

海域の汚染物質受容限界について

京都大学工学部 正員 若井重久

正員 井工頼輝

1. はじめに

急速に工業化の進む臨海工業地帯では、水質汚染による公害を未然に防ぐための適当な措置をとることが望まれる。この場合、工業立地とともに環境の汚染が、水産業、農業等の一次産業を圧迫するから、工業立地計画上で1次と2次の産業の間にはなんらかの調和を見出す必要に迫られる。工業立地を計画する場合、立地する産業の規模と工業出荷額とから、将来排出されるであろう廃水の質と量とは、およその推定がつく。この場合、環境、ことに海域の汚染物質受容限界がわかっておれば、調和のとれた廃水処理の方法を考案することはでき、また現在の処理で目標を達成し得ない場合には、立地工業上の制限を加えることも可能となる。また将来の海域汚染を防止するためには、どのような廃水について、どのような程度までの水質浄化を目標に処理技術を開発するべきかを予測することもでき、あるいは消極的な方法ではあるが、海域の漁業権を部分的に消滅させて、廃水の受容能力を増大させる方法も考えよう。このように、海域の汚染物質受容限界の決定は重要な意味を持つが、その設定はさきからわめて困難なことになっている。若井は、大阪湾の堺・泉北臨海工業地帯の水質標準設定に際してこの考えを導入し、最近では鹿島工業港の立地に際して同様の考えが用いられて、一応の海域の汚染物質受容限界が決定された。この問題はまだまだ未解決の点を含んでおり、それだけに将来について説明するべき多くの興味ある研究課題を提供している。ここに一応の考え方を提示して、御批判とあつづかい。

2. 鹿島工業港の計画

鹿島工業港は、茨城県鹿島郡鹿島町を中心として、海岸より丁字型に掘削して人工港を作成し、そのうち3300万㎡を工業用地として造成し、鉄鋼、電力、石油精製、石油化学等の重化学工業コンビナート、またなかでも核としてとりうる軽機械工業等の関連工業、住宅、第3次産業群を設置し、年間1兆5千億円を越える工業出荷額を持ち、国際競争力を備えるような性格の工場群を全く新規に作るうとすることをめざしている。

図-1に示すように、中央水路として巾600m、延長2500m、水深16m、40万トン級の船舶入港可能な港湾を構築し、これを北水路として巾300m、延長2450m、水深10m、南水路として幅員300m、延長3600m、水深7.5～10mの2水路を丁字型に附設する。防波堤内部には、さらに20万トン級タンカーが停泊可能なような岸壁を作る。関連施設を表-1に示すが、工業用水道として約150万㎡/日、

表-1 施設整備の目標

種 別	整 備 の 目 標
港 湾	10万トン級入港可能
道 路	整備延長 約100km
工業用水道	給水量 約150万㎡/日
上 水 道	給水人口 30万人 給水量 12万㎡/日
公共下水道	対象人口 30万人
住 宅	宅地造成 600ha 住宅建設 12,000戸
鉄 道	鹿島線(水戸～香取)約94km 20'臨海鉄道線
学 校	高校4、中学校5、 小学校10
公 園	200ha

より工水道を設けて30万人を対象に、12万³/日
の給水を予定する。

工場配置は、図-1、表-2のようになり、5つの地区に各種の業種別に分散して立地させる。その予想される生産規模は表-3のようであるが、鉄鋼および石油化学が中心となり、従業員数を8万人余、年出荷額が1兆5千億円と見込んでいる。将来人口を1億2千万と推計30万人を想定し、このうち2次産業と3次産業との関連人口が大半を占める。

よって、これらの各工業の昭和50年における総廃水量は、海水・淡水を含めて表-4のようになり1日1220万トンに達し、このうちの中処理廃水は34万³/日と推定される。汚濁負荷量は、CODが108⁷/日、SSが164⁷/日、油分が7.5⁷/日

であるが、各社が計画の中処理施設を用いて個別処理を行おうとすれば、このCOD41.4⁷/日、SS22.8⁷/日、油分1.4⁷/日になることが予想されている。

図-1 鹿島港計画図

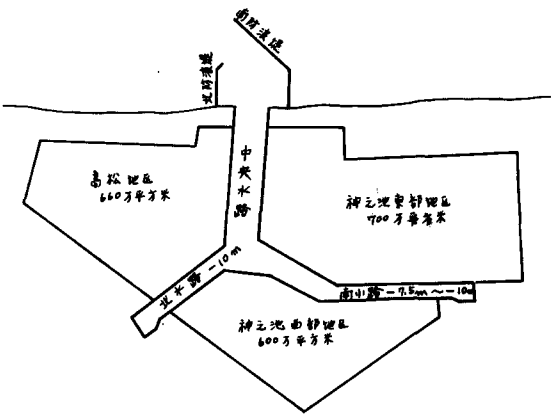


表-2 工場配置の想定

地区名	面積	想定業種
高松	670ha (200万坪)	鉄鋼
神ノ池東部	830 (250)	石油精製, 石油化学, 電力
神ノ池西部	600 (180)	機械, 金属, 化学等
浪崎	330 (100)	化学, 機械, 食品等
その他	400 (270)	機械, 金属, 石油精製等関連産業
合計	3,300 (1,000)	

表-3 工業生産規模の想定

業種	面積	従業員数	投資額	年生産額	用水量
鉄鋼	300 ⁷	20,000人	3,000億円	3,500億円	600 ⁷ /日
石油精製	100	1,000	1,200	2,000	85
石油化学	300	15,000	6,000	5,000	1,100
機械金属	150	25,000	1,000	1,500	45
その他	120	20,000	1,000	2,000	100
計	970	81,000	12,200	14,000	1,930
火力発電	30	500	800	1,000	50
合計	1,000	81,500	13,000	15,000	1,980

表-4 廃水量, 汚濁負荷量 (想定)

業種別	廃水量 (m ³ /日)		負 荷 量 (t/日)					
	冷却廃水	中処理廃水	処 理 前			個 別 処 理 後		
			COD	SS	油分	COD	SS	油分
(高松地区) 鉄鋼	1,816,000	122,000	60	130	(0.59)	30	13.4	0.59
(神ノ池地区) 石油精製	1,260,000	29,000	4.35	< 5.8	2.03	< 0.28	< 2.9	0.15
化学	3,850,000	188,000	43.064	28.042	4.728	11.036	6.384	0.618
食品	55,000	2,000	0.64	0.695	0.2	0.074	0.086	0.06
その他	123,600	1,500	0.043	0.221	0.006	0.043	0.051	0.006
神ノ池地区 計	5,288,600	220,500	48.097	34.758	6.964	11.433	9.421	0.834
合計	7,104,600	342,500	108.097	164.758	7.554	41.433	22.821	1.424
		7,447,100						
電力	4,800,000							
計	11,904,600	342,500						
		12,247,100						

3. 鹿島地区の水産業

鹿島灘は屈曲に乏しい単純な海岸線を持ち、200 m以浅の大陸棚は沖合約30 Kmに及ぶ、等深線は海岸線とほぼ平行である。海底は距岸4000 m附近までは砂質、それより沖は岩、礫から成り、天然の良好な漁場となっている。^{この付近は}大吹浜附近から離岸して北東に向う黒潮（暖流）と、海岸沿いの北から来る親潮（寒流）の接点となり、それによって

地性ヒ冷水性ヒハ魚類が共存している。底性魚類としてはタイ、ヒラメ、カレイ類、ソイ、メバル、マチ、ホウボウ、サメなどがあり、また迴遊性の魚としては、カタクチイワシ、アジ、サバ、ブリなどが見られる。貝類は水深10 m以浅に棲息するキョウセンハマグリ、コダマガイ、ダンバイイキサゴ、ホリキなどがあり、これらの水産物を対象として、貝殻、地曳網、タコ壺、建網などの諸漁業が行なわれる。鹿島灘の天然魚礁の分布は図-2のようであり、その昭和39、40年の漁獲量は表-5のようである。鹿島灘全体の漁獲高は年間で約1億円であるが、このうち、ハマグリ、ヒラメ、シラスがその主要部分を占める。

茨城県は鹿島港建設にあたって、図-3に示すように港口を中心として半径約4 Kmの半円状内にいる面積2000万 m^2 の漁業権を、100%の面積で50%消滅させている。

4. 海域の拡散実験

廃水の海域における拡散状態を観測するために、トレーサーによる拡散実験を実施した。これは、前回の報告²⁾と同じくFluorescein Sodaを海中に投入し、その拡がりを取りコックローからカラー写真に撮影して、写真上で色素の見える限界の範囲を測定することにより、拡散係数を求めるという方法によるものである。

将来の工業港が完成した時の廃水の拡散状況を、現在の主な防波堤や港湾掘込みが不十分の状態を推定することによってわかって困難である。そこで実験は、現海域における廃水の拡散能力の測定と、模型による将来の水流の变化状況を観測とを総合して判定する

図-2 鹿島灘沿岸の等深線と天然魚礁の分布

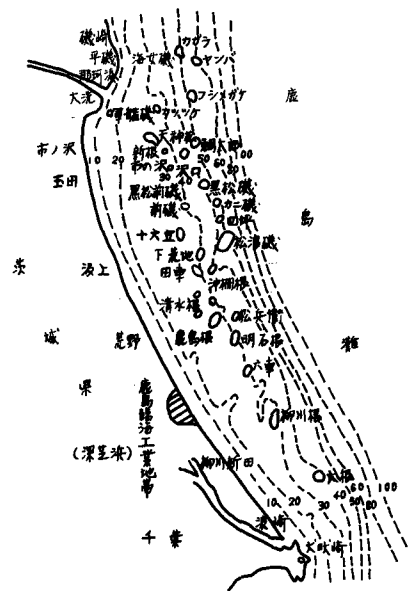


表-5 鹿島灘地区(K洗〜浪崎明)漁獲統計(主要種)

魚種	39年度		40年度	
	量 Kg	金額千円	量 Kg	金額千円
シラス	460,958	28,121	84,190	5,894
ブリ	3,509	490	1,142	196
タイ	11,060	5,247	12,511	7,750
スズキ	2,733	870	2,411	768
イシモチ	5,945	1,014	13,160	2,395
ヒラメ	45,976	18,078	9,207	4,360
ホウボウ	3,044	435	4,332	924
ボラ	100	74	1,285	154
サメ	13,032	1,303	11,899	1,189
タコ	4,632	1,380	2,255	676
カニ	2,035	140	9,979	524
エビ	—	—	502	493
ハマグリ	662,293	52,984	242,930	59,535
地曳網	79,776	800	7,289	70
計	1,295,093	110,936	403,092	84,928

こヒヒレバ。色素投入は、昭和42年12月2, 3, 4日に行なつたが、その日の風速・風向(表-6)、潮位(表-7)、投入位置(図-4)をそれぞれ図、表に示す。色素は20 Kg の Fluorescein Soda を30~60 l の水に溶解させ、投入船で現地までこれを運搬して投入した。色素拡散を知るための航空写真は、1500 m の高度よりヘリコプターで、色素投入後15分間隔で撮影した。これは別に、採水船より色素集団の中心で各層および水深1 m, 3 m, 5 m, 7 m のところで採水し、色素濃度を分光分析した。色素雲の中心点の流跡を図-4に、また採水による色素濃度の測定結果を表-8に示す。カラー航空写真から、前報告²⁾と同じ手法により、水平方向の拡散係数と流速とを求めると表-9のようになる。距岸1000 m 以内では防波堤の影響が出るところがあり、流跡が岸に平行にならない場合がある(図-4, C 点)、それよりむしろ合流した流跡はよくわき海に平行となり、その流速は10~30 cm/sec である。潮汐や風による流速、拡散係数の変化はあまりなく、反潮もない。拡散係数は $10^2 \sim 10^5 \text{ cm}^2/\text{sec}$ の間で変動したが、距岸1000 m の A, B, C 点の拡散係数の方が、2500 m の D, E 点より大きい値を示した。これは、岸に近くなるほど碎波の中に入ると、拡散が良好になるためらしい。

5. 汚染物質受容限界

将来、工業地区から排出される廃水の量と質とは、表-4に示す通りである。各廃水のうち、廃水量には要処理廃水量とせり、また負荷量は各工場による個別処理後の値とせりとのする。廃水は港内放流をとり、港の北と南の2地点、防波堤外距岸約500 m のところで放流するものとする。これは、この港が人工港であり、港奥に淡水源がないため、港内に汚水を放流すると汚染物質が港内に蓄積するものと思われるからである。

港から海中に連続的に廃水が放出されることと汚染水の拡散をこのように考える。

基礎式は、

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - U_x \frac{\partial c}{\partial x} \quad (1)$$

であり、海中に汚染物質を一瞬瞬間投入したときの解は、前論文²⁾に示す通り、

$$c' = \frac{M}{4\pi at \sqrt{D_x D_y}} e^{-\frac{1}{4t} \left(\frac{(x-U_x t)^2}{D_x} + \frac{y^2}{D_y} \right)} \quad (2)$$

である。

表-6 調査時の風況 (風速 m/sec)

日 時	風向 風速	12月2日		12月3日		12月4日	
		風向	風速	風向	風速	風向	風速
1		NW	4.0	NW	5.0	W	4.0
2		NW	5.0	WSW	5.0	"	4.0
3		W	4.0	W	3.5	WNW	3.0
4		WNW	4.5	WNW	3.5	"	2.0
5		NW	3.0	"	5.0	W	2.5
6		W	3.5	"	4.5	"	4.0
7		W	3.5	"	4.0	WNW	4.0
8		W	3.0	"	3.5	"	3.5
9		NW	3.0	NNW	4.0	"	2.5
10		N	4.0	N	6.0	W	2.0
11		NNE	1.0	"	4.0	"	3.0
12		WSW	2.0	"	7.0	NW	2.0
13		SW	1.0	"	5.0	W	3.5
14		SSW	2.0	NNE	4.5	"	3.0
15		SSW	3.0	NE	4.5	"	2.0
16		S	3.5	"	5.0	"	2.5
17		S	3.0	ENE	5.0	calm	—
18		S	2.5	"	4.5	ENE	3.0
19		SSW	0.5	E	5.5	WSW	5.5
20		calm	—	EWE	6.5	"	5.5
21		"	—	E	5.0	W	5.0
22		"	—	E	3.0	"	4.5
23		WNW	3.0	NE	7.5	WNW	3.5
24		NW	7.0	NW	3.0	W	4.0
日平均風速		2.8		4.7		3.3	
日最大風速		NW 7.0		NE 7.5		WSW 5.5	
最多風向		NW		WNW		W	

表-7 銚子港潮汐表

月日 時刻	12月2日	12月3日	12月4日	備考
0	0.66	0.71	0.80	12月2日 13:30
1	0.57	0.66	0.82	D 要投入
2	0.49	0.58	0.77	12月3日 8:06
3	0.42	0.51	0.70	E 要投入
4	0.41	0.43	0.62	
5	0.45	0.42	0.56	13:00
6	0.53	0.48	0.53	B・F 要投入
7	0.63	0.57	0.57	12月4日 8:00
8	0.74	0.68	0.64	A・C 要投入
9	0.85	0.80	0.77	
10	0.92	0.87	0.91	
11	0.96	0.96	1.02	
12	0.99	1.01	1.10	
13	0.93	1.01	1.13	
14	0.88	0.96	1.10	
15	0.82	0.86	1.00	
16	0.75	0.74	0.84	
17	0.70	0.74	0.74	
18	0.67	0.56	0.56	
19	0.71	0.52	0.48	
20	0.74	0.56	0.47	
21	0.77	0.61	0.54	
22	0.78	0.68	0.75	
23	0.76	0.75	0.79	

ニニ ν ;

x ; 時間

x, y ; 直交座標, 原点を海表面汚染

物質投入点, x を流小の方向

ν 沿って水平 ν , y をニ ν

垂直 ν 水平方向 ν を ν 。

D_x, D_y ; x, y 方向の拡散係数

ν_x ; x 方向の流速

c' ; 汚染物質濃度(1英瞬間投入の場合)

M ; 汚染物質1英投入量

d ; 混合深さ

この式を連続投入の場合に拡張する。 q を連続投入速度とすると、そのときの海水中汚染物質濃度(連続投入の場合) C は、

$$M = q \, dt \quad z' \text{ であるから,}$$

$$C = \int_{-\infty}^t c'(t-t_0) dt$$

$$= \int_0^{\infty} c'(t) dt$$

$$= \frac{q e^{\frac{\nu_x^2}{4D_x}}}{4\pi d \sqrt{D_x D_y}} \int_0^{\infty} \left[e^{-\frac{\nu_x^2}{4D_x} t - \frac{1}{4t} \left(\frac{x^2}{D_x} + \frac{y^2}{D_y} \right)} \right] \frac{dt}{t}$$

ニニ ν , t_0 ; 投入開始時刻, ν ν ,
 $t - t_0 = t$ とおく。

$$a = \frac{\nu_x^2}{4D_x}, \quad b = \frac{1}{4} \left(\frac{x^2}{D_x} + \frac{y^2}{D_y} \right)$$

$$\mu = \sqrt{ab} = \frac{\nu_x}{4} \sqrt{\frac{1}{D_x} \left(\frac{x^2}{D_x} + \frac{y^2}{D_y} \right)} \quad t' = \sqrt{\frac{a}{b}} t, \quad t' = e^s \quad \text{と置けば}$$

$$\int_0^{\infty} \left[e^{-\frac{\nu_x^2}{4D_x} t - \frac{1}{4t} \left(\frac{x^2}{D_x} + \frac{y^2}{D_y} \right)} \right] \frac{dt}{t} = \int_0^{\infty} \left[e^{-at - \frac{b}{t}} \right] \frac{dt}{t} = \int_0^{\infty} \left[e^{-\mu(t' + \frac{1}{t'})} \right] \frac{dt'}{t'} = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-2\mu \cosh s} ds$$

$$= 2 \int_0^{\infty} e^{-2\mu \cosh s} ds = 2 K_0(2\mu)$$

であるから

$$C = \frac{q e^{\frac{\nu_x^2}{4D_x}}}{2\pi d \sqrt{D_x D_y}} K_0(2\mu)$$

$$= \frac{q e^{\frac{\nu_x^2}{4D_x}}}{2\pi d \sqrt{D_x D_y}} K_0 \left(\frac{\nu_x}{2} \sqrt{\frac{1}{D_x} \left(\frac{x^2}{D_x} + \frac{y^2}{D_y} \right)} \right)$$

(3)

表-8 各採水層別ウラン濃度
各採水層別ウラン濃度
投入地点 A

月日	回数	採水時刻 時分	各採水層別濃度 (ppm)				
			0 m	-1 m	-2 m	-5 m	-7 m
12月4日	1	8 20	9.30	9.25	0.66	0.195	9.80
	2	8 35	0.68	0.67	0.66	0.36	0.845
	3	8 50	0.24	0.575	0.555	0.0275	0.0885
	4	9 05	0.083	0.235	0.445	0.115	0.0765
	5	9 20	0.0445	0.12	0.335	0.047	0.058
	6	9 35	0.0275	0.083	0.0105	0.0365	0.0340
	7	9 50	0.026	0.0675	0.0465	0.0205	0.066
	8	10 05	0.021	0.076	0.089	0.034	0.009
	9	10 20	0.00125	0.0475	0.0405	0.0075	0.0055
	10	10 35	0.00765	0.0165	0.0445	0.0155	0.0085
	11	10 50	0.00815	0.016	0.00975	0.0255	0.0093
	12	11 05	0.00685	0.016	0.035	0.0094	0.0015

表-9 包壳投入 ν の拡散状況

投入 要	距岸 (m)	追跡時間 (h)	流況 流速 (km cm/sec)	流速 (cm/sec)		拡散係数 (cm ² /sec)		排水 係数 (cm/sec)	HW, LW
				平均流速	最大 最小	平均	最大 最小		
1 A	1,000	6h	5.07	24	44 5 14	2.06×10^3	9.81×10^2 5 1.25×10^5	2.44×10^3	~
2 B	1,000	3h 20min	1.33	21	11 5 25	3.75×10^3	5.00×10^3 5 2.45×10^5	6.21×10^3	~
3 C	500	3h	1.42	13	12 5 22	1.44×10^4	9.27×10^2 5 2.78×10^4	1.53×10^3	~
4 E	1,500	3h	2.44	22	22 5 34	9.5×10^3	4.39×10^3 5 2.42×10^4	1.07×10^3	~
5 G	1,400	1h 50min	1.49	19	17 5 25	8.8×10^2	1.73×10^2 5 3.62×10^3	排水 セリ	~
6 D	2,400	1h 30min	0.77	16	14 5 20	6.8×10^2	1.62×10^2 5 8.49×10^2	1.80×10^3	~

を得る。なお、流線A中心の濃度最高のは $y=0$ の点であり、

$$C_{max} = \frac{q e^{\frac{x\sqrt{D_2}}{2D_1}}}{2\pi d \sqrt{D_1 D_2}} K_0\left(\frac{x\sqrt{D_2}}{2D_1}\right)$$

となる。この式を用いれば、連続放流の場合の海域の汚染度を計算により求めることができる。

さて、放流口からの廃水の流れは、港が完成すると現在のものと異なる可能性がある。

これを推定するために、京都大学防災研究所で模型実験が行われ、その流線として図-5が得

られる。これによると、潮汐

の関係は南向きの恒流がある

とは、港の南から北で放流

された廃水は必ずしも南向きに

って流れる。1年1回の、

わががが北向きの恒流が

現われることもある。この場

合の流れは、図-5の南北を反

対してこのような形となる。と

して、図-3の漁業権消滅地区境

界に達するまでの流下量は、

最低で約3km となることをわ

かる。

図-3 漁業権消滅区域図

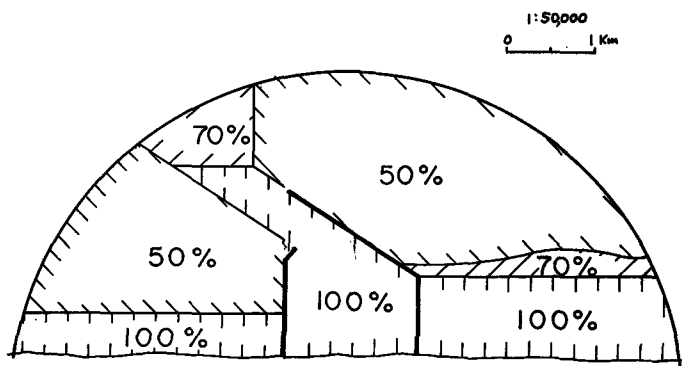
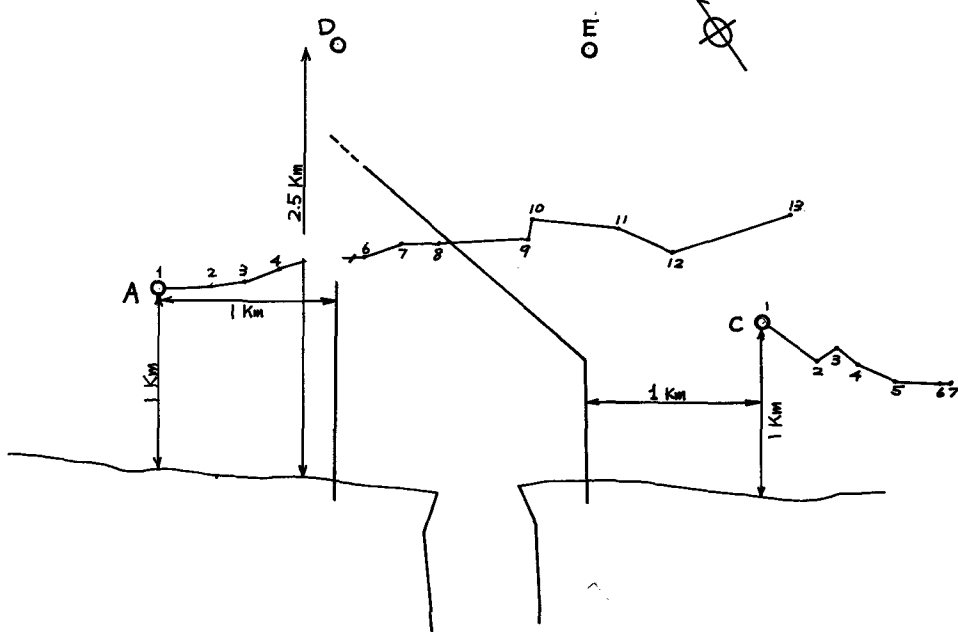


図-4 色素投入点と流跡



さて、環境問題として、第1にセリ上げねばならぬ項目は臭気・魚介の問題であろう。魚介の臭気限界については明確な基準が定まっていぬが、新田のセリ上げは、廃油の限界は0.01 ppm、これを活性汚泥法により処理すれば0.2 ppm まで安全であるとされている。そこで、現地拡散実験から、安全側をみて実測値よりは小さい値、すなわち拡散係数として $10^3 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 、流速 20 cm/sec とし、表-8に示す鉛直方向の色索濃度分布より、混合深とすると5mとすると式(4)より1日許容放出量を逆算すると、未処理の油に対して $g = 0.12 \text{ t/日}$ 、これを活性汚泥処理廃水に対しては $g = 2.35 \text{ t/日}$ が得られる。

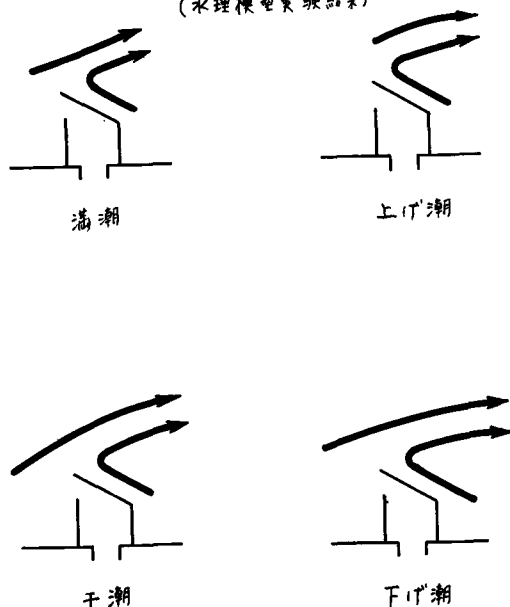
CODに換えては水質基準はないが、水産用水基準⁽⁴⁾では、BODが5 ppm が提示されている。産業廃水については、一般にCOD値の方がBOD値よりも高いが、安全側をとると同じであるとする、同様のCODの1日許容放出量は $g = 60 \text{ t/日}$ となる。この結果と表-4の将来汚染負荷量とを比較してみると、CODについては問題はないが、油分については生物処理をしてから放流しなければならぬとわかる。

6. 今後の課題

環境は清浄であるべきことは言うまでもないが、第1次、2次、3次産業の調和と発達を考え、許容する環境として最適な汚染物質受容限界を設定することはどうしても必要になってくる。これを、これを目標として必要の廃水処理がなされるべきではない。こうして受容限界はその設定がそれだけ困難であり、今後の研究開発を行うべき問題が多いが、1次試算的なものとして、一応油分およびCOD についての許容限界を本例について上記のように考えてみる。しかしこの試算は有効期間は今後数年間であって、それでは改定しなければならぬと考える。そこで、今後のような研究が進められなければならないが、これを今後の研究開発を当研究で考えたいと述べてみたい。

海域の汚染物質受容限界を定める最大の要因は、なんといってもその海域の環境基準である。水産物に対する基準としては、わが国には水産用水基準があり、その他ソ連等の基準も開発されていくが、まだ精密なものとはいえない。魚や貝の種類ごとに対する基準が将来は必要になるであろう。また毒性重金属の許容基準は、その物質には水産生物体内に蓄積する性質があるから、その面からの検討が必要である。また、放射性物質による海水の汚染に関しては、研究がかなり進み、各

図-5 廃水の流向(距岸1km流速27cm/sec)
(水理模型実験結果)



放射性物質の水産生物中への濃縮が、濃縮係数*を定量的に表示すべし、これについては信頼できる数値が必要である⁵⁾が、こうした数値を工場廃水にもつづく海水の汚染を検討するに参考になるのではないかと考える。その他、海水は game fishing、水泳などレクリエーションに使われ、またわが国でも今後15年を占めて水資源を海水の淡水化に頼ることを必要と思われ⁶⁾るため、これらの用水としての基準も考える必要はない。

拡散に関しては、本研究では(1)式⁷⁾の拡散係数を定数として取り扱ったが、海に流入する拡散のスタイルの多さに比例するところの法則があり、(2)式の理論的改善が必要である。海域の拡散混合に対しては、風浪、潮汐、恒流とその他の因子が複雑に関係するから、海域の汚染物質受容限界を定めるためには、本法のように、1英より連続的に放流された廃水の plume 上の最高濃度をとらえる⁸⁾のはなく、むしろ自然的水理現象の複雑にかみ合う、数潮汐、数日あるいは季節ごとの水の拡散混合、すなわち対象水域の水場と他の水場との混合の早さを考慮する方が合理的である。杉浦⁹⁾は、汚染物質放流量の近くで河川の流入があるとき、附近の海面の Alkalinity と Salinity とを測定し、その相関を定めることにより、汚水の海水との長期にわたる混合状態を知る方法と提案した。鹿島港のように、人工港で淡水源のない場合はこの方法が適用できる¹⁰⁾が、他の場所においては参考となり得る方法と考える。当研究室においては、このような海水の混合状態を数値モデル化し、電算機を用いて究明しようと努力を続けている。

参 考 文 献

- 1) 岩井 堀・東北臨海工業地への進出企業に対する「水質指導基準策定に関する調査報告」、大政府公署、昭42、1月、pp.95~195
- 2) 岩井、井上、寺島：トレーサーによる河川汚染の解析について、第2回本討論会論文集、p.44、昭40。
- 3) 兵庫県公害審議会専門部会報告、昭42、11月、p.162
- 4) 水産用水基準、日本水産資源保護協会、昭40
- 5) 松山義夫：水産生物の放射能汚染、原子力工業、10巻、7号、昭39

* 濃縮係数 = $\frac{\text{水産生物中の放射能濃度}}{\text{海水中の放射能濃度}}$