

東京湾奥部における青潮の発生状況について

運輸省 第二港湾建設局 正会員 片岡 真二
 " " 布施 裕孝
 " " 正会員 小松 明

1. はじめに

東京湾の水質は、COD等の指標によれば昭和50年代以降ほぼ横ばいであり、COD値でみる限りは水質が特段悪化しているわけではないが、夏期に慢性的に発生している赤潮にみられるように、東京湾の富栄養化は極めて進行した状況にあると言える。

東京湾奥部の浦安～千葉市沿岸海域においては、近年、夏季に「青潮」と呼ばれる、“貧酸素水塊の湧昇現象”がしばしば発生しているが、そのために貝類へい死などの漁業被害が生じることがあり、富栄養化現象と同様、海域環境上の問題となっている。

運輸省第二港湾建設局では、東京湾の水質環境改善を図るための諸調査の一環として、昭和61～63年度に東京湾奥部における青潮対策調査を実施した。昭和61年度は既往資料の整理・とりまとめを行い、昭和62年度は現地観測を主体とした調査を実施しており、青潮の発生実態、発生機構等について解明を試みた。また、昭和63年度は青潮発生シミュレーションモデルを作成し、青潮発生の再現性及び青潮防止対策について検討している。

本報告はこれらの検討成果の概要を紹介するものである。

2. 青潮の発生状況

青潮とは、海面が広範囲にわたって数日間青白く変る現象をさして俗称的に呼ばれているものであり、明確な定義があるわけではない。

夏季における東京湾奥部の海水の色は、通常黄緑色系または褐色系を呈している場合が多いが、青潮発生時には海水が鮮やかな青白色または青緑色を呈することから容易に確認できる。また、青潮発生時には青潮特有の色が消えても透明度が通常の1m程度から数m以上に高くなることが観測される。このほか沖合に比べて、表層の水温が低くなること、塩分が高くなること、溶存酸素量が低くなることなどが特徴としてあげられる。

青潮は、古くは昭和26年に既に発生している。昭和40年代と50年代では資料が異なっているが、50年代では40年代に比べて発生頻度が多くなる傾向にある。青潮は、5～9月に発生しており、特に7～9月に多い傾向にある。また、発生場所は、船橋地先を中心とした海域に集中する傾向にある。過年度の青潮発生状況については文献¹⁾を参照されたい。

3. 青潮の発生機構

昭和61年度の既往資料の検討により、青潮の発生機構については、次のように考えられた。まず、東京湾の夏季の状況として、水温の鉛直分布が明確になること及び淡水流入量が増えて表層において低塩分となることが挙げられる。このため、夏季の湾内の水塊は成層状態が著しく、上下層の水の混合が起こりにくく、従って底層に貧酸素水塊が形成される。ここに北

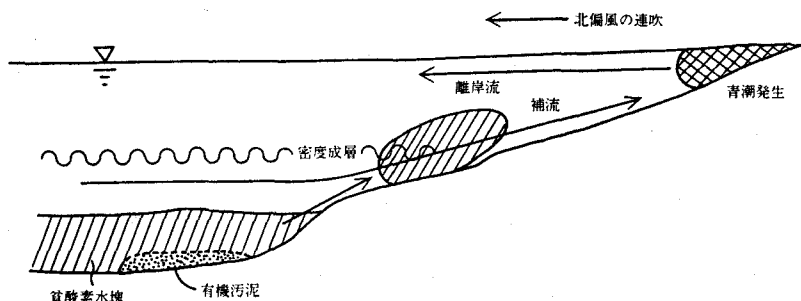


図-1 青潮発生機構の仮説

偏風が吹くと沿岸部の表層水は沖方向へ移動し、湾奥部への水の補給が下層からもたらされる。こうして下層の貧酸素水塊が沿岸部の表層に現れる現象が青潮である。(図-1参照)なお青潮の青白色の原因は、貧酸素水塊中の硫化物イオンが表層で溶存酸素と接触し、イオウ及び多硫化物イオンを生成するためであると言われている。²⁾

4. 青潮の現地調査

(1) 調査の経緯

昭和61年度の既往資料のとりまとめ結果から、青潮は密度成層期(主に夏季)に底層で形成された貧酸素水塊が北偏風の連吹に基づく表層の離岸流に対して接岸湧昇するために発生するものであり、海底の緩傾斜地形が湧昇の発生しやすい一因になっていると考えられる。

そこで昭和62年度では、このような青潮の発生過程を現地観測の結果により把握することを目的として、対象海域を青潮の発生頻度の多い海域にしほりこみ、現地調査を実施した。

昭和62年度に当局が実施した現地観測に基づく青潮発生状況及び青潮発生の概略範囲をそれぞれ表-1及び図

－2に示した。

調査は、過去の例から発生頻度の高い8月、9月に集中させることとして8月11日から9月15日の間に延べ18日間実施し、そのうち10日間で青潮の発生を確認した。また、調査対象範囲も過去の例から発生頻度の高い船橋地先海域に限定しており、その中で船橋航路北部から船橋地区船だまりにかけての海域と市川航路の周辺で発生頻度が高い傾向にあった。発生規模は範囲と継続期間からいえば9月4～6日と9月12～14日が大きかった。

なお、62年はこのほか、6月29日(船橋市茜浜～船橋航路)、7月22日(市川市行徳地先～市川航路)、8月2日(千葉港、稲毛～検見川地先及び船橋航路内)に青潮発生が報告されている。³⁾

(2) 青潮発生時の風況

青潮は北偏風の連吹に伴って発生するといわれていることについては先に述べたとおりである。そこで、62年夏季の海上風の観測結果を整理して図－3に示した。

青潮の発生した8月25～26日、9月2日、4～6日、12～14日では概ねその期間または前日の北偏風の連吹がみられている。なお、8月11日、18日は北偏風の連吹があっても青潮の発生は認められず、この期間には貧酸素水塊が発達していなかったものと考えられる。

風は9月4～6日は北～北北西風、9月12～14日には北～北東の風が卓越しており、青潮は船橋航路を中心に9月4～6日では西寄りの海域で、9月12～14日では東寄りの海域で発生する傾向がある。このように青潮発生場所と風向きの対応がよいことも、青潮発生が主に風によって誘因されることの裏づけになると考えられる。

(3) 青潮の発生時の海況

船橋航路北部脇の定点No.9(図－2参照)における水温、塩分、D0の鉛直経時変動を図－4に示した。

北偏風の連吹があって青潮が発生しなかった8月11日、18日には水温、塩分はほぼ一様で成層は認められず、溶存酸素量(D0)はほぼ全層で4mg/l以上であった。また、11、14、18日の塩分はほぼ全層で28～30‰と底層の値としては低いことから、8月4～10日にかなり強い南偏風が連吹したため(図－3参照)、鉛直混合が起こって貧酸素水塊が消滅したか、沖合に押しやられたためと考えられる。同様な現象は8月28日、9月1、8、12日にもみられ、高水温、低塩分で、鉛直的に一様化している。一方、青潮の発生した9月4～6日、12～14日には全層が低水温で一様化し、底層近くには32‰以上の高塩分水が認められ、溶存酸素量が全層で4mg/l以下となっている。

また、青潮発生時と発生前の水質を比較すると対象域全域で、表層、底層とも水温は低く、塩分は高い傾向にあり、溶存酸素量は低い傾向にあった。(この点についても文献¹⁾を参照されたい。)

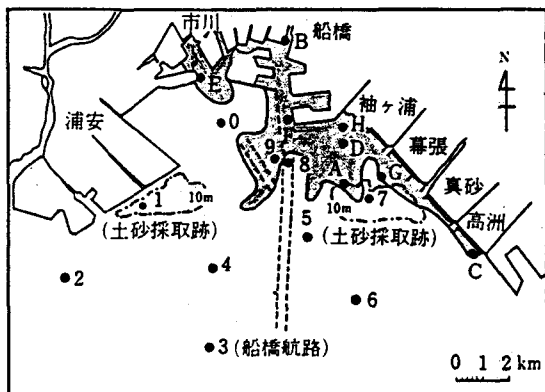
(4) 貧酸素水塊の分布

夏季の成層が発達する時期においては、東京湾奥部の底層ではほぼ全域で貧酸素化している傾向が見られる。(例えば公共用水域の水質測定結果⁴⁾)したがって、北偏風による湧昇流が起これば、青潮はどこにでも発生しうると考えられる。

ところで、東京湾奥には埋立土砂を採取した時の浅瀬跡がそのまま残された部分があり、湾奥の浅場の中に深場が点在する特異な地形を形成している。青潮の発生に関して、このような深場やあるいは航路部分に海水が停

表－1 東京湾湾奥部における青潮発生状況(現地観測の視認による)
調査期間：昭和62年 8月11日～ 9月14日

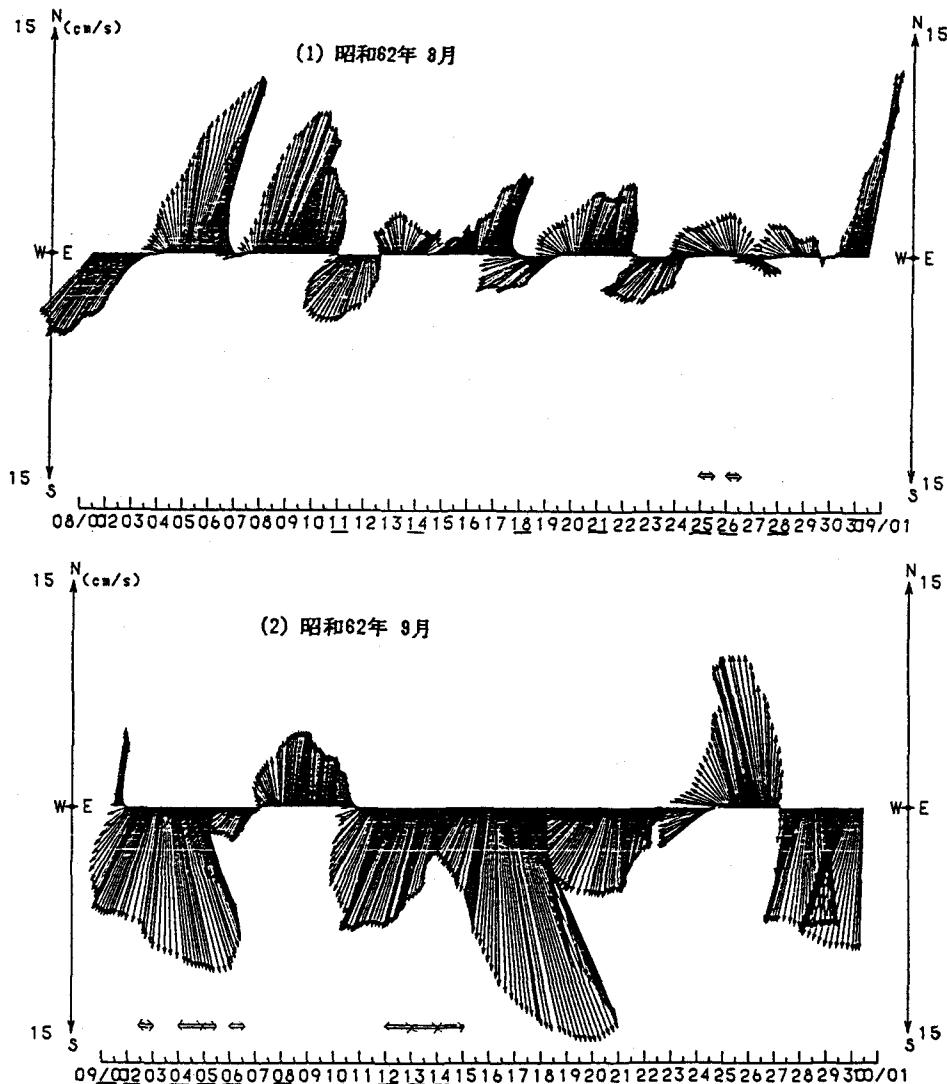
調 査 日 (調査時間)	発 生 場 所	概略面積
8月25日 (8:50～12:00)	船橋地区港奥の船だまり	22 ha
8月26日 (9:10～12:30)	市川航路北端	29 ha
9月2日 (12:50～16:20)	高洲地区地先	11 ha
9月4日 (9:30～10:30) (12:50～17:00)	袖ヶ浦地先 (茜浜) と 市川航路南端付近	44 ha 114 ha
	袖ヶ浦地先 (茜浜)	25 ha
	市川航路沿い	64 ha
	市川航路南端付近	58 ha
	幕張地先土砂捨て場周辺	47 ha
9月5日 (9:10～13:00)	船橋航路北部	158 ha
9月6日 (8:20～11:20)	市川航路北端～より奥	184 ha
9月12日 (8:50～13:10) (13:30～16:30)	船橋航路北端～船だまり	110 ha
	幕張地先沿岸一帯	223 ha
9月13日 (7:50～12:10) (13:10～16:30)	船橋地区港奥の船だまり周辺	110 ha
	船橋地区港奥の船だまり周辺と 幕張地先	83 ha 115 ha
	9月14日 (8:40～12:10) (13:00～17:00)	船橋地区港奥の船だまり周辺と 袖ヶ浦地先
船橋地区港奥の船だまり周辺		170 ha



調査期間：昭和62年 8月11日～ 9月14日
調査定点：1～9
補助点：0, A～H

図－2 青潮発生海域の概略範囲(陰影の部分)

滞して貧酸素化が進むことが原因であるかのような憶測がなされることがある。昭和62年度の調査で底層（海底面上1 m）溶存酸素を測定した結果、各測点での貧酸素化の頻度（16回測定したうち溶存酸素濃度 2mg/l 以下であった回数）を示したものが図-5である。これによれば土砂採掘跡は100%貧酸素化しているが、それ以外の測点でもかなりの頻度で貧酸素化している状況がわかる。すなわち、東京湾奥部ほぼ全域における夏期の貧酸素化が青潮発生の背景となり得るのであり、局部的な原因ではないと考えられる。



注) 1. 日付のアンダーラインは調査日を示す。
2. 図中の矢印は青潮発生日を示す。

図-3 京葉シーベースにおける風の24時間移動平均ベクトル

5. 青潮の予測モデル

(1) モデルの基本的な考え方

東京湾における青潮発生過程は、一般に次の二つの過程に要約される。

- ① 成層期における底層での貧酸素水塊の形成（生物、化学的過程）
- ② その後、北偏風の吹送に伴う貧酸素水塊の湧昇（物理的過程）

青潮モデルを構築するにはこの①、②のプロセスをモデルで表現することが必要である。

①のプロセスは主に、成層期における表層での植物プランクトンの生産とその分解過程における底層での酸素消費及び底泥堆積物による底泥の酸素消費の生物・化学的過程をモデル化する必要がある。また、②のプロセスは成層状態において形成された底層での貧酸素水塊が吹送流により、表層付近に湧昇する物理的機構をモデル化する必要がある。

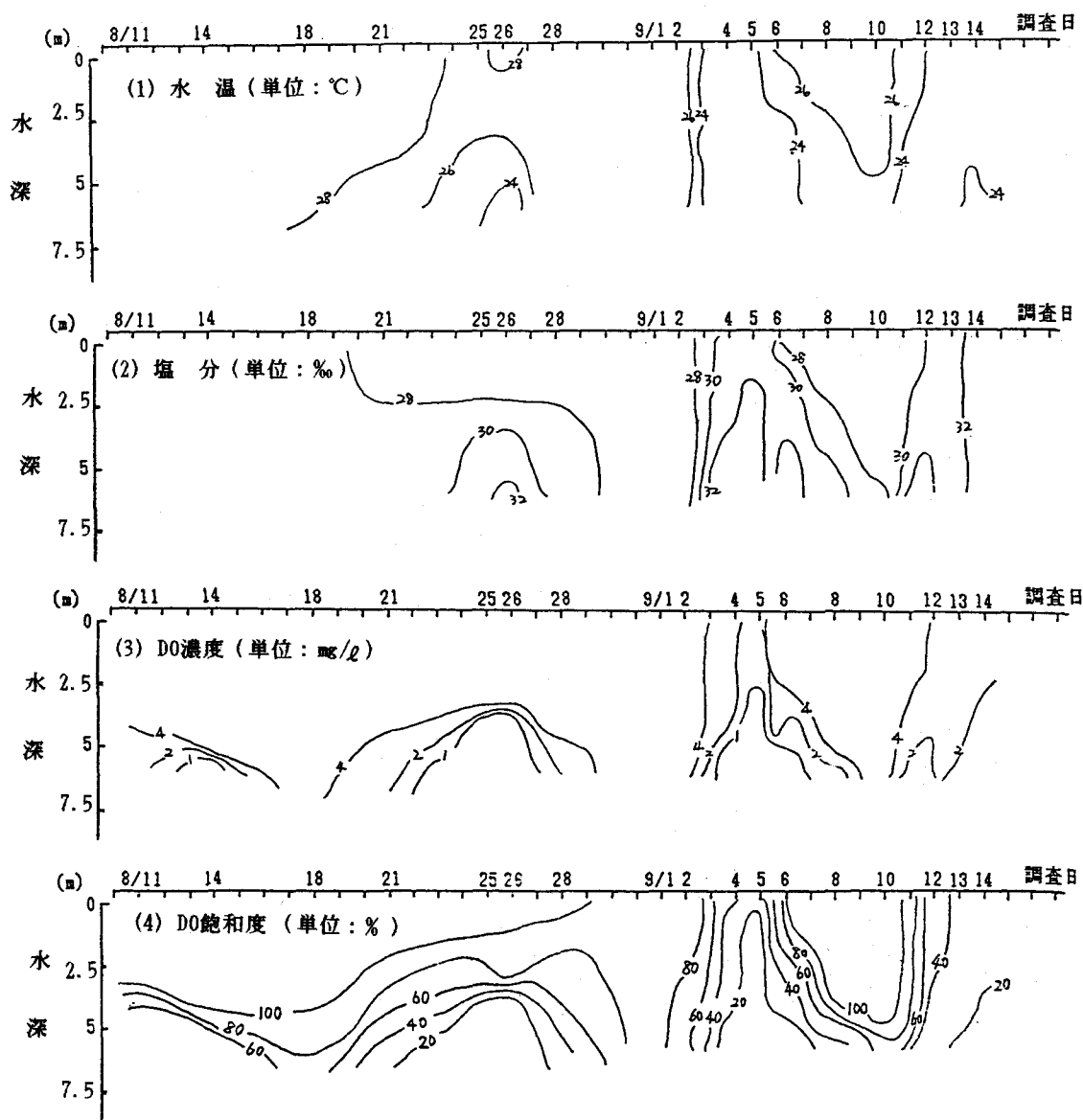


図-4 水温、塩分、DOの鉛直経時変動 (昭和62年 8月11日～ 9月14日)

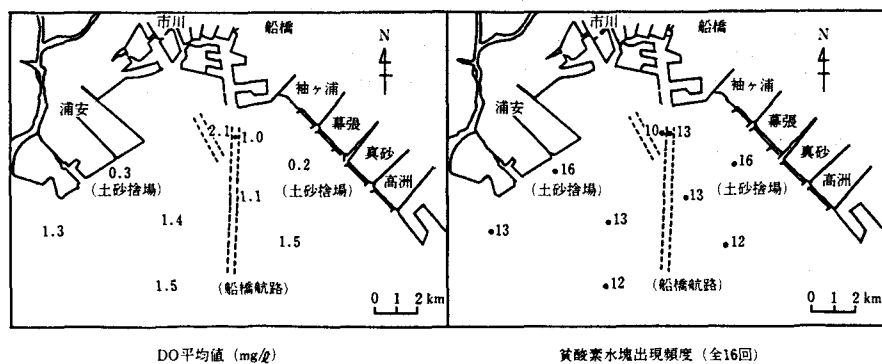


図-5 貧酸素水塊の出現状況 (海底上1.0m層)

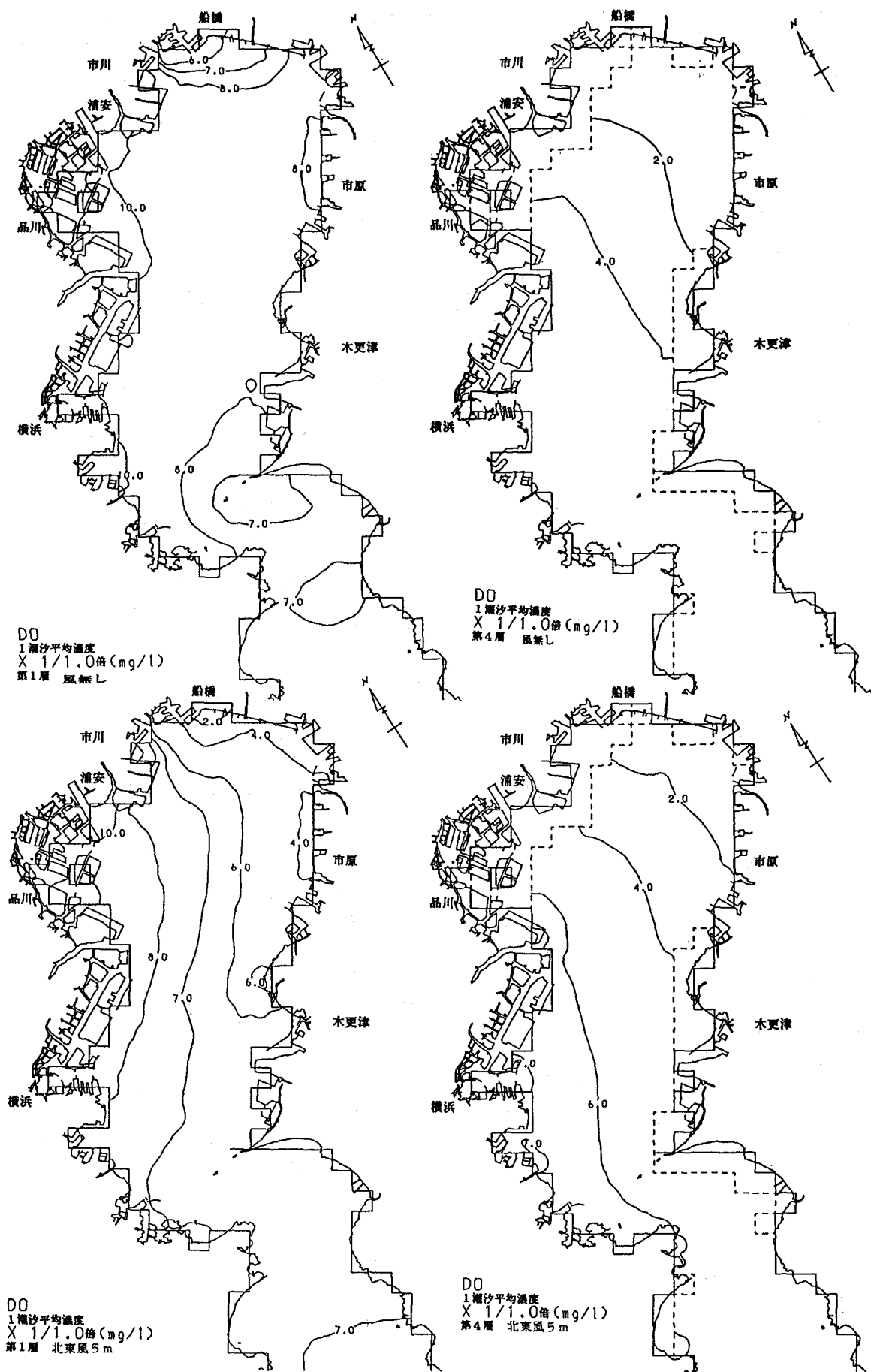


図-6 青潮発生予測モデルによる計算結果の1例(DO)

なお既往調査において青潮は長い場合2～3日間継続したが、大気と接触してこのように長期間貧酸素状態が継続することから、硫化物等の酸化によるDO消費が考えられ、青潮モデルを構築する際に、硫化物の挙動が重要な要因であることを示唆している。

そこで、上記のプロセスをモデル化するにあたり、下記の要件を満たすことが必要となる。

- a. 海域内の低次生態系を考慮した物質循環機構を表現できること。
- b. 硫化物の挙動とそのDO消費の過程を表現できること。
- c. 吹送流、密度流等の流れが表現できること。
- d. 底層付近の貧酸素水塊の挙動を表現できる三次元的な取扱いが可能なこと。

本調査では以上のことを考慮し、流動モデルは吹送流、密度流を考慮した4層レベルモデル、水質モデルは低次生態系を考慮した物質循環モデルとし、上記①、②の過程を表現するため、以下の二つのステップに分けて計算することとした。

Step.1 貧酸素水塊の形成予測（流動計算：無風状態）（水質計算：現況の平均的条件）

Step.2 貧酸素水塊の湧昇予測（流動計算：北偏風）（水質計算：Step.1の計算結果を初期条件とする）

流動計算は、潮汐流、恒流（潮汐残差流、密度流、吹送流）を考慮できるモデルとして、密度の拡散過程を含む4層レベルモデルを用いて実施した。また、水質計算についてはO-P, I-P, DO, CODを指標とした港湾技術研究所の物質循環モデル⁵⁾を基礎とし、青潮発生機構として S^{2-} の挙動を新たにモデルに付加することにより、青潮モデルの構築を行った。

S^{2-} の挙動は無酸素状態において、水中でのDO消費及び底泥のDO消費に相当する量の S^{2-} が生成され、 S^{2-} の移流・拡散の過程でDOと反応することにより消失するものと定式化した。

モデルは第1層（0～-2m）、第2層（-2m～-5m）、第3層（-5m～-10m）、第4層（-10m以深）の4層とした。

(2)モデルにおける青潮の定義

青潮の定義が明確でないため、モデルにおいては表層の貧酸素水域を指標として取り扱った。昭和62年度の調査において、青潮発生水域は表層のDO濃度 $2.0\text{mg}/\ell$ 以下の水域と概ね一致していた。また、底棲生物にとっての適応限界が、特に貝類で $1.5\sim 3\text{mg}/\ell$ である。⁶⁾そこで貧酸素水塊の定義として、ここでは $2.0\text{mg}/\ell$ 以下のDO濃度を設定した。

(3)計算結果

図-6が以上のモデルでDO濃度を計算した結果である。

風なしの第1層（0～-2m）では、湾口部及び船橋前面海域を除くほぼ全域で過飽和となっているが、第4層以深では、 $2.0\text{mg}/\ell$ 以下の貧酸素水塊が湾奥部を広く覆い、千葉港前面で無酸素水域が認められる。

これに対して北東風（ $5^{\circ}/\text{sec}$ ）を2日間吹かせた後のDO分布は、第1層で船橋前面水域に貧酸素水域、つまり青潮が出現する。昭和62年度の青潮発生海域（図-2参照）との対比がかなり良好であると言える。また、第4層では $2.0\text{mg}/\ell$ 以下の水域が風なしに比べて縮小しており、北東風によって底層の貧酸素水塊が湾奥部表層に引きあげられた状況を現している。

6. おわりに

以上、東京湾奥における青潮について昭和62年度の現地調査結果及びそれに基づく青潮発生予測モデルの概要を紹介した。

東京湾の海面が今後も漁業や海洋性レクリエーション等に活用されていくためには、青潮の発生防止も含めて水質の改善が重要であり、第二港湾建設局としてはこのための対策について今後とも調査検討を行い、事業化に向けて努力していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 片岡真二, 布施裕孝, 小松 明, (1988), 東京湾の青潮, 埋立と浚渫, No.143
- 2) 寒川強, 太田一之, 鬼塚正光, 松尾 信, 山本雅洋, 近 磯晴, (1987), 東京湾の青潮に関する研究Ⅱ
その4 イオウ粒子粒径分布の測定法の検討と測定例, 日本海洋学会秋季大会講演要旨集
- 3) 千葉県水産試験場のり養殖分場, (1987), 東京湾の海況に関する情報, No.62
- 4) 東京都, 千葉県, 神奈川県, 昭和62年度公共用水域水質測定結果
- 5) 堀江 毅, (1987), 海域の物質循環家庭のモデル化と浄化効果の予測手法について, 港湾技術研究所報告, 第26巻, 第4号
- 6) 日本水産資源保護協会, (1978), 沿岸漁場整備開発事業構造物設計指針