

3. 相模川河口環境調査

早川 康博・平野 敏行（東大海洋研）

相模川は神奈川県下最大の河川であり、その水質も比較的良好であるため、古くから、上水道やかんがい用水として盛んに取水されてきた。さらに、近年、取水を増やすと共に流域下水を一括処理し、この処理水を河口域に集中的に排水することが計画され、一部は既に実施されている。しかし、この計画によって相模川上中流域の水質は改善されるとしても、河口域や近隣沿岸海域は処理水によってかえって汚染化する心配が生じている。この点について、(財)相模湾水産振興事業団の要請に基づき、神奈川県水産試験場の協力を得て、1976年1月～12月の1年間、河口域の環境を総合的に調査した¹⁾。

1. 概況

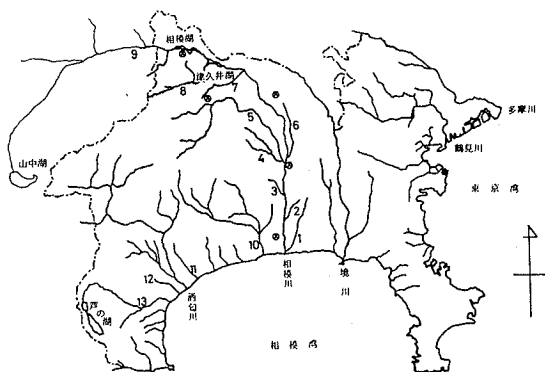
神奈川県内には第1図に示す大小河川が東京湾や相模湾に注いでいるが、このうち多摩川、鶴見川、境川、相模川、酒匂川の各々中流から河口にかけての水質（昭和46年～49年平均）²⁾を比較して第2図1～4に示す。上記5河川のうち多摩川、鶴見川、境川では、中流域で高い汚染濃度を示し、下流で幾分低下する。これらの河川は中流域で人口密集地からの汚染を受け、下流で下水道施設の整備、河口域で海水による稀釈の効果を受けて汚染濃度の変化を生ずるものと考えられる。これらの河川は一方で人為的な汚染と、一方で下水処理(人為的浄化)と

いう相反する2つの人為的影響の下に高レベルの汚染濃度で安定した都市型河川である。一方相模川、酒匂川では、中流域で比較的低い汚染濃度が保たれ、下流へ行くに従い微増する。すなわち、汚染負荷と自然浄化力の差がゼロまたはわずかにプラスとなっており、典型的な田園型河川である。しかし、相模川に合流する諸支流(×印)はいずれも高い汚染濃度を示していることから、相模川も都市型河川に移行する傾向にあると考えられる。これら諸支流は相模平野で急増している市街地の排水路を兼ねているために汚染濃度が高いのである。このため、相模川流域下水道計画の構想が生じたものと思われるが、下流の河口域や沿岸海域に対する汚染について十分な配慮が必要である。

2. 負荷汚染物質の年平均収支

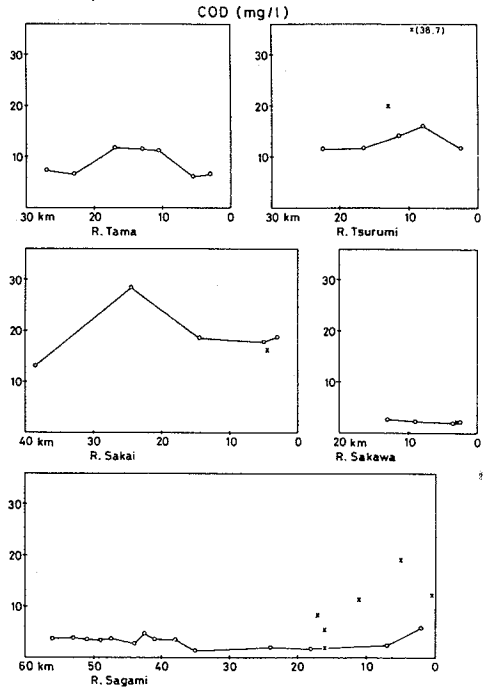
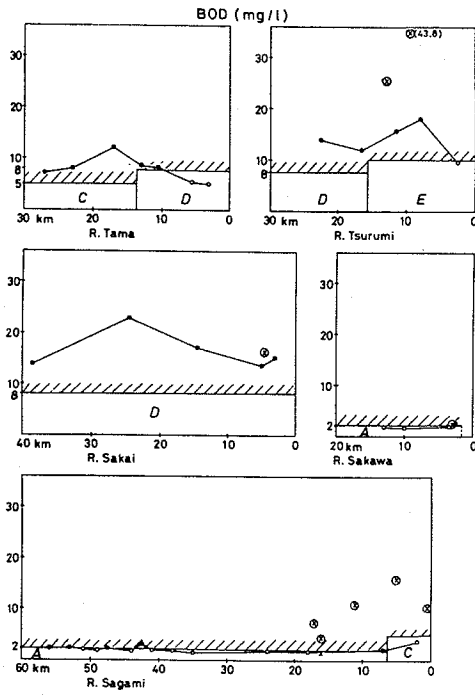
第3-1図に相模川の取排水量収支の推定現況（昭和51年）を示す。第3-2図に取排水計画（相模川総合開発事業または相模川高度利用計画による取水の増加と相模川流域下水道計画による処理下水の排出）に基づく流量収支を示す。現況では取水の一部が再び中流域に還元されること、また計画では流域からの下水が河口部の処理場で一括処理され集中的に排水されるため、流量は下流に行く程減少するが、河口部で一挙に増加して相模湾に流入することが顕著な特徴である。結果として、海域流入量は現況で $37.71 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、計画で $36.74 \text{ m}^3/\text{sec}$ と大差ないが、汚染物質の海域流入濃度や負荷量はどうか。この点を次に検討した。

第4図a～cは第3図1-2に基づいて現況と計画における汚染物質の沿岸海域に対する負荷濃度および負荷量収支の算定法を示したものである。地点*i*における汚染濃度の実測値²⁾を現況では C_i (第4-a図)、計画では C'_i (第4-b図) または C''_i (第4-c図) で表わし、質量保存式で求められる計算負荷濃度を C_{i*} など で表わしてある。例えば、現況の最上流部の負荷濃度を C_1 、支流を C_2 、寒川取水場を C_3 、中流域の市街地排水を C_4 、下流域の市街地排水を C_5 、河口部を C_6 のように表示した。これらの値から寒川における計算負荷濃度 C_{3*} や、河口部における海域への計算負荷濃度 C_{6*} を求めた。これらの計算値と実測の C_3 や C_6 の差は、みかけの浄



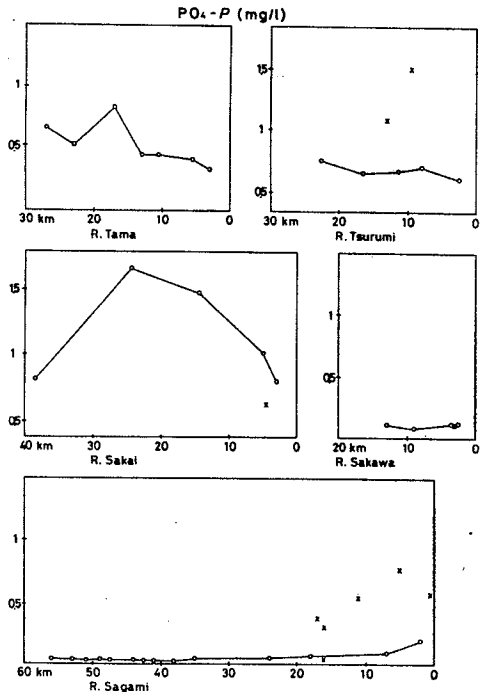
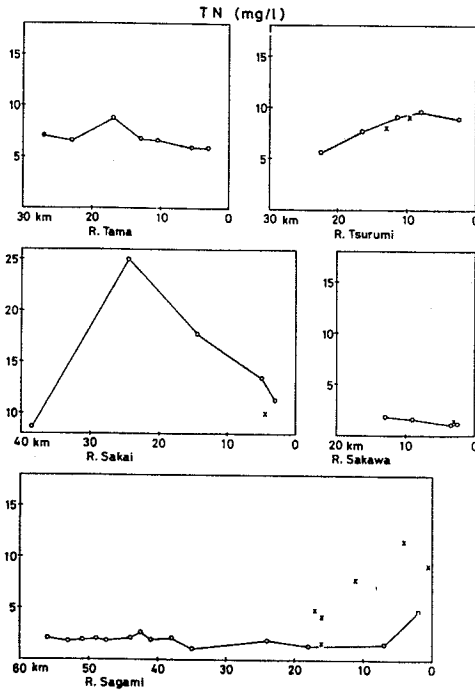
第1図 神奈川県内の河川

- 1…小出川 2…目久尻川 3…新玉川 4…小鮎川
5…中津川 6…鳩川 7…串川 8…道志川
9…桂川 10…花水川 11…森戸川 12…山王川
13…早川 ⊗…気象観測所



1 BOD (生物化学的酸素要求量)

2 COD (化学的酸素要求量)

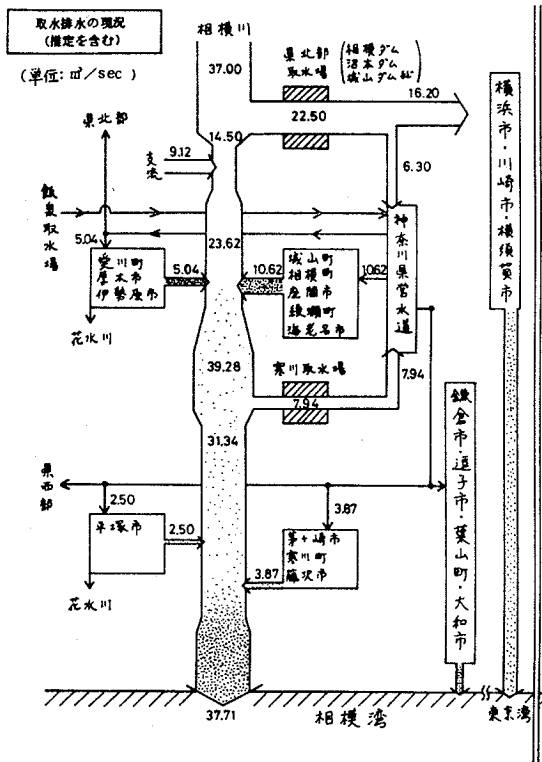


3 TN (全窒素)

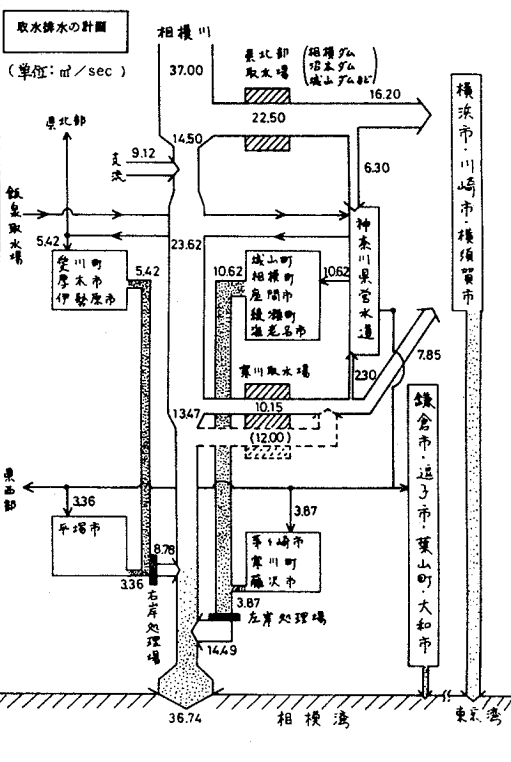
4 PO₄-P (リン酸態リン)

第2図1~4 神奈川県内五大河川の水質縦断変化 (昭和46年~49年)

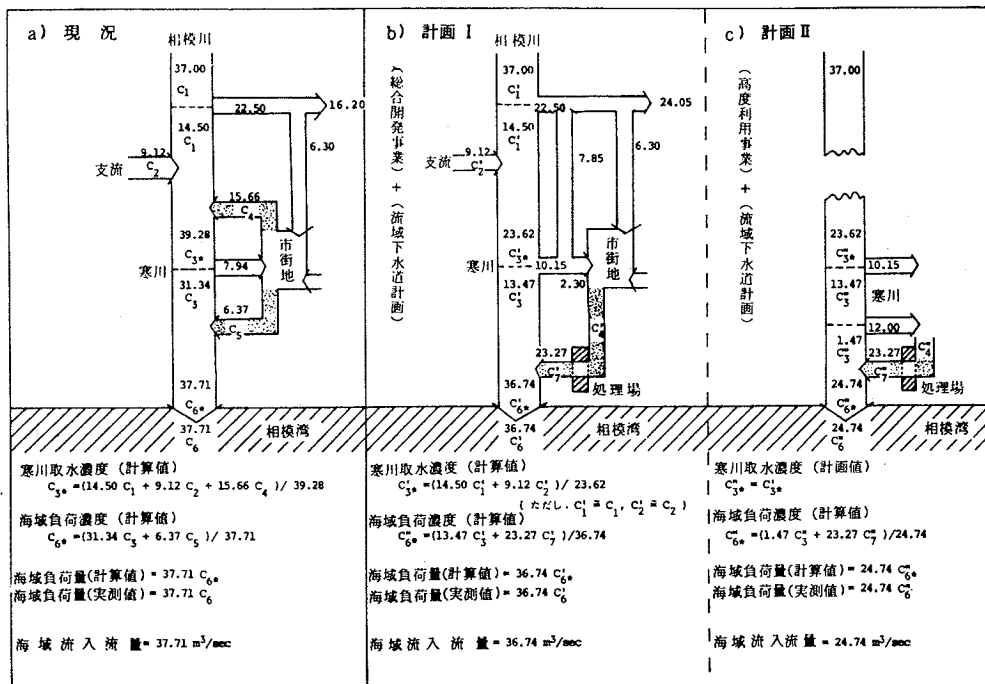
(○, ●…本川地点, ×, ⊗…支流地点 A~E…河川類型)



第 3-1 図 相模川の取排水推定現況 (昭和51年)



第 3-2 図 相模川の取排水計画



第 4 図 図汚染負荷の計算法 (昭和46年~49年)

第1表 相模川の現況と将来における汚染物質の負荷濃度および負荷量収支

項目	地点	濃度 (mg/l)									浄化作用 (%)
		C ₁	C ₂	C ₄	C _{3*}	C ₃	C' _{3*}	C' ₃	C'' _{3*}	C'' ₃	
BOD	(mg/l)	2.05	1.53	7.65	4.16	2.18	1.85	0.97	1.85	0.97	47.6
COD	(mg/l)	3.13	1.87	8.43	4.95	2.40	2.64	1.28	2.64	1.28	51.5
SS	(mg/l)	8.51	13.00	35.10	20.15	11.00	10.24	5.59	10.24	5.59	45.4
TN	(mg/l)	1.89	1.60	5.65	3.32	1.50	1.78	0.80	1.78	0.80	54.8
PO ₄ -P	(mg/l)	0.03	0.04	0.39	0.18	0.08	0.03	0.02	0.03	0.02	55.6

項目	地点	濃度 (mg/l)							浄化作用 (%)
		C ₅	C _{6*}	C ₆	C' _{6*}	C' ₆	C'' _{6*}	C'' ₆	
BOD	(mg/l)	13.15	4.03	3.80	0.36 +イ)	0.34 +0.597・C' ₇	0.058 +ハ)	0.055 +0.597・C'' ₇	5.7
	(ton/day)		13.13	12.38	1.13 +ロ)	1.07 +1.896・C' ₇	0.123 +ニ)	0.116 +1.896・C'' ₇	
COD	(mg/l)	15.82	4.67	5.93	0.47 +イ)	0.60 +0.804・C' ₇	0.076 +ハ)	0.097 +0.804・C'' ₇	-27.0
	(ton/day)		15.21	19.32	1.49 +ロ)	1.89 +2.554・C' ₇	0.163 +ニ)	0.207 +2.554・C'' ₇	
SS	(mg/l)	38.90	15.71	23.80	2.05 +イ)	3.11 +0.959・C' ₇	0.332 +ハ)	0.503 +0.959・C'' ₇	-51.5
	(ton/day)		51.19	77.54	6.51 +ロ)	9.86 +3.046・C' ₇	0.710 +ニ)	1.075 +3.046・C'' ₇	
TN	(mg/l)	10.40	3.00	4.40	0.29 +イ)	0.43 +0.928・C' ₇	0.048 +ハ)	0.070 +0.928・C'' ₇	-46.7
	(ton/day)		9.77	14.34	0.93 +ロ)	1.36 +2.952・C' ₇	0.102 +ニ)	0.150 +2.952・C'' ₇	
PO ₄ -P	(mg/l)	0.65	0.18	0.19	0.007 +イ)	0.007 +0.668・C' ₇	0.001 +ハ)	0.001 +0.668・C'' ₇	-5.6
	(ton/day)		0.59	0.62	0.022 +ロ)	0.022 +2.123・C' ₇	0.002 +ニ)	0.002 +2.123・C'' ₇	
					イ) 0.633・C' ₇		ハ) 0.941・C'' ₇		
					ロ) 2.011・C' ₇		ニ) 2.011・C'' ₇		

第2表-1 負荷濃度 (現況) 維持のための許容濃度 (mg/l)

項目	地点	C' ₇	C'' ₇
BOD		5.80	4.22
COD		6.54	4.88
SS		21.58	16.34
TN		4.28	3.14
PO ₄ -P		0.27	0.19

第2表-2 負荷量 (現況) 維持のための許容濃度 (mg/l)

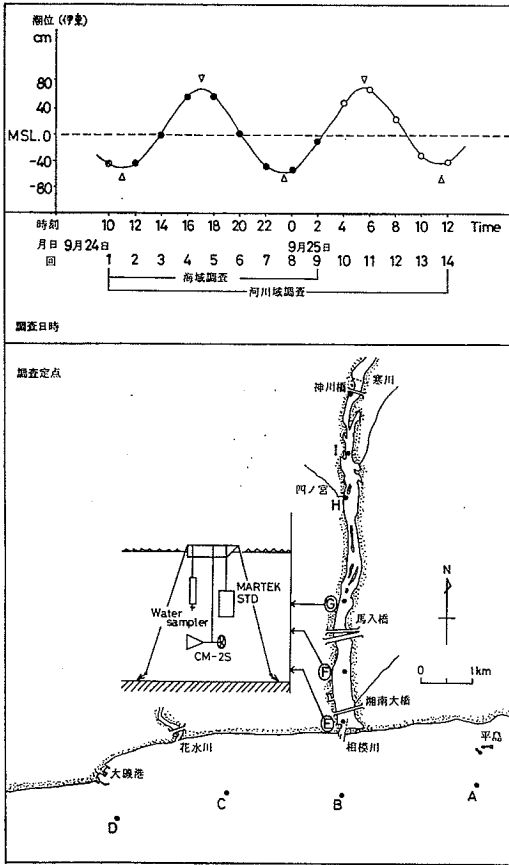
項目	地点	C' ₇	C'' ₇
BOD		6.00	6.47
COD		6.82	7.48
SS		22.22	25.10
TN		4.40	4.81
PO ₄ -P		0.28	0.29

化作用によると考えられ、浄化作用の割合 r を次式で求めた。

$$r(\%) = \frac{C_{i*} - C_i}{C_{i*}} \times 100$$

計画における負荷収支も、現況の場合と同様にして計算される。ただし、計画実施時の処理排水の負荷濃度 C'_7 や C''_7 は未知数である。また、負荷量は負荷濃度に各々の流量を掛けて求められる。収支計算の結果を第

1表に示す。第1表に示されるように、寒川地点 C_3 に基づく中流域の浄化作用は 40~50% と極めて大きく、河口部 C_6 に基づく下流域での値は極めて小さいか負を示している。このことは、中流域では流下距離が長いことと同時に、沈殿化や化学的・生物的浄化作用も活発であるためと考えられる。また、下流域では底泥の巻上りや未知汚染源の存在、あるいは環境の変動が大きいためなどが考えられる。このように、中流域の高い浄化力は、



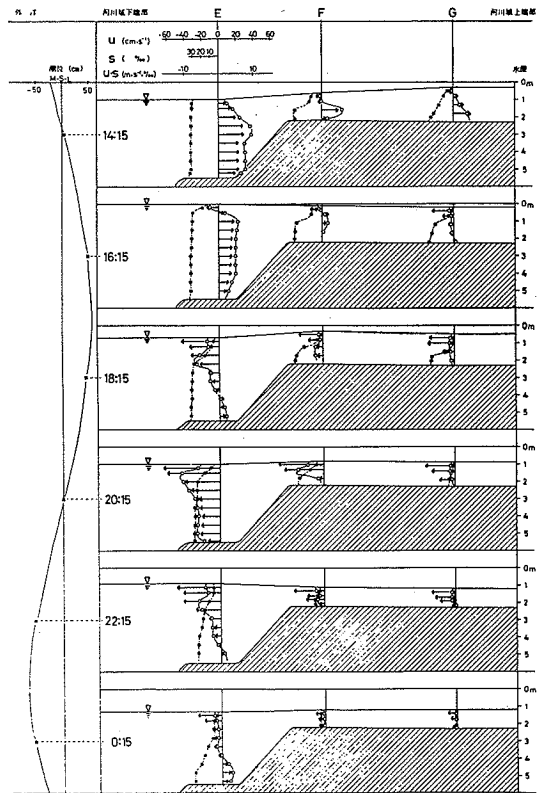
第5図 相模川河口域調査日時および調査定点 (連続調査)

流域下水道計画における河口部一括処理，集中排水方式に関連して一考を要すべき点であろう。

次に，第1表で現況の海域への計算負荷濃度 C_{6*} を越えないように，

$$C'_{6*} \leq C_{6*} \text{ あるいは } C''_{6*} \leq C_{6*}$$

として，計画実施時の処理排水濃度の許容値を求めることができる。同様に計算負荷量を越えないように処理排水濃度の許容値が求められる。このように現況の負荷濃度と負荷量の両者に基準を置いて処理水の許容値を算定するのは，汚染物質が海域の生産に与える影響が負荷濃度による場合と負荷量による場合の両方が考えられるからである。許容値の計算結果を第2表 1~2 に示す。昭和51年現在，処理場は既に一部操業しており，その排水中の COD は 14.35 mg/l，無機態窒素（硝酸塩をのぞく）は 13.36 mg/l，リン酸態リンは 1.18 mg/l（いずれ



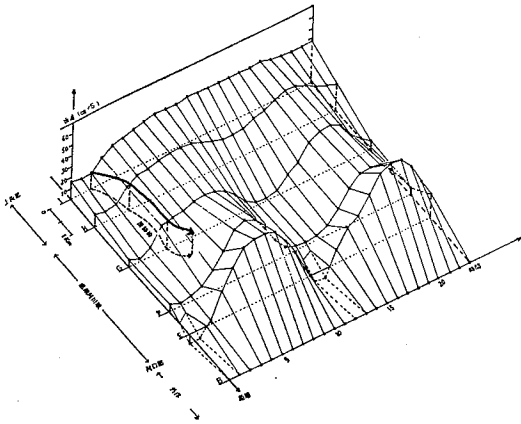
第6図 塩水くさびの動態

も昭和51年平均)であった。これと第2表 1~2 の許容値を比べると，かなり高い濃度であると言わざるを得ない。計画完成時には許容値以下に抑えることが期待される。

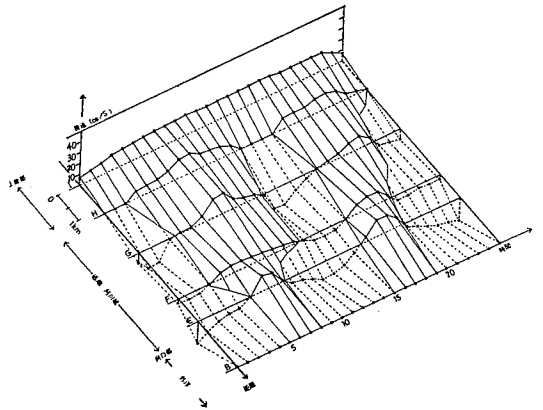
河川における取水と排水は表裏一体の問題であることを考えると，海域への汚染負荷を抑えるために取水場と処理場が連係して対処する必要があり，場合によっては「水不足による節水」ではなく「排水過多による節水」をも検討すべきであると考えられる。

3. 河口域の環境変化機構

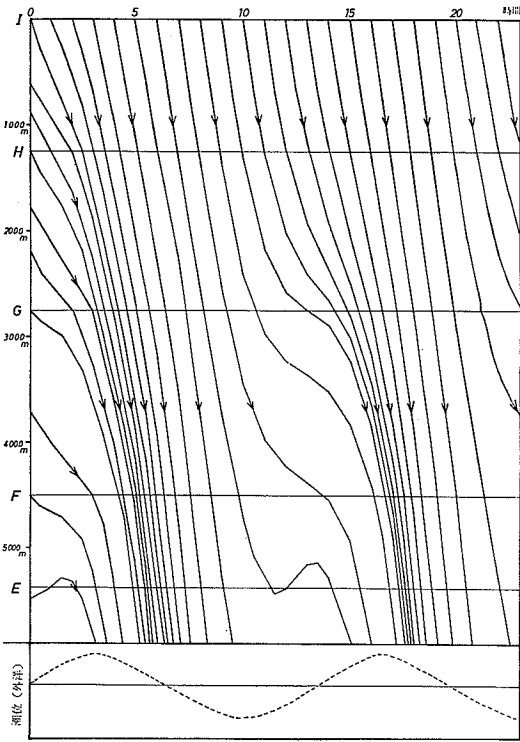
河口域に負荷される汚染物質がどのように分布するかについては河口域の流動を知る必要がある。そのため，昭和51年9月24日~25日の一昼夜にわたり，河口域の流向流速，塩分その他の水質項目を2時間毎に調査を実施した(第5図)。その結果，相模川河口域の流動は塩水楔を特徴とすることが示された。第6図は塩水楔の動態を示す。図中の矢印は流速，黒丸は塩分，白丸は塩分輸送量である。表層における河川水の流出と底層における高塩水の遡上という塩水楔の基本型式が各々の地点に応じ



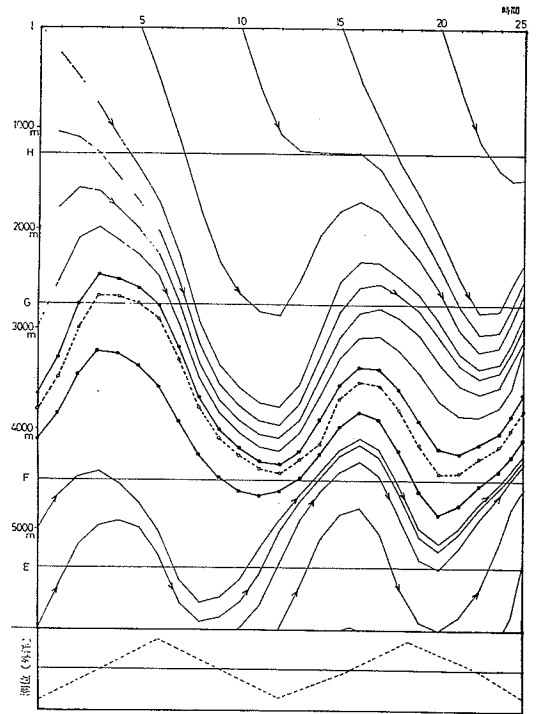
第7-1図 河川域表層流速の時空間分布



第7-2図 河川域底層流速の時空間分布



第8-1図 表層流速分布に従う粒子の流跡線

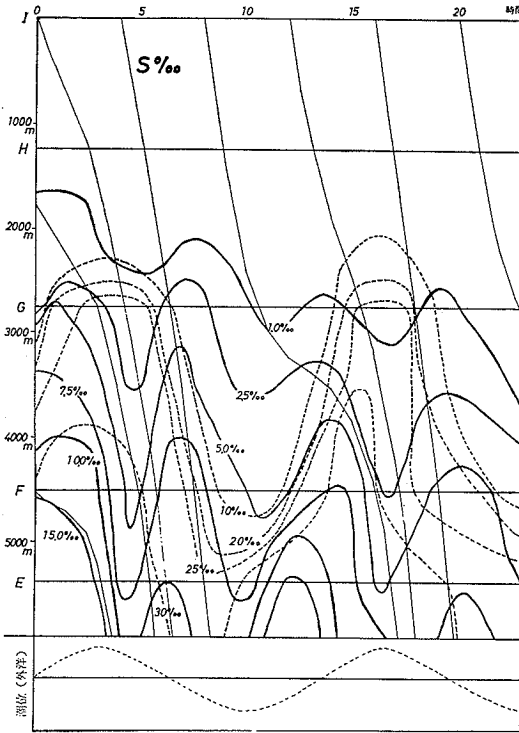


第8-2図 底層流速分布に従う粒子の流跡線
(●…収束線 ○…発散線)

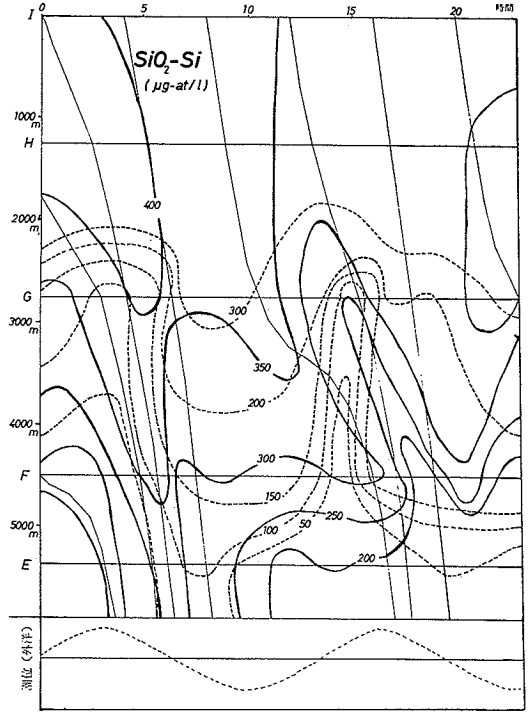
て、また潮汐に応じて変動する様子が示されている。特に表層(表面下0.5m)と底層(河底上0.5m)の流速について、その時空間分布を第7図1~2に示した。X軸は流下距離、Y軸は時間、Z軸は流速(流下方向を正)であり、表層では漲潮時の河口部に限って流速が負(遡上)となるが、底層では多くの場合遡上を示す。

次に、この流速分布に従う粒子を考え、この粒子がたどる流跡線を求めた。第8-1図は表層流速に従う粒子の

流跡線である。漲潮時にしばらく河口部に滞留した後、海域へ流出する場合やそのまま一気に海域へ流出する場合が示されている。第8-2図は底層流速に従う粒子の流跡線である。表層とは異なり、河口域の中間部に収束線が生じている。実際の水粒子は鉛直方向にも移動するため、必ずしも図のような平面的な流跡を示さないが、塩分(保存性溶存物質)などの等値線を重ね合わせて検討すると、等値線が流跡線と平行するか、あるいは交わ



第9-1図 表層の流跡線(細線), 塩分等値線(太線)と底層塩分等値線(破線)

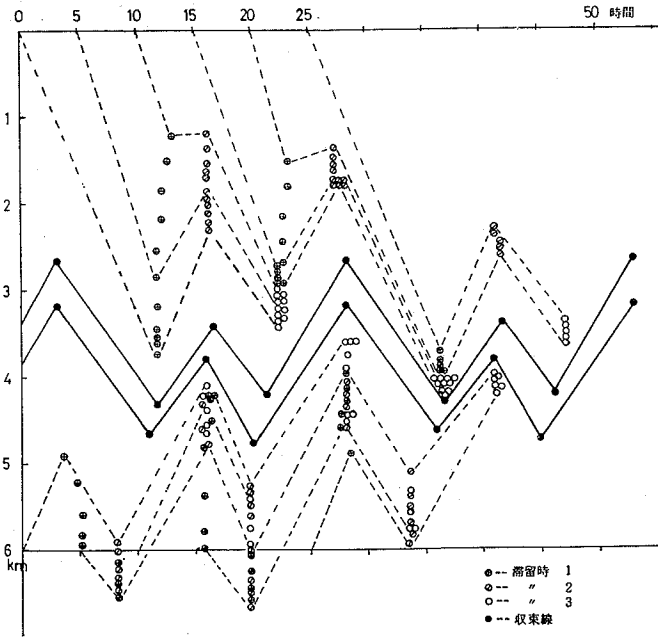


第9-2図 表層の流跡線(細線), 珪酸塩等値線(太線)と底層珪酸塩等値線(破線)

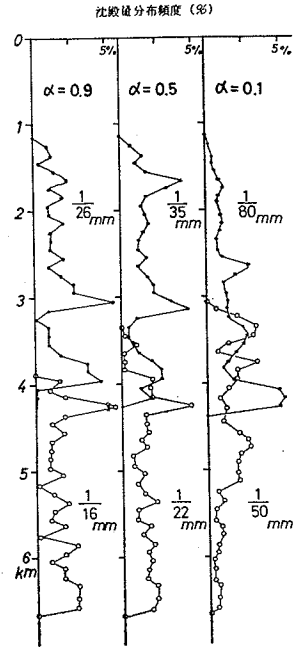
るかによって、鉛直混合についても多くの知見を得ることができる。第9-1図は塩分等値線と流跡線を示す。底層塩分等値線(破線)は第8-2図を参照すればわかるように底層流跡線と大体において平行している。一方、表層塩分等値線(太線)は最大漲潮時と最大落潮時に2つのピークを示し、この時、流跡線と交わっている。これは流下するに伴って塩分が増えることを示しており、底層からの高塩水の混合が生じているためである。特に、最大落潮時の方が塩分増加が速やかであり、大きな鉛直混合を示唆している。その他の潮時では大むね流跡線と等値線が平行しており、鉛直混合は小さいと考えられる。第9-2図は珪酸塩について同様に示したものである。塩分の場合と原則的には同じであるが、フロキュレーションによる沈澱や化学的・生物学的な変質を受けて非保存性物質的な挙動をするために、特に表層においては塩分とは若干異った変化パターンを示す。

次に、底層流跡線(第8-2図)に従う懸濁粒子(表層に運ばれることはなく、常に底層を流動すると仮定)の挙動を考える。第8-2図は1昼夜の流跡線であるが、これが繰り返して生じている場合、上流側と海域側から負荷

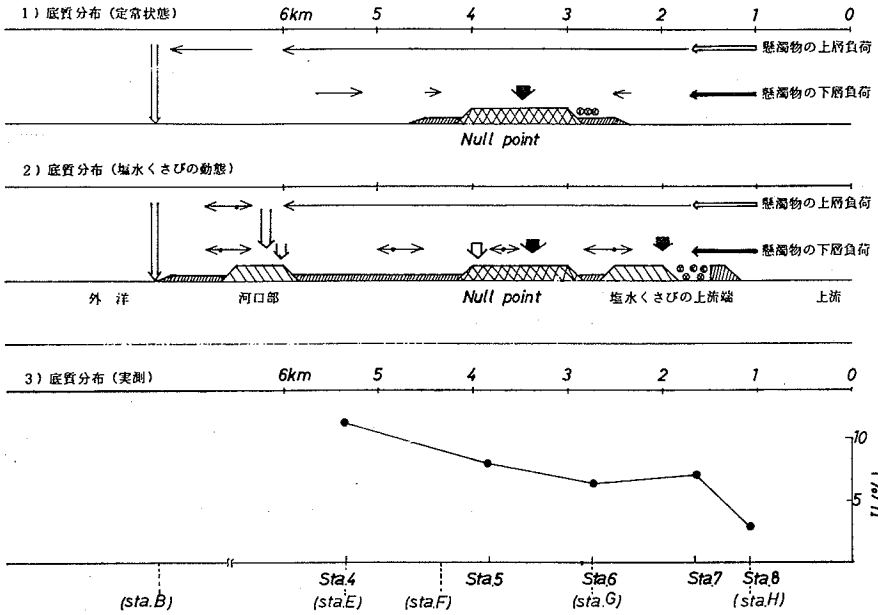
された懸濁粒子はしだいに収束線に近づいてくる。しかし、沈澱は単に収束線の上でのみ起こるわけではなく、流動が停止する時点でも起っているはずである(第10-1図)。そこで、次のような沈澱モデルを考える。底層に負荷された懸濁量を X とし、この懸濁粒子は底層の流跡線に従って流動し、停留時で自身の沈降速度に応じて αX だけが沈澱する。沈澱したものは再び動き出すことはないとし、沈澱しなかった部分は、次の流動が始まると、そのまま運搬されて、停留時で再び一部が沈澱する。この場合、 α は粒子の沈降速度、したがって粒子の大きさを表わすものであり、停留時 n ではその時点で沈澱する量が $\alpha(1-\alpha)^{n-1}X$ となる。このようなモデルを考え、 $\alpha=0.9, 0.5, 0.1$ の場合について沈澱量の頻度分布を示したものが第10-2図である。第10-2図では上流側と海域側の負荷を半々とし各々黒丸と白丸で頻度を示してある。また、図中の数字は α に対応する粒子の粒径(水深を考慮して算出³⁾)である。図に示すように、細かい粒子ほど収束線の近くに分布し、粗い粒子は収束線以外の地点にもかなりの分布がみられる。実際の懸濁粒子は様々な粒径から成り立っており、全体としては以上のような



第10-1図 沈殿の起こる時空的分布



第10-2図 沈殿量の分布頻度



第11図 底質分布の模式図

細泥
 粗泥
 その他の堆積物
 掃流砂
 懸濁物(上層)の動き
 懸濁物(下層)の動き

分布を合計したような沈澱分布を示すものと考えられる。

このような沈澱分布から考えられる総合的な底質分布を模式的に第11図に示す。図中の1)は従来言われてきたような塩水楔の定常状態に基づく底質分布^{4),5)}、2)がここで論じた塩水楔の動態に基づく底質分布である。塩水楔の収束線は特に Null point と呼ばれるが、上述のように、粗い粒子は Null point の上流側と下流側に、細い粒子は Null point 付近に集積沈澱する。また、Null point は河川流量と潮汐に応じて移動するため、現実の河口域では Null point を中心にした対称的な底質分布と Null point 自身の移動に伴うものとの2元的な分布が考えられる。2)に示した Null point の位置は昭和51年9月の時のもので、この時の河川流量は 31.59 m³/sec (年平均は 37.71 m³/sec)、しかも大潮時であったから、平均的な Null point は図よりも若干下流側に位置していると考えられる。3)は別途に実測した年平均

的な底質の強熱減量を示すが、以上の点を考慮して2)と3)を比較すれば Null point より上流側の部分について両者の良い一致を確かめることができる。

このように、河口域の環境、変化は塩水楔の動態が中心的役割を演じており、これに伴う水質変動や底質分布について十分な留意がなされるべきものとする。

参考文献

- 1) (財)相模湾水産振興事業団・相模湾漁業公害対策協議会 (1976) 相模川河口域環境調査報告書。
- 2) 神奈川県 (1971~1974) 公共用水域水質測定結果。
- 3) 奈須紀幸 (1976) 浅海堆積物。海洋学講座5, 東京大学出版会, 27~29。
- 4) DYER, K. R. (1972) Sedimentation in Estuaries, *In The Estuarine Environment*. ed. R. S. K. BARNES & J. GREEN, Applied Science, London, 10-32.
- 5) SILVESTER, R. (1974) Estuary Sedimentation. *In Coastal Engineering II*, Elsevier, Amsterdam, 224-228.

4. 灯火と騒音の魚群の行動に及ぼす影響

宮崎 千博 (東海大学海洋学部)

海洋土木工学の発展に伴い、水中建設工事が魚の行動にある影響を与えるであろうという問題がおきている。例えば、内海や大きな湾を横切って鉄橋が建設されるような場合、建設工事には、海底で作業されている掘削機によって発せられる騒音が魚を威嚇することが考えられる。建設後では海峡や内海を横切る鉄橋を通過する列車や自動車によって発せられる騒音や、また、列車や自動車のヘッドライトや窓からの光芒のような移動照明や橋やハイウエーの照明のような固定照明などによって魚の行動が変わることが考えられる。

これらいろいろな現象の各種の例について以下に述べる。

1. 光

工事中のものとしては掘削機を装備した海中鉄骨上の投光器や標識灯などや、工事後の橋上や海岸近くのハイウエー上の照明灯などのような固定照明の明るさの場合が考えられる。

1) 固定照明灯の明るさと各魚種の魚群の行動

この関係を知るために、5m×5m×2mの活簀網内に、サバ、マアジ、イサギ、ハマチ、マダイ、マダコの数尾宛を入れて、照明灯の光に対する魚種別

の行動を調べた(第1表)。この場合、150Wの白熱灯で活簀網を照射した場合の水中照度を第2表に、照射方法を第1図に示す。照明灯はB区域の斜上方に位置させ、照明灯の照射の焦点をA、B、Cの各区に分けて移動させ、各魚種の行動を調べた。第1表からわかるように趨光性をもつ、マアジ、サバは照明灯の焦点を避けるよう位置することがいえ、マダイ、ハマチも照明灯の焦点外に位置し、マダイは光源から反対方向に向いていることからして、両者共直接灯火に集まるものではないことがいえる。イサギも照明灯の焦点内は避けるが、弱趨光性をもつことが他の実験で証明されていることからして、イサギ釣りに集魚灯が用いられていることは納得がいく。マダイ、ハマチは餌を求めて低照度のところに来遊することが証明されている。夜行性魚類、例えばアナゴは灯火の照明下水中照度 10 lux の場合、その場所から逃避した。

建設後の照明のうち、道路橋上で点灯されている照明灯の照明下の水上照度 3 lux、水中照度(水面より少し下) 0.7 lux の場合、イワシ、アジ、サヨリなどが、その付近を遊泳していた。

2) 移動照明灯の明るさと各魚種の魚群の行動