

なはだしい。一方、船舶から排出される、ビルヂ水、プラスチック水なども局所的には著しい汚染源となり得る。横浜港で昭和 40 年に処理され、あるいは排出された船舶からの汚染水は、約 15 000 t と推定されている。

3. 湾内の汚染度分布

東京湾内における汚染度の平均的分布、およびその経年変化の概略を知るために、千葉県、東京都、神奈川県各の水産試験場で、過去何年間にわたって測定された、データを整理した。

扱った指標は、塩素量、化学的酸素要求量、アンモニウム態窒素、溶存酸素などであるが、それらのうち代表的な特定年の平面分布、および特定点の時間的変化を示し、その概要を述べる。

(1) 塩素量

塩素量の経年変化は、図-3.1 に見られるように全体的にいえば、ほとんど認められない。その平面分布の例として昭和 39 年の分布を示すが、外海とほぼ同一の濃度を示すの

は、冬には千葉県の湊、三浦半島の剣崎を結ぶ線のあたりであることがわかり、湾央では、冬には、17.5~18.0% 程度、夏には上層で、17.2~17.5%、-10m 層で、18% 程度である。

その垂直分布形は季節により著しく変動するが、図-3.3 に示すように夏には、密度の差によって淡水の湾外への流出が進み、弱混合型の河口に類似の分布を示す

図-3.1 塩素量経年変化

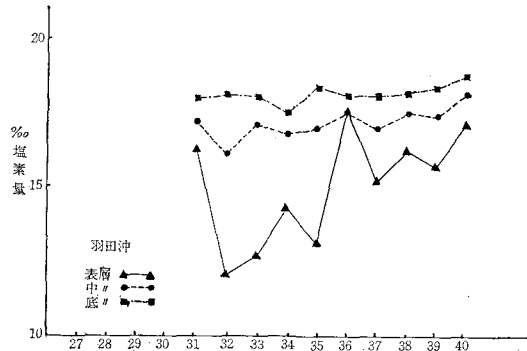


図-3.2 (a) 塩素量水平分布 (表層)
昭和 39 年 1 月

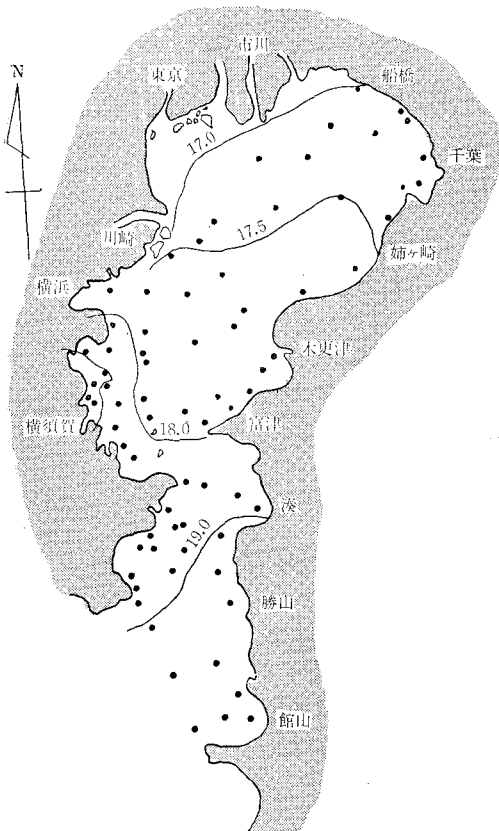
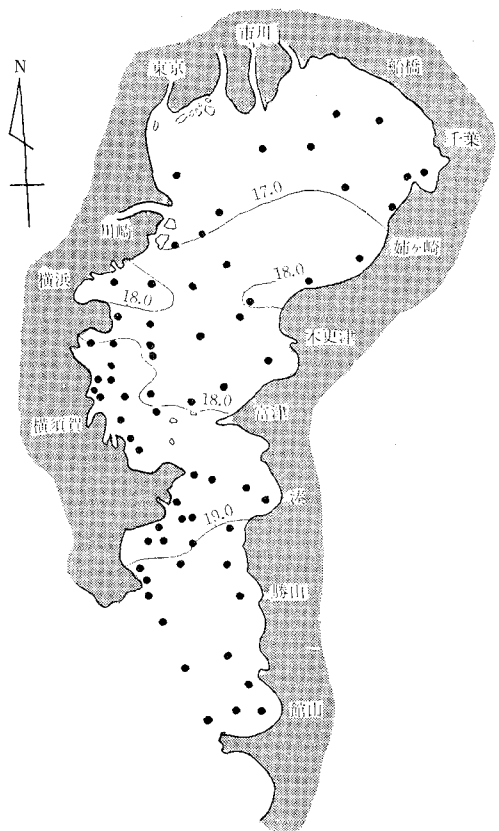


図-3.2 (b) 塩素量水平分布 (-10 m)
昭和 39 年 1 月



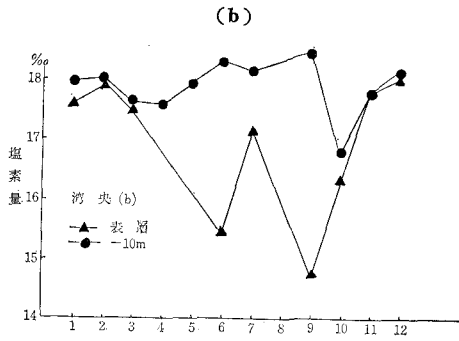


図-3.6 COD 経年変化

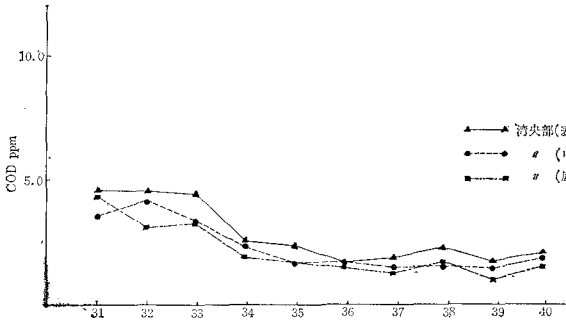
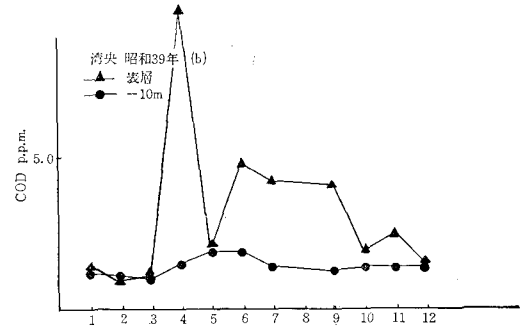
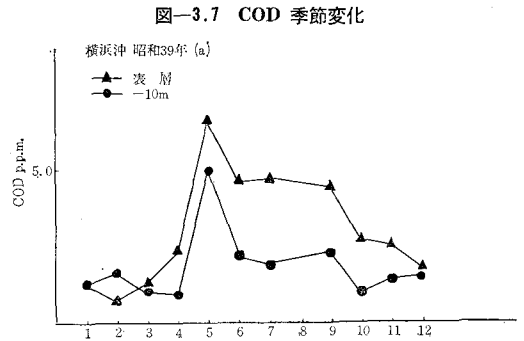
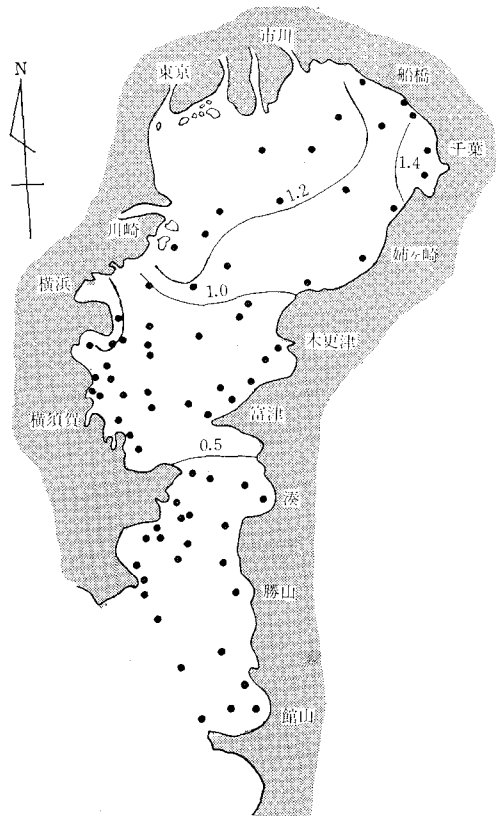
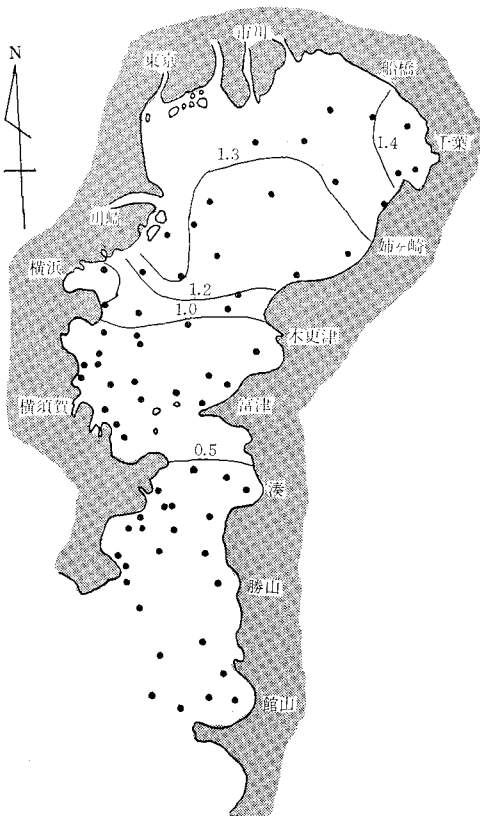
図-3.8 (a) COD 水平分布 (表層)
昭和 39 年 1 月図-3.8 (b) COD 水平分布 (-10 m)
昭和 39 年 1 月

図-3.8 (c) COD 水平分布 (表層)
昭和 39 年 7 月

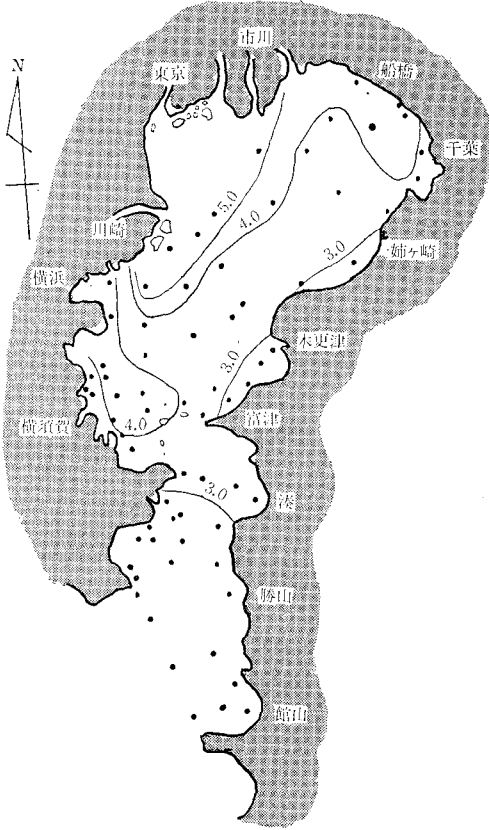
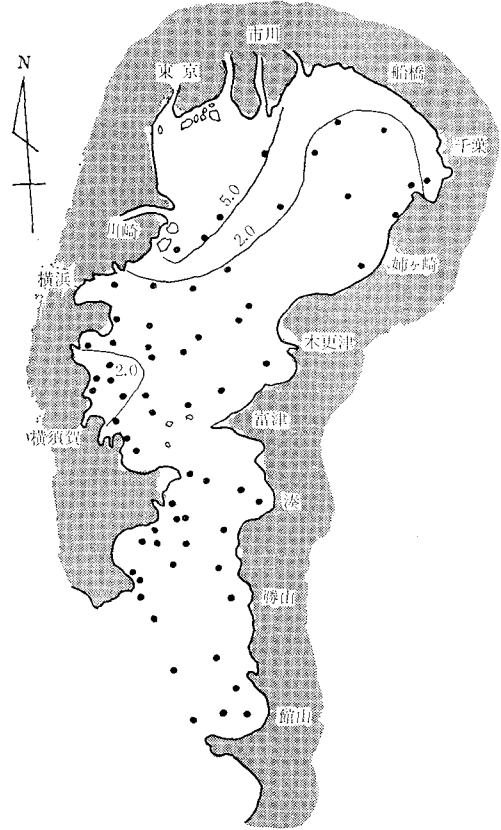


図-3.8 (d) COD 水平分布 (-10 m)
昭和 39 年 7 月



が、冬には強混合型に近く、淡水の湾外への流出はあまり進まない。その平面的分布は、冬には比較的、規則正しく湾奥から湾口に向かって推移するが、夏には非常に複雑な分布を示し、不安定である。

(2) COD

COD の値は湾内各点において、昭和 33 年～34 年頃に低下の傾向がみられ、以降ほぼ一定値を保っている(図-3.6)。近年の産業の発展速度から考えて、一見奇異に感じられるが、昭和 33 年水質保全法、同工場排水規制法の施工とともに、昭和 37 年に江戸川、39 年に荒川が指定水域となり、排水の水質基準が設定された影響を受けているのかもしれない。

COD は淡水の流出の進む夏には、表層では湾中央においてもかなり大きな値を取り (4~5 ppm)、冬には陸に近い部分ではかなり大きな値をとるが、湾中央では小さな値 (1~2 ppm) となる。また、-10 m の点では、陸に近い部分では夏にはかなり大きな値となるが、冬には小さな値 (表層と同程度) とする。湾中央の -10 m 点では、ほぼ季節的変動は無いようで、表層の冬の値に近い値を常時とっている。

平面的な分布は、図-3.8 に示すとおりであり、塩素量と傾向的には類似の分布を示す。

(3) $\text{NH}_4\text{-N}$

アンモニア態窒素、塩素量、化学的酸素要求量、溶存酸素に比して、測定法の差による測定値の差が著しいようで、経年変化あるいは、湾内全域にわたる平面分布を求めることは困難である。

図-3.9 に示すのは、湾中央における $\text{NH}_4\text{-N}$ の経年変

図-3.9 $\text{NH}_4\text{-N}$ 経年変化

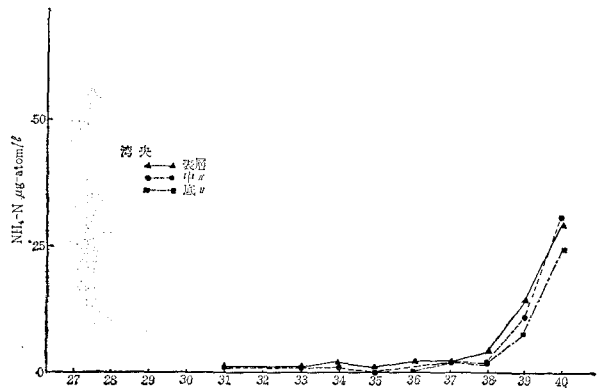
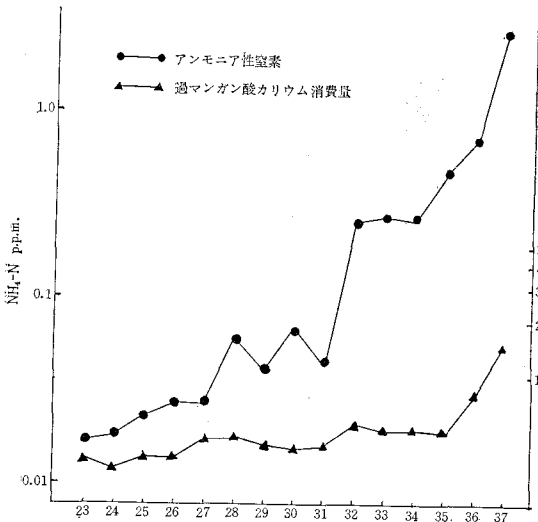
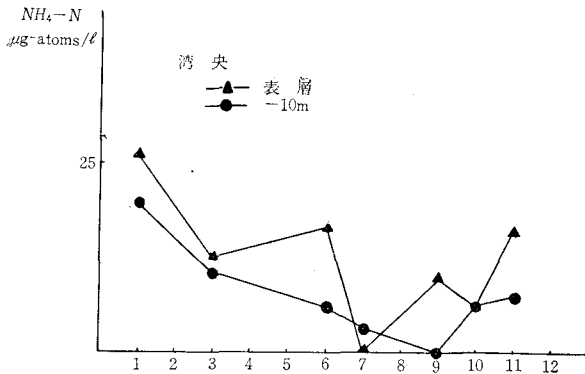


図-3.10 アンモニア性窒素および過マンガン酸カリウム消費量の経年変化

図-3.11 $\text{NH}_4\text{-N}$ 

化であり、一見、昭和 39 年から急増しているように見えるが、それは測定法の変化が影響しているからである。しかし、昭和 39 年～40 年を比較しても $10\sim15\ \mu\text{g-atoms/l}$ から $2.5\sim30\ \mu\text{g-atoms/l}$ に急増しているということは、いえそうであり、このことは湾の他の部分についても同様である。多摩川、丸子橋付近における $\text{NH}_4\text{-N}$ の変化をみても、COD にくらべてその増加は著しいことが認められる (図-3.10)。

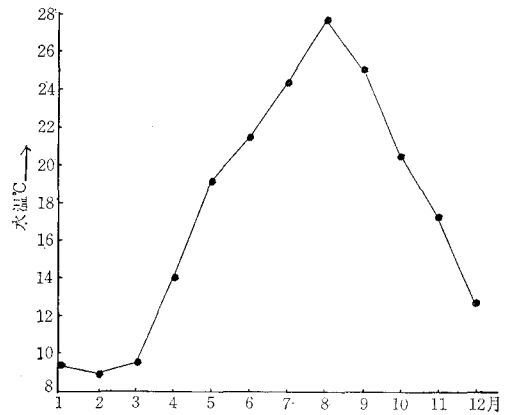
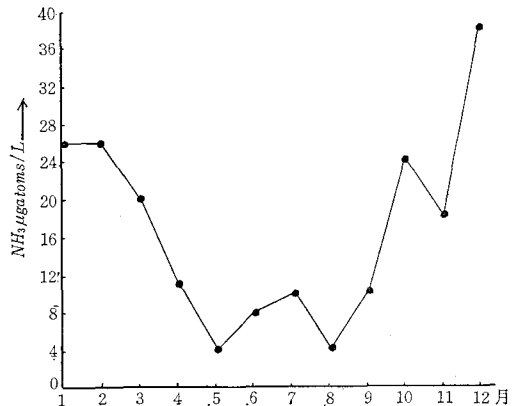
季節的变化については図-3.11 にみられるとおり、湾中央では温度の高い夏には小さな値を示し、冬には大きな値となる。これは COD とは、まさに逆の関係である。

昭和 42 年 2～3 月に運輸省第二港湾建設局では、海水の自浄作用に関する研究を資源科学研究所に委託し、温度 ($20^\circ, 3\sim13^\circ$)、明暗、通気の有無と実験条件を組合せて、その濃度変化を測定した。 $\text{NH}_4\text{-N}$ についての結果をみると、採取した海水 (すでに $68\sim69\ \mu\text{g-atoms/l}$ の $\text{NH}_4\text{-N}$ を含む) に下水を加えて初期濃度を $104\sim115\ \mu\text{g-atoms/l}$ 程度にした場合は、72～120 時間後位ま

では、通気があって、明かるい場合、比較的自浄作用が進んで、濃度も $70\sim78\ \mu\text{g-atoms/l}$ と減少し、 $C_t = C_0 \cdot 10^{-kt}$ とおいた時の自浄係数 K の値に 20°C のとき $0.6\sim0.21(\text{day})^{-1}$ $3\sim13^\circ\text{C}$ のとき $0.4\sim0.1(\text{day})^{-1}$ と、比較的大きい値を示している。

しかし、もともと海水のもっていた $70\ \mu\text{g-atoms/l}$ 位の値になった後は、自浄作用はほとんど進まないといってよいという暫定的な結論を得ている。

これは前述の $\text{NH}_4\text{-N}$ の季節変化、あるいは神奈川県水産試験場の得ている横浜港外における $\text{NH}_4\text{-N}$ と水温との関連図とも矛盾するところであり、その解明にはさらに詳細な研究を必要とするが、いまのところ、実際の海上では $10\sim30\ \mu\text{g-atoms/l}$ という小さな濃度でもかなり温度に支配される自浄作用を海水はもっていると考えてもよさそうである。

図-3.12 (a) 月別平均水温変化
(1961～1966 年)図-3.12 (b) 月別平均 $\text{NH}_4\text{-N}$ 変化
(1962～1966 年)

汚染した水の流出している陸に近い部分では汚染が著しいのは当然であるが、湾中央では冬の表層で $20\sim30\ \mu\text{g-atoms/l}$ 、中層、下層では、これより小さな値をとり、夏の表層では $15\sim25\ \mu\text{g-atoms/l}$ で、やはり中、下層は

これより小さな値をとる。

イギリスの下水処理に関する王立委員会では、河川水の種類に $\text{NH}_4\text{-N}$, 0.67 ppm=41 $\mu\text{g-atoms/l}$ を“かなり清浄”としているが、東京湾も全体としてみれば $\text{NH}_4\text{-N}$ に関しては、かなり清浄の範囲に入るのであろう。

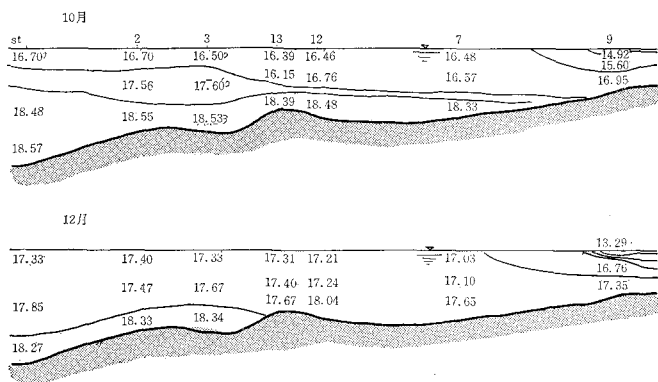
また、中層、下層よりも表層が常に大きな値をとることからみて、陸水の表層への流出のほかに、船舶のビルヂ水の投棄あるいは、し尿の投棄など、表面からの汚染源の供給がかなり影響しているように思われる。

4. 横浜港内の汚濁度分布

東京港を除いて東京湾内の他の港では、前記各水産試験所の観測定がないため、水質に関するデータはほとんどないといってよい。

そこで運輸省第二港湾建設局では、まず手始めとして横浜・川崎港についての水質調査を神奈川県水産試験場金沢分場に依頼して、昭和41年10月、11月、昭和

図—4.2 横浜港塩素量横断分布図(単位 ‰)



42年1月、2月の5回、実施した。

(1) 淡水の流出時間の試算

塩素量の分布は帷子川河口から港外にかけて、St. No. でいえば、St. 1, 2, 3, 13, 12, 7, 9 の方向に次第に濃度を増し、横浜港内に流入する淡水の大部分は、帷子川によると推定することができる。

その分布形の断面をとったのが図—4.2であり、夏に近い分布であると推定される10月の分布と、冬の分布であると推定される11~2月の分布の間には大きな差がみられ、夏には淡水の港外への流出が進み、冬にはそれが、とどこおるといことが予想される。

帷子川の流出量：

測定データがないので、その流域面積および関係するであろう人口から推定するとつぎのようになる。

10月 600 万 $\text{m}^3/\text{月}$

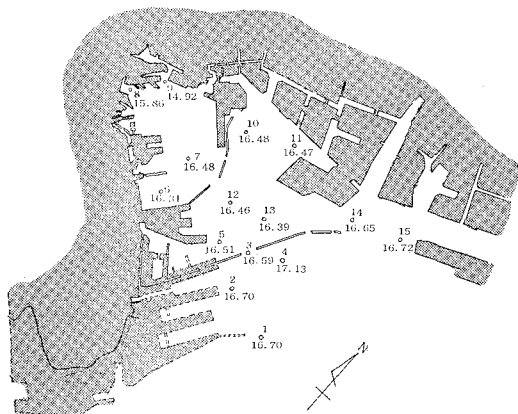
1月 300 万 $\text{m}^3/\text{月}$

この値は後述の塩素量による平衡から求めた値をみてもオーダーとして妥当なものである。

淡水の流出時間；

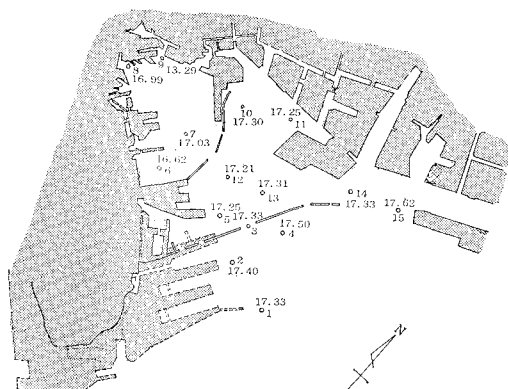
図—4.1 (a) 横浜港塩素量水平分布図

昭和41年10月



図—4.1 (b) 横浜港塩素量水平分布

昭和41年12月



図—4.3 流出時間区分け図

(横浜港)

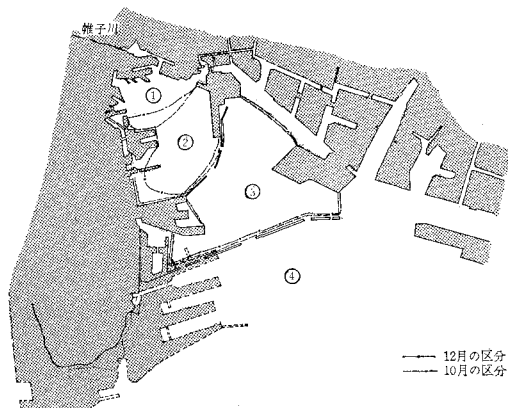


図-4.4

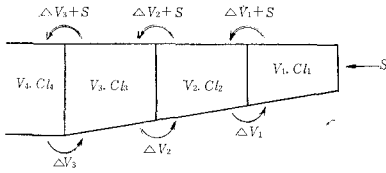


図-4.5

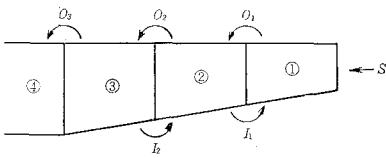


図-4.3に示すように横浜港内を第1～第4区に分けて、その間の水の出入量を、各区間の内では夏あるいは、冬という一定時期では、一定分布が保たれているものとして求めるとつぎのようになる。

$$\Delta V_1 = \frac{Cl_1}{Cl_2 - Cl_1} S$$

$$\Delta V_2 = \frac{Cl_2 - Cl_1}{Cl_3 - Cl_2} (S + \Delta V_1)$$

$$\Delta V_3 = \frac{Cl_3 - Cl_2}{Cl_4 - Cl_3} (S + \Delta V_2)$$

図-4.4において、単位時間（1日）に第1ブロックに s なる流入量があった場合、それがどのように流出するかを考え、各ブロック間の出入の割合（図-4.5）を求める。

$$O_1 = \frac{\Delta V_1/30 + s}{V_1 + \Delta V_1/30 + s}$$

$$O_2 = \frac{\Delta V_2/30 + s}{V_2 + \Delta V_2/30 + s}$$

$$O_3 = \frac{\Delta V_3/30 + s}{V_3 + \Delta V_3/30 + s}$$

$$I_1 = \frac{\Delta V_1/30}{V_1 + \Delta V_1/30 + s}$$

$$I_2 = \frac{\Delta V_2/30}{V_2 + \Delta V_2/30 + s}$$

$S/30 = s$ が流入したときの流出は、その経路により二分される。ただちに④へ流出する量を P_0 、始めから①にとどまるか、あるいはいったん②あるいは③に出てから①へ戻る量を P_1 とすると、つぎのように求められる。

$$P_0 = 0.10_2 0.3 (1 + 0.2 I_2 + 0.2^2 I_2^2 + \dots) \cdot s$$

$$= 0.10_2 0.3 \frac{1}{1 - 0.2 I_2} \cdot s$$

$$P_1 = s - s O_1 + 0.1 I_1 (1 + 0.2 I_2 + 0.2^2 I_2^2 + \dots) \cdot s$$

$$+ 0.1^2 I_1^2 (1 + \dots) \cdot s + \dots$$

$$= 0.1 I_1 \cdot \frac{1}{1 - 0.2 I_2} \cdot \frac{1}{1 - 0.1 I_1} s + s - s O_1$$

この P_0 、 P_1 の組合せにより、始めに流入した量 s は、つぎのように流出し、流出量 s_0 は

$$\begin{aligned} s &\rightarrow P_0 \\ &\downarrow \\ P_1 &\rightarrow P_1 P_0 / s \\ &\downarrow \\ P_1^2 / s &\rightarrow P_1^2 P_0 / s^2 \end{aligned}$$

$$s_0 = P_0 + \frac{P_1 P_0}{s} + \frac{P_1^2 P_0}{s^2} + \frac{P_1^3 P_0}{s^3} + \dots$$

$$= P_0 + \frac{P_0 P_1}{s} \frac{1}{1 - P_1 / s}$$

流出時間は $\frac{s}{s_0}$ (日) で求められる。

各ブロックの Cl 値は観測値を適当に加重平均して、つぎのように求められる。

$$10 \text{ 月}; Cl_1 = 15.90\%$$

$$Cl_2 = 16.90\%$$

$$Cl_3 = 17.30\%$$

$$Cl_4 = 17.50\%$$

$$12 \text{ 月}; Cl_1 = 16.50\%$$

$$Cl_2 = 17.20\%$$

$$Cl_3 = 17.45\%$$

$$Cl_4 = 17.50\%$$

10 月と 12 月とを比較すると、港外では同一であるが、各ブロックでは夏の方が小さい値をとることがわかる。その差は、第1ブロックでは 0.60%、第2ブロックでは 0.30%、第3ブロックでは 0.15% となっている。

ブロック分けは、 Cl^- の分布を考慮して図-4.3のように 10 月と 12 月では差をつけている。

$$10 \text{ 月}; S_1 = 1.42 \times 10^6 \text{ m}^3 \quad \text{水深} = 6 \text{ m}$$

$$S_2 = 2.56 \times 10^6 \text{ m}^3 \quad \text{水深} = 10 \text{ m}$$

$$S_3 = 5.68 \times 10^6 \text{ m}^3 \quad \text{水深} = 10 \text{ m}$$

$$V_1 = 8.54 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 25.6 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$V_3 = 56.8 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$12 \text{ 月}; S_1 = 1.18 \times 10^6 \text{ m}^3 \quad \text{水深} = 6 \text{ m}$$

$$S_2 = 2.32 \times 10^6 \text{ m}^3 \quad \text{水深} = 10 \text{ m}$$

$$S_3 = 5.68 \times 10^6 \text{ m}^3 \quad \text{水深} = 10 \text{ m}$$

$$V_1 = 7.10 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 23.2 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$V_3 = 56.8 \times 10^6 \text{ m}^3$$

以上のデータを用いて、 ΔV はつぎのように求められる。

$$10 \text{ 月}; \Delta V_1 = 96 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{月}$$

$$\Delta V_2 = 254 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{月}$$

$$\Delta V_3 = 520 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{月}$$

平均潮差から求めた流入量と比較すると、それぞれ、比率は 1.15, 1.12, 1.17 となり、ほぼ ΔV の値および、ブロック分けも適当であることがわかる。

$$12 \text{ 月}; \Delta V_1 = 71 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{月}$$

$$\Delta V_2 = 207 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{月}$$

$$\Delta V_3 = 526 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{月}$$

この場合も、上述の比率は 1.05, 0.97, 1.17 となり、 ΔV および、ブロック分けが適当であったといえる。

流出時間は

$$10 \text{ 月}; O_1 = 0.285$$

$$O_2 = 0.318$$

$$O_3 = 0.314$$

$$I_1 = 0.267$$

$$I_2 = 0.312$$

より、つぎのように求められる。

$$P_0 = 0.0316 s$$

$$P_1 = 0.807 s$$

$$\frac{s}{s_0} = 6.1 \text{ 日}$$

$$12 \text{ 月}; O_1 = 0.251$$

$$O_2 = 0.289$$

$$O_3 = 0.305$$

$$I_1 = 0.241$$

$$I_2 = 0.285$$

より、つぎのように求められる。

$$P_0 = 0.0241 s$$

$$P_1 = 0.819 s$$

$$\frac{s}{s_0} = 7.5 \text{ 日}$$

帷子川の流量を仮定し、船舶その他からの淡水量、あるいは海面からの蒸発量などを無視して、以上のように計算すれば、淡水の流出時間は 10 月で 6 日、12 月で 8 日程度と求められるが、塩素量の測定数、測定精度、計算法などに問題があり、この値はオーダーとしてこの程度であると考えらるべきであろう。

いまのところ、この結果を確かめるような観測値はないが、今後そのような調査も実施したいと考えている。

(2) COD

断面図を図-4.6 に示すが、10 月には港外への流出が進んで全体的に濃度は小さいが、12 月には港奥部の汚染度が大きくなっているのが認められ、自浄作用の程度は不明であるが、港奥部の汚染の進行には混合交換がかなり支配的であると見られる。

絶対的な汚染度としては、局所的に COD の最大値が 4.33 ppm 程度であり、帷子川の中では大きな値を示してはいるが、港内全体としては COD の値が著しく大きいということはない。

(3) $\text{NH}_4\text{-N}$

$\text{NH}_4\text{-N}$ の分布は温度の影響を大きく受けるため、必ずしも水量の混合交換では説明できない。COD とは逆に 10 月の方が 12 月より、はるかに小さい値を示している。

絶対的な汚染度としては、表層で 10 月に $30 \sim 40 \mu\text{g-atoms/l}$ 、12 月に $50 \sim 60 \mu\text{g-atoms/l}$ であり、前述の $41 \mu\text{g-atoms/l}$ にくらべると、夏には“かなり清浄”の部類に入るが、冬には“疑わしい”の部類に入るようである。

4. ま と め

以上の調査の結果、ほぼつぎのようにまとめられよう。

① 港内あるいは河口など局所的には汚染はかなり著しいが、COD, $\text{NH}_4\text{-N}$ を指標に用いて東京湾全体を見ると、油、ごみ、流木などによる汚染は別として“かなり清浄”（イギリス王立委員会の基準を目安として）の部類に入る。

② 産業廃水による汚染の指標として COD を選んだ時、東京湾全体としては近年汚染が著しくなったという傾向は認められない。

③ しかし、主として尿による汚染の指標である $\text{NH}_4\text{-N}$ に注目するとき、汚染の傾向には著しいものがある。

図-4.6 COD 横浜港横断分布図 (単位 ppm)

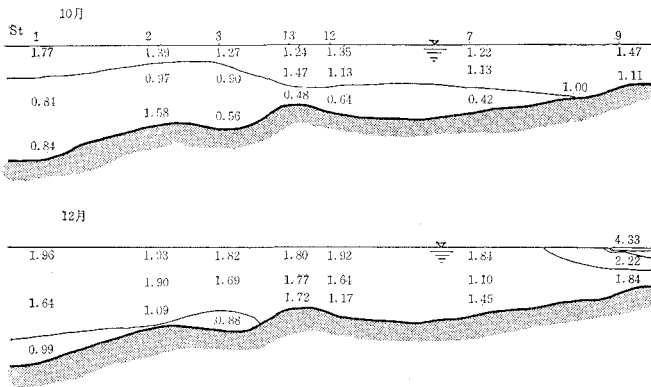
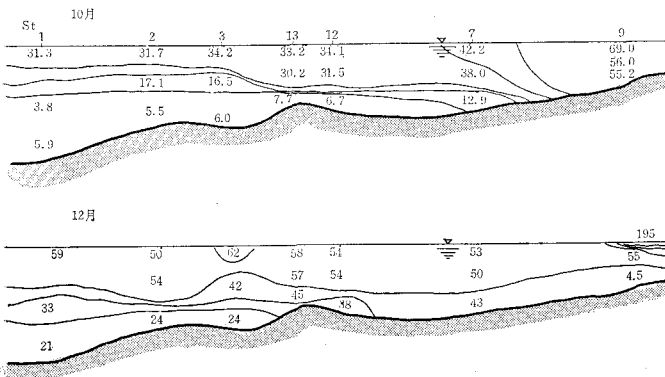


図-4.7 $\text{NH}_4\text{-N}$ 横浜港横断分布図



④ したがって COD 的な汚染については、港内など局所的な対策を検討し、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的な汚染に対しては、充分な下水処理、ビルヂあるいは尿の湾内投棄の禁止を徹底することが必要であるといえる。

⑤ 室内実験によると、COD も $\text{NH}_4\text{-N}$ も、すでに湾央における程度の濃度では、大きな自浄作用は期待できないとの結果を得ているが、 $\text{NH}_4\text{-N}$ については、夏にはかなりな自浄作用が予想されるような観測結果が出ており、この点についてはさらに一層の研究を必要とする。

⑥ COD に関しては、自浄作用の程度は不明であるが、分布が塩素量の分布形と類似な点からみて、混合拡散による外水との交換がかなり支配的であると想定される。

⑦ したがって、淡水の流出時間を知ることが必要となり、塩素量の分布を利用して横浜港で試算を行ない、オーダーとして 6～8 日という値を得た。

⑧ 以上は東京湾に大規模な構造物を作る場合、汚染状況はどうなるかということを知るための調査の第 1 歩であり、本年も水質調査、自浄作用、拡散の調査、汚染分布の試算などを行なう予定であり、さらにその後には、模型実験なども行なうつもりである。

おわりに、資料の提供および観測の一部を実施していただいた神奈川県、東京都、千葉県の各水産試験場、データの解析、自浄作用の研究などを実施して頂いた資源科学研究所、およびデータの解析、図面の作成などに協力頂いた運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所の諸氏に厚く感謝し、また、今後の一層の御協力をお願い致したいと思います。

参 考 文 献

- 1) 半谷高久：社会地球化学，紀伊国屋新書，1966
- 2) 運輸省第二港湾建設局：東京湾水質調査結果解析報告書