

溶存酸素量の鉛直分布から見た東京湾沿岸域における 低酸素水塊の動き

小林 良 則

Movement of the anoxia water mass in the coastal area of Tokyo Bay

Yoshinori KOBAYASHI*

は し が き

筆者(1993)は、1989年4月～1991年3月の2ケ年間の調査をもとに東京湾の底層域(海底直上約2m)における溶存酸素量の水平分布状況を把握し、これと小型底びき網漁業による漁獲状況とを対比することにより次のことを明らかにした。

小型底びき網が漁獲対象としているマコガレイ、シャコが忌避すると考えられる溶存酸素量の限界値は2ml/l前後である。

溶存酸素量が2ml/l以下の低酸素水塊は、例年、5月下旬～6月上旬頃に湾奥部で発生し、6～7月期にかけて最も広範囲に拡大する傾向がみられ、この時期には小型底びき網の漁場域(扇島沖～観音崎沖にかけての神奈川県寄りの海域)まで及び。その後、低酸素水塊は湾内で消長を繰り返しながら最終的には湾奥部まで後退・縮小し、10～11月頃に消滅する。

しかし、前記調査では底層域を対象としたため、低酸素水塊の鉛直的な分布、すなわち低酸素水塊の厚みがどれ位あるのか、その出現は常に底層域に限られるのか等については不明であった。

筆者は前記の調査に引き続き1991～1992年度において実施した東京湾内沿岸域における溶存酸素量及び塩分の鉛直分布調査から低酸素水塊の鉛直構造及び動きについて知見を得たので報告する。

方 法

東京湾内で、神奈川県の小型底びき網漁業が主として利用する海域に、図1に示す15観測点を設け、調査船

「うしお」により、多項目水質計(オーシャンセブン401型)を用い、各観測点における表層(海面下約0.5m)から底層(海底直上約1m)までの溶存酸素量、水温、塩分、pHを1m間隔で測定した。調査期間は、湾内に低酸素水塊が出現する5～10月期で、表1に示すとおり月2回(各月中、下旬)の計画で実施した。

低酸素水塊の鉛直構造及び動きをとらえるため、図1に示す15観測点のうち最も岸側の羽田沖と本牧沖を結ぶ5観測点(St.15,12,9,7,4)の溶存酸素量及び塩分の観測データを用い、この5点を結ぶ鉛直分布状況をもとに解析を試みた。

本報では、多項目水質計による溶存酸素量がppm表示のため、溶存酸素量はppmで記述し、3ppm(約2.1ml/l)以下を低酸素水塊とした。

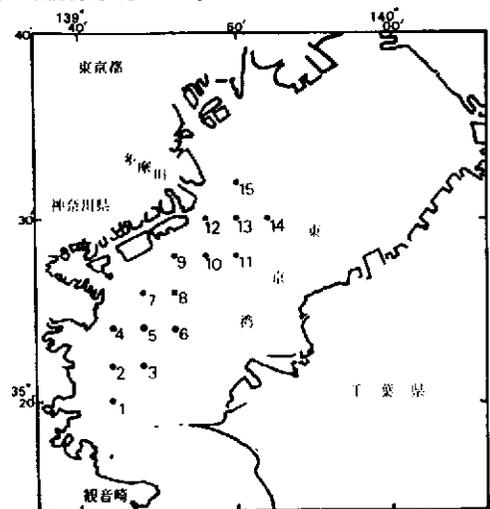


図1 観測点位置

結 果

1 低酸素水塊の出現状況及び鉛直構造

1991年及び1992年の各観測日における溶存酸素量の鉛直分布を図2～3の上段に示す。

各観測日における低酸素水塊(3 ppm以下)の出現状況及び鉛直構造は次のとおりであった。

1991年の場合、5月21日はSt.15～St.9にかけて底層部に厚さ2～5mの低酸素水塊が出現していた。6月11日にはさらに南のSt.4近くまで低酸素水塊の出現が認められ、St.7の周辺では底層部に厚さ10m以上の水塊となっていた。その後、6月25日にはSt.15～St.9にかけて底層部に厚さ2～10mの低酸素水塊が認められたが、南部のSt.9～St.4では認められなかった。7月は欠測のため低酸素水塊の出現状況は不明である。8月14日にはSt.15～St.7にかけては底層部に厚さ約10mの低酸

表1 調査年月日

	1991年	1992年
5月中旬	(欠測)	20日
下旬	21日	26日
6月中旬	11日	19日
下旬	25日	25日
7月中旬	(欠測)	15日
下旬	(欠測)	23日
8月中旬	14日	(欠測)
下旬	27日	(欠測)
9月中旬	11日	17日
下旬	(欠測)	(欠測)
10月中旬	(欠測)	13日
下旬	(欠測)	(欠測)

素水塊が認められ、St.7以南では中層部に厚さ約8mの低酸素水塊が認められた。8月27日はSt.15～St.7までは底層部に厚さ1～5mの、南部のSt.7～St.4にかけては厚さ5～20mの低酸素水塊が認められた。9月11日にはSt.15～St.7の底層部に厚さ約10mの低酸素水塊が認められたが、St.7以南では認められなかった。

1992年の場合、5月20日及び5月26日の観測時には低酸素水塊は出現していなかった。6月19日には、St.15～St.7にかけて低酸素水塊の出現がみられ、このうち北部のSt.15～St.12では底層部に厚さ約10mの低酸素水塊が、St.12～St.9にかけては中層部及び底層部の2層に分離した形で厚さ2～5mの低酸素水塊が認められた。6月25日には低酸素水塊は認められなかった。7月15日

には北部のSt.15～St.9の底層部に厚さ5～10mの低酸素水塊が認められ、南部のSt.9～St.4には認められなかった。7月23日にはSt.15～St.12の底層部に厚さ約10mの低酸素水塊が認められた。しかし、St.12以南では、中層部に厚さ約10mの低酸素水塊が分布したが底層部には認められなかった。8月は欠測のため低酸素水塊の出現状況は不明である。9月17日はSt.15～St.4にかけて底層部に厚さ5m前後の低酸素水塊が認められた。10月13日は北部のSt.15～St.12の底層部に厚さ2m前後の低酸素水塊が分布したが、St.12以南では認められなかった。

2 塩分の沿直分布

1991年及び1992年の各観測日における塩分の沿直分布を図2～3の下段に示す。

1991年の場合、5月21日は、表層部ではSt.15～St.4にかけて31‰以下の低塩分の層が分布し、底層部にはSt.15～St.4にかけて33‰以上の層が認められた。特に、底層部でSt.7とSt.4の中間以南には34‰台の高塩分の水塊が認められた。6月11日は、表層部ではSt.15～St.9にかけて31‰以下の層が分布し、底層部にはSt.15～St.4にかけて33‰台の層が認められたが、34‰台の高塩分の水塊は認められなかった。6月25日は、表層部ではSt.15～St.4にかけて26‰以下の低塩分層が認められ、底層部ではSt.15～St.4にかけて厚さ2～30mの34‰台の高塩分層が認められた。8月14日は、表層部ではSt.15～St.4にかけて28‰台の低塩分層が分布し、底層部ではSt.15～St.4にかけて33‰台の層が認められた。なお、St.7とSt.4の中間以南の底層部には34‰台の高塩分の層が認められた。8月27日は、表層部ではSt.15～St.4にかけて26‰台の低塩分層が分布し、底層部ではSt.15～St.4にかけて33‰台の層が認められた。9月11日は、表層部ではSt.15～St.4にかけて26‰以下の低塩分層が分布し、底層部ではSt.15～St.4にかけて33‰台の層が、また、St.7とSt.4の中間以南には34‰台の高塩分の層が認められた。1992年の場合、5月20日は、表層部ではSt.15～St.4にかけて30‰台の層が分布し、底層部ではSt.15～St.4にかけて33‰以上の層が認められた。特に、St.9以南の底層部では34‰台の高塩分層となっていた。5月26日は、表層部ではSt.15～St.4にかけて28‰台の低塩分層が、底層部ではSt.15～St.4にかけて34‰台の高塩分層が認められた。6月19日は、表層部ではSt.15～St.4にかけて28‰台の低塩分層が、底層部ではSt.15～St.4にかけて33‰台の層が認められた。34‰台の高塩分の層はSt.7とSt.4の中間以南に認められた。6月25日は、表層部ではSt.15～St.4にかけて

28%台の低塩分層が、底層部ではSt. 15～St. 4にかけて34%台の高塩分層が認められた。7月15日は、表層部ではSt. 15～St. 4にかけて26%台の低塩分層が、底層部ではSt. 15～St. 4にかけて33%以上の層が分布し、特に、St. 9とSt. 7の中間以南では34%台の高塩分層が認められた。7月23日は、表層部ではSt. 15～St. 4にかけて30%以下の層が、底層部ではSt. 15～St. 4にかけて33%台の層が認められた。また、St. 9以南の底層部では34%台の高塩分層が認められた。9月17日は、表層部ではSt. 15～St. 4にかけて31%台の層が、底層部ではSt. 15～St. 4にかけて33%台の層が認められた。34%台の高塩分の層はSt. 7以南の底層部に認められた。10月13日は、表層部ではSt. 15～St. 4にかけて29%以下の低塩分層が、底層部ではSt. 15～St. 4にかけて33%台の層が認められたが、34%台の高塩分の層は認められなかった。

考 察

1 低酸素水塊の沿直構造

溶存酸素量の鉛直分布調査によると、低酸素水塊（3 ppm = 2.1 ml / l 以下）の出現時期、分布層及び規模は概ね次のとおりである。

5～10月期に羽田沖から本牧沖の東京湾沿岸域に出現する低酸素水塊は、通常は底層部に厚さ10m前後で出現するが、時には南部域（St. 9以南）で中層部に及ぶことがある。

また、低酸素水塊のフロント部分は扇島沖周辺（St. 12～St. 7）にみられることが多い。

2 低酸素水塊の動き

今回の調査で得られたデータは断片的なもので、調査から次の調査までの間隔が、短いところで6日間、長いところで56日間あいている。したがって、この空白期間に低酸素水塊がどのようなこまかい動きを示したかまではわからないが、巨視的な動きは推測可能である。

図2～3の上段に示した各観測日における低酸素水塊の出現状況及び鉛直構造をもとに、低酸素水塊の動きを推測すると以下のとおりである。

1991年の場合、5月21日から6月11日にかけては南下・拡大の動きがみられ、6月11日においてはSt. 7の周辺で中層部まで低酸素水塊が盛り上がっている。6月11日から6月25日にかけては後退・北上の動きが認められる。6月25日から8月14日にかけては再び南下・拡大の動きがみられ、水塊の厚さから見てこの年最大規模の

低酸素水塊であったと推察される。この低酸素水塊は8月14日から8月27日にかけてさらに南下し、St. 15からSt. 4以南の海域まで達している。また、8月27日から9月11日にかけてはさらにSt. 4以南の海域まで南下し、その後、St. 15以北から新たな低酸素水塊が南下してきたと推察される。

1992年の場合、5月20日及び5月26日には出現が認められなかった低酸素水塊は6月19日の観測時には出現している。5月26日から6月19日にかけて、St. 15以北にあった低酸素水塊が南下・拡大したものと推察される。6月25日に低酸素水塊が認められないのは、6月19日から6月25日にかけて、St. 15以北に後退・北上したか、あるいは消滅したためと推察される。6月25日から7月15日にかけては再びSt. 15以北からの南下、あるいはSt. 15～St. 9海域での新たな発生が推察される。7月15日から7月23日にかけては南下・拡大の動きが認められ、7月23日から9月17日にかけてはさらに南下したと考えられる。9月17日から10月13日にかけては後退・北上の動きが認められる。

このような動きから推測すると、低酸素水塊は5～10月期に湾内底層部で大規模なアメーバ状の動きをしているものと思われ、時には、St. 7以南の海域でみられたように湾内中層部にも出現することがある。

今後、低酸素水塊の時空間変動を明確にとらえていくには、コンピュータ・グラフィックス技術を用いた立体画像解析の導入が必要であろう。それには、精細なデータ、すなわち調査間隔の短縮化や観測点、観測層の精密化が必要である。

3 低酸素水塊の動きを左右する要因

(1) 考えられる2つの要因

前項の2で記したように、溶存酸素量の鉛直分布状況から、低酸素水塊が南下・拡大あるいは後退・北上の動きを示していることが把握された。

しかし、低酸素水塊のこのような動きが水塊独自の動きによるものか、あるいは何かに左右されているものか、は不明である。すなわち、低酸素水塊そのものが海底域で成長、衰退の動きをしているのか、あるいは低酸素水塊を包含する海域全体が動いているのか、については把握されていない。前者については、底層部における酸素の消費状況によって起こる化学的・生物的現象の動きであり、後者については、海域の流動に左右される物理的な動きであるから、当然両者は別個の経時変化をしているとみられる。

したがって、低酸素水塊の動きは、両要因の複合した

経時変化として現れていることになる。

低酸素水塊の動きの主要因が、水塊独自の消長によるものか、海流によるものかを明確にするには精細な調査が必要であろう。特に、化学的・生物的現象にもとづく低酸素水塊の消長をとらえるには、調査間隔の短縮化、できれば連続観測によるデータが必要と思われる。

ここでは、低酸素水塊の動きが海流に左右されているかどうかについて考察する。

(2) 湾内の循環流に左右される低酸素水塊の動き

結果の項で記した各観測日における低酸素水塊の出現状況と塩分の鉛直分布状況とを対比してみると、低酸素水塊と34‰前後の高塩分の水塊が常に対峙した関係にあることが認められる。

すなわち、1991年の場合、5月21日は、低酸素水塊はSt. 9以北にあり、34‰台の高塩分の水塊がSt. 7とSt. 4の中間以南にみられる。6月11日は、低酸素水塊はSt. 15~St. 4にかけてみられ、34‰台の高塩分の水塊は認められない。5月21日から6月11日にかけて底層水の南下、移動が認められる。6月11日から6月25日にかけて、低酸素水塊はSt. 15~St. 9に北上・後退が認められ、34‰台の高塩分の水塊はSt. 15~St. 4にかけて認められる。これは、南から沖合系水が北上したためと推察される。8月14日は、厚さ10mに及ぶ低酸素水塊がSt. 15~St. 4にかけてみられるが、St. 7~St. 4の南部の底層域では認められず、この時、34‰台の水塊はSt. 4以南に認められる。6月25日に底層部全域にあった高塩分の水塊は8月14日時点ではSt. 4まで南下したとみられる。この底層水の南下、移動にともない、北から大規模な低酸素水塊が南下したと推察される。8月27日は、低酸素水塊はSt. 15~St. 4にかけてみられ、34‰台の水塊は認められない。8月14日から8月27日にかけて底層水はさらに南下、移動したと推察される。9月11日は、St. 15以北から南下したと思われる低酸素水塊がSt. 15~St. 7にかけてみられ、34‰台の水塊はSt. 4の底層部にわずかに認められる。8月27日から9月11日にかけて沖合系水の侵入が認められる。

1992年の場合、5月20日及び5月26日は低酸素水塊は認められず、34‰台の水塊は、5月20日にはSt. 9~St. 4に、5月26日にはSt. 15~St. 4に認められる。5月20日から5月26日にかけて底層水の北上が推察される。6月19日は、低酸素水塊はSt. 15~St. 7にかけてみられ、34‰台の水塊はSt. 7とSt. 4の中間にみられる。

5月26日から6月19日にかけて底層の高塩分の水塊は南に後退しており、北からの流れにともなって低酸素水塊が南下したと推察される。6月25日は、低酸素水塊は認

められず、この時、34‰台の水塊は、St. 15~St. 4にかけて広範囲に認められる。沖合系水の強い差し込みにより、低酸素水塊は北上・後退したか消滅したものと推察される。7月15日は、低酸素水塊はSt. 15~St. 9にかけてみられ、34‰台の水塊はSt. 9とSt. 7の中間以南にみられる。6月25日から7月15日にかけて底層水は南下、移動したと推察される。7月23日は、低酸素水塊はSt. 15~St. 4にかけてみられるが、St. 7~St. 4の底層部では認められず、この時、34‰台の水塊がSt. 7~St. 4の底層部にみられる。7月15日から7月23日にかけて底層水はさらに南下、移動したが、St. 7~St. 4の底層部に高塩分の沖合系水が残留していたため低酸素水塊はその上を南下したものと推察される。9月17日は、低酸素水塊はSt. 15~St. 4にかけて広範囲にみられ、34‰台の水塊はSt. 7~St. 4のごく底層部で認められる。

7月23日から9月17日にかけて底層水は南下、移動したと推察される。9月17日の時点では、34‰台の高塩分の水塊が低酸素化している。10月13日は、低酸素水塊はSt. 15~St. 12の底層部でみられ、この時、34‰台の水塊は認められない。9月17日から10月13日にかけて底層水はさらに南下、移動したと推察される。以上のように、羽田沖のSt. 15から本牧沖のSt. 4にかけての東京湾西岸域における低酸素水塊の動きは、34‰台の高塩分の水塊の動きに左右されていることがわかる。すなわち、湾口部から沖合系水の差し込みが強いときは、北上・後退の動きを示し、沖合系水の勢いが弱く南下流の強いときは南下・拡大の動きとなる。

宇野木ら(1980)は、東京湾の冬と夏の1ヶ月間の平均流と毎時の25時間移動平均流の流向頻度分布から、東京湾の循環流について、冬季は平均的に時計回りの循環が認められ、これは上下層のいずれにも存在するが、上層では東岸側が、下層では西岸側が顕著である。夏季は、流向の頻度分布が2つ以上に別れていることが多く、環流の変動が起りやすいが、湾北部では冬季とは逆に反時計回りの環流の可能性が考えられ、西岸沿いには上層のみならず下層にも南下する流れがあり、湾口付近では上層の西側では流出が強く、下層では流入が強いことを明らかにしている。

今回の調査結果と上記の知見から、低酸素水塊の動きは、それを包含する水域の動き、すなわち、湾内の循環流に大きく左右されていることが明らかである。

要 約

- 1991年及び1992年の5~10月期に、羽田沖から本牧沖にかけての東京湾西岸域に出現した低酸素水塊の厚

- さはほぼ10m前後であった。
- 2 低酸素水塊のフロント部分では、盛り上がり構造、中層部出現構造、二重構造などの鉛直構造がみられた。
 - 3 月2回の観測をもとに、低酸素水塊の時空間的変動をみると、南下・拡大あるいは後退・北上の動きをしていることが認められた。
 - 4 今後、低酸素水塊の時空間的変動を明確にとらえていくには、精細なデータとコンピュータ・グラフィックス技術の導入が必要であろう。
 - 5 東京湾内における低酸素水塊の動きは、水塊独自による部分（水塊の消長）と海域全体の動きによる部分（海流）とが複合した形での経時変化とみられる。
 - 6 水塊独自の消長による拡大、縮小の動きについては連続観測等の精細な調査が必要であろう。

- 7 低酸素水塊がそれを包含する水域の動き、すなわち、湾内の循環流に左右されていることが把握された。
低酸素水塊の動きは下層の流れに左右される。下層流が岸沿いに南下するときは拡大・南下の傾向がみられ、沖合系水の侵入により、環流が北上するときは縮小又は後退の傾向がみられる。

文 献

小林良則（1993）：東京湾における低酸素水域の分布と小型底びき網の漁獲量の関係，神奈川県水産試験場研究報告，第14号
宇野木早苗・岡崎森吉・長島秀樹（1980）：東京湾の循環流と海況，Tech. Rep. 4，理研海洋物理研究室，262pp.

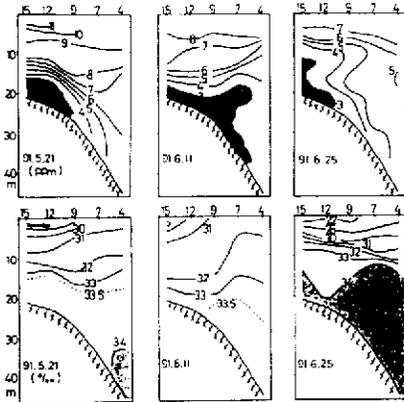


図2 溶存酸素量（上段）及び塩分（下段）の観測日別鉛直分布（1991年）

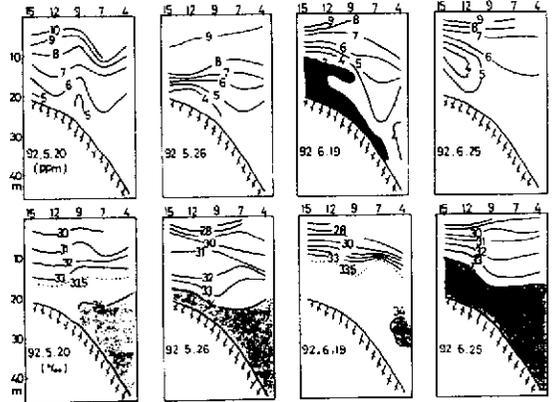


図3 溶存酸素量（上段）及び塩分（下段）の観測日別鉛直分布（1992年）

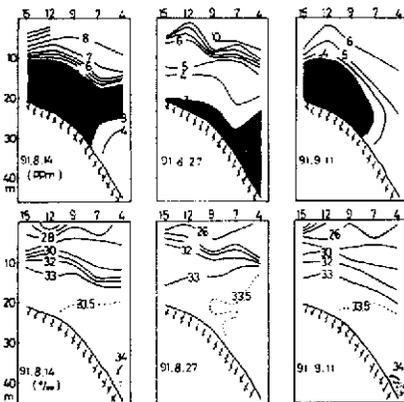


図2 （つづき）

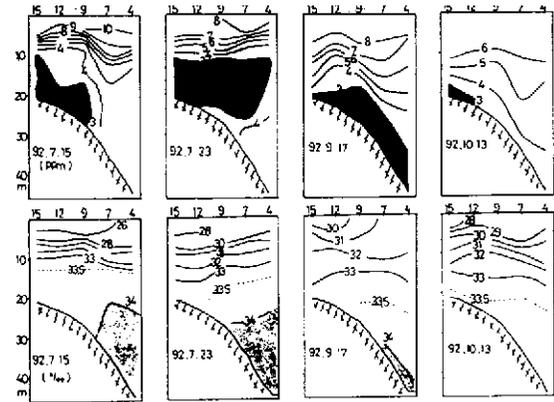


図3 （つづき）