



### 3. 調査結果

#### 3.1 対象海域の状況

東京湾、千葉県外房沖、茨城県鹿島灘沖の最近5ヶ年のCOD, T-N, T-Pに関する水質調査結果をまとめた。その結果、東京湾の湾奥部で年々濃度の低下がみられるが、その他の海域では同程度の濃度で推移していた。季節による傾向を見ると東京

湾湾奥部では6月に濃度が高くなる傾向がみられた。また、茨城県鹿島灘沖ではT-N, T-Pの季節による濃度変化が顕著にみられた。

東京湾におけるT-N, T-Pの昭和63年度～平成2年度及び平成3年度～平成5年度の2期間の平均分布状況を見ると、窒素、りんともに2期間で類似した分布傾向にあった(図-2)。

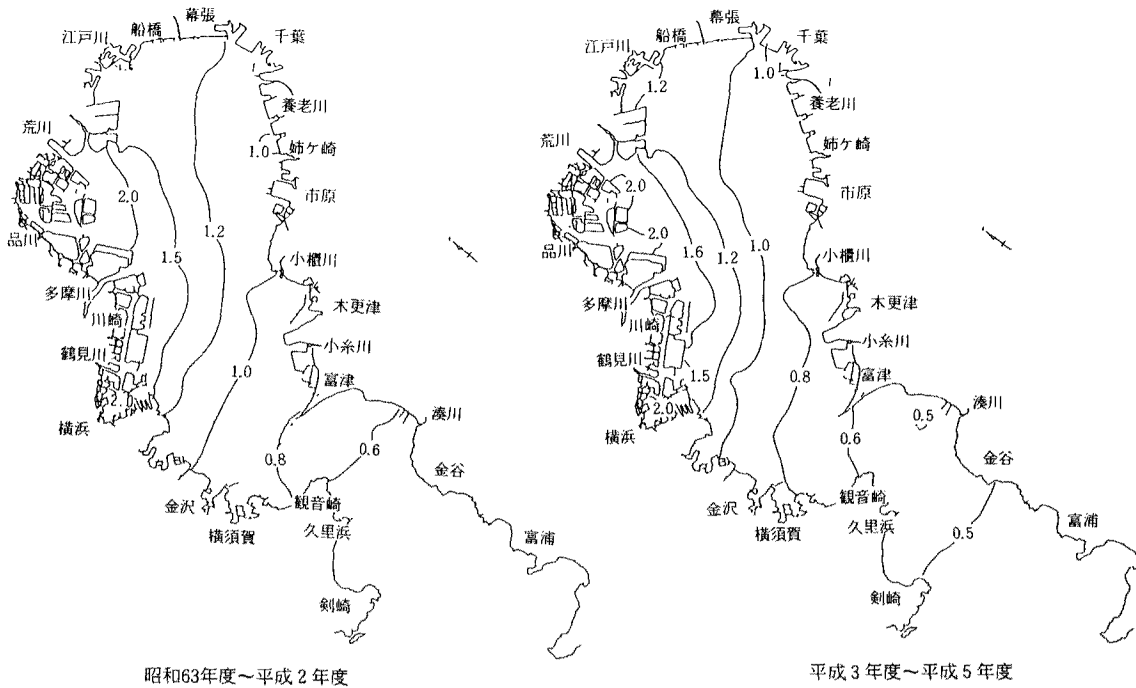


図2・(1) T-N年平均値(東京湾)単位: mg/l

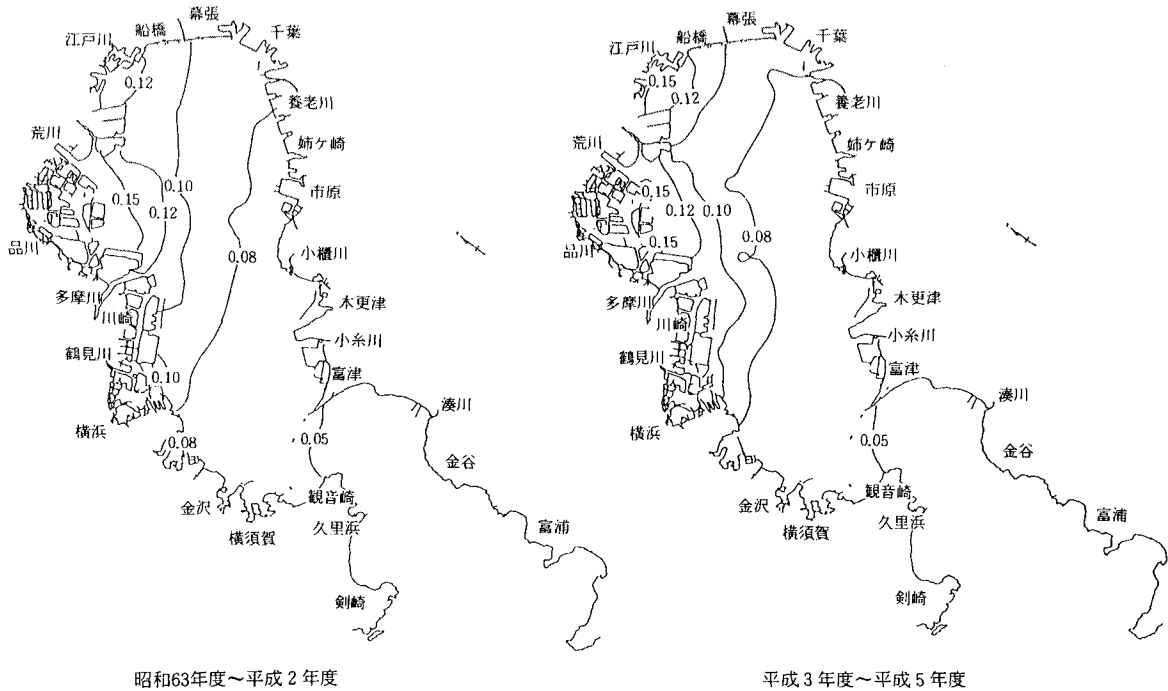


図2・(2) T-P年平均値(東京湾)単位: mg/l

### 3.2 二酸化炭素の収支

二酸化炭素は、温室効果気体の一つであり地球温暖化への寄与の割合が全体の55%と推定されている。大気中の二酸化炭素濃度は、大気圏とそれに接する地球表面の海洋及び陸域生物圏との間で行われる交換過程によって支配されている。

地球の炭素貯蔵は二酸化炭素等の形態で大気中に含まれる他に生物・有機物等として陸上生物、土壌中に貯蔵されるもの、海洋生物、有機物、炭酸塩等として海水中に蓄えられるもの、それらの死骸、殻等が有機炭素、炭酸カルシウムを成分とする堆積物として海底に貯蔵されるもの、更にその堆積物が続成作用・変成作用を通して石灰石、化石燃料等として地殻中に貯蔵されるものがある。その概要と各貯蔵層内の含有量及び各フラックスは、図-3の様に考えられるが、実態と各値の精度は現在検討段階である。

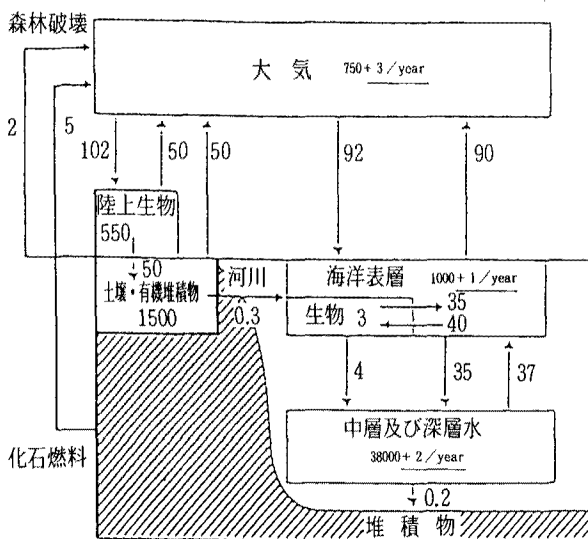


図-3 全球の炭素貯蔵庫とその間のフラックス (IPCC, 1990)

中でも海洋は、高緯度地方での水温低下に伴う二酸化炭素の溶解と中・深層への沈降、つまり湧昇域を中心とした光合成活動による有機炭酸の形成と懸濁物質の沈降による輸送を通じて二酸化炭素吸収の機能が大きいと考えられている。その定量的な評価は研究段階にあるが、海洋放流で表層から栄養塩を供給することで光合成を促進させ大気中の二酸化炭素を吸収させる効果はあると考えられる。

### 3.3 水質改善効果の検討

下水処理水の高度処理あるいは海洋放流実施の場合の東京湾内の水質改善効果を評価するための数値

シミュレーションモデルの検討を実施した。

#### 3.3.1 基本的な考え方

東京湾は1970年代半ばをピークとして浄化が進んだといわれるが、内部生産の指標であるクロロフィルaで見ると10年前と比較して大きく改善しておらず高濃度水域は内湾全体に拡大している傾向がみられる。また、植物プランクトンの光合成活性は依然高いレベルにある。東京湾では、植物プランクトンの成長からみるとりんに比べ窒素が過剰であり、光合成による二次汚濁はりんに制限されている可能性が高く、りん負荷削減は二次汚濁COD減少につながり、結果的にCOD改善効果があると考えられる。しかしながら、東京湾が常にりん制限であるとは確立されておらず、海域、季節等によって窒素制限の可能性も考えられる。そこで、本調査では東京湾のりん、窒素、CODの循環を表現できる物質循環モデルを用いることとした。

#### 3.3.2 予測モデル

予測モデルは、中田(1991)による東京湾を対象とした貧酸素予測シミュレーションモデルを基本として、ボックスモデルに変更すると共に季節変化を考慮できるように改良した。

本調査で用いるモデルは以下のとおりとした。

- ①O-P (有機態りん)
- ②I-P (無機態りん: PO<sub>4</sub>-P)
- ③O-N (有機態窒素)
- ④I-N (無機態窒素: NH<sub>4</sub>-N + NO<sub>2</sub>-N + NO<sub>3</sub>-N)
- ⑤COD2 (内部生産によるCOD)
- ⑥COD1 (陸域からの流入、底泥から溶出するCOD)
- ⑦DO (溶存酸素)

モデルの構造は図-4に示すように湾内・湾外との物質収支について様々な循環過程を考慮した。

各過程のモデル化は、概略以下のとおりである。

#### (1) 物理的な過程

物理的な過程として

- ・陸域からの流入

各ボックス毎に流入するりん、窒素、CODを負荷量として考慮し、流入負荷量は各都県について河川、下水道(直接湾内放流分)、その他直接流入について考慮した。

- ・ボックス間の混合

水平、鉛直方向ともに移流による混合と乱流拡散による混合を考慮した。

- ・湾口境界での流入・流出

湾口での物質収支は基本的にボックス間の物質収支と同じ方法とした。

- ・有機物の沈降

有機物の沈降は、O-P, O-N, COD 2, C

OD1について考慮した。

(2) 湾内の生物・化学過程が関与する物質循環過程

- ・植物プラクトンによる光合成

本モデルでは、COD2がほぼ植物プランクトンを代表していることから、光合成をCOD2（二次汚濁COD）の増加として計算した。

- ・有機物の分解

有機物の分解はO-P, O-N, COD2, COD1について考慮した。

- ・底泥からの溶出, 底泥の酸素消費

底泥からの溶出と酸素消費については、条件として設定された単位面積当たりの溶出速度及び酸素消費速度に面積を乗じて算定した。

(3) ボックス分割

予測計算に当たり東京湾全域を水平方向10ボックス（図-5）、鉛直方向4層（第1層0～2m, 第2層2～5m, 第3層5～10m, 第4層10m以深）に分割した。

なお、ボックス分割は各自治体のブロック区分と現況の全りん及び全窒素の濃度分布パターン（図-2）を考慮した。

3.3.3 計算条件の設定

水質予測計算を実施するためには様々な条件を設定する必要がある、ボックスモデル計算を実施する場合に必要な以下にあげる条件について設定を行った。

- ・東京湾をボックス分割した場合の各ボックス毎の面積, 体積
- ・ボックス間の交換流量
- ・計算領域と湾口との交換流量
- ・計算領域外側（外洋）の水質濃度
- ・各ボックスに流入する流入負荷量
- ・ボックス別の水温, 表面照度
- ・物質循環諸係数
- ・現況の水質観測データ

これら条件の設定については、既存の観測データ及び既存の流況モデルを用いて各パラメータを設定し計算した結果を使用した。現況の水質観測データに関しては、東京都, 千葉県, 神奈川県公共用水域の水質測定結果をボックス別に平均し再現目標値とした。データは平成3年度の結果を月別, 層別に平均した。

3.3.4 現況水質計算

前項の条件によって計算を実施し, 計算結果を現況の再現性について検討を行った。

水質濃度比較結果の一例を図-6に示す。これは,

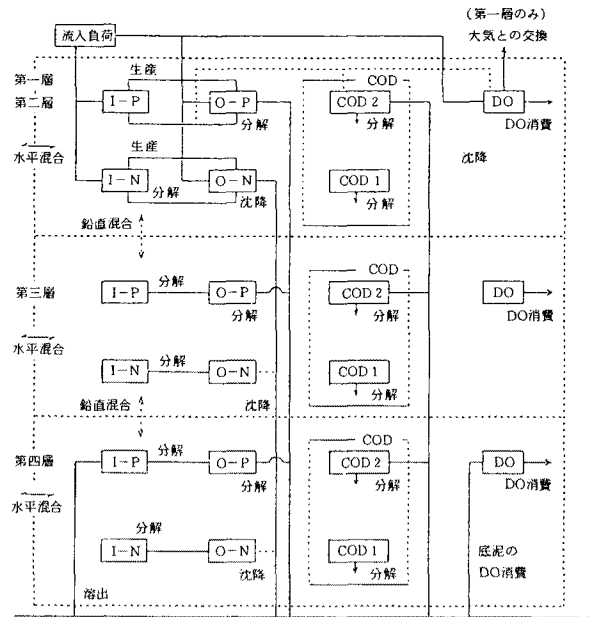


図-4 水質モデル構造図

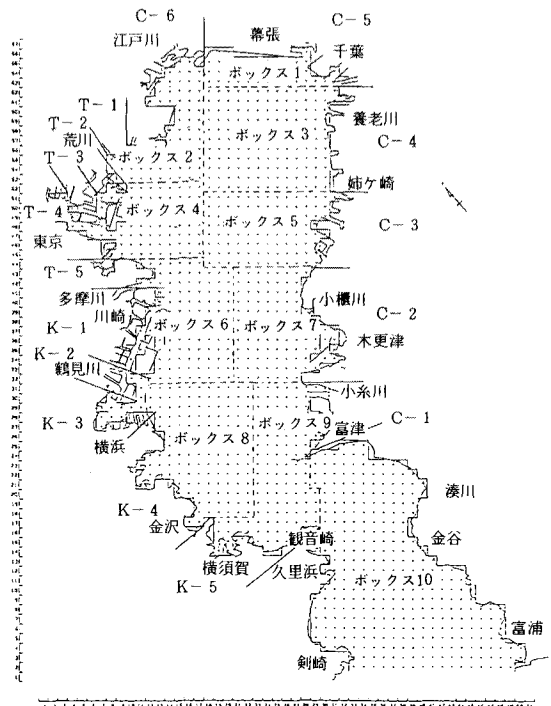
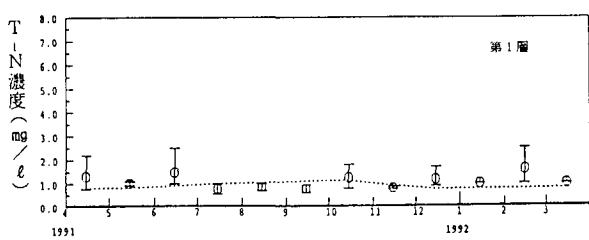
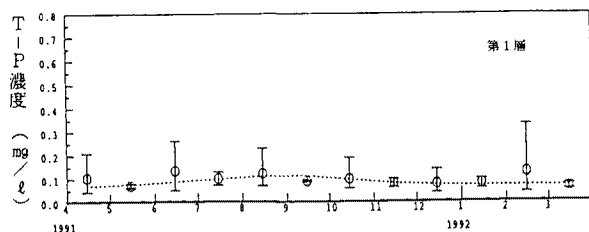


図-5 ボックス分割図

ボックス1第1層のT-N, T-Pについて示している。図中破線は計算値, 歪は観測値の最大, 最小, 平均値を示している。図においてはほぼ観測値平均と一致していた。ただし, 他のボックスで一致しな

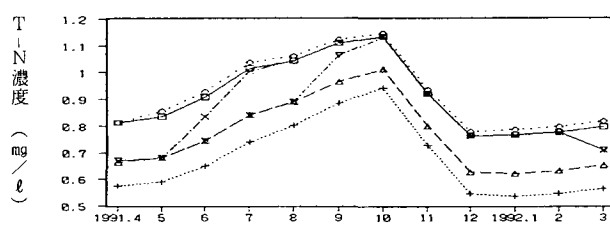


全窒素濃度比較

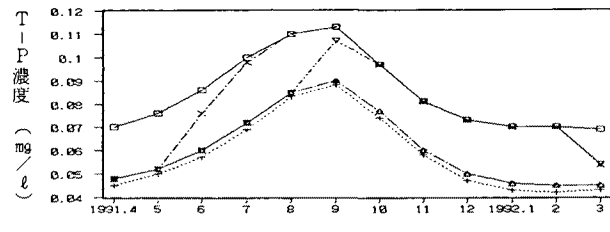


全りん濃度比較

図-6 BOX1第1層濃度比較図(T-N, T-P)



全窒素濃度比較



全りん濃度比較

図-7 水質予測結果図(BOX1第1層部)

い部分もあり、今後観測値がそのボックスを代表する値であるのか、あるいは全体としての実際とモデルとの整合性について更に検証する必要がある。

### 3.3.5 水質予測計算

下水処理水の直接湾内放流分の水質を変えた表-1の5ケースについて、水質予測計算を行った。表中のりん・窒素の百分率は、現況の負荷量の内下水処理水湾内直接放流分に対する削減率を示している。

表-1 水質予測計算ケース

ケース	施策	期間	方法
1	下水処理水湾外放流	通年	P100%, N100%
2	P負荷通年削減	通年	P 90%, N 0%
3	P, N負荷通年削減	通年	P 90%, N 65%
4	P, N負荷3~5月削減	3~5月	P 90%, N 65%
5	P, N負荷3~8月削減	3~8月	P 90%, N 65%

各ケース毎に水質予測した結果、例えばボックス1第1層のT-N, T-Pは、図-7のとおりとなった。図から明らかなように、湾外放流した場合に窒素、りんともに最も濃度が低くなる傾向を示した。

## 3.4 放流の影響検討

### 3.4.1 放流地点・方法の検討

下水処理水を海洋放流する場合、検討しておくべき重要な項目は放流による環境への影響と技術的検討である。

技術的には、国内外のパイプラインあるいはトンネルの実績から可能であると判断した。

環境への影響は、二酸化炭素の深海への移送、淡水の拡散による漁場への影響及びレクリエーション施設等沿岸利用の立場から海域に与える影響を最小限とするには、可能な限り深い位置での放流が望ましい。一方放流による海域の生産の促進を目的とすると、生産層(有光層)の200m以浅にすることが望ましい。そこで、水深180m前後で放流する場合を想定して放流の影響を検討した。

### 3.4.2 放流の影響

海水の塩分は、海洋生物の生息を規定する一番の要因である。放流処理水は塩素量100mg/l程度の淡水(塩分0.1%)であり、放流海域の海水(塩素量18,900mg/l, 塩分34.2%)に比べて密度は小さい。従って、海水中に放流された処理水は、比重が軽いため海水と混合しながら徐々に浮上し更に海水の流れによって広い範囲へと拡散していく。海水中に放流された処理水の希釈、拡散について海外での調査結果によると、水深およそ30mから放流された排水は海面に上昇するまでに30~60倍程度に希釈される。調査時の状況の違いにより単純には比較できないが、海面に浮上してから海面上を400m拡散する間に更に3~4倍程度希釈されたと報告されている。

このように処理水は海面に浮上するまでにかかなり混合されると考えられるが、今回は表層に放流された場合として(安全側)、その拡散範囲を平野の方法で検討した。

平野の方法の解析式は以下のとおりである。

$$r_a^2 < 0.07 \frac{(a-1)^2 Q^2}{\frac{\Delta \rho_0}{\rho_a} h^3}$$

- $a$  : 任意の設定希釈倍率  
 $r_a$  : 希釈倍率 $a$ の点の排水口からの距離 (m)  
 $\Delta \rho_0$  : 排水口出口の密度差 ( $\text{kg} \cdot \text{s}^2 / \text{m}^4$ )  
 $\rho_a$  : 周囲海水の密度 ( $\text{kg} \cdot \text{s}^2 / \text{m}^4$ )  
 $Q$  : 排水口での排水流量 ( $\text{m}^3 / \text{s}$ )  
 $h$  : 排水層厚 (m)

この式に、処理水密度0.9991 (15°C, 0.2%), 海水の密度1.0245 (20°C, 34.2%), 希釈倍率34 (塩分が1%低下する範囲), 排水層厚0.5 m, 排水流量としては、放流先が直接海域である処理場の内東京, 千葉内房分の平成4年度処理水量40.5  $\text{m}^3 / \text{s}$ とすると、 $r_a = 6,350\text{m}$ となる。

処理水が海面を0.5mの厚さで45°の広がりで行くとすると、周囲の海水よりも塩分が1%低下する範囲は約13kmに及ぶ。

海域の流況と風況の影響で関東東沖の場合、夏季以外は概ね沖合に拡散するが、夏季に放流水は沿岸を北東方向に拡散し海岸近くに及ぶことも考えられる。

放流海域の水質変化については次のことが考えられる。

放流処理水の水質は、T-N : 18.0  $\text{mg} / \ell$ , T-P : 1.4  $\text{mg} / \ell$ である。

放流海域の水質は、表層でT-N約0.14  $\text{mg} / \ell$ , T-P約0.012  $\text{mg} / \ell$ , 水深と共に増加して200m層

でT-N : 0.35  $\text{mg} / \ell$ , T-P : 0.05  $\text{mg} / \ell$ となっている。放流口を水深180m付近に設けると周囲に比べてT-Nで約50倍, T-Pで約30倍の高濃度水が放出されることになる。

塩分影響検討で表層0.5m層で34倍に希釈される範囲を推定したが、りん, 窒素ともにこの範囲で周辺海水に近い値となる。ここで生産層を透明度から20mとすると、生産層内の水質を均一とすれば水質変化は1/40となり、現状水質の数%の変化に相当する。

放流負荷の10日分が生産層内で均一に混合すると仮定すると、表層水質はT-Nが0.14  $\text{mg} / \ell$ から0.19  $\text{mg} / \ell$ に、T-Pが0.012  $\text{mg} / \ell$ から0.016  $\text{mg} / \ell$ になると考えられる。

#### 4. 今後の課題

今年度は、対象海域の水質調査結果をもとに下水処理水の高度処理あるいは海洋放流による東京湾内の水質改善効果を評価するための数値シミュレーションモデルの検討と二酸化炭素の収支の文献調査並びに放流の影響検討にとりかかった。

平成7年度は、今年度までの成果をもとにしてシミュレーションモデルの実際との整合性とこのモデルによる処理レベルの検討、放流海域における栄養塩収支、二酸化炭素の収支、生物及び生産量への影響について検討し、総合取りまとめと今後の方針を明らかにする必要がある。

#### ●この研究に関する問い合わせは

研究第二部長

藤田 昌一

技術部技術課長

村上 孝雄

研究第二部研究員

大森 栄二

研究第二部研究員

大塚 宏平