

海洋の汚染について

東京大学 工学部 都市工学科 正員 工博 杉本 昭典

1 はしがき

今から 6 年前、オリンピック開幕少し前に開かれた 第 2 回 国際水質汚濁研究会議のとき 基調講演を行なった 英国住宅地方省技監の Dr. A. Key は その講演のなかで 海洋の拡散について次のように述べた。¹⁾ すなわち「もちろん 極端な例であるが、地球上に住む 30 億人の人間から出される家庭下水を 海に放流し 完全に攪拌したら 海水に対する BOD 負荷は 1 日あたり 10^{12} の 1 でしかない。BOD が 1 ppm に達するのには 3000 年かかることになる。しかも この計算には 海水中の自浄作用がないと仮定している話である。しかしこの計算は正しいが、この結論は正しいと思えない。しかし 下水の海洋の投棄が安全で かつ満足すべきものであるということは示そうと考えられる。

しかし これらの言が理論的に正しくとも 実際問題としては誤りであるというのには 2 つの理由がある。第 1 の理由は すべての都市が必ずしも 沿岸に存在しないので、海へ下水を等しく かつ完全に混合させることは 経済的にひきあわない。第 2 の理由は 淡水の量に限度があり 蒸発や海の流出などの水文学的循環量の間に 種々の目的に幾度でも使用されていることである。水の生成・すなわち 汚染水の浄化は 安全性とか 疫学上のためばかりでなく 下流の人々が両方 使用に供するために行なわれるものである。使用不可能な水が与えられることは 水がなによりも悲劇的なのである」と。

Dr. A. Key の講演にも拘らず、すでに太平洋の 有機物の量は すでに ^{12 中} 2 mg に達しており この量は如何に大きいかは 読者も想像しようと思える。この量は もともと動植物の遺骸が分解したもので、海の動植物が形づくつて いる有機物の量の 300 倍に達する量である。²⁾ これは富栄養化による動植物の生産による 有機物質の蓄積を示しており 従って詳しく詳しくのべるように 海に放流することは必ずしも簡単ではない。

海洋の全容積は $1.370 \times 10^6 \text{ km}^3$ と その容量が大きいために、非常にその成分が安定しているのだ、一般的に 海水魚は 淡水魚に比して汚染に対して 敏感であるといわれる。さらに微量汚染を考へるとき 自然の海水の成分を知つておくことは重要である。

2 海水の成分²⁾

大洋の海水の塩分は おおよそ 35% 程度であり、赤道地方では 降雨量が多かつたり、蒸発量が少ないため 塩分が少ない。緯度が 20 度付近では 凡が蒸発をすこし 塩分が大きくなつてくる。中緯度地方は 蒸発量も少なく 降雨量も多いので 塩分は少ない。塩分が 35% の海水中に含まれる成分のうち 1 ppm より多い成分は 14 元素で、酸素、水素、塩素、ナトリウム、マグネシウム、硫酸、カルシウム、炭素、珪素、亜鉛である。その量を示すと 表 1 のようである。海水中には すべての元素が含まれて いるように感ずるが、現代分析技術では 44 の元素が含まれて いることが知られて いるが、そのうち 35 元素は全部たししても 1 l 中に 0.2 g にすぎない。

表-1 海水中の 化学成分

成 分	gM/kg 水, 塩分 35‰
塩 素	19.353
ナトリウム	10.76
硫 酸	2.712
マグネシウム	1.294
カルシウム	0.413
カリウム	0.387
炭 酸	0.142
沈 素	0.067
ストロンチウム	0.008
硼 素	0.004
亜 素	0.001

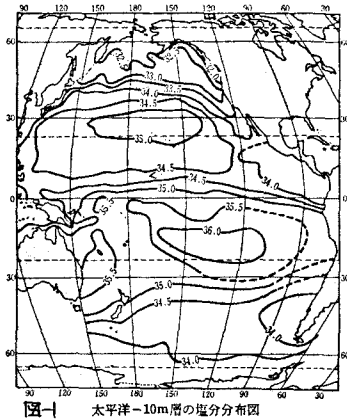


図-1 太平洋・10m層の塩分分布図
星野通平, 太平洋の科学, NHK77'72576

前にも述べた様に、微量金属の海水中の成分

を知っておく意義は大きいので、いくつかの成分について海水中の濃度を示すことを表-2のゴトくである。

表-2 海水のいくつかの成分の濃度

成 分	化 学 形	濃 度 $\mu\text{g/l}$
リン	H_2PO_4^-	88
クロム	$\text{Cr}^{3+}, \text{Cr}^{6+}$	0.2
マンガン		1.9
鉄	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	3.4
ニッケル		0.39
銅	Cu^{2+}	6.6
亜鉛	Zn^{2+}	23
カドミウム	CdCl	11
金		0.11
水銀		0.011
鉛	Pb^{2+}	0.15
		0.03

海水中に溶存するガスは、酸素、窒素、炭酸ガスである。海の生物にとって酸素と炭酸ガスは陸上生物と同様に生命を維持するために大切なガスである。

溶存酸素の飽和値は水温と塩分濃度に関係する。その関係を示すことを表-3のようである。

海水中の溶存酸素は 大気や植物の光合成から供給され 一方有機物の分解によって溶存酸素が消費される。

海水中の炭酸ガスは そのまゝの形のほか カルシウム、マグネシウムと結合して炭酸塩、重炭酸塩として分布している。海水中の炭酸ガスの量は 1ℓ中に 50 cm^3 に達しており その3分の2は 植物の光合成が直接利用できる 重炭酸塩である。

表-3 海水中の飽和溶存酸素

水温(℃)	塩素イオン濃度 (Cl^- ppm)				
	0	5000	10000	15000	20000
0	14.16	13.40	12.64	11.88	11.12
10	10.92	10.36	9.80	9.23	8.67
20	8.84	8.41	7.98	7.54	7.11
30	7.53	7.16	6.79	6.42	6.05

3. 海水の用途別水質基準

海水の利用をあげるとつぎのようなものがあげられる。水泳、水浴、Skin Diving、ボート遊び、魚、貝、他の海水生物の繁殖、昆布などの固着藻類の繁殖、釣り、工業用水、海水淡水化である。そのうち 水産用水 と水浴用水と最近定められる 環境基準 について2のべる。

3-1 水産用水⁴⁾

昭和40年 水産資源保護協会は水産用水の水質基準を示した。この基準を示すとつぎのようである。

- ① BOD : 20°C 5日間のBODが5ppm以下であること。ただしササ科およびアエ科については3ppm以下であること。
- ② DO : 24時間 中 16時間以上は5ppm以上、11がなるときでも3ppm以上
- ③ pH : 淡水域においては6.5~8.5 であること
- ④ 濁り
- ④の1: 人為的に加えられた懸濁物質は10ppm以下であること
- ④の2: 藻類が対象となるとき (1) 海洋にあるときは、藻類の繁殖水位において、その繁殖に必要な光度が保持されること。(2) 河川にあるときは11ちじりしい着色のない水であること、(3) 有機物などによつて産生した汚泥床 などが生じないこと

⑤: 商品価値低下をきたす成分

⑤の1: 漁獲物に異常な臭味がつかない水であること。
たとえば、(1) 鉱油については水中含有量が0.01ppm以下であること、(2) フェノールについては、0.01ppm以下であること。

⑤の2: その他商品価値を低下させない水であること。

たとえば、(1) ミドリガキを生じないためには、銅は0.0075ppm以下であること、(2) 水俣病の原因となる魚介類ができることを防止するためには、環境条件によっては水銀が存在しないこと。

⑥ 水温: 棲息する生物に悪影響をおよぼすほど、自然水の水温の変化がないこと。

⑦: 急性毒物質

⑦の1: 純粋な化学成分は 表-4の濃度以下であること。

⑦の2: 産業廃水等(多くの急性毒物質が、不特定の比率によつて混合している水)については、その関係水域の重要生物を用いた48時間TL_m値(検水中の魚の50%が斃死する濃度)の1/10以下であること。

⑦の3: 複数の産業廃水が混合する場合、その条件に応じた生物試験結果より得た安全だと思われる濃度以下であること。

3-2 水浴レクリエーション⁵⁾

水浴および遊泳に関する水質基準は、河川水を飲むことなどにより起こる赤痢、4ブス罹患を考へるので、大腸菌群数が重要な意義をもっている。昭和32年厚生省制定の「夏季観光地等の清掃基準

表-4 規制基準

物質名	記号	濃度 (ppm)
水銀	Hg	0.004
銅	Cu	0.01
カドミウム	Cd	0.03
亜鉛	Zn	0.1
鉛	Pb	0.1
アルミニウム	Al	0.1
ニッケル	Ni	0.1
クロム	Cr	1.0
マンガン	Mn	1.0
錫	Sn	1.0
鉄	Fe	1.0
シアン化物CNとして	CN	0.01
遊離塩素	Cl	0.02
臭素	Br	1.0
弗化物Fとして	F	0.5
硫化合物		1.0
アンモニア		1.0

(pH6.5における
新基準値として
pH8.0における
新基準値Nとして)

」では、(1)大腸菌の最少数は100ml中10000まではよい、(2)50000まではやむをえない、(3)50000以上はいけないうと定められている。

昭和35年の測定では、鎌倉で1100~49000、横浜港で3200~350000となっている。アメリカでは50~3000/100ccと日本での数よりいくらか厳しく、水質汚濁研究会でシドニー港では2000が望ましいとしている。その他の物質について、数値を定めているところでもかなり大きく変動しているが、一例としてアメリカ合衆国カリフォルニアの例を表-5に示しておく。

3-3 海洋における環境基準

わが国の公共水の水質保全については昭和33年の水質二法、すなわち水質保全法、工場排水規制法による経済企画庁は定められた水質に対して排水基準を定めることとなる。

関係各府は、この水質基準にもとづいて所管事業場に關し水質について取締ることとなる。昭和42年公害対策基本法の設定にともない、水質環境基準が設定されることになり、

現在審議中である。このことにより従来の水質二法で定められていた流水基準が定められることになり、従来のように都市、工業の活動により汚濁負荷が一樣に増加するの否かという一助となりうると考えられる。現在の案によれば、直接間接人の健康にかかわるものについては全国一律に規制するものとしまた水利用の形態により3種別とした。その規制施策を表7に示す。海域ではBODではなくCODで一般基準を定めたりは従来の水質の資料はCO

水質に関する必要事項 (カリフォルニア州)

特 色	規 定		濃 度 の 限 度
	水 浴 と 水 泳	灌 漑 と 貯 水	
1. 細菌学的—ml/中			
Coliform (最 大 値)	0	1.0	10
Caliform (最 大 値)	1.0	10	100
2. 有機物—ppm			
BOD (最 大 値)	5	5	10
COD (最 大 値)	10	10	30
DO (最 大 値)	5	5	5.0
DO (最 大 値)	2	2	1.0
油 (最 大 値)	0	0	0
油 (最 大 値)	2	2	5
3. 酸 度			
pH (最 大 値)	6.8~7.2	6.8~7.2	
pH (最 大 値)	6.6~8.0	6.6~8.0	
4. 物理的—ppm			
濁り (最 大 値)	5	5	10
濁り (最 大 値)	20	30	50
色 (最 大 値)	10	10	20
色 (最 大 値)	30	30	50
懸濁固形物 (最 大 値)	50	50	100
浮遊固形物 (最 大 値)	100	100	100
浮遊固形物 (最 大 値)	0	0	0
浮遊固形物 (最 大 値)	144	144	144
5. 化学的—ppm			
全固形物 (最 大 値)			
全固形物 (最 大 値)			
Cl (最 大 値)			
Cl (最 大 値)			
F (最 大 値)			
F (最 大 値)			
有害金属類 (最 大 値)	0.1	0.5	
有害金属類 (最 大 値)	5	10	
Phenol (最 大 値)	5	50	1
Phenol (最 大 値)	50	1	10
濃 度 (最 大 値)			
濃 度 (最 大 値)			
Na の割合 (最 大 値)			
Na の割合 (最 大 値)			
硬 度 (最 大 値)			
硬 度 (最 大 値)			
6. 温度—F (最 大 値)	66	66	
7. 臭い (最 大 値)			
8. 味 (最 大 値)			

表-7 生活環境(定義)に係る環境基準 海域'

		PH	COD	DO	備 考
			ppm	ppm	
A	水産1級 水浴 B以下に属 3もの	7.8~8.3	2以下	7.5以上	1.水産1級: 海水、汽水 4のもの 2.水産2級: 汽水、汽水 3.環境衛生: ホットスプリング 沿岸の遊歩帯を含む 不快感を生じない。
B	水産2級 工業 Cに属する もの	7.8~8.3	3以下	5以上	
C	環境衛生	7.0~8.3	8以下	2以上	

Dによるもの、基準が多いためである。

表-6 国民の健康に係る環境基準

項 目	基 準 他
ニ ア ン	検出されなければ
X4ル水銀	検出されなければ
有機リン	検出されなければ
カドミウム	0.01 ppm以下
鉛	0.1 ppm以下
クロム(6価)	0.05 ppm以下
ヒ素	0.05 ppm以下

3-4 魚類の水温特性⁶⁾

最近 世界各地で 温水施設の内陸が 原子力発電や 大型火力発電による排熱によって起つてきて 11 の 2 魚類の水温特性について 若干のべておく。

魚類には各々適温があったり、好適水温のところで群集して見出される。その水温に対する集合曲線は 確率曲線となっており、魚類によつてその温度幅が狭いものや 11 のものがある。

宇田氏による 魚の水温特性を表わしたものが図-2 の ようになっている。

カワオ、サレマなど表層に住む魚はその水塊の水面上近くに、サバやマグロなど中層に住む魚はその適水温に 当る層に住んでいる。そして 最多獲水温は 割合 さま 11 4~5℃ 以内である。危険な水温の変化によつて大 量の魚が 斃死がみられた例がある。例として 1945 年 など 全国的に冷水によつて大きな影響をう けた。

4. 微量成分による海洋の汚染

4-1 富栄養化 による生物の増殖^{6) 2)}

栄養塩（窒素、リン、カリ、ケイ素など）の 海水中の濃度の増加によつて 海洋の生物の増殖 が起る。一般には 植物プランクトン フリで動物プランクトン と順次に 高級な生物へと食物連鎖 が成立つてくる。デレマーの ニールセ教授は 海の生産力に関しづかいのようにのべている。動物 は 炭水化物 蛋白質 脂肪などがなければ生きてゆけない。

多くの 植物プランクトンは 炭素同化作用によつて ニれ うの物質を 自分で作り出す。これを 自栄養菌という。食物連鎖のもとになる 植物プランクトンの量は、種々 の方法で 測定されるが、現在 放射性同位元素を用いて その生産性を測定する方法が 広く使われている。その方法は 所定の深さの 海水をとり、放射性炭素を用いた炭酸ガス を加えて もとの深さにおとし 24 時間 炭素同化作用を 管ませる。

この海水を 1/5000 mm の濾紙で 濾過し 濾紙に残 った 植物プランクトンをもつて 放射性炭素を用いて

植物プランクトンに 固定された 炭素量を測定する。この方法は 炭素同化作用が 昼のみにしか 行なわれないので 昼間のみに測定すればよく、また 水温や温度と サンプルの採集した状態と同じ くすれば、サレマに水中におろす 船上で 測定できることになる。ニールセによると 太平洋では 湧昇流の 発達しているところでは、1日 m^3 当り 0.5g の炭素を 他の方では 1日に

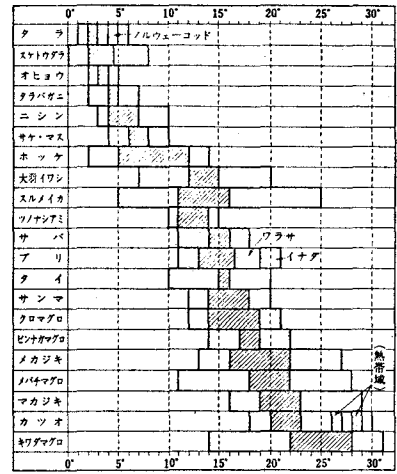


図-2 主要魚類適温スペクトル (宇田原氏)

宇田道隆「海」 岩波新書 p.45

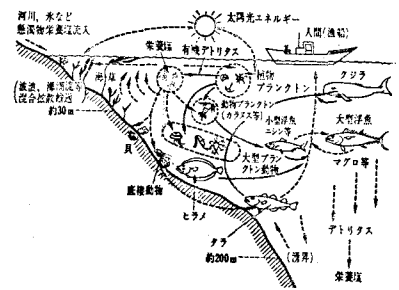


図-3 海洋生態系の食物連鎖関係

宇田道隆「海」 岩波新書 p.75

0.097 ~ 0.19 g の炭素を同化してゐる。ごく大ざつた見取りによると 1 年間に 15 億トン、有機物でいへば 40 億トンが海洋で固定される。この量は陸上で生産される有機物量に等しい。

動物プランクトンの太平洋における分布を示すと図-4 のように、栄養塩との関係がわかるであらう。

栄養塩がある一定値をこえるとプランクトンが異常に増殖し多くの障害が生ずる。この現象を一般に赤潮と呼ばれるが、赤潮は赤りこきもあり、黄色のこきもあり、また褐色のこきもある。

赤潮のもとになるプランクトンは 113 113 の種類があるが、そのおもなものは鞭毛虫類であるといわれゐる。このような赤潮は、海水中 1 L に 1300 万個から 5600 万個の鞭毛虫が発見された例がある。このプランクトンが死滅すれば、海水中の溶存酸素を消費し大量の魚を窒息死させることがある。また刺激性のガスが発生することがある。植物プランクトンはリン酸塩、硝酸塩、亜硝酸塩、ケイ酸塩などによつてその増殖が支配されその不足欠乏はすぐ生物の繁殖を制御するのである。

ある物質のうち最少の物質が生存上の支配権を占めてゐる。これをリービッヒの最小物質の法則といい、この法則を海洋の物質循環に適用したのがプランクトン説である⁶⁾。したがつて湖沼などでは窒素・リンの流入量を制御して植物プランクトンの異常増殖の制御が考えられゐるが、海洋についても同様である。プランクトンの全体 100g 当りの成分を示すと表-8 のようである。

BOD との比によつていへば、Sawyer によれば、BOD:N は 17:1, BOD:P は 90:1 といわれゐる。海水中には、鉄 1X 下の微量成分は十分含まれてゐるので、制限因子は窒素、リンとなる。ただ鞭毛虫の繁殖は海水中のビタミン 12 の量によつて支配されてゐり、ビタミン 12 はコバルトを核としてゐるのでコバルトの量が鞭毛虫の繁殖を支配してゐるとみる人もゐる²⁾。

植物プランクトンの量をその同化作用・呼吸作用に伴つて変化する水中の種の化学成分と換算するための数値を Fleming がまとめたことを示すと表-9 のようになる。表-8、表-9 からその成分の重要性が伺はれるであらう⁷⁾。

4-2 下水による海洋汚染の事例⁸⁾

下水の海洋汚染についてオスロ・フィヨルドについて Baalrud⁹⁾ が広汎な研究が行なわれ

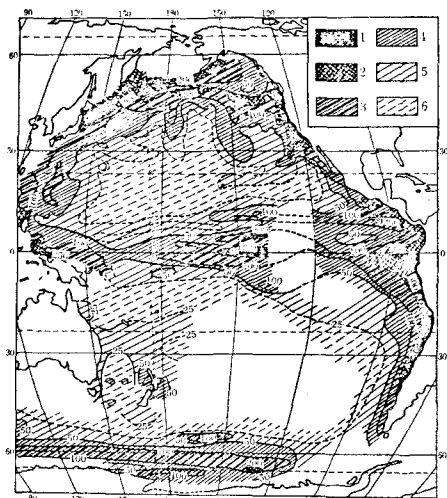


図-4

動物プランクトンの分布
(0~150m, 単位 mg/m³)

1. >500 2. 500~200 3. 200~100
4. 100~50 5. 50~25 6. <25

星野直平「太平洋の科学」NHK Books, 96, p.156

表-8 プランクトンの化学組成¹⁾

成分	生体乾燥重量 100g 当り
炭素	30
窒素	5
硫黄	1
リン	0.6
鉄	0.04
マンガン	0.002
硼素	0.002

G. Dietrich 1957 による

表-9. フラネクトン換算表 (Flemming 1940)

	C (mg)	N (mg)	P (mg)	70% 生量		O ₂ 当量 cc
				生量 (mg)	乾量 (mg)	
C (mg)	1.	5.7	41	0.027	0.44	0.576
N (mg)	0.18	1	7.2	0.0047	0.0765	0.097
P (mg)	0.024	0.14	1	0.00066	0.011	0.013
70% 生量 (mg)	37	211	1520	1.	16	20
70% 乾量 (mg)	2.3	13.1	94	0.06	1	1.2
O ₂ 当量 (cc)	1.9	10.6	76	0.05	0.8	1.

かる。二水は 現地の観測値とよく一致してゐるといふことができる。

Distance from Oslo harbor (km)	Dichromate oxygen demand (mg O ₂ /liter)
100	~0.5
45	~1.0
90	~7.0
100	~16.0

図-5. 才2271214"の水中の *Chlorella*
Ovalis と *Phaeodactylum tricornutum* の成害

Figure 1 consists of three vertically stacked bar charts showing the change in dissolved oxygen concentration (mg O₂/liter) over 11 days of cultivation for three different water conditions. The y-axis for the top two charts ranges from 0 to 40 mg O₂/liter, while the bottom chart ranges from 0 to 120 mg O₂/liter. The x-axis represents the cultivation period in days (1 to 11). The legend indicates three species: 下水 (solid black bars), *Phaeobacterium tricornutum* (hatched bars), and *Chlorella oalis* (white bars).

Day	Condition	下水 (mg O ₂ /liter)	<i>Phaeobacterium tricornutum</i> (mg O ₂ /liter)	<i>Chlorella oalis</i> (mg O ₂ /liter)
1	Fjord water	0	0	0
2	Fjord water	0	0	0
3	Fjord water	0	0	0
4	Fjord water	0	0	0
5	Fjord water	0	10	0
6	Fjord water	0	10	0
7	Fjord water	0	10	0
8	Fjord water	0	10	0
9	Fjord water	0	10	0
10	Fjord water	0	10	0
11	Fjord water	0	10	0
1	50 ml/liter 下水を加えたFjordの海水	10	0	0
2	50 ml/liter 下水を加えたFjordの海水	0	0	0
3	50 ml/liter 下水を加えたFjordの海水	0	0	0
4	50 ml/liter 下水を加えたFjordの海水	0	0	0
5	50 ml/liter 下水を加えたFjordの海水	0	40	0
6	50 ml/liter 下水を加えたFjordの海水	0	40	0
7	50 ml/liter 下水を加えたFjordの海水	0	40	0
8	50 ml/liter 下水を加えたFjordの海水	0	40	0
9	50 ml/liter 下水を加えたFjordの海水	0	40	0
10	50 ml/liter 下水を加えたFjordの海水	0	40	0
11	50 ml/liter 下水を加えたFjordの海水	0	40	0
1	Fjord water with 200 ml/liter 下水を入れたFjordの海水	10	0	0
2	Fjord water with 200 ml/liter 下水を入れたFjordの海水	0	0	0
3	Fjord water with 200 ml/liter 下水を入れたFjordの海水	0	0	0
4	Fjord water with 200 ml/liter 下水を入れたFjordの海水	0	0	0
5	Fjord water with 200 ml/liter 下水を入れたFjordの海水	0	50	0
6	Fjord water with 200 ml/liter 下水を入れたFjordの海水	0	50	0
7	Fjord water with 200 ml/liter 下水を入れたFjordの海水	0	50	0
8	Fjord water with 200 ml/liter 下水を入れたFjordの海水	0	50	0
9	Fjord water with 200 ml/liter 下水を入れたFjordの海水	0	50	0
10	Fjord water with 200 ml/liter 下水を入れたFjordの海水	0	50	0
11	Fjord water with 200 ml/liter 下水を入れたFjordの海水	0	50	0

したがって、このフイユードの汚濁防止は有機物は勿論であるが、栄養塩の除去が必要となるのである。しかし現在の技術では通常 BOD5 は 90%前後除去できるが、磷と窒素はせいぜい 30%であるからである。

4-4 生物濃縮と海岸の汚染 2) 6)

すでに述べたように、柴炭塩の流入によつて植物プランクトンが増殖し、次いでそれを餌とする動物プランクトンが繁殖する。動物プランクトンはイワシやニシン又は大型魚類の稚魚の餌となる。さらにこれらの小魚はサウ、サケ、マグロの大型魚の餌となる。数量的には 10 トンの植物プランクトンは 1 トンの動物プランクトンを、1 トンの動物プランクトンは 100 Kg の動物プランクトンに餌とする小型魚を、そして 100 Kg の小型魚は 10 Kg の大型魚に餌

を積み出すといわれる。²⁾ さらに 10 Kg のマグロやサケを人間が食べたとき 体重の増加になつてあらわれるのは 1 Kg となる。したがって 1 Kg の魚に鉛含有 植物フランクton は 1 ton が必要である。このような過程で 海の生物のあるものは 特有の金属を濃縮する。カキが銅をため 緑カキを生ずることはよく知られている。ホヤは バナジウムを 放散体は ストロントラムを クラゲは 亜鉛と スズと 鉛を 海藻と 海綿は 酸素をたくさん集めてゐる。これらの生物がどうして それぞれの金属を集めるかは まだわかつてゐない。

現在 とくに放射能汚染を扱う場合 この濃縮が 大きな因子となる。濃縮係数とは ある物質の生物中の濃度と 環境水中との比として定義され、生物が代謝によつて 環境と動的平衡を保つてゐるときの分配係数となる。

幸島氏は ^{60}Co , ^{95}Zr , ^{106}Ru , ^{144}Ce の濃縮係数の時間的变化を求めた。

濃縮係数 K_f をつぎのように定義した。

海水側の放射能を 汚染前の濃度を基準とした場合の 濃縮係数は K と定義した。濾過捕集した 全懸濁物による平均濃縮係数の時間的变化を 図-7 に示し、0.45 μ のフィルターによる捕集率の時間的变化を 図-8 に示した。

図-7 懸濁物への ^{60}Co , ^{95}Zr , ^{106}Ru , ^{144}Ce の蓄積

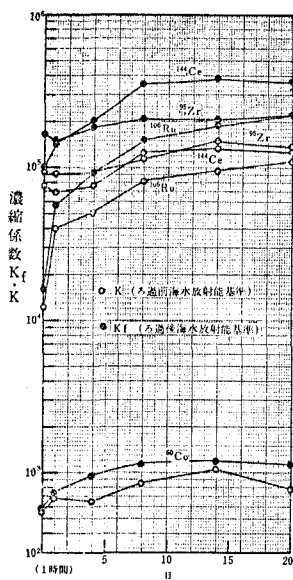
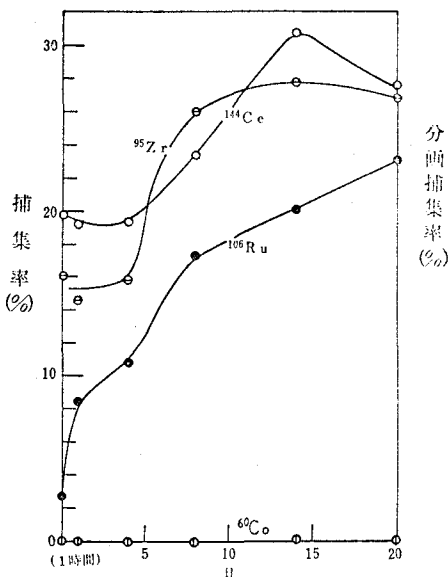


図-8 Millipore filter HA(0.45 μ) による FI 捕集率



$$K_f = \frac{\text{懸濁物乾燥重量あたりの放射能 (cpm/g)}}{\text{最終ろ過海水単位体積あたりの放射能 (cpm/g)}}$$

この実験から、放射性核種は じよじよに蓄積され ^{106}Ru を除けば その量は 8 ~ 12 日で 平衡に達することから。 K_f の値は ^{60}Co は 10^3 , ^{144}Ce , ^{95}Zr , ^{106}Ru は 10^5 の濃縮が行なわれ¹⁰⁾ ている。この実験は主として懸濁物によるこれらの核種の吸着による蓄積と生物濃縮とが組合つたものであるが、半減期が長い核種は 各種文献にあらわれた 濃縮係数を示すと表-10 のようであった。これをみると 11 種の生物にとつても 濃縮係数は $10^2 \sim 10^5$ の高さに達してゐる。¹¹⁾

核分裂生成物のなかで 人体の影響という点で注目すべきものは、寿命の長い核種、例えば ^{90}Sr や ^{137}Cs などである。前者の半減期は前者は 28 年 後者は 30 年である。ストロントラムは 化学的性質が カルシウムに似てゐるので、人体に入るとき 骨の成分として取り込まれる。セリウムは カリウム、ルビジウムなどと同様 人体中では 血液 筋肉のなかに入る。さらに セリウムは、セリウムは 生物の濃縮係数が高いので 注目しなければならぬ。第 1 次冷却水中には 全文

ニッケル、コバルト、クロム、亜鉛、マンガン、タンタル など各種の金属が放射性元素でできる。このうちとくに注目すべきは ^{60}Co である。これは半減期が 5.2年¹²⁾ 他の放射性の金属と比べると 55F の 2.5年 ^{137}Cs の 11.2年に比べて寿命が長く、生物への濃縮係数が高いことである。

しかし食物による汚染の影響は複雑で研究も十分ではない。在界中の民族の食習慣はまちまちでどの食物が着目すべき種であるか正見極めはならない。~~例~~例とは欧米人には肉類への依存が高いことからこれによる汚染が注目されるだろうし、日本人の場合には魚によるものが多いことが知られることである。これを注目すべき食糧 (Critical Food) とは呼ぶ。また人間の生活様式は勿論国ばかりでなく地方、宗教、職業によりまちまちであつて、ある一つの環境汚染に力をつけてとくに被害を受けやすい人間の集団を考へることが出来る。(Critical Human Group)。これは重金属汚染に力をつけて同様のことがみられる。こゝに水俣病に力をつけて若干説明を加えてみよう。

図9は浮田氏による調査結果であつて、少なくとも14年半以上外国に滞在してゐる日本人学生、およびその滞在国の経験中の水銀含有量の測定した結果である。この結果、^{外国に滞在した}日本人およびその家族の人々の測定値は、滞在国の場合の平均値

$1.89 \pm 1.47 \text{ ppm}$ を示し、日本人の平均値 $6.02 \pm 2.88 \text{ ppm}$ の1/8であつた。そこでこれらの留学生は帰国後1.5年から2年目に日本在住の平均値に近づいてくることわかつた。

このことは水銀に関し生活環境、食生活のなかに水銀が外国人よりも多く摂取する傾向が多いことを示してゐる。¹³⁾

土田氏は、市販魚貝類のメチル水銀を分析し表-11の結果を得た。この表から魚貝類でも最高のメチル水銀含有するのはマグロとブリで、その肉中に常に0.5 ppm 前後を示してゐる。¹⁴⁾

一般に魚類にメチル水銀が多いことが、日本人の毛髪メチル水銀と結びつけるとは日本人の食習慣から首肯できよう。

1953年熊本県水俣市周辺におきていふ水俣病が発生した。患者総数111 成人59、小児36 胎児性水俣病22で男68 女43 致命率40%と非常に悲惨な病である。この家庭は漁業とすると60%であり、他の者は魚を多食する食習慣をもつてゐる。症状は四肢末端、口の周囲のしびれ感と初発

表-10 海洋生物の濃縮係数¹⁰⁾

元素	生物	濃縮係数	元素	生物	濃縮係数
Cr	海魚の平均	60-130,000	Zr	海魚の平均	170-2,960
	魚	2-9,000		魚	0.6-600
Mn	海魚の平均	88-42,000	Nb	海魚の平均	0.008-217
	魚	70-126,000		魚	256
Fe	海魚の平均	100-45,000	Ru	海魚の平均	30-1,210
	魚	13-78,000		魚	1-3,200
Co	海魚の平均	120-530,000	I	海魚の平均	0.01-20
	魚	0.66-3,000		魚	140-140,000
Zn	海魚の平均	45-3,700	Cs	海魚の平均	1.3-15
	魚	80-30,000		魚	1.3-240
Ge	海魚の平均	0.03-40,000	Ce	海魚の平均	0.1-72
	魚	1.4-15,500		魚	2-244
Sr	海魚の平均	16-78	Hg	海魚の平均	160-4,500
	魚	8-16		魚	2-1,000
Y	海魚の平均	0.03-1,800	魚	海魚の平均	0.27-611
	魚	0.1-60,000		魚	10-30
魚	海魚の平均	0.03-20	魚	海魚の平均	5,000-8,700
	魚	160-800		魚	1,300-5,300
魚	海魚の平均	12-250	魚	海魚の平均	0.5-10,000
	魚	0.5-10,000		魚	

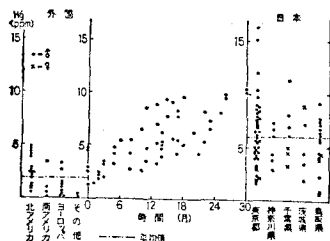


図9 14年半以上外国に長期滞在した後日本に帰国した人の髪中水銀量

表-11 市販魚介類メチル水銀 (湿重量 ppm)

試料	採取場所	Methyl Hg
マグロ	南アメリカ	0.53
"	インド洋	1.21*
"	近海	0.15*
ブリ	日本海	ND
"	"	0.01
ブリ	近海(小田原)	0.53
"	"(紀州)	0.50
オヒョウヒラメ	南アメリカ	0.09
ヒラメ	近海	ND
"	北海	0.06*
タコ	千葉	ND
"	アフリカ	ND
カサリ	広島	ND
アサリ	千葉	ND
モウカザメ(太鰭)	南方	0.30
ムギザメ	近海(伊豆半島)	ND
ムギザメ(細鰭)	"	0.14

*: 乾燥試料からの換算値
ND: non-detectable

症状として 求心性視野狭窄、難聴、言語障害、歩行障害、運動失調、四肢の知覚障害、振戦、軽度の精神障害(患者の70~100%に出現)がみられる。病理は小脳、大脳視聴中枢その他の神経細胞が変性し、胎児性では大きく大脳皮質を占める精薄層となる。

この水銀中毒は、4ワリ水俣工場の一部で操業していたアセチレン法によるアセトアルデヒド合成工程からのものである。図-10は上田氏らが新島新井の同種工場の調査結果を示したものである。(14)

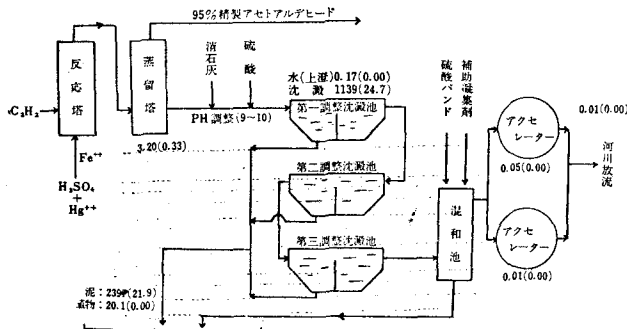
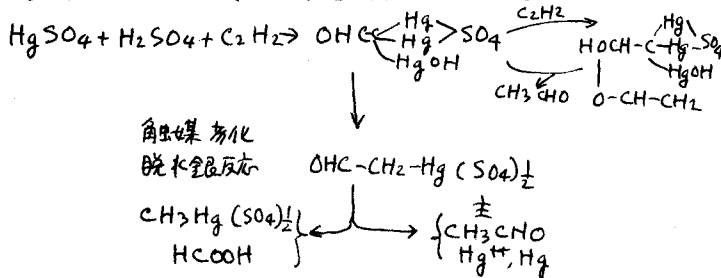


図-10 操業中の成るアルデヒド工場の排水工程図および水銀量
数字は局所の総水銀量 (ppm) () 内はメチル水銀 (ppm)

このプロセスは、カーバイドからアセチレンを発生させ、触媒として硫酸水銀を含む硫酸中に吹き込むと合成される。その反応はつぎのようであるといわれる。(15)



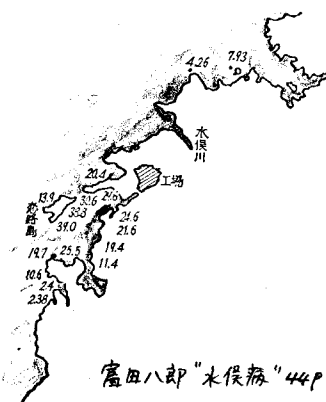
この反応は、はじめ会社側が無機水銀から有機水銀が生成するはずがないと反論したが、熊本入鹿山村は反応塔のストリッパからメチル水銀の結晶をとり出し、最近瀬田、喜多村がこの反応をつきとめたのである。

患者の水銀は、発病以来のもの281~750 ppmも毛髪中にあり、入院後2.5~39.2 ppmに下がる。

しかし100~200 ppmでも無症状でもその乳児が胎児性水俣病が発見された。

患者臓器中では肝臓22~20.5

図-11 水俣地区ヒバリガイモドキ
水銀含有量(乾燥量当りP.P.m)



富田八郎「水俣病」44p

表-12 魚貝類の水銀量(湿重量 P.P.m 但() 中は乾燥 P.P.m)

水俣地区のもの			八代湾(不知火湾)地区のもの			対照地区のもの		
漁獲地	魚貝類名	Hg PPM	漁獲地	魚貝類名	Hg PPM	魚貝類名	Hg PPM	
水俣湾	このしろ	1.62	計 石	すずき	ミ△	うばが	い	(1.1)
	かたぐい	0.27		肝△	52.3		つ	0.3
	こがに	35.7		胆△	7.1		を	(1.76)
	カラミ	23.9		皮△	10.3		肝	1.94
	かき	5.61	芦田 北浦	ぼら(半乾)	3.0	このしろ	ミ△	0.33
	海藻	0.98		ぼら(半乾)	3.36		ワタミ	0.18
	いしもち	14.9		ぼら	0.03		たい	0.16
	いしもち	8.4		ぼら	0.44		ワタ	0.17
水俣川河口	すずき	16.6	津奈木	ぼら(半乾)	0.06	あじ	ミ△	0.07
	あさり	20.0		ぼら	0.3		ワタミ	0.24
	ちぬ	24.1		ぼら	3.6		さんま	0.04
	ワタミ	26.3		ぼら	3.28		ワタ	0.12
	さくら	8.72	糖ノ島	ぐち	7.5	きびな	ミ△	0.04
	ワタミ	15.3		ぐち	3.63		いし	0.10
	かに	14.0		ぐち	3.64		ワタミ	0.05
	ぼら	10.6		ぐち	1.09		あさ	0.1
	すじてんじく△	19.0	八代	ぐち	4.56	はまぐり	ミ△	0.08
				ぐち	4.82		いし	(0.05)
				ぐち	11.2		きわ	(0.25)
				ぐち	13.4		いし	(0.04)
△印は弱って浮いていた魚			八代	ぼら	0.04	あは	ミ△	(0.01)
				ぼら	0.09		は	(0.03)
				ぼら			た	(0.25)
				ぼら			た	(0.29)

富田八郎「水俣病」44p.

腎 22-144, 脳 2-25 ppm がみられ 他の数種のもの、数十倍から数百倍に達している。

当時の汚染産物中の分析の一例を 表-12 に示したごとくであつて、いしもち 14.9, このし 1.62, その他 10 ppm を超えるものが多い。アルキル水銀は、魚肉に高く含まれることが一つの特徴である。

固定生棲のヒバリガイモドキの水銀含有量は 図-11 に示すごとく、工場と汚染の関係は明らかである。

1960年1月水俣工場廃水処理施設が完成し、1963年には水俣湾内貝中の水銀は 10 ppm になり 最大位の 1/10 となつてゐる。廃水処理の結果が明らかであらう。

1964年 新潟県阿賀野川河口付近に水俣病が発生し 患者 26 (男 23, 女 3, 胎児性 1) が発生した。このため死と 5 がみられる。

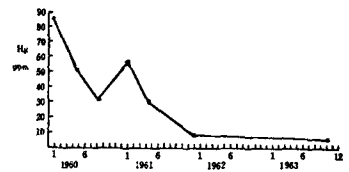
この新潟水俣病については、工場廃水説と農薬説が相対した。これにおする解析は 中井、上田両氏によつて行なわれたい。

すなわち、上田氏は当時の既産鹿瀬工場の排水口付近の苔のなかには X 4 水銀がみられたこと、また食物連鎖からみれば水銀が下流に向き希釈されることは存し、最上流部にも毛鱗科の水銀の高い者がみられることなどから工場廃水説の正否性を論じ、中井氏も同様の意見をもて農薬がその原因となりかたりに示してゐる。(4)(5) 図-11 は中井氏が整理したものである。

このように生物濃縮を考へる場合には、

廃水処理に十分な検討が必要となる。したがつて 重金属汚染に ついて 放射性廃棄物と同様の監視が必要となる。三宅泰雄氏の著書から放射性廃棄物の「管理と監視」についての項目を引用するところがある。――放射性廃棄物の沿岸放流について どの核種について 1ヶ月何キユリー以下というように 放出率の許可基準を定めることができる。この基準を「ラインス・ケー・U」では Derived working limit DWL と呼んでゐる。DWL は 場所により 施設の種別、廃物の種別、人口構

図-12 水俣湾月の満ちの貝中の水銀含有量



出典 図-11に同じ p. 369

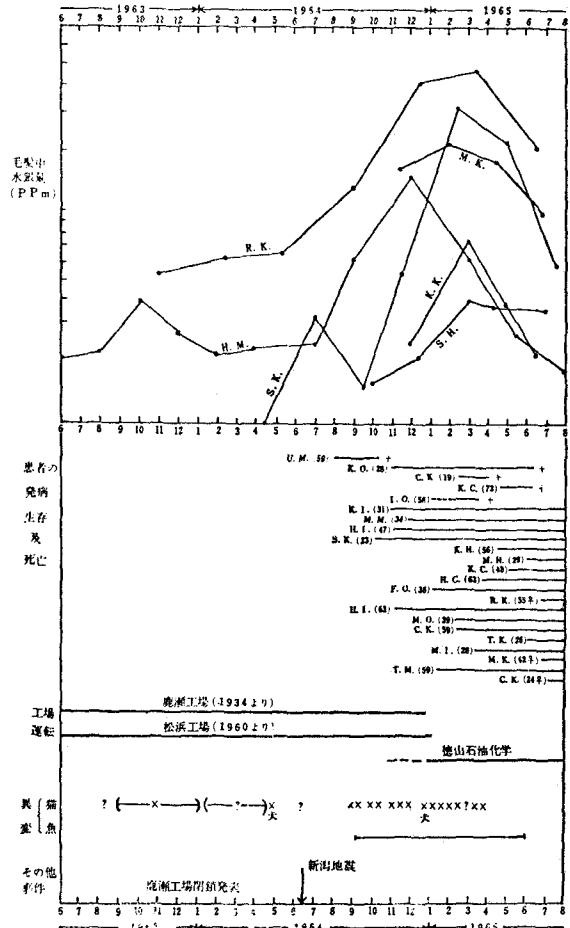


図-13 水俣病の発症の時間的分布 (中井)

患者の半死は死亡、○は典型的水俣病症状、△は疑症、毛髪中水銀濃度は

出典 図-11に同じ p. 464

成などにより異なる他である。DWLが定められたのち、じつさらに廃液を放流するまでには、パイプラインから染料を流して拡散の状況をしらべたり DWLをはるかに下まわる放射性廃液を流して試験をくりかえし、経験をかさねたのちに本格的な操業に入る。

本格的な操業に入ったのちは、管理と監視が行なわれねばならない。すなわち、廃液の放流が許可基準にかなっているかどうか、また問題となる生物などの放射能が一定の基準以下になっているかどうかを調べ、もし基準をこえるときは、一時廃液の放出率を下げるなどの処置をとる。これは、企業自身が行なうことである。監視するためには、とうぜん各種の測定が必要であり、このような定例業務として、企業のおこなう測定を「企業モニタリング」という。ここで監視というのは、地域住民や地域産業に放射能の影響から安全にまもるため「見張り」することである。「見張り」の役目は、企業者がするのではなく、企業とは独立の公平な第三者がおこなうものである。Critical Foodの放射能や漁獲の線量などを計り見張りの材料にする。これを「第三者モニタリング」という。⁽¹²⁾

こゝで述べられたことは、海洋汚染のモニターに適用しうるのであつて、我が国でのこの面のおくれが大きい。これは、未だに自然に対する過信と無視のあらわれでしかないと思ふ。

5 海洋の拡散

いままでのべた11くつきの問題があるとしても、下水または下水汚泥の海洋処分は、沿岸都市においてかなり実施または計画されている。例えば、米国において Los Angeles, Seattle, New York, 英国の London, ドイツの Hamburg, オランダの Haag 等がみられる。⁽¹³⁾ 日本においても、昭和42年度建設省の調査によれば、下水汚泥の処分法のうち、158例のうち、海洋還元9例(6%)、埋立297例(62%)、土壌改良材(30例(19%))その他22例(13%)である。これよりみれば、海洋還元は9例というのは、比較的少ないといえそうである。⁽¹⁴⁾ (しかし、下水道の普及が進むにつれ、汚泥処分の問題は、技術的に可能であれば、海洋処分の方に進むと考へられる。汚泥の海洋処分の特徴をあげると、1) 処理場からの汚泥の除去が完全である。2) 海洋処分は比較的安上がりである。3) 汚泥を消化すれば、海洋処分による悪影響は比較的少ない。4) 汚泥消化設備を設けることは、海洋処分は弾力性を与える。

一般的に、汚泥の海洋処分は、下水処理の有効性を減ずるが、これは受水の利用を授けようとする変態な、感知しうる悪影響を除くことによつてまげう。しかし、長期間の海域に対する影響が不明なので、監視体制の確立が必要である。Orange Countyにおける放流管をもつ Californiaの技術者、研究者らは、つぎのような研究を行なうことを提案している。

1) 放流口付近の物理、化学、生物学的因子の詳細な調査、2) 海水中のバクテリアの生存に関する調査、3) 海水-汚泥混合水の拡散に対する月と波の影響、4) 海水浴に対する水質基準の評価、5) 汚泥処分における「グリーンス・おまい」大腸菌の意義の5項目である。このうちの、あるものはかなり研究が進んでいるものもあるが、当然のことであるが、生物学、地質学、および海洋学的立場から、処分区域の水利用と関し、処分する前に十分調査しておくことが必要である。⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾

5-1 処分方法の経済比較²⁾

汚泥処理に 海洋処分を行なうかどうかは、大きく 経済性によって支配される。こゝに 米国、英国のいくつかの例を参考に掲げることにする。ただ 処理量は 地域の気候条件 が大きく左右されるので、ある場所での 最良の方法が こゝでも 最良の方法とは限りなり。

表-13, 14 から明らかなように、海洋処分は 安い処分方法である。

一般的に 海洋処分は 海洋に近い都市で 汚泥処分の一番安い方法である。放流管を使つての処分は もし管の距離を長くする必要があれば 海洋投棄より安い。

資本費および運転費は 放流管による処分では 固型物 1t あたり 4500 円以下であり、海洋投棄であれば 1t あたり 450 ~ 2500 円と報告されている。

表-13 英国住宅自治会での経済比較(1954)

処理・処分方法	処分費 (円/t)
生混合汚泥のラグーン処理	3.15
消化混合汚泥の液状散布	8.00
生初沈汚泥のはしけによる海洋投棄	8.40
消化混合汚泥の風乾 (含水率 65% まで)	8.84
生汚泥の埋立処分	10.10
生混合汚泥の風乾 (含水率 65% まで)	10.10
生初沈汚泥の 圧縮 (含水率 60% まで)	11.15
生初沈汚泥の加圧圧縮と加熱乾燥	19.75
消化混合汚泥の風乾 (含水率 15%) と造粒、袋詰め	22.30
生初沈汚泥からの グリッス回収	31.15
消化水汚初沈汚泥の加圧圧縮、加熱乾燥 (含水率 35%) と造粒、パウダー売り	32.60

注 1, 混合汚泥とは 初沈汚泥と生物処理汚泥の混合物を示す

2, 現在では分賃、設備費など 約 50% 低減している。

表-14 Baltimore, Washington D.C., Philadelphia での経済比較

処分方法	処分費 (資本費 + 運転費) 円/t 固型物	
	平均	範囲
コンポスト	—	—
加熱乾燥	50	40 ~ 55
流式 焼却	42	—
多段炉、流動床炉での焼却	30	10 ~ 50
脱水汚泥の埋立	25	10 ~ 50
土壌改良材としての処分 (脱水汚泥)	25	10 ~ 50
土壌改良材としての処分 (液状のみ)	15	8 ~ 50
ラグーン処分	12	6 ~ 25
はしけによる海洋投棄	12	5 ~ 25
地下への圧入	—	—
管路による海中放流	11	—

* 汚泥の売却収入を差し引いた総費用

5-2 海洋での拡散

海洋での拡散は 大きく二つの拡散現象に分けられる。

その一つは、浮力によって海底から 廃水が比重差によって上昇するときに行なわれる 拡散で、重力拡散という。

水面に流れた 廃水が海流によって 拡散しながら流れる。この拡散は乱流によって 拡散されるので、乱流拡散といわれる。

1) 重力拡散

重力拡散は密度の大きい海水中に密度の小さい廃水が放流される場合、浮力および慣性力によって起る拡散である。

Rawlinson は重力拡散による希釈に関する独立の変数として次の6変数を考へた。

H : 放流口の水深 D : 放流口の管径 u_0 : 放流水の流速

g' : 見かけの重力による加速度で

$$g' = \frac{\rho_s - \rho_0}{\rho_0} g$$

ρ_s : 海水の密度 (1.020 ~ 1.030, ρ_0 : 放流水の密度

1.00 g : 重力による加速度 ν : 放流水の動粘性係数

S_v : 希釈倍率

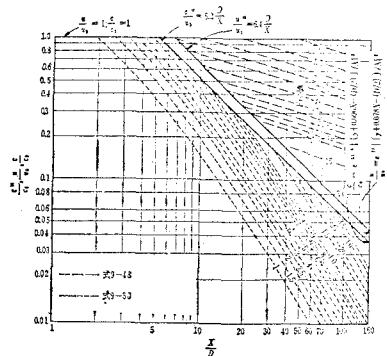


図-1-2 重力拡散の場合の計算図

この6変数は時間と長さの二つの基本量から成つてゐる。π定理によつて現象は四つの無次元量の関数で表わされる。その4つとして、 S_v , H/D , $Fr = u_0 / \sqrt{g'D}$, $Re = u_0 D / \nu$ とする。希釈倍率はしたがつて2次式で与えられる。Rawlinsonの研究によれば $Re = 5000 \sim 4000$ のとき S_v は Re に無関係

$$S_v = f(H/D, Fr)$$

Abraham²²⁾ はフルード数が大きいと慣性力が支配的となり、フルード数が小さいと浮力が支配的となることを明らかにし、放流口が上向きするとき2次式を提案した。

I 慣性力が支配的な場合 $Fr \rightarrow \infty$

a 流水の確立する領域

流速に ついては $z/D < 6.4$ 、濃度について $z/D < 5.2$

1. 流速

$$y < D/2 - 0.078z \text{ では } u/u_0 = 1$$

$$y > D/2 - 0.078z \text{ では}$$

$$u/u_0 = \exp \{ -77(y + 0.078z - D/2)^2 / z^2 \}$$

2. 濃度

$$y < D/2 - 0.096z \text{ では } c/c_0 = 1$$

$$y > D/2 - 0.096z \text{ では}$$

$$c/c_0 = \exp \{ -62(y + 0.096z - D/2)^2 / z^2 \}$$

b 流水の確立した領域

流速について $z/D > 6.4$ 、濃度について $z/D > 5.2$

1. 流速

$$u/u_0 = 6.4 D/z$$

$$u/u_m = \exp \{ -77(y/z)^2 \}$$

2. 濃度

$$c/c_m = \exp \{ -62(y/z)^2 \}$$

$$C_m/C_0 = 5.2 D/z$$

II 浮力が支配的な場合 $Fr \rightarrow 0$

1. 流速

$$u/u_m = \exp \{ -80(y/z)^2 \}$$

$$u_m/u_0 = 3.65 Fr^{-2/3} (z/D + 2)^{-1/3}$$

2. 濃度

$$c/c_m = \exp \{ -80(y/z)^2 \}$$

$$C_m/C_0 = 9.7 Fr^{2/3} (z/D + 2)^{-5/3}$$

III 中間の場合 Fr は10以上の適当な値

1. 流速

$$(zt/D)^2 = 9.54 Fr^2 \frac{\int_0^{zt} dz \int_0^\infty 2\pi y (\rho_s - \rho_0) dy}{u_0^2 (D/2)}$$

を満足する zt は1層の厚さではIの1, 2, 3を用いる。IIの1を用いる。

2. 濃度

$$(zt/D)^2 = 5.95 Fr^2$$

を満足する zt は1層の厚さではIの2, 3, 4を用いる。IIの2を用いる。

記号は y : 噴流軸からの水平距離, z :

z : 放流口からの垂直距離, D : 放流口直径 u : 任意点の流速, u_m : 噴流軸上の流速 u_0 : 放流口での流速 c : 任意点の濃度, 密度比で定義される。 $c = (p - p_s) / (p_0 - p_s)$ c_m : 噴流軸上での c C : 噴流口での c , p : 任意点の密度 p_0 : 放流水の密度 p_s : 海水の密度 $Fr = u_0 / \sqrt{(p_s - p_0) / \rho_0}$ gD
 Abraham によれば一般的に II の 1, 2 式 ' 浮力が卓越する場合' がよく現象と一致することを実験から示した。夏期の日本のように 水面が暖められ 温度成層をなす場合 廃水は密度躍層より上には拡散しない。Hunt²³⁾は 垂直方向に海水の密度差のある場合につき実験を行ない, 成層した場合の 重力拡散の式を提案し また Abraham は 半理論的にこの問題を取り扱い 廃水の上昇限界と 拡散による 流速と濃度の式を提案している。²⁵⁾¹⁶⁾ ²⁴⁾ 日野は 成層流体中の噴流を取り扱った論文を発表している。

2) 乱流拡散²⁷⁾

海流にのって拡散していく場合 乱流によって支配されるので, この名前がつけられる。局所等方性が成立する海域では 拡散係数は スケール L の $4/3$ 乗に比例することが知られている。一方局所等方性が満たされない比較的小規模海域の拡散についても実験や理論的考察が行われている。

海域における拡散は 一般に次式によって表される。

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u_x \frac{\partial c}{\partial x} + u_y \frac{\partial c}{\partial y} + u_z \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} (E_x \frac{\partial c}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (E_y \frac{\partial c}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (E_z \frac{\partial c}{\partial z}) - Kc$$

ここで c : 物質の濃度 t : 時間, x, y, z : 三方向の座標, u_x, u_y, u_z : x, y, z 方向の流速 E_x, E_y, E_z : x, y, z 方向の拡散係数 K : 吸着, 沈殿, 自己減衰などによる減衰係数

x 方向を平均流の方向にとり, y を横方向 z を水深方向とすれば, x 方向に比べ y, z 方向の流速を無視し, 拡散も z 方向はなれしと無視すれば上式はつぎのようになる。

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} = E_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + E_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - Kc$$

(i) $K \rightarrow 0$ とし, $t=0, x=y=0$ で 表面から深さ z まで M なる物質が投入されると仮定すると 拡散式はつぎのように積分できる。

$$c = \frac{M}{4\pi z \sqrt{E_x E_y}} \exp - \left[\frac{(x - ut)^2}{4 E_x t} + \frac{y^2}{4 E_y t} \right]$$

海域においては 拡散係数を constant と仮定することには無理があり, 局所等方性が成立するところでは 拡散係数はスケールの $4/3$ 乗則に比例する。Pearson によって整理された結果を示すと 図-13 のようである。おなれち

$$E = 0.01 L^{4/3}$$

ここで E は 拡散係数 cm^2/sec , L は 現象のスケール cm

Brooks は ① 拡散係数 E はスケール L のみの関数である ② 水深方向の拡散は横方向の拡散に比して無視できる ③ 平均流の方向の拡散も横方向も無視できる ④ 定常流であるとの仮定のもとに ①② 式を簡略化して 計算式をもとめた。

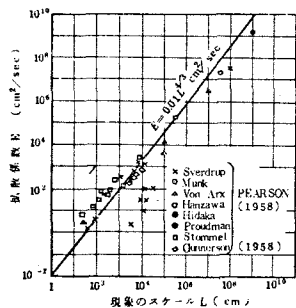


図-13 拡散係数とスケール

基本式はしたがつてつぎのようになる。

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(-E \frac{\partial c}{\partial y} \right) + u \frac{\partial c}{\partial x} + Kc = 0$$

Brooks は拡散係数が一定、つまり、1 葉に比例する場合についてとした。その結果を表-15 および図-14, 15 に示す。 $\beta = 12 E_0 / U b$

拡散が 慣性領域に

あるうすに比して大きい
うすに支配されると
きは L のべきは 0
となり 常数となる。

連続が 28) 昭和 4
3 年の木更津沖におり
2 ランコンを投入し
て 拡散実験により求

めた結果 拡散係数はスケ
ールの 5/4 から 1 葉に比例す
る結果をえた。30)

比較的浅い所で 4/3 葉則が
適用できなところでは 水深
50 m 以下とわかれ。30)

最近 臨海コンピナート前
面 海域での拡散調査が行
なわねようになり、11 かつ

かの資料が蓄積されつゝある。参考のために表-16 に示しておく。最近 海面における 拡散
現象に 数値実験にもとめる方法
29) 30) 32) 33)

が発表され、また 東京湾の水理
模型などを用いた解析が行なわ
れはじめ。紙数の関係で 2"
割愛する。

6. あとがき

本文は 海洋汚染について一般的
なことをまとめるようにとのこと
非常に短い期間にまとめたので十分
な検討もなく、十分の意を盡しな
い所も多し。思ひ違ひや誤りがある
かも知れないうが 御寛容を祈ります。

表-15. 拡散係数による希釈率の計算式

		拡散中(L)と距離(X)	希釈率と流下距離の関係
拡散係数一定	$\frac{E}{E_0} = 1$	$\frac{L}{b} = \left(1 + 2\beta \frac{x}{b}\right)^{\frac{1}{2}}$	$\frac{C_{max}}{C_0} = e^{-kt} \operatorname{erf} \sqrt{\frac{3}{4\beta x/b}}$
拡散係数がスケ ールに一次比例	$\frac{E}{E_0} = \frac{L}{b}$	$\frac{L}{b} = \left(1 + \beta \frac{x}{b}\right)$	$\frac{C_{max}}{C_0} = e^{-kt} \operatorname{erf} \sqrt{\frac{3/2}{(1+\beta \frac{x}{b})^2 - 1}}$
拡散係数がスケ ールの 5/4 葉に比例	$\frac{E}{E_0} = \left(\frac{L}{b}\right)^{5/4}$	$\frac{L}{b} = \left(1 + \frac{2\beta}{3} \frac{x}{b}\right)^{3/2}$	$\frac{C_{max}}{C_0} = e^{-kt} \operatorname{erf} \sqrt{\frac{3/2}{(1+\frac{2\beta}{3} \frac{x}{b})^3 - 1}}$

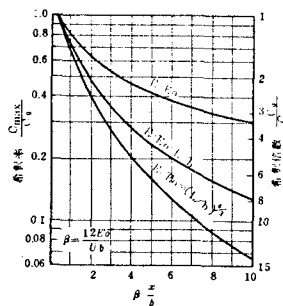


図-15 希釈率を要する計算図

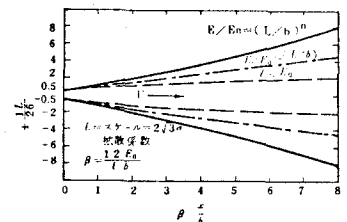


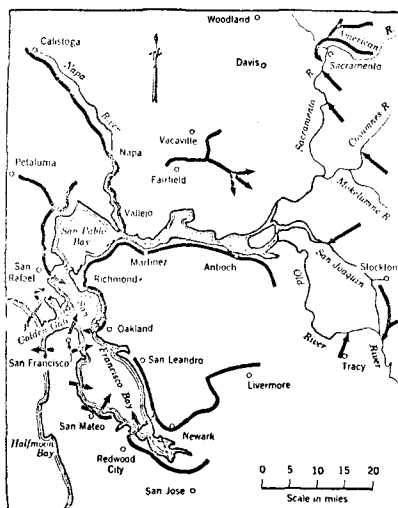
図-14 乱流拡散における拡散状況図

参考文献

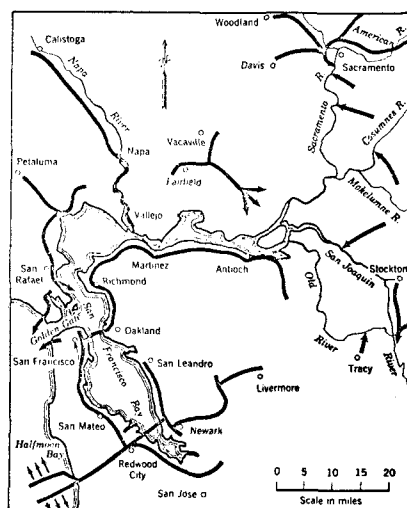
- 1) 第2回国際水質汚濁研究会議 東京大会報告 昭和40年3月 土木学会
- 2) 星野通平 大平洋の科学 NHKブックス96 昭和44年9月
- 3) 杉本昭典 水質汚濁と大気汚染 土木学会誌 昭和42年7月
- 4) 水産用水基準 1965 水産資源保護協会
- 5) 用水廃水便覧 1964 丸章
- 6) 宇田道隆 海 岩波新書 昭和44年11月
- 7) 西條八束 湖沼調査法 古今書院 昭和32年4月
- 8) 下水汚泥の処理、処分および利用に関する報告書 昭和43年度 土木学会
- 9) Kjell Baalsrud ; Influence of Nutrient Concentrations of Primary Production
Olson, T.A., Burgess, F.T. Pollution and Marine Ecology, Interscience Publishers, 1967
- 10) 微量金属汚染研究班 「食物連鎖過程における微量金属の挙動に関する研究, 昭和43年度
公害調査研究委託費報告書, 厚生省
- 11) 宇井, 清水, 三宅, 山根 「環境の汚染 - 廃水の希釈と生体濃縮」 科学 Vol.38, No.12, 1968
- 12) 三宅泰雄 放射性廃棄物の海洋処分 向坊 隆編 「原子力と安全性, 新日新聞社
昭和45年2月
- 13) 浮田忠之進 毛髪および赤血球に蓄積された水銀化合物 日本医師会雑誌 61巻9号
昭和44年5月 「昭和44年1月
- 14) 上田喜一, 青木34 「重金属による水質汚染と中毒, 水俣病, イタイイタイ病」 廣田医学46巻1号
- 15) 宇井純, 喜田村 正次 「水俣病の発生工学的解析」 土木学会論文報告集 164号 1969年4月
- 16) 上田喜一 阿賀野川水銀中毒事件の論争集 日本公衆衛生学会誌 15巻6号, 昭和43年6月
- 17) 富田八郎 水俣病 水俣病研究会資料 昭和44年10月 「昭和45年2月
- 18) たとえば 鶴見俊一 第4回国際水質汚濁研究会議の参加報告 下水協会誌 Vol.7 No.69
- 19) An Investigation on the Fate of Organic and Inorganic Wastes Discharged into the
Marine Environment and Their Effects on Biological Productivity, State of California
Pub 29, 1965
- 20) An Investigation of Efficiency of Submarine Outfall of Sewage and Sludge
California Water Pollution Control Board Pub.No.14, 1956
- 21) U.S. Department of Interior "A Study of Sludge Handling and Disposal" WP-20-K
- 22) Abraham, G. Jet Diffusion in liquid of Greater Density. Proc. ASCE
Vol 86, HY 6, 1960
- 23) Hart, W.E. ; Jet Discharge in to a Fluid with a Density Gradient
Proc. of A.S.C.E. Vol 86, HY 6 1961
- 24) 日野 幹雄 ; Forced Plumes in a Stably Stratified Fluid
土木学会論文集 第86号 B237
- 25) Abraham G. ; Entrainment Principle and its Restrictions to solve

Problems of Jets, Jour. of Hydraulic Research Vol.3, No.2, 1965

- 26) Abraham G. ; Jet Issuing into Fluid with a Density Gradient.
Jour of Hydraulic Research, Vol.7 no.2 1969
- 27) Brooks N.H. ; Diffusion of Sewage Effluent in an Ocean Current, Waste Disposal in the marine environment, Pergamon Press, London 1960
- 28) 堀口孝男, 石塚修次, 横田基紀 ; 湾内における物質の拡散——東京湾の場合—— 才15
回海岸工学講演会講演集, 1968
- 29) 堀口孝男 ; 汚染物質拡散の数値解法について, 才16回海岸工学講演会講演集, 1969
- 30) 堀口孝男, 石塚修次, 横田基紀 ; 湾内における物質の拡散 全上
- 31) 江村高男, 鬼塚正光, 太田一之 ; 水理模型による拡散の研究(2) - 東京湾の流況について
の二、三の考察 全上
- 32) 和田明 ; 成層潮汐モデルによる工業用水取廃水問題の展開 全上
- 33) 和田明 ; 火力、原子力発電所の冷却水放流による熱拡散機構の理論的検討 電力中央
研究所 技術研究所 技術研究所報告 No 67074 1967年2月
- 34) Hansen J.C, Bonde G.T. "Microbiological Determination of Mercury in
Trace-Amount" Revue Internationale D'Océanographie Médicale Tome
XV-XVI, 1969



(1) 1970-80年に提案された下水計画



(2) 1980-90年に提案された下水計画

サンフランシスコ湾水保全計画