

港湾等の強閉鎖性水域の水環境再生・創造技術の開発 特に貧酸素水塊・青潮対策について

○藤井智康^{*1}，駒井幸雄^{*2}，藤原建紀^{*3}

奈良教育大学・准教授^{*1}，大阪工業大学・教授^{*2}，京都大学大学院・教授^{*3}

1. はじめに

湾奥部の港湾水域は，市民の最も身近な親水空間“里海”となっている．このような水域では，しばしば赤潮が起き，またときには無酸素水が湧昇し，青潮が発生し，悪臭を放つこともある．このような港湾域の貧酸素・無酸素水塊について，現状では有効な発生防止対策がないのが現状である．そこで，本研究では，港湾規模の強閉鎖性海域で発生する貧酸素水塊対策に関連し，現地観測を実施し，強閉鎖性海域の貧酸素化機構やその動態について検討した．

2. 研究方法

2-1 水質調査

調査は，2009年の5～12月まで，図1に示すSt. 2で月2回行った．また，2009年11月12日～13日には，同地点で24時間調査を実施した．クロロテック(JFEアレック社製AAQ1183)により，水温，塩分，DO，pH，濁度，クロロフィルの鉛直分布を0.1m間隔で測定した．また，バンドーン採水器により表層から海底直上まで1m間隔で多層採水を行い，採水試料は，公定法にしたがってDIN (NO₂-N, NO₃-N, NH₄-N)，TP，PO₄-Pを分析し，三菱アナリテック社製TN-100でTNを，島津製作所製TOC-VでTOCを測定した．この採水により，貧酸素水塊中に蓄えられる栄養塩および二酸化炭素濃度を求めた．また，二酸化炭素については，pHと全アルカリ度からCDIAC (Carbon Dioxide Information Analysis Center) の提供するCO₂SYSを用いて算出した．全アルカリ度については，田口ら(2009)による全アルカリ度と塩分との関係を用いて算出した．

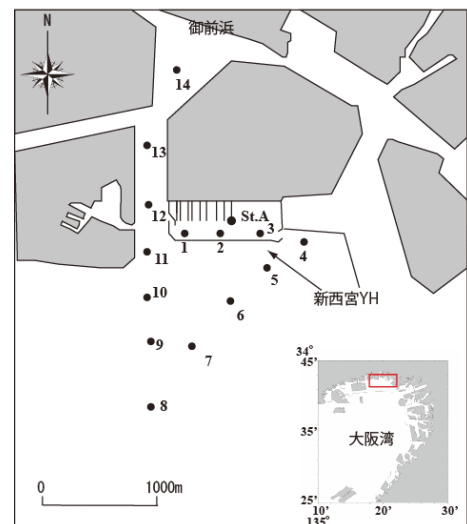


図1 調査地点図

2-2 水温連続調査

水質調査では，風と対応した躍層深度の変化，湧昇が貧酸素水塊の挙動に影響を与えていた．このため，YH内(St. A)の海底より水深1mごとにメモリー水温計(Onset社製ホボウォーターテンププロH20-001)を設置し，10分間隔で水温連続観測を行った．観測期間は，2009年10月8日～15日である．

2-3 風向・風速データ

上記調査期間中の風向・風速データは、調査対象地域に近い国土交通省近畿地方整備局神戸港湾空港技術調査事務所管理の神戸港波浪観測塔(六甲アイランド沖:34° 38' 50" N, 135° 16' 36" E)の2時間間隔のデータを提供して頂き、解析に用いた。

3. 結果

3-1 水質の季節変化

図2に示すように、塩分躍層は6月中旬から発達し、7月中旬に最も強くなった後、8月後半から9月上旬にかけて弱くなっていく。9月21日には塩分躍層が消え、表層まで高塩分となっており、下層の高塩分水が上層まで湧昇したことを示唆している。DOが3 mg/l以下の貧酸素層は5月後半の時点で海底から4 m層で観測され、6月初めには海底から2 m層でDOが1 mg/l以下となった。成層の発達に伴い、貧酸素層は上方に拡大し、8月には水深3 m以深でDOが3 mg/l以下となっていた。貧酸素層の深度に季節変化はあっても11月まで継続された。塩分躍層が消えた9月21日には、一時的に底層から表層までDOが1 mg/l以下となり、逆にNH₄-NやPO₄-P濃度が高くなった。大雨に伴う流入河川水の影響によって、NO₃-N濃度が増加することを除くと、無機態窒素の大部分はNH₄-Nであった。いずれも底層で濃度が高く、上方に向かって減少し、貧酸素水塊の消長とよく対応していた。

3-2 水温変動

図3に示すように、YH内では、大阪湾上の風の吹送に伴う躍層深度の変動が見られた。防波堤に囲まれたYH内のSt. Aでは、10月14日にかけての北風の連吹(北方風速が-6 m/s)により、水温躍層付近の水深2~3 m(海底上7 m付近)の水塊が、水面付近まで湧昇している。

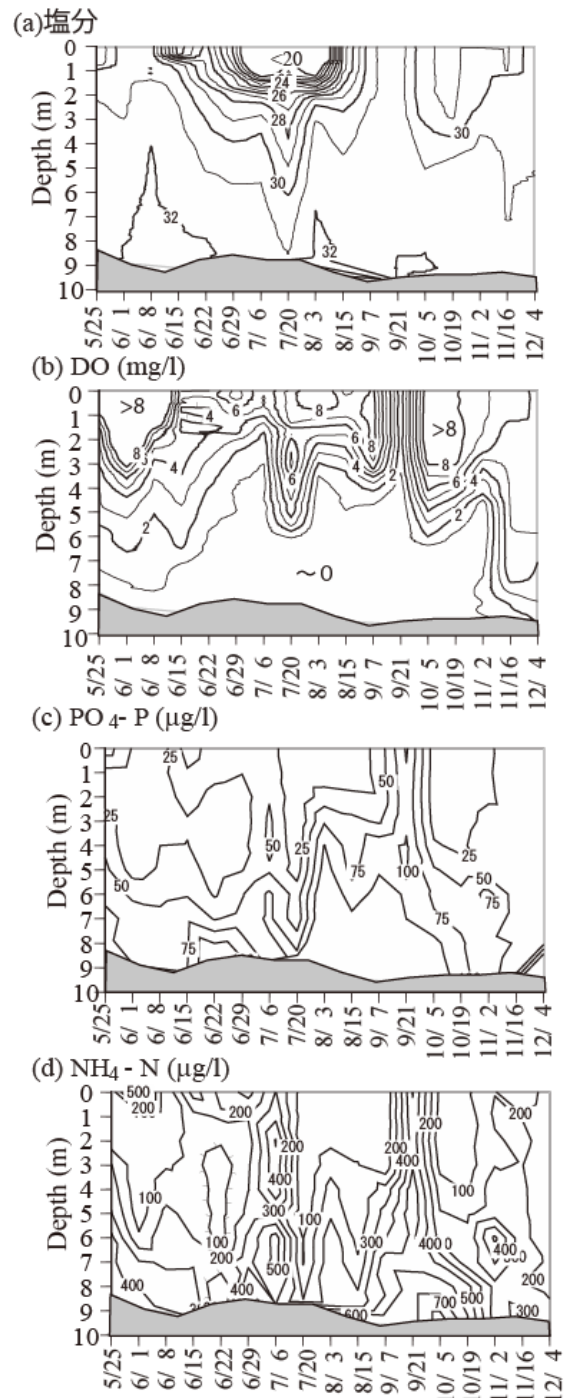


図2 St. 2における水質の季節変化(2009年)

3-3 貧酸素水塊の消長

図4に示すように、11月2日に水深4~5 m付近に見られた塩分躍層が、日が経つにつれて徐々に上方に移動し、11月16日には顕著な塩分躍層は見られなかった。一方、DOについては、11月2日に水深6 m以深に見られた無酸素水塊（DOが0 mg/l）が、塩分躍層の上方への移動に伴い、11月12日には水深5~6 m、11月13日には水深4 mまで上昇し、中層に無酸素水塊が見られ、逆に底層付近のDOが徐々に回復している。その後、塩分躍層の消滅とともに無酸素水塊が消滅した。

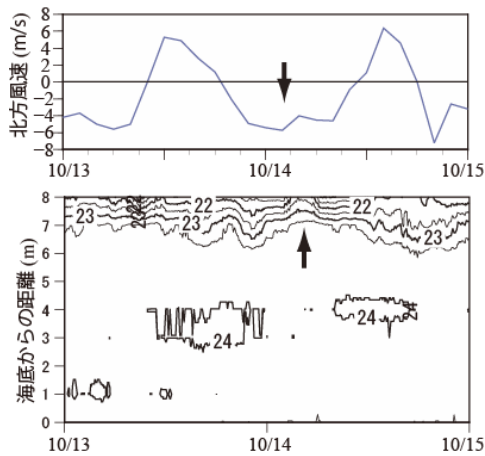


図3 St. Aの北方風速と水温変動(2009)

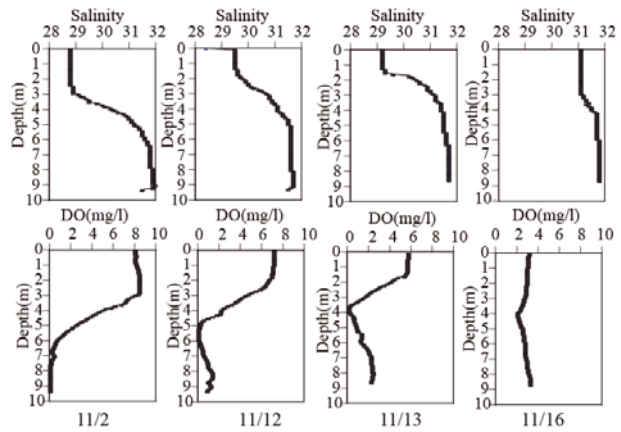


図4 St. Aの塩分・DO鉛直分布(2009年)

3-4 YH内のDOとpCO₂の変動

図5に示すように、DOは底層に向かうにつれ低下していき、このときpHもDOにほぼ比例して小さくなる。またpCO₂は、海面では大気平衡分圧380 μatmに近いが、貧酸素水塊中(水深8 m付近)では、表層pCO₂の約5倍以上(1,900 μatm以上)に達している。図6に示すように、pCO₂は底層の貧酸素・無酸素水塊の形成に伴い、pCO₂は高くなっていった。この高いpCO₂水が、9月21日には上層にまで拡大して、その後、11月中旬以降に全層ほぼ同じpCO₂となっていた。

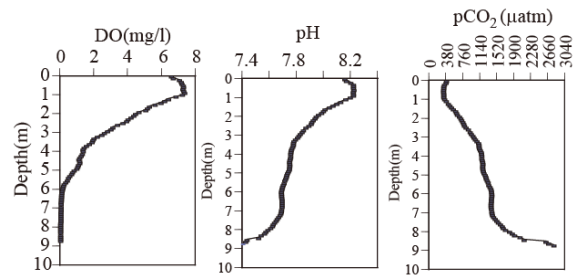


図5 St. 2のDO, pH, pCO₂の鉛直分布(2009年8月15日)

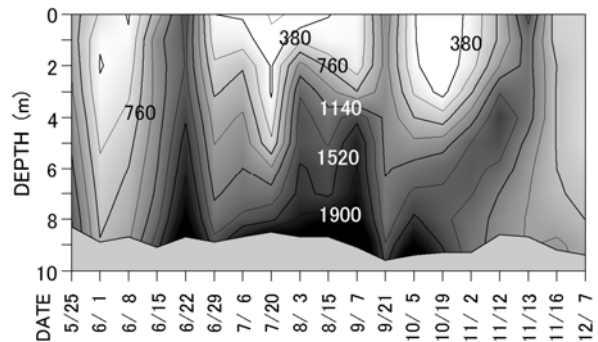


図6 St. 2におけるpCO₂の季節変化(2009年)

4. 考察

4-1 成層の発達とDO・栄養塩濃度の季節変化

貧酸素水塊が形成されている底層では、NH₄-NやPO₄-P濃度が高く、一方、DOが過飽和となっている表層では濃度が低くなっていた(図2)。防波堤で囲まれた海域では、直接の汚濁源がなくとも、底層では、貧酸素化の進行に伴い、底質からの溶出

と有機物分解で $\text{NH}_4\text{-N}$ が生じ、上層に拡大し、増殖する植物プランクトンに利用され、次の再生産に利用されていることが推察される。

4-2 風の吹送と貧酸素水塊の動態

10月14日の北風の連吹に伴う底層水の水面への湧昇（図3）は、大阪湾上を北風が連吹することにより、水面は、湾奥部より沖方向に吹き寄せられ、逆に湾奥部の躍層面が上昇する（図7）。そのため、YH内には、大阪湾の下層水が防波堤を通じて密度流として流入し、YH内の底層水が持ち上げられたことを示している。

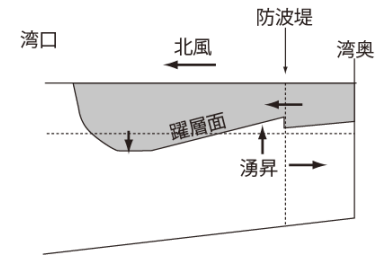


図7 大阪湾上の北風の連吹と躍層面の変動

4-3 貧酸素水塊の発生と消滅

貧酸素水塊の発生過程には、有機物分解に伴う酸素消費が大きい。酸素消費は主に細菌による有機物分解（呼吸）によって酸素が消費される。この呼吸は、有機物と酸素から、無機態窒素・リン（栄養塩）と CO_2 が生じる（藤原，2010）。貧酸素化に伴い CO_2 が高濃度で蓄えられており、これが、風の吹送に伴い、水面まで湧昇する。一方、消滅過程には、図4に示されるように、強閉鎖性海域内の底層の貧酸素水塊の下に、密度の大きい港外からの海水が防波堤を通じて密度流として進入し、港内の貧酸素水塊を上を持ち上げることで形成される。その後、さらに上方へ持ち上げられ、貧酸素水塊が消滅する。

4-4 貧酸素水塊と二酸化炭素 CO_2 の放出・吸収

9～11月の大阪湾では、北風が卓越することにより、大阪湾北部では、湧昇域となる（図7）。したがって、成層期の8月下旬までに底層に蓄えられた CO_2 （図6）が、水面に湧昇し、大気への CO_2 の放出となると推察される。

5. 結論

底層貧酸素化に伴い、底質からの栄養塩溶出と有機物分解による栄養塩生成が生じ、鉛直循環や湧昇により、次の再生産に利用される。また、底層の酸素消費と CO_2 生成は連動しており、 CO_2 が高濃度の貧酸素水塊が、風の吹送によって水面まで湧昇することが明らかとなった。したがって、貧酸素水塊対策については、底質の改善が重要であること、および下層への直接的なエアレーションは、有機物分解・酸素消費を活性化させ、貧酸素化を逆に促進する危険性があることが指摘された。

参考文献

- 藤原建紀 (2010) : 内湾の貧酸素化と青潮. 沿岸海洋研究, 48 (1) 印刷中.
田口二三生・藤原建紀・山田佳昭・藤田弘一・杉山雅人 (2009) : 沿岸海域のアルカリ度, 沿岸海洋研究, Vol.47, No. 8, pp.71-75.