

東京都内湾の底層の貧酸素化に関する研究

森 真 朗 安 藤 晴 夫 曾 田 京 三*
 (*現多摩環境保全事務所)

要 旨

東京都内湾の底層の貧酸素化現象を解明するため、東京都内湾の水質調査及び底泥と海水の溶存酸素消費速度の測定を行った。その結果、次のようなことが明らかになった。① 東京都内湾では、夏季を中心として底層に溶存酸素量 0.5 mg/ℓ 以下の貧酸素水塊が広い範囲に形成され、生物の生息が極めて困難になる。② 東京都内湾の底泥の溶存酸素消費速度は、0.19~1.48 g/m²/日である。③ 底層の貧酸素化には、海水による溶存酸素消費も底泥による消費と同様、少なからぬ役割を果たしている。④ 東京都内湾を多様な生物が生息する健全な海にするためには、底層の貧酸素化の防止が必要である。

A Study on the Dissolved Oxygen Deficient Water Mass at the Bottom Layer in the Inner Area of Tokyo Bay

Masaaki Mori, Haruo Ando and
 Kyouzou Soda*

*Tama Environmental Protection Office

Summary

To clarify the formation mechanism of dissolved oxygen deficient water mass at the bottom layer in the inner area of Tokyo Bay, the water quality using a multi-parameter water quality logging system was examined and the rates of oxygen consumption by bottom sediments and sea waters were measured in this area.

The following results were obtained : ① In summer, a dissolved oxygen deficient water mass (<0.5 mg/ℓ · O₂) was widely formed at the bottom layer of this area. The aquatic environment of this area was considered to be very severe for aquatic organisms. ② The rates of oxygen consumption by bottom sediments ranged between 0.19 and 1.48 g/m²/day. ③ The oxygen consumption by sea water took an important role in the formation of dissolved oxygen deficient water mass as well as that by bottom sediments. ④ It is very important to prevent the formation of dissolved oxygen deficient water mass at the bottom layer in the inner area of Tokyo Bay for making environmental conditions which are suitable for aquatic organisms.

1 はじめに

東京都内湾では、水質汚濁にともない、成層期には底層に貧(無)酸素水塊が慢性的に形成される。底層の貧酸素化は、魚貝類その他底生生物の生息環境を悪化させ

るばかりでなく、海域の富栄養化の原因となる有機性汚濁物質や栄養塩類、特に磷の底泥からの溶出を促進する¹⁾。東京都内湾の底層の貧酸素化は、底泥及び海水の溶存酸素消費に起因すると考えられるが、その実態、特に

底泥及び海水の溶存酸素消費速度等は明らかになっていない。

東京都環境科学研究所は、東京湾の環境問題の解決に向け、東京都、千葉県、神奈川県の一都二県の共同調査結果をとりまとめた「東京湾の水質環境に関する研究」²⁻⁴⁾や「東京港の水質に関する調査」⁵⁾、「東京湾の富栄養化に関する研究」⁶⁻¹⁰⁾、「東京湾水質データの統計解析」^{17,18)}、「東京都内湾の底質が水質等に与える影響に関する調査」^{11,18-20)}など、これまで多岐にわたる研究を行ってきた。

本研究は、そうした研究の一環として、東京都内湾の底層の貧酸素化現象解明の一助とするため、夏季（成層期）と冬季（循環期）の同海域の溶存酸素垂直分布及び底泥と海水の溶存酸素消費速度等を明らかにすることを試みたものである。

2 方法

(1) 水質調査

ア 調査地点及び調査月日

調査地点は、図1に示す中央防波堤地先海域の11地点である。調査は平成6年8月28日及び9月30日、平成7年1月10日の3回実施した。

イ 調査方法

測定位置の確認にはGPS（GLOBAL POSITIONING SYSTEM、SONY製 PYXIS）を用い、各測定地点を定めた。

各測定地点で、水質記録計（GRANT/YSI 3800 WATER QUALITY LOGGER）を船上から降下し、水深方向に向かってほぼ2mピッチで、溶存酸素量、pH、水温、塩分、水深を自動的に測定した。

(2) 底泥の溶存酸素消費実験

ア 採泥地点及び採泥月日

底泥は図2に示す10地点で採取した。採泥は、St. 1～5の5地点は平成3年2月1～2日、St. 6～10の5地点は平成3年10月29～30日に実施した。

イ 採泥方法

底泥はダイバーにより透明円筒アクリル製コアサンプラー（20cmφ×100cm）を海底に突きさし、サンプラーの上下の蓋を閉め、それを船上に引き上げるにより採取した。

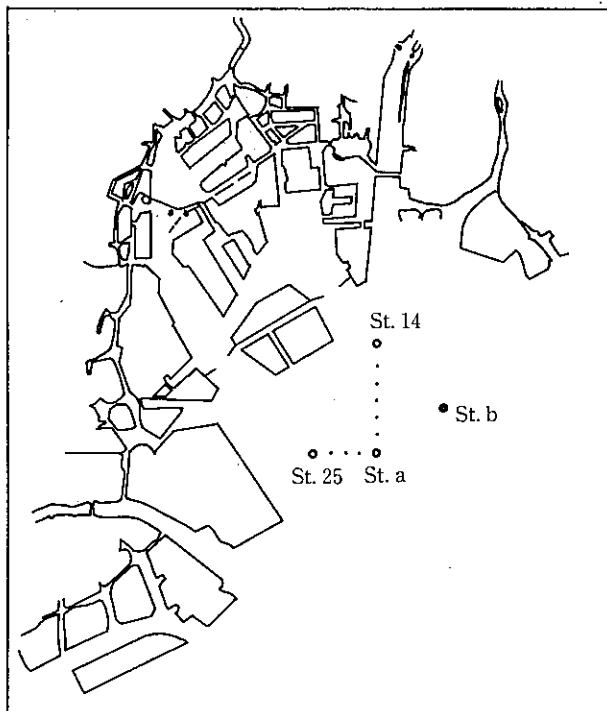


図1 水質調査及び海水採取地点

注：St.25, St.14は、水質調査及び溶存酸素消費実験地点
St. b は、溶存酸素消費実験地点
St. a 及び他は、水質調査地点

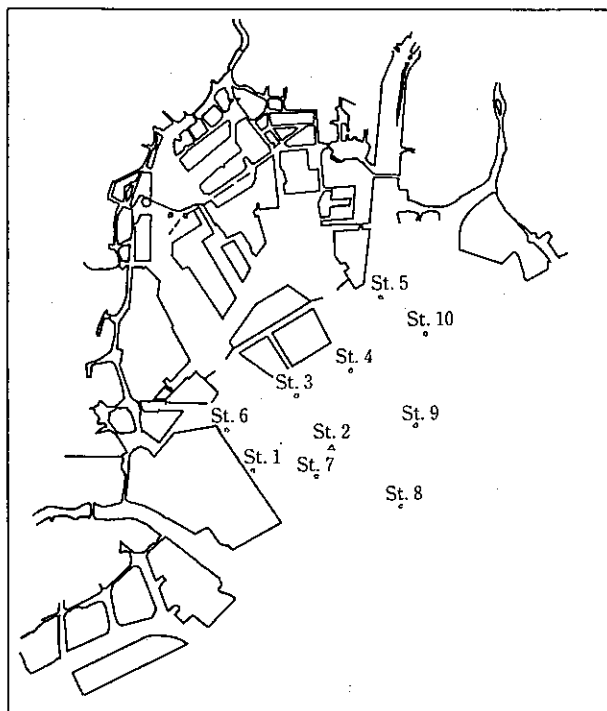


図2 底泥採取地点

ウ 溶存酸素消費実験の装置及び方法

採泥後速やかに、採泥に使用したコアサンプラーを用いて、図3に示すような溶存酸素消費実験装置を作製した。泥厚は表層から20~30cmとした。実験装置は25℃の恒温室内に置き、装置内の底泥直上水の溶存酸素量を0、0.5、1、2、3、5、7日目に測定した。なお、直上水は、エアレーションにより事前に曝気した後、実験を開始した。溶存酸素量の測定は、日本工業規格K.0102 32.1に掲げる方法で行った。

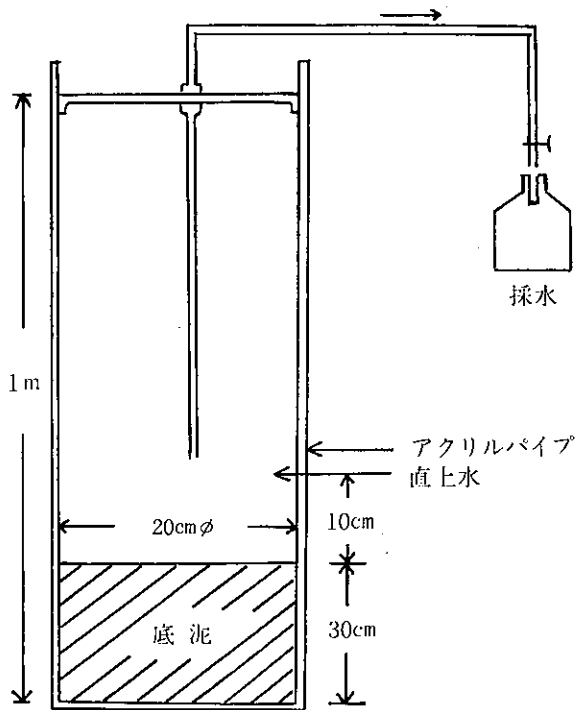


図3 底泥の溶存酸素消費実験装置

表1 採水日

採水地点	採水日
St. b	平成5年8月5日
St. 14	平成6年8月30日
	平成6年9月27日
	平成7年1月10日
St. 25	平成5年8月5日
	平成5年8月30日
	平成6年8月30日
	平成6年9月27日
	平成7年1月10日

エ 底質分析

採泥地点の底質の有機汚染程度を把握するため、底泥を「底質調査方法について(昭和50年10月28日、環水管第120号)昭和63年9月8日改訂」に掲げる方法により分析した。

(3) 海水の溶存酸素消費実験

ア 採水地点及び採水月日

採水は、図1に示す3地点(St.b, St.14, St.25)で、表1に示すとおり、平成5年8月から平成7年1月にかけて行った。

イ 採水方法

バンドン式採水器を用い、表層、中層、下層の3層で採水した。

ウ 溶存酸素消費実験の方法

各地点の各層で採取した海水は、10ℓ容ポリ容器に入れ実験室に運び、直ちに102ml容ガラス瓶(BOD孵卵瓶)に分取し、それを20℃に設定した恒温室内に静置した。恒温室は、植物プランクトン等による光合成の影響を除外するため、遮光した。ガラス瓶は、0~7日目に1本ずつ取り出し、溶存酸素計(YSI D.O.メーターMODEL 58)を用いて溶存酸素量を測定した。なお、8、9月に下層から採取した試料は、エアレーションにより3時間程度曝気し、酸素を補った後、実験を行った。

エ SS及びクロロフィルaの測定

平成6年度に採水した海水(St.14, St.25)については、層別にSS及びクロロフィルaを測定した。SSは昭和46年環境庁告示59号に掲げる方法、クロロフィルaは西條²¹⁾にしたがいParsons and Stricklandの方法で測定を行った。

3 結果

(1) 水質調査結果

St.25、St. a、St.14の8月と9月の溶存酸素量、pH、水温、塩分の水深別分布を一括して図4に示す。

8月は、溶存酸素量は3地点とも表層で10mg/ℓ以上あったが、水深が増すにつれ低下し、St.25及びSt. aでは水深13m以深で0.5 mg/ℓ以下であった。9月は、St. 25及びSt. aでは上層から下層にわたって水温の変化は小さかったが、溶存酸素量は水深5m付近で急激に減少し、塩分は急激に増加していた。

1月は、3地点とも上層から下層まで各水質項目に変

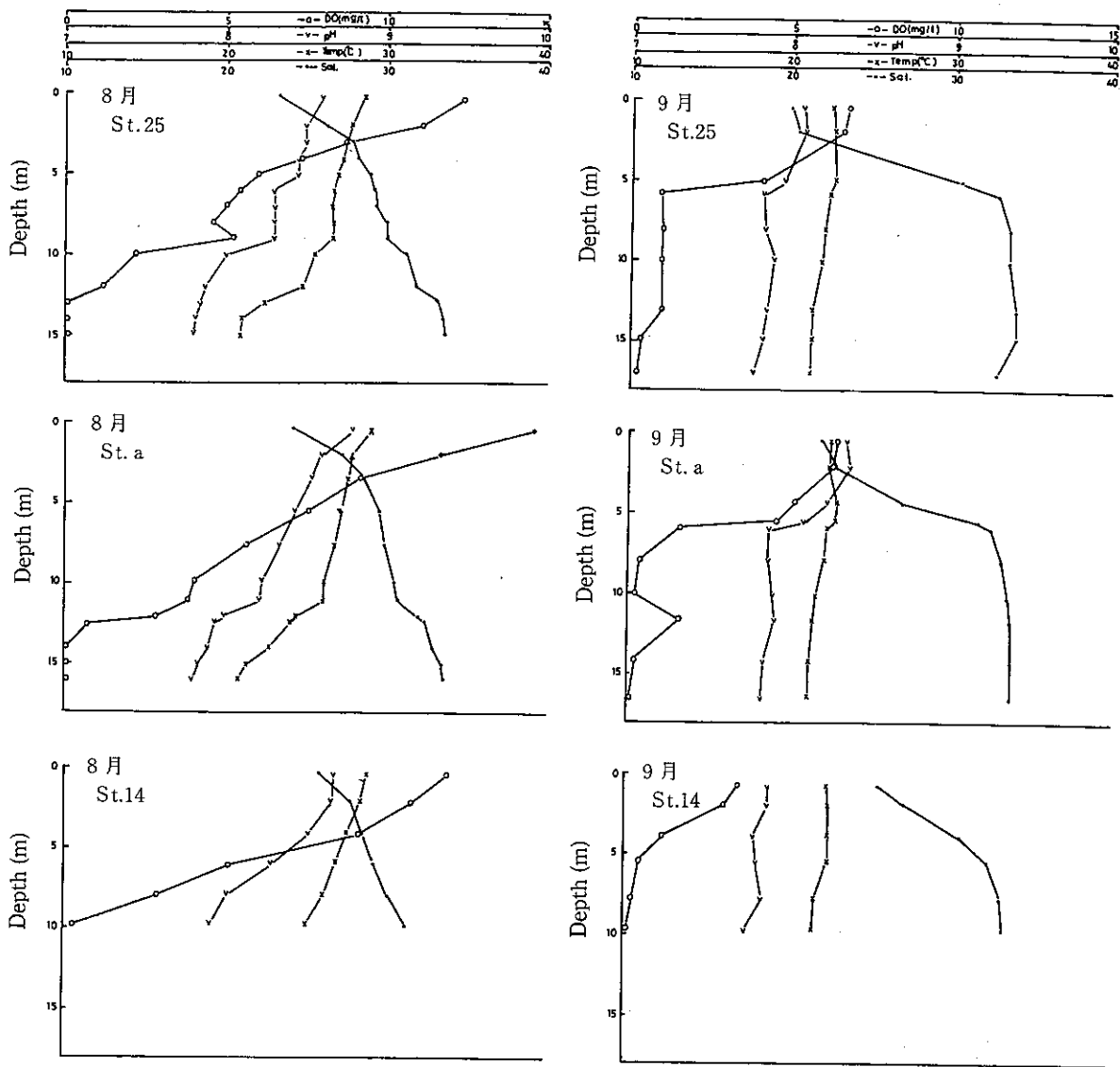


図4 8月及び9月の水質調査結果

化は認められなかった。

全測定地点の溶存酸素量測定データをもとに、St. 25 - St. a - St. 14 を結ぶ線を垂直面で切った場合の溶存酸素量分布断面を、8月については図5に、9月については図6に示す。

8月は、海底上2～3mの溶存酸素量は0.5 mg/l以下であり、溶存酸素量3 mg/lの線は水深10m付近に描けた。表層は溶存酸素量12mg/l以上で、過飽和の状態であった。

9月は、St. 25-St. aにかけて、水深10～15m付近に溶存酸素量0.5～1.0 mg/lの水塊が進入し、やや複雑な分布を示したものの、St. a-St. 14の海底上約5mの溶存酸素量は0.5 mg/l以下であった。また、溶存酸素

量3 mg/lの線は水深5m付近に描けた。

なお、1月は、成層構造は無く、上層から下層まで溶存酸素量は豊富であった。

(2) 底泥の溶存酸素消費実験結果

底泥による溶存酸素消費速度は、次式に基づいて求めた。

$$Q \text{ (mg/m}^2\text{)} = \frac{\{V - v(n-1)\} \times (C_0 - C_n)}{S}$$

$$R \text{ (mg/m}^2\text{/日)} = \frac{dQ}{dt}$$

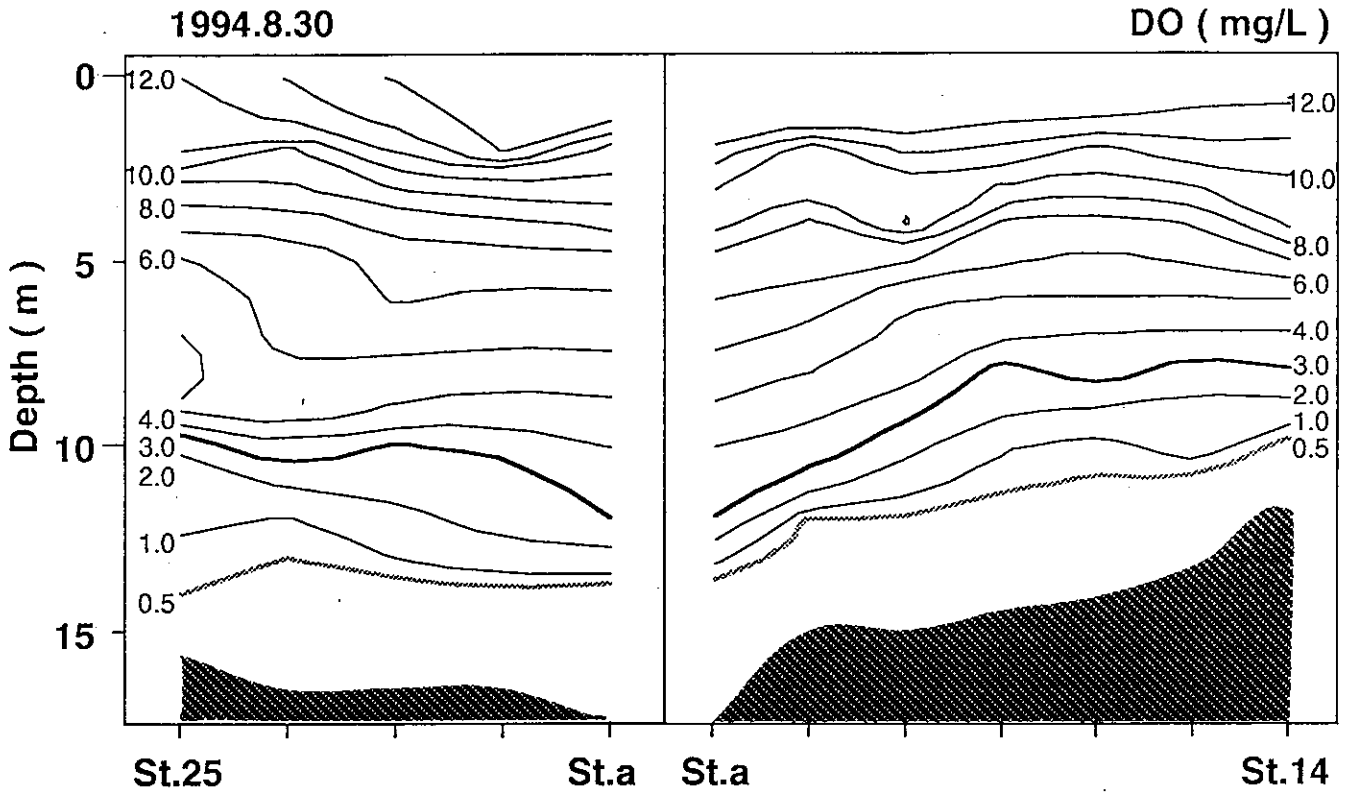


図5 8月の溶存酸素量垂直分布図

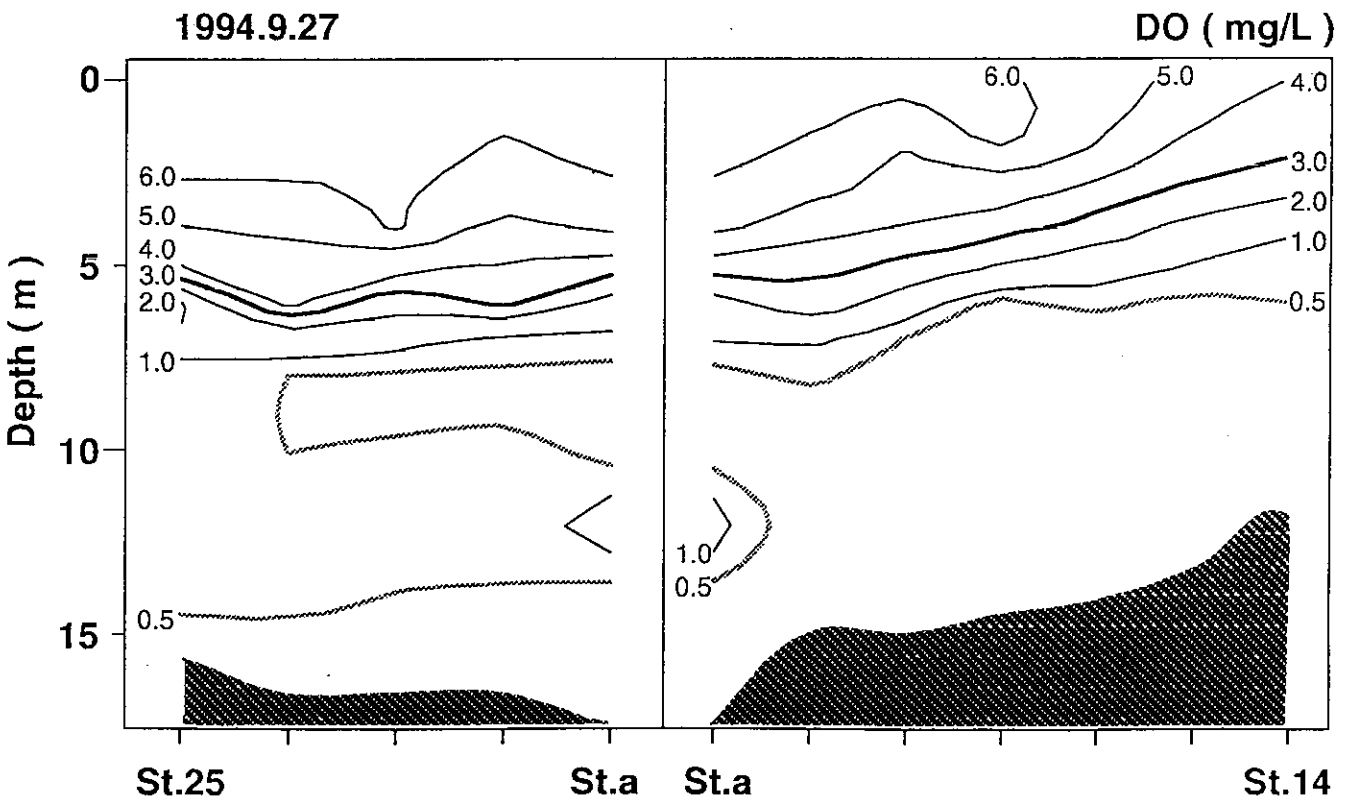


図6 9月の溶存酸素量垂直分布図

Q : 溶存酸素消費量 (mg/m²)
 V : 最初の水量 (ℓ)
 v : 採取水量 (0.15 ℓ)
 C₀ : 溶存酸素初期濃度 (mg/ℓ)
 C_n : n 回目採取時の溶存酸素濃度 (mg/ℓ)
 S : 底泥表面積 (0.0268m²)
 R : 溶存酸素消費速度 (mg/m²/日)
 t : 時間 (日)

DO : 溶存酸素濃度 (g/m³)
 t : 時間 (日)

各地点、各回、各層毎の海水による溶存酸素消費速度は表 4 に示すとおりである。

表 4 海水による溶存酸素消費速度
(単位: g/m³/日)

St. No.	採水日	上層	中層	下層
b	5.8.05	2.52	1.14	0.27
14	6.8.30	0.92	0.31	0.60
14	6.9.27	0.24	0.16	0.23
14	7.1.10	0.11	0.10	0.09
25	5.8.05	1.25	1.03	0.31
25	5.8.30	0.65	0.81	0.21
25	6.8.30	0.98	0.33	0.47
25	6.9.27	0.89	0.13	0.10
25	7.1.10	0.11	0.12	0.12

平成 3 年 2 月に採泥した各地点 (St.1~5) の底泥による溶存酸素消費速度を、底質の COD 及び硫化物の分析結果とあわせて表 2 に、同じく平成 3 年 10 月に採泥した各地点 (St.6 ~10) の分析結果を表 3 に示す。

表 2 底泥の溶存酸素消費速度及び COD, 硫化物測定結果 (平成 3 年 2 月)

St. No	溶存酸素消費速度 (g/m ² /日)	COD (mg/g)	硫化物 (mg/g)
1	1.22	20.6	0.85
2	1.24	34.4	1.62
3	1.48	38.2	2.66
4	1.39	31.1	1.56
5	1.19	27.5	1.98

表 3 底泥の溶存酸素消費速度及び COD, 硫化物測定結果 (平成 3 年 10 月)

St. No	溶存酸素消費速度 (g/m ² /日)	COD (mg/g)	硫化物 (mg/g)
6	0.73	13.6	0.38
7	0.19	34.5	2.95
8	0.41	28.6	1.14
9	0.22	35.6	2.14
10	0.25	25.3	2.54

底泥による溶存酸素消費速度は、2 月は 1.19~1.48 g/m²/日、10 月は 0.19~0.73 g/m²/日であった。

(3) 海水の溶存酸素消費実験結果

溶存酸素消費速度は、溶存酸素濃度を縦軸に、経過時間を横軸にとり、測定値をプロットして得られる一回帰直線の傾き、すなわち次式に基づいて求めた。

$$V = -d DO / d t$$

V : 溶存酸素消費速度 (g/m²/日)

8, 9 月の夏季の溶存酸素消費速度を層別にみると、上層は 0.24~2.52 g/m³/日、平均値 1.06 g/m³/日、中層は 0.13~1.14 g/m³/日、平均値 0.55 g/m³/日、下層は 0.10~0.60 g/m³/日、平均値 0.31 g/m³/日であり、上層>中層>下層という傾向が認められた。

1 月の溶存酸素消費速度は、0.09~0.12 g/m³/日と小さく、層別にみてもほとんど変化はなかった。

平成 6 年度に実施した St.14 及び St.25 の S S 及びクロロフィル a の測定結果は表 5 に示すとおりである。8 月及び 9 月の上層の S S 及びクロロフィル a の値は両地点とも大きく、8 月の St.14、25、9 月の St.25 では、東京都内湾の赤潮判定基準の 1 つの目安 (クロロフィル a 50mg/m³) を越えていた。一方、1 月は、両地点、各層とも S S 及びクロロフィル a の値は小さかった。

4 考 察

(1) 東京都内湾の溶存酸素濃度分布

東京湾のような閉鎖性水域における貧酸素水塊の発生には、高水温期の海水の成層が深く関わっている。

東京都内湾の上・下層の海水の密度差を調べた例では、下層の密度が上層に比べて十分大きい、いわゆる成層期と、上・下層の密度がほぼ等しいか逆転する、いわゆる循環期が、規則的な周年変動を示しており、6~10 月には密度差が大きくなり、成層がみられる¹⁷⁾。

表5 SS及びクロロフィルa測定結果

St. No.	月	採水層	SS(mg/ℓ)	クロロフィルa(mg/m ³)
14	8	上層	7.9	53.1
		中層	3.4	10.4
		下層	5.4	29.3
	9	上層	6.1	17.4
		中層	4.7	3.1
		下層	5.3	3.7
	1	上層	2.9	3.0
		中層	2.7	3.1
		下層	2.1	3.6
25	8	上層	7.7	53.5
		中層	2.7	8.9
		下層	7.9	38.2
	9	上層	10.7	106.0
		中層	5.1	3.5
		下層	4.7	1.7
	1	上層	4.0	2.1
		中層	3.8	1.3
		下層	3.7	0.7

図4に示す9月のSt.25及びSt. aの水質測定結果をみると、水深5m以深に低溶存酸素量、高塩分の水塊の存在がうかがえる。東京内湾底層における局所的な貧酸素水塊の存在は、昭和4年に行われた神戸海洋気象台の調査においてすでに明らかにされている²²⁾。また、東京都水産試験場は1956年5月以降、東京都内湾の赤潮の構成生物・出現状況・発生区域等及び水産生物の被害原因について調査を行い、夏季に起こる貝類の斃死前に、高塩分、低水温、低溶存酸素量の水塊が底層を覆うことを報告している²³⁾。このように、夏季、東京湾湾奥部の底層には貧酸素水が存在し、そのことはかなり昔から知られ、問題視されていた。

今回の調査では、図5、6に示すように、8、9月には海底上2～3mは広い範囲で溶存酸素量0.5mg/ℓ以下の層に覆われていた。また、8月には、ほぼ10m以深が、9月には、ほぼ5m以深が溶存酸素量3mg/ℓ以下であった。平成5年度公共用水域の水質測定結果(資料編)²⁴⁾をもとに、平成5年7月の東京都内湾底層の溶存酸素量水平分布を示すと図7のとおりである。生物の生存に必要な溶存酸素量は、種によって異なるが、概ね2～3mg/ℓ(約3～4mg/ℓ)である²⁵⁾。前年の7月のデータではあるものの、図7の結果も併せて考えると、

この時期の東京都内湾は、海の中層及び下層を生息の場とする生物にとって、極めて厳しい生息環境にあったと推測できる。

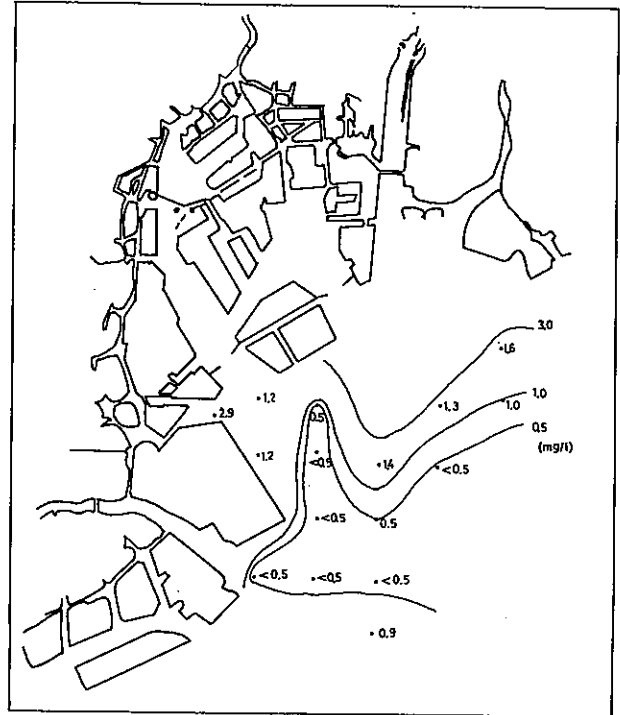


図7 底層溶存酸素量水平分布 (平成5年7月)

以上のように、東京湾の湾奥部では、夏季を中心として底層に貧(無)酸素水塊が広い範囲で形成され、生物が生息できない海底環境であることが本研究の結果からも明らかになった。

(2) 底層の貧酸素化

閉鎖性水域の底層水の貧酸素化は、底泥及び海水中に分布する有機物の好氣的分解により進行すると考えられる。本研究では、東京都内湾の底層水の貧酸素化のメカニズムを把握するため、底泥及び海水の溶存酸素消費速度を測定した。

ア. 底泥による溶存酸素消費

底泥の溶存酸素消費速度は、表2及び表3に示すように、循環期の2月は1.19～1.48g/m²/日、成層期の10月は0.19～0.73g/m²/日で、時期及び地点による差が比較的大きかった。

環境庁が実施した青潮発生機構解明調査²⁵⁾(以下、「環境庁調査」という。)によれば、千葉県姉崎と神奈川県川崎を結ぶ線以北の東京湾湾奥中央部に設定した12

測点の底泥の溶存酸素消費速度は0.83~6.34 g/m²/日、平均2.57 g/m²/日で、千葉市花見川前面の浚渫跡地が最も大きかった。このほか、燧灘の現場測定結果では、底質と海底直上水（厚さ数10cm）を含む底層環境の溶存酸素消費速度として0.41~0.95 g/m²/日²⁶⁾が、また瀬戸内海（大阪湾、播磨灘、燧灘、広島湾、伊予灘及び周防灘）の夏季における底質の溶存酸素消費速度として0.51~1.85 g/m²/日²⁷⁾が報告されている。

東京湾湾奥部の底泥による溶存酸素消費速度は、時期及び地点により差はあるものの、本調査では瀬戸内海と同程度であり、環境庁調査ではこれを上回っていることから、一般の水域より大きいと言える。

底泥の溶存酸素消費速度測定実験に用いた底泥採取地点の底質COD及び全硫化物の濃度は、表2及び表3に示すとおりである。海域の栄養階級区分によると、腐水域に区分される底質はCOD30mg/g以上、硫化物1.0 mg/g以上である²⁸⁾。この区分を当てはめると、採泥地点の多くは腐水域とみなすことができる。

イ、海水による溶存酸素消費

夏季の海水の溶存酸素消費速度の平均値を層別に比べると、上層1.06 g/m²/日、中層0.55 g/m²/日、下層0.31 g/m²/日で、上層の溶存酸素消費速度が大きかった。これは表4に示したSS及びクロロフィルaの値からも分かるように、上層ほど未分解の有機物が多いこと等が原因と考えられる。

環境庁調査²⁹⁾では、12測点のうち6測点で海水（下層）の溶存酸素消費速度が測定されている。それによると、6測点の平均は0.37 g/m²/日で、今回の下層の平均値と近い値であった。

ここで、東京湾湾奥部を代表する地点として、昔からしばしば用いられている東京燈標付近のSt.25の8、9月のデータについて、有光層を5m、海水の流動は全くないと仮定し、中層と下層の海水の溶存酸素消費速度を平均して、単位水柱（底面積1m²）当たりの溶存酸素消費量を次式により計算すると、表6に示すとおり、平均4.66 g/日である。

単位水柱当たり溶存酸素消費量 = (全水深 - 5m) × 水柱底面積 (1m²) × 溶存酸素消費速度の中層、下層平均値

表6 St.25における夏季の単位水柱* 当たり溶存酸素消費量 (g/日)

採水月日	溶存酸素消費量
5.8.05	7.37
5.8.30	5.61
6.8.30	4.40
6.9.27	1.26
平均	4.66

*底面積1m²の四角柱

St.25（底泥採取地点St.2付近）の底泥の1m²当たりの溶存酸素消費量は、表2から、1.24 g/日である。

環境庁調査²⁹⁾では、千葉県袖ヶ浦と多摩川河口を結ぶ線以北の海域の水深5m以深の面積を3.57×10⁸m²、体積を3.36×10⁹m³とし、調査から得られた底泥、海水の溶存酸素消費速度をもとに、東京湾湾奥部における底泥による酸素消費量を9.17×10⁸g/日、海水によるそれを1.26×10⁹g/日と試算し、海水中のCOD物質に代表される成分の酸素消費の役割が、底泥による酸素消費と同様に大きいことを明らかにしている。本調査においても、底層水の溶存酸素消費に係る海水の寄与が、底泥と同様に大きいとの結果となっている。

以上のように、東京都内湾では、夏季の成層期を中心として底層に貧酸素水塊が形成されていること、底層水の貧酸素化には、底泥による溶存酸素消費とともに、中、下層海水中の有機物の分解に伴う溶存酸素消費も、少なからぬ寄与をしていること、等が明らかになった。

底層水の貧酸素化は、海の中、下層を生活の場とする生物の生存を危うくするばかりでなく、底泥からの磷等の栄養塩類の溶出を促進する。多様な生物が息する健全な海を創造するには、底層水の貧酸素化の防止が必要である。それには、陸域から東京湾に流入する有機物（COD物質）及び窒素・磷等の栄養塩類の流入削減を図るとともに、海水の自然浄化機能を有する干潟・浅瀬・藻場の保全及び造成、エアレーション効果のある護岸構造への改善等の施策を、現在以上に推進していく必要がある。

5 まとめ

東京都内湾における底層の貧酸素化現象の解明を試み、

以下の点を明らかにした。

- ① 夏季と冬季に水質調査を実施した結果、東京都内湾には夏季を中心として底層に溶存酸素量 $0.5\text{mg}/\ell$ 以下の貧酸素水塊が広い範囲に形成され、生物の生息が極めて困難になると考えられた。
- ② 2月に5地点、10月に5地点で底泥を採取し、底泥による溶存酸素消費速度の測定及び底質の分析を行った。2月の底泥による溶存酸素消費速度は $1.19\sim 1.48\text{g}/\text{m}^2/\text{日}$ 、10月のそれは $0.19\sim 0.73\text{g}/\text{m}^2/\text{日}$ であった。
- ③ 海水による溶存酸素消費速度の測定を行い、それが底泥による溶存酸素消費と同様、底層の貧酸素化に少なからぬ役割を果たしていることを明らかにした。
- ④ 多様な生物が生息する健全な海を創造するには、底層水の貧酸素化の防止が必要であり、そのための施策を列挙した。

参考文献

- 1) 曾田京三、安藤晴夫：東京都内湾の底質が水質等に与える影響に関する調査結果について（その3）、東京都環境科学研究所年報1993、P. 95~99 (1994)。
- 2) 古井戸良雄ら：東京湾の総合調査（一都二県共同調査）、東京都公害研究所年報1973、P. 115~124 (1973)。
- 3) 古井戸良雄ら：東京湾の水質環境（1都2県共同調査）、東京都公害研究所年報1974、P. 67~79(1974)。
- 4) 江角比出郎ら：東京湾の水質環境、東京都公害研究所年報1975、P. 121~131 (1975)。
- 5) 江角比出郎、曾田京三：東京港の水質、東京都公害研究所年報1980、P. 93~101 (1980)。
- 6) 曾田京三ら：東京湾の富栄養化に関する研究（その1）、東京都公害研究所年報1984、P. 89~94(1984)。
- 7) 安藤晴夫ら：東京湾の富栄養化に関する研究—そのII—、東京都環境科学研究所年報1985、P. 109~120 (1984)。
- 8) 安藤晴夫ら：東京湾の富栄養化に関する研究 そのIII、東京都環境科学研究所年報1986、P. 69~80 (1986)。
- 9) 安藤晴夫、曾田京三：東京湾の富栄養化に関する研究（その4）生態系モデル内の係数に関する数値実験について、東京都環境科学研究所年報1987、P. 101~112 (1986)。
- 10) 曾田京三、安藤晴夫：東京湾の富栄養化に関する研究（その5）底質からの栄養塩類等の溶出実験の結果について、東京都環境科学研究所年報1988、P. 81~83 (1987)。
- 11) 安藤晴夫、曾田京三：東京湾の富栄養化機構の研究（その6）負荷量削減に関する数値実験、東京都環境科学研究所年報1989、P. 115~121 (1988)。
- 12) 曾田京三、安藤晴夫：東京湾における植物プランクトン等の元素組成の測定結果について、東京都環境科学研究所年報1989、P. 149~151 (1988)。
- 13) 安藤晴夫、曾田京三：東京湾の富栄養化機構の研究（その7）閉鎖性海域の海水交換に関する数値実験、東京都環境科学研究所年報1990、P. 87~91 (1989)。
- 14) 安藤晴夫：東京湾の富栄養化機構の研究（その8）水質測定データ共通ファイルの作成、東京都環境科学研究所年報1990、P. 118~119 (1989)。
- 15) 曾田京三、安藤晴夫：東京湾の富栄養化機構の研究（その9）富栄養化水質予測モデルの作成とその利用例及び今後の課題、東京都環境科学研究所年報1990、P. 105~110 (1990)。
- 16) 安藤晴夫、曾田京三：東京湾の富栄養化機構の研究（その10）水質変動要因に関する解析、東京都環境科学研究所年報1991、P. 111~118 (1990)。
- 17) 安藤晴夫、鳴津暉之：東京湾水質データの統計解析（その1）、東京都環境科学研究所年報1991、P. 119~128 (1990)。
- 18) 鳴津暉之、安藤晴夫：東京湾水質データの統計解析（その2）、東京都環境科学研究所年報1991、P. 129~140 (1990)。
- 19) 曾田京三、安藤晴夫：東京都内湾の底質が水質等に与える影響に関する調査結果について、東京都環境科学研究所年報1991-2、P. 135~137 (1991)。
- 20) 曾田京三、安藤晴夫：東京都内湾の底質が水質等に与える影響に関する調査結果について（その2）、東京都環境科学研究所年報1992、P. 120~122 (1992)。
- 21) 西條八束：クロロフィルの測定法、日本陸水学会誌、36、3、P. 103~109 (1975)。
- 22) 東京都内湾漁業興亡史刊行会：東京都内湾漁業興亡史、P. 178~179 (1971)。
- 23) 東京都水産試験場：東京都内湾における赤潮について

- て 第1報、東京都水産試験場調査研究要報、12、
(1958)。
- 24) 東京都環境保全局水質保全部：平成5年度公共用水域の水質測定結果（資料編）（1994）。
- 25) 環境庁水質保全局：平成3年度青潮発生機構解明調査、p.1～35（1992）。
- 26) 星加 章ら：燧灘海域の底層環境における酸素消費速度、水質汚濁研究、14、7、P. 430～432（1989）。
- 27) 星加 章：原位置における溶存酸素消費速度の測定 1981年度日本海洋学会秋季大会要旨集 262（1981）。
- 28) 吉田陽一：漁場環境アセスメント（日本水産学会監修、吉田多摩夫編）、恒星社厚生閣（1983）。