

湾奥部停滞性水域の貧酸素水塊の挙動に及ぼす風応力の影響

大阪大学大学院 学生員○入江 政安

大阪大学大学院 正会員 中辻 啓二

大阪大学大学院 正会員 西田 修三

国土技術政策総合研究所 正会員 湯浅 楠勝

1. はじめに

風が貧酸素水塊の挙動に影響を及ぼす典型例は東京湾の青潮である。青潮は、風の連吹によって表層の水塊が沖方向に運ばれるのと同時に、それを補償する形で、底層の貧酸素水塊が海底面に沿って湧昇する現象である。湧昇した水塊は硫化物を含むことから、表層で酸化反応を示す。湧昇した水塊は白濁するうえ、異臭を放ち、沿岸域環境に悪影響を及ぼす。大阪湾においては地形の違いからか、東京湾のように広範囲に青潮が出現する例は少ない。しかしながら、本研究で行った大阪湾湾奥部における現地調査では、青潮が発生しているのが確認された。そこで、本報では、尼崎西宮芦屋港内の現地調査結果から、貧酸素水塊が風応力によってどのように挙動するのかを検討する。

2. 観測内容

調査は大阪湾湾奥部北側に位置する尼崎西宮芦屋港（東西約 6.7 km, 南北約 4.6 km）を対象に、2002 年 6 月 3 日から 2002 年 11 月 26 日まで実施した。調査にはクロロフィルセンサー付き STD および DO 計を用い、水温、クロロフィル a、濁度、DO の測定を行った。観測頻度は週に 1 回の割合で計 20 回であり、観測点(St.)は図-1 に示す 15 点で、観測船で巡回して測定した。

3. 観測結果

図-2 に 6 月 19 日および 6 月 25 日に観測された D1-A3 測線における溶存酸素(DO)の縦断面の分布を示す。南西風が安定して連吹していた 6 月 19 日には DO の等値線は水平になっている。しかし、北寄りの風が吹いた 6 月 25 日には、DO の等値線は傾き、St.A3 付近では底層の貧酸素水塊が湧昇していることがわかる。風向が南寄りに戻ると、湧昇は解消され、底層の DO は元の状態に戻る。このような湧昇現象が 6 月 25 日以外にも、少なくとも 8 月 20 日と 9 月 19 日、10 月 21 日に発生しているのが観測された。これらの観測日のうち、青潮が目視で確認できたのは 6 月 25 日と 10 月 21 日であった。そこで、風と貧酸素水塊の挙動の相関を確認するために、神戸海洋気象台で観測された風速の南北成分（南風：正）と底層の DO の時間変化を図-3 に示す。風速の南北成分は毎正時のデータを移動平均し、また、底層の DO は港外の St.D1 をのぞく 14 点の平均値を用いた。夏季は、対象水域では南西風が卓越する。この卓越風が連吹している 7 月上旬から 8 月中旬までは徐々に DO 濃度が下

がっていくのがわかる。このような気象条件の期間は晴れることが多く、日射による安定した熱供給が温度成層を発達させ、表層では植物プランクトンや藻類の活発な増殖が行われ、そして、それらが分解する過程で酸素が消費されるとともに、底層で底泥による活発な酸素消費が行われる。上記の DO の低下はこの結果による

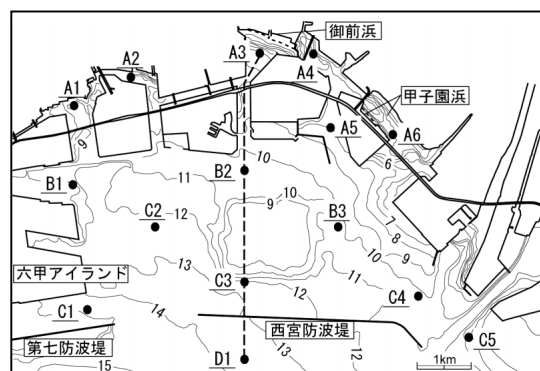


図-1 観測点の位置

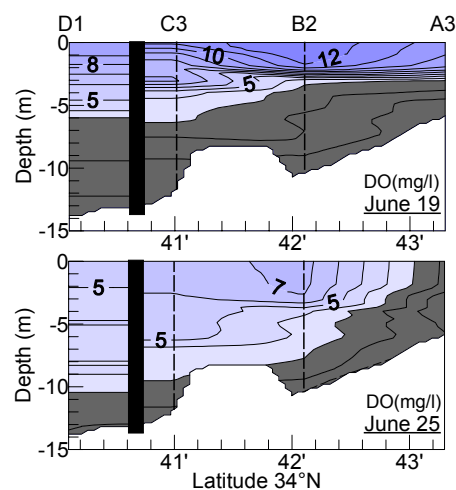


図-2 測線 D1-A3 における DO の縦断分布（底層の灰色部が 3mg/l 以下の貧酸素状態を示す。）

キーワード 貧酸素水塊 青潮 湧昇 大阪湾 現地調査

連絡先 〒565-0871 吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科土木工学専攻 Tel:06-6879-7605

ものと考えられる。一方、北寄りの風が吹いた6月25日や8月20日付近では、底層のDOが高くなっている。港奥部の底層は卓越風吹送時と同様に貧酸素化しているのに対し、港中央から沖にかけては、貧酸素水塊が港奥に移流した結果、DOの値が相対的に高くなっているものと考えられる。

4. 考察

底層水の湧昇や成層崩壊など、風が引き起こす現象に関して、Spiegel and Imberger はアスペクト比 (L/h) と成層の強度を表すリチャードソン数 (Ri) をパラメータとして、現象を4つに分類した。ここに、

$$Ri = \Delta \rho g h / \rho u^*{}^2, \quad u^* = (C_D \rho_a U^2 / \rho)^{1/2}$$

ここに、 u^* ：吹送流のシアー流速、 h ：躍層の水深、 C_D ：抵抗係数、 ρ_a ：空気密度、 U ：風速である。

$Ri \leq L/2h$ になると、湧昇が発生し、さらに継続時間が長ければ成層崩壊に至る。 $Ri = L/2h$

になる風速を限界風速と呼び、藤原らは瀬戸内海の湧昇現象に適用した。限界風速は

$$U_c = (2\Delta \rho g h^2 / C_D \rho_a L)^{1/2}$$

で与えられる。密度躍層の存在を確認できた10月10日までの限界風速と観測風速を図-4に示す。8月19日と9月19日に風速が限界風速に達していた。実際に、台風14号が通過した後の8月20日の観測日には、図-5に示すように、水域全体で躍層が消え、密度は鉛直方向にほぼ一定値を示した。しかし、限界風速に達していない6月25日や10月21日にも、比較的水深の浅い北東部

(A4, A6 付近) の水域において青潮が確認され、密度が鉛直方向にほぼ一定になることが観測された。湧昇発生の目安となる限界風速より小さい風速で青潮が発生する原因として、北東部には砂浜が存在して、湧昇しやすい地形であることや、躍層水深が港全体に比べ浅くなっていること、湧昇の空間スケールが風向によって異なることが考えられる。一方で、継続時間が短いため、等密度面は大きく傾き、ほぼ鉛直になるが、港内全体の密度を均質化するには至っていない。したがって、大阪湾湾奥部の尼崎西宮芦屋港では、夏季の卓越風の吹送下では、安定した密度成層の存在も一因となって、貧酸素水塊が常に存在する。その一方で、北寄りの風の吹送下では、湧昇をもたらすものの、鉛直混合は生じず、その応力は貧酸素水塊を解消させるほどではないと言える。

<参考文献> 藤原建紀, 高杉由夫, 肥後竹彦: 風による成層崩壊現象の発生頻度と発生限界風速, 沿岸海洋研究ノート, 第27巻, 第1号, 1989

Spiegel, R.H. and J. Imberger: The classification of mixed-layer dynamics in the lakes of small to medium size. J. Phys. Oceanogr., 10, 1104 - 1121, 1980

中辻啓二・入江政安・西田修三・湯浅楠勝; 大阪湾湾奥部閉鎖性海域における貧酸素水塊の現地調査, 水工学論文集, 第47巻, pp.1285-1290, 2003

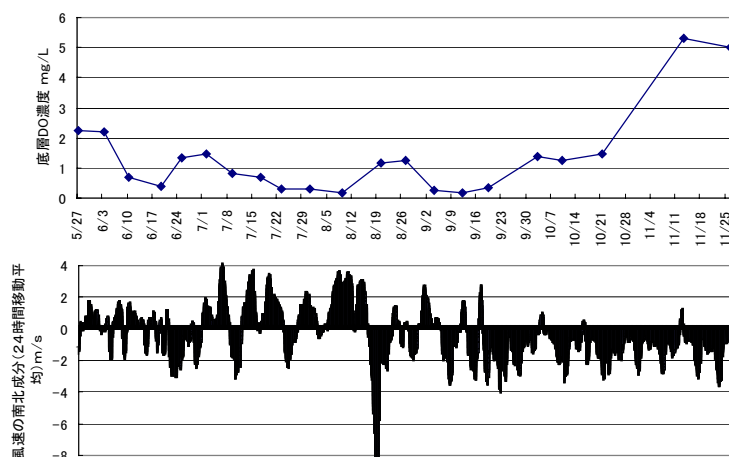


図-3 風向の南北成分と底層のDOの時間変化

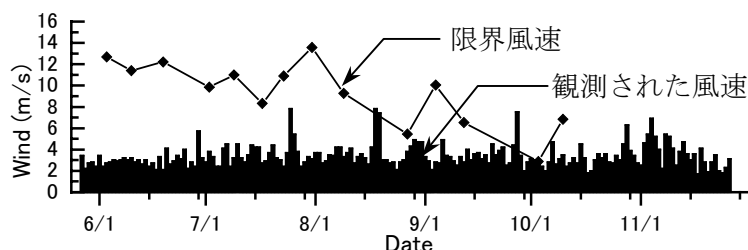


図-4 限界風速と観測された風速

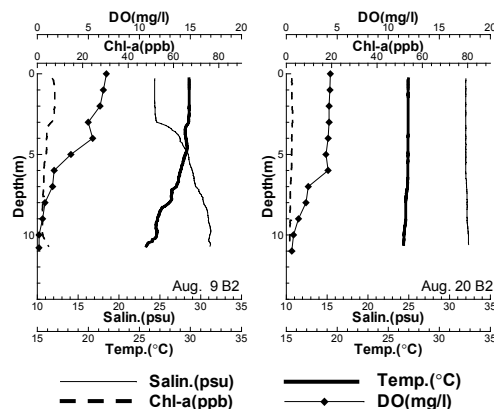


図-5 St.B2における塩分・水温・クロロフィルa・DOの鉛直分布 (左: 8月9日 右: 8月20日)