

東京内湾域における貧酸素水の季節的消長

山田佳昭

Seasonal rise and fall of oxygen - deficient water
at shallow region in Tokyo Bay

Yoshiaki YAMADA

A B S T R A C T

The dissolved oxygen were measured every month at shallow region in Tokyo Bay. At the surface, maximums in May or July and minimums in December are observed. The values are maximal in February or March and minimal in August or September at the deep than 10 meters. Most of the oxygen-deficient water in the bottom layer occur from July to September. In these month, stratifications of water temperature and salinity develop. Dissolved oxygen shows complicated vertical distribution in comparison with these. The existence of the oxygen-deficient water which have the core at middle layer were found in summer.

はじめに

集水域に大都市を抱え、海水交換率の低い閉鎖性海域では、人間諸活動に伴う排水の流入とその滞留によって、富栄養化と有機汚濁の進行が起こりやすい。そしてこれらは、赤潮の発生等藻類の大量増殖や、貧酸素水塊及び青潮の発生等水中の溶存酸素の低下を引き起こし、魚介類の種の変化やへい死、あるいは漁場の変化という形で漁業に影響を与えるのみならず、悪臭の発生や景観の悪化等により住民の生活空間としての評価を低下させることが知られている（環境庁水質保全局 1990）

わが国における代表的な閉鎖性海域の1つである東京湾も例外ではなく、春季から秋季にかけての赤潮の発生、貧酸素水塊の形成と湾奥部での青潮の発生がみられる。

この海域での漁場環境を考える上で、特に溶存酸素の低下による貧酸素水塊や青潮については、海水中に存在する酸素が魚介類の生存に不可欠であり、その量の多少はこれら生物の生活に密接にかかわる（風呂田 1991）ことから、その消長及び水生生物ひいては海域生態系に対する影響を把握することが重要である。

その一助としてここでは、当水産試験場での東京湾を

対象とした海洋調査の内最もデータの蓄積がある、毎月1回の頻度で定点を設けて実施している定線観測の結果を基に、溶存酸素量の変動について考察し、若干の知見が得られたので報告する。

材料及び方法

各月ごとに行われている定線観測の結果のうち、観音崎と富津岬を結ぶ線以北の東京内湾域の定点（図1）について、1966年以降の測定値を使用した。対象とした各定点の水深及び採水による観測層については表1の通りである。

溶存酸素量の測定は、1990年3月までは採水の上ウィンクラー・アジ化ナトリウム変法で、1990年4月以降はSealogger CTD（SBE社製、Model SBE-25）を用いて行った。

結果と考察

溶存酸素量の経月変化

各定点における溶存酸素量の月ごとの変化を図2に示す。これらは1966年1月から1989年12月までの測定値を

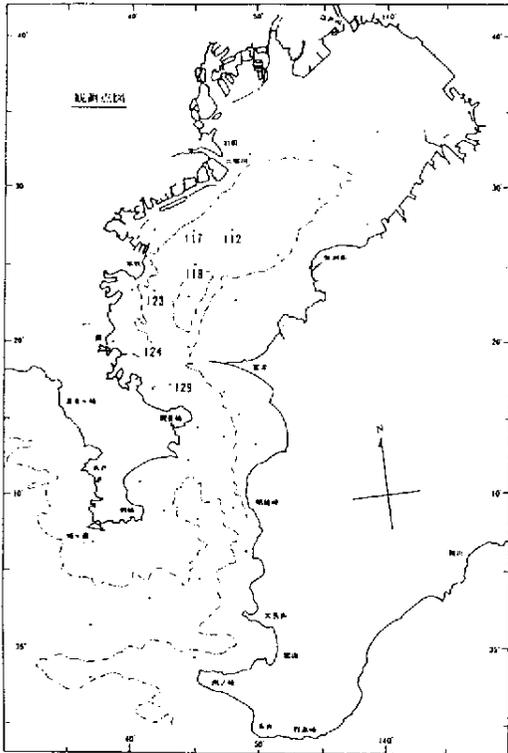


図1 調査地点図

Fig.1 Location of observational stations in Tokyo Bay.

表1 測点の水深と調査深度

Table1 Depth and observational layers at each stations.

| St. No. | Depth(m) | Observed layer(m) |
|---------|----------|-------------------|
| 112 | 3.2 | 0, 1.0, 3.0 |
| 117 | 2.8 | 0 |
| 118 | 3.2 | 0 |
| 123 | 4.2 | 0, 1.0, 3.0, 4.0 |
| 124 | 5.0 | 0, 1.0, 3.0, 4.0 |
| 129 | 5.6 | 0, 1.0, 3.0, 5.0 |

月ごとに単純に平均した値を用いている。

各点とも0mでは、5月または7月に最高値が、12月に最低値がそれぞれ現れ、春季から夏季にかけて高く冬季に低い傾向を示す。これは、宇野木・岸野(1977)に

よる結果と同様であり、彼らは生物活動、すなわち光合成による酸素の生成の盛衰を反映したもとしている。であれば、各点で6月に低下がみられるのは、日照時間が前後の月に比べ少ない(横浜地方気象台 1990)ことも関わっていると考えられる。各点間で最低値はほとんど差がないが、最高値は湾奥の点で高くなっている。

10m以深では各点で、2月あるいは3月に最高値が、8月あるいは9月に最低値がみられ、冬季に高く夏季に低い変化を示す0mとは異なり、年較差も0mに比べて大きくなっている。また最高値は各点間でほぼ同様だが、湾奥の点ほど最低値は低く年較差が大きくなっている。

0mと10m以深の値の差も湾奥の点で大きくなっている。St.123以南の3点では、30mとそれより深い層との差が小さく、ことに8月には40あるいは50mといった底層よりも30mの中層の方が低い値を示している。

貧酸素水を指標する値については多くの論議があるが、柳(1989)の示した2.5ml/l以下という値に従えば、St.112, 123, 124での30m以深の平均値は7月から9月にかけてこれを下回り、貧酸素状態であることが多いと考えられる。

貧酸素水の発生頻度

表2は1966年から1989年までの24年間の観測値のうち溶存酸素量が2.5ml/l以下であった回数を表したものである。湾奥の測点ほど回数が多く、5月から11月にかけて現れているが、7月から9月の3ヶ月間に特に多くなっている。またSt.123, 124, 129の30mではその下層よりも回数の多い場合がみられ、前述の平均値の経月変化からと同様に中層を核とした貧酸素化がうかがわれる。

水温・塩分・溶存酸素量の経月変化

St.123について水温・塩分・溶存酸素量の鉛直分布の経月変化を、1966年から1989年までの平均値と、1990年1月から1991年1月までの実測値を用いて図3に示した。

24年間の平均値では、水温の年変化は表層で大きく底層で小さい。1月から4月にかけては表層よりも底層で高温となる逆転がみられる。2月は全層で年間を通して最も低温である。4月になると表層から上昇が始まり全層がほぼ一様となる。表層では底層に比べ上昇の度合いが大きく、5月以降成層が形成され始める。成層構造は7月から9月にかけて最も発達する。表層水温は9月から徐々に低下し、成層構造は10月以降崩壊が進む。底層でも11月以降低下し、11月と12月にはほぼ全層が一様となる。

塩分の年変化も水温と同様に、表層で大きく底層で小さい傾向を示す。特に底層には33.5%以上の高塩分水が

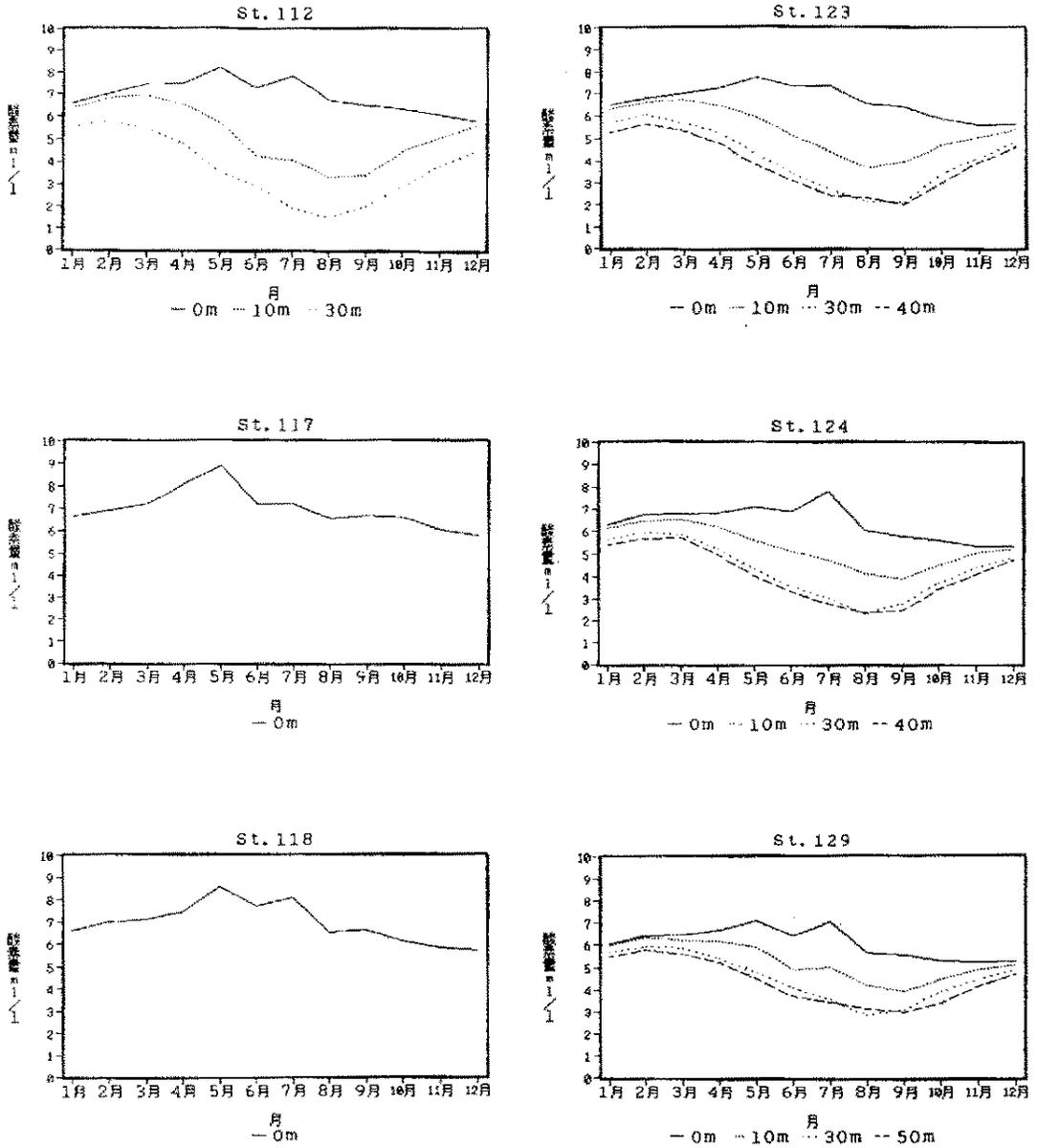


図2 溶存酸素量の経月変化
(1966年から1989年までの平均値)

Fig. 2 Monthly changes of dissolved oxygen.
(averages of data from 1966 to 1989)

表 2 貧酸素水の出現回数

(溶存酸素量2.5ml/l以下、1966年から1989年まで毎月1回の調査)

Table 2 Occurrence times of oxygen-deficient water.

(dissolved oxygenless than 2.5ml/l. by the monthly observation from 1966 to 1989)

| St. No. | layer(m) | Jan. | Feb. | Mar. | Apr. | May | June | July | Aug. | Sept. | Oct. | Nov. | Dec. |
|---------|----------|------|------|------|------|-----|------|------|------|-------|------|------|------|
| 112 | 0 | | | | | | | | | | | | |
| | 10 | | | | | | 2 | 3 | 5 | 4 | 2 | | |
| | 30 | | | | | 2 | 9 | 15 | 19 | 17 | 4 | 1 | |
| 117 | 0 | | | | | | | | | | | | |
| 118 | 0 | | | | | | | | | | | | |
| 123 | 0 | | | | | | | | | | | | |
| | 10 | | | | | | | 3 | 6 | 1 | 1 | | |
| | 30 | | | | | 1 | 3 | 11 | 15 | 16 | 1 | | |
| | 40 | | | | | 2 | 4 | 10 | 12 | 15 | 4 | 1 | |
| 124 | 0 | | | | | | | | | | | | |
| | 10 | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | | |
| | 30 | | | | | | 1 | 6 | 14 | 10 | | | |
| | 40 | | | | | | 2 | 8 | 10 | 8 | 2 | | |
| 129 | 0 | | | | | | | | | | | | |
| | 10 | | | | | | | | | 1 | 1 | | |
| | 30 | | | | | | | 2 | 6 | 4 | | | |
| | 50 | | | | | | 2 | 3 | 3 | 5 | 2 | | |

周年分布する。

表層では2月に年間の最高値が現れる。3月以降表層では低下が、底層では上昇が進行し、成層形成が始まる。7月から9月に成層構造は最も発達し、8月に表層の塩分は最低値を示す。その後表層では上昇し始め、12月からは底層で低下が起こり、成層が崩壊していく。

溶存酸素量については、水温・塩分とは異なり、季節変化が表層で小さく底層で大きくなっている。2月に底層は最高値を示し、表層との差が最も小さい。3月以降表層では上昇し、底層では低下する。5月に表層で最高値が現れ底層との差が拡大し成層し始める。6月以降表層の値は低下するが、底層での低下は持続し9月に最低となる。10月から底層で上昇が始まるとともに、10月から12月にかけて表層は最も低くなる時期を迎え、表層と

底層の差は小さくなっていく。

以上のことから、矢沢・池田(1988)が表層水と底層水の温度差と酸素飽和量の関係から導いた結論と同様に、水温・塩分の成層構造が発達し、鉛直混合が弱いと思われる時期に底層に貧酸素水が分布する現象が認められる。

1990年の結果も、概して24年間の平均値でみられたのと同様の傾向を示した。3月の10m層に高塩分・低酸素水が出現しているが、水温分布に変化は生じていない。底層の酸素量の減少は3月以降起こり、9月に最低となった。この時30m層を核とする貧酸素水がみられたが、水温と塩分に変化は認められなかった。これは、中層に中心が存在する貧酸素水を、平均値からだけでなく実測値でもとらえることができたものと言える。酸素量2.5ml/l以下の貧酸素水は8月から10月にかけて出現した。

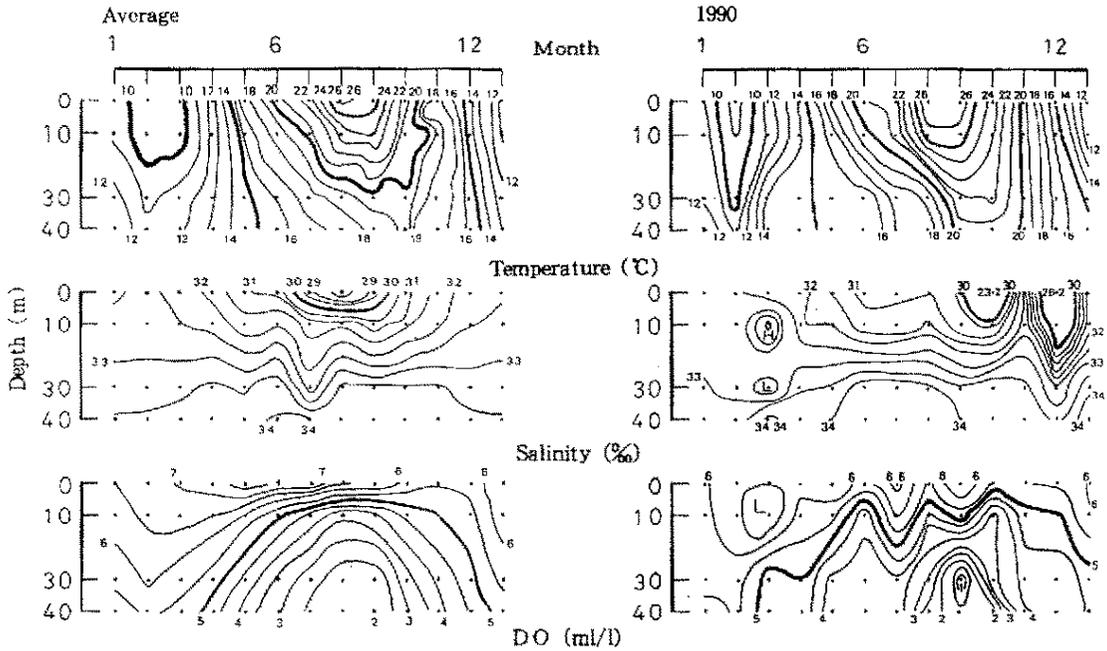


図3 水温・塩分・溶存酸素量の鉛直分布の経月変化

(左：1966年から1989年までの平均値，右：1990年1月から1991年1月の実測値)

Fig. 3 Monthly changes of vertical distribution of water temperature, salinity and dissolved oxygen.

(left : average data from 1966 to 1989. right : data measured from January, 1990 to January, 1991.)

CTD観測結果の経月変化

1991年4月以降DOセンサーを搭載したCTDを用いて観測を実施している。この測器の利点は複数項目の鉛直変化を連続的にとらえることができることである。図4はSt.123での水温・塩分・溶存酸素量について1991年4月から8月までの測定結果を示したものである。

これらの観測結果のうち水温と塩分に関しては、前述の所定層ごとの測定結果(図3)から読み取れるのと大差ない鉛直分布傾向にある。一方溶存酸素量は小さな増減を繰り返すなど、水温や塩分に比べ、かなり複雑な鉛直変化を示すことがわかる。

1991年8月のCTD観測結果

図5に、底層で貧酸素水が発達する時期におけるCTD

観測の例として、1991年8月の各点での水温・塩分・溶存酸素量の鉛直分布を示す。

水温と塩分は表層と底層の差が大きく、成層構造の発達がうかがわれる。水深が増すにつれて水温は低下し、塩分は上昇するが、両者とも直線的な変化ではなく緩急があり、異質の水塊の重層が示唆される。

溶存酸素量は、表面から水深が増すにつれて、いったん増加するが、水深10m前後で急激に減少し、それ以深では複雑に増減する。St.112, 118, 123, 124では、海底直上以外に最低値がみられ、海底に接しないところに中心を持つ貧酸素水の存在が示唆される。また、水温・塩分の変化と酸素量変化は必ずしも対応していない。

貧酸素水の発生については、主に海底堆積物の分解に

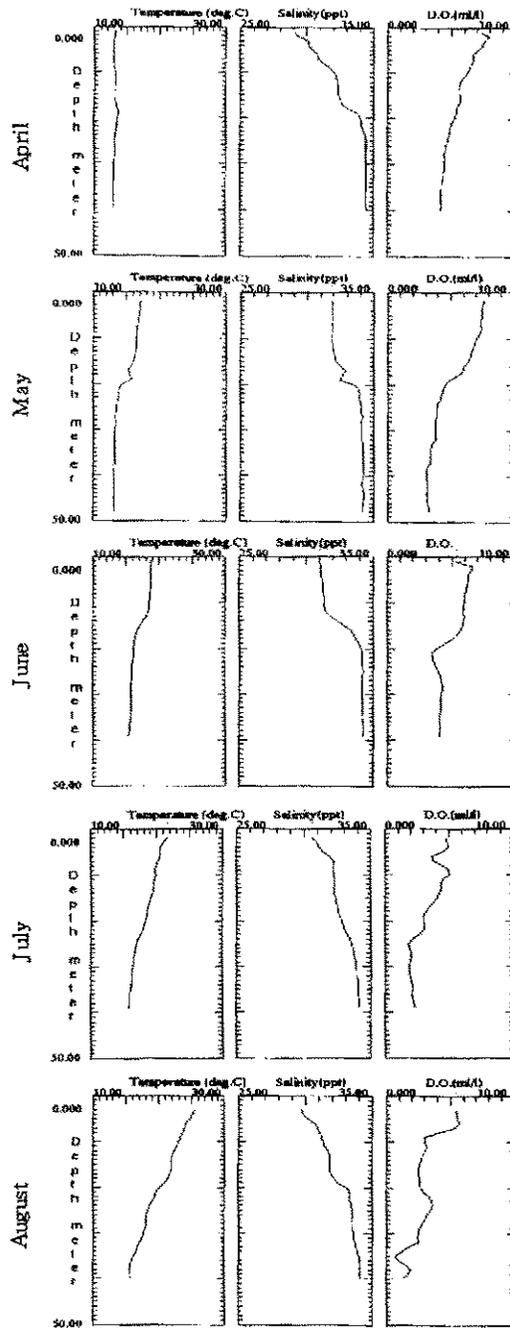


図4 St. 123における1991年4月から8月の水温・塩分・溶存酸素量の鉛直分布

Fig. 4 Vertical distribution of water temperature, salinity and dissolved oxygen at St. 123 from April to August in 1991.

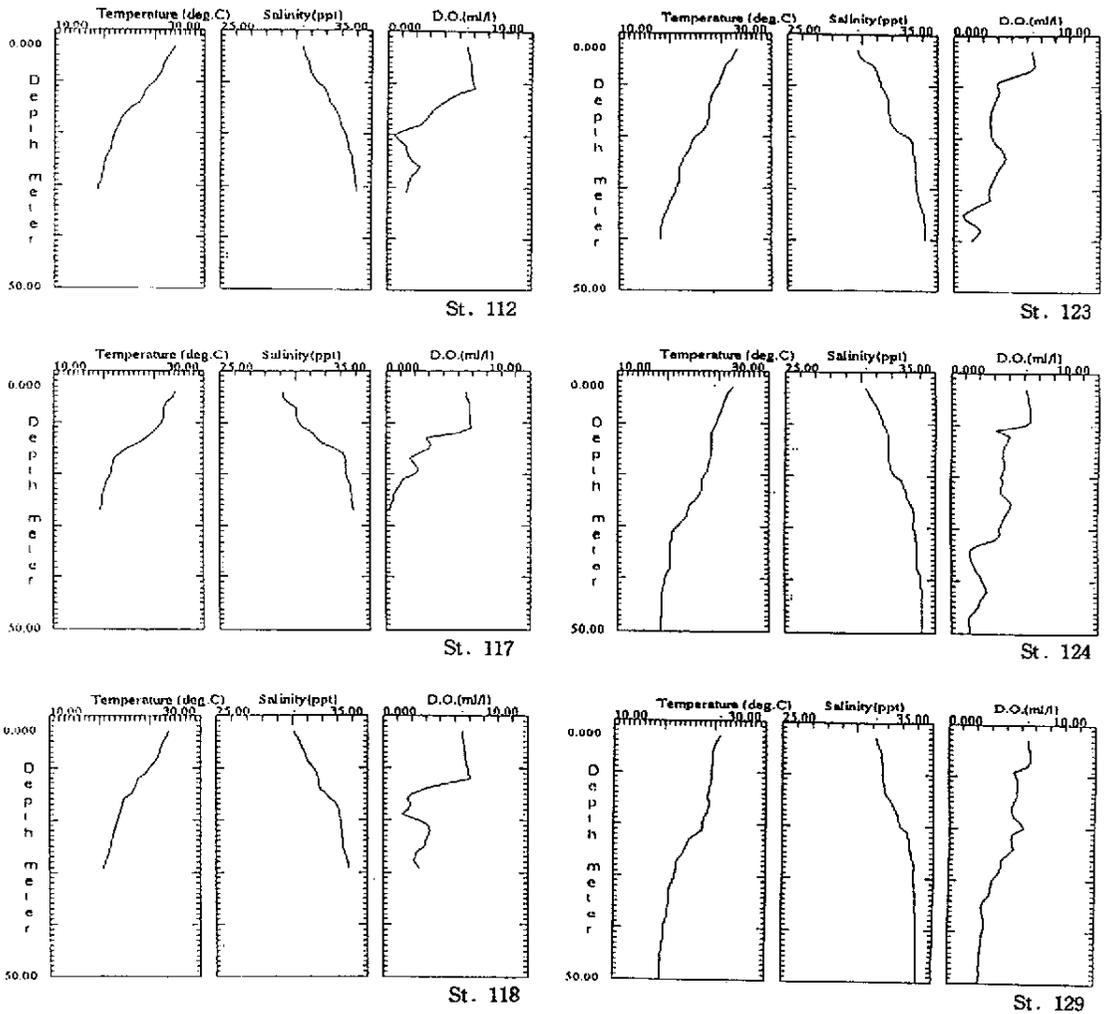


図5 1991年8月の水温・塩分・溶存酸素量の鉛直分布

Fig. 5 Vertical distributions of water temperature, salinity and dissolved oxygen in August, 1991.

伴う酸素消費が原因とされているが（矢沢・池田 1988），成層期には中層から溶存酸素が減少する場合もあり（河合 1990），同様の事例が今回の結果でも認められる。このような中層での貧酸素化が，底層を起源とする貧酸素水がより酸素量の多い水塊の上に移動したものが，あるいは中層を起源とするものかは定かではないが，これは底棲性以外の生物の生活にも少なからず影響を与えることが予想される。

おわりに

今回の調査結果から貧酸素水の現れる時期についておおよその目安はつかむことができた。今後はさらに広い範囲でその分布と変動をおさえる必要がある。その際，溶存酸素は鉛直的に複雑な分布を示すことに留意すべきである。すなわち，従来の海底直上に主眼をおいた調査では中層の貧酸素水を確認することは困難であり，表面から海底にいたる連続的な観測が不可欠である。水棲生物に与える影響を考える場合にも，海底にはりついた形で貧酸素水が分布するのとは，違った視点に立つ必要がある。

また，係留系の設置等による溶存酸素量の連続測定が，貧酸素水の時間的変動を明確にするためには欠かせない。さらに貧酸素水自体の挙動とともに，その生成要因およびこの海域にすむ生物全体に与える影響を明らかにすることが，当海域の環境を保全していく上で重要である。

摘 要

1 毎月1回の定線観測の結果から，東京内湾域での溶

存酸素量の変動を論じた。

- 2 0 mでは，5月または7月に最高値が，12月に最低値がそれぞれ現れる。10m以深では，2月あるいは3月に最高値が，8月あるいは9月に最低値が現われる。
- 3 底層の貧酸素水は7月から9月を中心に出現する。
- 4 水温・塩分の成層構造の発達する時期に，底層での貧酸素化が進行する。
- 5 水温・塩分に比べ，溶存酸素は複雑な鉛直分布を示す。
- 6 中層に核を持つ貧酸素水の出現が認められた。

引用文献

- 風呂田利夫（1991）：東京湾内湾底動物の生き残りと繁栄，沿岸海洋研究ノ・ト，28（2），160 - 169.
- 環境庁水質保全局（1990）：日本の水質保全対策の現状，26pp.
- 河合 章（1990）：水域における底層水の低酸素化と底質について，瀬戸内海科学，2（2），36 - 42.
- 宇野木早苗・岸野元彰（1977）：東京湾の平均的状況と海水交換，Technical report of the Physical Oceanography Laboratory, No. 1，理科学研究所，89pp.
- 柳 哲雄（1989）：シンポジウム「貧酸素水塊」のまとめ，沿岸海洋研究ノ・ト，26（2），141 - 145.
- 矢沢敬三・池田文雄（1988）：東京湾における低酸素水の分布および，シヤコと溶存酸素量との関係，神奈川県水産試験場研究報告，第9号，95 - 100.
- 横浜地方気象台（1990）：神奈川県気象年報，22pp.