

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

Temporal and Spatial Variations of Hypoxic Water and Suspended Substances around Tama River Estuary in Tokyo Bay, Japan

八木 宏¹・江連伸明²・井瀬 肇³・Tanuspong POKAVANICH⁴・灘岡和夫⁵
諸星一信⁶・古土井健⁷・有路隆一⁸・森重輝政⁹・小林 聡¹⁰

Hiroshi YAGI, Nobuaki EZURE, Hajime ISE, Tanuspong POKAVANICH, Kazuo NADAOKA,
Kazunobu MOROHOSHI, Ken FURUDOI, Ryuichi ARIJI, Terumasa MORISHIGE and Satoshi KOBAYASHI

Temporal and spatial variations of hypoxic water and suspend substances around the Tama river estuary in Tokyo Bay were investigated based on the intensive field surveys in summer of 2006. In the offshore region, the stable hypoxic water developed around the sloping bottom region off the Tama River mouth and it disappeared due to the two physical processes: intrusion of the aerobic water into the bottom layer from the offshore region of Tokyo bay due to northern wind and the upwelling of the bottom water due to southern wind. In the upstream region of the Tama River mouth, not only the stratification intensity but also the intrusion of hypoxic water from the offshore region has significant influence on the hypoxic water development.

1. はじめに

東京湾湾奥部では夏季に広範囲で貧酸素水塊が発達し、底生生物を中心とした東京湾の生態系に大きな影響を与えている(例えば, 日本海洋学会, 1994). 東京湾の貧酸素水塊については, 青潮の原因となる海上風による貧酸素水塊の湧昇現象(例えば, 小倉ら, 1999)や外海水進入深度の変化による貧酸素水塊の空間構造の変化(藤原ら, 2000)などその実態解明が進みつつあるが, 一方でCODや栄養塩類の総量規制等にも関わらず貧酸素水塊の規模に変化が見られないなど(安藤ら, 2005), 未解明な部分も多く, 貧酸素水塊の発生機構やその動態を明らかにすることが求められている. 特に, 多摩川河口に位置する羽田周辺水域では, 現在, 東京国際空港再拡張事業が進められており, 新滑走路建設にともなう周辺水域への影響, 特に貧酸素水塊の時空間構造の変化や多摩川河口浅場(羽田洲)・河口干潟への影響を正確に把

握することが重要である.

そこで本研究では, 2006年夏季に『羽田周辺水域環境調査研究委員会』の活動として実施した現地調査結果に基づいて, 羽田周辺水域における再拡張事業実施前の貧酸素水塊及び懸濁物質の時空間変動特性を把握することを試みた.

2. 現地観測概要

『羽田周辺水域環境調査研究委員会』では, 東京国際空港再拡張事業実施前の羽田周辺水域の環境構造を把握するために, 周辺水域(図-1)の物理環境, 水質環境, 生態環境に関する集中的な調査を, 委員会メンバーも調査・分析を担当する形で, 2006年に実施している(有路ら, 2007). 本研究では, このうち夏季調査結果を中心に貧酸素水塊と懸濁物質の挙動を把握することを試みた.

本研究で解析対象としたのは夏季調査のうち①定点連続観測, ②多摩川流軸ライン観測, ③水質非定常観測の3種類である. このうち定点連続観測は, 羽田周辺水域に合計13カ所の観測点を設け(図-1(b), M1~M13), 流速, 波高・波向, DO, 濁度, 蛍光光度, 塩分・水温の連続計測を2006年7月30日から9月30日までの2ヵ月間実施した. 一方, 多摩川流軸ライン観測は, 多摩川河口域~河口沖海域の水質の断面構造を把握するために, 図-1(b)に示した観測点(A1~A17)において塩分・水温, DO等の計測を, 大潮期に3回(8/24, 9/8, 9/22), 小潮期に4回(8/3, 8/16, 9/1, 9/16), また定点連続観測期間前の6/12(大潮期)の合計8回実施した. なお, このうち6/12, 8/3, 8/22については1潮汐間の流速や水質の変化を把握するために1潮汐間

- | | |
|------------|--|
| 1 正会員 博(工) | 東京工業大学大学院准教授 情報理工学
研究科情報環境学専攻 |
| 2 | 東京都建設局 |
| 3 正会員 修(工) | 五洋建設㈱ |
| 4 M.Eng | 東京工業大学大学院博士課程 情報理工学
研究科情報環境学専攻 |
| 5 フェロー 工博 | 東京工業大学大学院教授 情報理工学研究
科情報環境学専攻 |
| 6 正会員 工修 | 国土交通省関東地方整備局横浜港湾空港技
術調査事務所長 |
| 7 正会員 修(工) | 国土交通省関東地方整備局港湾計画課課長 |
| 8 正会員 | 国土交通省関東地方整備局横浜港湾空港技
術調査事務所東京湾再生センター係長 |
| 9 | ㈱東京久栄環境科学部 |
| 10 博(学) | ㈱東京久栄環境科学部 |

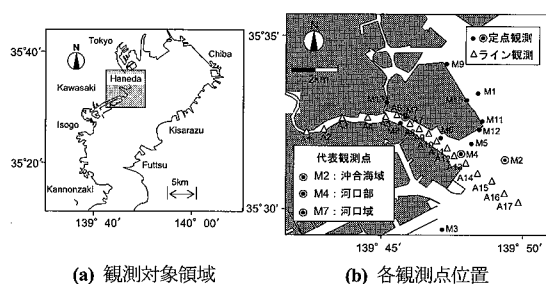


図-1 観測対象領域と観測点位置

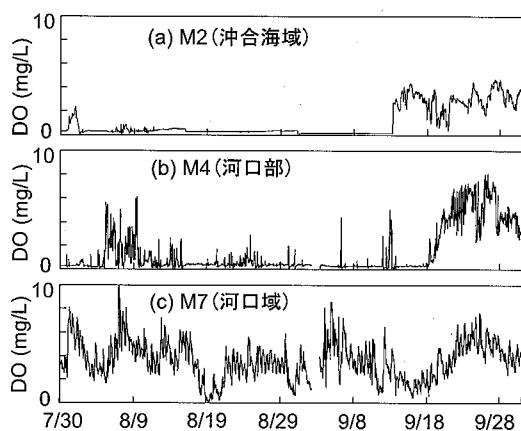


図-2 沖合海域 (M2), 河口部 (M4), 河口域 (M7) の底層 DO 時系列の比較

に4回の往復観測を実施している。さらに、水質非定常観測では、定点連続観測の主要調査点5カ所(M1, 2, 3, 4, 7)において、定点連続観測期間中に3~4日間隔で採水及び多項目水質計による水質観測を実施した。本研究では、これら3種類の観測結果に基づき羽田周辺水域の貧酸素水塊と懸濁物質の時空間変動特性を検討した。

3. 現地観測結果と考察

(1) 貧酸素水塊の挙動

図-2に、沖合海域(観測点M2)、河口部(観測点M4)、河口域(河口部上流:観測点M7)における底層DO(海底上0.5m)の時系列を示す。沖合海域底層では、観測を開始した7月末から9月中旬まで無酸素に近い状態が続いており、河口部もほぼ同様の変化を示している。これに対し、河口域では、全期間を通じて相対的に高いレベルにDOが維持されているものの期間中に何度かDOが大きく低下する時期があった。このように沖合海域~河口部と河口域ではDOのレベルやその変動特性が異なることから、ここではそれぞれ領域について貧酸素水塊の挙動を検討した。

a) 沖合海域~河口部

図-3は、多摩川流軸ライン観測による沖合海域から

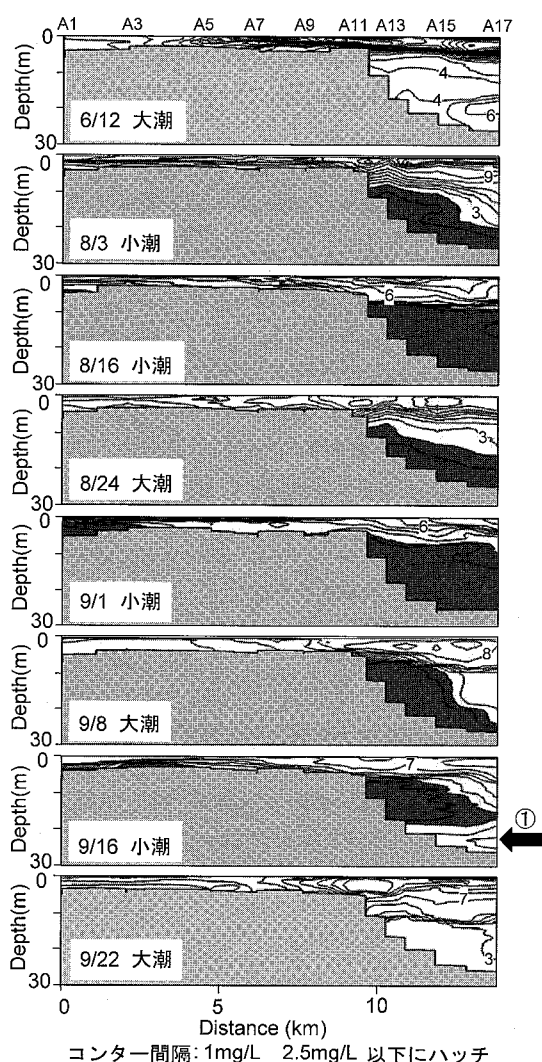


図-3 多摩川流軸に沿った沖合海域から河口域のDO断面分布

河口域間のDOの断面分布である(図中では、2.5 mg/L以下を貧酸素部としてハッチしている)。これを見ると、6月には顕著な貧酸素水塊はまだ発達していないが、8月初旬には多摩川河口沖斜面部からその沖合に向けて海底付近を中心に貧酸素水塊が発達しており、その後その分布範囲を変化させながら9月下旬には貧酸素水塊はほぼ解消している。このような沖合海域から河口部の貧酸素水塊の挙動のうち、ここでは9月中旬~下旬に発生した貧酸素水塊の解消過程に着目し、その性質について検討を行った。

図-3の貧酸素水塊の解消過程を詳しく見ると、まず沖合海域底層でDOが上昇し(図-3 9/16: 矢印①)、貧酸素水塊が中層化した後、9/22には河口沖全体で貧酸素状態が解消している。これを詳しく調べるために図-4

(a), (b), (c) に, 9 月の沖合海域 (M2) と河口部 (M4) の底層 DO 時系列の比較及び沖合海域底層の塩分・水温, 濁度の時系列を示す. 図-3 の DO 断面分布の変化に対応して, まず沖合海域 (M2) 底層で DO の無酸素状態が解消し (図-4 点線 A: 9/13), その 5 日後に河口部 (M4) 底層で無酸素状態が解消している (図-4 点線 B: 9/18). このうち, 先行する沖合海域底層の無酸素状態の解消については (図-4 点線 A), 水温低下, 塩分上昇, 濁度低下とタイミングが一致しており, 底層の無酸素状態解消時には沖合海域底層に水塊特性が異なる海水が進入したことを示している. 図-4 (d), (e) には, 風速ベクトル (羽田) 及び沖合海域 (M2) における残差流 (25 時間平均流速) の南北成分の時空間コンターを示す. 沖合海域底層で無酸素状態が解消する 9/13 (図-4 点線 A) の前から比較的安定した北風が連吹しており, これに対応して残差流は表層で南向き (湾口向き), 下層で北向き (湾奥向き) となっている. 以上の事実から, 先行して生じる沖合海域底層の無酸素状態の解消は, 北風の連吹によって生じた下層の湾奥向きの残差流によって, 湾口側から相対的に DO レベルが高い, 低温・高塩分・低濁度の水塊が底層に進入したことが原因と考えられる (図-5(a)).

一方, 沖合海域より遅れた河口部 (M4) 底層の無酸素状態解消は (図-4 点線 B), 強い南風が吹いた 9/18 ~ 9/19 に対応している. 図-4 (f) には, 河口部 (M4) における塩分の時空間コンターを示しているが, この時塩分は表層まで高塩分化しており, 強い南風によって多摩川河口周辺において沿岸湧昇が発生したことを示している. 以上の傾向は, 先述の底層水進入によって沖合海域中層~河口部に取り残された貧酸素水塊が南風による沿岸湧昇によって持ち上げられ最終的に消滅したことを示している (図-5(b)).

b) 多摩川河口域

図-6 は, 河口域 (河口部上流滞筋部, 観測点 M7) の水位, 表層と底層の密度差 ($\Delta\rho$), 底層 DO の時系列を示したものである. 河口域底層の DO は, 沖合海域及び河口部の底層より全体的に高いレベルにあるが, 小潮期 (図-6(b) 矢印①②③) を中心に大きく低下する傾向がある. 小潮期には表底層密度差 ($\Delta\rho$) が大きくなっていることから, 小潮期の潮流の減少によって河口域の密度成層が強化されることが貧酸素化の原因の一つと考えられる.

一方, 同じ小潮期でも DO 低下には差が見られる. 8 月後半の小潮期 (図中矢印②) では, DO は無酸素に近い状態にまで低下しているが, 8 月上旬 (矢印①) は 2.5 mg/l 程度となっている. 密度成層強度 (表底層密度差) にそれほど大きな違いがないことから, 小潮期の

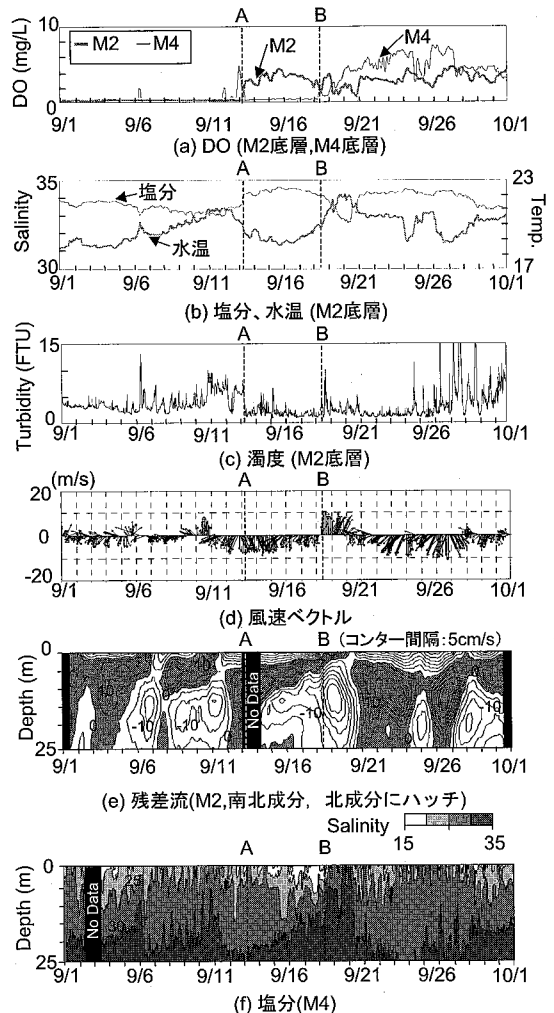


図-4 沖合海域 (M2), 河口部 (M4) における DO, 塩分・水温, 濁度の時系列, 風速ベクトル, 塩分時空間コンター

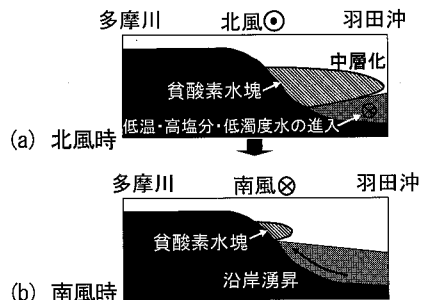


図-5 羽田沖の貧酸素水塊解消過程の概念図

成層強化以外の貧酸素化の影響要因として海域から河口域への影響を検討した.

図-7 は, 河口域 (M7) 底層の DO, 水温を河口部

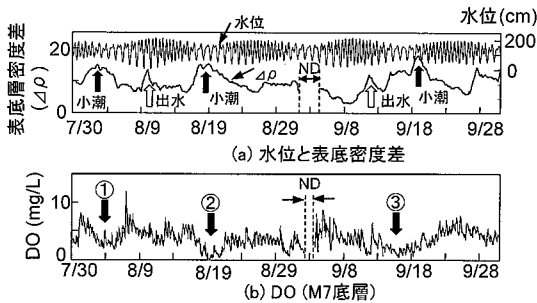


図-6 河口域 (M7) 底層の DO と水位、表底層密度差の時系列

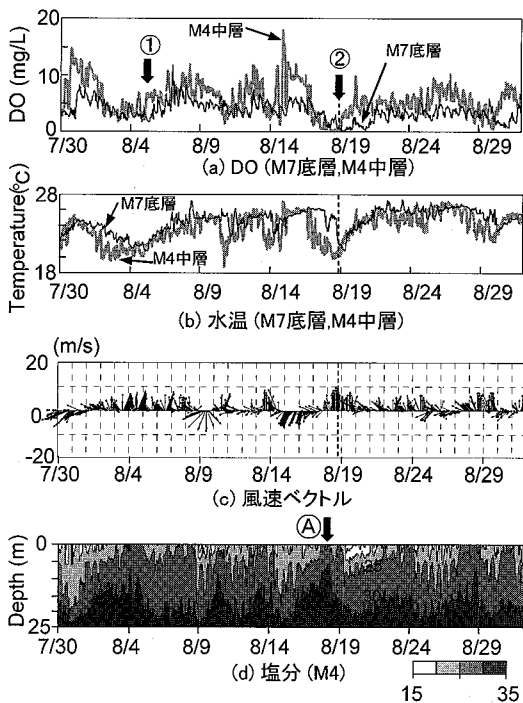


図-7 河口域 (M7) 底層と河口部 (M4) 中層の DO と水温の時系列, 風速ベクトル, 河口沖 (M4) の塩分時空間コンター

(M4) 中層 (水面下 4 m 程度) と比較したものである。両者の変動の傾向は良く一致しており、特に河口域底層 (M7) で DO が無酸素レベルまで低下した 8 月後半の小潮期 (矢印②) については、河口部で先行して DO が無酸素状態に低下している。図中には、(c) 風速ベクトル、(d) 河口部 (M4) の塩分の時空間コンターも併せて表示しているが、河口域で DO が大きく低下した 8 月後半の小潮期には、強い南風が吹き塩分が表層まで高塩分化している (図-7(d) 矢印④)。このことは、南風によって羽田周辺水域に沿岸湧昇が発生したことを示しており、小潮期の成層強化に加え、沿岸湧昇に伴い海域

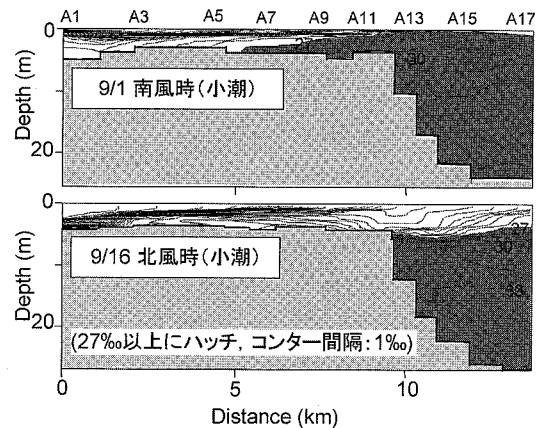


図-8 南風時 (9/1) と北風時 (9/16) の多摩川流軸に沿った塩分断面分布

側から貧酸素水塊が進入することで河口域の DO が無酸素状態にまで低下したのと考えられる。

図-8 は、多摩川流軸ライン観測結果から、典型的な南風時 (9/1)、北風時 (9/16) の塩分断面分布を示したものである。これを見ると南風時には高塩分水が多摩川河口域に進入しており、一方、北風時には沖合海域表層の低塩分層が厚く、結果として多摩川河口域には相対的に塩分が低い海域表層水が進入していることがわかる (河口域底層には塩分の高い水塊が残存している)。地球自転の効果を考えれば、東京湾西岸に位置する羽田周辺水域は、南風時に沿岸湧昇、北風時に沿岸沈降が発生する位置にあることから、先述の沖合海域からの貧酸素水の流入も含め、多摩川河口域は、海上風による沿岸湧昇、沿岸沈降を通して海域側の水質特性・水塊構造の影響を強く受けていると考えられる。

(2) 懸濁物質の挙動

図-9 には、沖合海域 (M2)、河口部 (M4)、河口域 (M7) の底層濁度 (海底上 0.5 m) の時系列を示す。濁度レベルは、河口域で大きく、河口域の濁度変動は出水等 (図-9(c) 矢印 A) による変動、潮汐による周期的な変動から主として構成されている。一方、沖合海域、河口部の濁度変動には、潮汐に対応した変動に加え、潮流や波浪などによる底質の再懸濁では説明できない濁度上昇が発生している (図-9(a), (b) 横矢印 B)。図-10(a), (b) は、水質非定常観測による沖合海域 (M2) における塩分と濁度の時空間コンターを示したものである。図中には図-9 にも示した潮流や波浪等によらない濁度上昇期間を横矢印 B で示している。これを見るとこの濁度上昇域 (以後懸濁層と呼ぶ) は海底近傍だけでなく中層付近にまで広がっており、これは塩分躍層の下側にほぼ対応している。さらに図-10(c) は、懸濁層が発生した

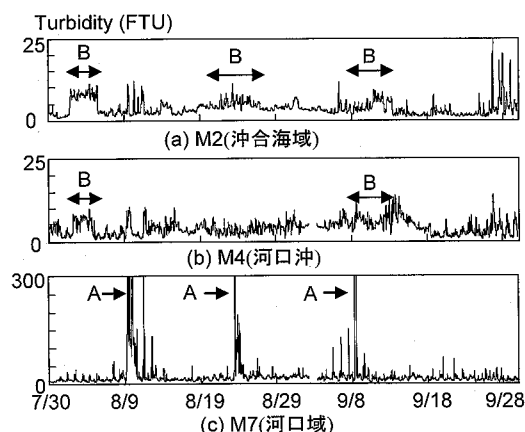


図-9 底層濁度時系列の沖合海域 (M2), 河口部 (M4), 河口域 (M7) の比較

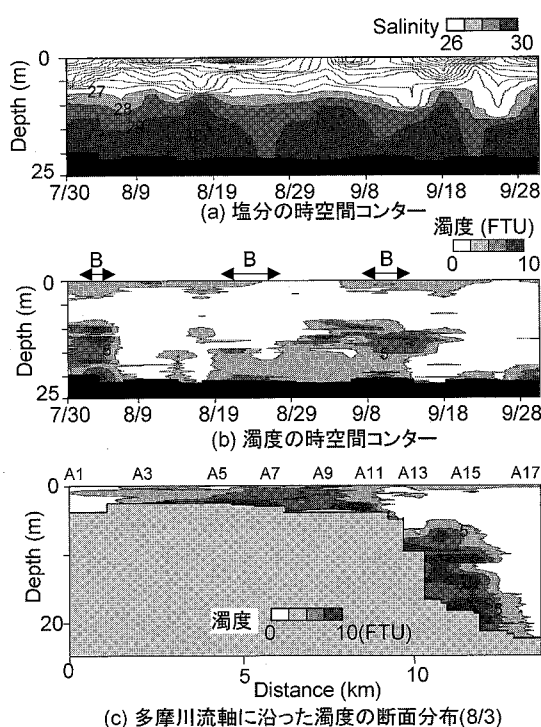


図-10 沖合海域 (M2) の塩分、濁度の時空間コンターと懸濁層発生時 (8/3) の多摩川流軸に沿った濁度の断面分布

時期 (8/3) の多摩川流軸ライン観測結果から濁度の断面分布を示したものである。これを見ると、多摩川河口沖の斜面部に濁度の高い領域 (懸濁層) が存在している

ことがわかる。懸濁層は貧酸素水塊が発達する多摩川河口沖斜面部を中心として分布していることから、今後は懸濁物質の成分や貧酸素水塊との関係を把握する必要があると考えている。

4. ま と め

2006 年夏季に実施した羽田周辺水域の現地調査結果に基づいて、貧酸素水塊と懸濁物質の時空間変動特性について検討を行った。その結果、貧酸素水塊については、多摩川河口沖の空間分布構造とその変化の特徴を示した上で、本観測期間中の貧酸素水塊の解消が、北風連吹による湾口側からの羽田沖合海域底層への水塊進入と南風による沿岸湧昇によって段階的に生じたことを示した。また、河口域は、相対的に DO レベルが高いものの、小潮期に強い南風が重なる場合に沖合海域から貧酸素水塊が多摩川河口域に流入し、河口域でも無酸素に近い状態にまで DO が下がることを示した。さらに懸濁物質については、河口沖海域において潮流や波浪によらない濁度上昇域 (懸濁層) が発達すること、それが多摩川河口沖の斜面部の塩分躍層以深に分布することを示した。

謝辞：現地調査に協力頂いた『羽田周辺水域環境調査研究委員会』の関係各位、また現地調査及び図作成に協力してくれた東京工業大学大学院情報理工学研究科修士課程の、松村航裕君、大橋暁君、安井進君、平綿雄一郎君に対してここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 有路隆一・諸星一信・風呂田利夫・灘岡和夫・八木 宏 (2007)：東京国際空港再拡張事業に伴う羽田周辺水域における水環境調査研究の取り組み，土木学会年次学術講演会概要集 (印刷中)。
- 安藤晴夫・柏木宜久・二宮勝幸・小倉久子・川井利雄 (2005)：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，pp. 141-150。
- 小倉紀雄・野村英明・風呂田利夫 (1999)：東京湾海洋環境シンポジウム「貧酸素水塊」—その形成過程・挙動・影響そして対策—，月刊海洋，31(8)，pp. 461-469。
- 日本海洋学会編 (1994)：海洋環境を考える，恒星社厚生閣，pp. 69-93。
- 藤原建紀・高橋鉄哉・山田佳昭・兼子昭夫 (2000)：東京湾の貧酸素水塊に外洋の海況変動が及ぼす影響，海の研究，Vol. 9, No. 6, pp. 303-313。