

[資料]

## 人工干潟における海水の貧酸素化と塩分, 水深, 水温の関係

宮崎 一<sup>1</sup> 古賀 佑太郎<sup>1</sup> 鈴木 元治<sup>1</sup> 藤森 一男<sup>1</sup>

<sup>1</sup>兵庫県環境研究センター 水環境科 (〒654-0037 神戸市須磨区行平町3-1-18)

### The Influence of Salinity, Depth, and Water Temperature on Oxygen Depletion of Seawater in the Artificial Tidal Flat

Hajime Miyazaki<sup>1</sup>, Yutaro Koga<sup>1</sup>, Motoharu Suzuki<sup>1</sup>, and Kazuo Fujimori<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Water Environment Division, Hyogo Prefectural Institute of Environmental Sciences,  
3-1-18, Yukihiro-cho, Suma-ku, Kobe, Hyogo 654-0037, Japan

尼崎港人工干潟(以降,人工干潟とする.)において,DO(Dissolved Oxygen:溶存酸素濃度),塩分,水深,水温の連続観測を実施した.6月,7月,9月には塩分と水深の増加に伴う人工干潟外からの貧酸素化海水の流入によるDOの減少が認められた.10月には,DOの減少と塩分,水深,水温の関係は弱かったが,光合成量の減少に伴う昼間のDOの減少から,夜間における長時間の貧酸素化が認められた.現在においては,貝類,多毛類が多数を占める人工干潟の生物の生息,再生産に直ちに影響が出るとは考え難いが,貝類等の浮遊幼生期等の浮遊生物は貧酸素化に対する耐性が低いことから,貧酸素化の悪化防止は必須であり,適切な順応的管理が求められる.

#### I はじめに

近年,大阪湾奥では富栄養化の継続,播磨灘では栄養塩の減少という相反する問題が生じている.人工干潟は富栄養化と不十分な海水交換により劣化した生物による物質循環を修復・再生する場として,2002年3月に造成された.人工干潟においては,二枚貝類等による過剰増殖した植物プランクトンの過摂食,ベントスの死骸の分解無機化による栄養塩供給等,物質循環の主要な役割を多様な機能を有する生物が担っているが,生物はDO,塩分,水深,水温等の環境要因により,個体数,成長量,分布等に多大な影響を受ける.

本調査ではこれらの環境要因について,人工干潟内に観測機器を配置して昼夜にわたる現場観測を行った.また,季節的に水温が異なる時期に実施した観測結果を比較し,各要因の関係及び生物への影響を検討した.

#### II 方法

##### 1. 観測対象干潟の概要と観測方法

観測対象干潟として,兵庫県南東部で大阪湾最奥部に位置する人工干潟を選定し,干潟先端部から6mの位置に観測機器を配置した(Fig.1).人工干潟の断面図をFig.2に示す.観測機器は潮下帯の最浅部(最も陸域側)に配置した.DOの測定にはJFEアドバンテック株式会社製ワイパー式メモリーDO計RINKO W AROW-USB,水温・塩分の測定にはJFEアドバンテック株式会社製小型メモリー水温・塩分計COMPACT-CT(ACT-HR)を使用した.水深の測定にはJFEアドバンテック株式会社製小型メモリー圧力計DEFI2-Dを使用した.

観測は6月13日から14日,7月12日から13日,9月10日から11日,10月23日から25日に実施した.

海水の貧酸素化の評価基準としては、環境省が定める底層溶存酸素量の基準値<sup>1)</sup>(Table 1 以降, 基準値とする.) を利用した.

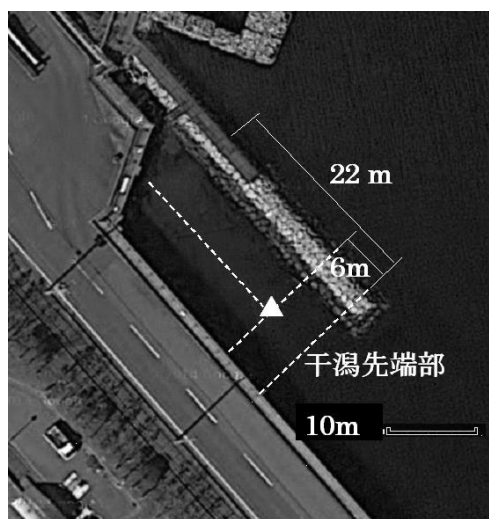
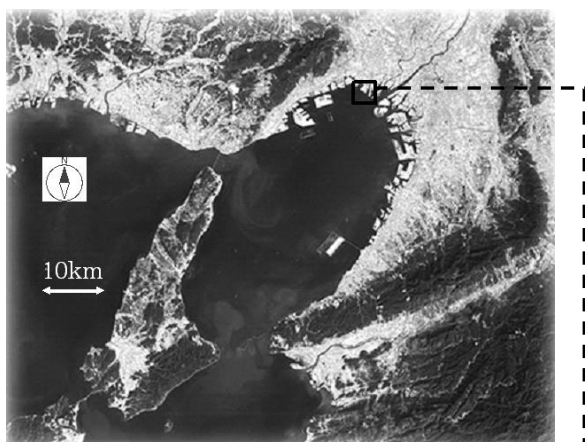


Fig.1 人工干潟の位置と観測機器の配置 (△)

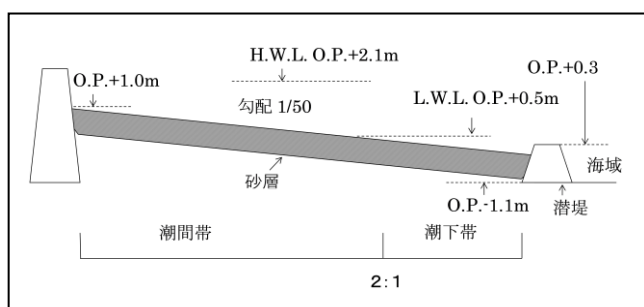


Fig.2 人工干潟の断面図

### III 結果および考察

1. 観測時の水温, 塩分, DO の概略  
観測時の水温, 塩分, DO の概略について Table

Table 1 環境省が定める底層溶存酸素量の類型及び基準値(環境省のウェブサイトから引用)

類型	水生生物が生息・再生産する場の適応性	基準値
生物1	生息段階において貧酸素耐性の低い水生生物が生息できる場を保全・再生する水域又は再生産段階において貧酸素耐性の低い水生生物が再生産できる場を保全・再生する水域	4.0mg/L以上
生物2	生息段階において貧酸素耐性の低い水生生物を除き、水生生物が生息できる場を保全・再生する水域又は再生産段階において貧酸素耐性の低い水生生物を除き、水生生物が再生産できる場を保全・再生する水域	3.0mg/L以上
生物3	生息段階において貧酸素耐性の高い水生生物が生息できる場を保全・再生する水域、再生産段階において貧酸素耐性の高い水生生物が再生産できる場を保全・再生する水域又は無生物域を解消する水域	2.0mg/L以上

Table 2 観測時の水温, 塩分, DO の概略

	水温(°C)			
	最高値	最低値	平均値	範囲
6月	21.8	17.9	19.7	3.9
7月	29.3	25.3	27.0	4.0
9月	26.2	24.2	25.2	2.0
10月	23.5	21.5	22.7	2.0
	塩分			
	最高値	最低値	平均値	範囲
6月	31.2	21.4	27.2	9.8
7月	21.3	5.9	11.2	15.4
9月	27.2	7.8	15.8	19.4
10月	31.0	26.7	29.9	4.3
	DO(mg/L)			
	最高値	最低値	平均値	範囲
6月	14.2	1.9	6.1	12.3
7月	10.3	2.9	6.2	7.4
9月	10.6	1.0	4.8	9.6
10月	6.6	0.7	3.6	5.9

2に示す. 水温については, 季節変化に伴う変化が認められたが, 変化の範囲は6月及び7月が9月及び10月より大きくなった. 塩分については, 観測日前の降雨の影響があった7月及び9月には塩分の顕著な低下が認められ, 変化の範囲は大きくなった. DOについては, 全ての観測時において, 生物2に類型指定される基準値3.0mg/Lを一時的にはあるが下回り, 6月, 9月, 10月には, 生物3に類型指定される基準値2.0mg/Lを一時的にはあるが下回

った。

## 2. 6月の観測結果

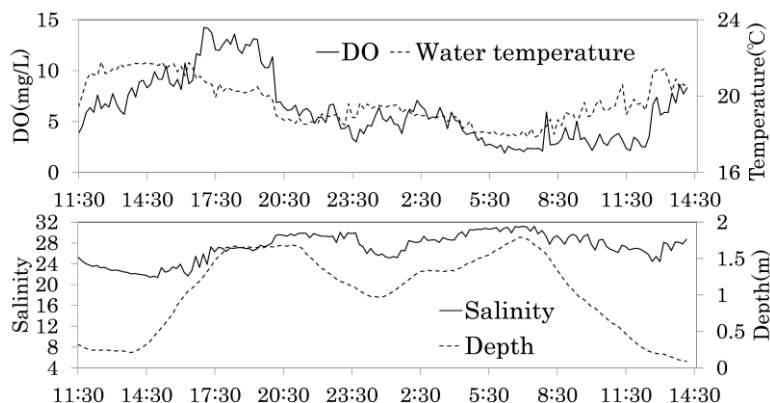


Fig.3 Results of surveys in June

6月の観測結果をFig.3に示す。6月には早朝の時間帯（5時20分から7時50分）での比較的高塩分と深めの水深下において、水温の低下に伴いDOは最も減少した（最低値1.9mg/L,平均値2.4mg/L）。早朝の時間帯におけるDOの低下は、光合成による酸素生産が行えない夜間に、生物の呼吸によって酸素が消費された貧酸素水が人工干潟外から流入した影響が大きいことが考えられた。この影響は12時過ぎまで残留し、DOが安定的に基準値3.0mg/Lを超えるのは光合成による酸素生産が顕著になった12時30分以降となった。

## 3. 7月の観測結果

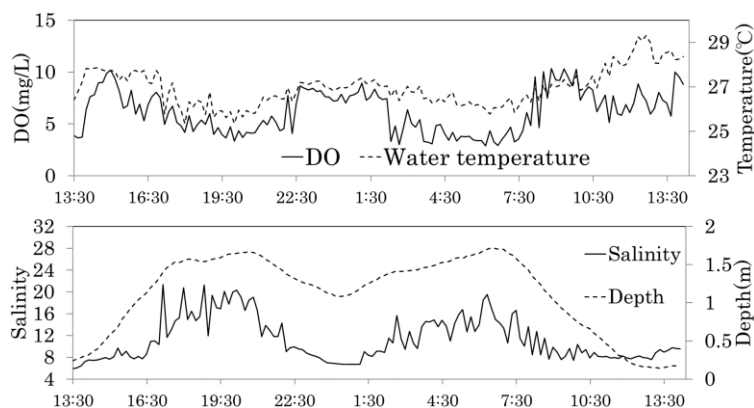


Fig.4 Results of surveys in July

7月の観測結果をFig.4に示す。観測前の降雨の影響から塩分は前月である6月と比較して平均値で16低下し、また、季節の推移から水温は6月と比較して平均値で7.3°C上昇した。DOに関しては、6月と同様に塩分と水深の増加、水温の低下に伴い減少した。

また、6月と同様に早朝の4時40分から7時30分に調査期間中で最も貧酸素化（最低値2.9mg/L,平均値3.6mg/L）したが、他の調査期間と比較して貧酸素化時におけるDOの低下は軽微であった。

## 4. 9月の観測結果

9月の観測結果をFig.5に示す。9月には17時20分から塩分と水深の増加に伴いDOの減少が始まった。18時30分以降23時までは基準値2.0mg/L未満のDOが高頻度で検出され、この間の平均DOは1.9mg/Lとなった。DOが基準値3.0mg/L未満となる貧酸素化は22時40分まで継続し、23時50分から3時までの塩分と水深の低下時におけるDOの増加後、

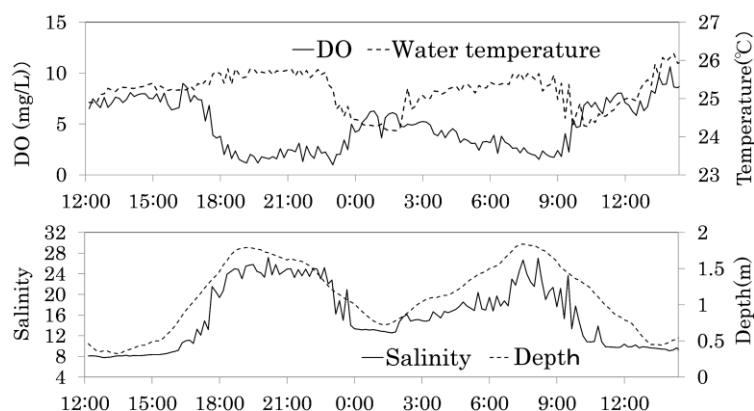


Fig.5 Results of surveys in September

早朝3時30分から9時30分まで再度、塩分及び水深の増加に伴うDOの減少が認められた。塩分及び水深の増加は人工干潟内への海水の流入により起こるが、これらが認められた夕方から夜間には昼間の高水温が維持され、朝方には水温の上昇が認められた。このことは6月及び7月と比較して、干潟域における夜間の海水温分布が逆転し、人工干潟外の水温が人工干潟内の水温を上回ったことを示している。

## 5. 10月の観測結果

10月の観測結果をFig.6に示す。天候が安定していたこともあり塩分の変動は小さかった。水深については調査期間中を通じて0.4m以上を維持した。6月、7月、9月と比較してDOの減少と塩分、水深、水温の関係は弱かった。DOは最高で6.6mg/Lであったため、夜間の酸素消費時には貧酸素化が進行し、18時から翌早朝5時50分までの夜間に限定すると2夜（10月23日から24日及び10月24日から25日）のDOの平均値が2.9mg/Lとなった。また、夜間の貧酸素化し

た時間帯において、基準値2.0mg/L未満の検出率が18~20%となり、貧酸素化の進行が顕著になることがあった。

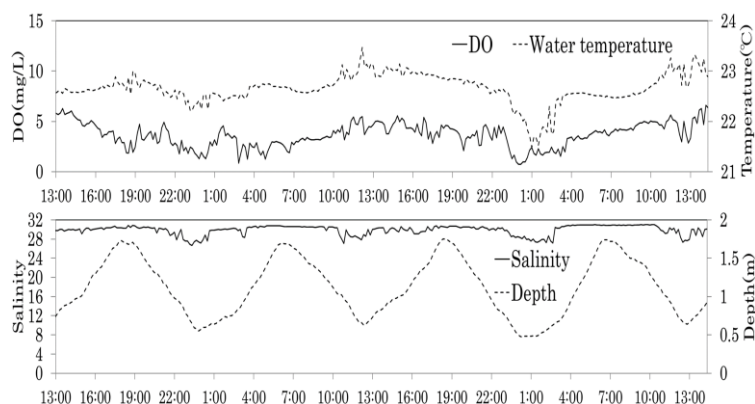


Fig.6 Results of surveys in October

### 6. 底生生物への影響

基準値は日間平均値として評価することとされている。今回の調査期間において24時間連続測定で最低値を抽出するとTable 3のとおりとなった。

Table 3 The minimum mean value for 24hours of DO each months (mg/L)

	June	July	September	October
MV24*	6.1	6.1	4.5	3.4

\* Minimum mean value for 24 hours of DO

10月の結果のみ、生物1に類型指定される基準値4.0mg/Lを下回ることとなった。この値は貧酸素耐性の低いシャコやガザミの再生産段階には不適であるが、その他の6月、7月、9月においては基準値を満たしていること、及び、貝類、多毛類が多数を占めることから、人工干潟の生物の生息、再生産に直ちに影響が出るとは考え難かった。

人工干潟における主要な生物であるアサリ等の二枚貝類は繁殖時に浮遊幼生期を経ることが知られているが、三河湾において浮遊幼生は貧酸素水塊を避けることが示唆されている<sup>2)</sup>。また、三河湾において動物プランクトン生物量と貧酸素水塊面積の間に、有意 ( $p < 0.05$ ) な負の相関 ( $r = -0.38$ ) 関係が認められ、カイアシ類出現個体数においても夏季平均値と貧酸素水塊面積の間に、有意 ( $p < 0.01$ ) な強い負の相関 ( $r = -0.78$ ) 関係が認められている<sup>3)</sup>。同様に貧酸素水塊が発達した下層にはカイアシ類等の

動物プランクトンがほとんど出現しないことがチェサピーク湾<sup>4)</sup>、中海・宍道湖<sup>5)</sup>で報告されている。さらに、チェサピーク湾の卓越種であるAcartia tonsa (カイアシ類の1種) の卵の孵化率はDOが2 mg/Lを下回ると急激に低下したこと、及びDOが1mg/Lの海水に12時間暴露された後にDOが8mg/Lに改善されても孵化率が約20%低下すること (不可逆的影響) が報告されている<sup>4)</sup>、人工干潟においても最長で10月23日から24日の夜間に11時間50分の貧酸素化 (DOの平均値2.8mg/L) が観測され、さらに、4回の観測のうち3回で2mg/Lを下回るDOが観測されていることから今後においては十分な注意が必要である。

また、6月、7月、9月の観測において認められたように、人工干潟外からの貧酸素化海水の流入による貧酸素化が起こっている。この流入の原因となる潮汐は周期的な差はあるが、必ず起こることであるため、周辺海域の水質監視は必須となる。水質監視等の結果から人工干潟内の貧酸素化が予想される時には、DOの改善場所の設置<sup>6)</sup>、避難場所 (レフュージア) の設置等<sup>7)</sup>既に報告されている対応手法が有効となる。

### IV 結 論

人工干潟におけるDOは、6月及び7月には塩分と水深の増加及び水温の低下とともに減少した。9月にはDOの減少と塩分及び水深の関係は同様であったが、水温は逆に上昇した。10月には塩分、水深、水温との関係は弱くなったが、光合成量の低下に伴う昼間のDOの減少から、夜間における長時間の貧酸素化が認められた。

現在においては、貝類、多毛類が多数を占める人工干潟の生物の生息、再生産に直ちに影響が出るとは考え難いが、貝類等の重要な繁殖様式である浮遊幼生期、動物プランクトン等の浮遊生物は貧酸素化に対する耐性が低く、貧酸素化の悪化は防止しなくてはならない。既に複数の対応策が提案されていることもあり、適切な順応的管理が求められる。

### 文 献

- 1) 環境省：水質汚濁に係る環境基準別表2 生活環境の保全に関する環境基準 2 海域，<http://www.env.go.jp/kijun/pdf/wt2-2.pdf> (参照2021.3.31)
- 2) 山田智，岩田靖宏，堀口敏宏，鈴木輝明：三河湾

におけるアサリ浮遊幼生の鉛直分布に与える貧酸素水塊の影響, 水産海洋研究, 79 (1), 1-11(2015)

3) 山田 智, 柳橋茂昭, 武田和也, 広海十朗, 鈴木輝明: 三河湾におけるメソ動物プランクトン生物量とカイアシ類群集の長期変動—特に貧酸素水塊との関係について—, Bull. Plankton Soc. Japan 63 (1), 1-7(2016)

4) Roman, M. R., A. L. Gauzens, W. K. Rhinehart & J. R. White: Effects of low oxygen waters on Chesapeake Bay zooplankton. Limnol. Oceanogr, 38, 1603-1614(1993)

5) 上 真一: 汽水域における動物プランクトンの特徴, 沿岸海研究, 第35巻, 第1号(1997)

6) 環境省 環境技術実証事業: <http://www.env.go.jp/policy/etv/index.html> (参照 2021.3.31), 090 閉鎖性海域における水環境改善技術分野, 090-0701 直接曝気方式 マイクロアクアシステム, 及び 090-0702 海底耕耘機によるマイクロバブルエアレーション

7) 環境省 環境技術実証事業: <http://www.env.go.jp/policy/etv/index.html> (参照 2021.3.31), 090 閉鎖性海域における水環境改善技術分野, 090-0801 人工中層海底による閉鎖性海域における生物生息環境の改善技術

8) 宮崎 一, 山崎富夫, 谷本高敏, 樋渡武彦, 木幡邦男: 富栄養化海域における環境悪化と二枚貝の生残率の関係, 用水と廃水, 47(2), 54-61(2005)

#### 謝 辞

本調査の実行においては, 人工干潟を管理している(公財)国際エメックスセンターの協力を得ました。また, 国立研究開発法人国立環境研究所と地方公共団体環境研究機関等の共同研究である「里海里湖流域圏が形成する生物生息環境と生態系サービスに関する検討」, 及び「沿岸海域における新水質環境基準としての底層溶存酸素(貧酸素水塊)と気候変動の及ぼす影響把握に関する研究」から有益な助言を得ました。