

# 東京湾水質一斉調査 貧酸素水塊マップ

**東京湾水質一斉調査**  
東京湾水質一斉調査は、2008年(平成20年)7月2日を中心に、全46機関・団体が参加し、調査地点は海域・陸域と合わせて568地点で実施されました。個別の機関における調査方法、調査期間、調査機器等については、東京湾環境情報センター(国土交通省)のメタデータファイルとして登録されています。

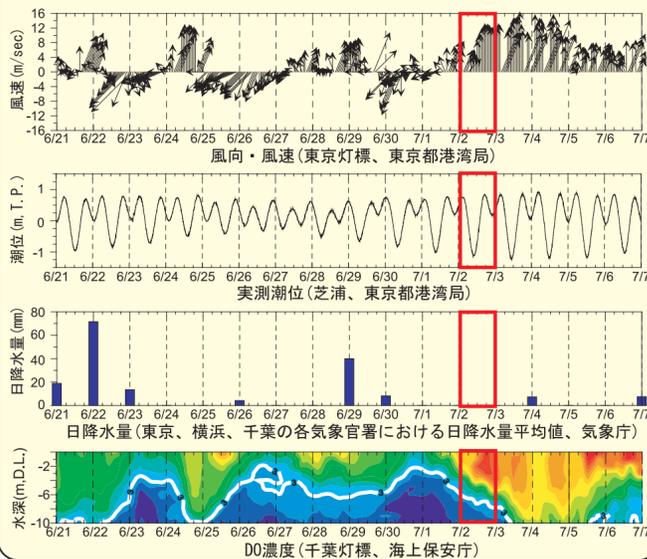
【東京湾水質一斉調査データダウンロードWEBサイト】  
・東京湾環境情報センター(国土交通省)  
：WEBサイト(<http://www.theic.go.jp>)



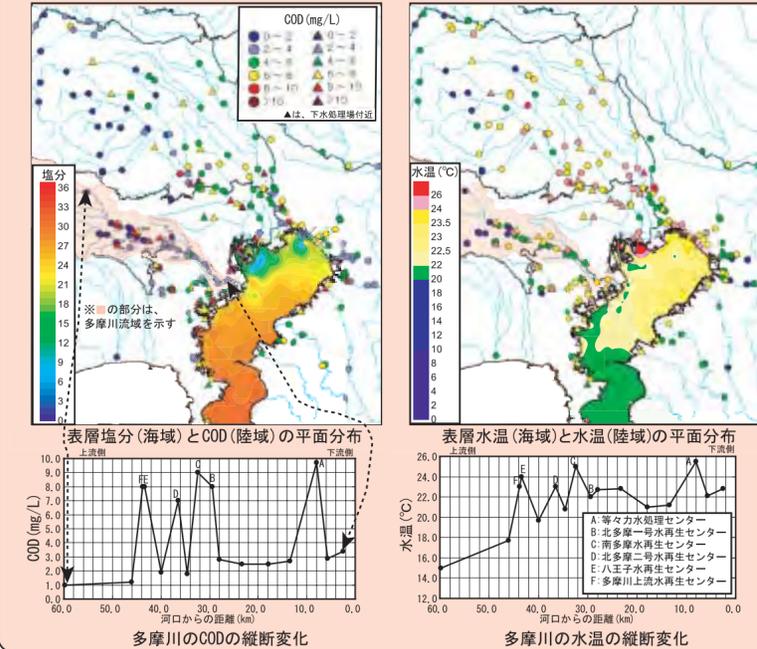
【東京湾水質一斉調査概要・速報結果公開WEBサイト】  
・東京湾水質一斉調査(海上保安庁)  
：WEBサイト(<http://www1.kaiho.mlit.go.jp/>)

一斉調査日	・2008年(平成20年)7月2日を中心に調査を実施
全調査地点数	・計568地点(海域 222地点、河川281地点、湖沼1地点、下水処理場64地点)
調査参加機関	・計46機関(国、都県市等沿岸自治体、研究機関、市民団体、企業、小学校)
共通調査事項・方法	・海域3項目：溶存酸素(DO)濃度、水温、塩分 ・海面下0.5m～海底上1mまで1m毎の連続観測 ・陸域3項目：化学的酸素要求量(COD)、水温、流量 ・河川：観測機器により水面から全水深の20%の位置
その他調査事項	・通常環境調査での実施調査項目

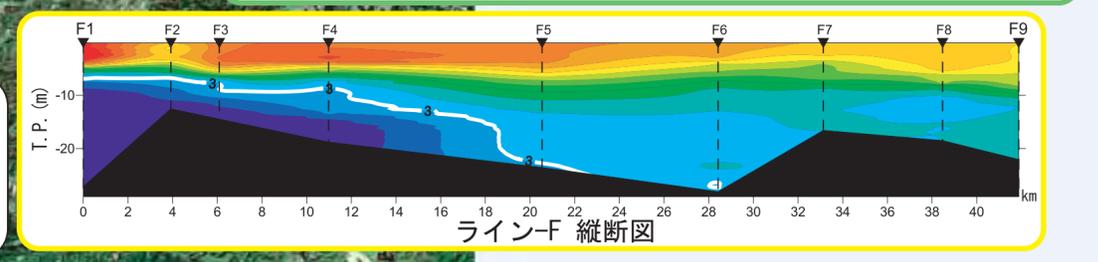
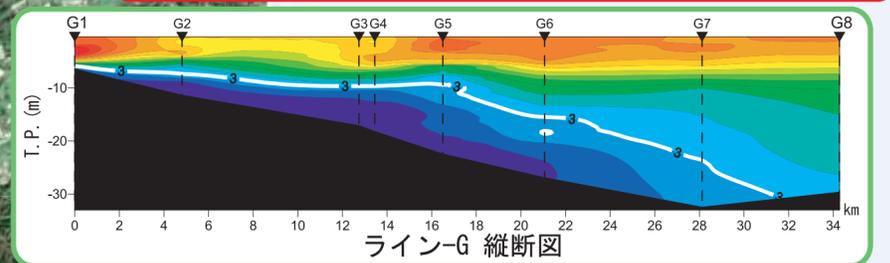
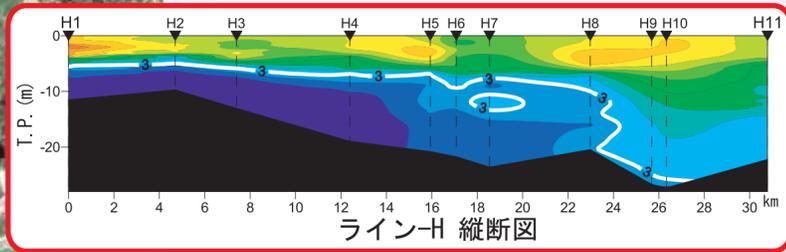
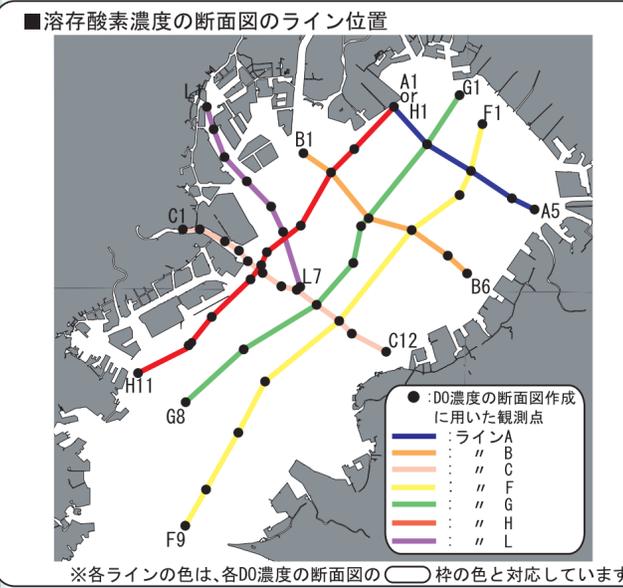
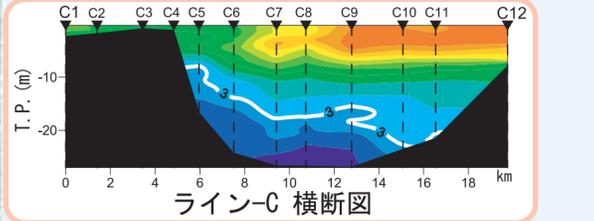
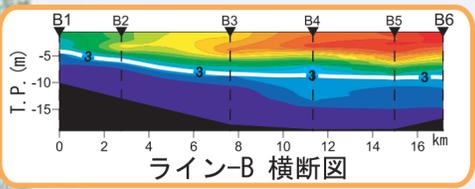
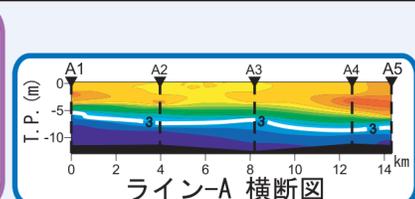
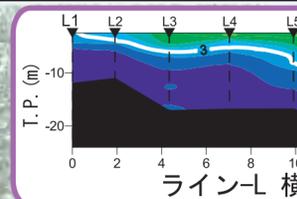
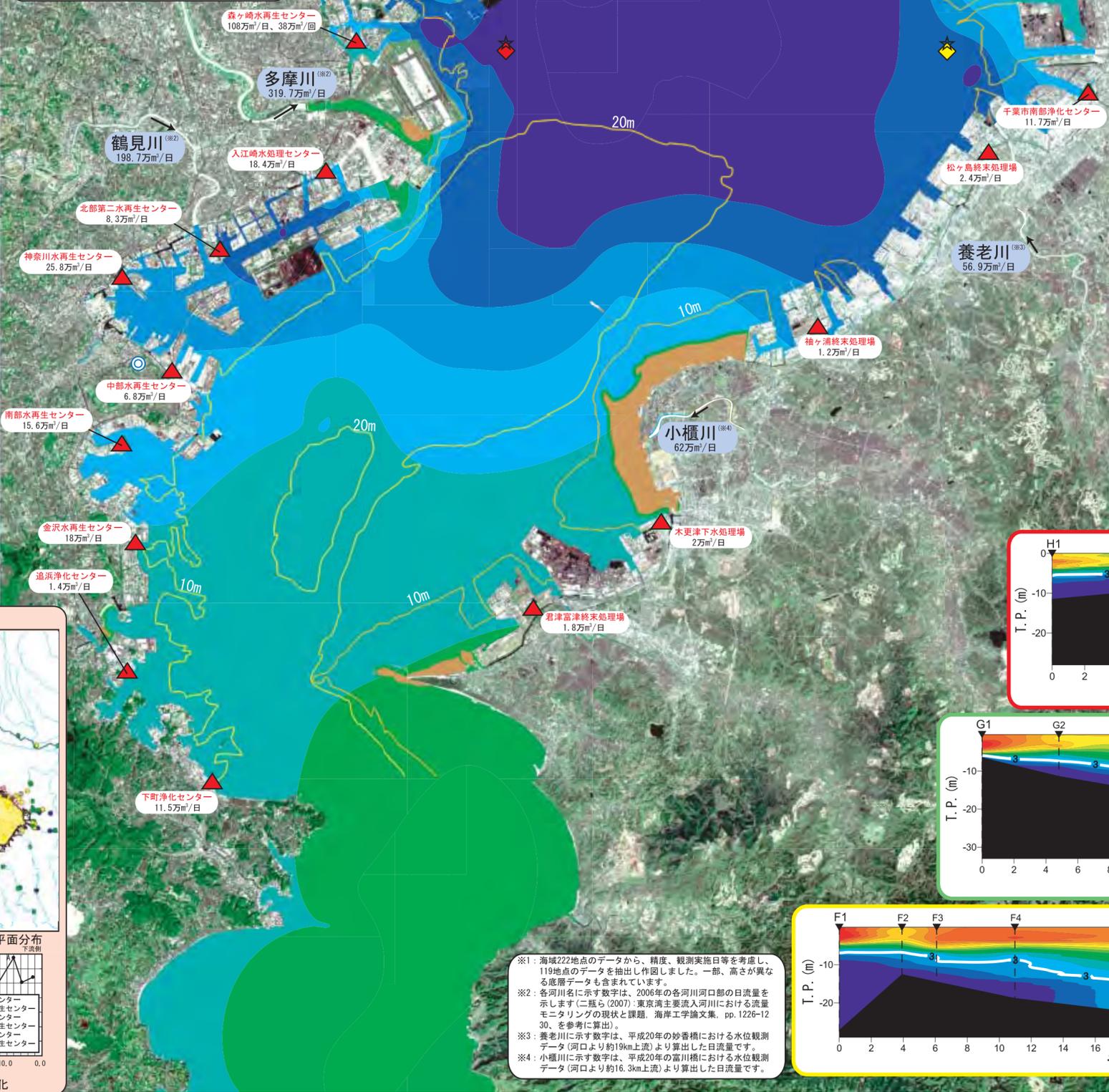
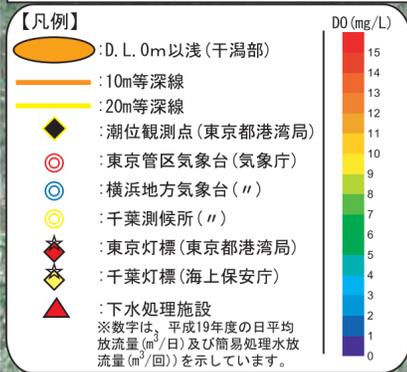
## 東京湾水質一斉調査時及びその前後における気象・海象



## 海域と陸域の繋がり



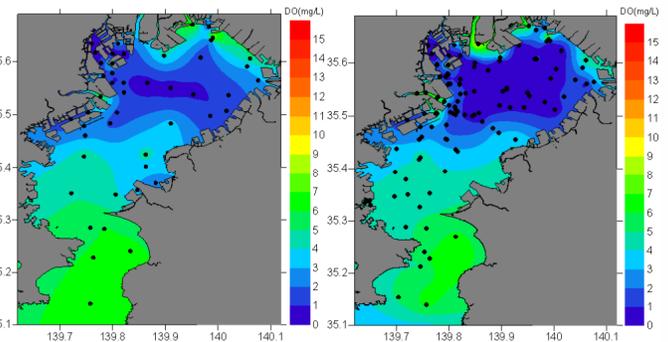
## 底層(海底面上1m<sup>(※1)</sup>)の溶存酸素(DO)濃度の平面分布と断面図



※1：海域222地点のデータから、精度、観測実施日等を考慮し、119地点のデータを抽出し作図しました。一部、高さが異なる底層データも含まれています。  
※2：各河川名に示す数字は、2006年の各河川河口部の日流量を示します(二瓶ら(2007)：東京湾主要流入河川における流量モニタリングの現状と課題。海洋工学論文集, pp. 1226-1230, を参考に算出)。  
※3：養老川に示す数字は、平成20年の妙香橋における水位観測データ(河口より約19km上流)より算出した日流量です。  
※4：小櫃川に示す数字は、平成20年の富川橋における水位観測データ(河口より約16.3km上流)より算出した日流量です。

# 東京湾環境マップ

場の理解と生き物の棲み処づくり



本マップについて

東京湾における水循環について、溶存酸素（DO）をキーワードとして、発生状況<sup>(1)</sup>、その原因<sup>(2)</sup>、広がりと発達<sup>(3)</sup>、支配要因<sup>(4)</sup>、2003年に発生した水生生物の大量死からみる問題の広域性<sup>(5)</sup>や、生物との関係<sup>(6)</sup>、や、第9回東京湾シンポジウム等で議論された、再生へのヒント<sup>(7)</sup>等を個別マップとして掲載しました。

また、メインのマップでは、2008年7月に行われた東京湾水質一斉調査の成果をとりまとめ、主な取得データを掲載しました。今後、私どもも含め多くの機関、関係者による継続した調査・研究や環境再生の実践的試みを行っていく必要があると考えています。そうした足がかりとして、本マップを活用いただければ、幸いです。

平成21年1月  
Ver. 3

国土技術政策総合研究所  
沿岸海洋研究部 海洋環境研究室



## (2) 貧酸素水塊とは

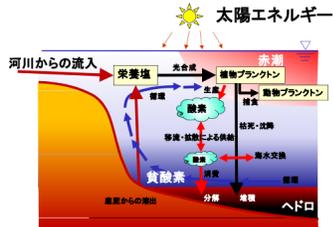


図-4 貧酸素水塊の発生機構

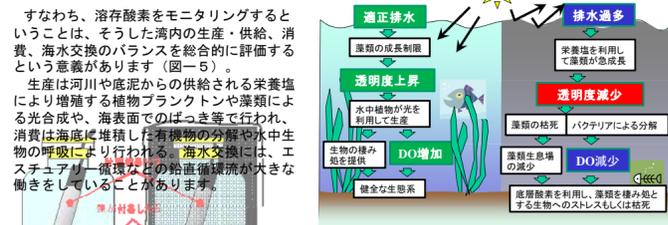


図-5 酸素濃度(DO)の指標性 (Howes, Williams & Rasmussen(2008)より作成)

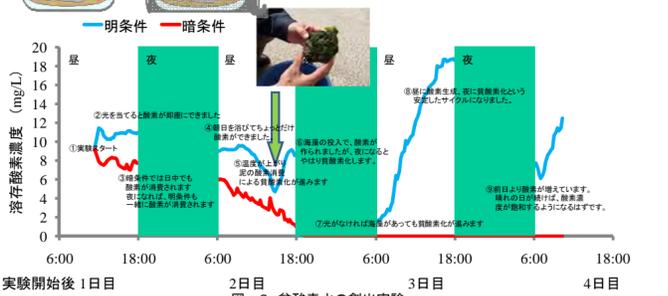


図-6 貧酸素水の創出実験

貧酸素水を人工的に作り出すために、20Lのガラス瓶に海水を詰め、一つはそのまま(明条件)、もう一つは遮光して(暗条件)にして酸素濃度をモニタリングしました。暗条件では酸素消費が過剰となり貧酸素化しました。2日目の午後には海藻のついた岩を投入し、明条件では酸素濃度が回復しましたが、暗条件では継続して貧酸素化し、ついには無酸素状態になりました。

## (4) 貧酸素の支配要因



帷子川河口の水影公園において、テラス型護岸上の潮溜りが貧酸素化したという事例をもとに、その原因を数値モデルで追試しました。数値モデルは、水中での酸素生成項(植物プランクトンによるもの)、水中および、底泥での酸素吸収(生物呼吸)、潮位上昇による海水交換などの機構を加味できるように、水中光量などは、推定に合わせて設定した。

その結果、現況再現計算では、徐々に貧酸素化が進行し、底質を改良したのち、酸素環境が回復に向かっていることが示されました(図-11: 古川2009年発表)。

さらに、この結果を利用して、水深との関係を確認したところ、水深0.7mを境に海水交換による貧酸素水塊のリセットがきかず、貧酸素水塊の進行が見られました(図-12)。底質を改良することは酸素消費速度の面から貧酸素化を防止しようとした試みであり、水深を浅くすることは酸素生成速度を上げ、海水交換を促進することで貧酸素化を防止する試みであるといえます。

場所、底質によって変化があると思えますが、現在の東京湾の底泥では、典型的に0.5m-1.0m程度の浅場が酸素供給には必要と考えられます。

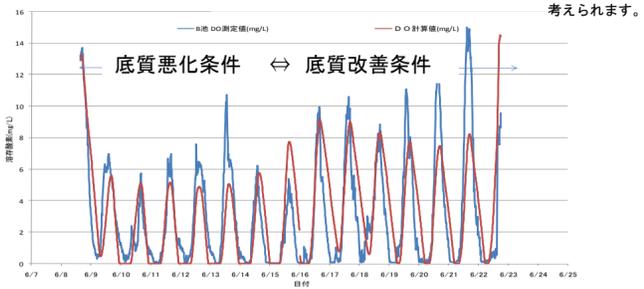


図-11 底質改善による貧酸素化抑制の数値実験

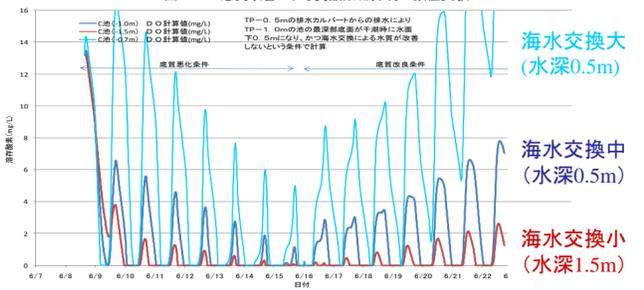


図-12 水深変化による貧酸素化の数値実験

## (6) 生物と貧酸素水塊

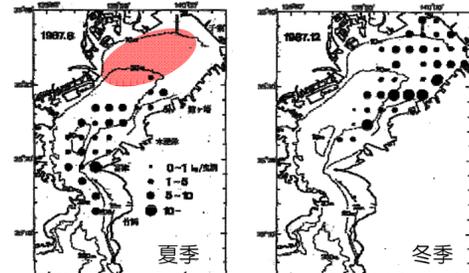


図-15 マコガレイの季節分布(1987-1988) (石井光廣(1992), 千葉水試研報, No.50, 31-36より)

生物は水中の酸素がなくなると死んでしまいます。東京湾のマコガレイは、夏季と冬季で大きくその生息域を移動させています(図-15: 石井, 2001より)。その原因は貧酸素水塊(図-11左、赤丸で示した部分)を回避しているからだと考えられています。また、湾奥部~湾奥部の底生生物も、夏季の貧酸素・無酸素により一旦死滅し、秋から春にかけて回復します。

このように、貧酸素・無酸素を嫌う生物ですが、生き物毎に、貧酸素に対する耐性が異なります。図-16には、主な底生生物や魚類などの貧酸素に対する耐性を示しています。

生物	酸素濃度	酸素濃度 (mg/L)									出典						
		3	5	7	9	1	2	3	4	5		6	7	8	9		
魚類	クロダイ サバ ハマ ボラ ソシハゼ カハナギ																水産生物生態資料集(水産資源保護協会, 1981) 沿岸漁業設備開発事業構造設計設計(水産資源保護協会, 1978) 環境影響評価技術資料(環境省, 1978) 水産生物生態資料集(続)(水産資源保護協会, 1983)他
貝類	マガキ アカガイ ハマグリ ヤマトシジミ バイ ホトトギス																参考: 生活環境の保全に関する環境基準 A類型: DO 7.5mg/L以上 B類型: DO 5mg/L以上 C類型: DO 2mg/L以上
その他	クルマエビ シヤコ ガザミ イシガニ パファンニ マダコ ゴカイ																凡例 影響発生限界値 致死限界値 (1mg/L=1.4mg/L)

図-16 各種生物の貧酸素耐性

## (1) 東京湾の貧酸素水塊と青潮

東京湾における貧酸素水塊は、基本的に底層水の滞留や酸素消費といった物理・化学的な働きにより生成されるといわれています。貧酸素水塊の現況把握のために、東京湾においては千葉県水産総合センター(編集とりまとめ)、神奈川県水産総合センター、内湾底びき網連絡協議会が主体となり、海上保安庁海洋情報部、千葉県環境研究センター、東京都環境局の協力により貧酸素水塊通報が発行されています。そうしたモニタリング結果によれば、貧酸素水塊は5月後半から10月を中心に発生しています(図-1)。

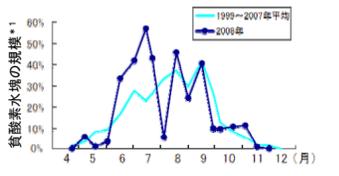


図-1 貧酸素水塊の発生規模の季節変化(千葉県漁業研究所貧酸素水塊情報より)

そうした貧酸素水塊の発生状況をモニタリングして、その長期変動を解析するという10年間にわたる共同研究が東京都環境科学研究所と、横浜市環境科学研究所、千葉県環境研究センター、統計数理研究所により行われました。その結果、毎年、最も貧酸素化が進む9月の分布を並べてみると、ほとんど状況に変化が見られず、最近ではむしろ酸素の低い領域が広がっているのではないかとするような傾向を示しているように見えます。(図-2)。

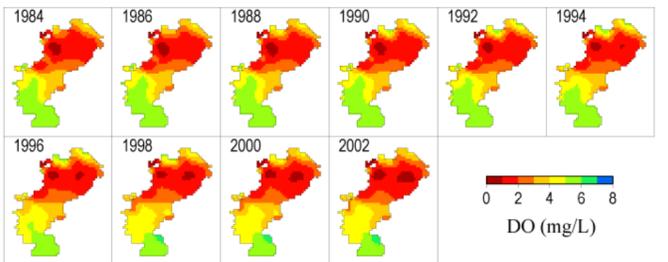


図-2 貧酸素水塊の広がり(安藤晴夫(2006), 第7回東京湾シンポジウム報告書より)

こうした貧酸素水塊が、底質から溶出した硫黄分とともに表面に湧昇し酸化・析出することで、乳白色に発色したものが青潮です。青潮の発生状況は千葉県環境研究センターおよび、水質保全課に記録があり、年間数件から10件程度発生しており、延べ発生日数は、ここ10年の平均で11日程度です(図-3)。

図-3 青潮の発生件数の変化(千葉県環境研究センター、千葉県水質保全課報告書より作成)

このマップに関するお問い合わせは、  
国土技術政策総合研究所沿岸海洋研究部海洋環境研究室まで  
〒239-0826 神奈川県横浜市長瀬3-1-1  
電話 046-844-5023、FAX 046-844-1145  
Web: http://www.ysk.niim.go.jp (港湾環境情報)

## (3) 貧酸素の広がり・発達

2008年7月の東京湾水質一斉調査において測定された3mg/L以下の溶存酸素の水塊を貧酸素水塊として可視化したものが、図-7です。海底に張りつくように貧酸素水塊が存在することがわかります。こうした貧酸素水塊(b)は、図-8に示すように、成層化した底層水(a)の中に存在しています。これは、成層して酸素供給が断られた領域の水塊において、底泥の酸素消費により貧酸素化する過程と考えられます。そこで、b/aを貧酸素水塊の発達度合いを測る指標として図-9で示したものが図-9です。

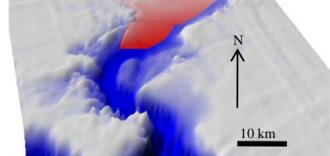


図-7 2008年7月東京湾水質一斉調査時の貧酸素水塊(3mg/L以下)の広がり

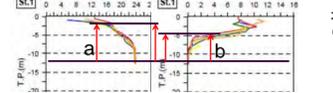


図-8 貧酸素水塊の発達度合いを示すb/aの定義方法

メインマップに示されているように、横断方向の貧酸素水塊の鉛直断面図を見ると、底層において界面が傾斜しており、西進する密度流が存在することが示唆されています。また密度流の傾きから推定して、この西進した流れは傾度流として西岸に当たった後、南下すると考えられる。表面には時計回りの流れがあることが短波海洋レーダーや超音波流速計等で計測されていました。

全体としては、時計回りの表面流が東京湾東岸の干栗側で底層にもぐりこみ西岸に移流されていく中で、底泥の酸素消費により貧酸素化していくという過程が示されていると考えられます。

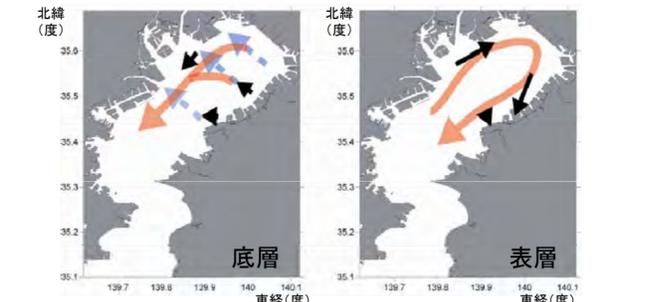


図-10 流れの様相(左図:底層,右図:表層,黒矢印:実測された流れ,青矢印:密度流から推定される流れ,赤矢印:総合的に推定された湾内循環流)

## (5) 2003年の水生生物の大量死

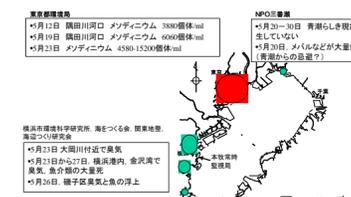


図-13 生物大量死の経緯



野島海岸(アカエイ、死後数日経過) 横浜市環境科学研究所水尾氏撮影

2003年5月末に東京湾西岸の横浜を中心として、水生生物の大量死が発生しました。その原因を探るために開催されたワークショップでの議論によると、以下のような内湾域におけるイベントの連鎖的な発生機構が着目されました。①Mesodinium rubrumによる赤潮が移流していく過程で沈降分解し、②中層水塊の貧酸素化を引き起こし、③貧酸素水塊が岸寄りに移流され生物の大量死に連鎖した可能性が示されたのです。

こうした広域の連鎖反応を伴う現象については、観測とモデルを組み合わせたモニタリングが必要であり、有効であると考えられます(図-13: 古川・中山・水尾: 2003年東京湾に発生した絨毛中Mesodinium rubrumによる赤潮と水生生物大量死の連鎖に関する調査事例、日本沿岸域学会誌, Vol.18, No.4, pp. 67-77, 2006)。



夏島岸壁(草ブク、腐敗で腹部膨張、IS匹) 横浜市環境科学研究所水尾氏撮影

こうした貧酸素水塊の発生と湾内の循環の関連性が示唆されたので、湾域全体の貧酸素化傾向をシミュレートするモデルを構築し、その支配要因を探ったところ、第一に気象条件、第二に河川流量、第三に水温と日照が支配的でありました。すなわち、マクロな目で貧酸素水塊の発生を見た場合、局所的な酸素供給や栄養塩の過剰よりも、湾内循環を左右する風や成層場の構造の方が支配的であることが示唆されたのです(図-14)。

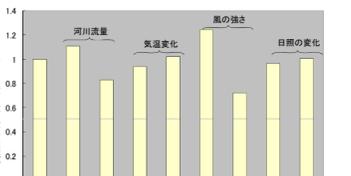


図-14 貧酸素水塊の支配要因の検証

すなわち、東京湾においては、風と淡水流入が湾内の成層化を促し、気温や日照は補助的にそうした成層化と循環を助けているということが推察されます。したがって、貧酸素化の根本解決に向けては、湾内のエスチュアリー循環の強化が必要であり、その循環の機動力になる淡水の供給場としての汽水域の再生が重要であると考えられます。(Furukawa & Ishii: Collaborative bay watch program - Monitoring and Modelling of AOSHIO - Techno Ocean Network, OTO'04, pp.1781-1786, 2004)。

## (7) 棲み処(すみか)づくりのヒント

第9回の東京湾シンポジウムでは、4名のパネリストをお迎えして、「場の理解と生き物の棲み処づくり」について、議論をいたしました。以下の提言は、各パネリストからのご意見の抜粋です。

異業種が交わって交流することが大事です

行政	1970年代	1980年代	1990年代	2000年代	2003年
研究	○	○	○	○	○
市民	×	○	○	○	○
企業	×	×	○	○	○
NGO	×	×	○	○	○
市民参加型ステークホルダー(例:市民, 表現者)	×	×	×	○	○

ラムサールセンター会長 安藤氏(東京農業大学農学部准教授) > ラムサールセンターでは「子どもラムサール」で子どもの環境教育をしていますが、ラムサールセンターだけではできません。ラムサールセンターは中国やインドに行つて国際交流するのは得意です。子どもは学校にいますが、学校に子どもの派遣を頼んでも、ノーです。行政を介し、湿地管理者の行政が協力してくれることや、スポンサーも必要です。ネットワークを持つNGOと、子ども教育のプロが必要です。つまり、異業種が交わって初めて交流ができます。これが大事です。

青潮の元となる貧酸素水塊は肥沃な海水でもあるのです



<東京湾漁業研究所長 土屋氏> 発生した青潮は、硫黄分が酸素と触れ青く光ります。元は窒素とリンを含む肥沃な海水ですから、酸素があると翌日には赤潮になります。事実、現場に行くと、青潮と赤潮の場所が海上に点々とあります。今年のように1週間も青潮が続くのは同じ風が常時吹いて、下から貧酸素水塊が供給されていたのです。風が止まれば、翌日には赤潮になるはずですが、青潮の水がほしいという研究者がおり、ポリビンに入れて郵送したのですが、赤潮になっていた事例もあります。

循環を意識した生き物に必要な場づくりが大切です



<東京都し農林水産総合センター振興企画室 小泉氏> バケツに水を溜めておくとかボウフラが発生します。生き物に必要なもの・場所を考慮して提供すれば生き物も自然と増えます。東京湾は汚濁負荷が減ったとしても海底に溜まっているものがあり、貧酸素を引き起こすような悪さをしています。生き物が健全な循環の中で生きていける場づくりに取り組んでほしいです。

方向性を持って皆で進めればよいと考えています



<よこすか海の市民会議 渡辺氏> 自然再生活動は行政に全てを任せるのではなく、市民が加わって役割分担と連携を進めながら実施することを望みます。強いかく乱圧力のある自然の海の中のことですから、再生の最終目標を単刀直入に追求することは難しいですが、マソメントも含め方向性を持って皆で進めればよいと考えています。市民活動は制約が強いですが、自由な面もあります。子どもの活動を温かく見守っていただきますよう、よろしくお願いたします。