東京湾川崎沖底層での溶存酸素量の連続測定結果について

岩　田　静　夫*，池　田　文　雄**，清　水　詢　道***，
小　泉　喜　嗣****，松　山　優　治*****

Results of time series dissolved oxygen measurements at the lower layer off Kawasaki in Tokyo Bay

Shizuo IWATA, Fumio IKEDA, Takamichi SHIMIZU,
Yoshitsugu KOIZUMI, Masaji MATSUYAMA

1　はじめに

東京湾内では，密度成層が形成される５月頃から湾央の底層の溶存酸素量が低下しはじめ，3ml/l以下の低酸素水塊が形成される。密度成層が最も発達する８月中旬から９月上旬には横須賀沖まで拡がる。９月中旬以降，表面の冷却に伴い対流現象が活発になり，密度成層は次第に弱まると同時に，底層の溶存酸素量は次第に高くなり，低酸素水塊の分布域も次第に縮小する。11月には底層の低酸素水塊は消滅する（宇野木・岸野1977）。

横浜市柴町の主要漁業である小型底引き網漁業は，底棲性のシャコ，カレイ類などを対象に操業している。漁業者によると，シャコ，カレイ類の漁場は５月頃に川崎沖に形成されるが，６月から漁場は横浜沖に移動し，８月には横須賀沖まで南下するが，９月から漁場は次第に北上し，10月には川崎沖にも形成されということである。また，シャコ，カレイ類ともに溶存酸素量2ml/l以下になると，酸素欠乏状態になりへい死することもある（矢沢・池田1988，柳1989)。小林（1993）は，２～３回/月の調査と標本船調査から2ml/l以下の海域ではシャコ，カレイ類の漁獲が殆ど見られないとしている。これらのことから東京内湾のシャコ，カレイ類の分布・移動は，低酸素水塊の挙動と深く関わっている可能性がある。

シャコ，カレイ類の漁場形成を明らかにするためには，低酸素水塊を連続して追跡する必要がある。その第一段階として，記録内蔵型の測定器を使い，水温，塩分，溶存酸素量の長期連続観測を行なった。

2　観測

水温，塩分，溶存酸素量と風向・風速の観測点をFig.１に示す。川崎沖約２kmの東燃シーバースを利用した。海面下20m（水深23m）でSBE-16（SBE社製）により水温，塩分，溶存酸素量，海面下３mでRMT水温計（離合社製）により水温の測定をした。観測は20分間隔である。調査期間は1990年10月６日～31日である。風向・風速は東京湾横断道路株式会社の気象観測点である湾奥の東京

1993年12月10日受理　神水試業績No.93-213
＊　神奈川県水産試験場　漁業研究部
＊＊　神奈川県水産試験場　指導普及部
＊＊＊　神奈川県水産試験場　資源研究部
＊＊＊＊　愛媛県水産試験場
＊＊＊＊＊　東京水産大学海洋物理

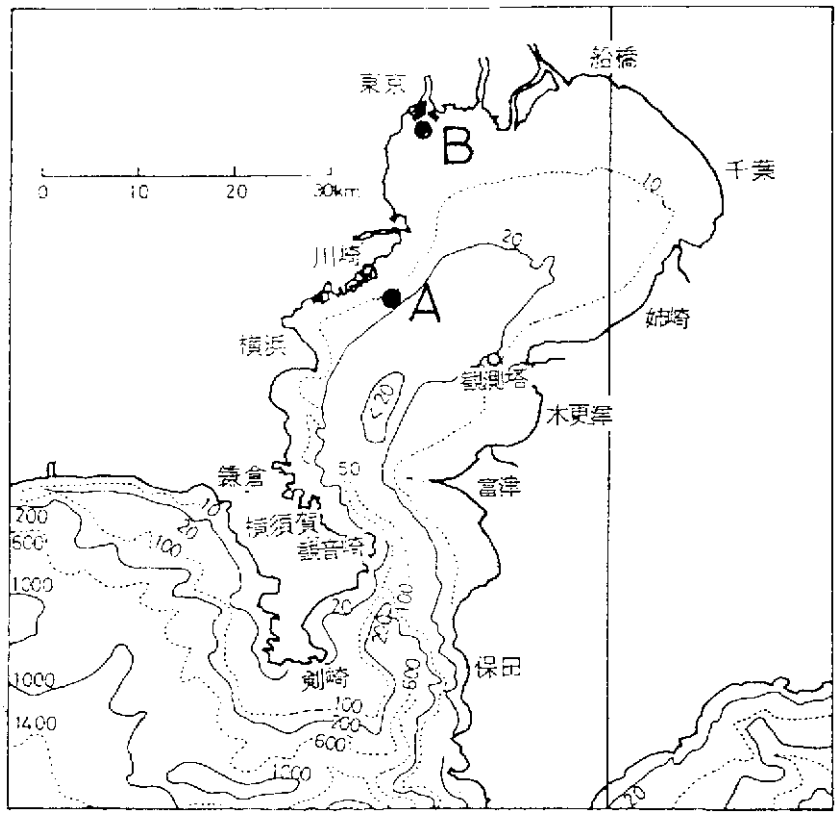

Fig. 1　Bottom topography and locations of the disso lved oxygen,temperature,salinity and wind measurements in Tokyou Bay(A:Tohnen Sea-Berth, B:Light bouy)

灯標で測定された毎時の風のデータを使用した。

3　SBE－16のキャリブレーションについて

塩分や溶存酸素量を連続観測はその必要性を認めながら，測定機器の安定性や精度，さらに生物付着などの問題があって国内では殆ど行われていない。今回使用したSBE-16はどの程度利用可能かということで，東京湾での観測に先立って約一ヶ月間宇和島湾（1990年８月）で連続観測し，並行して１日２回の採水を行なった。塩分はサリノメーターで，溶存酸素量はウインクラー法で採水サンプルの値を求めた。

塩分の採水データとSBE-16の両者間の関係をFig.２に示す。ほぼ直線上にある。相関係数は0.94，勾配は1.07（横軸はSBE-16の値）で，塩分変化の大きな沿岸域では問題なく使えそうである。

溶存酸素量の同様なデータをFig.３に示す。

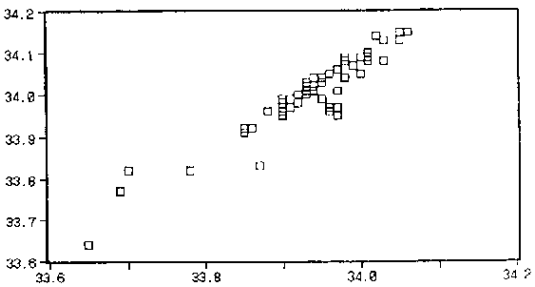

Fig. 2　Correlation between salinity measured by SBE-16 (Y-axis)and salinity analyzed by Salinome ter (X-axis)

相関係数は0.87と高い値を示した。しかし，全体としてはウインクラー法の方がSBE-16より高い値を示した。この回帰直線の推定には両者の差が大きく，測定ミスと思

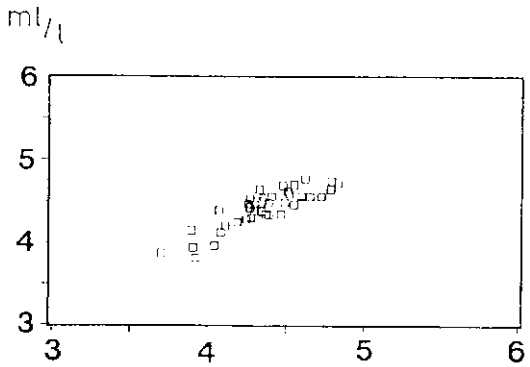

Fig. 3 Correlation between dissolved oxygen measured by SBE-16 (Y-axis) and dissolved oxygen analized by Winkler-Method (X-axis)

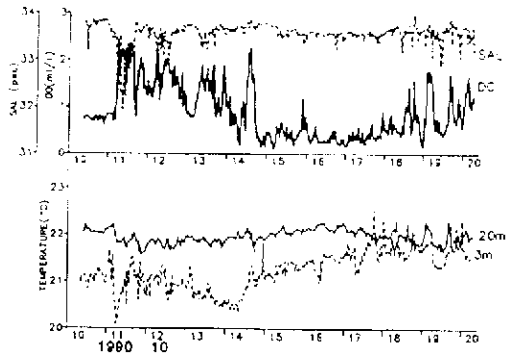

Fig. 4 Temporal variations of salinity and dissolved oxygen at the depths of 20m (Upper) and temperature at the depths of 3m (dotted line) and 20m (full line) at Tohnen Sea-Berth

Fig. 5Time series of the 25 hours low-pass temperature, salinity and dissolved oxygen at the depths of 20m and temperature at the depths of 3m at Tohnen Sea-Berth

われるデータ８個は予め除いてある。過去の溶存酸素量の連続測定機器に比べて測定値が長期間安定していること，精度が高いこと，取扱が容易であることなどの点でSBE-16は非常に優れていると我々は考えている。キャリブレーションを繰り返すことによって，測定機器の信頼性をさらに高められると考えている。

４　水温，塩分，溶存酸素量の時系列

観測結果の一例として，1990年10月11日～20日の水温，塩分，溶存酸素量の時系列をFig.４に示す。水温は僅かであるが下層の方が上層より高く，逆転している。また，１日あるいは半日周期の変動も見られ，その振幅は高々１℃程度で大きくはない。むしろ塩分，溶存酸素量にこれら潮汐周期変動と思われる現象が見られる。それらの比較から溶存酸素量の上昇が塩分の下降と対応する，いわゆる逆位相の形が認められる。溶存酸素量の鉛直分布か測定されていないので，詳しいことは分からないが，半日あるいは一日周期での変化の大きさから判断して溶存酸素量の躍層が観測深度付近にあったとも考えられる。

また，溶存酸素量には15～16日を極小値とする比較的長周期の変動が顕著に現れ，極小値は約0.5ml/lで，低酸素水というよりも無酸素水に近い値を示す。この長周期の変動に注目するため，25時間移動平均を施して１日・半日周期変動を除去した変化を同様に処理した水温及び塩分の変化をFig.５に示す。

Fig.５によれば，溶存酸素量の極大値は７日，11日，22日に現れる。最も高い値を示す22日でも飽和度は約40%と低い値となっている。９日，16日に極小値が現れるが，飽和度は10～15%であり，溶存酸素量は極度に少ないことが分かる。

溶存酸素量の変化と塩分変化を比較すると，短周期変動（１日・半日周期）でも見られたように，逆位相となっている。これまでの調査によれば，塩分と溶存酸素量の鉛直分布は上層で低塩分・高酸素量，下層で高塩分・低酸素量となっており，観測層での溶存酸素量の増加は上層水の影響，即ち沈降現象，溶存酸素量の減少は下層水の湧昇現象と判断できる。

この時季にすでに水温逆転か起こっていることから，溶存酸素量と水温とは不明である。３m深の水温は季節変動と対応し，１ヶ月弱で４℃も下降している。一方，20m深では21日までは殆ど変化せず，21～25日に約２℃下がり，再び31日までは殆ど変化しない。20m深で測定された水温・塩分・溶存酸素量が21日から急変する。溶存酸素量が増加し，塩分が下降し，水温も下降する。各成分の鉛直分布から，これは鉛直混合の結果として理解

できる。

5　まとめと考察

測定期間中に東燃シーバースの20m深で８～10日と15～17日に溶存酸素量１㎖/1の低酸素水が観測された。この時期には成層は弱まるが，海面からの酸素の補給は十分行われないので，低酸素状態は変わらないことから，観測された低酸素水は下層水の湧昇による。その要因として，(1)北東風により，湾奥に起こった湧昇域が岸に沿って反時計回りに移動をした，(2)南風により神奈川県沿岸域で湧昇した，(3)または沖合水の流入にともなう湧昇などが考えられる。

測定期間中の湾奥の東京灯標での風は，北よりの風が卓越していた。特に，10月６～７日，11～13日には５㎧/s以上の北よりの風が吹き続いた。その後北よりの風が弱まるか，または一時的に南よりの風に変わった。北よりの風が24時間以上吹き続けると，湾奥の千葉県側に下層の低酸素水塊が表面に湧昇する「青潮」とよばれる現象がしばしば発生し，48時間以上吹き続けると湧昇規模は大きくなり，水産生物に多大な被害を与えることがある（柿野ほか1987)。松山ほか（1990）は，湧昇域は北よりの風が止んだ後は，次第に弱まりながら岸に沿うように反時計周りに約0.3㎧/sの速度の移動することを数値実験的手法により示した。

５㎧/s以上の北よりの風が吹き続いた１～２日後の８～10日，15～17日に東燃シーバースで１㎖/1以下の低酸素水が観測されたことから，まず北よりの風での湾奥に低酸素水が湧昇した。北よりの風が弱まった，あるいは止んだ後に湧昇域が反時計周りに移動し，１～２日後に約30㎞離れた東燃シーバースに到達したと推察することができる。湧昇域の移動速度は，湾奥と東燃シーバースの距離30㎞を，北よりの風が止んだ時と東燃シーバースで低酸素水を観測した時とのと時間差１～２日で割った値から推算される。推算値は0.2～0.3㎧/sで，松山ほか（1990）が求めた値に概ね一致する。

東京湾の低酸素水塊は密度成層が形成される５～10月に底層で形成されるが，短期の挙動についてはよく判らない。今回の観測での溶存酸素量の長期連続観測が可能であることが判った。今後，湾内数カ所での溶存酸素量，水温，塩分，流れ等の長期連続観測を実施し，低酸素水塊の挙動を明らかにしたいと考えている。

謝辞：観測に際し，測定機器の設置に快く場所を提供していただいた東然石油化学株式会社の山口義之氏，設置にご協力していただいた柴漁業研究会長の斉田隆作氏他役員各位にたいしお礼申し上げる。

文　献

柿野　純，松村皐月，佐藤善徳，加瀬信明（1987）:風による流れと青潮との関係。日本水産学会誌，53(8)，1475-1481.

小林良則（1993）:東京湾における低酸素水域の分布と小型底引き網の漁獲量との関係，印刷中。

松山優治，当麻一良，大脇　厚（1990）:東京湾の湧昇に関する数値実験－青潮に関連して－。沿岸海洋研究ノート，28(１)，63-74.

宇野木早苗，岸野元彦（1977）:東京湾の平均海況と海水交換。理化学研究所海洋物理技術報告No1.

柳　哲雄（1989）:シンポジウム「貧酸素水塊」のまとめ。沿岸海洋研究ノート，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ャコと溶存酸素量との関係，神奈川県水試研究報告，95-102.