

現地観測による伊勢湾・三河湾の 貧酸素水塊の挙動の把握

THE BEHAVIOR OF OXYGEN-DEFICIENT WATER MASS IN ISE BAY AND MIKAWA BAY

赤石正廣¹・大島巖²・鵜飼亮行³・青井浩二⁴・黒田伸郎⁵

Masahiro AKAISHI, Iwao OSHIMA, Noriyuki UKAI, Koji AOI, Nobuhiro KURODA

¹正会員 国土交通省中部地方整備局名古屋港湾空港技術調査事務所
(〒457-0833名古屋市南区東又兵衛町1-57-2)

²水修 (財)港湾空間高度環境研究センター (〒160東京都港区海岸3-26-1 パーク芝浦6階)

³正会員 工修 (財)港湾空間高度環境研究センター (〒160東京都港区海岸3-26-1 パーク芝浦6階)

⁴ 国土環境(株) 名古屋支店環境技術グループ (〒455-0032名古屋市港区入船1-7-15)

⁵ 愛知県水産試験場 (〒443-0021愛知県蒲郡市三谷町若宮97)

Ise Bay and Mikawa Bay are typical semi-enclosed bays. For this reason in both bays oxygen-deficient water mass is generated mainly during summer and has caused heavy damage to the sea area environment. It is important to reduce the generation of the oxygen-deficient water mass to improve the sea area environment of both bays.

In this research, a field investigation was conducted to find out the behavior of the oxygen-deficient water mass in Ise Bay and Mikawa Bay. As a result, it was confirmed that a physical process that forms isolated water mass at the bottom layer in the central part of the bay has caused the oxygen-deficient water mass in Ise Bay. On the other hand, it was found out that the stratification developed by the inflow of fresh water on the eastern side of the bay has generated the oxygen-deficient water mass in Mikawa Bay.

Key Words : *Oxygen-deficient water mass, field survey, Process, Ise Bay, Mikawa Bay*

1. はじめに

伊勢湾・三河湾は、我が国の代表的な閉鎖的内湾であり、東京湾などと同様に夏季を中心に底層近傍のD₀濃度が3mg/Lを下回る貧酸素水塊が毎年のように発生し、漁業生産や生物の生息、水質などの海域環境に大きな障害を及ぼしている¹⁾²⁾。伊勢湾は、湾口部がやや浅くなっていることから、湾中央部底層の海水が交換されにくく、貧酸素水塊が形成されやすい要因の1つともなっている³⁾。また、三河湾は、水深が浅いことから、風などの気象要因によって貧酸素水塊が浅場へ湧昇し、干潟域などに生息するアサリを主体とした二枚貝に大きな被害をもたらすことが知られている。このような現象は、東京湾では青潮、三河湾では苦潮と呼ばれている。

伊勢湾・三河湾の生物を含めた海域環境を改善する上では、夏季を中心に発生する貧酸素水塊を軽減・改善することが最も重要な課題と考えられる。しかしながら、対応策を検討するうえで重要となる貧酸素水塊の発生から消滅までのプロセスは必ずし

も十分に把握されているとは言えない。本研究では、特徴の異なる両海域における貧酸素水塊の発生、成長、消滅のプロセスの実態を現地調査によって把握しようとしたものである。

2. 伊勢湾・三河湾の概要

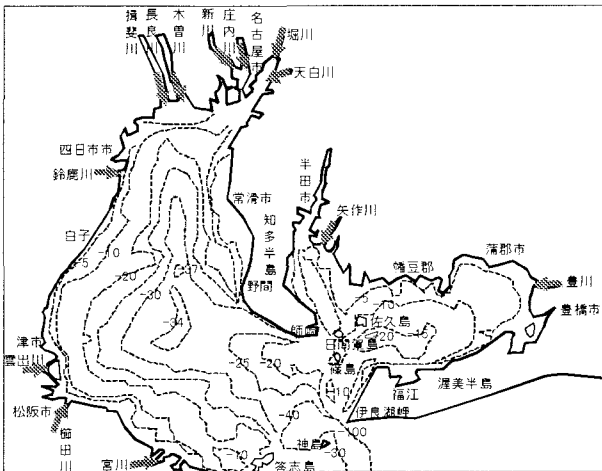
伊勢湾・三河湾の主な緒元を表-1に示す。伊勢湾の湾軸は南北方向、湾口は南東向きにあり、水域面積は1738km²、平均水深は20mである(図-1)。一方、三河湾の湾軸は東西方向、湾口は西向きであり、水域面積は604km²、平均水深は9mである。容積を河川流量で割った値は、海水交換の1つの目安となるが、伊勢湾を1.0とすると、三河湾は1.5、東京湾は3.8となり、伊勢湾はかなり海水交換能が高いと言える。COD負荷量/水域面積比とCOD濃度との関係をもて、伊勢湾は他の海域よりもCOD濃度が低いが、三河湾は他の海域よりもCOD濃度が高い。三河湾については、容積/河川流量比が低いこと、COD負荷量/容積比が大きいこと、これに加えて、湾口の向きが季節

風の向きではないことから、季節風に起因する海水交換能が低いことなどが大きな要因と考えられる。

表-1 伊勢湾・三河湾の緒元¹⁾

項目	単位	伊勢湾	三河湾	東京湾	大阪湾
水域面積	km ²	1738	604	1380	1447
流域面積	km ²	12621	3569	7597	5766
平均水深	m	20	9	45	30
容積	億m ³	339	55	621	440
浅海域面積 (水域面積に占める割合)	km ²	323 (18.6)	289 (47.8)	308 (22.3)	106 (7.3)
干潟面積 (水域面積に占める割合)	km ²	14 (0.8)	15 (2.5)	17 (1.3)	1 (0.1)
藻場面積 (水域面積に占める割合)	km ²	17 (1.0)	6 (0.9)	14 (1.0)	1 (0.1)
河川流量	億m ³ /年	180	20	86	87
COD負荷量	ton/日	173	48	247	180
COD濃度	mg/l	2.5	3.1	3.6	3
COD負荷量/水域面積	—	99.5	79.5	179.0	124.4
COD負荷量/容積	—	0.51	0.87	0.40	0.41
容積/河川流量	/年	1.88	2.75	7.22	5.06

注) 河川流量は一級河川の昭和57年から平成11年までの20ヶ年平均
COD負荷量は平成11年度値
COD濃度は上層の平成11～15年度の5ヶ年平均



注) 破線は等深線，数字はm
図-1 伊勢湾・三河湾の水深
(国土地理院1/25,000沿岸海域地形図から作成)

3. 調査方法

本研究における現地調査は、関係研究機関である愛知県水産試験場および三重県科学技術振興センターの現地調査と連携できるように調査地点，時期，および回数を設定して実施した（図-2）。伊勢湾では、既存調査を補間するとともに、二枚貝の漁場のある木曾三川河口域へ至る貧酸素水塊の挙動を把握するために湾北部を重点とし、三河湾は貧酸素水塊が発生する湾東部を重点に調査を行った。

調査期間は、貧酸素水塊の発生から消滅までを捉えるため、2003年6月～11月とした。調査地点および調査回数は、伊勢湾では11地点について14回の調査を、三河湾では14地点について23回の調査を行った。観測項目は、多項目水質計（アレック電子株式会社製ACL208）およびDO計（YSI社製58型）による水温、塩分、DO、濁度およびクロロフィル-aとし、

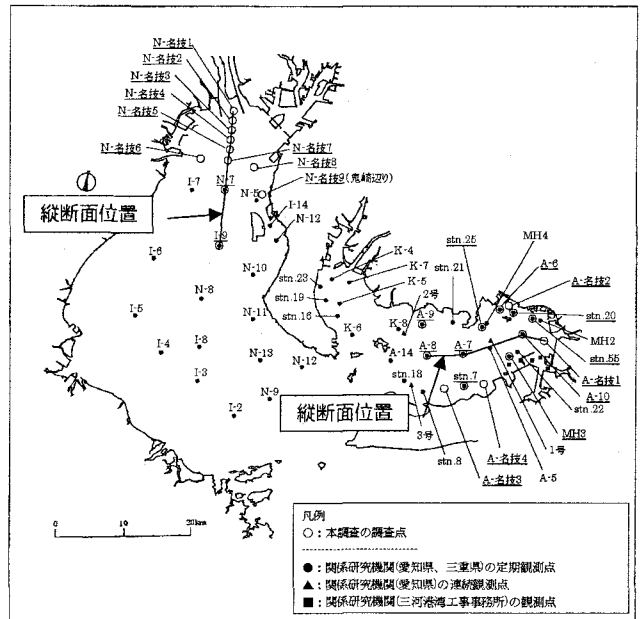


図-2 現地調査地点

調査地点ごとに表層（水面下0.5m）から底面（海底上1m）の間を1mピッチで観測し、鉛直分布を把握できるようにした。ここで、クロロフィル-aは十分な機器補正值でないことから、参考値として扱った。

図-3には、本研究で得られた三河湾の湾奥部の地点であるA-10（水深約9m）の密度（ σ_t ）、DOの変化を示した。観測期間にわたって、表層では密度の低下と上昇が観測され、底層の貧酸素も多くこの期間について観測することができた。

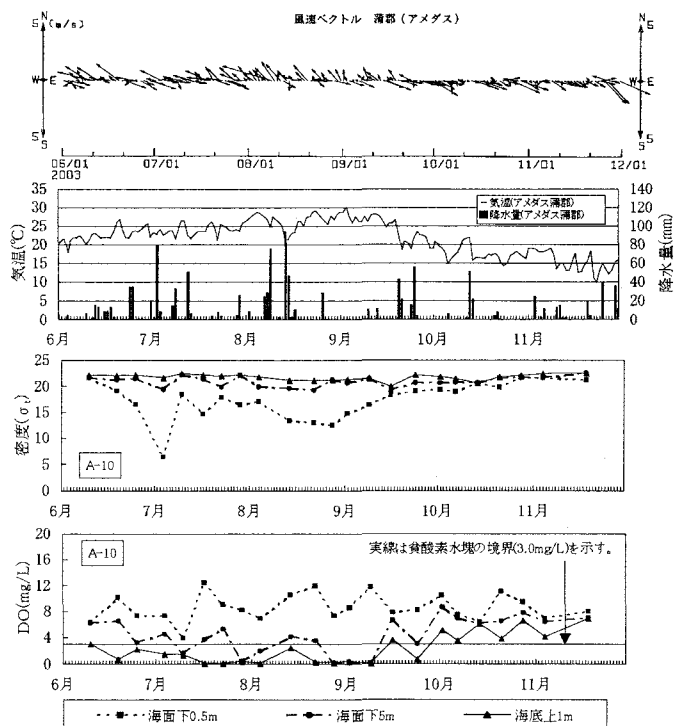


図-3 調査期間の密度、DOの変動（三河湾：A-10）

4. 調査結果

(1) 貧酸素水塊の発生から消滅とその要因

a) 伊勢湾

図-4に示す伊勢湾湾中央部の地点I-9（水深約38m）の鉛直分布を見ると、水温・塩分の変化が大きい躍層は概ね海面下5～10m程度の深さである。また、DO濃度が3.0mg/L以下の貧酸素水塊の厚みは海底から10m程度までみられる場合もある。6月中旬には湾中央部の底層で貧酸素が確認されており、その後、移動・成長・減衰を繰り返し、10月下旬以降、減衰して11月中旬には消滅した。貧酸素水塊の分布域の主体は、湾中央部・湾西部海域であった（図-5）。

風などの気象・海象要因による貧酸素水塊の変動は三河湾よりも小さく、これは平均水深が三河湾より深いことによるものと考えられる。東よりの風によってわずかに西進する傾向もみられた。

6/13～6/25にかけて137mm（名古屋地方気象台）のまとまった降雨があり、これに起因すると考えられる上層での密度の低下と下層での密度の増加が見られた。このような鉛直循環流が強まると考えられる時期に底層の貧酸素水塊が北進して遡上していることが確認された。また、湾奥部では、中層での貧酸素水塊が確認されたが、この時期には湾口側から湾奥部へ酸素を豊富に含んだ高密度水の貫入がみられることから、湾外起源の外海水の貫入によって貧酸素水塊が中層に押し上げられたものと考えられる（図-6）。

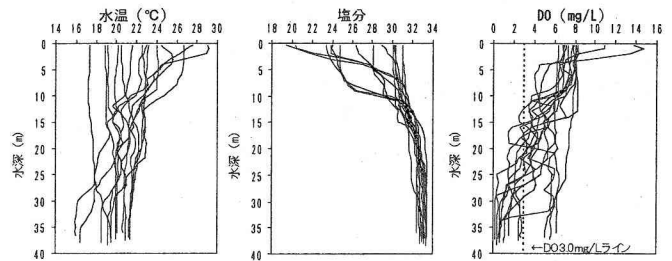


図-4 調査期間中の水温、塩分、DOの鉛直分布図（伊勢湾湾：I-9）

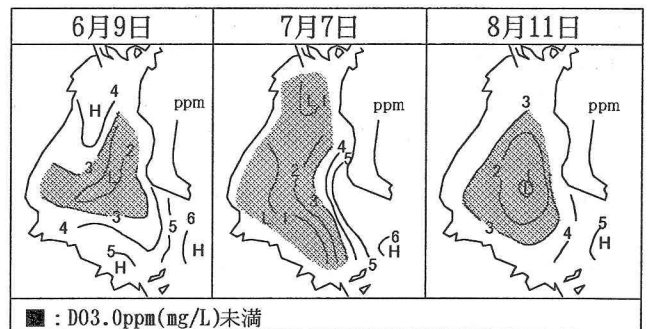


図-5 底層DOの水平分布図⁽¹⁾

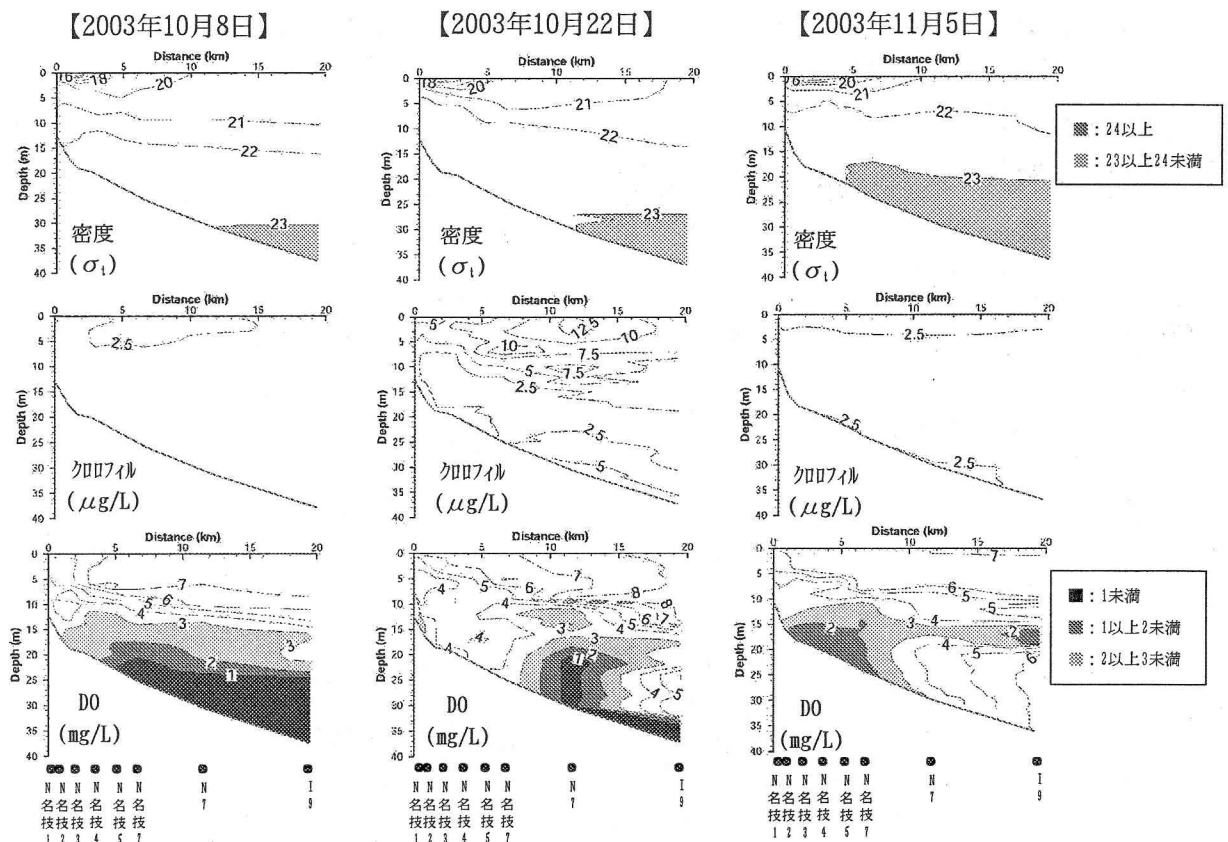


図-6 中層貧酸素水塊確認時期の密度、クロロフィル、DOの縦断面図（2003年10月8日～11月5日）

b) 三河湾

図-7に示す三河湾奥部のA-10（水深約9m）の鉛直分布を見ると、水温・塩分の変化が大きい躍層は概ね海面下5m程度の深さであり、躍層直下に貧酸素水塊が形成されていたケースが多かった。

クロロフィル-aの計測値では上層に頻繁に赤潮と考えられる現象がみられ、この時、下層では貧酸素水塊がみられたことから、赤潮と貧酸素水塊が同居していたと考えられる。また、DO濃度が3.0mg/L以下の貧酸素水塊の厚みは、海底から5m程度までみられる場合もあった。

5月中旬には湾中央部から湾奥部にかけて貧酸素水塊が確認されており、その後、移動・成長・減衰を繰り返し、10月上旬には消滅した。消滅時期は、伊勢湾より約1ヶ月早かった。貧酸素水塊の分布域の主体は、湾中央部・湾東部海域であった（図-8）。

三河湾は水深が浅いことから、風などの気象要因による貧酸素水塊の移動・変動が大きく、東よりの風で湾東部や北西部へ移動し、南よりの風で南部へ移動していた。東よりの風が吹いた7月初旬には、

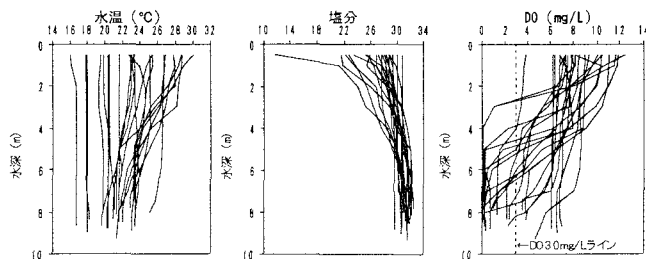


図-7 調査期間中の水温、塩分、DOの鉛直分布図
（三河湾：A-10）

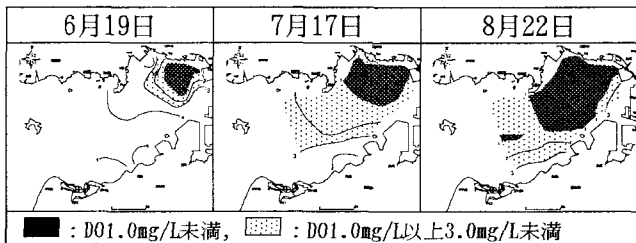
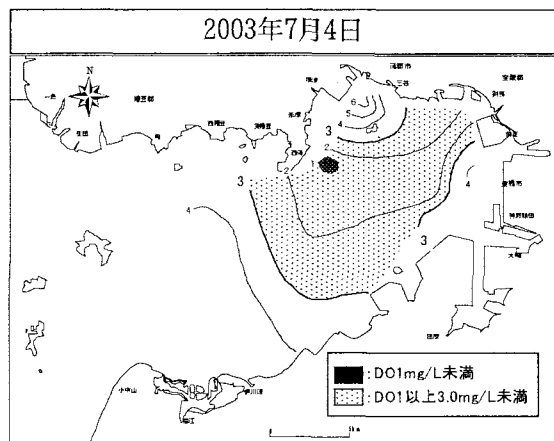


図-8 底層DOの水平分布図



東風の卓越
(7/9~7/10)

前1週間の
合計降水量138mm

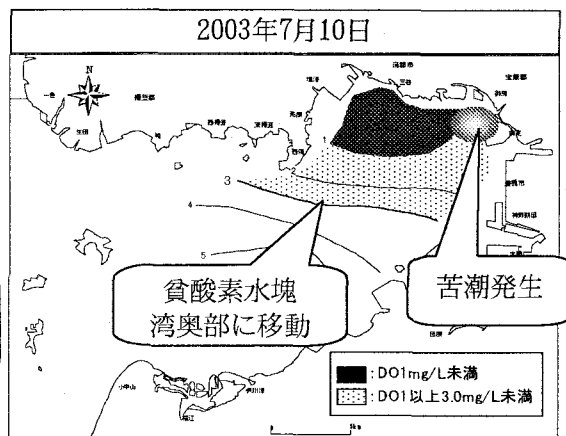


図-9 苦潮発生時期の底層DOの水平分布図

貧酸素水塊は北東側へ移動して三河湾奥部で苦潮が発生していた（図-9）。沖に設置された愛知県水産試験場の1号ブイによる観測結果では、この期間は2日間程度、風速5~10m/s程度の東よりの風が連吹しており、丁度、苦潮が確認された時期に、上層水温の低下、上層塩分の顕著な増加、上層DOの顕著な低下が確認されている（図-10）。また、南~西風が卓越した9月中旬には、貧酸素水塊は南西側へ移動している。さらに、台風10号が通過した8月中旬には、貧酸素水塊は大きく減衰しているが、その後1週間程度でもとの大規模な貧酸素水塊が形成されていた。

(2) 貧酸素水塊の挙動に関する考察

貧酸素水塊の発生から成長、そして消滅までのプロセスにはいくつもの因子が係わっている^{3), 8), 7)}。伊勢湾・三河湾で貧酸素水塊の発生及び成長に働く因子として下記の因子が挙げられる。

[物理的因子]

- ・窪地などの停滞水域
- ・流動面からみた停滞水域（湾奥・湾中央の環流域）
- ・鉛直方向の水温・塩分差による大きな密度勾配
- ・気象擾乱の及ぶにくい深い水深
- ・外海水の中層貫入による底層の隔離水塊の形成

[生物的過程]

- ・底泥の有機汚濁が高い海域
- ・水中の微生物の有機物分解活性を助長する高水温
- ・赤潮プランクトンなどの死骸の沈降・堆積

a) 伊勢湾

本研究での観測結果、既往の研究成果などから、伊勢湾での貧酸素水塊の挙動には、特に以下の事項が重要であると言える。

地形的には湾口部の水深が浅く、湾中央部の水深がやや深い鍋底状になっていることから、湾中央部の海水が交換しにくいこと。流動面では、夏季に湾奥・湾中央部でそれぞれ時計回りの平均流が形成され⁸⁾、停滞しやすい水域が形成されること。また、表層の低塩分水は湾奥の木曾三川から三重県側の松阪沖へ広がる傾向にあり⁹⁾、このエリアに河川起源の有機物なども堆積しやすいこと。

生しているが、上層では同時に赤潮状態であることが度々あり、両者が同居しているという結果が得られた。

5. 貧酸素水塊抑制のための基本方針の検討

本調査では、現地観測により伊勢湾および三河湾における貧酸素水塊の特徴を把握することができた。ここでは、それぞれの海域の特徴を考慮した貧酸素水塊抑制のための基本的な考え方をまとめる。

伊勢湾は、湾中央部の底層に隔離水塊が形成されるという物理過程が大きく関わっていることから、広範囲の底質改善や流動制御などの工学的施策が必要であり、現実的には困難な面が多い。

一方、三河湾は海水交換の悪い湾東部で、淡水流入の増加による成層の発達、それに起因した赤潮と貧酸素水塊の発生がみられることから、流入負荷対策や浅海域での有機物除去機能を向上させることにより、湾全域での貧酸素水塊の軽減を図っていくことが可能と考えられる。

以下、具体的な方策について述べる。

(1) 窪地の盛土

三河湾北東部では、埋立に伴う土砂採取後の深堀部が存在し、貧酸素水塊が頻繁に形成されていることが指摘されており、本調査においても三河湾北東部が貧酸素水塊の消長の主海域であることが確認された。これまでも、浚渫土砂を活用してその一部を埋め戻しているが、それを継続するとともに、伊勢湾湾中央部の隔離水塊が形成される鍋底部分でも同様な技術検討を進めることも必要ではないかと考えられる。

(2) 干潟・浅場の造成

三河湾では、中山水道の浚渫砂を活用して干潟・浅場造成、覆砂が行なわれ、造成干潟では、水深を嵩上げすることで貧酸素水塊の暴露時間を軽減し、二枚貝などの生息が大きく増加している。ここでは二枚貝などの着生によって $162.4\text{mgN/m}^2/\text{日}$ という有機態窒素の浄化量が得られている¹³⁾。これをCOD浄化量に換算して事業面積620haを乗じた値は、三河湾での内部生産量に比べてそれほど大きいとは考えられないが、陸域からのCOD負荷量に比べた場合には約10%に匹敵する。したがって、浚渫土砂を今後とも積極的に有効活用して干潟・浅場造成を実施することが、伊勢湾・三河湾の生態系の改善、水質改善、そして貧酸素水塊抑制に有効であるといえる。

(3) 底質改善

本調査では両海域ともに、底泥COD含有量が $30\text{mg/g}\cdot\text{dry}$ 以上の海域を主体に貧酸素水塊が発生・成長することが確認されたことから、この海域の底質改善を優先することが重要である。底質改善手法としては、浚渫・覆砂・耕耘など幾通りものメ

ニューが考えられるが、底泥からの栄養塩の溶出削減、底泥D0消費速度の削減に有効と考えられる覆砂に関しては、覆砂材として浚渫土砂などを活用することで事業費を低減できると考えられる。現実的には、事業規模が広範囲であることから、伊勢湾では湾西部、三河湾では湾東部で底生生物の生息が可能となる浅海域を主体とすることが必要である。

6. まとめ

現地調査結果を基にして、地形的に大きく異なる伊勢湾と三河湾の貧酸素水塊の発生から消滅にいたるまでのプロセスについて考察した。

今後は、これらの取得されたデータを検証データとして、流動モデル・貧酸素水塊モデルを構築し、貧酸素水塊の発生・成長・消滅に係わる様々な要因解析、改善施策の提言を行なってゆくことが重要である。その際には、貧酸素水塊形成の重要なパラメータである底質D0消費速度などの実験データの取得が必要である。

参考文献

- 1) 石田基雄・原保：伊勢・三河湾における水質変動と富栄養化について、愛知県水試研報告，第3号，pp.29-41，1996。
- 2) 鶴崎直文：三河湾における1989年から2000年にかけての苦潮発生状況，愛知県水試研報告，第9号，pp.11-18，2002。
- 3) 高橋鉄哉・藤原建紀・久野正博・杉山陽一：伊勢湾における外洋系水の進入深度と貧酸素水塊の季節変動，海の研究，Vol.9，No.5，pp.265-271，2000。
- 4) 環境省（HP）：水質総量規制の指定水域における灘別水域環境基礎データ集，中央環境審議会水環境部会総量規制専門委員会（第5回）議事次第・資料，2004。
- 5) 三重県化学技術振興センターHP：伊勢湾貧酸素情報
- 6) 青山裕晃・石田基雄・木村仁美：海況自動観測バイ10ヶ年観測結果（1991～2000）からみられる三河湾の赤潮と貧酸素，愛知県水試研報告，第9号，pp.1-10，2002。
- 7) 藤原建紀：貧酸素水塊の発生機構解明，伊勢湾の生態系の回復に関する研究，三重県科学技術振興センター共同研究事業報告書，pp.23-27，2002。
- 8) 海上保安庁：伊勢湾潮流図，p.18，1995。
- 9) 宇野木早苗，岸野元彰，岡見登：伊勢湾の平均的海況と交流要因，伊勢湾における汚濁物質の循環機構に関する調査，産業公害防止協会，pp.31-160，1974。
- 10) 宇野木早苗：三河湾の恒流とその成因，第30回海岸工学講演会論文集，pp.510-514，1983。
- 11) 国土交通省中部地方整備局三河港湾事務所：三河湾データブック2003，pp.39-40，2003。
- 12) 中部国際空港株式会社，愛知県：中部国際空港建設事業及び空港島地域開発用地埋立造成事業に関する環境影響評価書，pp.251-270，1999。
- 13) 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，Vol.18，pp.25-30，2002。