

# 東京湾の総合調査結果（一都二県共同調査）

古井戸 良雄 長 沢 久 江 角 比出郎  
味 村 昭 松 本 浩 一\* 松 本 淳 彦\*  
土 屋 隆 夫 川 原 浩

（\*都立衛生研究所）

## はじめに

東京湾は近年汚濁が進行し、赤潮が慢性化している。地形的に東京湾は袋状の内湾であって、外洋水との交換が悪いうえに、後述のように大量の汚濁水が流入している。したがって早急な汚濁対策が必要であるが、その前提として湾内の汚濁機構を明らかにしなければならない。計画としては、46～48年度をもってこの作業を終わる予定であるが、初年度はまず、水質、底質、生物相、湾口収支など現実の状態を知ることから始め、一応の成果を得た。本稿は、その結果を要約し、考察を加えたものであり、さらに次年度以降の調査により精度を高めていきたい。

## 2 調査の概要

調査は、東京湾を大体4 km間隔に切って72地点設定し、10月には全点で、5、8および2月にはこのうち15点を選んで、水質、底質、および生物について行なった。このほか、湾内5地点でコアサンプリング調査、湾口潮流調査、流入河川負荷量調査、および汚濁拡散計算などを行なった。

### 測定項目

〔水質〕<sup>1), 2), 3)</sup> 水温、透明度、水色、pH、溶存酸素、塩素イオン、化学的酸素要求量、生物化学的酸素要求量、アンモニア、亜硝酸、硝酸およびりん酸の各塩、有機態窒素、油分、浮遊懸濁物、環境基準による健康8項目、  
〔底質〕<sup>4), 5)</sup> 泥温、臭気、外観、比重、組成、含水率、pH、化学的酸素要求量、強熱減量、硫化物、重金属等（健康8項目）

〔生物〕 植物プランクトン、動物プランクトン、底生生物、硫酸塩還元菌

## 3 結 果

### (1) 水 質

透明度：図1のように、東京港沖は年間を通じて悪く5月には1 m以下まで悪化していた。一方、季節的にも5月は全域にわたり悪く、2 m以下であった。2月循環期には、大体3 m以上であるが、一番高い地点で5.3 mであって、これが年間最高値であった。1955年からの5月における湾全域の経年変化の報告によると、<sup>6)</sup>1965年頃から現状とあまり変化がない。

溶存酸素：10月表層について酸素飽和度でみると、湾口から中の瀬にかけて、100%以上であるが、奥に入るに従って低くなり、東京港沖では50%近くなる。一方底層の溶存酸素は、2月循環期には、ほぼ全域80～95%であるが、8月成層期には、湾北半分は大体20%以下になり、また10月には北半分は75%以下、川崎—船橋以西は50%以下と、水域的、季節の特徴を示していた。

栄養塩：無機栄養塩の増減は、植物プランクトンの消長と密接な関係にあるので、生物体も含めた全窒素量についてみる。2月循環期について図示すると、図2のようになり、横浜—富津以北が0.8ppm以上とすでに富栄養化されていることが明らかとなっている。一方、りん酸塩の分布を同じく2月表層について図示すると図3のようになり、0.03ppm以上の水域が半分以上占めている。なお宝月の報告によると、全りん酸は湾奥部で0.1ppm以上であると述べている。以上これら栄養塩の分布より、東京湾の富栄養化を進めている大きな汚染源は、一応、高濃度の水塊がみられる都地先海面の後背地域と推察される。

化学的酸素要求量 COD：アルカリ法による結果をみると、図4のように季節により大きく変動し、循環期には1～3 ppmであるが、成層期には10ppm近くにな

図1 透明度季節変化 (昭和46, 47年)

(単位 m)

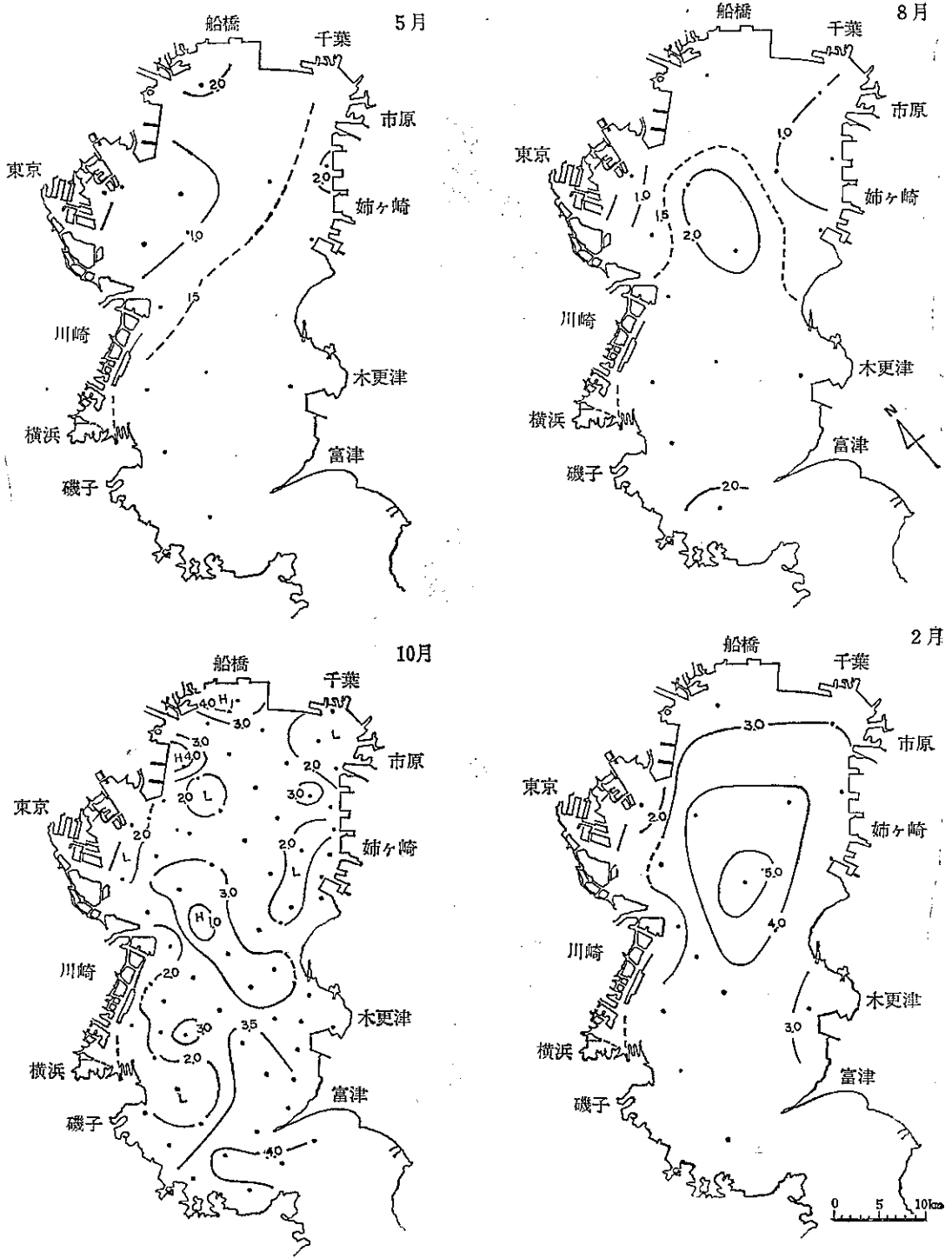


図2 全ちっ素 表層 (昭和47年)

(単位 ppm)

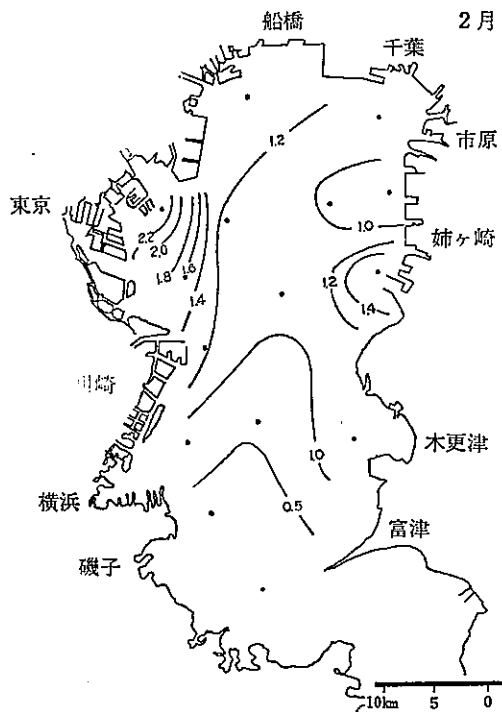
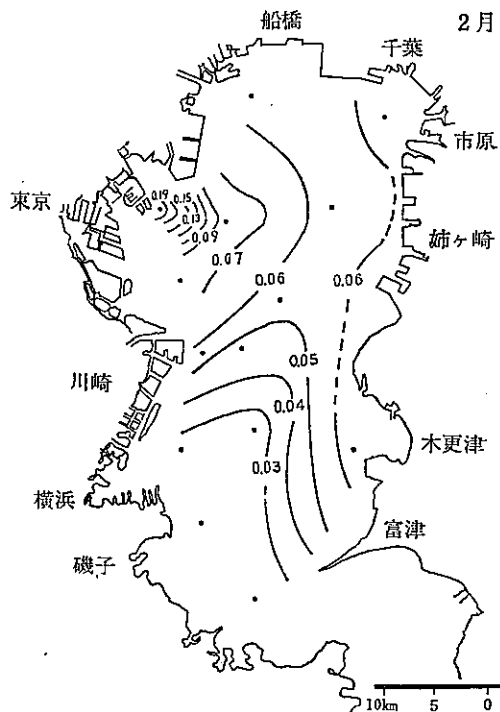


図3 リン酸態りん 表層 (昭和47年)

(単位 ppm)



り、大体西高東低型である。一方、酸性法による分析を10月表層について行なったが、その結果は図5のとおりである。観測地点の環境基準達成率をみると、65%となっていて、 $\frac{1}{3}$ が基準をこえていた。

東京湾に流入する汚濁物質を、CODとして拡散計算を行なってみても(後出)、45日後でも沖合部まで拡散が認められないことから、沖合部で高濃度水域が出現することは、光合成による有機物がかなり多いことを裏付け

ている。また宝月<sup>7)</sup>の報告によると、懸濁態の炭化水素、蛋白、および脂肪中の炭素の和はクロロフィル量と直線的な関係にあり、全有機炭素に占める割合は15~50%であって外洋より低いと述べている。以上のように、東京湾は、栄養塩の流入により過栄養状態になって生物生産量が多いことと、生物とは直接関係のない有機物の流入が多いことも明らかにされている。

東京湾の水質がどの程度汚濁されているかを外洋と比

表1 東京湾沖合部と外洋との水質の比較 (夏期、表層)

	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Total N	PO <sub>4</sub> -P	Total P	COD	BOD	Dis. Org. C	Part. Org. C	クロロフィル	光合成量
単位	%	mg N/l			mg P/l		mg O <sub>2</sub> /l	mg C/l		μg/l	mgC/l/h		
東京湾	14~18*	0.1~0.3*	0.02~0.03*	0.03~0.09*	0.5~1*	0.01~0.05*	0.05~0.1*	1~10*	1~9*	2.4~3.5	2.5~3.0	10~40	10~20
外洋	19	<0.01	<0.002	<0.002	0.1~0.15	<0.005	0.01	<1	<1	0.5~1	0.05~0.1	0.1~0.3	<1

(注) \*は今回の測定値、その他の値は宝月<sup>7)</sup>による。

(参考) 透明度は外洋では35m近くまで観測される。東京湾では2m前後までである。

図4 COD (アルカリ法) 季節変化 表層 (昭和46, 47年)

(単位 ppm)

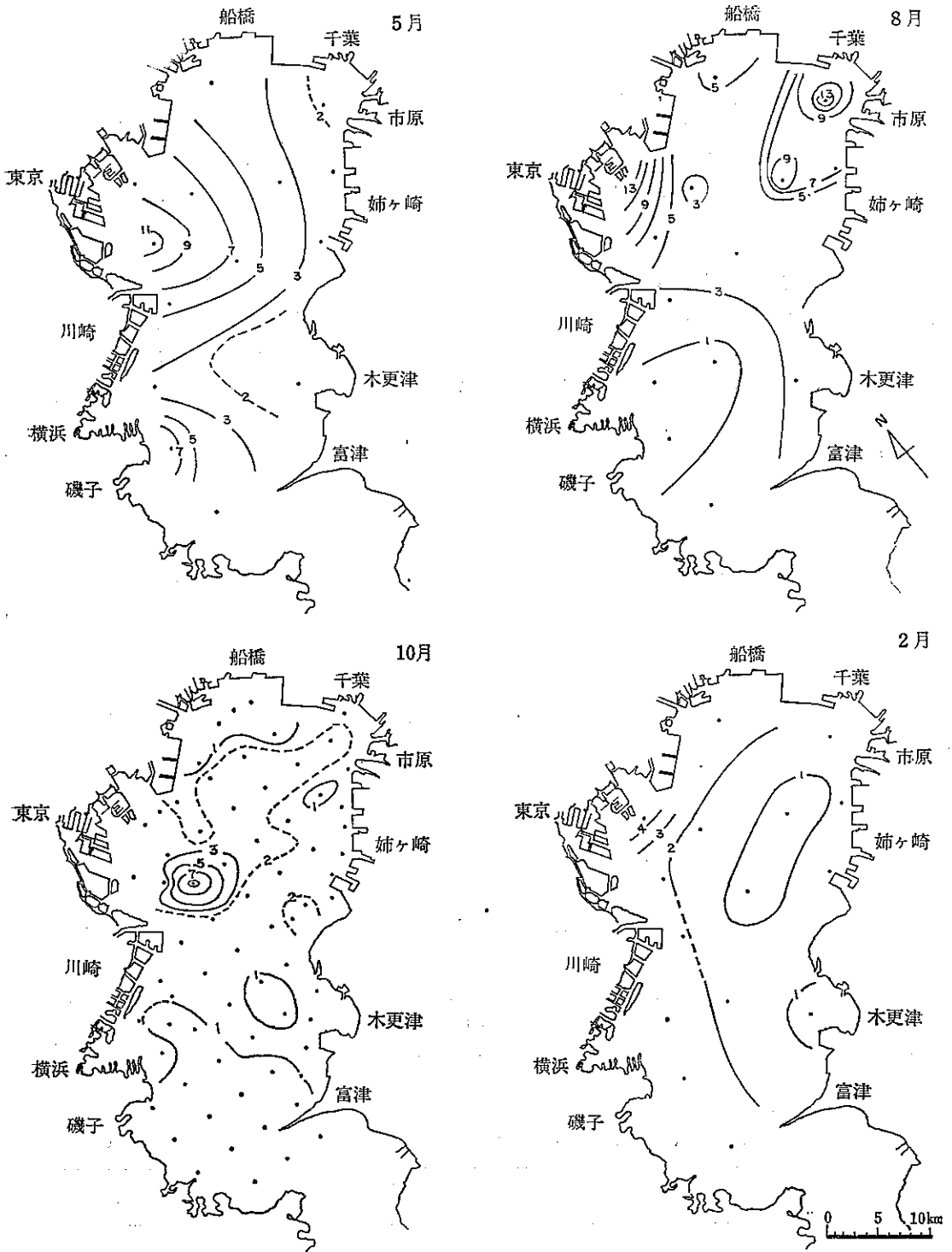


図5 COD (酸性法) 表層 (昭和46年10月)  
(単位 PPm)

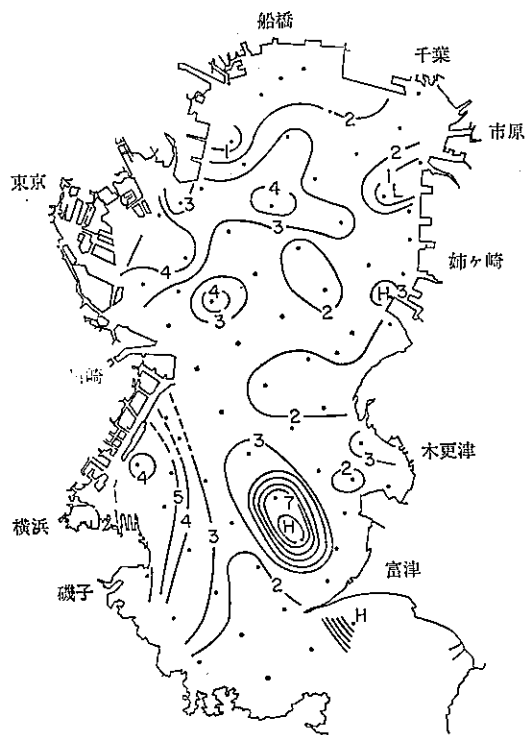


表2 東京湾湾口における負荷収支  
(12時間あたり)

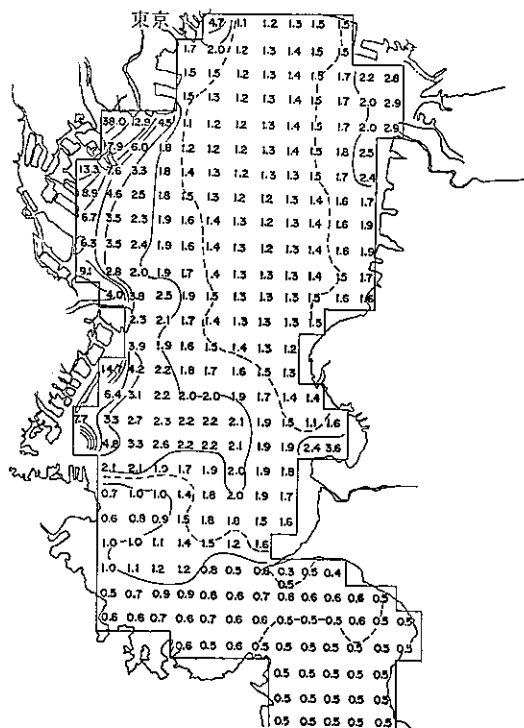
	流 出	流 入
流 量	$13.56 \times 10^8 \text{ m}^3$	$12.09 \times 10^8 \text{ m}^3$
陸水流量	$8.65 \times 10^7 \text{ m}^3$	$7.79 \times 10^7 \text{ m}^3$
BOD負荷	1,284 ton	1,038 ton
COD負荷 アルカリ法	1,190 ton	931 ton
酸 性 法	2,236 ton	2,236 ton

べてみると、表1のようになる。富栄養化とは生物生産量の増大する現象のことであるが、その基準として湖沼学<sup>8)</sup>では、全窒素が0.2ppm、全りん酸塩が0.02ppmを境として富栄養と貧栄養との区分の目安としている。

その他：環境基準の健康8項目について、10月、68地点表層水について分析したが、いずれも検出されなかった。

湾口収支

図6 拡散計算結果  
(1080時間, 79潮時, 拡散係数  $1 \times 10^4$ )



湾口部における収支を横須賀—富津崎の間の4点で12時間観測した結果をまとめたものが表2である。

流量の収支をみると、その差は10%ほどであるが、その信頼性は確かでない。各成分の出入収支の傾向は類似し、ほぼ富津崎側から流入し、横須賀側から流出している。

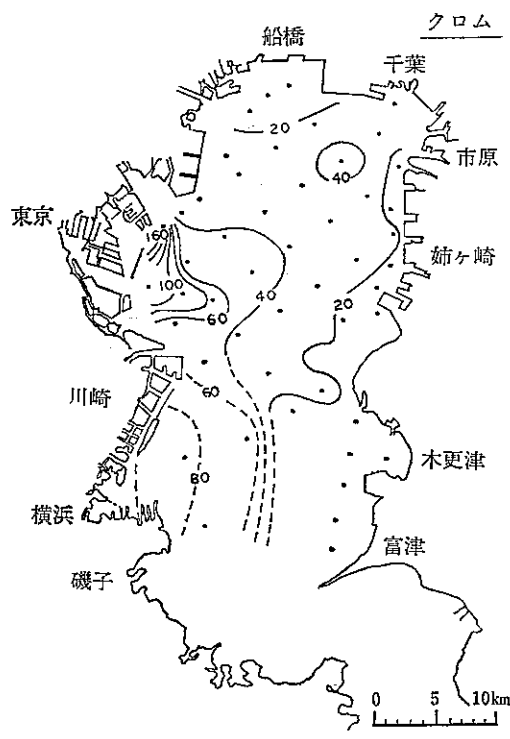
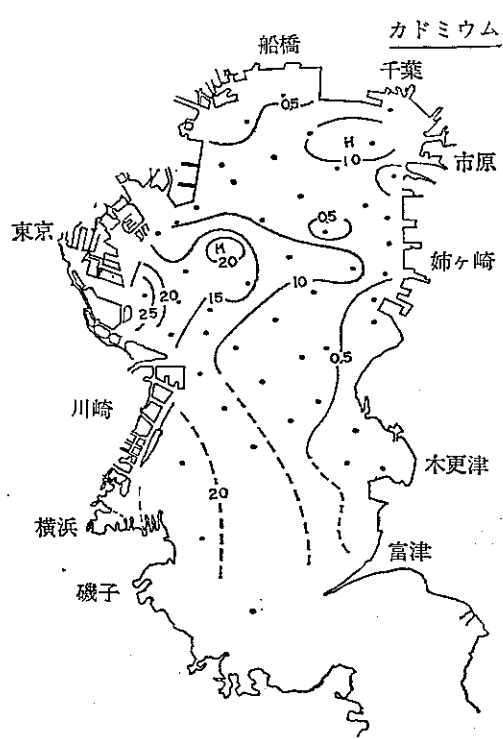
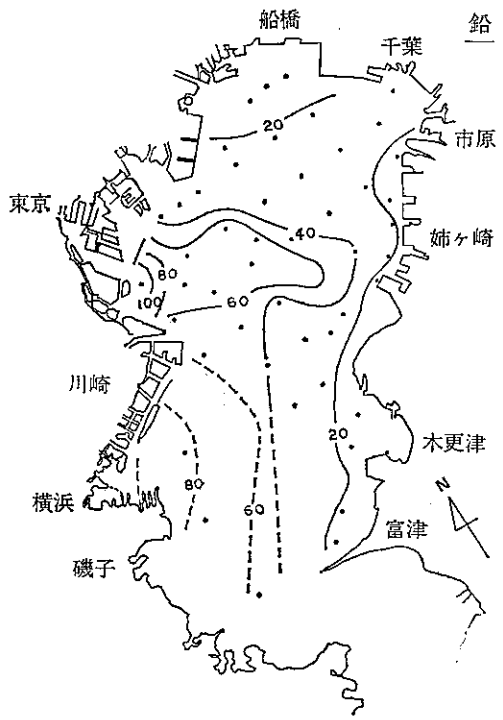
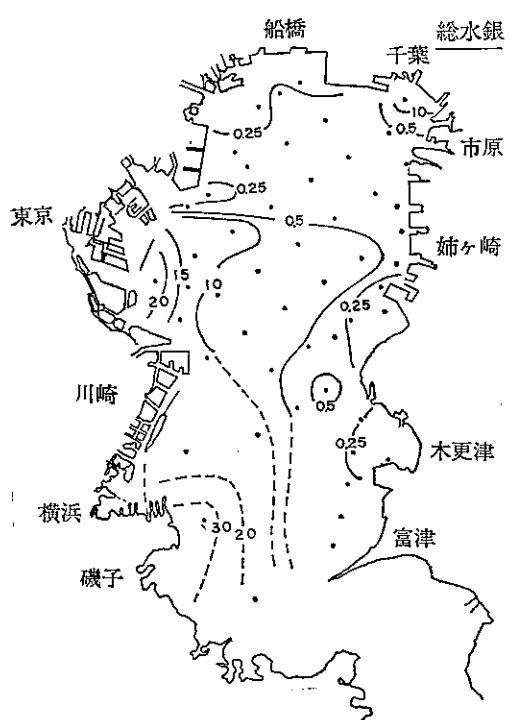
水質汚濁の数値解析

モデルは、東京湾を2km間隔の格子に切り、湾内潮流と河川流入を合わせて湾内の流動を求め、これに汚濁負荷を与えて、拡散計算を行なった。なお、流入汚濁負荷は、東京湾周辺を16ブロックに分けCOD(酸性法)負荷として推計したが、千葉県から106 ton/日、東京都から475 ton/日、神奈川県から558 ton/日、計1100余 ton/日であった。

潮汐計算で漲潮時に横浜沖に時計回りの渦が形成された。このような潮流のもとに拡散計算を行なった結果が図6のとおりで、西高東低型となり横浜沖に高い値の水域の張出しがあり、湾中央の値より高くなった。

図7 底質(金属類)分布(昭和46年10月)

(単位 ppm)



(2) 底 質

一般項目：東京湾の土質は、沿岸部は砂質、沖合部は泥質である。強熱減量は、千葉から川崎方面にかけての湾奥部は10%以上の地帯となり、船橋沖を除いて8%以上の有機質地帯となっている。化学的酸素要求量は強熱減量と比較して比較的分解しやすい有機物量をあらわすが、やはり船橋沖を除いて10mg O<sub>2</sub>/g (乾泥) 以上となっている。一方硫化物は、東京沖が2 mg S/g (乾泥) と多く、水質の傾向と一致していた。

以上、船橋から千葉と姉ヶ崎から富津にかけての底質は砂質で遠浅のため生物酸化が盛んで、これらの値は正常値に近いが、それ以外の地域は悪化しているといえる。なお、神奈川県側は測点数が少なく、地域的傾向は不明であるが、底生生物の分布からして、横浜・川崎沖はかなり悪化していると考えられる。

特殊項目：底質中の総水銀、鉛、カドミウムおよびクロムの分布を示したのが図7である。総体的にみると、一つの共通した濃度分布が表われている。すなわち、東京港付近からの大きな張出しと、それに引き続く湾西部沿いの湾口にいたる部分に、湾東部・湾奥部に比し濃度の高い地帯のあることである。このような分布は、湾東部から湾奥部にかけての千葉県側の開発が比較的近年に行なわれはじめたのに対し、東京という大都市と、明治以来発展続けてきた京浜工業地帯とが存在するためと考えられる。

コアサンプル：底質の歴史を探るために、湾内の5地点で3~4 m余りのコアをとり、1 mおきに20cmの泥を分析した。2, 3の例を除いて、表層で高い値を示すが深くなるにつれて低くなり、重金属類等はクラーク数に近くなっていた。

(3) 生 物

植物プランクトン：海水をそのままホルマリン固定し、静沈させた総プランクトン量を海水10ℓについてみると、表3になる。このプランクトン沈降物は、植物・動物プランクトンあるいはデトリタス等あらゆるものを含んでいるが、一応植物プランクトンが主体とみてよからう。この表に示されるように、年間を通じて5月がもっとも多く、また層別にはだいたい上層が多い。

優占種を季節的にまとめてみると、夏から秋にかけて *Thalassiosira mala* がもっとも優勢であり、秋には

表3 東京湾の総プランクトン容量

(ml/海水10ℓ)

	表層 (0.5m)	中層 (5m)	底層 (海底上1m)
5月	2.0~14.0	1.1~4.8	0.2~6.0
8月	0.6~6.0	0.2~2.0	0.3~1.5
10月	0.4~17.4	0.4~13.8	0.1~9.2
2月	0.9~4.6	1.2~4.2	0.5~6.6

*Chlamidomonas* sp. さらに *Skeletonema costatum* がもっとも優占し、*Chaetoceras* が続く、春も *Skeletonema costatum* が優勢で、*Exuviaella marina*, *Chaetoceras* sp. が続く。夏季、千葉港沖で *Euglena* sp. も優占種として出現した。

総個体数をみると、5月には川崎沖に、8月には中の瀬付近を中心として南北に、10月にはパッチ的に鶴見一木更津、袖ヶ浦沖あるいは姉ヶ崎沖に多数出現した。2月は大体均一で、中の瀬付近が比較的多かった。

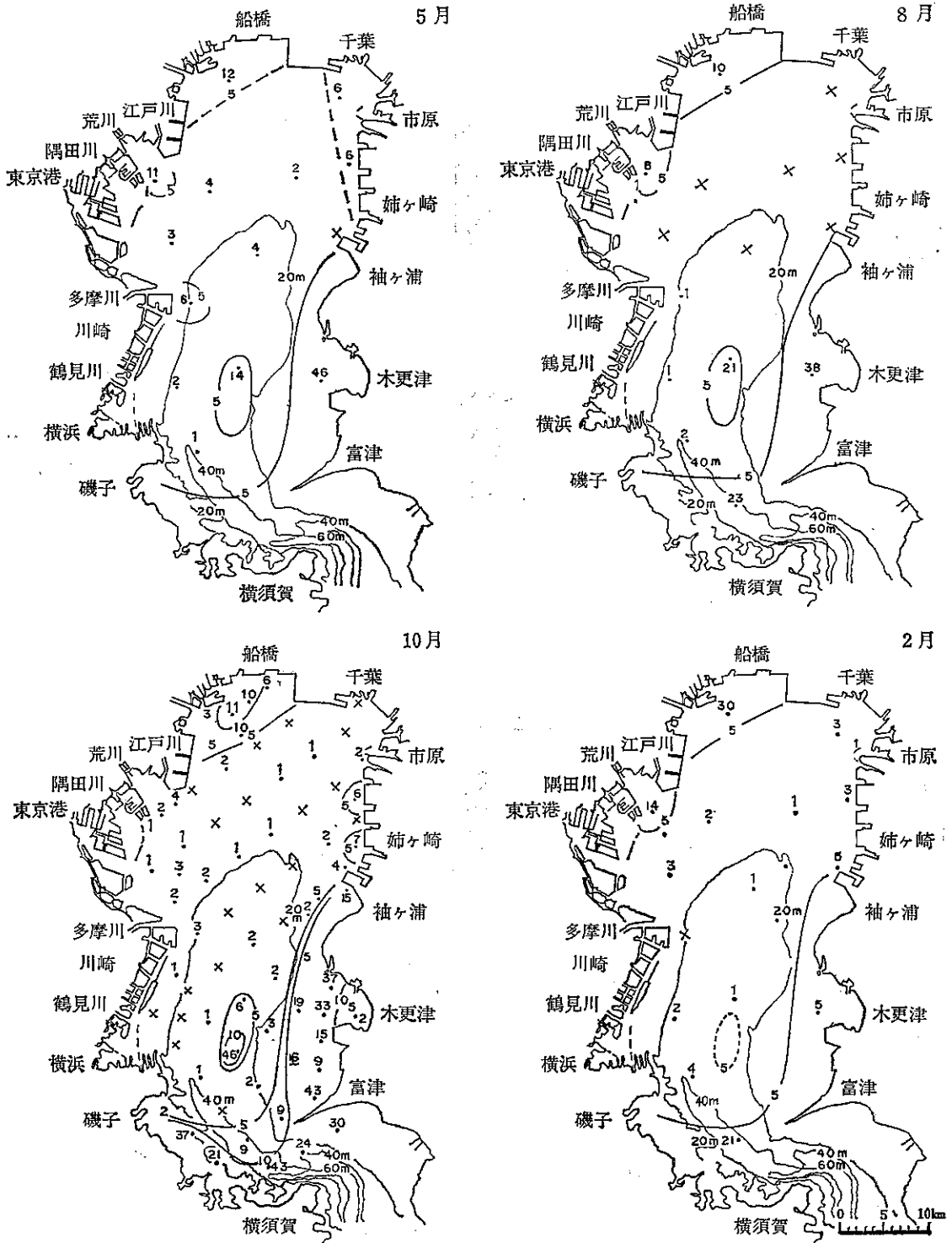
動物プランクトン：海底上1mから表層までネット垂直引きした試料(微細なプランクトン等は網の目を通りぬけて含まれない。)の沈澱物量をみると、2月がもっとも多く、*Chaetoceras* sp. などの植物プランクトンが主体をなし、他の季節の2~40倍となっていた。なお、沈澱物の色は、2月は緑色を、他は概して淡褐色を呈していた。

優占する動物プランクトンを季節的にみると、5月は単純で量も少ないが、川崎・横浜沖で *Tintinnida* が、東京沖、千葉県側では *Cyclopoida* が優占していた。

表4 東京湾の底生生物

	無生物	出現した種類数					種類数合計
		地点	多毛類	軟体類	甲殻類	その他	
5月 (15地点)	1	42	10	5	7	64	
8月 (15地点)	7	45	2	4	6	57	
10月 (72地点)	20	63	16	5	7	91	
2月 (15地点)	1	47	12	8	9	76	
年間計 (117地点)	24	71	19	11	11	112	

図8 底生生物種類数季節変化 (昭和46, 47年)





8月はやや複雑で、千葉—姉ヶ崎沖で Noctiluca が、他の地点では Cyclopoida が優占的に出現していた。湾口から湾中央にかけて神奈川県より Microsetella の出現が目立った。10月には、ほとんどの地点で Cyclopoida が優占的に出現し、これに次いで Microsetella も多かった。2月も全体に Cyclopoida が優占するが、姉ヶ崎沖では、Microsetella が優占していた。磯子沖と湾口部では Calanoida が比較的多く出現したが、湾中央部のプランクトン相は単純である。

底生生物：底泥中に生息する生物の季節変化をまとめると表4、図8のようになる。

無生物地点が $\frac{1}{4}$ 近く、また多毛類が総種類数の $\frac{2}{3}$ 以上占めていることからして、湾内の汚濁は著しいといえる。生物相の季節変化をみると、成層期が最も貧弱であるが循環期には豊かである。地域的には、千葉—市原から川崎—横浜にかけて、無生物地帯あるいはそれに近い状態になっているが、袖ヶ浦から富津崎、船橋沿岸および中の瀬付近は生物数が比較的多い。これは強熱減量あるいはCODとある程度対応している。10月の総個体数と比較すると、強熱減量が10%以上の地区は10個体以下となっている。またCODとの相関は、

20mgO <sub>2</sub> /g乾泥以上	総個体数10以下
10~20mgO <sub>2</sub> /g	総個体数10~100
10mgO <sub>2</sub> /g以下	総個体数200以上

のように一応の線が引ける。

東京湾の大部分の地域は無生物環境に近くなっていることが明らかとなったが、1967年10月に北森が<sup>9)</sup>61地点の調査を行なっているのので、その結果と比較してみると、次のように多数個体出現地域の減少が明らかとなっている。東京港付近、川崎沖、横浜港沖合は80個体以上生息していたが、4年間で10個体以下となっている。また姉ヶ崎、袖ヶ浦あるいは富津の沿岸では80個体以上いたものが80個体以下に、10個体以上の地域も減少している。なお、船橋沖合、木更津沖合と中の瀬地域では、ほとんど変化が認められない。

#### 4 調査結果のまとめ

(1) 東京湾の汚濁状態をアルカリ法—CODで表わすと、循環期には1~3ppmであるが、成層期には10ppm近くまで上がり、季節的に大きく変動する。酸性

法—CODでみると、10月のみの調査結果であるが、68地点表層の値は1~8ppmであった。これらの観測地点の環境基準達成率をみると65%となっていて、 $\frac{1}{3}$ が基準を越えていた。

(2) 東京湾に流入する汚濁負荷量をCOD(酸性法)負荷で推計すると、千葉県から106ton/日、東京都から475ton/日、神奈川県から558ton/日、計1,100余tonであった。

(3) (2)の流入負荷をもとにして、電子計算機で拡散計算を行なってみると、西高東低型となり電算機による解析結果と循環期(2月)の観測結果の傾向が似ていた。

(4) 溶存酸素を飽和度でみると表層では180%に達したり(8月)、50%以下に低下したり(5月)、変動幅が大きく、また、底層では8月、湾北半分は20%以下、10月には川崎—船橋以北が50%以下、川崎—木更津以北が75%以下となっていた。

(5) 透明度については、5、8月には湾全域が1~2mと低い。

(6) 富栄養化の目安である全窒素量の濃度は高く、2月表層で横浜—富津以北は0.8ppm以上、東京港沖では2ppmを越える。

(7) 底生生物の調査結果によると、水の循環と対応して季節的に変動し、循環期から春にかけてはほしい全域にわたり棲息するが、成層期から秋にかけては無生物地点が出現し、8月の観測地点の半分が、10月には約 $\frac{1}{4}$ が無生物地点となっていた。

昭和42年10月の調査報告と比較すると、横浜—川崎沿岸の個体数の減り方が著しく、全体的にみても多数個体出現地域が減少している。

(8) 底生生物の減少は底質の悪化に対応しているが、湾北半分では、大部分が強熱減量で8%以上、CODで10mgO<sub>2</sub>/g(乾泥)以上となっている。

(9) 環境基準の健康8項目については、10月68地点表層水からはいずれも検出されなかった。

しかし、底質中からは重金属等が検出され、地域的分布が明らかになり、東京港付近から姉ヶ崎に向けての張り出しと、これに続く湾西側の地域が、他の地域に比べて濃度が高かった。

なお、この調査研究は一都二県共同調査として行なったものであるが、調査研究にあたり、国立公衆衛生院衛

生工学部長南部祥一氏の指導を得たほか、生物調査には、立正女子大学教授井出嘉雄氏、横浜市立大学教授福島博氏らの協力があった。

#### 参 考 文 献

- 1) 海洋観測指針
- 2) 日本工業規格 J I S—K 0 102
- 3) 下水試験法
- 4) 土質試験法
- 5) 水質汚濁調査指針
- 6) 千葉県内湾水産試験場報告
- 7) 宝月：水質汚濁シンポジウム講演集（1972）
- 8) 吉村：湖沼学（1932）
- 9) 北森：海水汚濁防止技術（1967）