条八束・奥田節夫(1996):河川感潮域—その自然と変貌—, 名古屋大学出版会, pp.1-248.
- 東京都環境局（2006）：河川等の水質異常事故発生状況一覧, pp.2-9.
- 二瓶泰雄・高村智之・渡邊敏之（2007）：東京湾主要流入河川における流量モニタリングの現状と課題, 海岸工学論文集, Vol.54, pp.1221-1225.
- 二瓶泰雄, 木水啓：H-ADCP観測と河川流計算を融合した新しい河川流量モニタリングシステムの構築, 土木学会論文集B, Vol.63, No.4, pp.295-310, 2007.
- 二瓶泰雄・重田京助・伊藤雅人・星野彰成・福田昌洋・加藤靖之（2009）：東京湾流入河川における土砂輸送・底質環境特性, 海岸工学論文集, Vol.56 (掲載決定).
- 原田靖生, 二瓶泰雄, 北山秀飛, 高崎忠勝：H-ADCP計測と数値計算に基づく感潮域の河川流量モニタリング～隅田川を例として～, 水工学論文集, Vol.52, pp.943-948, 2008.
- 水村和正（1998）：水圏水文学, 山海堂, pp.82-88.
- Nihei, Y. and Kimizu, A. (2008): A new monitoring system for river discharge with H-ADCP measurements and river-flow simulation, *Water Resources Research*, Vol.44, W00D20.