

港内に発生する表層の貧酸素化に関する メカニズムについて

GENERATION MECHANISM OF POVERTY OXYGEN ON THE SURFACE IN THE HARBOR

渡部昌治¹・眞田将平²・高伏剛³・山岸秀樹⁴
Masaharu WATANABE, Shohei SANADA, Tsuyoshi TAKAFUSHI,
Hideki YAMAGISHI

¹正会員 国土交通省 横浜港湾空港技術調査事務所 (〒221-0053 横浜市神奈川区橋本町2-1-4)

²正会員 工(修) 国土交通省 横浜港湾空港技術調査事務所 (同上)

³株式会社東京久栄 環境事業部 (〒333-0866 埼玉県川口市芝6906-10)

⁴株式会社東京久栄 環境事業部 (同上)

The purpose of this study is to clarify the movement of oxygen-deficient water inside the harbor, and the influence to the living organisms, and to help planning and designating of the constructed tidal flat. Results obtained from filed observations and the consideration are as follows: (1) In the end of July, 2008, dissolved oxygen (DO), on the surface of the harbor, was dysoxic despite the precipitation. (2) The density of *crassostera gigas* showed decreasing trend in the chart datum level (C.D.L.) deeper than +0.5m after August. (3) In August 29, 2008, vertical profile of DO was uniformly low from the ebb tide to the flood tide. And more, the amount of phytoplankton increased and the supply of DO occurred during the ebb tide, while the amount of phytoplankton was low and the low-oxygen water masses covered all layers of the sea during the flood tide. (4) Consumption of oxygen and eating phytoplankton by the sessile organisms and the benthic organisms, and oxygen consumption by dissolution of deceased sessile organisms and benthic organisms may have caused DO dysoxic inside the harbor.

Key Words : *Dissolved oxygen, sessile organism, benthic organism, constructed tidal flat*

1. はじめに

東京湾内では東京港, 川崎港, 横浜港の沿岸部から千葉港にかけての広い海域で, 底層の溶存酸素量(以下, DO)が低い傾向にあり, 夏季においては青潮の発生原因となる貧酸素水塊が多く発生している(貧酸素水塊速報より¹⁾). 東京湾の貧酸素水塊の発生機構やその挙動として, 青潮の発生要因となる海上風による湧昇現象²⁾や, 東京湾湾口部の湧昇現象に伴う湾内貧酸素水塊の中層化³⁾など様々な報告がされているものの, 港内における貧酸素水塊の挙動に関しては未解明な部分が多いのが現状である.

本研究では, ①閉鎖性水域である港内での貧酸素水塊の挙動及びそれによる生物への影響を明らかにすること, ②今後の人工干潟の計画・設計の一助とすることを, を目的として港内の水環境, 付着生物の生残率及び人工海浜の付着生物, 底生生物の生息状況を把握するための現地観測を実施した.

2. 調査概要

(1) 調査概要

東京湾で発生する夏季の貧酸素水塊は, 2008年においては, 7~10月に横浜港で確認された¹⁾. しかし, 調査の中で, 横浜港内に入り込んできた貧酸素水塊だけでは説明が出来ない特異的な現象がみられたため, その要因の解明を水質, 港内付着生物, 及び人工干潟「潮彩の渚」で実施した付着生物・底生生物の生息状況の調査結果から試みた.

(2) 人工干潟「潮彩の渚」について

横浜港湾空港技術調査事務所(以下, 横浜技調)には, 竣工後一年程経過した人工干潟である「潮彩の渚」が存在する(図-1, 2参照). 潮彩の渚(幅52m, 奥行18.5m)は, 老朽化した艀装栈橋撤去に伴い, その水域空間を活用し, 自然再生・利用・防災機能の向上を目的として2008年2月29日に竣工された. 設計については諸星ら⁴⁾によって実施され,

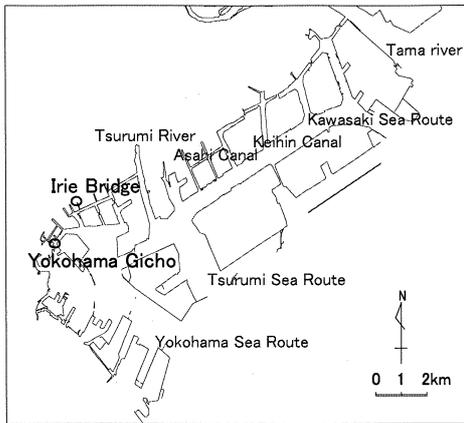
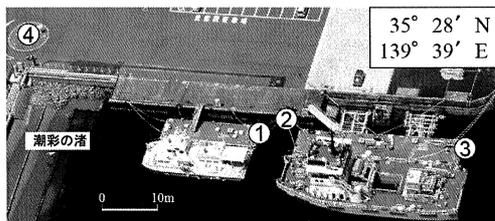


図-1 横浜技調 概略図



Sta.	Investigation Contents	Frequency
1	<ul style="list-style-type: none"> Water Quality (Depth:0.5m) Water Temperature(WT)(°C), Salinity(-), Turbidity(FTU), Chl.(µg/L), DO(mg/L) 	✓10min.
2	<ul style="list-style-type: none"> Water Quality (Vertical distribution) WT(°C), Salinity(-), Turbidity(FTU), Chl.(µg/L), DO(mg/L) Investigation of Sessile Organisms 	✓1month
3	<ul style="list-style-type: none"> Transparency(m), Hue(-) 	✓1day
4	<ul style="list-style-type: none"> Precipitation(mm) 	✓1hour

図-2 調査地点及び調査項目 (潮彩の渚除く)

その構造は階段状となっており、干潟部1段目が C.D.L.+1.0m、2段目が C.D.L.+0.5m、3段目が C.D.L.+0.0m、になっている (図-3参照)。また、生物の発生状況を実験する施設のため、養浜材は千葉県産の山砂 (浅間山産) を使用している。

(3) 現地観測内容

現地観測は、図-1に示す横浜港内の横浜技調構内において、2008年7～10月にかけて、以下の内容で実施した。

a) 係留計による水質連続観測

係留計による連続観測は、図-2に示すSta.1において、2008年7～10月の間、10分間隔で行った。観測項目は、海面下0.5mにおける水温、塩分、濁度、DO、クロロフィル (以下、Chl.)、であり、測定は水温塩分計 (JFEアレック (株)、COMPACT-CTW)、溶存酸素計 (同COMPACT-DOW)、クロロフィル濁度計 (同COMPACT-CLW) を用いた。

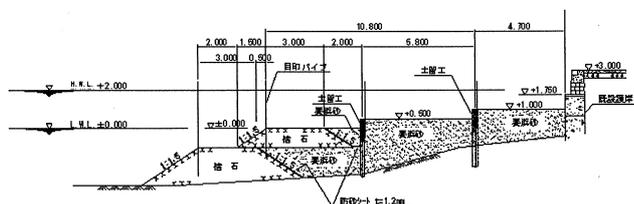


図-3 「潮彩の渚」干潟部断面図

b) 多項目水質計による鉛直水質観測

2008年8月29日、9月29日、10月30日 (いずれも大潮) に、多項目水質計 (JFEアレック (株)、AAQ1183-PRO) を用い、図-2に示すSta.2において、水温、塩分、濁度、Chl.、DOの鉛直分布を測定した。

c) 透明度、水色観測

図-2に示すSta.3 (岸壁) において、2008年7～10月の期間中、平日は概ね毎日、透明度板 (離合社) と水色計 (離合社) を用いて、透明度と水色の測定を行った。

d) 雨量発信器による雨量観測

図-2に示すSta.4において、2008年7～10月の期間中、雨量発信器 (日本エレクトリック・インスツルメント (株)) を用いて、雨量観測を実施した。

e) 付着生物の生残率測定

図-2に示すSta.2において、2008年7月25日に護岸部から固定垂下方式により、平均水面 (C.D.L.+1.15m) 下 0.5m (C.D.L.+0.65m) を中心に、カキ殻 (約 0.05m 間隔で 11 枚取り付け) を用いた長さ 0.5m の生物付着基盤を護岸に接触しないように設置した。その後、8月29日、9月29日、10月30日において基盤を引き上げ、基盤のどの水深帯にも出現する付着生物の代表種としてマガキの生残率の調査を実施した。

なお、設置した付着基盤は各月毎に回収しているため、同一サンプルを連続観測していない。

f) 「潮彩の渚」における付着生物及び底生生物調査について

2008年9月4日 (中潮) に、各段の干潟中央部において (図-4 参照)、付着生物及び底生生物調査を実施した。

付着生物調査は、C.D.L.+0.5m、C.D.L.+0.0m において 0.25m×0.25m の方形枠を用いたコドラート法により試料を採取し、種の同定、個体数及び湿重量の計数を行った。

底生生物調査は、C.D.L.+1.0m、C.D.L.+0.5m、C.D.L.+0.0m において、0.5m×0.5m の範囲、深さ 10cm を探泥し、1mm のフルイを用いてふるい分け、フルイ上に残った生物について種の同定、個体数及び湿重量の計数を行った。また、採取した二枚貝のうち、アサリに関してはヒストグラムから多正規型分離 (χ^2 検定) してサイズ分けを行うために、30

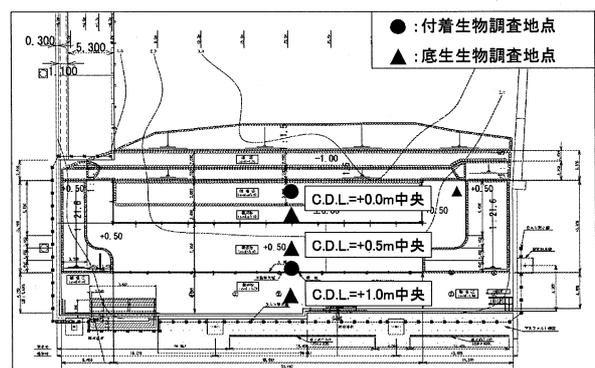


図-4 付着生物及び底生生物調査地点図 (平面図)

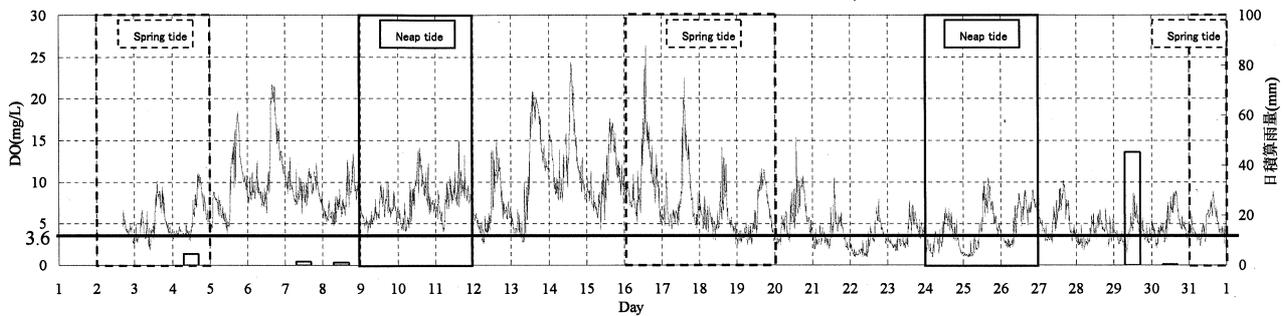


図-5 2008年7月のDO(mg/L), 日積算雨量(mm)の経時変化図

個体を上限に殻長をデジタルノギス((株)ミットヨ)を用いて測定した。

3. 調査結果

(1) 夏季の港内貧酸素化について

2008年7月のDO(mg/L), 日積算雨量(mm)の経時変化を図-5に示す(8月はデータ欠測)。これを見ると、雨量に関係なく、7月下旬のDOは、定期的に貧酸素水塊の基準(3.6mg/L¹⁾)以下になっていた。

(2) 付着生物生残率について

Sta. 2における2008年8月29日, 9月29日, 10月30日のマガキの個体数及び生残率を図-6に示す。C. D. L. +0.5m以深で個体数は8月以降に減少傾向となり、生残率についても最小の値(28.6%)を示した。

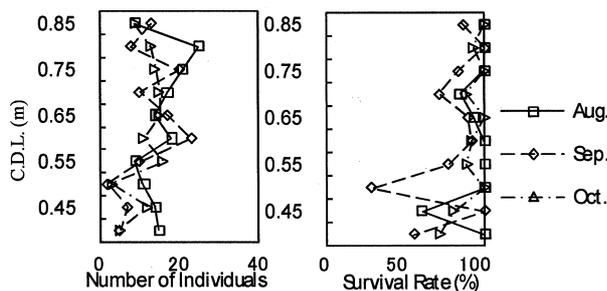


図-6 マガキの個体数と生残率

(3) 夏季における水質鉛直分布

Sta. 2における2008年8月29日の水質鉛直分布に関する現地観測結果を図-7に示す。塩分は当日午前5時の集中豪雨(時間雨量306mm)により、一潮汐を通じて表層で低下していた。DOの鉛直分布は、下げ潮から干潮時にかけて一様に低かった。横浜港内では、上げ潮時に貧酸素水塊が底層から入り込むことでDOの減少を引き起こすと考えられるが、本調査区域においては早朝の下げ潮時に著しく減少し、上げ潮から満潮に移行するに伴い、DOは回復するという特異的な現象が確認された。またChl.でも下げ潮時に減少しており、満潮になるにつれその値は増加していた。特に、上げ潮時では0.5~1.5m層で上昇しており、満潮時はどの水深においても比較的大きな値を示した。

(4) 人工干潟「潮彩の渚」における付着生物及び底生生物調査結果について

a) 付着生物・底生生物の個体数及び湿重量について
地盤高別の付着生物の個体数(unit/m²)及び湿重量(g/m²)計測結果を図-8に示す。C. D. L. +0.5mでは個体数が50,000unit/m²を超え、湿重量も10,000g/m²を超えていた。そのほとんどを節足動物のフジツボ類が占めていたが、軟体動物の二枚貝類の個体数も多かった。しかしながら、C. D. L.+0.0mになると、全ての生物で個体数、湿重量ともに著しく少なかった。

次に、地盤高別の底生生物の個体数(unit/m²)及び湿重量(g/m²)計測結果を図-9に示す。個体数に

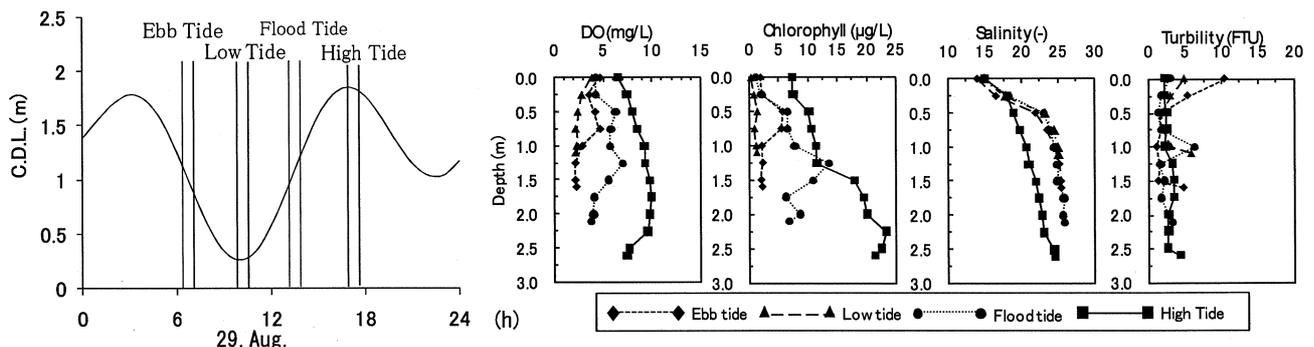


図-7 現地観測結果(潮位図, DO, Chl., 塩分, 濁度)

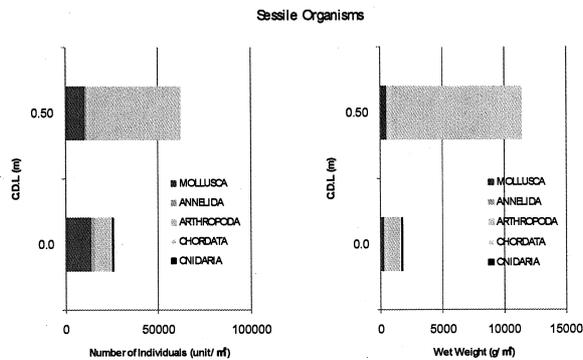


図-8 付着生物の個体数(unit/m²)及び湿重量(g/m²)

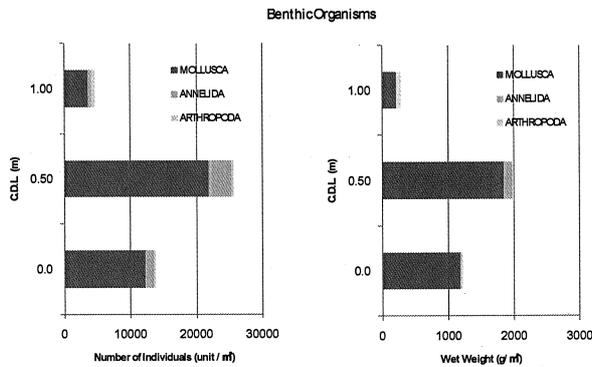


図-9 底生物の個体数(unit/m²)及び湿重量(g/m²)

に関して、付着生物の場合と同様に C.D.L.+0.5m では個体数が最大となり、20,000unit/m² を超える個体数が生存していた。また、そのほとんどが、アサリ、シオフキ、バカガイ、ホンビノス等の二枚貝類であった。湿重量に関しても、約 1,900g/m² と大きく、そのほとんどをこれら二枚貝類が占めていた。

一方で、C.D.L.+0.0m では、付着生物調査結果と同様に、いずれの地盤高と比較しても個体数、湿重量ともに著しく少なかった。

b) アサリ殻長別の個体数及び湿重量について

片山ら⁵⁾の指摘では、サルボウ等は小さい個体ほど酸素消費量が多いことが知られているため、干潟の主要種であったアサリについて、その殻長(SL)を 10.00 ≤ SL(mm), 1.00 < SL(mm) < 10.00 に分けて、個体数及び湿重量の分類を行った(図-10)。これを見ると、C.D.L.+0.5m では湿重量に関しては 10.00 ≤ SL(mm) のアサリが多かった(47.68g/m²) が、個体数に関しては 1.00 < SL(mm) < 10.00 のアサリが多くを占めていた(537unit/m²)。

また、アサリの地盤高別生息分布に関しては、他の底生物と同じように、個体数・湿重量ともに、C.D.L.+0.5m で最大となり、C.D.L.+0.0m では少なかった。

4. 溶存酸素量と Chl. の関係について

2008年8月29日14時10分における構内の透明度は 1.0m と低く、水色は 17 と赤みがかった。

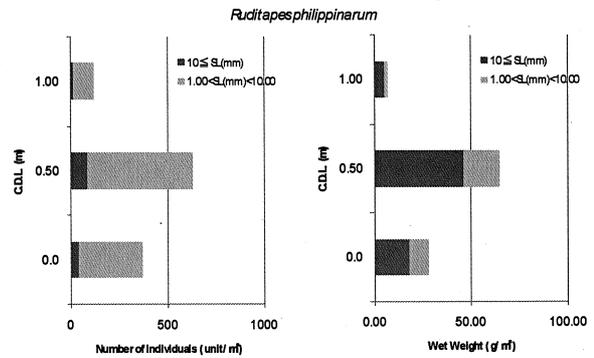


図-10 アサリ殻長別の個体数(unit/m²)及び湿重量(g/m²)

上げ潮時(昼間)の表層 0~0.5m は降雨の影響があるため、藻類増殖層を 0.5~1.5m と仮定し、水深を 0.5~1.5m, それ以外の水深帯に分けて一潮汐間の Chl. と DO の相関関係を調べた(図-11)。

その結果、0.5~1.5m 層で、正の相関(R=0.6024)が確認され、Chl. の増加に伴い DO が増加することが分かった。図-7 の上げ潮時の水深 0.5~1.5m 層における Chl. と DO の結果とも一致しており、上げ潮時には植物プランクトンの増加と DO の供給がなされるが、下げ潮時には植物プランクトンが少なく、DO の低い水塊が構内全層を覆っていたことがわかった。

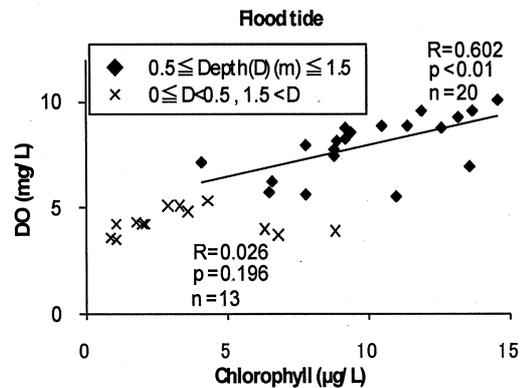


図-11 DO と Chl. の関係

5. 港内表層の貧酸素化に関するメカニズムの推察

当該海域は、夏季に DO が低かった京浜運河部の公共用水域水質測定地点の入江橋(3.6mg/L, 2008年8月13日, 図-1参照)と類似した環境であるために運河部の影響を受けている可能性があり、また、東京湾の沖にある貧酸素水塊の影響も受けていたと考えられる。

しかし、DO の一潮汐間の変化をみる限り、上げ潮時ではなく下げ潮時に DO が下がっていた。

この原因について、横浜技調構内のマガキ生残率結果と併せて、人工干潟である「潮彩の渚」の付着

生物及び底生生物調査結果を用いて以下のような推察を行った。

(1) 付着生物及び底生生物の酸素消費について

3(4)の調査結果では、比較的小型の二枚貝類が多く、片山ら⁵⁾の指摘の様に、殻長の小さい個体が多く酸素を消費していた可能性が考えられる。

また、マガキやアサリでは濁度の増加によって酸素消費量が減少することが知られているが(神原ら⁶⁾)、図-5の現地観測結果の濁度をC. D. L. 換算して考察を行った(図-12)。その結果、いずれの潮時でもC. D. L. +0.5mで濁度は低下していたため、付着生物及び二枚貝等の底生生物の個体数、湿重量ともに最も多かったC. D. L. +0.5mでは、それら多くの生物の酸素消費は抑制されることはなく、通常通りに酸素消費が行われていたと考えられる。

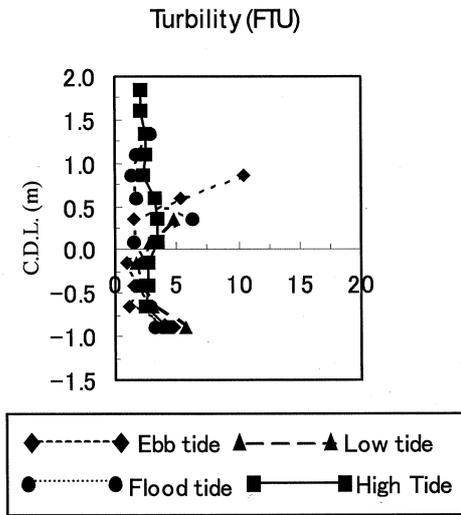


図-12 C. D. L. 換算した2008年8月29日の濁度(mg/L)

(2) 付着生物及び底生生物の斃死が引き起こす酸素消費について

DOが1mg/L以下となるような貧酸素水塊の影響を受けた場合、例えばアサリでは、比較的短時間に斃死してしまうことが知られている(柿野⁷⁾)。

今回の観測で捉えることができた、表層で発生した貧酸素水塊によって多くの生物が斃死した場合、斃死個体の分解によってさらに酸素消費が行われる可能性も推察された。例えば、大阪湾の護岸部のムラサキイガイ斃死個体の腐敗や分解によって、水質悪化が引き起こされることを矢持ら⁸⁾は指摘している。港内においては、貧酸素の影響を受けて生物が斃死し、その斃死個体の分解によって酸素が消費されることで、さらに貧酸素化を引き起こしてそれまで耐えていた生物を斃死させるといった負の循環が生じていると推察される。

(3) C. D. L. +0.5m以深における付着生物及び底生生物の生息環境について

5 1), 2)より、港内に生息する多くの付着生物及び底生生物によって下げ潮から干潮時までに著しく酸素が消費されたものと推察される。一方で、4より、河川水等の影響を受けない表層0.5~1.5mにおいては、本来貧酸素水塊であるはずの東京湾の沖の海水が上げ潮時に構内に流入し、その際に植物プランクトンの増加とDOの供給がなされることによって、酸素補給が為されていたと考えられる。

しかしながら、図-13より、C. D. L. +0.5m以深では、付着基盤のマガキは、3(2)の調査結果で述べたように、斃死を引き起こす貧酸素状態に曝露される頻度が高まったため、生残率が減少したものと考えられる。また、同様の理由により、3(4)の調査結果で示した構内付着生物及び底生生物の個体数減少を引き起こしたと推察される。

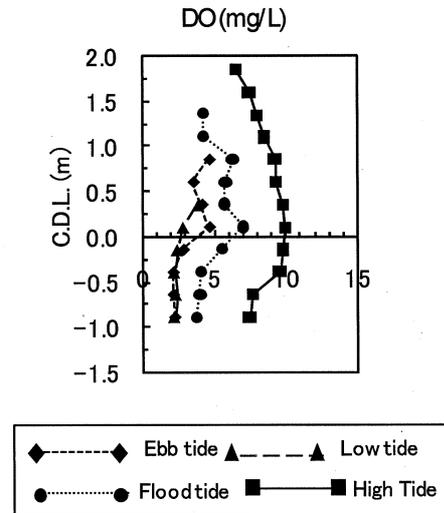


図-13 C. D. L. 換算した2008年8月29日のDO (mg/L)

(4) 港内における表層の貧酸素化に関するメカニズムについて

以上述べてきたように、当該海域は、夏季にDOが低かった京浜運河部上流及び東京湾の沖にある貧酸素水塊の影響を受けていたと考えられる。

しかしそれ以上に、これまでの結果から、本構内のように湾奥に位置する海域に、m²当たり10,000個体、1kg以上の著しく多くの生物が生存する場合、①「構内や運河部に生息するマガキ等の付着生物による酸素消費及び植物プランクトンの摂食」及び②「二枚貝類等の底生生物による付着生物と同様な酸素消費及び植物プランクトンの摂食」、③「斃死した付着生物及び底生生物の分解に伴う酸素消費」によってC. D. L. +0.5m以深の溶存酸素濃度は著しく減少すると考えられる。

6. 結論

(1) 結論

本研究では、閉鎖性水域である港内での貧酸素水塊の影響及びそれによる生物への影響に関して、現地観測結果及び港内生物の酸素消費量に着目して考察を行った。その結果、以下の知見が得られた。

a) 港内貧酸素化について

係留計連続観測結果より、2008年7月における港内の表層D0は、定期的に貧酸素化していることがわかった。

b) 付着生物生残率について

夏季におけるマガキの生息状況を調べた結果、C.D.L.+0.5m以深で個体数は8月以降に減少傾向となり、生残率についても最小の値(28.6%)を示した。

c) 夏季の水質鉛直分布について

2008年8月29日の水質調査結果より、港内D0の鉛直分布は、下げ潮から干潮時にかけて一様に低かった。また、上げ潮時には水深0.5~1.5m層において、植物プランクトンの増加とD0の供給がなされるが、下げ潮時には植物プランクトンが少なく、D0の低い水塊が構内全層を覆っていたことがわかった。

d) 港内に発生する表層の貧酸素化に関するメカニズムについて

港内の貧酸素化を引き起こす要因としては、潮位変化の過程で①「構内や運河部に生息するマガキ等の付着生物による酸素の消費及び植物プランクトンの摂食」、②「二枚貝等の底生生物による付着生物と同様な酸素の消費及び植物プランクトンの摂食」、③「斃死した付着生物及び底生生物の分解に伴う酸素消費」という生物による影響が大きく寄与していると考えられる。

(2) おわりに

夏季の港内において、下げ潮から干潮にかけて全層が貧酸素化するという現象は報告例がない。今後は、この特異的な現象及びメカニズムを詳細に把握すると共に、今後の港湾、特に運河近傍域での人工

海浜や干潟造成時に、必要に応じてこれらの現象を考慮することが望まれる。

謝辞：本研究を行うにあたり、株式会社東京久栄森田上席研究員、藤本課長代理には適切な助言を頂きました。また、一年間の観測実施に当たり、横浜港湾空港技術調査事務所伊澤礼子氏、山形百合子氏には多くの御協力を頂きました。ここに記して深甚なる謝意を示します。

参考文献

- 1) 貧酸素水塊速報，千葉県水産総合研究センター，<http://www.pref.chiba.lg.jp/laboratory/fisheries/04jouhou/04tkod/04tkodflame.html>.
- 2) 小倉紀雄，野村英明，風呂田利夫：東京湾海洋環境シンポジウム「貧酸素水塊」—その形成過程・挙動・影響そして対策—，月刊海洋，31(8)，pp.461-469，1999.
- 3) 八木宏，Tanuspong POKAVANICH，安井進，灘岡和夫，有路隆一，松坂省一，鈴木信昭，諸星一信，小田遼子，二瓶泰雄：東京湾湾口部の湧昇現象に伴う湾内貧酸素水塊の中層化とその解消過程，海岸工学論文集，第55巻，pp.1081-1085，2008.
- 4) 諸星一信，鈴木信昭，今村均，古川恵太，亀山豊，木村尚：自然再生・利用・防災機能の向上のための都市型干潟・磯場の整備計画，海洋開発論文集，第24巻，pp.759-764，2008.
- 5) 片山勝介，三宅与志雄，池田善平，藤沢邦康，土屋豊：岡山県西部における養殖モガイの異常へい死に関する研究—Ⅲ，産卵時期との関連およびへい死貝の腐敗の影響，岡山水試事業報告，昭和55年度，1981.
- 6) 神原成美，篠岡久夫：貝類の酸素消費量に及ぼす濁りの影響，香川水試事報，47年度，pp.28-32，1973.
- 7) 柿野純：青潮によるアサリへい死原因について，貧酸素水及び硫化物の影響，千葉水試研報，40号，pp.1-6，1982.
- 8) 矢持進，有山啓之，日下部敬之，佐野雅基，鍋島靖信，睦谷一馬，唐沢恒夫：人工護岸構造物の優占生物が大坂湾沿岸域の富栄養化に及ぼす影響 1. 垂直護岸でのムラサキイガイの成長と脱落，海の研究，Vol.4，No.1，pp.9-18，1995.