

長良川河口堰下流部における貧酸素水塊の 形成に関する解析

DEVELOPMENT OF ANOXIC WATER IN THE LOWER REACHES OF THE NAGARA RIVERMOUTH BARRAGE

藤野智亮¹・中村由行²

Tomoaki FUJINO and Yoshiyuki NAKAMURA

¹正会員 工修 東洋建設株式会社 中国支店土木部 (〒730-0032 広島市中区立町2-23 野村不動産ビル7F)

²正会員 工博 港湾空港技術研究所 海洋・水工部沿岸生態研究室長 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

Oxygen deficit in the lower reaches of the Nagara Rivermouth Barrage is a one of the key phenomenon for evaluation of the effects of construction of the barrage on ecosystems and water quality. The purpose of the paper is to make clear a mechanism of development and disappearance of anoxic water with the use of continuous field data on dissolved oxygen and salinity. Daily-averaged DO concentration well follows the dynamics of the mixing regime according to the cycle of spring-neap tides. Storm runoff once recovers DO concentration, however, it cause oxygen deficit immediately after the runoff due to the intrusion of the anoxic, saline water from the inner part of Ise Bay.

Key Words : Nagara Rivermouth Barrage, anoxic water, tidal cycle, dissolved oxygen, seawater intrusion

1. 序論

長良川河口堰の建設に伴い,平成6年から現在まで,国土交通省(旧建設省)・水資源開発公団により堰の環境影響評価に関する調査が実施されている。調査は長良川を重点的に木曽三川を対象とし,項目は水質,底質,河床地形,動植物に関する調査等多岐に渡っている。調査結果は,年度毎に長良川河口堰モニタリング年報¹⁾としてまとめられ,公開されている。しかしながら,これらの学問的に貴重なデータは,必ずしも河口域特有の現象の理解や,堰運用による水質・生態系へのインパクトの評価に十分生かされていない様である。例えば水質や生態系の構造に悪影響を及ぼす現象の一つに底層の貧酸素化があるが,貧酸素化の機構も十分に明らかになっていない。

河口域では,小潮時に安定した塩分成層が形成されることにより鉛直混合が十分に行き渡らず,底層での酸素消費に伴う貧酸素化が進行する現象が報告されている²⁾³⁾。石

川ら⁴⁾は利根川において,それらの塩水遡上の侵入長が小潮時に長くなる様子を観察し,小松ら⁵⁾は川内川においてその遡上距離が十数キロメートルに及ぶことを報告している。しかし,長良川下流部においては堰の存在という条件も重なり,小潮時の貧酸素化だけでは説明できない現象も見られる。また,長良川のように河口が富栄養化した内湾に面している場合,内湾の水質と河道内の水質が相互に影響を及ぼし合っている可能性も否定できない。

長良川における貧酸素水塊の形成については,これまでに幾つかの報告がなされてきた。武田ら⁶⁾は,堰上流域での浮遊藻類の増殖と貧酸素水塊の発生に着目し,水質変動を統計学的に解析し,クロロフィルaとDO濃度の予測を行っている。村上ら⁷⁾は,堰下流部における貧酸素水塊の出現パターンを3つの類型に分類している。第一の類型は浮遊藻類の生産が大きい場合,第二の類型として,大潮の期間に下流起源の貧酸素水塊が塩水の遡上に伴い上流側に達する可能性を指摘している。第三の類型には,これまで報告されてきた小潮時の塩分成層化に伴う底層の貧酸素化を挙げている。しかし,貧酸素水塊の成因について,

物理機構と生物・化学的機構の説明が混在していて、その区別が明確でない。河口域という潮汐作用が卓越した水域であるので、まず物理機構から貧酸素化の機構を整理することができるのではないかと考えられる。

最近、著者ら⁸⁾は長良川河口堰モニタリングデータを解析し、潮汐作用と河川流量という物理作用から、河口堰下流部の貧酸素水塊形成の基本的な過程を整理した。そこでは河口堰の影響に力点が置かれており、堰運用前の1994年、および運用後の1998年のデータ解析を行って、運用後の混合形態の変化が貧酸素水塊の発達に及ぼす影響が論じられている。本研究では、堰運用後に絞りを絞る、伊勢湾での関連した観測データが存在する1996年のデータ解析を行う。特に、河道と伊勢湾との相互作用に着目し、これまでその影響が指摘されていたに過ぎなかった、伊勢湾の貧酸素化が長良川河口内の貧酸素化に及ぼす影響について、具体的なデータを示し、その物理機構について考察した。

2. 長良川および長良川河口堰の概要

長良川は、岐阜県郡上郡高鷲村の大日岳（1709m）にその源を発し、伊勢湾にそそぐ、流路延長約165 km、流域面積2,043 平方キロメートルの1級河川である。河口堰は河口から5.4km 地点に位置し、平成7年7月6日の全ゲート操作開始から現在に至っている。（図-1）河川流量について、長良川下流域の墨俣観測所における1994年から1998年まで5年間の平均値を示す（表-1）。また堰では、流量 800m³/s 以上の出水時にはゲートを開放している。

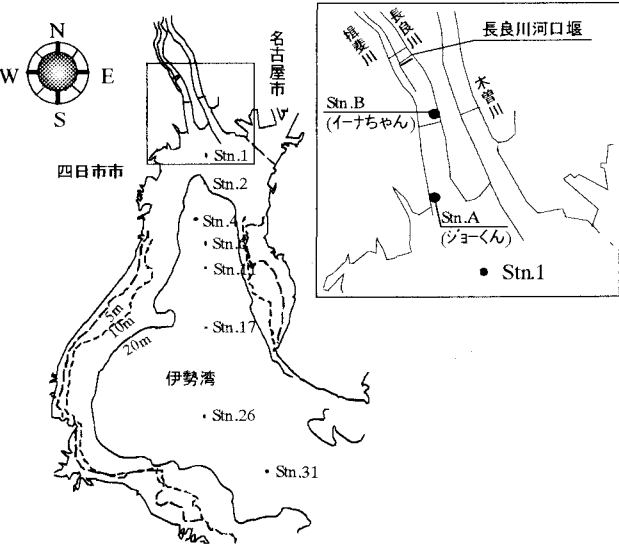


図-1 観測地点位置図

表-1 長良川墨俣観測所における1994年から5年間の流量平均値（）内変動範囲

豊水流量	117.83 (182.28-66.58)	m ³ /s
平水流量	69.74 (74.77-47.80)	
低水流量	46.42 (61.64-36.50)	
渇水流量	29.81 (39.88-15.26)	

3. 解析に用いた資料

本研究で用いた長良川の水質・流れの資料は公表されている長良川河口堰モニタリング年報（平成8年度）を主体とし、潮位については名古屋港のデータを用いた。モニタリング調査において、水質の観測には水質自動監視装置（シラベール）が設置されており、毎時の水質観測が行われている。また、河口堰下流側に位置するStn.B（通称イーナちゃん、河口から3.0km 地点）、及びStn.A（通称ジョーくん、同-0.5km 地点）（図-1 参照）については水深方向に観測点が3点設けられている（水深2割、8割、河床+50cm）。

伊勢湾貧酸素水塊調査のデータは、「中部新国際空港の漁業に関する調査報告書」の一項目として平成8年度に調査されたデータである⁹⁾。各測点において、約10日間隔で、DO、塩分、水温の鉛直分布を測定している。測点は水深0.5m、1m、2m、以下海底上0.5mを含む1m間隔を原則としている。

4. 結果及び考察

(1) 堰下流部の混合形態と潮汐サイクルに応じた底層DO濃度の変動

先にも述べたように、底層の溶存酸素濃度は塩分成層の発達の程度と密接な関係にあることが知られている。河口域において塩分成層を支配する外的条件は潮汐運動と河川流量であり、それらの大小により混合形態が変動することとなる。ここではまず、平水流量の期間での混合形態を整理してみる。図-2はStn.Bにおける表層および底層の塩化物イオン並びにDO濃度の値を時系列で示した図である。大潮の期間には鉛直混合が促進されることにより底層DO濃度は回復の傾向を示す。しかし、表層と底層が完全に混ざり合うことはない。従って、その

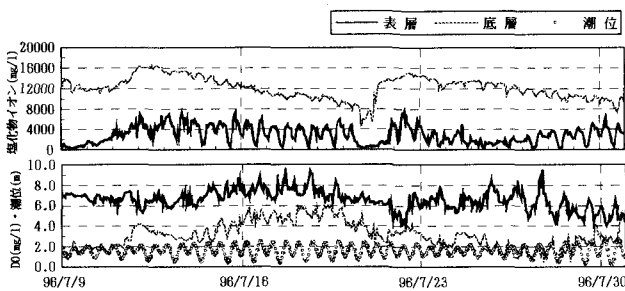


図-2 Stn.Bにおける塩化物イオン濃度とDO濃度の時系列

混合形態は緩混合程度であると言える。反対に、小潮の間では典型的な弱混合のパターンを示しており、底層水は貧酸素化している。

塩分成層を規定するもう一つの要因、潮汐運動については1日の干満に応じた時間スケールと大潮・小潮のサイクルに応じた約2週間の時間スケールがあり、これらが重なり合って底層DO濃度の変動に影響を与えると考えられる。ここでは、まず大潮・小潮のサイクルに着目した。図-3は平成8年のStn.Aにおけるデータを用いて、夏季の底層DO濃度の日平均値と一日の最大干満潮位差(名古屋港での観測値)の関係を月毎に示した図である。平水時(図中●)において、大潮の期間にDO濃

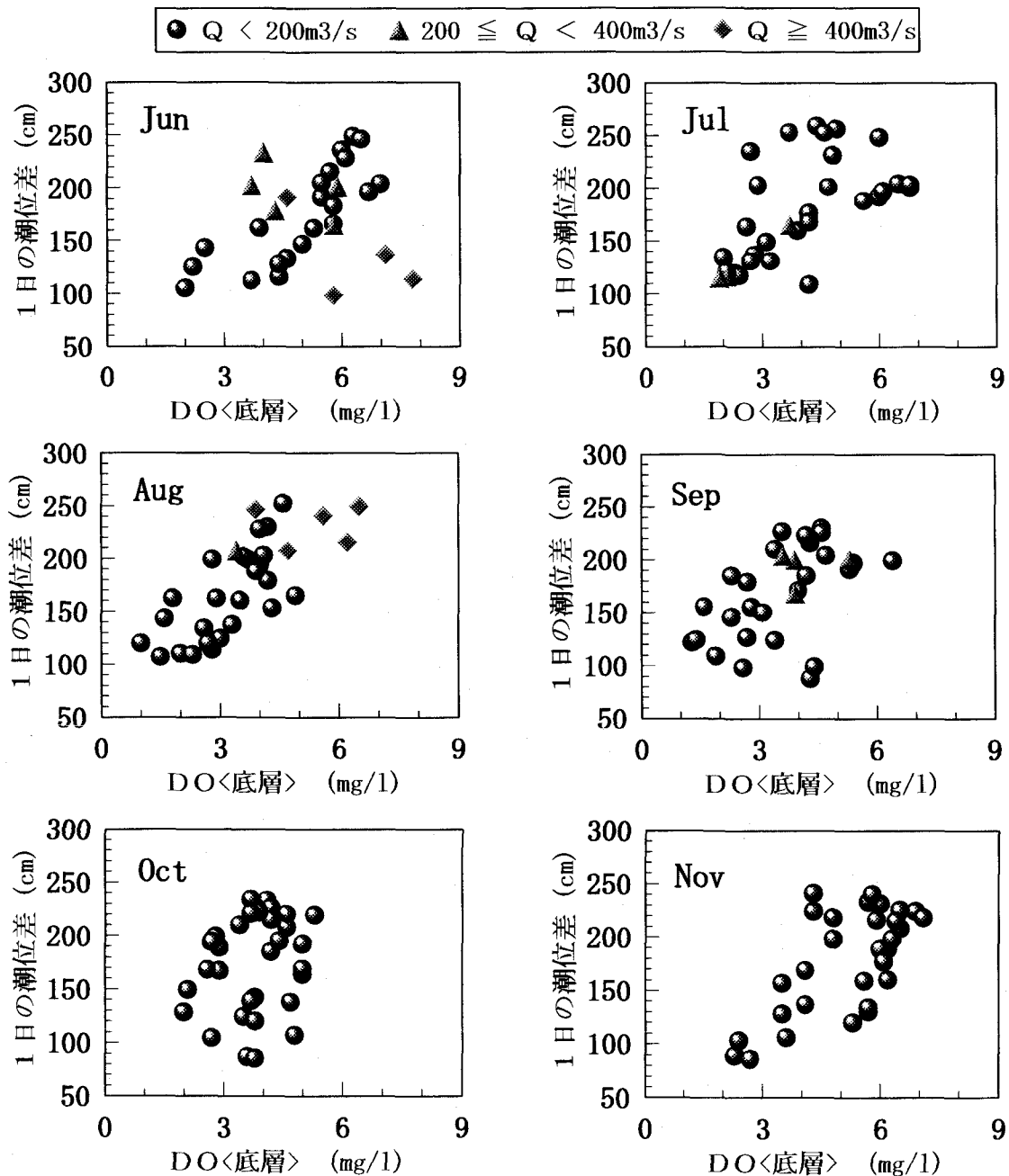


図-3 平成8年6～11月における1日の潮位差と日平均DO濃度との関係 (Stn.A)

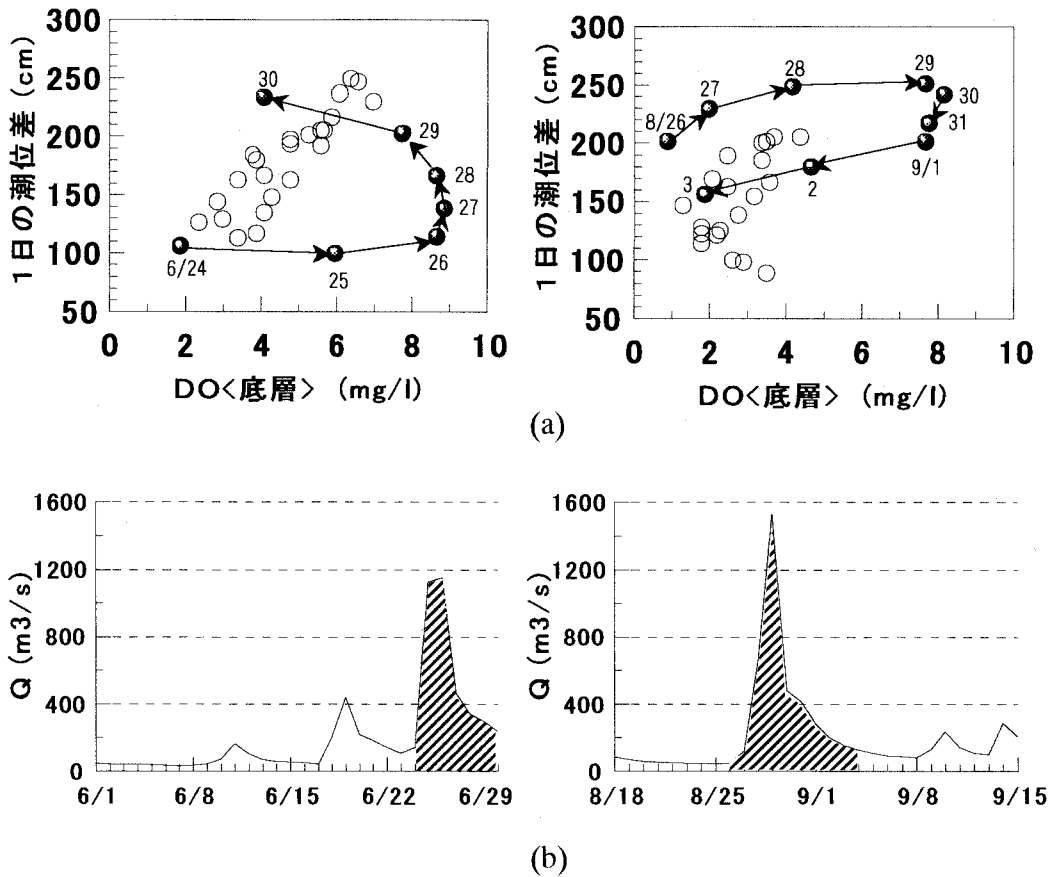


図-4 大規模出水時のD O濃度変動 (a) Stn.Bにおける1日の潮位差と底層D O日平均値との関係 (b) ハイドログラフ

度が高く、小潮の期間にD O濃度が低くなるという傾向が顕著に見られ、底層D O濃度と干満差との間に正の相関関係があることがわかる。即ち、河道内の底層D O濃度は大潮小潮のサイクルに応じて変動していると言える。また、6月に比べて水温の高くなる8、9月頃の方が貧酸素化する(3 mg/l以下となる)日数が増える傾向も認められる。

(2) 河川流量の増加に伴うD O濃度の変動

底層D O濃度の変動は大潮小潮のサイクルが基本となっているが、河川流量の変化が著しく生じた場合、攪乱作用を受け、基本パターンから外れる現象がしばしば見受けられる。先に示したように長良川の平水時流量は約70m³/sである。通常、河口堰の下流側では流量の制限を受けているため、若干の流量の増加では堰下流部での現象の変化は捉えづらい。長良川河口堰では流量が800m³/sを超えるとゲートが全開になることになっている、従って、それ以上の出水に注目した。

大規模な出水のあった6月28日および8月28日からの底層D O濃度の変化をハイドログラフと併せて図-4に示す。図-4 (a) において●は出水時<図 (b) の斜線部>のデータを示す。小潮の期間であった6月25

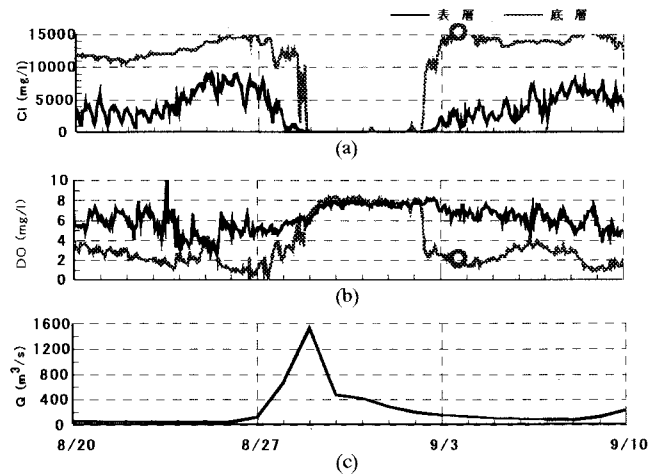


図-5 Stn.BにおけるCl, D O, 河川流量Qの時系列

日からの出水では日平均の河川流量は最大1,152m³/sにまで増加した。急速に増加した溶存酸素濃度は約9 mg/l近い値にまで上昇し、貧酸素状態が解消された様子が観測された。また、8月28日からの大潮時における出水についても、底層D O濃度は平水時に見られる直線的な相関関係の値、約4 mg/lの2倍近い値にまで上昇した。このとき日平均流量は29日に1,530m³/sを記録して

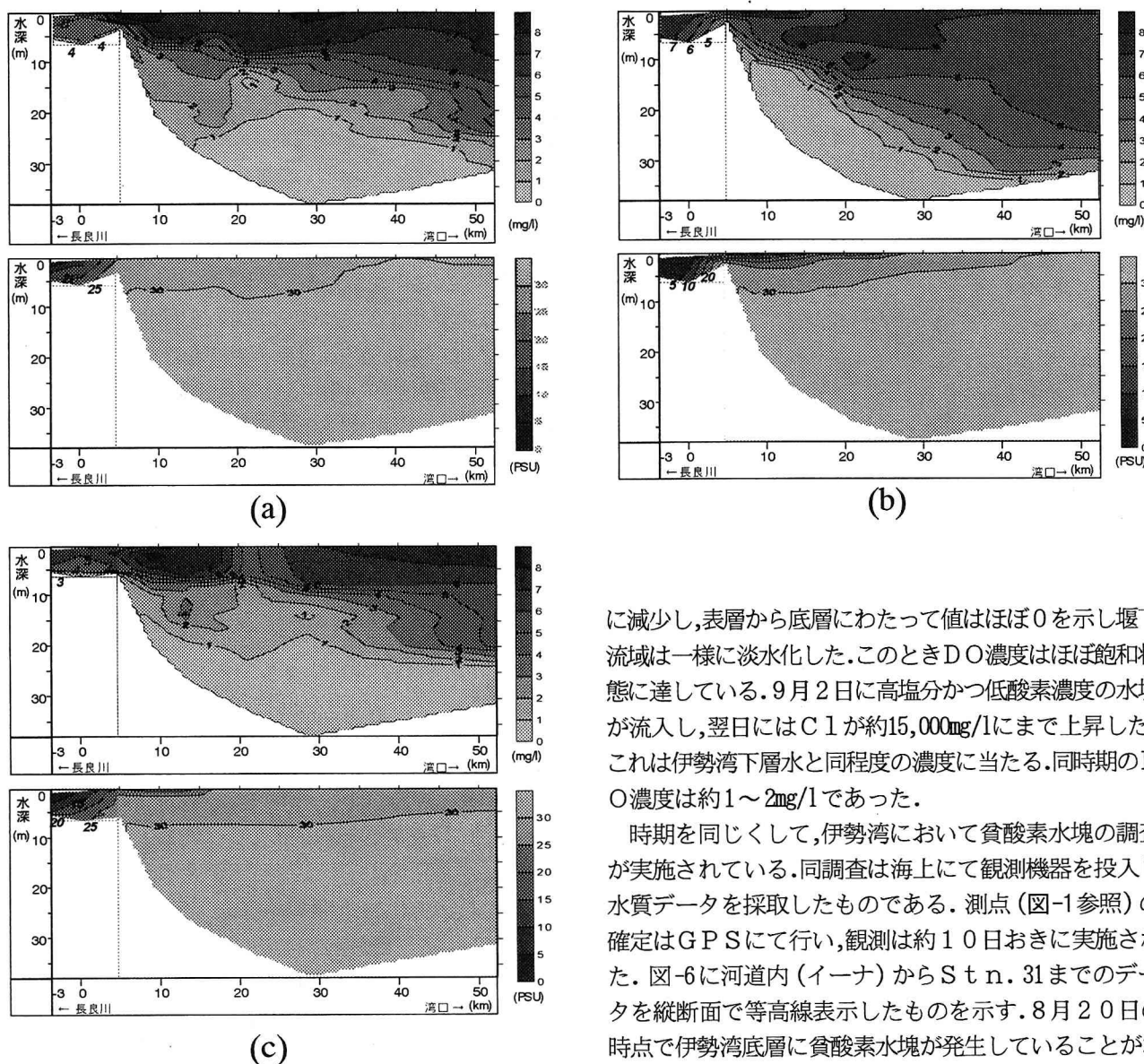


図-6 河道から伊勢湾湾央にかけてのDO、塩分の鉛直断面図 (a) 8月20日 (b) 8月30日 (c) 9月10日

いる。このように大規模出水時には鉛直混合が促進され、DO濃度はほぼ飽和状態に達する。しかしながら、出水のピーク後に急速にDO濃度が減少することに注目したい。

(3)出水直後の貧酸素化

大規模な出水の直後には急速に貧酸素化が進行する。この現象は大潮・小潮にかかわらず、また堰運用前後にも共通してみられる現象である⁸⁾。

8月末の出水時、イーナにおいて貧酸素化が進行するときの塩分濃度の動態にも注目してみる(図-5)。出水の影響がほぼ収束した9月2日に高塩分で貧酸素化した水塊が遡上していた。河川流量が堰のゲートが全開となる800m³/sを超えた8月28日、底層の塩分濃度は急激

に減少し、表層から底層にわたって値はほぼ0を示し堰下流域は一樣に淡水化した。このときDO濃度はほぼ飽和状態に達している。9月2日に高塩分かつ低酸素濃度の水塊が流入し、翌日にはC1が約15,000mg/lにまで上昇した。これは伊勢湾下層水と同程度の濃度に当たる。同時期のDO濃度は約1~2mg/lであった。

時期を同じくして、伊勢湾において貧酸素水塊の調査が実施されている。同調査は海上にて観測機器を投入し水質データを採取したものである。測点(図-1参照)の確定はGPSにて行い、観測は約10日おきに実施された。図-6に河道内(イーナ)からStn. 31までのデータを縦断面で等高線表示したものを示す。8月20日の時点で伊勢湾底層に貧酸素水塊が発生していることがわかる。また、河道内底層のDO濃度は3~4mg/lで低酸素状態となっている。8月30日には出水により河道内は淡水で満たされ、鉛直混合が十分に行き渡り、低酸素の状態は完全に解消された。また低塩分の河川起源の水が海面を伝って沖合へと拡がり、同時にこの期間だけ貧酸素水塊の等濃度線が大きく傾いていることがわかる。これは出水後に伊勢湾の鉛直循環流が強化されていることを示唆している。その後9月10日には、河道底層に塩分濃度20~25psuかつDO濃度3mg/l以下の水塊が認められる。この河道底層に滞留している高塩分でDO濃度の低い水塊は、出水後に伊勢湾からの遡上による可能性が強い。このことは、次の結果からも裏付けられる。図-7はStn.2における塩分、DO濃度の鉛直プロファイルである。8月30日の水深10m地点でのDO濃度、塩分値はそれぞれ約2mg/l、30psuである(図-7の○)。これは9月3日に観測された、Stn.BでのDO濃度、塩分値にほぼ等しい(図-5の○)。

即ち、出水後、鉛直循環流の流量増加に伴い底層水が湧

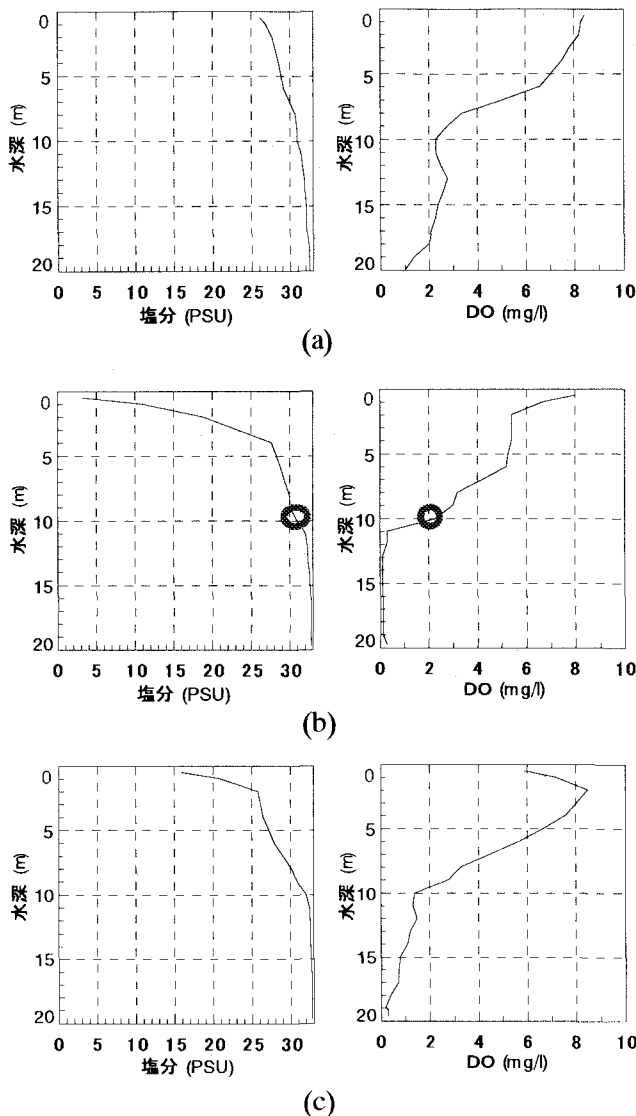


図-7 Stn.2におけるDO, 塩分の鉛直プロファイル
(a) 8月20日 (b) 8月30日 (c) 9月10日

昇傾向を示し,そのため,底層の貧酸素水塊が河道の近傍まで遡上してくる.出水が終わり河川流量が低下すると,急激に高塩分の貧酸素水塊が河道を遡上するという一連の機構がこれらのデータから示される.

5. 結論

河口堰運用開始後の平成8年のデータを用い,堰下流部に出現する貧酸素水塊の形成・解消過程を潮汐作用と河川流量という物理作用から検討し,以下の結論を得た.

- (1) 平水時のStn.Bにおける混合形態は大潮の期間に緩混合,小潮の期間に弱混合の傾向を示す.

- (2) 平水時における底層DO濃度は大潮・小潮のサイクルが基本となって変動していることが確認された.即ち,大潮の期間にDO濃度が高く,小潮の期間にDO濃度は低くなるという正の相関関係が見られる.
- (3) 河川流量が著しく増加した場合,堰下流部は攪乱作用を受け鉛直混合が促進され,DO濃度はほぼ飽和状態に達することが確認された.
- (4) 大潮・小潮にかかわらず,大規模な出水の後には,内湾の鉛直循環流の流量増加に伴い底層水が湧昇し,湧昇した底層水は河川流量低下後に河道へ遡上する.特に,夏季に伊勢湾の湾奥に貧酸素水塊が形成されているときには,出水後において,堰下流部に急激な貧酸素化をもたらすことが示された.

謝辞:本研究で用いた伊勢湾貧酸素水塊調査のデータを使用するにあたり,東海大学中田喜三郎博士に御協力を頂いた.記して謝意を表する.

参考文献

- 1)建設省中部地方建設局,水資源開発公団中部支社:長良川河口堰モニタリング年報,平成8年度,1997.
- 2)西條八束:河口堰という生態環境,第38回日本水環境学会セミナー「水辺の生態環境の保全と修復」講演資料集,pp28-41,2000.
- 3)西條八束・渡辺泰徳:長良川河口堰付近の水質変化の予測,(財)日本自然保護協会 河川問題調査特別委員会 長良川河口堰問題専門委員会編,長良川河口堰事業の問題点中間報告書,pp39-49.
- 4)石川忠晴・若岡圭子・鈴木伴征:利根川河口堰下流部における嫌気水塊の運動について,東京工業大学土木工学科研究報告, No55, pp55-60,1997.
- 5)小松利光・上杉達雄・孫双科・安達貴浩・松岡弘文・大和則夫・朝位孝二:川内川河口部における塩水遡上について,水工学論文集第40巻, pp493-498,1996.
- 6)武田誠・松尾直規:統計学的手法を用いた長良川河口堰モニタリング資料の解析,環境工学研究論文集第37巻, pp369-378,2000.
- 7)村上哲生・服部典子・藤森俊雄・西條八束:夏季の長良川河口堰下流部の貧酸素水塊の発達と解消,応用生態工学, Vol.4, pp73-80,2001.
- 8)中村由行・藤野智亮:長良川河口堰下流部の溶存酸素濃度の動態,応用生態工学(受理),2001.
- 9)社団法人日本水産資源保護協会:中部新国際空港の漁業に関する調査報告書(平成8年度調査報告),1997.

(2001.10.1受付)