

土砂採取に伴う浚渫窪地における顕著な貧酸素化現象について

武田和也・石田基雄

Dissolved oxygen deficiency in a dredged hollow

TAKEDA Kazuya * and ISHIDA Motoo *

Abstract : Dissolved oxygen concentration in Mikawa Bay was investigated for 40 days at an interval of 10 minutes in a hollow in the northeastern part of the bay where the sea bottom had been dredged to reclaim a land. We also observed the vertical distribution of dissolved oxygen concentration at 9 stations at and around the dredged area. Although enough or excess amount was observed around the hollow, the concentration showed extreme deficiency in the hollow during summer. Dissolved oxygen in the hollow easily became deficient but did not recover easily as in the neighboring area. It was inferred that the hollow is a source of oxygen-deficient water and the stagnation and upwelling of oxygen-deficient water caused the *Niga-shio*, and that it had killed a large amount of short-necked clam, *Ruditapes philippinarum*, in the summer of 2002.

キーワード: 三河湾, 浚渫窪地, 溶存酸素, 貧酸素水塊, 苦潮, アサリ

底生生物群集, 特に二枚貝類のような過食性マクロベントスは, その摂食活動によって水中の懸濁態有機物を効率的に除去するため, それらが生息する海域は高い水質浄化機能を持つことが明らかになっている。¹⁻³⁾ 一方, 内湾において富栄養化に関係して形成された貧酸素水塊は, 底生生物群集の著しい衰退をもたらすことが知らされている。⁴⁻⁷⁾ この貧酸素化による底生生物群集の衰退は, 底泥と水中との物質収支に大きな変化を与え, 水質環境の悪化や内湾生態系の変化をさらに大きく加速する可能性がある。⁸⁾ それでも, 水深の浅い干潟やその周辺の極浅海域は底層の貧酸素水塊の影響を受けにくいので, 貧酸素化が進行した海域においても依然として高いマクロベントス現存量を有しており, 漁業上も環境保全上も重要な海域となっている。

しかし, この貧酸素水塊が主に吹送流の影響で沿岸域の表層に湧昇する現象によって魚介類がへい死し, 漁業に甚大な被害を与えることも報告されている。⁹⁻¹¹⁾ この現象は三河湾では苦潮, 東京湾では青潮と称されている。マクロベントスのへい死過程は酸素不足の程度と頻度, 持続時間, 現場温度, 貧酸素水中に存在する硫化水素の

濃度等によって様々であるため, 苦潮に曝された時に, へい死がおきるか否かについてはその状況によって異なる。柿野ら¹²⁾は東京湾においては水産生物に大きな影響を与える規模の大きな青潮については, 窪地や航路筋の貧酸素水塊も関与するであろうが, 湾中央部に発生する貧酸素水に起因するところが大きいと推測している。松山ら¹³⁾は二層モデルを利用して, 北東風による沿岸湧昇域の出現海域とその内部ケルビン波の移動過程から, 湾奥の千葉, 船橋地先が湧昇域の中心となること及び貧酸素水の暴露時間が風が止んだ後も長期にわたることを述べているが, 湾中央部の窪地や航路筋の貧酸素水の影響を比較し, そのへい死への関与度を明確にしているわけではない。

三河湾奥部豊川河口域に位置する六条干潟域では, 2001年, 2002年と連続して苦潮が発生した。2002年の場合, 8月19日に台風13号に伴う北西からの強風により蒲郡市地先で苦潮が発生し, 20日には三河湾北東部(渥美湾)の広範囲に広がった。この時の苦潮発生海域は淡紅白色から白濁色を呈し, 溶存酸素飽和度は表層, 底層ともに概ね30%以下であった。22日に豊川河口域のアサリ生

* 愛知県水産試験場(Aichi Fisheries Research Institute, Miya, Gamagori, Aichi 443-0021, Japan)

息量調査を実施したところ、通常のアサリ生息域のほとんどの地点で生存個体は確認できず、ほぼ全滅の状態であった。この苦潮による被害を受けたのは、ほとんどが殻長25mm以下の稚貝で、その量は約4,000tにのぼると推定され、このアサリ稚貝を種仔として期待していた県内のアサリ漁業者には、大きな痛手となった。アサリの大量へい死は、そのへい死状況から、湾中央部の貧酸素水の湧昇の影響もあるが、六条干潟近傍に位置する浚渫窪地の貧酸素水の影響が強く疑われた。そこで水産試験場では、御津1区および2区の地先にある浚渫窪地における溶存酸素素について、調査を実施したので報告する。

材料および方法

浚渫窪地における長期連続観測

図1に浚渫窪地の位置および調査点を示した。アサリ大量へい死の発生した豊川河口域には浚渫窪地は2ヶ所あり、1ヶ所は御津1区および2区地先の海域、もう1ヶ所はラグーナ蒲郡地先の海域である。前者はほぼ直方体状に平均3.0m掘り下げてあり、その面積は46.8ha、容積は140万 m^3 である。後者もほぼ直方体状に平均2.6m掘り下げてあり、面積69.4ha、容積180万 m^3 である。今回の観測は、豊川河口に近い御津1区および2区地先の浚渫窪地を対象とした。浚渫窪地の定点A(東経137°17.54' 北緯34°47.43'、水深約8m)に、自記式水温・塩分・溶存酸素計(SEA-BIRD社製SBE16/D0、以下DOSTメーターと記す)2台を、苦潮発生直後の8月21日に設置し、各項目を10分間隔で長期的に観測した。観測機器の係留系を図2に示す。2台の観測器のうち1台は表層(海面下1.5m)に、もう1台は底層(海底上1.0m)に設置した。観測器の設置から40日後の9月30日に撤去を行い、データを回収した。溶存酸素素(以下D0と記す)については、長期間海中に設置することによりセンサー部が汚れ、次第に感度が低下するため、

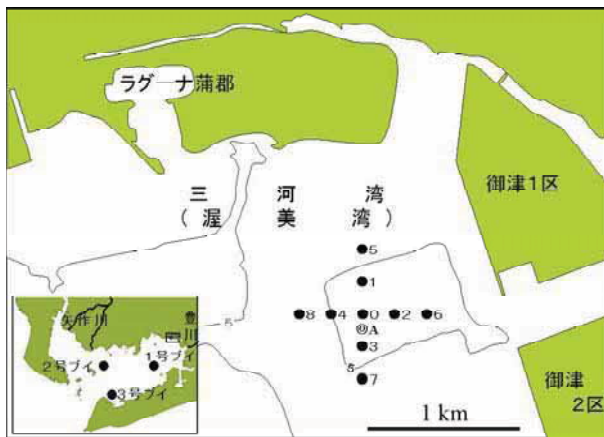


図1 浚渫窪地および調査地点の位置

○：長期観測，●：鉛直観測，等深線は5m

設置の前後にD0飽和水に浸して観測値の線形補正を行った。

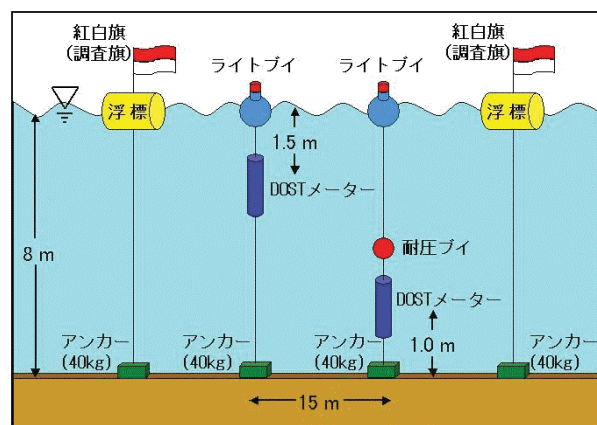


図2 観測機器の係留系

1号ブイにおける長期連続観測

愛知県水産試験場では夏季に貧酸素化する三河湾の詳細なデータを取得すること等を目的として、湾内に3台の海況自動観測ブイを設置し、それぞれ風向、風速、気温の他、表層(海面下2.5m)および底層(海底上2.0m)における水温、塩分、流向、流速、D0を毎時測定している。そのうち浚渫窪地に最も近い1号ブイ(水深10m)による観測結果をまとめて、浚渫窪地のデータと比較することとした。

浚渫窪地における定線観測

D0の空間分布を把握するため、同じ海域に南北および東西に2本の定線(図1の定点0~8)を設定し、長期連続観測の前後2回(8月8日および10月9日)、各定点において表層から2m間隔で底層(底+1m)まで鉛直方向の観測を行った。観測には多項目水質測定装置(アレック電子社製クロロテックACL1183-PDK)を用い、水試所有の作業船「ちた」(3.8t)で定点の番号順に迅速に移動して観測を行い、ほぼ同じ時刻の観測データを得るよう心がけた。測定項目は、水温、塩分、D0、濁度の4項目である。

結果

浚渫窪地における長期連続観測

図3に浚渫窪地に設置したDOSTメーターによる観測結果を示す。この図には日本水路協会¹⁴⁾による御津における潮汐も示してある。この期間の表層水温($^{\circ}C$)は22.19~29.49の間の値をとり、平均26.17であった。底層水温は22.32~27.15、平均25.36であった。観測期間を通して底層の水温は低く安定していたが、表層は変動が大きかった。また、表層塩分(PSU)は29.24~32.26、平均31.10、

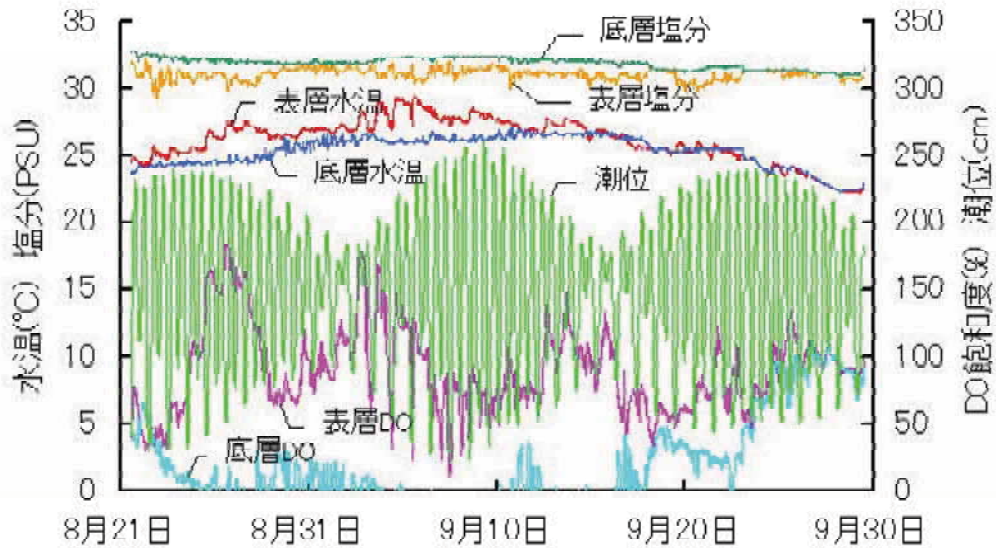


図3 浚渫窪地における水温，塩分，DO飽和度および潮位の推移

底層塩分は30.93～32.92，平均31.97であった。塩分も底層の方が安定しており，9月下旬まで常に表層よりも高かった。これらのことは，夏場の内湾海域において一般に認められる成層構造が浚渫窪地においても存在することを示している。表層のDO飽和度(%)は11.2～183.2，平均90.2であった。表層では，光合成によりDOが過飽和の状態にある場合も多かった。これに対し底層のDO飽和度は，0.0～111.6，平均38.1であり，観測開始直後と9月下旬を除いては，ほとんどが30%以下であった。DO飽和度の推移をみると，DOSTメーター設置直後は，8月19日～20日の苦潮発生により，表層と底層の間にほとんど差はなく，設置から24時間の平均値は表層で50.4%，底層で50.2%で

あり，貧酸素水塊は形成されていなかった。その後の2日間で底層は急速に貧酸素化し，8月23日には無酸素状態となり，見かけのDO消費速度は0.118mg/l/hであった。その後，底層のDO飽和度は回復することなく，長期的にほぼ無酸素の状態が継続し，9月23日以降，水温が急激に低下し始めると，ようやく貧酸素水塊は消滅した。表層では設置後，底層での急激なDO低下とは逆に，8月26日にかけて180%まで上昇した後，100%前後を推移したが，8月30日前後，9月7日前後，9月18日前後に50%程度まで度々大きく低下する動きがみられた。特に9月2日から9月7日にかけては，潮位の低下と連動して，DOが断続的に10～30%まで低下する現象が続いた。

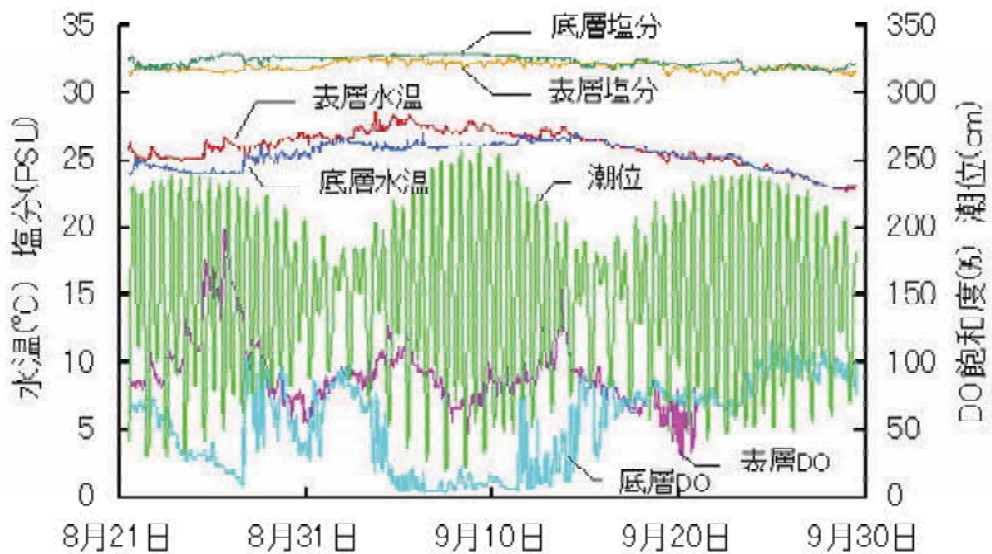


図4 1号ブイにおける水温，塩分，DO飽和度および潮位の推移
(9月21日から9月30日までの表層DOは計器不調により欠測)

1号ブイにおける長期連続観測

図4に蒲郡地先の1号ブイによる観測結果を示す。この期間の表層水温(°C)は22.79~28.66, 平均25.96, 底層水温は22.89~27.03, 平均25.34であった。9月10日までは表層水温は底層水温を上回っていたが、それ以降はほとんど差がなくなった。また、表層塩分(PSU)は30.97~32.63, 平均32.00であり、底層塩分は31.50~33.04, 平均32.42であった。台風13号が通過してから数日間は、表層塩分と底層塩分の間ほとんど差はなかったが、その後は底層塩分が表層塩分よりもわずかに高い値で推移し、9月中旬以降はほとんど差がなくなった。表層のD0飽和度(%)は29~199, 平均93, 底層のD0飽和度は、3~117, 平均56であった。観測期間を通して無酸素状態は観測されなかった。浚渫窪地同様、8月22日から8月27日にかけてD0飽和度の直線的な現象がみられたが、見かけのD0消費速度は0.031mg/ℓ/hであり、浚渫窪地の4分の1程度であった。その後、底層のD0飽和度は回復し、再び30%以下となったのは、9月3日から14日までの期間であった。底層における貧酸素状態が長期間にわたって継続することはなく、9月16日には表層との差がほとんどなくなり、貧酸素状態は解消した。

浚渫窪地における定線観測

図5に浚渫窪地において行った定線観測の結果を示す。観測日ごとに、水温、塩分、D0飽和度、濁度の南北断面および東西断面で示してある。底層地点の観測水深から、9定点のうち5, 7, 8の各定点は浚渫海域の外、定点4は境界上の斜面にあたり、残りの0, 1, 2, 3, 6の各定点は浚渫海域内である。8月8日の観測では、水温、塩分の鉛直分布から、水深4, 5mのあたりに躍層があることが分かる。これは浚渫前の海底深度であり、ちょうど浚渫窪地に蓋をするような形で躍層が存在していたことを表している。この時、躍層より上の上層ではほとんどの定点でD0が90%以上あったのに対し、下層、即ち窪地の内部では全ての観測点で11%以下であった。また、この時の濁度(ppm)は、上層では2.0~4.5だったのに対し、下層では27.5~49.7という異常に高い値を示した。10月9日の観測では、水深1, 2mのあたりで水温、塩分の分布にわずかな差があり、小さな躍層があると思われた。上層のD0飽和度は70%以上、6mくらいまでは50%以上、底層においては32~48%前後であった。連続観測の結果では、9月24日~9月29日には表層、底層ともにほぼ100%を前後していたが、10月9日には再び底層に貧酸素化の傾向がみられた。濁度は、上層で高く、下層で低い傾向を示したが、8月8日のような大きな数値は認められなかった。

考 察

表層の貧酸素化について

浚渫窪地の表層においては、9月2日から9月7日までの6日間、D0飽和度が潮汐の干満と連動した動きを示しながら次第に減少していった。この推移を詳細にみるために、図3のうち9月2日から9月7日までの部分を拡大し、1号ブイにおける風速を追加したものを図6に示す。9月3日から9月6日にかけて表層の貧酸素化が進行し、D0飽和度は、潮位および表層の水温とは正の、表層の塩分とは負の相関があるように思われる。特に、下げ潮時には表層のD0飽和度がくさび形に急低下している。底層の貧酸素水塊が湧昇して苦潮となる要因としては、従来から風があげられている。^{12, 15, 16)} 鵜寄¹⁶⁾が苦潮発生時の日平均風速を調べたところ、風速2m以上で苦潮は観測されるが、4m以上から頻度が高くなるという。1号ブイデータによると、9月2日から9月7日にかけての日平均風速はそれぞれ4.0m, 3.4m, 3.4m, 6.2m, 4.5m, 5.4mであり、平均風速4mを越える日もある。しかし、図6から分かるように、表層のD0飽和度と風速の関係は明確ではないし、表層D0が急低下した時は、どちらかというとも風速が小さい時である。また、3日および4日における表層D0の急低下は、風速3~5m程の風が18時間ほど吹いた後に止んだ時のようにも思われるが、他の日ではそういったことはみとめられない。また、データは示していないが、2日から7日までの風向は西南西から北北西以外の全ての方向から吹いており、特に決まった方向から吹いている訳ではない。これらのことから、浚渫窪地の表層における貧酸素化は、風による湧昇が原因とは考えられない。水温と塩分、D0と塩分が逆相関を示す例は、鈴木ら¹⁷⁾の報告にもあるが、その報告では、D0と潮汐も逆の相関を示している。鈴木らの調査ではDOSTメーターを底層(海底上0.5m)に設置しているが、そこは水深3.5mの浅海域であるため、底面直上において潮汐により躍層面が上下することから、満潮時には貧酸素化した沖合水底層水の影響が強く、干潮時にはD0の豊富な表層水の影響が強く出るとしている。今回の調査で表層のD0と潮位が、鈴木らの行った調査の場合と異なり、正の相関を示したのは興味深い。このような潮汐周期と一致する現象としては、内部潮汐の影響も考えられる。これは潮流が海堆や陸棚斜面などの海底地形の急変部に衝突し強い上昇、下降流を生じることによって生成されるという。¹⁸⁾ 浚渫窪地は急激に3, 4m掘り下げられており、内部潮汐が発生する可能性は充分にある。その他の内部波としては、偶然に潮汐の周期と同調した内部静振の可能性もある。強い風が長時間吹いた後は躍層が傾斜し、風が弱まって傾斜が解放されると、長周期

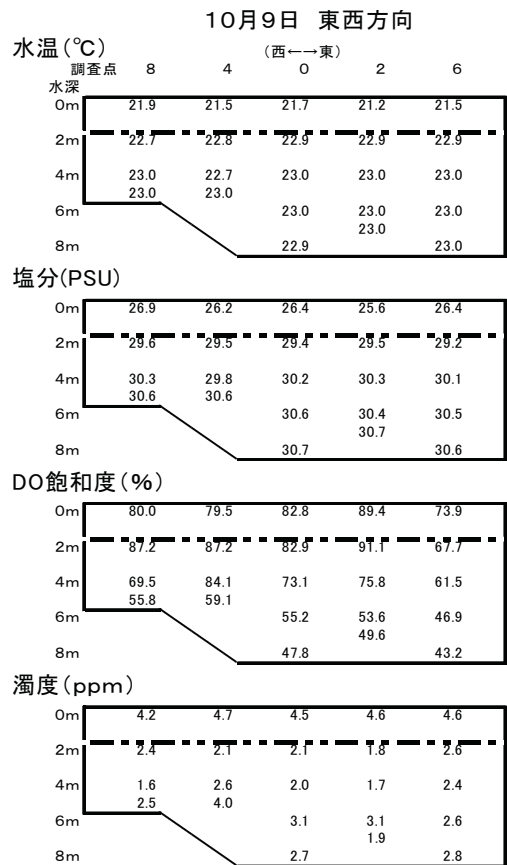
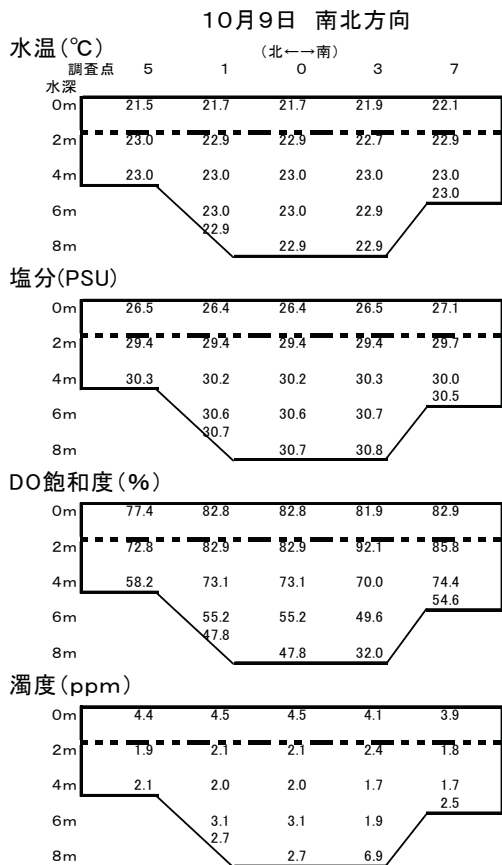
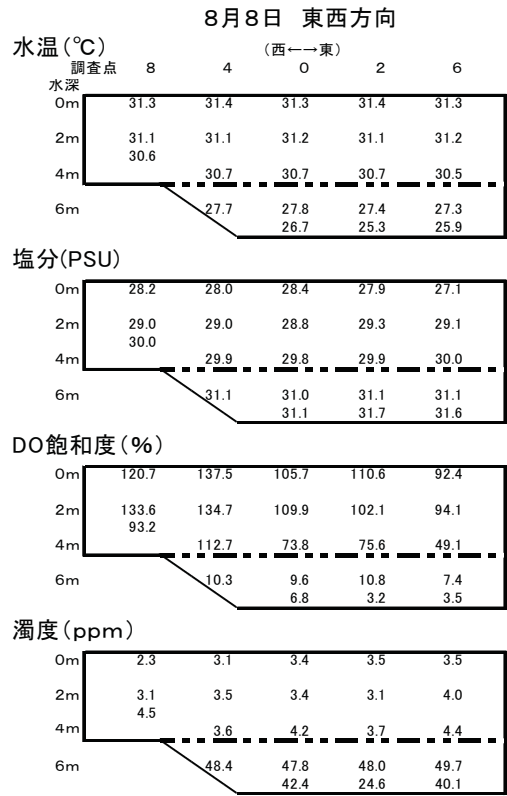
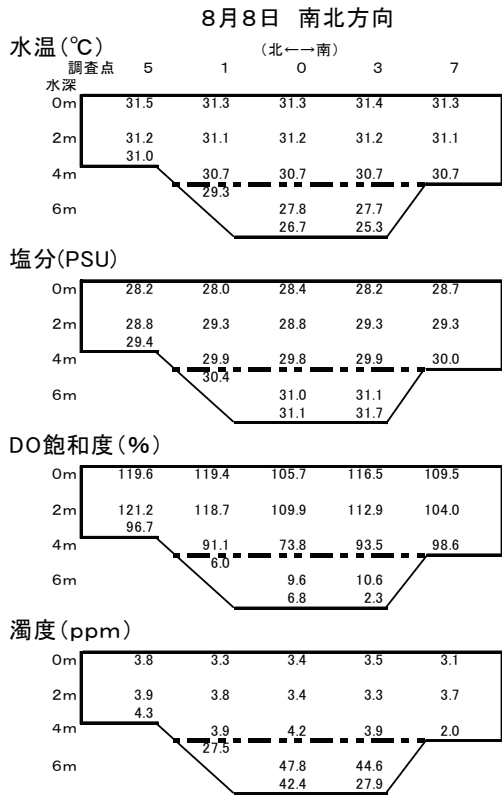


図5 浚渫産地における鉛直観測による水質の状況

縦軸は観測時の水深，破線は躍層があると思われる水深を示す。観測時間は8月8日 午前9時35分から10時18分および10月9日 午前9時30分から10時13分。

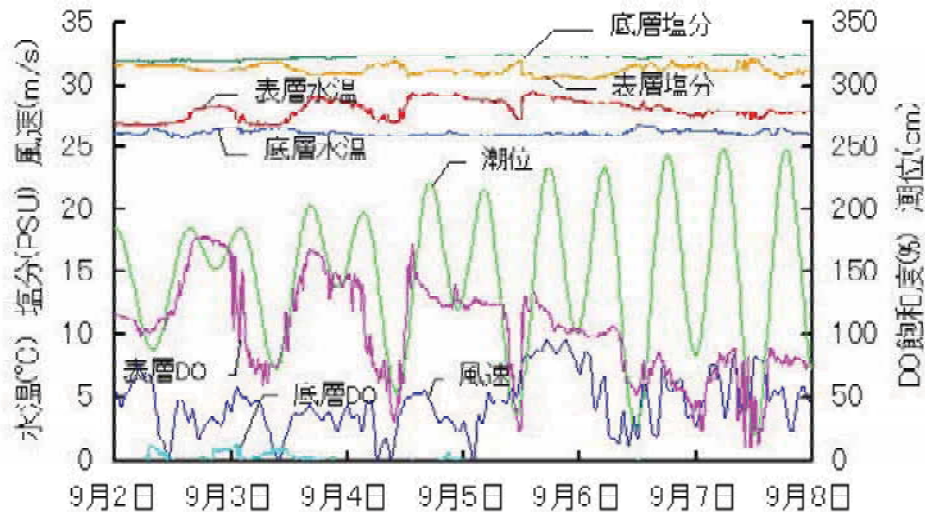


図6 浚渫窪地における水温，塩分，DO飽和度，風速および潮位の推移（拡大図）

の振動を開始するという。^{19,20)} 1号ブイデータによると、実際に8月27日から9月1日にかけて度々、風速10m/sを越える強風（東南東から南東の風）が吹いている。今回の調査でみられた表層の貧酸素化の原因ははっきりしないが、いずれにせよ、浚渫窪地という特殊な環境においては、従来から苦潮の発生要因としてあげられている風その他、潮汐等の表面波、更に、内部潮汐や内部静振といった内部波が原因となって底層の貧酸素水塊が上層に移動し、周辺海域で数日間にわたり断続的に苦潮が続く可能性のあることが示唆された。

底層の貧酸素化について

8月の定線観測により、この時期、浚渫窪地内は全域で極度に貧酸素化していることが明らかとなった。8月8日は大潮で、調査を行った時刻は下げ潮にあたり、南下流が大きいと思われるが、浚渫窪地内は水塊が動かず、貧酸素水が停滞している状況がうかがえた。また、この時、窪地内は異常に濁度が高かったが、これは恐らく、夏季に底層において黒い懸濁物が浮遊する、いわゆる「すす水」の状態であったと思われる。長期観測期間中（8月21日～9月30日）にDOSTメーターへの付着生物を除去するために同海域で潜水した際にも、同じように底層に黒い懸濁物が大量に浮遊し、視界が利かないほど暗くなっている場合があった。この「すす水」の発生機構については明らかにされていないが、何らかの原因によりプランクトンの死骸などの粒子状有機物が浮遊しているものと思われる。Suzuki²¹⁾ は、貧酸素水塊は酸素消費が酸素供給を越えた時に形成されるが、DOの過消費の主要因は粒子状有機物や有機堆積物量の増加であるとしている。また、藤原²²⁾ によると、河川水の流入する内湾

においては、夏季の成層時にエスチュアリー循環流の影響により、下層の懸濁物は最も湾奥の「淀み点」に運ばれ、集積して「濁度極大」となるが、ここは貧酸素水塊が発生する場所ともなるという。今回の調査時でも、DO飽和度の値が急降下するところで、濁度が急上昇していることから、「すす水」と貧酸素水塊の間には何らかの因果関係のあることが示唆された。

次に、浚渫窪地および1号ブイの底層におけるDOを比較してみる。両者の観測水深は微妙に異なるが、底層付近のDOということで対等に扱って問題ないと思われる。両観測地の底層における貧酸素水塊は、8月19日から20日にかけての台風13号に伴う強い北西風により一旦は消滅していたが、その後再び貧酸素化した。しかし、その貧酸素化の推移はかなり異なっており、浚渫窪地においては22日から23日にかけて急速にDO飽和度が低下しているのに対し、1号ブイにおいては少し遅れて24日から27日にかけて徐々にDO飽和度が低下している。これらの時における見かけのDO消費速度はそれぞれ、0.118mg/ℓ/h、0.031mg/ℓ/hであり、浚渫窪地においては1号ブイの約4倍のスピードで溶存酸素が消費された。また、8月27日から28日にかけて風速10m/s以上の東南東から南東の風が吹き続け、1号ブイの底層では8月27日から9月3日までの間、貧酸素状態は解消したが、浚渫窪地では継続して貧酸素の状態であった。9月2日以降、浚渫窪地においては、貧酸素水塊が表層にまで影響を及ぼし始め、表層のDO飽和度は潮汐の干満に連動して推移しながら徐々に低下していったが、1号ブイにおいては、表層のDOは十分に存在していた。そして、1号ブイにおいては9月15日以降、底層の貧酸素状態も徐々に解消していったが、浚渫窪地では貧酸素状態が長期化し、9月23日からの急激な水温

低下に伴う鉛直混合により、ようやく解消された。また、このような浚渫窪地の慢性的貧酸素状態は、窪地内の1定点に限ったことではなく、窪地内全域が同じ状況であることが、同海域における定線観測から明らかとなった。

これらのことから、浚渫窪地は、1号ブイと比較して貧酸素化が起りやすく、かつ一旦形成されると解消されにくく、貧酸素水の「発生源」かつ「溜まり場」であることが明らかとなった。

総合考察

苦潮の発生には風向風速や地形条件等の影響も大きいと考えられている。鶴崎¹⁶⁾が1989から2000年にかけての苦潮発生日の発生海域と風向風速を調べたところ、それぞれの海域での離岸風となる風向と概ね一致し、浚渫窪地のあたりを含むE海域（西浦から御馬地先）では、北西風の日に苦潮が多く発生していた。平成14年の台風13号の影響により最も風の吹いた8月20日、1号ブイでは北西から西北西の強い風（9.0～14.6m/s、平均風速11.7m/s）が吹き続けており、苦潮が発生した要因の一つと考えられる。

アサリの活力とその指標については多くの報告があるが、いずれも高水温だと代謝が活発になり、活力を低下させるとしている。^{7, 23-25)} 活力の指標としてはグリコーゲン含量が多用されるが、グリコーゲン等の炭水化物含量は季節的に大きく変動し、8月から10月にかけて急激に減少する。^{24, 26)} また、アサリの酸素消費量は、水温に伴って上昇し、20～25℃で最も多くなるという。²⁷⁾ 8月20日の1号ブイの底層における日平均水温は24.8℃であり、渥美湾に生息していたアサリは最も酸素消費が活発であったと思われる。これらのことから、アサリが大量へい死した時期は、アサリの活力が減少する季節で、なおかつ最も酸素が要求される水温域であった。しかし、アサリはD0の欠乏に対してかなり強い抵抗性を持ち、水温が25℃以下ならば2～4日間は生き延びられるという。²⁸⁻³⁰⁾ また、単発的な苦潮の発生くらいではアサリがへい死に至ることはなく、長期的に断続的に貧酸素水に曝されることにより、徐々に活力が低下し、死に至るといった報告もある。^{7, 25)}

このように、アサリの大量へい死には、渥美湾を取り巻く環境や地形、風や波といった気象海象条件、猛暑による高水温、アサリの生理的特性等、様々な要因が考えられるが、それだけでは豊川河口域だけで大量へい死したことの説明がつかない。似たようなケースは東京湾でも「青潮」による被害として報告がある。東京湾での青潮によるアサリ等貝類のへい死記録は1955年からあり、³¹⁾

1994年の9月に発生した大規模青潮により、千葉北部漁場ではアサリが約2,700トンへい死している。³²⁾ 東京湾においても浦安および花見川地先に浚渫窪地があり、夏季は常時無酸素状態となっている。その結果、大規模な青潮については、沖合で発生した貧酸素水が主体となり、同時に沿岸の窪地で発生していた貧酸素水も加わって発生していると考えられている。¹²⁾ 今回の調査により、渥美湾においても浚渫窪地が貧酸素水の「発生源」かつ「溜まり場」となっていることおよび、周辺海域の浅瀬や表層に数日間にわたって断続的に苦潮を供給する可能性のあることが示唆され、浚渫窪地がアサリの大量へい死に関与したと考えられる。今後この海域を長期的にアサリ稚貝の供給場として利用するためには、早急な海底の修復が必要である。

要約

三河湾北東部の浚渫窪地の1定点にDOSTメーターを設置し、10分間隔で40日間にわたり水温、塩分、D0を長期観測した。また、窪地のある海域の内外に9定点を設定し、長期観測の前後2回、D0等の鉛直分布を観測した。その結果、窪地の近傍ではD0が充分もしくは過飽和の状態であったのに対し、窪地内では夏の間、極度に欠乏していた。また、水試が保有する海況自動観測ブイのうち、この窪地に最も近い1号ブイのデータと比較しても、窪地内は貧酸素化が起りやすく解消されにくいことが分かった。これらのことから、この窪地が貧酸素水の「発生源」かつ「溜まり場」となっており、平成14年夏季のアサリ大量死に関与したことが示唆された。

謝辞

本稿のご高閲並びに貴重なご助言を頂いた、名古屋大学名誉教授の西條八東博士並びに、愛知県水産試験場漁場環境研究部長兼名城大学客員教授の鈴木輝明博士に、厚くお礼を申し上げます。また、調査に際してご協力いただいた水質調査船「しらなみ」乗務員を始めとする多数の関係者に深謝いたします。

文献

- 1) 木村賢史・三好康彦・嶋津暉之・赤沢豊(1991)人工海浜の浄化能力について(2). 東京都環境科学研究所年報1991, 141-150.
- 2) 青山裕晃・鈴木輝明(1997)干潟上におけるマクロベントス群衆による有機懸濁物除去速度の現場測定. 水産海洋研究, 61(3), 265-274.
- 3) 青山裕晃・甲斐正信・鈴木輝明(2000)伊勢湾小鈴谷

- 干潟の水質浄化機能. 水産海洋研究, **64**(1), 1-9.
- 4) 今林博道(1984)燧灘の貧酸素水塊の形成期における底生動物群衆の動態, 燧灘の海洋構造と貧酸素水塊の生成機構に関する研究. 「環境科学」研究報告集B-210-R01-3, 117-135.
- 5) 風呂田利夫(1988)東京湾における貧酸素水の底生・付着動物群衆に与える影響について. 沿岸海洋研究ノート, **25**, 104-113.
- 6) 風呂田利夫(1991)東京湾内湾底生生物の生き残りと繁栄. 沿岸海洋研究ノート, **28**, 160-169.
- 7) 鈴木輝明・青山裕晃・甲斐正信(1998)三河湾における貧酸素化によるアサリ (*Ruditapes philippinarum*) の死亡率の定式化. J. Adv. Mar. Sci. Tech. Soci., **4**(1), 35-40.
- 8) 鈴木輝明・青山裕晃・甲斐正信・畑恭子(1998)貧酸素化の進行による底生生物群集構造の変化が底泥-海水間の窒素収支に与える影響 - 底生生態系モデルによる解析 -. J. Adv. Mar. Sci. Tech. Soci., **4**(1), 65-80.
- 9) 愛知県水産試験場(1995)三河湾海況自動観測データ集(1993-1994). 愛知県, pp. 376.
- 10) 風呂田利夫(1987)東京湾における青潮の発生. 水質汚濁研究, **10**(8), 470-474.
- 11) 柿野純(1998)青潮. 沿岸の環境圏, 平野敏行監修, フジ・テクノシステム, 東京, 480-488.
- 12) 柿野純・松村阜月・佐藤善徳・加瀬信明(1987)風による流れと青潮との関係. 日水誌, **53**(8), 1475-1481
- 13) 松山優治・当麻一良・大脇厚(1990)東京湾の湧昇に関する数値実験-青潮に関して-. 沿岸海洋研究ノート, **28**(1), 63-74.
- 14) 財団法人日本水路協会(1999)電子潮見表(伊勢湾及び付近 2002年版)
- 15) 蓮沼啓一(1979)東京湾における流動の特徴. 沿岸海洋研究ノート, **16**, 67-75.
- 16) 鶴寄直文(2002)三河湾における1989年から2000年にかけての苦潮発生状況. 愛知水試研報, **9**, 11-18.
- 17) 鈴木輝明・青山裕晃・甲斐正信・今尾和正(1998)底層の貧酸素化が内湾浅海底生生物群集の変化に及ぼす影響. 海の研究, **7**(4), 223-236.
- 18) 柳哲夫(1988)海の科学. 恒星社厚生閣, pp. 126.
- 19) 西條八束・三田村緒佐武(1995)新編湖沼調査法. 講談社, pp. 230.
- 20) 宇野木早苗(1993)沿岸の海洋物理学. 東海大学出版会, pp. 672.
- 21) Teruaki Suzuki(2001)Oxygen-deficient waters along the Japanese coast and their effects upon the estuarine ecosystem, J. Environ. Qual., **30**(2), 291-302.
- 22) 藤原建紀(1999)内湾の物理環境と人間活動. 沿岸海洋研究, **36**(2), 115-120.
- 23) 網尾勝・浜野龍夫・川上吉彦(1992)二枚貝の活力を指標するスピロヘータ細菌の計数時に注意すべき環境. 水産増殖, **40**(2), 153-157.
- 24) 黒田伸郎・甲斐正信・原保. 漁場環境変動に伴うアサリのグリコーゲン含量の変動. 愛知水試研報, **5**, 35-39.
- 25) 青山裕晃・甲斐正信・鈴木輝明・中尾徹・今尾和正(1999)三河湾における貧酸素化によるアサリ (*Ruditapes philippinarum*) の死亡率の定式化II. 海洋理工学会誌, **5**(1&2), 31-36.
- 26) 佐伯清子・熊谷洋(1980)アサリの一般成分および無機成分の季節変動. 日水誌, **46**(3), 341-344.
- 27) 海老原天生・村田靖彦(1967)アサリ (*Venerupis semidecussata*) の酸素消費量(第1報). 千葉県内湾水試試験調査報告書, **9**, 89-96.
- 28) 柿野純(1982)青潮によるアサリのへい死原因について. 千葉県水試研報, **40**, 1-6.
- 29) 萩田健二(1985)貧酸素水塊と硫化水素のアサリのへい死に与える影響. 水産増殖, **33**(2), 67-71.
- 30) 中村幹雄・品川明・戸田顕史・中尾繁(1997)宍道湖および中海産二枚貝4種の環境耐性. 水産増殖, **45**(2), 179-185.
- 31) 柿野純(1992)アサリ漁業をとりまく近年の動向, 水産工学, **29**(1), 31-39.
- 32) 田辺伸・山口利夫(1995)東京湾の長期的水質変化について-I. 千葉水試研報, **53**, 63-72.