

研究論文

004 沿岸における放射性物質の動向及び  
分布に関する研究\*

木村雄一郎, 森嶋弥重, 古賀妙子, 河合 廣,  
本田嘉秀, 宮口耀一郎\*\*, 西脇 安\*\*\*

*Studies on the Behaviour and distribution of Radioactive Substances  
in Coastal and Estuarine Waters.*

Yuichiro KIMURA, Hiroshige MORISHIMA,  
Taeko KOGA, Hiroshi KAWAI,  
Yoshihide HONDA, Yoichiro MIYAGUCHI  
and Yasushi NISHIWAKI

Low level liquid radioactive wastes is always disposed continuously from fuel processing plants or radioisotope laboratories into coastal sea. For estimation of that influence on our environment, the variation of concentration of thorium and rare earth elements contained in the coastal and estuarine waters, where these are disposed for long period, was investigated with the tidal change.

It was observed that the concentration of thorium and rare earth elements in coastal water was varied widely with the tidal change. This seems to be not only due to simple dilution by water mass but also due to various physico-chemical conditions such as salinity, pH of water, wind and tidal motion etc., since thorium and rare earth elements are apt to be colloidal or particulate in seawater; this character is greatly different from the case of soluble elements.

I ま え が き

原子力施設, RI施設などから低レベル放射性廃液を沿岸へ長期間連続放流する際の環境に対する影響の適正な評価は廃棄物処理に伴う障害防止上きわめて重要である。従来から海洋に処分された放射性物質の希釈, 拡散などについては実験的な色素放流の結果から推論されているが, 水圏中で Colloidal または Particulate になり易い元素についてはこのような色素放流の結果から得られた拡散式を適用することは困難であり, とくに河口沿岸域におけるその挙動と分布は外洋に比べて, 地形, 海象などのいわゆる Geophysical な条件のほかは汽水状態がさらに関係して, 一層複雑なものと思われる。今回筆者らは自然環境における海水中放射性物質の動向ならびに分布に関する基礎的資

料の一端とするため, トリウムおよびトリウムの崩壊生成物が過去十数年にわたり河川を通じて沿岸水域に微量流入している現象に着目し, 浪, 潮汐などの海象の変動下における河口港湾水域のトリウムならびに全希土類元素の動向ならびに分布を動的観点から調査研究した。

II 材料および方法

1 海水および沈泥の採取

某河口付近のトリウム及び希土類元素の拡がりを知

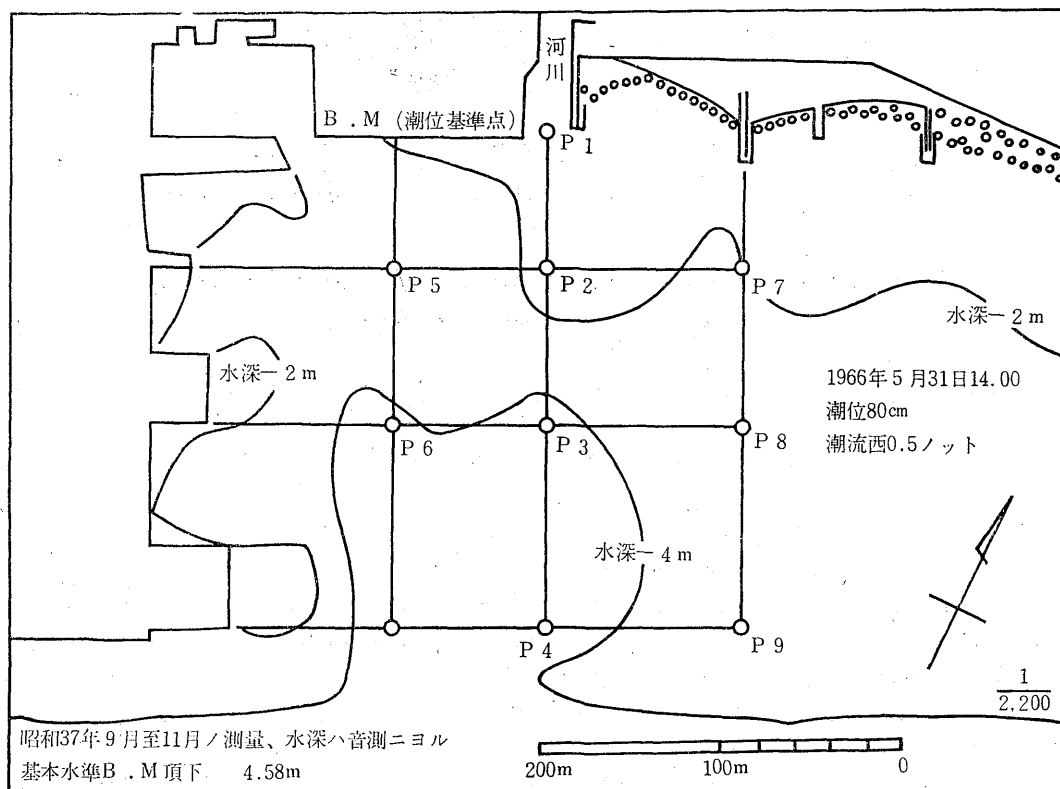
\* 本研究は昭和41年度科学技術庁原子力平和利用委託研究費により行なわれた。

\*\* 近畿大学理工学部

\*\*\* 東京工業大学

るため、第1図に示すとおり、河口沿岸海域9点(P1～P9点)において表層海水50ℓを各回高潮、中潮、

低潮時において採取し、また河口沈泥1kgを毎月採取した。



第1図 海水および沈泥の採取場所

## 2 海象条件の測定

海象の変動下における同河口港湾水域の放射能の動向並びに分布を動的観点から調べるため、海水採取にさいして潮位、気温、風向、風力、波高、河口流速、比重、水温、pH、塩素量などを測定した。

## 3 海水中トリウムの測定法

自然水圏に含まれているトリウムは比較的微量である。この微量なトリウムの定量については、色々と検討され、すでに幾つかの報告<sup>1~9)</sup>がある。筆者らは海水中のトリウムの定量にあたり東<sup>9)</sup>による方法を適用した。その分析操作段階に於ける、シクロヘキサノン抽出のpH依存性及びトリウム量の影響について検討した結果はすでに報告<sup>10)</sup>したとをりである。第2図は海水中トリウムの分離定量法の一連の分析操作を图示した。

## 4 海水中全希土類元素の定量方法

海水試料中の全希土類元素の定量方法は第3図に示

すとおりである。トリウム分析に使用した海水残液の一定量を分取し、NaOHを加えアルカリ性とし沈澱を遠心分離の後、6N-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>に溶解し、HFを加えトリウム及び全希土類元素を弗化物として分離する<sup>11)</sup>。沈澱を灰化したのちH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (+HNO<sub>3</sub>)に溶解し、水でうすめて一定量の $\frac{M}{1000}$  EDTA溶液を加え、pH 4.0に調節して、PANを指示薬とし $\frac{M}{1000}$  Cu標準液で逆滴定し<sup>12)</sup>、トリウム相当量を差引いて全希土類元素を計算した。なお、全希土類元素の原子量は140.13 (Ceの原子量)を用いた。

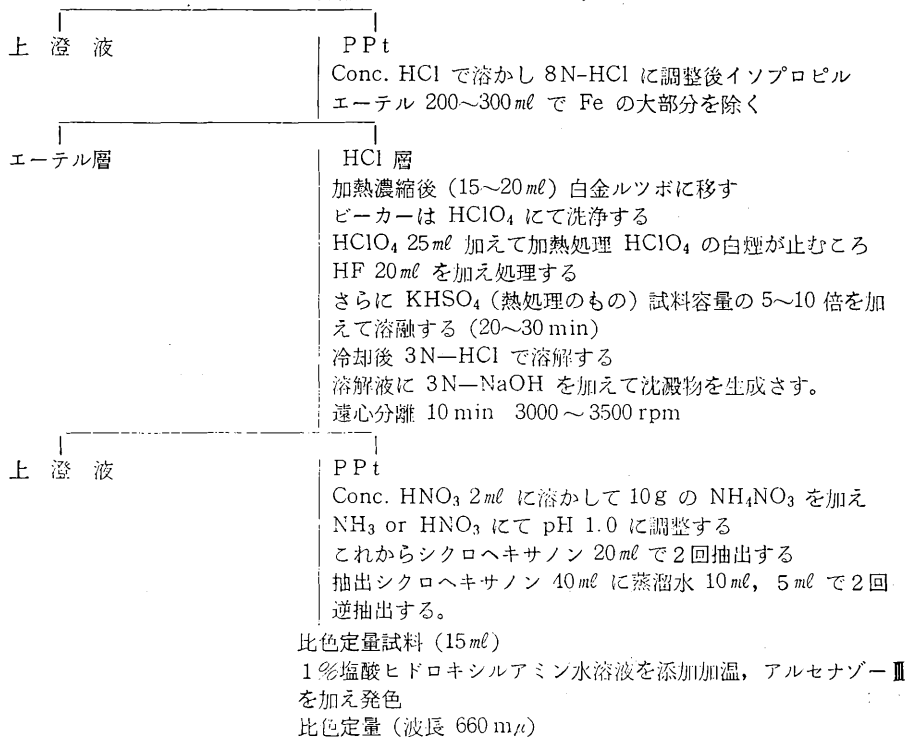
## III 結果および考察

### 1 河口海水中におけるトリウムの分布

河口海水中におけるトリウムの分布は第1～3表と、それを地図上に記した第4～6図に示す。これらからもわかるようにトリウムの放流のある日(10月17

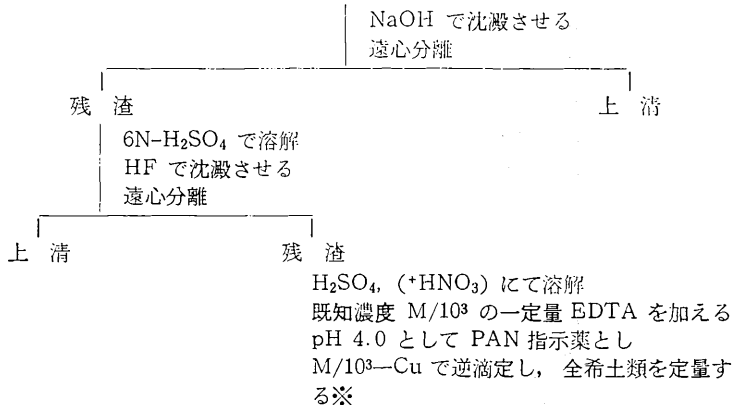
第 2 図 海水中のトリウムの分離定量法

試料 1ℓ 当り 10 mg の  $\text{Fe}^{3+}$  を加える ( $\text{FeCl}_3$ )  
 フェノールフタレイン指示薬を添加  
 $\text{NH}_4\text{OH}$  にて沈澱 (pH 8.2~12)  
 遠心分離 10 min 3000~3500 rpm



第 3 図 海水中の全希土類元素の定量方法

試 料 (海 水)



※ 逆滴定から求めた全希土類量からトリウム量を引いて希土類量とする。  
 尚, 全希土の原子量は 140.13 (Ce の原子量) とする。

日については第2表, 第5図, 2月13日については第3表, 第6図) および放流のない日(9月2日, 第1表, 第4図) のいずれにおいても, 河口表層海水中のトリウム濃度は潮位により著しく変動し, 一般に低潮になるに従い濃度は高くなる傾向にある。同地点で4月から12月まで毎月採取した河口海水中の放射能濃度も非常に大きくばらついているが, その平均値は

- 高潮時 9.5±4.9 μCi/l
- 中潮時 84± 68 μCi/l
- 低潮時 157±106 μCi/l

である報告<sup>14)</sup> されている。

トリウムの放流が行われていない日でも河口表層水中にトリウムがなお高濃度に存在するのは第4表に示

しているとおり, 河底に多量沈積しているトリウムの一部が, 底表面の砂泥と共に流れて河口に到るためと思われる。また中潮のときのトリウム濃度が低潮のときのトリウム濃度より大きい場合が何点かある。たとえば第5図の P1, P2, P5 等である。水量による単純な稀釈だけ考えれば, 低潮のときは濃度が高く, 高潮のとき低くなるべきであるが実際は上述のように必ずしもそうならなかった。これは水中にある懸濁物質あるいは底質からの影響があったためではないかと思われる。「風浪によって影響をうける推積泥は例えば波の周期10秒波高1mのような条件で43mの水深の泥まで動かされる」と報告<sup>15)</sup> されているが, 採取点の水深4m程度では当然風浪による海底沈積物質の騒乱

第1表 海象条件の測定値及びトリウム濃度 1966. 9. 2

採取場所	潮位	汐 (cm)	風向	風力	波高 (m)	河口流速 (m/sec)	比重	水温 (°C)	pH	塩素量 (g Cl/l)	全β放射能 (pCi/l)	トリウム濃度 (μg/l)
P 1	H	158	S	0	0	~0	1.019	29.0	9.1	14.40	9.9±1.1	3.74
	M	104	—	"	"	0.09	1.011	30.0	7.8	7.58	26.0±1.4	10.89
	L	50	—	"	"	0.10	1.010	30.0	7.3	10.06	29.1±1.4	24.14
" 2	H	158	S	0	0	—	1.018	28.0	9.1	15.09	0.4±1.1	0.79
	M	104	—	"	"	—	1.017	29.2	8.8	12.78	7.0±1.1	7.87
	L	50	—	"	"	—	1.017	31.0	8.1	13.04	15.5±1.4	11.61
" 3	H	158	S	0	0	—	1.019	27.5	8.9	15.11	1.1±1.1	0.67
	M	104	—	"	"	—	1.018	29.5	9.2	14.15	4.4±1.1	1.35
	L	50	—	"	"	—	1.018	35.0	9.4	16.01	3.2±1.1	0.88
" 4	H	158	S	0	0	—	1.018	28.0	9.0	15.13	1.6±1.1	0.22
	M	104	—	"	"	—	1.018	28.7	9.2	14.90	2.2±1.1	0.36
	L	50	—	"	"	—	1.018	30.0	9.2	16.15	3.4±1.1	0.33
" 5	H	158	S	0	0	—	1.020	28.0	8.8	15.05	5.4±1.1	1.39
	M	104	—	"	"	—	1.018	29.7	9.2	13.58	4.6±1.1	4.51
	L	50	—	"	"	—	1.017	31.0	9.3	15.59	3.9±1.1	0.47
" 6	H	158	S	0	0	—	1.019	27.8	8.8	14.90	3.7±1.1	0.83
	M	104	—	"	"	—	1.018	30.0	9.2	14.55	1.9±1.1	1.41
	L	50	—	"	"	—	1.018	30.2	9.4	16.12	3.9±1.1	1.58
" 7	H	158	S	0	0	—	1.020	28.0	8.8	15.20	2.7±1.1	0.58
	M	104	—	"	"	—	1.018	29.8	9.2	14.54	1.4±1.1	0.49
	L	50	—	"	"	—	1.018	31.0	9.2	15.84	13.2±1.1	5.48
" 8	H	158	S	0	0	—	1.020	28.0	8.9	15.31	1.3±1.1	0.21
	M	104	—	"	"	—	1.018	29.5	9.1	16.22	0.2±1.1	0.17
	L	50	—	"	"	—	1.017	31.2	9.2	15.87	4.6±1.1	2.09
" 9	H	158	S	0	0	—	1.020	28.0	8.9	15.03	0.0±1.1	1.38
	M	104	—	"	"	—	1.017	29.5	9.1	16.25	0.4±1.1	0.21
	L	50	—	"	"	—	1.020	30.0	9.2	16.23	2.7±1.1	0.52

第 2 表 海洋条件の測定値及びトリウム濃度

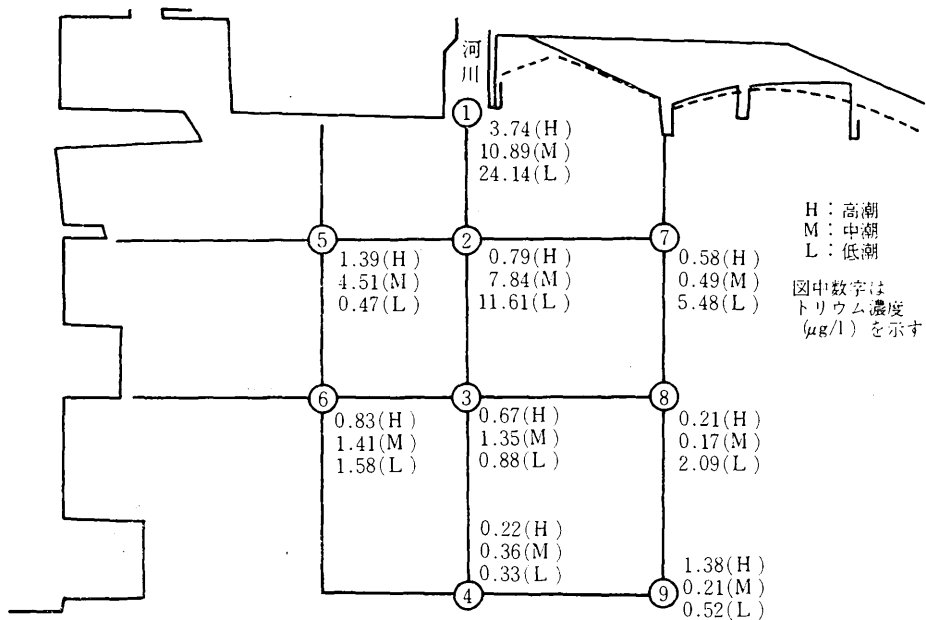
1966. 10. 17

採取場所	潮汐 潮位 (cm)	風向	風力	波高 (m)	河口流速 (m/sec)	比重	水温 (°C)	pH	塩素量 (g Cl/l)	全β放射能 (pCi/l)	トリウム濃度 (μg/l)
P 1	H 162	E	1	0.1	~0	1.017	20.5	7.7	12.93	14.2±1.7	3.04
	M 126	W	"	0.2	"	1.018	21.0	8.6	13.17	34.6±1.5	221.40
	L 90	"	"	0.1	~0.1	1.019	22.0	7.4	12.47	293.4±3.9	63.30
" 2	H 162	E	1	0.1	—	1.019	20.5	8.1	13.66	10.9±1.6	3.48
	M 126	W	"	0.2	—	1.019	21.5	8.7	13.57	21.3±1.4	88.20
	L 90	"	"	0.1	—	1.019	22.0	7.7	12.51	159.6±2.8	10.80
" 3	H 162	E	1	0.1	—	1.019	21.0	8.3	14.87	3.2±1.6	0.64
	M 126	W	"	0.2	—	1.019	22.0	8.3	14.38	2.9±1.1	0.17
	L 90	"	"	0.1	—	1.020	22.0	8.4	14.67	2.7±1.1	3.59
" 4	H 162	E	1	0.1	—	1.020	21.0	8.4	15.06	4.6±1.6	0.22
	M 126	W	"	0.2	—	1.020	21.5	8.4	14.48	3.3±1.1	0.50
	L 90	"	"	0.1	—	1.021	22.0	8.4	14.60	2.6±1.1	1.51
" 5	H 162	E	1	0.1	—	1.019	20.0	8.4	14.67	5.4±1.6	0.71
	M 126	W	"	0.2	—	1.020	21.5	8.4	14.46	4.1±1.1	7.70
	L 90	"	"	0.1	—	1.021	22.0	8.4	14.67	2.9±1.1	1.45
" 6	H 162	E	1	0.1	—	1.019	20.5	8.4	14.92	2.4±1.6	0.21
	M 126	W	"	0.2	—	1.021	22.0	8.3	14.56	1.2±1.1	0.21
	L 90	"	"	0.1	—	1.021	22.0	8.4	14.74	1.6±1.1	0.92
" 7	H 162	E	1	0.1	—	1.019	20.5	8.2	13.70	3.0±1.6	0.55
	M 126	W	"	0.2	—	1.020	22.0	8.2	13.95	3.0±1.1	0.78
	L 90	"	"	0.1	—	1.020	22.0	8.1	14.66	64.4±1.9	13.00
" 8	H 162	E	1	0.1	—	1.020	21.0	8.4	14.99	2.0±1.6	0.60
	M 126	W	"	0.2	—	1.017	21.5	8.1	14.10	2.5±1.1	0.76
	L 90	"	"	0.1	—	1.021	22.0	8.1	13.63	57.5±1.8	14.20
" 9	H 162	E	1	0.1	—	1.019	20.5	8.4	15.06	4.5±1.6	0.19
	M 126	W	"	0.2	—	1.019	22.0	8.2	14.31	0.8±1.1	0.21
	L 60	"	"	0.1	—	1.021	22.0	8.5	14.95	4.2±1.1	2.85

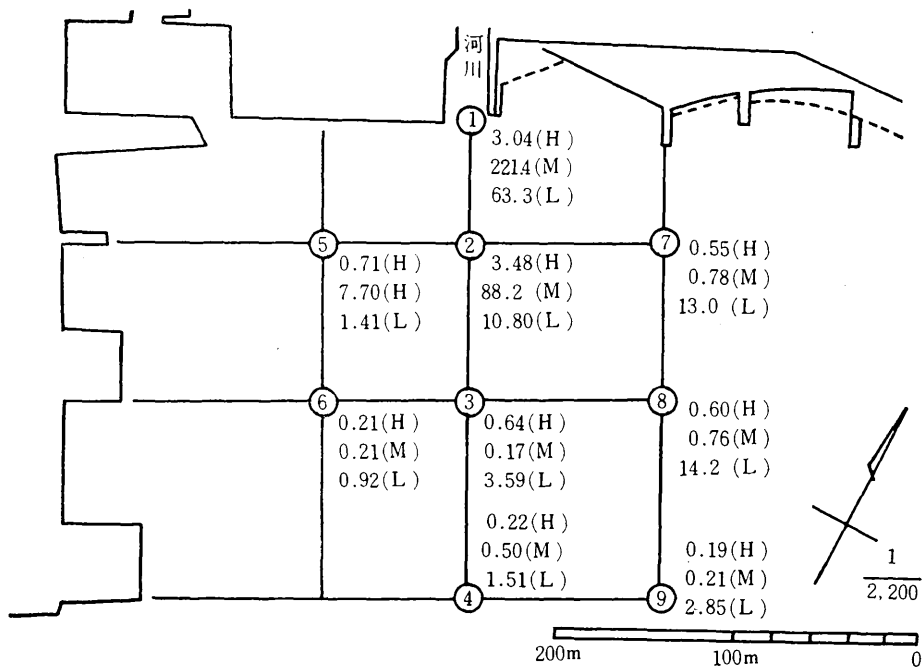
第 3 表 海象条件の測定値及びトリウム濃度

1967. 2. 13

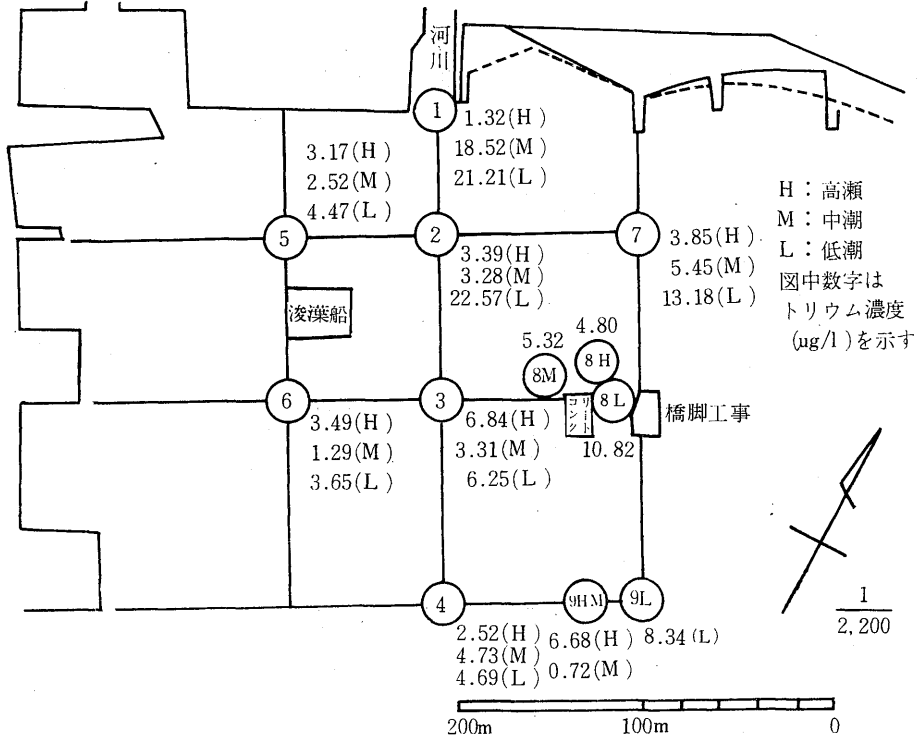
採取場所	潮汐 潮位 (cm)	風向	風力	波高 (m)	河口流速 (m/sec)	比重	水温 (°C)	pH	塩素量 (g Cl/l)	全β放射能 (pCi/l)	トリウム濃度 (μg/l)
P 1	H 125	NW	1	0.1	0.2	1.023	8.4	8.2	14.56	8.7±1.5	1.32
	M 89	W	"	"	"	1.013	9.0	6.3	13.34	61.7±2.0	18.52
	L 52	"	"	"	"	1.019	8.5	7.3	11.95	101.0±2.4	21.21
" 2	H 125	NW	1	0.1	—	1.023	8.5	7.8	16.82	1.7±1.4	3.39
	M 89	W	"	"	—	1.020	8.9	6.2	16.16	28.6±1.8	3.28
	L 52	"	"	"	—	1.023	8.5	7.6	15.23	69.2±2.0	22.57
" 3	H 125	NW	1	0.1	—	1.025	8.6	8.3	17.28	1.4±1.4	6.84
	M 89	W	"	"	—	1.024	8.8	6.4	16.89	7.2±1.5	3.31
	L 52	"	"	"	—	1.024	8.5	8.2	17.36	14.0±1.4	6.25
" 4	H 125	NW	1	0.1	—	1.025	8.5	7.3	17.18	2.4±1.4	2.52
	M 89	W	"	"	—	1.023	8.5	7.3	17.28	2.5±1.4	4.73
	L 52	"	"	"	—	1.025	8.0	8.2	17.26	7.1±1.3	4.69
" 5	H 125	NW	1	0.1	—	1.023	8.6	7.5	17.35	3.3±1.4	3.17
	M 89	W	"	"	—	1.023	8.8	8.2	17.49	2.0±1.4	2.52
	L 52	"	"	"	—	1.025	8.5	7.5	17.56	2.9±1.2	4.47
" 6	H 125	NW	1	0.1	—	1.023	8.7	8.3	17.42	2.6±1.4	3.49
	M 89	W	"	"	—	1.023	8.8	8.3	17.49	1.3±1.4	1.29
	L 52	"	"	"	—	1.025	8.4	8.0	17.49	1.9±1.2	3.65
" 7	H 125	NW	1	0.1	—	1.025	8.0	8.3	16.89	2.8±1.4	3.85
	M 89	W	"	"	—	1.017	9.0	8.1	16.83	16.5±1.6	5.45
	L 52	"	"	"	—	1.025	8.8	6.8	16.82	32.7±1.6	13.18
" 8	H 125	NW	1	0.1	—	1.020	8.0	8.3	16.79	3.4±1.4	4.80
	M 89	W	"	"	—	1.020	9.0	7.3	16.28	24.4±1.7	5.32
	L 52	"	"	"	—	1.025	8.7	7.2	15.21	62.5±2.0	10.82
" 9	H 125	NW	1	0.1	—	1.020	7.5	8.3	17.35	1.3±1.4	6.68
	M 89	W	"	"	—	1.023	8.5	6.5	17.23	2.9±1.4	0.72
	L 52	"	"	"	—	1.025	8.5	7.8	17.29	24.0±1.5	8.34



第 4 図 9月2日海水中トリウム分布 (非放流日)



第 5 図 10月17日海水中トリウム分布 (放流日)



第6図 2月13日海水中トリウム分布(放流日)

も影響すると考えられる。トリウムの分布調査日について言えば、9月2日は風力0、波高0の静かな日であったが、10月17日、2月13日は風力1波高0.1mのやや風のある日であって、この程度の風でも海底の沈積物質を動かすかも知れない。

第4表 河口沈泥中のトリウム量

採取年月日	河口沈泥
	トリウム量(µg/g)
1966. 6. 8	527.0
7. 9	234.5
8. 5	225.5
9. 2	125.4
10. 3	20.4
10.17	83.3
11. 1	152.7
12. 1	111.5
1967. 1.12	156.5
2.13	73.5
3. 1	557.5

2 pH および塩素量の影響

河口P1点と、それから約280m離れたP9点にお

第5表 pH および塩素量

採取年月日	潮位	沙位(cm)	採取場所		
			P1	P9	
pH	1966. 9. 2	H	158	9.1	8.9
		M	104	7.8	9.1
		L	50	7.3	9.2
	10.17	H	162	7.7	8.4
		M	126	8.6	8.2
		L	90	7.4	8.5
塩素量(g Cl/l)	1966. 9. 2	H	125	8.2	8.3
		M	89	6.3	6.5
		L	52	7.3	7.8
	10.17	H	162	12.93	15.06
		M	126	13.17	14.31
		L	90	12.47	14.95
1967. 2.13	H	125	14.56	17.35	
	M	89	13.34	17.23	
	L	52	11.95	17.29	



ける pH, 塩素量は第 5 表に示すとおりである。

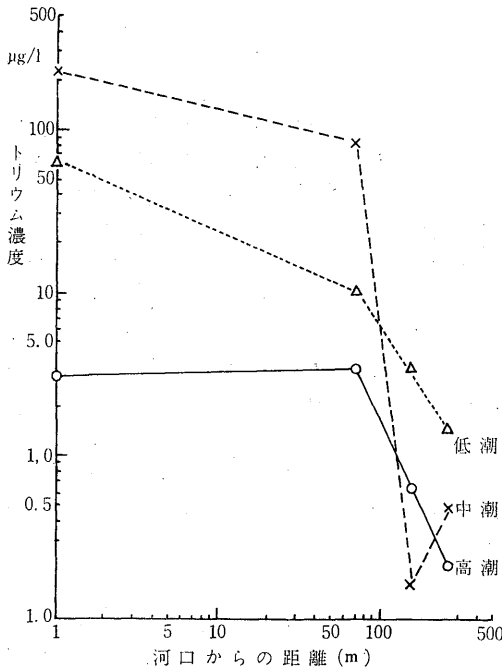
外洋海水の塩素量 19g/l と比較すると河口周辺の塩素量は相当低く、この辺一帯はいわゆる汽水の状態と言える。この領域においては河口に近い程潮位の変化により塩素量の変動が大きい。一般に疎水ゾルは親水ゾルに比べて電解質の存在に敏感に影響されることが知られているので、トリウムの浮游沈積の動向は塩素量の多少に大きく関係するものと思われる。pH についても河口に近い P 1 点の方が P 9 点より潮位による変動が大きく、従ってトリウム濃度もこれに伴って変動するものと考えられる。

### 3 トリウムの分布と海洋放流拡散式との比較

河口から離れるとトリウム濃度は急激に減少する。一般的に可溶性物質が点源から連続的に水中に放流された場合の拡散式は、日本原研で行われた数多の実験から大体次の式で表わされると考えられる。<sup>15)</sup>

$$\frac{C}{Q} = \frac{0.75}{X}$$

ここで C は放出点から放出軸 X (km) の距離における濃度 ( $\mu\text{Ci/ml}$ )、Q は放出率 ( $\mu\text{Ci/sec}$ ) である。この式は染料ロダミン B を溶かした河川水が海へ注ぐ実験結果から求めたものである。また一方染料拡散実験で染料の拡りをヘリコプターから撮影し、その面積の変化と Fick の拡散式を用いて拡散係数を求め、連



第 7 図 距離とトリウム濃度の関係 (10月17日)

続点源放出の場合における理論式として軸上濃度 C を

$$\frac{C}{Q} = \frac{0.704}{X}$$

と計算している<sup>15)</sup>。いずれの場合も軸上濃度は放出率が一定の場合距離に反比例することを示している。今回筆者らの調査の場合、1例として P 1, P 2, P 3, P 4 の各点について河口 P 1 からの距離と、10月17日における海水中トリウム濃度の関係を両対数グラフにとると第 7 図のよくなり、45° 直線にのる傾向は見られなかった。このことは上式が数十 m 以上 10 km 位まで適用される色素拡散の式であるためと、トリウムは色素やストロンチウムなどのように水に溶解性でなく海水中で Colloidal または Particulate になりやすいためと考えられる。

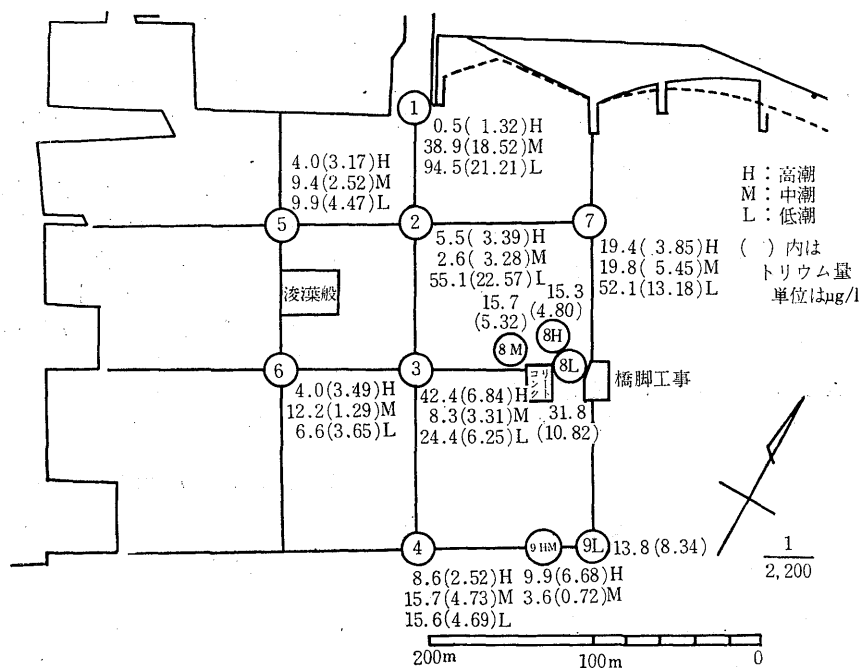
### 4 河口海水中における全希土類元素の分布

河口海水中におけるトリウムの分布を、河口 9 点の海域で高潮、中潮、低潮の各潮位について調査したが (1967.2.13)、同一海水について全希土類元素濃度も測定し、その結果を第 6 表に示した。これからわかる

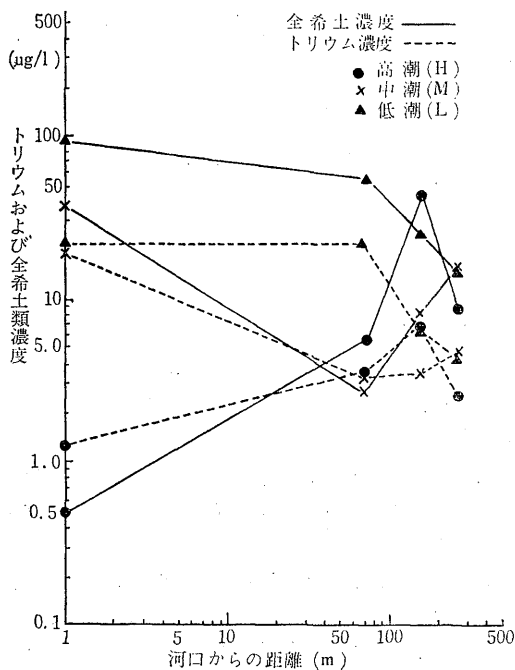
第 6 表 河口海水中の全希土類元素濃度

採取場所 No.	全希土類元素量 (RE) $\mu\text{g/l}$		
	高潮時	中潮時	低潮時
1	0.5	38.9	94.5
2	5.5	2.6	55.1
3	42.4	8.3	24.4
4	8.6	15.7	15.6
5	4.0	9.4	9.9
6	4.0	12.2	6.6
7	19.4	19.8	52.1
8	15.3	15.7	31.8
9	9.9	3.6	13.8

ように河口表層海水中的の希土類元素は潮位により著しく変動し、一般に低潮になるに従って濃度は高くなる傾向にあった。またトリウムの分布と比較するために第 8 図にトリウムおよび全希土類元素の濃度分布を示した。これら分布の P 1, P 2, P 3, P 4 の各点について距離と濃度の関係を両対数グラフに表わすと第 9 図のようになる。トリウムと希土類元素はほぼ同様な傾向であり、45° 直線にのる傾向は見られなかった。このことはトリウム、希土類元素が海水中では色素やストロンチウムなどのように可溶性にはなり難いため、従来の簡単な水中拡散の式や外洋で行われた色素放流のデータから河口海水中におけるトリウム、希土類元



第 8 図 河口表層海水中のトリウム及び全希土類元素濃度分布



第 9 図 距離とトリウムおよび全希土類濃度との関係

素の希釈拡散状態を推定することが困難であることを示すものと思われる。

#### IV む す び

トリウムおよびその崩壊生成物が永年にわたり河川を通じて流入している河口、沿岸海域において、トリウムならびに全希土類元素の動向、分布を海象諸現象とともに調査研究した。沿岸における放射性物質の挙動の考察の困難さは、外洋に比べて、地形海象などのいわゆる Geophysical な条件の他に、汽水状態が関係してくる点にある。更に沿岸域の底質の影響も受け易く、トリウム、希土類など水中で Colloidal または Particulate になり易いものはこれら水圏中での挙動が非常に複雑であり、従来の簡単な水中拡散の理論式や外洋で行なわれた色素放流のデータから河口海水におけるトリウム、希土類元素の希釈拡散の状態を推定することは困難であることがわかった。

稿を終るにあたり本調査研究にさいして、多大のご援助およびご指導を受けた神戸商船大学道嶋正美教授、三宅寛講師、大辻友雄助手、青木友教授、安藤文

江助手, ならびに日本分析化学研究所千葉盛人博士に深く感謝致します。

文 献

- 1) FOYN, E, B, KARIK, H. PETTESON and E. RONA: "The radioactivity of seawater". Medd. Oceanog. Inst. Gotborg, 6, 12 (1939)
- 2) KOCZY, F, F.: "Thorium in seawater and marine sediments" Geol. Foren. i Stockholm Fohr., 17, 238 (1949)
- 3) 石橋雅義, 東慎之介 "海水中のトリウムに就て" 化学と工業 2, 14 (1949)
- 4) SACKERT, W. M. and H. A. POTRATZ: "Thorium content of ocean water" Science 128, 204 (1958)
- 5) 石橋雅義, 東慎之助 "トリウムの微量分析法第3報" 分析化学 5, 135 (1956)
- 6) 東慎之介 "植物, 貝殻, さんご類に含まれるトリウムに就て" 分析化学 7, 441 (1958)
- 7) 石橋雅義, 東慎之介 "トリウムの微量分析法続報" 分析化学 4, 14 (1955)
- 8) JUN AKAISHI: "Determination of Thorium in Various Sample by Anion Exchange, I" 原子力学会4, No. 6 (1962)
- 9) 赤石準 "The preparation of carrier-free  $^{234}\text{Th}(\text{UX}_i)$  by anion exchange from nitric acid-alcohol mixed solution of uranyl nitrate" Bull. Chem. Soc. JAPAN, 34, 1198 (1961)
- 10) 西脇安, 河合広, 本田嘉秀, 木村雄一郎, 森嶋弥重, 古賀妙子, 宮口耀一郎 "海水中のトリウムの分析について" 近畿大学原子力研究所年報 Vol. 4, 5, (1965, 6)
- 11) 学振, 鉄鋼化学分析全書 7 巻 p. 162 (1962)
- 12) 上野景平, キレート滴定法 p. 327 (1964)
- 13) 新田忠雄, "水質保護論" 水産学全集 15巻 p. 110 (1961)
- 14) 道嶋正美, 三宅寛, 大辻友雄, 青木友, 安藤文江: 神戸港周辺海域の放射能調査 (第3報) 神戸商船大学紀要 第2類 第14号 93 (1967)
- 16) 原子力安全協会海洋放出調査特別委員会試算分科会報告書 (II)