

伊万里湾福島北東部の真珠養殖 漁場の汚染について

飯塚 昭二・藤田 雄二・銭谷 武平・入江 春彦

Contamination of Pearl Farm in Imari Bay

Shoji IIZUKA, Yuji FUJITA, Buhei ZENITANI and Haruhiko IRIE

Abstract

The present paper deals with the contamination caused by the pigsty sewage in the northeastern waters of Fukushima I. in Imari Bay in northwestern Kyushu.

The sewage consists of excrements, remainder of pig-foods and a large amount of water used for washing of the pigsties. The solid matters in the sewage are deposited soon after being brought to the sea and directly and strongly contaminate the bottom of the surrounding sea. In the area that extends 20 to 25 meters in distance from the drainage, anaerobic decomposition proceeds vigorously with nasty smell and there exist no benthos. The particles left over from deposition and the dissolved matters in the sewage run off along with the movements of the surface water and contaminate a larger area indirectly. It was shown from the results of the current surveys by current-drags and "sea-markers" that the surface water in the area concerned moves counterclockwise and run off mostly along the coast **I** (cf. Fig. 1). Therefore, it is anticipated that the sewage also take the same course as the "sea-markers" shown in Fig. 6 and attain to the area **B** passing the area **A**. The propriety of such anticipation was confirmed by the microbial surveys which showed a tendency that the coliform bacteria accumulate temporarily at station 4 (cf. Table 2). The area **C** where many pearl rafts are set up, is not contaminated yet and it is considered that this is due to the *zostera*-zone which has flourished on the boundary between the areas **A** and **C** and which probably plays the role of barrier to keep the area from contamination.

1 緒 言

臨海区域にある豚舎からの排水による沿岸養殖漁場の汚染は業者の苦慮する問題であり、その処置取扱い方の如何は関係業者がひとしく注目するところである。伊万里湾内の福島北東部水域でも同様な漁場汚染が問題とされるに至ったので、著者らは諸調査を行ない、以下の結果を得た。ここに若干の論議と考察とをつけ加えて報告する。

調査に際し、種々の便宜と積極的な協力を与えられた有限会社高島真珠養殖所の関係諸氏に深く感謝の意を表する。

II 現地の概況 (Fig. 1 *1)

(1) 豚舎(収容数約400頭)から排出される汚水は排泄物・飼料残滓物および豚舎水洗に使用した大量の淡水からなる混合液で、色調は乳褐色を呈し、かつ著しい臭気を発し、1回30分間を限度として1日数回排出される。

(2) 排水中の固形物の大部分は、海域に出た後ただちに沈下堆積する傾向があり、排水口②付近の汀線に最も多量に蓄積されている。

(3) 汚水は大量の淡水で希釈されているために、海水よりも比重が小さく、海面上を薄くおおいながら、海岸線Iに平行して南流する傾向がある。その巾は約5mの带状で、先端部は視覚的には排水口から約50mのところまで消失する。

(4) 海岸線Iの高潮線には飼料残滓が多量に堆積して居り、その下層部はやや黒化している。また水域Aの干出域の海底には多数の大小の凹所があるが、それらの凹所にも残滓の堆積が見られる。

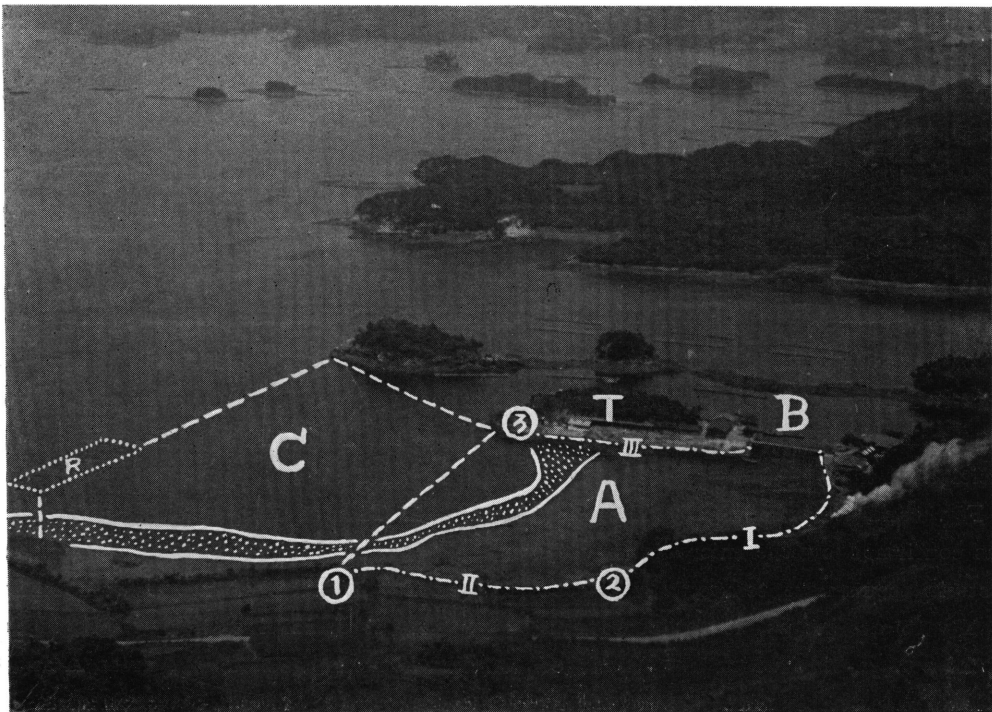


Fig. 1 Bird's-eye view of the region where the surveys were carried out

① & ③ : Positions where the current drags were pursued

② : Drainage

I, II & III : Coastal line

A, B & C : Area

R : Pearl raft

T : Islet

Dotted area : Zostera zone

*1 以下文中に出て来る場所を示す符号についてはすべて Fig. 1 (写真) を参照のこと。

Ⅲ 実施した調査項目

(1) まず、海流板の放流追跡によって対象水域^{*2}の流動状況をしらべた。調査範囲は現況で見られる汚水の流出区域から考慮して水域 **A** および **C** に限定することとした。またこの対象水域が、福島の鯛ノ鼻・里・靱ノ浦などにかこまれる弁天島・竹ノ子島・大通瀬・南瀬・イロハ島・兄弟瀬・大瀬などの島々を含む福島北東部水域 (Fig. 2-B) の中で海洋学的にどのように位置づけられているかを検討するために高低潮時の水温分布を比較検討した。

(2) さらに、豚舎排水による対象水域の汚染の程度を知るために、哺乳動物の消化管内常在細菌であり、かつ汚染判定の指標にされる大腸菌群の菌数をもとに汚染調査を行なった。またあわせて飼料残滓などとともに流入する可溶性有機物およびこれらの腐敗により、また尿尿とともにもたらされるアンモニア量を測定した。

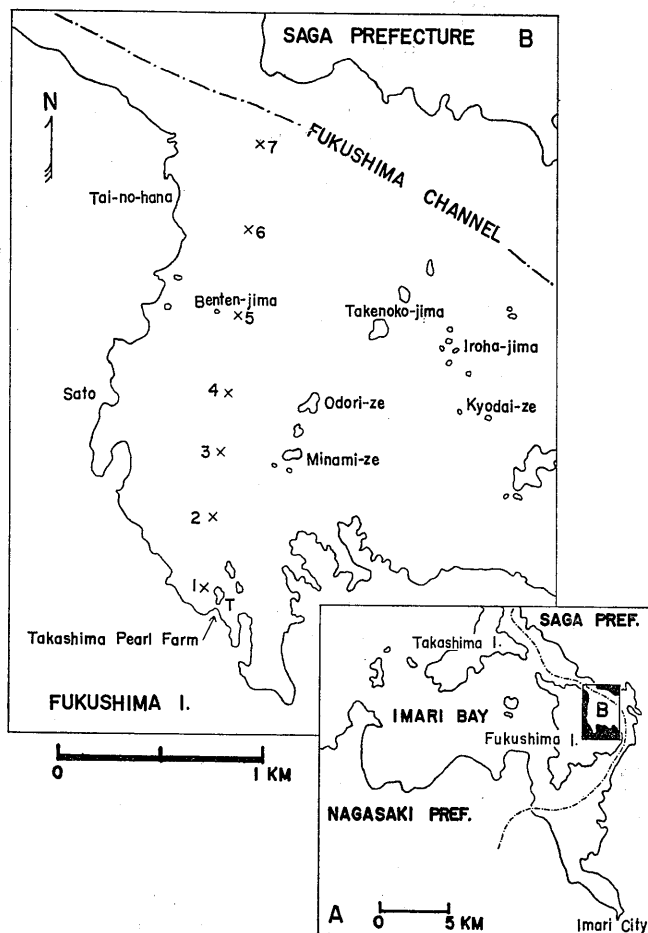


Fig. 2 Maps of Imari Bay and the northeastern waters of Fukushima I. with the oceanographic stations

*2 対象水域とは本報告では特に断らない限り **A** および **C** の両水域を指すものとする。

IV 対象水域の流動調査

調査は1967年5月23日（大潮）の8時から18時の間に行なった。陸上に追跡観測基準点として2点（①および③）を設け、①と筏Rとのほぼ中間点を放流点とし、潮時によって水面下1.5~0.5mの範囲に調整した海流板を30分毎に放流してその流路を追跡し、30分毎に位置

Table 1 Result of current survey : Transfer-distance and direction

Time Drag no.	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00
1	Re- lease	▲41.1 m	▲66.2 m								
2		Re- lease	▲26.7 m	▲48.0 m	▲38.9 m						
3			Re- lease	▲47.1 m	▲34.8 m						
4				Re- lease	▲27.6 m	0	0				
5					Re- lease	W10.3 m	W 3.5 m	△13.5 m	△18.8 m	△27.9 m	△26.1 m
6						Re- lease	△ 5.9 m	△21.6 m	△ 7.2 m	△ 7.2 m	
7								Re- lease	△57.4 m	△48.6 m	
8									Re- lease	△88.2 m	
9										Re- lease	
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
Total		41.1	92.9	95.1	101.3	10.3	9.4	35.1	26.0	92.5	162.9
Average velocity m/30min.		41.1	46.5	47.6	33.8	5.2	3.1	12.6	13.0	30.8	54.3
Average velocity cm/sec.		2.28	2.58	2.64	1.88	0.29	0.17	0.70	0.72	1.71	3.03

Remarks : ▲ — Directed to the offing
 W — Inclined to the west
 △ — Directed to the innermost of the bay
 E — Inclined to the east

Example : 38.9m of drag no. 2 at 10:00 indicates the
 the drag was transferred in 1/2 hour from 9:30

を記録し、記録にもとづいて30分間の流向と流去距離を求め Table 1 にその結果をとりまとめた。

Table 1 によれば、

(1) この日の憩流時はおおむね11時および17時で、それぞれ高・低潮時の2~2.5時間後に見られた。日中の強流時は13時で、憩流時の約2時間後に起り、この時の平均流速は3.0 cm/sec.

of the current-drag at each designated time

13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00
E52.7 m									
△36.1 m	△30.1 m	△23.5 m							
Re- lease	△45.8 m	△68.7 m							
	Re- lease	E15.4 m	△51.1 m	△49.3 m	△27.9 m				
		Re- lease	△22.6 m	△13.5 m	△17.9 m	△32.9 m			
			Re- lease	E15.7 m	E11.6 m	△24.5 m	△11.9 m	△24.8 m	W28.9 m
				Re- lease	△16.3 m	E19.4 m	W 5.6 m	▲26.4 m	▲15.4 m
						Re- lease	E21.0 m	▲11.9 m	▲13.8 m
							Re- lease	△ 9.4 m	▲24.5 m
88.8	75.9	107.6	73.7	78.5	73.7	76.8	38.5	72.5	82.6
44.4	38.0	35.9	36.9	26.2	18.4	25.6	12.8	18.1	20.6
2.47	2.11	1.99	2.05	1.46	1.02	1.42	0.71	1.01	1.14

Total
average



1.57 cm/sec.

distance in the direction of the offing that
to 10:00.

であるが、最大値は 4.9cm/sec. を記録した。

(2) 高潮時をはさむ憩流時の間では、潮は原則的には北沖合方向に向って流出し、反対に低潮時をはさむ憩流時の間では南陸岸方向に向って押寄せる。その傾向に加えて、高潮時の後の憩流時直前に約30分間潮が西偏する傾向があり、場所によっては全く西流することもある。また強流時から低潮を経て次の憩流時までの約4時間は、潮は南の陸岸方向に押寄せる傾向に加えて、東偏する傾向が強くあらわれる。したがって、この間では場所によっては東流を生ずる。

以上より、西偏傾向を示す時間は約30分間であり、しかもこの時は流速も小さいのに対し、東偏傾向を示す時間は約4時間で流速も或る程度大きいので、この水域の流動は北西方向よりも南東方向に流れる度合の方が強い。このような状況から汚水も水域 A を海岸線に沿って南流し、水域 B をも汚染するらしいことが予想される。A の干出域で大小の凹所に残滓の堆積が見られること、また海岸線 I に多量の蓄積が見られるのに対し、排水口より北側の海岸線 II では堆積が見られないことは、この間の状況を明らかに示したものとえよう。

V 対象水域の細菌学的調査

排水口付近から対象水域および関連水域にかけて13点 (Fig. 3-B) と、比較のためにその周辺の福島北東部水域に8点 (Fig. 3-A) とを取り、それらについて1967年2月27日と同年5月24日の2回にわたって細菌学的調査を実施した。

検水はいずれも表面下1m層から採水したものをを用いたが、低潮のために水位の低下した場所では表面下30cm層から採水した。

(1) 大腸菌群測定 多数の試料を取り扱う関係からメンブランフィルター法¹⁾を採用した。滅菌ハイロート採水器で採水した検水0.1ml (滅菌生理食塩水で10倍希釈したもの1ml)、1ml および10ml ずつをミリポアフィルター (PH 0.30 μ または HA 0.45 μ , 径47mm) で各検水を3枚ずつ濾過した。それぞれ滅菌生理食塩水で洗浄してから遠藤培地で37°C, 33~36時間培養した後、発育したコロニー (ピンク~赤色) 数を算定し、検水100ml 中の大腸菌群数として示した。

(2) 分析方法 a) COD: おおむね佐伯²⁾の方法にしたがい、試料の保存などについては多賀³⁾の報告を参照した。b) TTC法による汚染度の測定: BODにかわるテトラゾリウム塩 (TTC) 還元量の測定は高田ら⁴⁾の方法をもとに行なった。c) pH: 海水用pH比色計により採水後ただちに測定した。d) アンモニアの定量: インドフェノール法⁵⁾によった。

(3) 調査結果 各定点における採水時刻ならびに測定結果は Table 2 に一括して示した。

CODの測定値は定点ごとに、また経時的に見ると多少変動が認められるが、対象水域と周辺水域とについて全般的に平均値を比較検定して見ると、2回の測定値には有意差を認め難い。それ故にCOD値からは対象水域が特に汚染しているとは判定し難い。

TTC法による汚染判定は、河口域で一部実施されているが、今回応用した結果では、原法あるいは一部変更しても、その海水域での適用性についてはなお検討を要するものと思われた。またアンモニア量は採用した定量法では分析許容量範囲 (0.1 μ g/ml) 以下であった。

大腸菌群の菌数は、一般に排水流入とともに海水による希釈、飼料残滓などの凝集沈殿等の理由で減少するが、水域 A では高潮とともに増加の傾向を示した。これは干出域に堆積して

いる残滓中に生残していたものが海水中に浮遊、分散したためと考える。

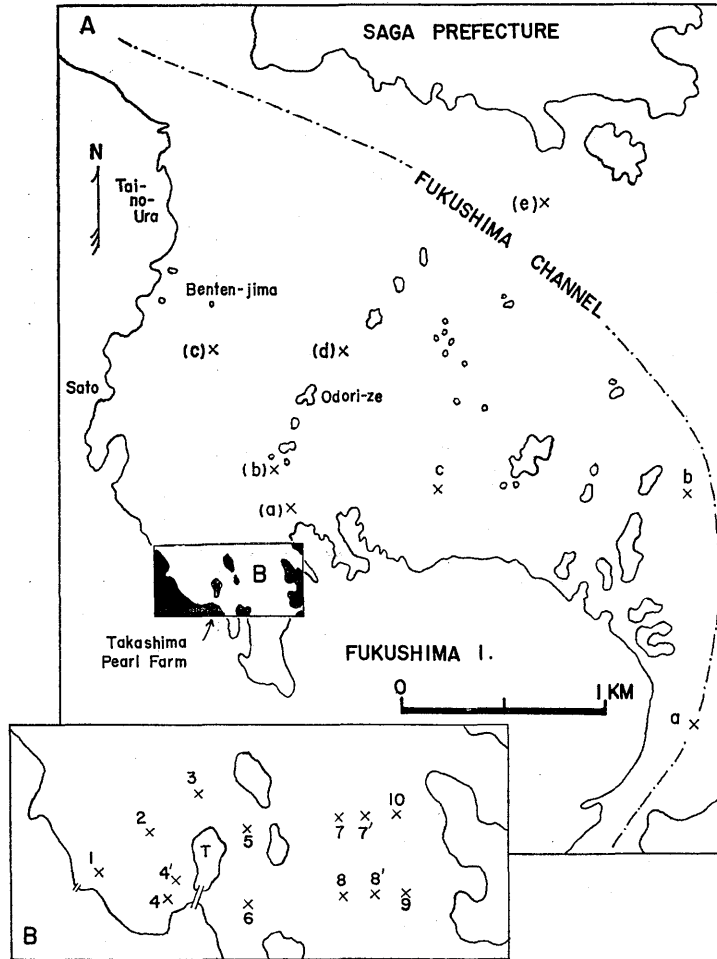


Fig. 3 Stations for microbial survey

Ⅶ 総合考察

(1) 5月に海底土の状況を肉眼観察した結果から、豚舎排水で直接的汚染を受けていると思われる区域は排水口から20~25m以内の海底で、この区域内では有機物の嫌氣的な分解により、海底砂泥は黒化して異臭を発生している。この状況は盛夏期にはさらに悪化するだろうことは推測に難くない。さらに豚舎経営が現在の場所で今後も継続される限りは、排泄物と飼料残渣とは年間を通じて間断なく追加堆積され、状況は年々悪化する可能性が大きく、このことは漁場環境として良くないことは明らかである。

(2) 5月下旬に福島北東部水域でFig.2-Bで示した縦断線上の観測を行った午前中の高潮時とそれに続く午後の低潮時における水温分布を比較して見ると(Fig.4)、午後の低潮時には全域的に表層水で昇温している。これは当日の快晴による強い日照にもとづく現象で、

Table 2 Data of observations on water temperature, pH, COD and number of coliform bacteria in various locations

Feb. 27, 1967						May 24, 1967					
Station	Sampling time	Water temp.°C	pH	COD (ppm)	Coliform per 100ml	Station	Sampling time	Water temp.°C	pH	COD (ppm)	Coliform per 100ml
1	9:10*	9.8	8.3	0.8	350	1	9:00	21.0	8.4	1.5	114
1	10:30*	10.2	8.4	1.5	32	1	19:20*	22.0	—	0.9	27
1	11:40	10.5	8.3	1.0	26	2	19:30	21.0	—	1.2	171
1	12:30*	10.3	8.3	1.3	42	4	9:55*	22.0	8.35	1.8	39
1	13:20*	10.6	—	0.7	86	4'	19:10*	22.0	—	1.1	24
1	14:00*	11.0	—	1.7	—	5	11:40	21.0	8.3	0.7	0
1	14:52*	11.3	—	1.7	—	6	10:20	19.8	8.4	1.2	0
1	16:02*	11.5	—	1.1	—	6	11:20	21.0	8.35	1.6	0
1	17:00*	10.6	—	1.9	—	6	12:20	21.9	8.3	1.5	3
2	10:50	10.1	8.3	1.6	60	6	14:10	22.0	8.3	1.3	132
3	10:45	10.1	8.4	0.8	135	6	20:00	—	—	0.9	153
4	10:40	10.2	8.3	0.8	820	7'	16:00	21.8	8.2	1.5	24
4	12:35*	10.3	8.4	0.9	13000	8'	16:20	21.9	8.35	1.0	3
5	10:22	10.2	8.4	0.9	16	(a)	14:00	20.8	8.35	0.8	0
6	10:15	10.2	8.3	0.8	22	(b)	13:15	20.8	8.3	1.2	0
7	10:05	9.6	—	1.4	—	(c)	13:25	20.3	8.35	1.3	0
8	10:00	10.1	—	1.7	—	(d)	13:35	20.0	8.35	1.1	0
9	9:55	10.1	—	1.4	—	(e)	13:40	20.2	8.3	1.3	0
10	9:45	10.1	—	1.5	—						
a	7:45	10.0	8.3	1.6	152						
b	7:52	9.9	—	0.5	—						
c	8:00	9.6	8.3	0.9	32						

* Seawater samples were collected at the depth of one meter with exception of asterisked time (depth of 30 cm)

陸岸水域のこのような昇温は格別珍しい現象ではなく、このような昇温は流動の緩慢さによって助長される。観測点1における異常昇温もこの水域の流動状況が緩慢であることを裏書きするものと推測される。このようなことから観測点1で代表される水域AおよびCにおける海水流動状況が他の水域に比較して良くないことが推測され、また表層に低比重の独立的水層が一時的に形成されたものと想像される。このように水域AおよびCの流動の悪さおよびそれに起因する独立的水層の形成は、この海域の汚染を促進させることとなるが、また反対に独

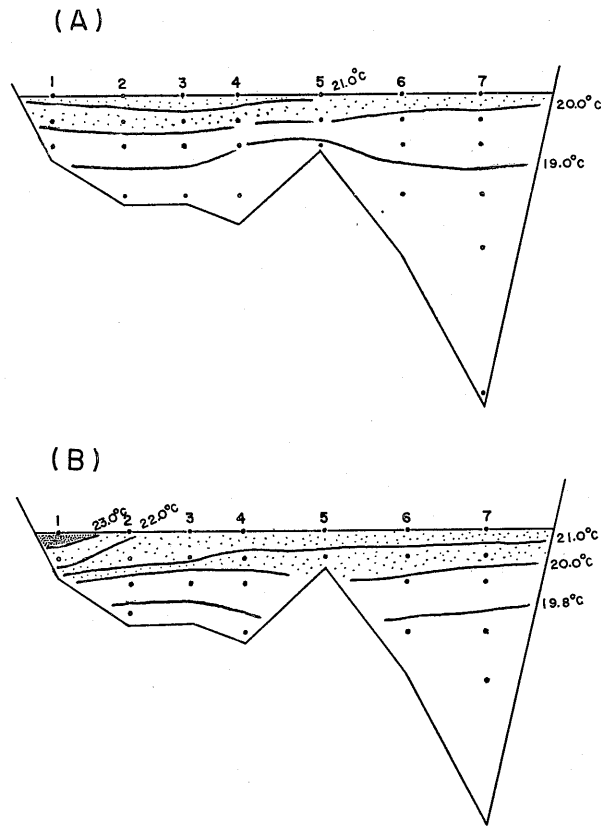


Fig. 4 Vertical distribution of temperature at the northeastern waters of Fukushima

I. Numbers show the oceanographic stations as same as in Fig. 2.

(A) High water (08:10 - 09:10, May 24)

(B) Low water (15:30 - 16:30, May 24)

立的な水層の形成が汚染をこの水域内に局限する役割りをはたしているとも考えられる。

(3) 流動調査の結果によると、近接水域でも場所により時間により状況は一定しないが、対象水域全体を通覧していい得ることは、転流は高潮・低潮の2~2.5時間後にあらわれ、高潮時をはさむ憩流の間では漲潮、低潮時をはさむ憩流の間では落潮で、漲潮ではおおむね西偏傾向を持ちつつ沖合に向けて流出し、落潮では東偏傾向を持ちつつ湾奥に押寄せるといことである。現地でも聞き取ったところによると、福島水道(福島と佐賀県本土との間)の流動は漲潮で南流し落潮で北流するとされているが、これによって福島北東水域で Fig 5.中の点線で示すような漲潮時で時計方向の、また落潮時で反時計方向の流動を生ずると考えれば、今まで述べてきた流動状況をよく説明することができる。またこの水域では西偏傾向を持ちつつ沖合に流出する流動よりも東偏傾向を持ちつつ湾奥に押寄せるといことの方が強いといことは、低比重の汚水がこの強い流れに乗って海岸線 I を反時計回りの方向に流れ、その過程で I の汀線に大量の残滓を堆積し、汚水はさらに A と B とを結ぶ水路を通過して B を汚染し、潮時によって水路が干出になった時には島 T の北側を迂回して北から B に侵入汚染をすることを示している。

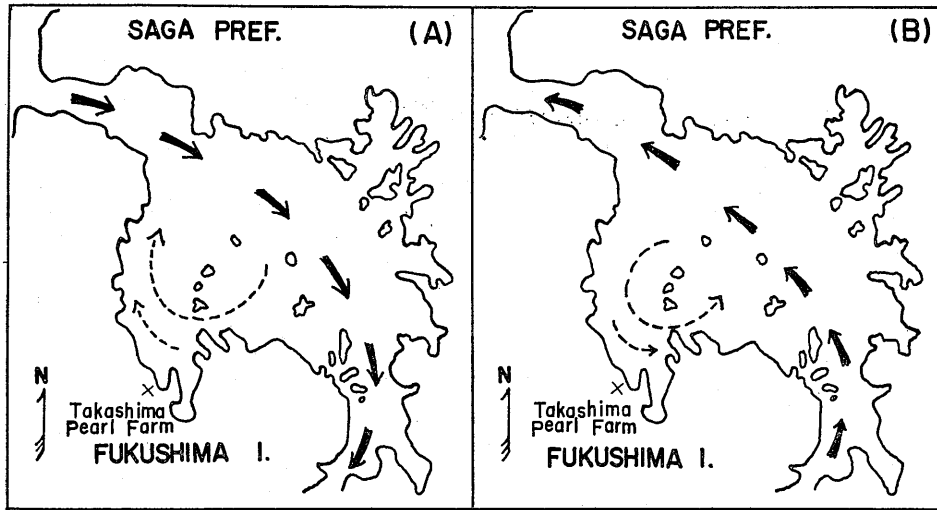


Fig. 5 Presumed water movement at the northeastern waters of Fukushima I.
(A) Flood (B) Ebb

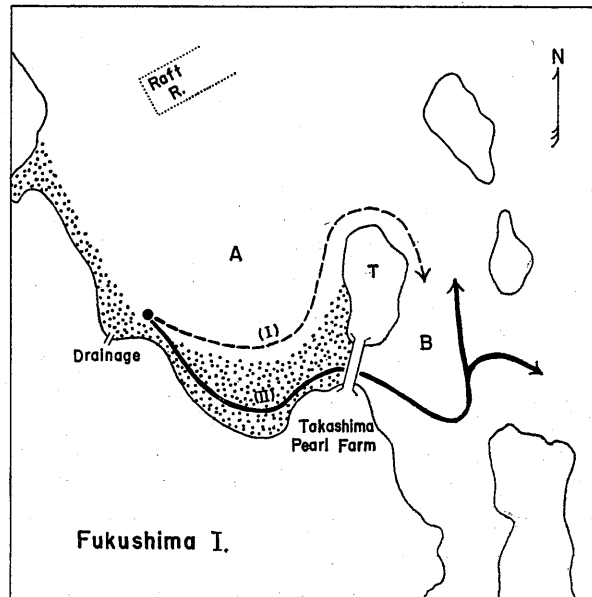


Fig. 6 Courses of the "sea-marker" released immediately before the low water (I), and the high water (II) at the drainage
Dotted region is the beach at the low water

3月1日に行った海面標示剤 (Sea-marker) の大量放流調査の結果 (Fig. 6) でも, 水域Aの水が明らかにこの流路で水域Bまで侵入することを示している。

(4) 細菌学的調査結果によると、大腸菌群の菌数が高潮時およびその前後で水域 A において高値を示す場合が認められるが (Fig. 7), これは排水による汚染と干出域に生残していたものが浮遊拡散した現象と理解することができる。しかもその他の時期や水域では大腸菌群数や COD 値についても、特別に汚染による異常値は測定されなかった。また大腸菌群と COD との間には何の相関も見出し得なかった。通常海中に入った大腸菌は次第に死滅して行くために、単に水層の菌数のみから見れば浄化の経過をたどるが、排水口からその付近一帯にかけて底土上に飼料残滓の汚泥床を生じている事実は、水産用水の許容限界基準からいって看過し得ない。とくに今回は水温が約 10°C ~ 20°C の時期の調査で、夏期の水温が 30°C 前後になる頃には泥質の変化などかなりの影響があらわれるものと推測されるので、排水処理についての慎重な配慮が肝要である。

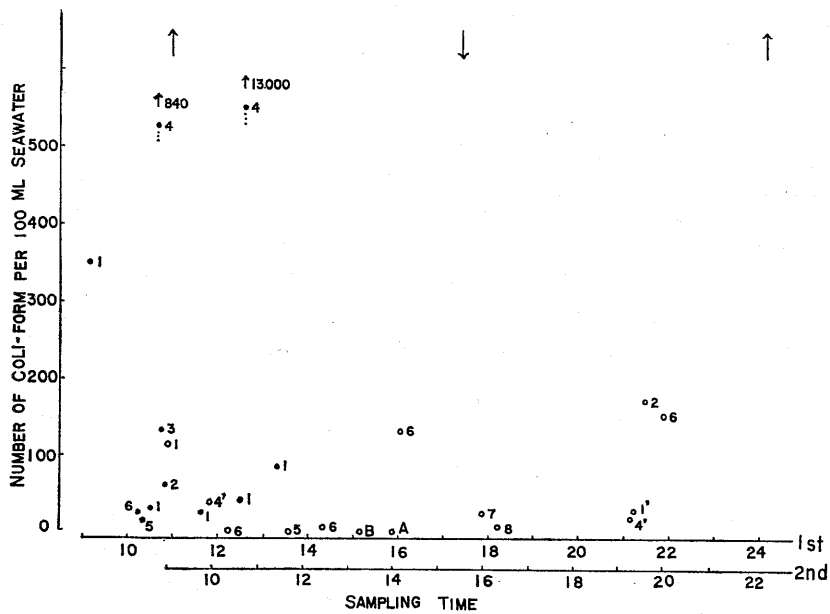


Fig. 7 Variations in number of coliform bacteria by station and time
 1st. (solid circles) Feb. 27 ; 2nd. (open circles) May 24
 ↑ High water ↓ Low water

Ⅶ 結 語

以上により汚染の及ぶ範囲と及ばない範囲を推測すると、豚舎排水に含まれる豚糞など大型の固形物は排水口から 25m 以内で沈下し、この範囲内を強く汚染する。飼料残滓など比較的微細な粒子状物は排水口より北部水域に運ばれる量は少なく、大部分は南東に運ばれて海岸線 I の汀線に集積したり、又水域 A の海底凹所に堆積したりして、年月にわたってこの水域を汚染する。さらに微細で沈降しにくい微粒子および可溶性の汚染物は水域 A を南流して水域 B に侵入する。このように汚染を受けるのは A および B の両水域で、そのうち A は直接汚染また B は間接汚染域と見なし得よう。これに対して水域 C への汚染は現状ではまだ認められない。水域

Aの海岸線より50~90mの部分に巾9~13mで帯状に群生するアジモ群落があるが (Fig. 1) このアジモ地帯が水域 C への汚染を防ぐ役目を果しているものと想像される。今後汚染源がなくならない限りは、汚染物は蓄積・増大することは明らかで、漁場を保守するためには汚染源の除去あるいは汚染を軽減する手段が講ぜられることが大切である。その手段として、

(1) 汚水を直接海域に排出させないで、一度沈殿池の如き装置を通過させて、上澄液を満潮時に放出するようにすること。

(2) 排水口を現在地よりもさらに北に移すことにより、汚水の希釈と拡散面積を拡大すること。

(3) アジモ地帯が汚水の沖合への流出を防止している効果に注目し、同じような効果をもつ生物学的防除壁を活用すること。

などを考慮すべきであろう。

文 献

- 1 CONNER, R. M.: *App. Microbiol.*, 5, 141-144 (1957)
- 2 佐伯有常: 水産増殖, 4, 27-35 (1956)
- 3 多賀信夫: 水処理技術, 7 (8), 1-19 (1966)
- 4 高田英夫・西田史朗: 日本水処理生物学会誌, 2 (1), 27-31 (1965)
- 5 谷口忠敬: 本誌, 19, 91-99 (1965)