

東京湾水質一斉調査から見た貧酸素水塊 の空間分布特性について

SPATIAL DISTRIBUTION OF HYPOXIC WATER MASS BASED ON A
MONITORING CAMPAIGN OF BAY ENVIRONMENT AT TOKYO BAY, JAPAN.

堀江岳人¹・古川恵太²・岡田知也³

Takehito HORIE, Keita FURUKAWA, Tomonari OKADA

¹正会員 工修 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 交流研究員
(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

²正会員 博(工) 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 室長
(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

³正会員 博(工) 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 主任研究官
(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

In 2008, a monitoring campaign of bay environment had been done at Tokyo Bay, Japan. This campaign has been a part of implementation of the bay renaissance plan enacted since 2005. The data was corrected by 46 institutions in 568 monitoring points in around 2nd July 2008. Dissolved oxygen, salinity, and temperature were monitored in sea area basically from the surface to the bottom with 1.0m vertical spacing at the monitoring points.

We analyzed spatial distribution of hypoxic water mass based on the monitoring campaign data. Following results are obtained that 1) Measurement results showed that the bottom hypoxic water mass dominated in the head of Tokyo bay, while dissolved oxygen concentration was high in tidal flat and in shallow water, such as Tama River estuary, Sanbanze tidal flat and Arakawa River estuary. 2) We proposed new parameters that showed characteristic of spatial distribution of hypoxic water mass. As a result, strong oxygen depression and development of hypoxic water mass around port of Tokyo and off Arakawa River estuary were illustrated by the parameters.

Key Words : *Hypoxic water mass, Vertical profile of dissolved oxygen, Tokyo bay, Enclosed bay, Monitoring of coastal environment*

1. はじめに

1960年以降, 貧酸素水塊は, 人為的要因による富栄養化の進行により, 日本を始め, メキシコ湾, 米国東海岸, ヨーロッパ沿岸などにおいて, 急激に広がっている. 貧酸素水塊の発生域は, 人間の活動地域とほぼ一致しており, 発生箇所は世界で約400箇所以上, 面積にして約245,000km²以上になると報告されている¹⁾.

一方, 東京湾では, 後背地に約2,700万人の人口を抱え, 都市活動の負荷による富栄養化により, 夏季から秋季に広範囲で貧酸素水塊が発達し, ベントスや魚類等の生態系に大きな影響を及ぼしている(例えば, 柿野²⁾, 風呂田³⁾, 石井⁴⁾, 石井・加藤⁵⁾, 古川ら⁶⁾, Tobaら⁷⁾). このような状況を鑑み, 東京湾再生推進会議⁸⁾では, 『快適に水遊びができ, 多くの生物が生息する, 親しみやすく美しい「海」を取り戻し, 首都圏にふさわしい「東京湾」を創出する』と言う目標のもと, 陸域対策と海

域対策と共に東京湾におけるモニタリングの実施を柱とする行動計画が策定されている. その一施策として, 2008年(平成20年)7月2日に, 東京湾全体の溶存酸素(以下, DO)濃度の把握を主目的として第1回東京湾水質一斉調査(以下, 一斉調査)が実施された(詳細は後述).

東京湾における既往のDO濃度調査として, 空間分布に関しては, 公共用水域調査⁹⁾, 千葉県水産総合研究センターなどによる貧酸素水塊速報¹⁰⁾, 鉛直分布の連続調査に関しては, 千葉灯標におけるモニタリングポストによる東京湾リアルタイム水質調査¹¹⁾が実施されている. これらの調査結果を用いた, 安藤ら^{12,14)}, 石井ら¹³⁾, 山尾¹⁵⁾の研究により, 東京湾の秋・冬季における水温の上昇傾向¹²⁾とそれに伴う貧酸素水塊の長期化や解消時期の遅れ¹³⁾, 1980年以降からの貧酸素水域の増加¹⁴⁾, 冬季の東京湾奥における貧酸素水塊の発生¹⁵⁾などが明らかにされている. また, 個別のDO濃度調査も精力的に行われており, 京浜運河が東京湾におけ

る貧酸素水塊の発生ソースの一つである可能性¹⁶⁾、湾口からの外洋水の浸入とそれに伴う青潮の発生しやすさの関係^{17,18)}、多摩川河口沖付近から主に湾口側で見られる中貧酸素水塊の形成機構^{19, 20)}、青潮発生のメカニズム^{21, 22, 23)}、風に伴う貧酸素水塊の挙動^{24, 25)}、なども明らかにされてきている。しかし、これまでの調査では、空間的に沿岸近くや航路等のデータ、及び湾内多地点の鉛直分布データによる情報が不足しているため、東京湾全体の水際線や浅海域における局所的な循環メカニズムを含む包括的な貧酸素水塊の発生メカニズムの把握には至っていない。今回の一斉調査では、時間的な変動は捉えられないものの、上述した既往の調査における欠点を補うように、鉛直プロフィールデータの取得、沿岸部、運河・航路部を含む調査地点の配置、重複を避けた調査地点の設定、調査地点数の増加、などに重点を置いた調査計画がたてられた。

そこで本研究では、この一斉調査のデータを用いて、東京湾の貧酸素水塊の空間分布特性を示すと共に、水際線や浅海域における貧酸素水化の規模や空間特性を示す新たな指標を提案し、東京湾における包括的な貧酸素水塊の発生メカニズム解明への第一歩とする事を目的とする。なお、貧酸素水塊の定義として、柳²⁶⁾は、生物への影響と海中での化学反応を考慮し、DO濃度3.6mg/L以下、0.036mg/L以上を貧酸素水塊と提案し、古谷²⁷⁾は、底生生物の正常生息域下限をDO濃度3mg/L以下とするなど、対象項目の違いより閾値が考えられるが、本論では貧酸素水塊をDO濃度が3mg/L以下と定義し、以後の解析を行った。

2. 東京湾水質一斉調査

(1) 東京湾水質一斉調査の概要

第1回東京湾水質一斉調査は、各モニタリング機関が集結し、同条件、同調査項目の元、実施された(表-1)。一斉調査は、全46機関・団体が参加し、調査地点数は海域において計222地点、陸域(主に河川域)において計281地点、合計568地点において実施された(図-1)。海域調査地点は、従来の公共用水域調査地点に新規の調査地点を加えて構成されており、また、陸域調査地点は公共用水域調査地点のみで構成された。

海域における新規の調査地点では、海面下0.5mから海底上1.0mまで鉛直方向に1.0m毎に、各水質項目の鉛直プロフィールデータが取得された(表-1)。なお、公共用水域観測では、表層、中層及び底層の最大で3層分の各水質項目データが観測された。個別のモニタリング機関における調査方法、調査期間、調査機器等についての詳細は、東京湾環境情報センターWEBサイト²⁸⁾に登録されている。また、陸域における一次解析結果は、東京湾環境マップVol.3²⁹⁾に示されている。

表-1 東京湾水質一斉調査の調査概要

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	・海域3項目: 溶存酸素(DO)濃度、水温、塩分
共通調査方法	・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

※海域調査地点は、公共用水域調査地点と新規調査地点で構成されており、陸域調査地点は、公共用水域調査地点のみで構成されている。

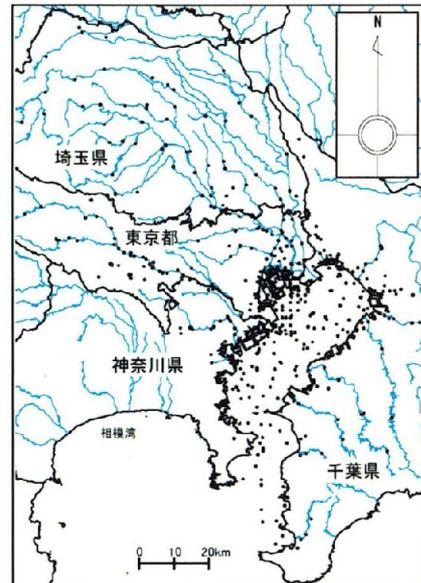


図-1 東京湾水質一斉調査全調査地点(海域:222地点、河川:281地点、他、計568地点)

(2) 東京湾水質一斉調査データの利用

一斉調査データは、東京湾環境情報センターWEBサイト²⁸⁾から入手し、2008年7月2日に観測が実施されたデータを、解析の対象とした。各観測機関において、観測機器、観測時刻等が異なるため、一斉調査データの入手後、各観測項目における単位や観測水深に対する基準の統一など、データの標準化を行った。更に、データ品質管理としてデータノイズやデータ異常値の除去を行った³⁰⁾。ただし、公共用水域データにおいて、表層、中層、底層と表現されているデータに関しては、水深補正は出来なかった。データの標準化、及びデータ品質管理の結果、計119地点分の海域における観測データが解析に利用可能となった。なお、水深の基準は、東京湾平均海面(T.P.)に統一し、芝浦(図-2(b)、図-3)での実測潮位を用いて、補正を行った。

3. 東京湾水質一斉調査前後の気象と海象

一斉調査は大潮期に実施された(図-2(b))。風向は、一斉調査日前日の7月1日より、北系の風から南系の風に変遷し、以後、南系の風が連吹した(図-2(a))。なお、一斉調査日の午後において、風速は12.0m/sを記録していた。千葉灯標(図-3)での貧酸素水塊は、一斉調査日前日の7月1日以降、

減少していた(図-2(d))。これは、八木ら²⁵⁾が示す様に、南風の影響により、底層水は湾軸西側方向に流れていたと考えられる。日雨量の平均値は、一斉調査日2日前に約8.0mm/d、3日前に約40.0mm/dだった(図-2(c))。

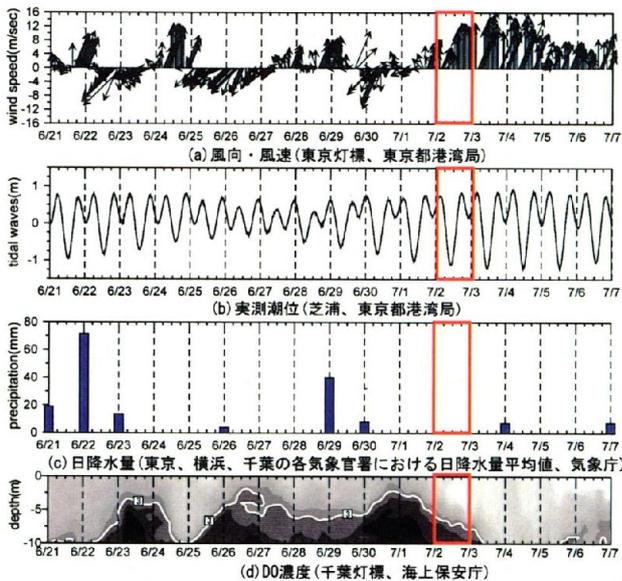


図-2 (a) 東京灯標における風向風速ベクトル(東京都港湾局)、(b) 芝浦における実測潮位(同)、(c) 東京管区气象台、横浜地方气象台及び千葉測候所の3箇所における日雨量の平均値(気象庁)、及び(d) 千葉灯標におけるD0濃度の鉛直分布(海上保安庁)の時間変化

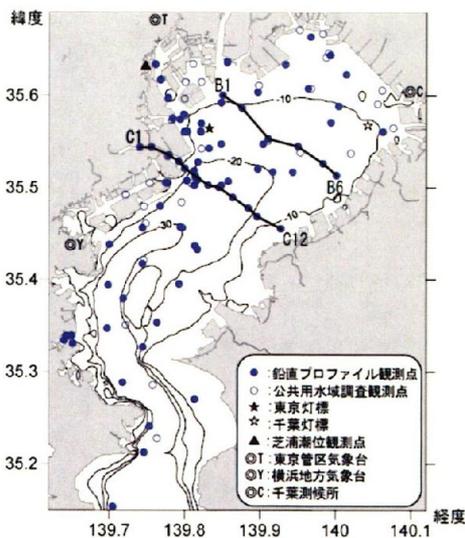


図-3 等深線、気象・海象の調査地点位置、海域における一斉調査地点位置及びD0濃度の断面図ラインの位置(観測点は、7月2日における観測地点)

4. 貧酸素水塊の空間分布特性

(1) 底層(海底面上1.0m)における貧酸素水塊の平面分布図

図-4(a)は、湾内119地点(図-3)の一斉調査データを用いて作成した底層(海底面上1.0m)のD0濃

度の平面分布を示す。また比較のために、湾域のマクロな水質分布の把握を目的とした公共用水域データの調査点計36地点分のデータ(図-3)を抽出して作成した平面分布も示す(図-4(b))。なお、公共用水域調査データでは、海底面上1.0mのデータが存在しないので、底層のデータを用いた。

湾奥において、貧酸素水塊は岸近くまで接岸していた。また、湾奥の殆どが、D0濃度1mg/L以下の領域であり、東京港周辺、浦安沖、船橋沖、市川沖では、D0濃度1mg/L以下の水塊が岸近くまで接岸していた。一方、湾奥でも、三番瀬、荒川河口、多摩川河口などの干潟や浅場では、D0濃度は高かった。この理由として、西村ら³¹⁾、風間ら³²⁾が指摘するように、干潟において貧酸素化の直接の原因である水中の懸濁有機物の除去など水質浄化機能によって貧酸素水塊が解消された可能性、また水深の違いがD0分布の違いになって現れている可能性などが考えられる。なお、東京湾では、高度成長に伴い沿岸では埋め立てが進み、干潟面積は1950年代と比べ約1/8(1250ha)まで減少している³³⁾。

公共用水域調査のデータを用いて作成した底層D0濃度の平面分布(図-4(b))と図-4(a)を比較すると、一斉調査結果を用いると、湾奥での貧酸素水塊の接岸状況や、無酸素水塊の分布形状が評価できる可能性が示されており、そうした局所的な場の貧酸素域及び無酸素域を評価する事に利用できる可能性を示している。

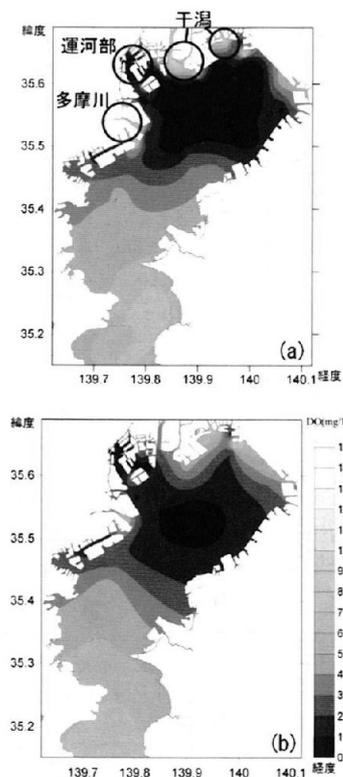


図-4 底層におけるD0の平面分布 (a) 上図: 水質一斉調査点計119地点より作図、(b) 下図: 公共用水域調査点計36地点を抽出したデータから作図

(2) 湾奥横断ラインBと多摩川横断ラインCにおける貧酸素化の強さの違い

本論文中では、DO 濃度が 3mg/L 以下の水塊を貧酸素水塊と定義しているが、各観測地点において貧酸素水塊内の DO 濃度の鉛直分布が異なっていた。例えば、図-3 に示す湾軸横断ラインB (B1~B6, 荒川河口~市原沖) とラインC (C1~C12, 多摩川河口~盤洲干潟沖) における DO 濃度の鉛直断面図 (図-5) を比較すると、ラインB の西側 (図の左側) における DO 濃度が 3mg/L 以下の貧酸素水塊層では、DO 濃度は急激に低下し、ほぼ全層において 1mg/L 以下であった (図-6)。一方、東側では、DO 濃度は緩やかに減少し、DO 濃度が 1mg/L となるのは、貧酸素水塊層の半分以下だった。また、ラインC の西側では、貧酸素水塊層内において、DO 濃度が 1mg/L 以下になる層は無かった。

この貧酸素水塊内における DO 濃度の鉛直分布の違いは、場所毎に異なる酸素消費速度、風の影響による底層水の移流²⁵⁾、及び鉛直混合強さ等によってもたらされると考えられる。そしてこの違いは、観測時における各場所の貧酸素化の進行度合いや、貧酸素化の強さを示していると考えられ、貧酸素水塊を評価する上で重要であると考えられる。

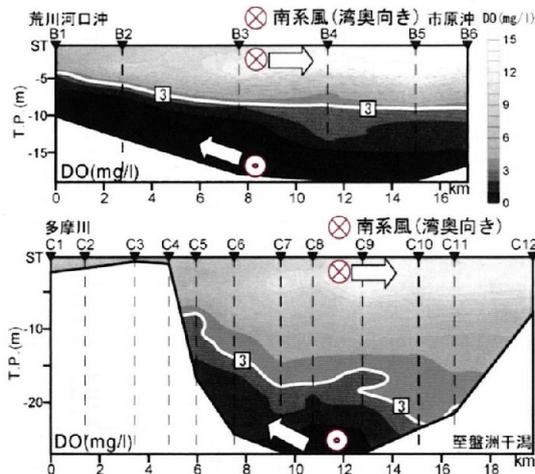


図-5 DO 濃度の鉛直断面図 (上図: ラインB, 下図: ラインC)

(3) 貧酸素水塊の強さ及び貧酸素化の進行の度合いを示す指標

上記(2)で指摘した貧酸素化の進行の度合い、また貧酸素化の強さを空間的に検討するために、DO 濃度、水温、塩分の観測結果を用いて、新たに2つの指標を考案した。図-6に、ラインC上のC2地点を例とした後述に示す指標に関する模式図を示す。

貧酸素化の進行度合いの定義に際し、貧酸素水塊は底面から形成し、徐々に成層界面まで発達するが、成層界面より上層には発達しないものと仮定した。従って、ある場所において貧酸素化が最も進んだ状態とは、貧酸素水塊が成層界面まで達した状態である。貧酸素化の進行度合いを示す指標 C_h は、次式

(1)で定義され、この値はその場所における酸素消費速度と酸素供給のバランスで決まると考えられる。

$$C_h = \frac{Z_{DO3mg/L}}{Z_d} \quad (1)$$

ここで、 Z_d は海底から成層界面までの厚さ(m)、 $Z_{DO3mg/L}$ は海底面から DO 濃度 3mg/L (貧酸素水塊上端) までの厚さ(m)を示す。成層界面は、海底から1つ目における鉛直方向の密度勾配の局値の位置とした。

次に、貧酸素化の強さを示す指標 C_{DZ} は、次式(2)で定義された。

$$C_{DZ} = \frac{1}{Z_{DO3mg/L}} \int_0^{Z_{DO3mg/L}} C(h) dz \quad (2)$$

ここで、 z は海底面を原点とした鉛直上向きを正とする方向(m)、 $C(h)$ は水深 h における DO 濃度をそれぞれ示す。ラインBの西側の様に貧酸素水塊層の大部分の DO 濃度が 0mg/L に近い値の場合には C_{DZ} は 0に近い値をとり、貧酸素化は強いと評価される。一方、ラインCの東側の様に貧酸素水塊層の DO 濃度が緩やかに減少している場合には、 C_{DZ} は 3に近い値をとり、貧酸素化は弱いと評価される。

図-7に C_h の平面分布、図-8に C_{DZ} の平面分布をそれぞれ示す。両指標における平面分布は、東京港及び荒川河口沖周辺において、貧酸素化が強く、また貧酸素化が進行していた事を示す。

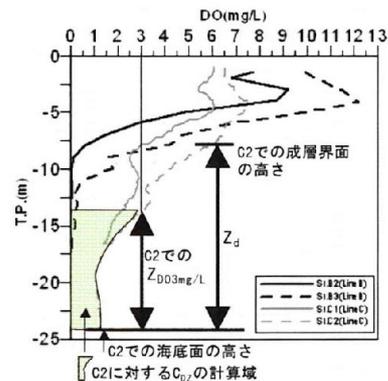


図-6 DO濃度の鉛直プロファイル (ラインBにおけるB2地点、B3地点、及びラインCにおけるC1地点、C2地点) と、C2地点を例とした指標に関する模式図

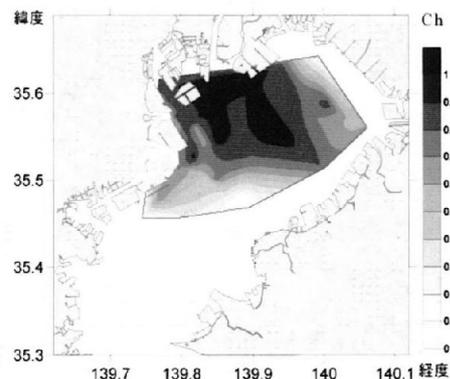


図-7 貧酸素化の進行度合いを示す指標 C_h の平面分布

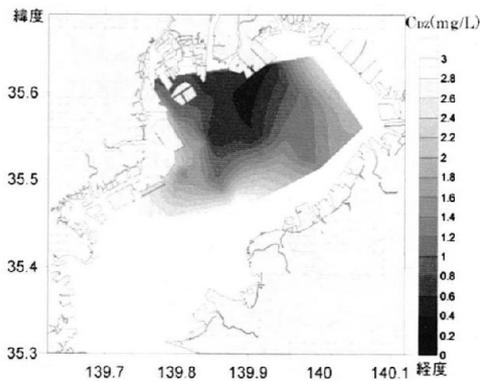


図-8 貧酸素化の強さを示す指標 C_{DZ} の平面分布

(4) 貧酸素水塊の発達度合い（貧酸素水塊中の酸素欠損量）を示す指標

前述した様に、貧酸素化は強いが貧酸素水塊の厚さが薄い所があれば、貧酸素水塊は厚いが貧酸素化が弱い所もある。そこで、上記(3)で定義した貧酸素水塊の強さを示した C_{DZ} と貧酸素水塊の厚さを用いて、貧酸素水塊中の酸素欠損量 V_{DZ} を算出した(式(3))。 V_{DZ} は、厚さと貧酸素化の強さの両方を考慮した指標となっており、貧酸素水塊の発達の度合いを示していると考えられる(図-9)。

$$V_{DZ} = Z_{D03mg/L} (3.0 - C_{DZ}) \quad (3)$$

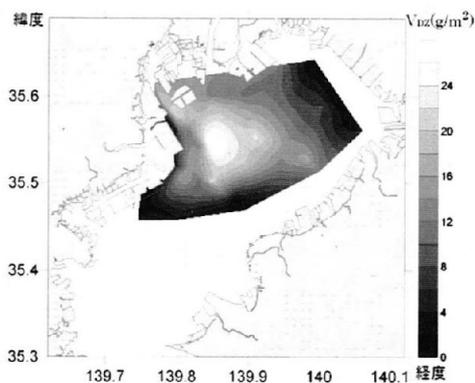


図-9 貧酸素水塊の発達度合いを示す V_{DZ} の平面分布

V_{DZ} は、東京港及び荒川河口沖において高く、貧酸素水塊が最も発達していた箇所と示される。一方鯉淵・磯部²³⁾は、2004年夏季のD0観測結果より、貧酸素水塊が東京灯標付近(図-3)で主に形成され、それが風による流動で移動している事を示唆している。両観測時において気象及び海象条件等に違いがあると考えられるため単純に比較は出来ないが、東京灯標周辺は、貧酸素水塊が生成・発達しやすい箇所である可能性が示唆される。

5. まとめ

本研究では、水平方向および鉛直方向に密に取得

された東京湾一斉調査のデータを用いて、東京湾の貧酸素水塊の空間分布特性を示すと共に、貧酸素水塊を表現する新たな指標を提案し、評価を行った。

本研究により得られた主要な成果を以下に示す。

(1) 水平方向に密に得られたデータによって、湾奥においては、貧酸素水塊は岸近くまで接岸しているものの、三番瀬、荒川河口、江戸川河口および多摩川河口などの干潟や浅場では高いD0濃度を維持している事が示された。すなわち、一斉調査データを用いる事で、貧酸素水塊域、及び無酸素水塊域の局所分布を評価できる可能性が示された。また、D0濃度の鉛直断面分布によって、貧酸素水塊内のD0濃度の鉛直分布は、場所毎に異なる事が示された。

(2) D0濃度の鉛直データを用いて、貧酸素化の進行の度合いを示す C_h 、貧酸素化の強さを示す指標 C_{DZ} 、貧酸素水塊の発達の度合いを示す V_{DZ} を提案した。これら新たな指標を用いた結果、東京港付近から荒川河口沖側周辺において貧酸素化の進行が強く、また貧酸素水塊の発達の度合いが高かった。

今後の課題としては、ダイナミックな貧酸素水塊の変動の考慮が挙げられる。今後は一斉調査と並行して、連続記録が取得可能なモニタリングポストを設置し、モニタリング体制の一層の充実を図る事により、水環境の一層の把握が可能となると考える。

謝辞: 本研究を遂行するにあたり、「東京湾再生推進会議モニタリング分科会」及び「八都府市首脳会議環境問題対策委員会水質改善専門部会」には、東京湾水質一斉調査データの使用におきまして、多大なご協力を頂きました。また、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の梅山崇研究官、上村了美研究官、同研究部沿岸域システム研究室の日向博文室長、同研究部沿岸防災研究室の熊谷兼太郎主任研究官にも大変有益な助言を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Diaz, R.J. and Rosenberg, R.: Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems, *Science*321, 926 (2008), 2008.
- 2) 柿野純: 東京湾奥部における貝類への死事例特に貧酸素水の影響について, 水産土木, 23, pp. 41-47, 1986.
- 3) 風呂田利夫: 東京湾内湾底生動物の生き残りと繁栄, 沿岸海洋研究ノート, 28, pp. 160-169, 1991.
- 4) 石井光廣: 東京湾におけるマコガレイの分布・移動, 千葉水試研報, 50, pp. 31-36, 1992.
- 5) 石井光廣, 加藤正人: 東京湾の貧酸素水塊分布と底びき網漁業によるスズキ漁獲位置の関係, 千葉県研報, No. 4, pp. 7-15, 2005.
- 6) 古川恵太, 中山恵介, 水尾寛己: 2003年東京湾に発生した繊毛虫 *Mesodinium rubrum* による赤潮と水生生物の大量死の連関に関する調査事例, 沿岸域学会誌, Vol. 18, No. 4, pp. 67-77, 2006.

- 7) Toba, M., Kosemura, T., Yamakawa, H., Sugiura, Y. and Kobayashi, Y.: Field and laboratory observations on the hypoxic impact on survival and distribution of short-necked clam *Ruditapes philippinarum* larvae in Tokyo Bay, central Japan, *Plankton and Benthos Research*, Vol. 3, No.3, pp.165-173, 2008.
- 8) 海上保安庁：東京湾再生のための行動計画，東京湾再生推進会，<http://www1.kaiho.mlit.go.jp/>，2003.
- 9) 国立環境研究所：環境数値データベース，公共用水域の水質測定結果，<http://www.nies.go.jp/index-j.html>，2008.
- 10) 千葉県水産総合研究センター：貧酸素水塊速報，<http://www.pref.chiba.lg.jp/laboratory/fisheries/index.html>，2008.
- 11) 海上保安庁：東京湾リアルタイム水質データ，<http://www4.kaiho.mlit.go.jp/kaihoweb/index.jsp>，2008.
- 12) 安藤晴夫，柏木宣久，二宮勝幸，小倉久子，山崎正夫：東京湾における水温の長期変動傾向について，*海の研究*，12(4)，pp. 407-413，2003.
- 13) 石井光廣，長谷川健一，柿野純：千葉県データセットから見た東京湾における水質の長期変動，*水産海洋学会誌*，72(3)，pp. 189-199，2008.
- 14) 安藤晴夫，柏木宣久，二宮勝幸，小倉久子，川井利雄：1980年以降の東京湾の水質汚濁状況の変遷について-公共用水域水質測定データによる東京湾水質の長期変動解析-，*東京都環境科学研究所年報2005*，pp. 141-150，2005.
- 15) 山尾理：東京湾奥部における底層溶存酸素濃度の時間変化（2003年-2005年），*海洋情報部技報*，*海洋情報部技報*，Vol. 24，pp.116-126，2006.
- 16) 有路隆一，田中陽二，諸星一信，松坂省一，鈴木高二朗：横浜川崎地区京浜運河における水質の現状調査，*海洋開発論文集*，第24巻，pp. 627-632，2008.
- 17) 鈴木高二朗，磯部雅彦，諸星一信：流況・水質の長期連続データから見た東京湾口と湾奥の関係について，*海岸工学論文集*，第55巻，pp.1076-1080，2008.
- 18) 田中陽二，有路隆一，諸星一信，鈴木信昭，松坂省一，鈴木高二朗：東京湾における底層水塊の流動と千葉浚渫窪地に与える影響，*海岸工学論文集*，第55巻，pp. 1031-1035，2008.
- 19) 藤原建紀，高橋鉄哉，山田佳昭，兼子昭夫：東京湾の貧酸素水塊に外洋の海況変動がおよぼす影響，*海の研究*，Vol.9，No.6，pp. 303-313，2000.
- 20) 八木宏，Tanuspong POKAVANICH・安井進，灘岡和夫，有路隆一，松坂省一，鈴木信昭，諸星一信，小田遼子，二瓶康雄：東京湾湾口部の湧昇現象に伴う湾内貧酸素水塊の中層化とその解消過程，*海岸工学論文集*，第55巻，pp1081-1085，2008.
- 21) 中辻啓二，尹鐘星，湯浅泰三，村岡浩爾：東京湾における吹送密度流と青潮発生機構との関連性，*海岸工学論文集*，第42巻，pp. 1066-1070，1995.
- 22) 佐々木淳：東京湾湾奥水塊の湧昇現象と青潮への影響，*海岸工学論文集*，第44巻，pp. 1101-1105，1997.
- 23) 鯉淵幸生，磯部雅彦：2004年の東京湾西岸横浜港周辺における青潮の発生要因，*海岸工学論文集*，pp. 896-900，2005.
- 24) 八木宏，江連伸明，井瀬肇，Tanuspong POKAVANICH，灘岡和夫，諸星一信，古土井健，有路隆一，森重輝政，小林聡：東京湾羽田周辺水域における貧酸素水塊と懸濁物質の時空間変動特性，*海岸工学論文集*，第54巻，pp. 1036- 1040，2007
- 25) 八木宏，Tanuspong POKAVANICH，井瀬肇，灘岡和夫，有路隆一，古土井健，下司弘之，古殿太郎，大野幸正：冬季東京湾多摩川河口沖海域への湾外系洲水波及と河口域への影響について，*海岸工学論文集*，第55巻，pp. 1086-1090，2008.
- 26) 柳哲雄：シンポジウム「貧酸素水塊」のまとめ，*沿岸海洋研究ノート*，第26巻，第2号，pp.141-145，1989.
- 27) 古谷純一：東京湾奥部において底生生物が受ける貧酸素の影響，*月刊 海洋 東京湾の海洋環境-貧酸素水塊*，pp. 504-514，1999.
- 28) 国土交通省：東京湾環境情報センター，<http://www.tbeic.go.jp/index2.html>，2008.
- 29) 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：東京湾環境マップVol.3,2009.
- 30) 全国アマモサミット2008実行委員会：第9回東京湾シンポジウム報告書，pp. 4-12，2009.
- 31) 西村大司，岡島正彦，加藤英紀，風間崇宏：浚渫砂を用いた干潟造成による環境改善効果について，*海洋開発論文集*，第18巻，pp. 25-30，2002.
- 32) 風間崇宏，中田喜三郎，田辺義夫，長谷川雅弘，大島巖，長倉敏郎：浚渫砂を用いて造成した干潟・浅場による沿岸海域環境への効果とその課題について，*海洋開発論文集*，第22巻，pp. 607-612，2006.
- 33) 東京湾の環境をよくするために行動する会：東京湾読本，pp. 23-24，2008.