

D

649

東海大学紀要海洋学部 第10号 147-174頁 (1977)

駿河湾の海洋汚染と漁業環境変化*

宇田道隆・中尾 徹・岸 昭

Marine Pollution in Suruga Bay and Associated
Environmental Change in Relation to Fisheries

Michitaka UDA, Toru NAKAO and Akira KISHI

Abstract

In order to study the actual state of marine pollution in Suruga Bay due to the effluents of pulp-mill sludge water and other complex industrial wastes together with domestic wastes, we have carried out surveys during the years of 1971-76 (Table 1), on and around the coasts of the bay.

The major results obtained are as follows :

- 1) The extent and thickness of the polluted water discharged from Tagonoura Harbor (the central innermost part of Suruga Bay) with its characteristics were investigated every year. It prevails in summer and apparently decays in winter due to vertical convection. It has decayed gradually since 1974, and remarkably in 1975, accompanying the intrusion of the strong Kuroshio branch water (a clear, saline and warm water-mass) into the bay.
- 2) If the geostrophic current field is applied to the surface layer, the cyclonic circulation pattern will be the most dominant type (82%) in Suruga Bay.
- 3) On the basis of our twelve surveys during the years (1971-75), the frequencies of polluted water flow from Tagonoura Harbor are 58% in the southward direction, 25% westward and 17% eastward. This shows that the pattern of effluence of polluted water from Tagonoura Harbor depends mainly on wind and circulation.
- 4) It is recognized that the water quality in the northern parts of the bay, especially in the area discolored by the polluted water from Tagonoura, has been improving since 1975.
- 5) Using current-buoys, we studied the dispersion pattern of the polluted water and its mechanism, with the estimation of convergence, divergence and the coefficient of diffusion.
- 6) By means of turbidity measurement, we studied the underwater diffusion and sinking of suspended matter of sludge-water pollutants discharged from pulp-mills in the vicinity of Tagonoura Harbor.
- 7) Tar balls transported by the Kuroshio current flowing into the bay from the south drifts to the west coast of Izu Peninsula and accumulate in the frontal zones (Cape Omaezaki-Kinsu Bank, and Senoumi Bank), predominantly in summer.
- 8) The polluted water heavily affected the fisheries, particularly the "Sakura-ebi" (*Sergestes lucens*) fishery, set-net fishery (Nishikurasawa, Ko-u and others), and trawl

*東海大学海洋学部業績A第116号, 受理1976年12月1日

fishery and aquaculture of "Hamachi" (young yellow-tail) in the northern part of the bay.

During the years of 1971—76, the condition of the fisheries, which had been very badly damaged, has recently been improving with the approach and intrusion of the Kuroshio branch current together with the strict control of industrial and domestic wastes. However, we need more comprehensive monitoring and management through recycling of waste resources and wise energy utilization, for complete protection from marine pollution in Suruga Bay in future, even when the remote-flowing Kuroshio current shifts to a different phase.

1. 緒 言

駿河湾は古来漁業生産力の高い海域であるが、近年特に1970年頃からサクラエビ、シラス等の漁業環境が主に田子ノ浦港からの製紙パルプ工場廃水流入などで悪化して不漁続きになったことが大きな問題となって来た。このような人間活動の大きな影響を蒙っている駿河湾の実態を究明し、進んでかような海洋汚染を防止して環境改善を図る基礎資料を得る目的で開始せられた共同研究に参加して、筆者らが5年間行った研究の主なる成果を以下に報告する。

既往に駿河湾の観測調査については、静岡県水産試験場（海洋調査要報、海洋観測資料—水産庁）、神戸海洋気象台（海洋時報、1939）、水路部（駿河湾の海象、1967）、東海大学海洋学部（東海大学紀要など、1971—76）などに発表されており、特に駿河湾の水系・流動について中村の研究（1972 a, b）は注目すべき成果である。筆者らの本研究は主にこれまで行った観測結果（Table 1）に基づいて、田子ノ浦港沖合を中心とした駿河湾の海洋環境の季節的・経年的変動、汚染水の拡散

Table 1 Oceanographic cruises in Suruga Bay from which data are used in this study.

Date	Ship	Date	Ship
Nov. 8, 10, 1971	Hokuto	Sept. 17—18, 1973	Minamijūji
Nov. 13, 1971	Minamijūji	Feb. 20—22, 1974	Tokai Daigaku Maru II
Nov. 25—26, 1971	Bōsei Maru	Aug. 2—3, 1974	Tokai Daigaku Maru II
Jul. 22—25, 1972	Bōsei Maru	Nov. 20, 1974	Hokuto
Oct. 29—30, 1972	Minamijūji	Nov. 21, 27, 1974	Minamijūji
Oct. 31, 1972	Hokuto	Sept. 10—11, 1975	Bōsei Maru
Nov. 15—18, 1972	Tokai Daigaku Maru II	Mar. 2—3, 1976	Tokai Daigaku Maru II
Jul. 29—31, 1973	Tokai Daigaku Maru II	Jul. 7—9, 1976	Bōsei Maru

状況、湾内の廃油塊分布状況について調べ、さらに湾内の沿岸漁村調査結果を加えて海洋汚染に関連すると思われる漁業環境変化を吟味したので併せてここに報告する。

2. 資料および研究方法

使用した資料は、東海大学海洋学部所属の東海大学丸II世（702 t）、望星丸（1.104 t）、北斗（19.6 t）および南十字（19.8 t）により筆者らの実施した観測結果から得られたものである（Table 1）。さらにその他、長年にわたる駿河湾内の静岡県水産試験場観測資料（1962—72年）を参考として用い、同湾内の環流型を調べた。なお、田子ノ浦港沖合で投入し追跡した測流用ブイは縦25 cm、横45 cm

の抵抗板を
うに調節し

3-1 駿
既往の静
る、巨視的
できる。す
流入型（M
に示すと、
による沖合

の抵抗板を4つ、十字に組合せたもので、抵抗板の流圧を受ける中心位置を約 0.5 m 深になるように調節したものである。

3. 海洋汚染水の流動と拡散に関する研究結果

3-1 駿河湾内の環流型

既往の静岡県水産試験場資料(1962—72年)に基づき作成した現場密度(σ_t)の表面分布図による、巨視的なしかも地衡流近似が成立するとした場合の駿河湾内の表層の流動は、次の4型に大別できる。すなわち、湾口の東側から湾内流入型(E型)、西側から流入型(W型)、湾口中央部から流入型(M型)、流入の認めがたい型(O型)の4つの環流型である(Fig. 1)。これを各年各月別に示すと、Table 2の通りである。なお、この表には二谷(1969)の黒潮流路型の分類法(Fig. 2)による沖合の黒潮流路パターン〔日本近海海流図(海上保安庁)、漁海況速報(静岡水試)]をも併

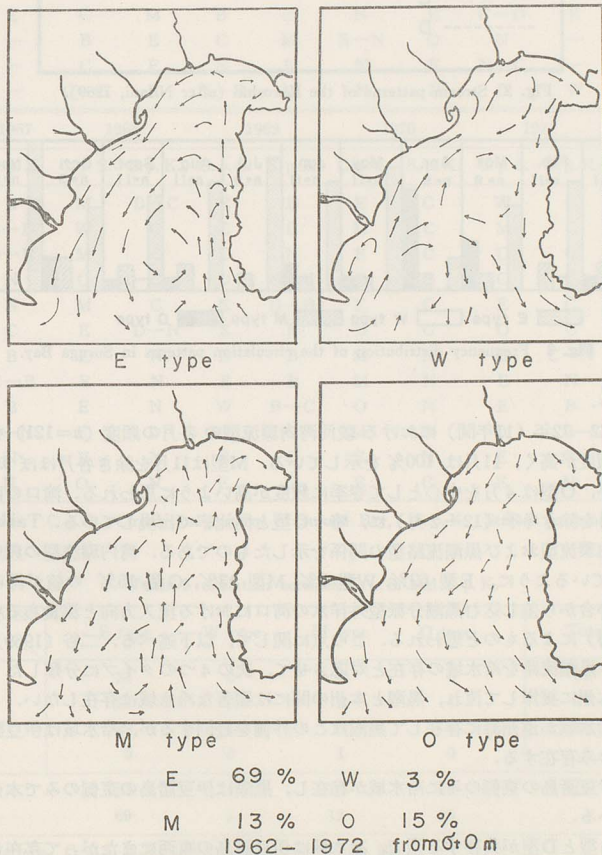


Fig. 1 Circulation patterns in Suruga Bay.

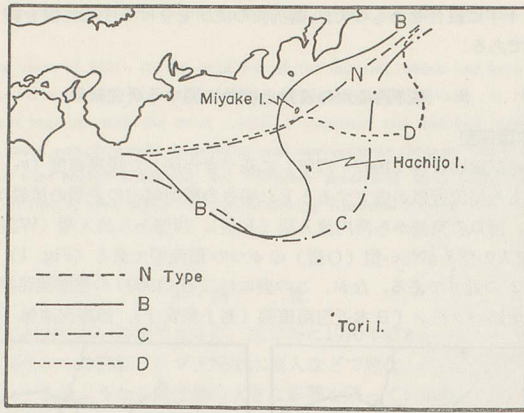


Fig. 2 Stream patterns of the Kuroshio (after Nitani, 1969).

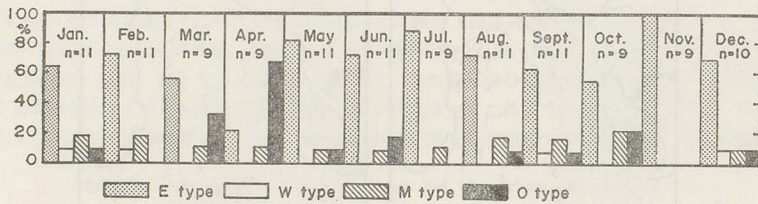


Fig. 3 Frequency distribution of the circulation patterns in Suruga Bay.

せて示してある。

Fig. 3 は1962—72年(11年間)における駿河湾内環流型の各月の頻度(n=121)を示す。4月を除きE型の頻度が高く、11月は100%を示している。M型は11月を除き各月ほぼ10—20%の割合でみられるが、O型は4月を中心として春季に頻度が高いように思われる。湾口の西側から流入するW型は9月を除き冬季(12—2月)に、略々O型と同比率で出現している。Table 3 は上記11ヶ年の駿河湾内環流型および黒潮流路型の関係を示したものである。湾内環流型の頻度をみると、Fig. 1 に示しているように、E型 69%、W型 3%、M型 13%、O型 15% の値が得られた。このような相異は沖合から差し込む黒潮分派型外洋水の湾口における流入方向と流量あるいは気象状態(特に風の影響)によるものと思われる。この点に関して、以下述べる。二谷(1969)は潮岬沖から房総沖までの黒潮流路を冷水域の存在と対応させて、次の4つのタイプに分類した(Fig. 2)。

- N型: 本州に接岸して流れ、黒潮と本州の間には顕著な冷水域は存在しない。
- B型: 冷水域が遠州灘に存在して黒潮はこの外側を迂回するが、冷水域は伊豆諸島の西側にのみ存在する。
- D型: 伊豆諸島の東側のみに冷水域が存在し、黒潮は伊豆諸島の東側のみで本州から離れている。
- C型: B型とD型が共存する型で、冷水域は伊豆諸島の東西にまたがって存在し、黒潮はその外側を迂回している。

Year

Month

Jan.

Feb.

Mar.

Apr.

May

Jun.

Jul.

Aug.

Sept.

Oct.

Nov.

Dec.

Year

Month

Jan.

Feb.

Mar.

Apr.

May

Jun.

Jul.

Aug.

Sept.

Oct.

Nov.

Dec.

*Abbreviat

C

S. p. K.

N type

B type

C type

D type

Total

100%

* Abbre

Table 2 Circulation patterns of Suruga Bay and Stream patterns of the Kuroshio during the period from 1962 to 1972.

Year	1962		1963		1964		1965		1966		1967	
Month	C. p. S.	S. p. K.	C. p. S.	S. p. K.	C. p. S.	S. p. K.	C. p. S.	S. p. K.	C. p. S.	S. p. K.	C. p. S.	S. p. K.
Jan.	O	B	E	B	E	B-C	E	B-C	E	D-C	M	
Feb.	E	B	E	B	E	C	E	D-N	E	D-C	E	
Mar.	O	B	—	B	—	C	O	N	E	C	E	
Apr.	—	B	—	C	O	B-N	E	N	E	B-C	M	
May	O	B	E	C	E	B	E	N	E	D-B	E	
Jun.	E	B	E	C	E	C	E	B	E	B-C	M	
Jul.	—	B	—	C	E	C	E	B-C	E	C	E	
Aug.	E	B	E	N-B	M	D-N	O	C	E	B	E	
Sept.	E	C	M	B	E	N	E	C-D	E	D	E	
Oct.	—	B	E	C	M	B-N	O	N	—	N	E	
Nov.	—	C	E	N	E	N	E	N-C	—	N-B	E	
Dec.	—	C-B	E	N-B	M	N	E	D	W	B-C	E	

Year	1967		1968		1969		1970		1971		1972	
Month	S. p. K.	C. p. S.	S. p. K.	C. p. S.	S. p. K.	C. p. S.	S. p. K.	C. p. S.	S. p. K.	C. p. S.	S. p. K.	
Jan.	D	M	B-C	E	B	E	C	W	C	E	N-B	
Feb.	C-D	W	C	E	C	M	C	M	C	E	B	
Mar.	D-N	M	C	E	N	E	C	O	C	E	C	
Apr.	N	O	C	O	N-C	O	C	O	C	O	N	
May	N	M	C	E	D-B	E	C	E	C	E	N	
Jun.	C	E	D-N	E	B	O	C	O	C	E	N	
Jul.	B	E	N	E	B	M	N	E	C-N	E	N-B	
Aug.	C-B	E	N	E	B	M	N	E	N	E	N	
Sept.	B	E	N	W	B-C	O	N	E	B	M	N	
Oct.	B-N	E	D	E	C	M	B	O	B	E	N	
Nov.	N	E	N	E	C	E	N	E	C	E	N	
Dec.	N	O	N	E	C	E	C	E	N	E	C	

*Abbreviations C. p. S. : Circulation patterns of Suruga Bay, S. p. K. : Stream patterns of the Kuroshio

Table 3 Relation between C. p. S. and S. p. K.

C. p. S. \ S. p. K.	E type	W type	M type	O type	Total	100%
N type	26	0	7	6	39	32
B type	23	0	2	4	29	24
C type	29	4	6	8	47	39
D type	5	0	1	0	6	5
Total	83	4	16	18	121	
100%	69	3	13	15		100

* Abbreviations C. p. S. : Circulation patterns of Suruga Bay, S. p. K. : Stream patterns of the Kuroshio

Dec. n=10

す。4月
20%の割
から流入
は上記11
とみると、
た。この
気象状態
潮岬沖か
ig. 2).

の西側に

から離れて

黒潮はそ

Table 3 に示されているように、1962—72年間の黒潮流路パターンはC型が一番多く、続いてN, B, D型の順になっており、伊豆諸島東側で蛇行する黒潮流路パターンのD型は5%と僅少である。

これら黒潮流路パターンと駿河湾内環流パターンを対比すると、Table 3 に示されているように、E型は黒潮流路パターンとはあまり関連がなく、出現頻度は高い。M型、O型は、湾内での環流型出現頻度は10%以下であって、黒潮のいずれの型でも出現しているが、N, C型で出現頻度はやや高い。W型は、もともと出現数が少ないが、黒潮型のC型時にもみ見られることが注目される。しかし、以上通覧したように、黒潮がC型の時にも湾内環流型は、E型が一番多く出現し、沖合の黒潮流路との明確な対応は認められない。

前述したごとく、W型の湾内環流は、冬季に出現が顕著で風の影響が示唆されるが、それとともに湾内への河川水負荷いかんが考えられる。駿河湾内には湾東部に河川はほとんどなく、湾奥北岸より湾西部にかけ大小河川（富士川、安倍川、大井川など）が偏在している。河川水の流出量は初夏を中心として多く、冬季には少ない。つまり、冬季に湾内環流型のW型頻度が高いのは、湾西部に河川水の影響が僅少であるため、密度分布上、容易に南下流が生じないことによるのかも知れない。しかしながら、偏北風の卓越する冬季には、エクマン輸送は風向の右手方（北半球で）に働くため、海面傾斜は湾西部で高まると思われる。これだけの理由からでは、湾西部には南下流の存在が冬季に顕著となるはずである。そこで、湾内の循環流型と天気図から判断した風向、風速との対応を調査したが、明瞭な関連は認められなかった。これは、風のエネルギーが海面の波浪と流れにそれぞれどの程度、配分されるか、また風と海洋とのレスポンスタイムはどのくらいかなど、現在、充分に解けていないことによると思われる。これらを明らかにするには、例えば、湾内に数ヶ所ブイを設置して、連続的な気象・海象の資料を長期間に亘って蓄積する必要がある。中村（1976）は1964年4月～1976年3月（ $n=144$ ）の資料を用いて、駿河湾の循環流を50m, 100m深の比容分布から5つの型に類型化し、湾内に反時計廻りの環流を形成する頻度が80.6%、時計廻り環流18.0%、外洋系水の流入が認められない場合が1.4%あることを示した。そして、彼は湾西部から沖合系水の流入する場合、黒潮は遠州灘に近接するパターンが多いこと、また湾内への流入が認められない型の場合、黒潮は駿河湾々口周辺で最接近するパターンが多いことを述べている。筆者らの行った湾内循環型は4つの型に分類しており、調査期間も1962年1月から1972年12月（ $n=121$ ）までで、彼の調査方法とは異っている。また、流動推定も筆者らは表面現場密度から求めたものである。彼の行った50, 100m深とは異なり、表面ではかなりの乱れ（disturbance）があるにもかかわらず、湾口東部～中央部から黒潮分派の差し込みは、筆者らの求めた値が合計82%となり、彼の求めた値（80.6%）と類似している。しかし、他の循環型の頻度は異なっている。これは類型化に多少の相異があることと調査期間が異なるためと思われる。以上から、駿河湾内では巨視的にみて、地衡流近似が成り立つとした流れでは、反時計廻りの循環流が卓越すると考えられるが、潮汐流・慣性流などの影響もあり、現実の海水流動は複雑である。

駿河湾内の流れについて、渡辺（1972a）、渡辺等（1972b, 73, 74, 76）はGEK資料や自記測流結果から、湾内には平均的な流れとして反時計廻りの環流が存在するとしてもかなり微弱なもので、現実の海水の流れは時々刻々加えられる変動流が大きく、単純な反時計廻り循環が支配的であるということは言い難いということを指摘している。もちろん、表面現場密度からみた湾内の循環流想定については、地衡流推算が流れの場にあてはまると仮定したものであって、現実の流れを表示しているものではないが、渡辺（1976）や中村（1972b）の駿河湾奥部での測流結果（残余流は西向き成分卓越）、稲葉（1975, 76）の三保・戸田沖での自記測流結果（三保半島沖、南下流卓越；戸

田沖、北上計廻り循環

これらはGEK観測機構について、渡辺（考えられ、

駿河湾内果である。

を示している

湾口部では

の観測結果

応してGE

部でも同様

では、東行

分布を比較

どから、流

ここでは

田沖, 北上流卓越) および静岡水産試験場によって行われたレーダブイの追跡からも, 湾内に反時計廻り循環流の存在が示唆されている(中村, 1976).

これらは観測期間は短い, 湾内の恒流を示しているとは言い難く, 湾内では Figs. 4a, 5a の GEK 観測結果に見られるように, かなり複雑な流れの構造を示している. 湾内の海水流動の変動機構については, すでに指摘したように卓越風, 河川水流入量, 沖合系水, 潮汐流などの影響の他に, 渡辺(1974)が述べているように, 海水流動に水平流動だけでなく, 鉛直方向の流れの影響が考えられ, これらを考慮してはじめて明確なものとなろう.

駿河湾内の各種海水の特性分布を以下述べる. Figs. 4a-d は 1973年7月29—31日に観測した結果である. 湾口東部から比較的高温で高塩分, 低い溶存酸素量と栄養塩の水帯が北上する形の分布を示している. 同時に実施した GEK 観測結果でも, 湾内では複雑な流れの構造を示しているが, 湾口部では東部で北上成分, 西部で南下成分が認められる. Figs. 5a, b は 1974年2月20—21日の観測結果である. 本観測時には湾口西部から高温・高塩分の水帯が北上する形を示し, これに対応して GEK 観測からも湾口西部で北上成分, 東部で南下成分を示しているように思われる. 湾中央部でも同様な流れのパターンが認められるが, 三保半島沖では南下流の卓越を示す. また, 湾奥部では, 東行流が顕著で時計廻りの循環流が示唆される. Figs. 4, 5 の GEK 結果と各種海水の特性分布を比較すると, 両者是对応しているように思われるが, 熱と塩の分子拡散係数が異なることから, 流れの変動と各種海水の特性分布との対応は複雑な機構を有するであろう.

ここでは, 駿河湾内の循環流を単に地衡流としての仮定から平均的な流れとして, 巨視的に E,

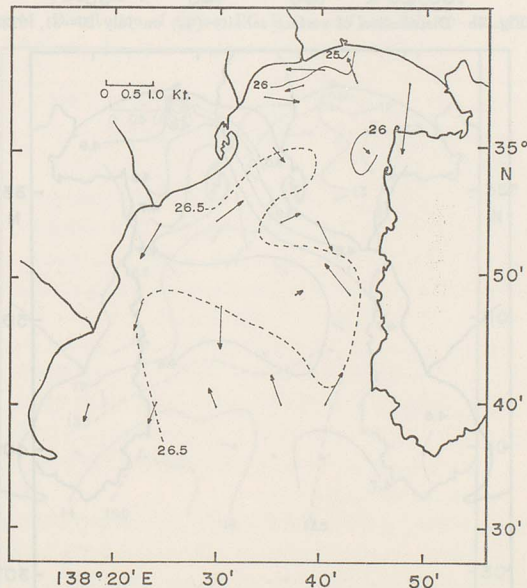


Fig. 4a Distribution of surface temperature ($^{\circ}\text{C}$) and surface current (GEK) on July 29—31, 1973.

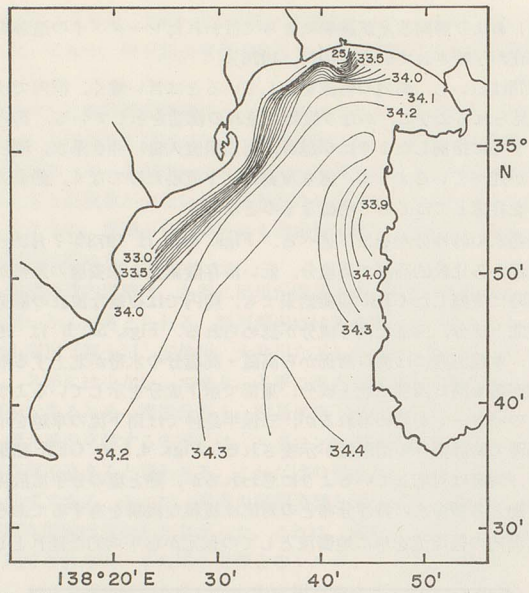


Fig. 4b Distribution of surface salinity (‰) on July 29—31, 1973.

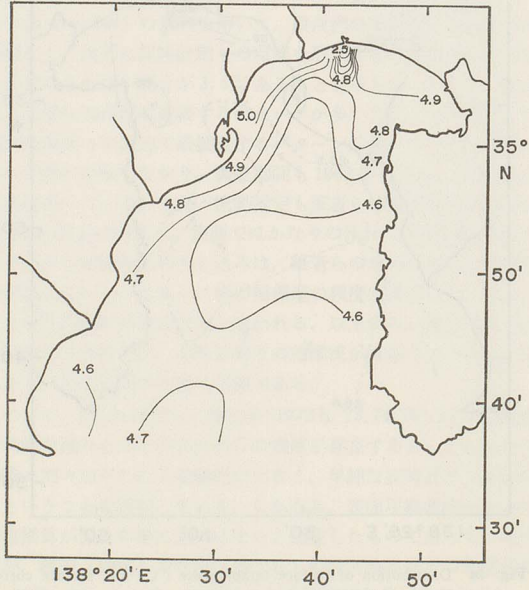


Fig. 4c Distribution of surface dissolved oxygen (ml/l) on July 29—31, 1973.

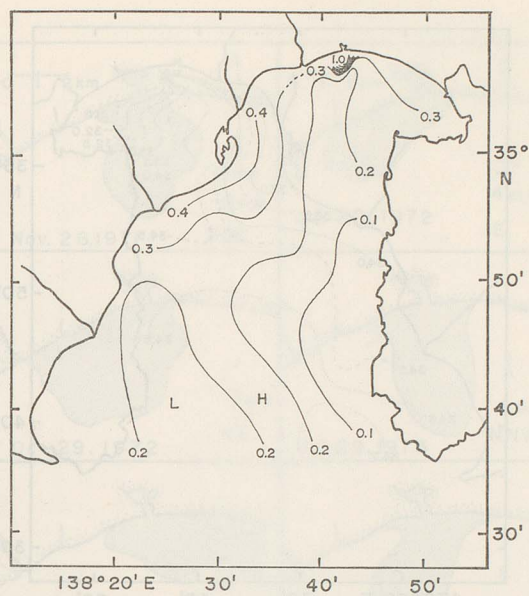


Fig. 4d Distribution of surface $PO_4\text{-P}$ ($\mu\text{g at/L}$) on July 29—31, 1973.

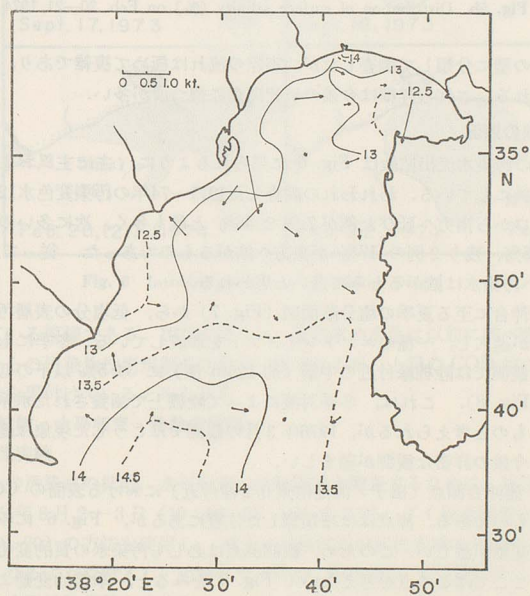


Fig. 5a Distribution of surface temperature ($^{\circ}\text{C}$) and surface current (GEK) on Feb. 20—21, 1974.

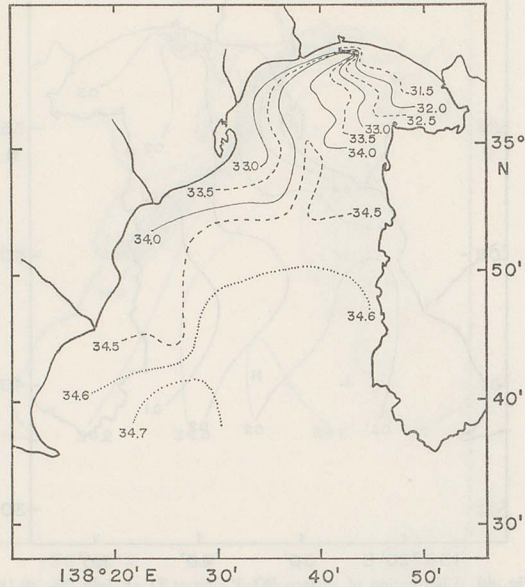


Fig. 5b Distribution of surface salinity (%) on Feb. 20—21, 1974.

W, M, Oの4つの型に分類して調査したが、実際の流れは極めて複雑であり、渦流も数多く存在するものと考えられる。これら詳細は今後の研究調査に待つ所が多い。

3-2 駿河湾奥部の海況

田子ノ浦港からの汚染水流出拡散は Fig. 6 に見られるように、主に主風および環流によって拡延射出する状況を異にしている。われわれの調査した1971—74年の汚染変色水12例についてみると、概して田子ノ浦港口から南方へ延びた例が7例で58%と最も多く、次に多いのが西方へひろがった例(3例)で25%、残り2例の17%が東方へ拡がるものであった。従って、南方～西方(合計10例で83%)へ汚染水は拡がるとみて良いと思われる。

田子ノ浦港から沖合に至る夏季の塩分断面図(Fig. 7)から、低塩分の表層汚染水の下方に沖合から高塩分の水系が進入し、一種のエントレイメントを形成している。冬季にも同様な状態を示すが、1974年2月の観測では陸棚縁付近の中層(約125m深)に34.5%以下の低塩分水の沖合への移流がみられた(Fig. 8)。これは、冬季対流によって陸棚上で涵養された水系が混濁流的に沖合混合拡散しているものと考えられるが、1976年3月の観測ではこうした現象は認められない。この問題については、今後の詳密な観測が望ましい。

Fig. 9 は田子ノ浦沖合測点(田子ノ浦港南東0.2浬付近)における表面のCOD, O₂, PO₄-Pの経年変動を示したものである。測点はほぼ類似した位置にあるが、Fig. 6にみるように変色汚染水域は短期の位置変動が激しい。このため、観測測点は必しも汚染水の質的变化を表わすのに不十分かも知れない。ここではこの点を考えないでFig. 9をみると、季節的変動よりも経年変動が卓越しており、PO₄-Pは資料不足で明瞭な傾向を示していないが、COD値は年々減少し、溶存酸素

量は年々増
きており、
の増加はそ
3-3 汚染
3-3-1 浦
田子ノ浦
00~11:00
ては川合等
程度の正三
測を一例と

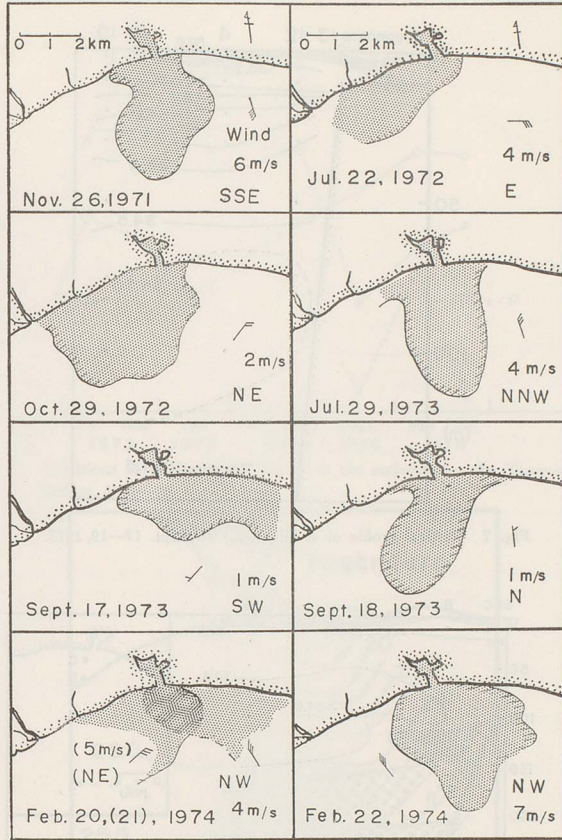


Fig. 6 Intruded patterns of discolored water.

量は年々増加している模様である。1975年頃から、変色水の水色は以前に較べ幾分、清澄になってきており、内陸からの汚染物投棄規制の効果が示唆されるが、上記の COD 値の減少、溶存酸素量の増加はそのことを裏付けているとみられる。

3-3 汚染水の拡散、水平収束・発散の機構

3-3-1 プイ放流実験

田子ノ浦港からの汚染水の拡散、水平収束・発散機構を調査するために、1974年2月22日(08:00~11:00)、1974年8月2—3日(19:00—06:00)の2回、プイ放流調査を行った。手法としては川合等(1969, 70)の方法を使用し、田子ノ浦港付近の変色水域に3個のプイを一辺500m程度の正三角形になるように投入し、追跡した(Figs. 10 a, b)。その結果から、1974年2月の観測を一例として、水平拡散係数を求めた。

数多く存在

によって拡
いてみると、
へひろがっ
~西方(合

下方に沖合
状態を示す
の沖合への
流的に沖合
ない。この

PO₄-P の
に変色汚染
すのに不充
年変動が卓
、溶存酸素

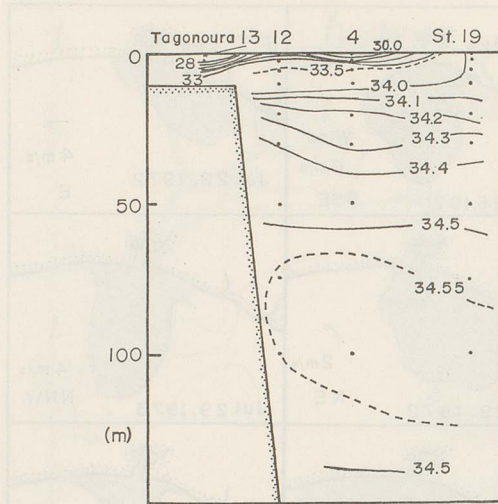


Fig. 7 Vertical profile of salinity (‰) on Sept. 17-19, 1973.

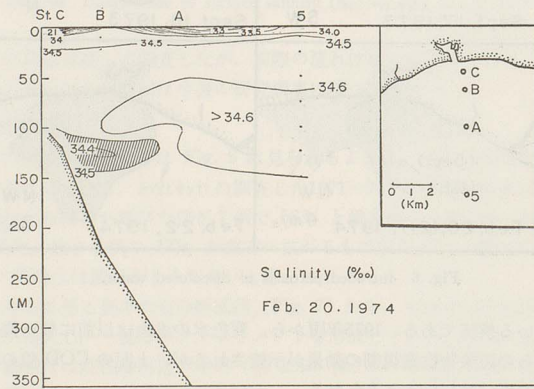


Fig. 8 Vertical profile of salinity (‰) on Feb. 20, 1974.

O₂ (ml/l)

6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0

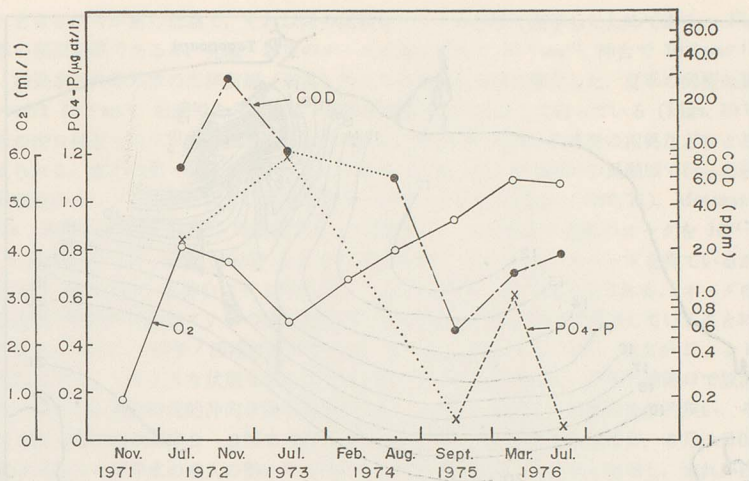


Fig. 9 Variations of COD, O₂ and PO₄-P at the surface near the Tagonoura Harbor, 1971—76.

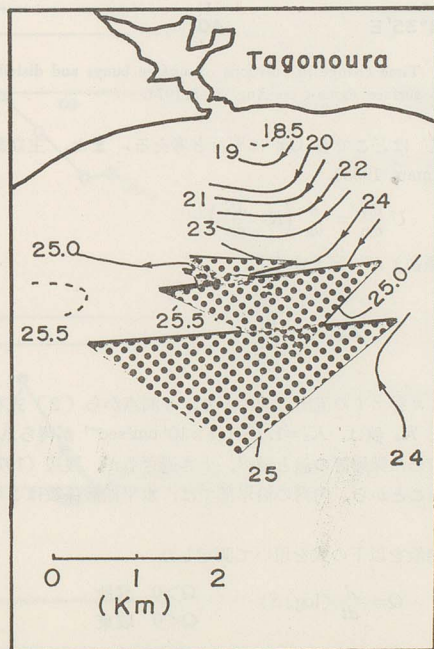


Fig. 10a Time change in positions of surface buoys and distribution of surface sigma-t on Feb. 22, 1974.

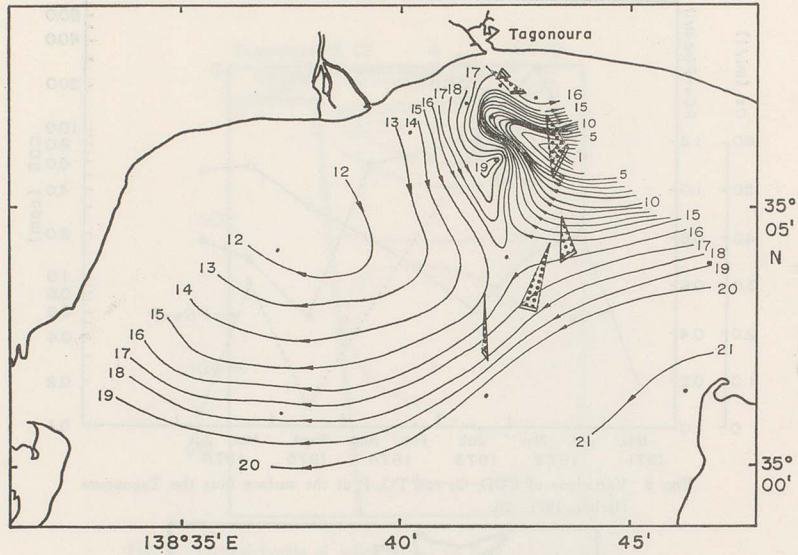


Fig. 10b Time change in positions of surface buoys and distribution of surface sigma-t on Aug. 2-3, 1974.

今、定常状態で流れ U はどこでも Ox に平行と考える。また、主な混合が流れの方向になされると考えると (Proudman, 1953),

$$U \frac{\partial S}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial S}{\partial x} \right) \quad (1)$$

もし、 K_x (水平拡散係数) が一定とすると、

$$(1) \text{ から} \quad K_x = U \frac{\frac{\partial S}{\partial x}}{\frac{\partial^2 S}{\partial x^2}} \quad (2)$$

ここでは S を塩分値、 x をブイの流出方向にとり、3測点から (2) 式を用いて、 K_x を求めた。以上のようにして求めた K_x 値は、 $K_x = 1.1 \sim 1.7 \times 10^4 \text{ cm}^2 \text{ sec}^{-1}$ が得られた。この値は Sverdrup (1939) が南大西洋で求めた深層流の値と較べ、小さ過ぎるが、渡辺 (1972) が松島湾で求めた値とオーダは一致していることから、内湾の沿岸部では、水平拡散係数はこの程度のものであろうと思われる。

さらに、水平収束・発散を以下の式を用いて測定した。

$$Q = \frac{d}{dt} (\log_e S) \quad \begin{array}{l} Q > 0 \text{ 発散} \\ Q < 0 \text{ 収束} \end{array} \quad (3)$$

ここで、 Q と S は水平・発散、 A ブイの面積をそれぞれ示す。その結果を Figs. 11, 12 に示す。ブイの面積 S にマイナス符号をつけているのは、ブイの配置状態が変化して面積が 0 (一直線上に

並ぶ) とな
は冬季の観
化し、汚染
はオーダは
これらの港
と考えられ
ほぼ同程度
KIRWAN (15
sec⁻¹ と報告
岸付近では
外洋と内湾
すると考え
に噴出して
3個のブイ
8月2日22
時頃南東方

5
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
20
15
10
5
0
-5
-10
-15

並ぶ)となる場合があった為で、それ以降の面積をマイナス符号で表示したためである。Fig. 11は冬季の観測結果であるが、発散・収束のオーダは港口付近で 10^{-3} sec^{-1} 、沖合で 10^{-4} sec^{-1} と変化し、汚染水と外洋系水の海洋前線(潮境)付近で収束から発散に変化した。夏季の同様な観測ではオーダは 10^{-4} sec^{-1} 程度であり、収束・発散は潮境付近で反復して起っている(Figs. 10 b, 12)。これらの港口付近でのオーダの相異は季節風の影響、廃水量の差異、環流型の相異などによるものと考えられる。水平収束・発散のオーダは、川合等(1969, 70)が四国沖の黒潮域で行った結果とほぼ同程度かオーダが1桁、大きい程度であり、CHEW and BERBERIAN (1970, 71), MOLINARI and KIRWAN (1975), CHEW (1975)は湾流で行った観測から、水平収束・発散のオーダを $10^{-5} \sim 10^{-6} \text{ sec}^{-1}$ と報告している。赤松(1975)も日本海での観測から 10^{-5} sec^{-1} のオーダを得ているが、沿岸付近では 10^{-4} sec^{-1} と沖合より1桁大きいことを指摘しているのは注目される。オーダの上で、外洋と内湾で相異が現われているのは、沿岸水と沖合系水の潮境が内湾で発達していることに関係すると考えられるが、田子ノ浦港付近ではFig. 13に示されているように、廃水がジェット流的に噴出しており、このような状態もオーダを大きくする一因と思われる。田子ノ浦港口で放流した3個のブイによる扇形射流的沖向き流出速度は $0.1 \sim 1.2 \text{ m/s}$ 程度で、横幅は比較的狭い。そして、8月2日22-23時頃の距岸2~3哩までは流速増、塩分増、現場密度増を示すが、8月3日02-03時頃南東方からの外洋水の進入の勢いに押されて、流線収束とともに流速が著増し、流れが西向き

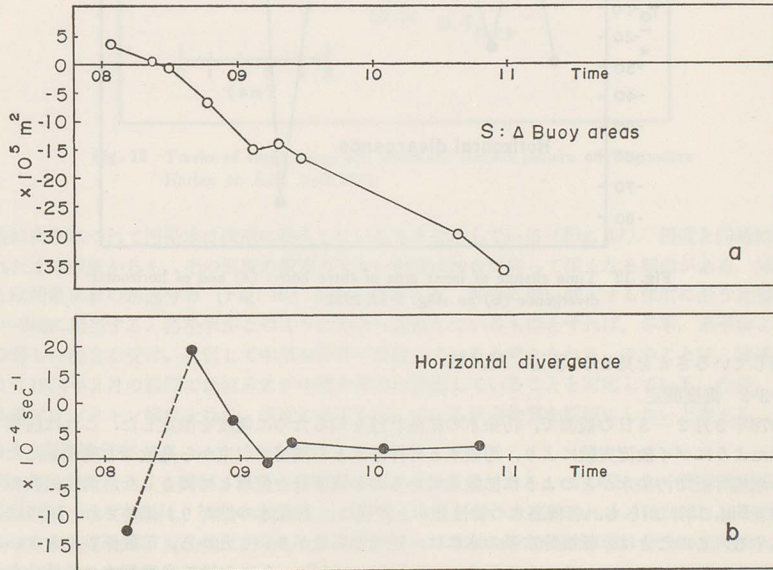


Fig. 11 Time change of inner area of three buoys (a) and of horizontal divergence (b) on Feb. 22, 1974.

35° 05' N
35° 00'

方向になさ

(1)

(2)

を求めた.
は Sverdrup
で求めた値
であろうと

(3)

12 に示す.
一直線上に

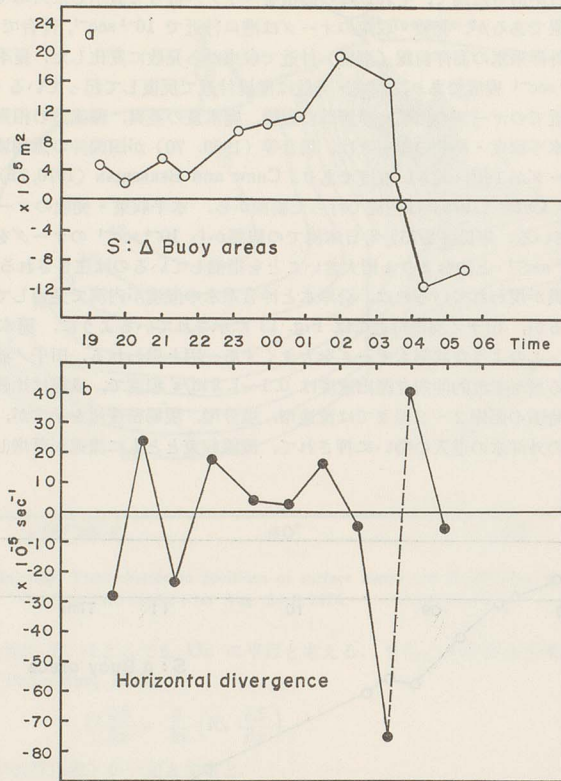


Fig. 12 Time change of inner area of three buoys (a) and of horizontal divergence (b) on Aug. 2-3, 1974.

に転じているさまを見せる (Figs. 13, 14).

3-3-2 濁度測定

1976年3月2-3日の観測で、汚染水の拡散状態を知るために濁度を測定した。これは前項でも述べたようにブイ放流実験により、汚染水と外洋系水との潮境で収束から発散へと変化したため、この潮境付近で汚染水がどのように拡散しているのか濁度計を使用して調査した。消散係数の水平分布 (Fig. 15) から、各種海水の特性分布と同様に、汚染水の拡がりも追跡され、両者はよく対応する。このことは、低塩分水系の水には、懸濁物質量が多いことから、消散係数の大きい (透明度低下) 原因になっていることを示す。一例として、Sta. 4 における各種海水の特性分布と消散係数、透過率の分布を Fig. 16 に示した。この図からも塩分と消散係数の間に、逆相関的傾向 (透過率とは正相関) が認められるであろう。比容 ($10^5 \Delta \rho$) の断面分布図 (田子ノ浦から沖合への南下測線上) から、田子ノ浦港近傍の Sta. 4 の 2-5 m 深に密度逆転を伴った汚染水が見られ、

沖合に向
された水
ことは消
481~245
直の著しい
ように1974
や各層プラ

3-4 鹿

Fig. 19
石花海付近
湾全域を調
態に起因し
に、湾口付
しなかった
観測時には

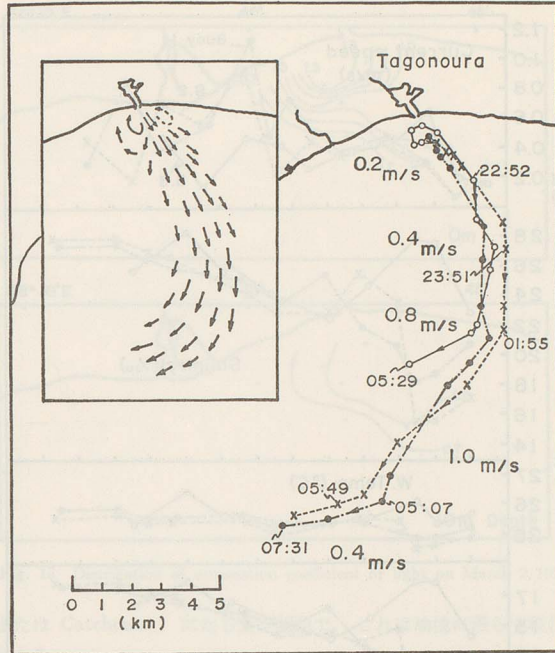


Fig. 13 Tracks of three buoys and schematic current pattern off Tagonoura Harbor on Aug. 2-3, 1974.

沖合に向うにつれて汚染水は深所に潜入しているさまを示している (Fig. 17). 濁度と同時に測定された水中照度からも、その照度の減衰の大きい深度は沖合に向って深くなる傾向がある。同様なことは消散係数の断面分布 (Fig. 18) から認められ、沖合に向い潜入する深度に沿う比容は、481~245に相当する。汚染水がこのように沖合へ拡散しているものとすれば、冬季、水平および鉛直の著しい混合を受け、変質して中層を沖合へ拡散していると考えられる。このことは、前述したように1974年2月の観測で低塩分水が中層を沖合へ拡散していることと対応している。今後、SSや各層プランクトン採集を行い、濁度の低下を起している原因物質を明瞭にしたいと考える。

3-4 廃油塊分布

Fig. 19 は丸稚ネット表層5分曳で得た廃油塊の乾燥重量である。この図から、夏季湾央以南の石花海付付近で多く浮漂し、沖合の暖流流入の衰退と一致していると思われる。1974年2月の観測は湾全域を調査したが、廃油塊は出現しなかった。これは冬季の季節風の影響、沖合の黒潮流入の状態に起因しているものと考えられる。1974年以降、駿河湾内の観測は湾奥部に重点が置かれたために、湾口付近の廃油塊分布状態は不明である。1974年8月、1976年3月の観測では、廃油塊は出現しなかった。1974年7月7-8日に静岡県地方に集中豪雨(いわゆる、七夕豪雨)があり、8月の観測時には例年の観測と較べ、湾奥部は著しく低塩分、低透明度で沿岸水流出傾向が強かった。

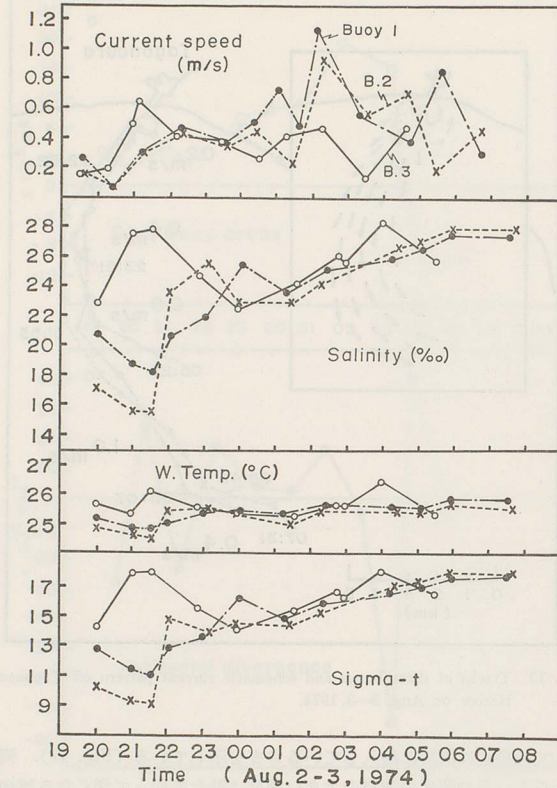


Fig. 14 Observed current speed, salinity, water temperature and sigma-t along the drifting paths of three buoys on Aug. 2-3, 1974.

このことが全く廃油塊を見なかった主な原因と思われる。1976年3月の観測も廃油塊は出現しなかったが、これは1974年2月の観測と同様、季節風の影響によるところが大であろう。1975年9月、1976年7月の観測では例年通り廃油塊の出現をみた。

3-1節で指摘したように、湾内の環流型は湾東部の北上外洋水と西部の南下沿岸水の間で渦流を生じ、石花海を中心として北に、あるいは南に湾央を移動するが、その渦心を通る潮境に廃油塊の浮漂密度が最も高い。浮漂物集積効果は相衝突する2流系の収束度、渦度、潮境傾度に比例すると考えられる。Nakao (1976) は台湾東方の海域で廃油塊の分布を調査し、流れの構造と深い関係を有するリッジ付近(収束域)に油塊の多いことを報告している。廃油塊の多い石花海付近には、サバ・イワシ・ソーダカツオの好漁場で油汚染の悪影響が案ぜられる。また、伊豆西岸などの海岸に漂着するのは、流向・流速と風浪に関係すると見られ、海浜の美観を著しくそこなっている。要するに、廃油塊のごとき汚染物が黒潮に乗って、沖合を流過する場合と湾内に入り込み、とりこ

(Entrapment
ン等について

駿河湾内の
の各漁業協同

4-1 廃油

廃油塊は、
ら流出する
海域では船
たものと思
年頃、湾奥
風のためか
いない。

このよう
御前崎から
静浦では、
漁獲された
再使用と陸

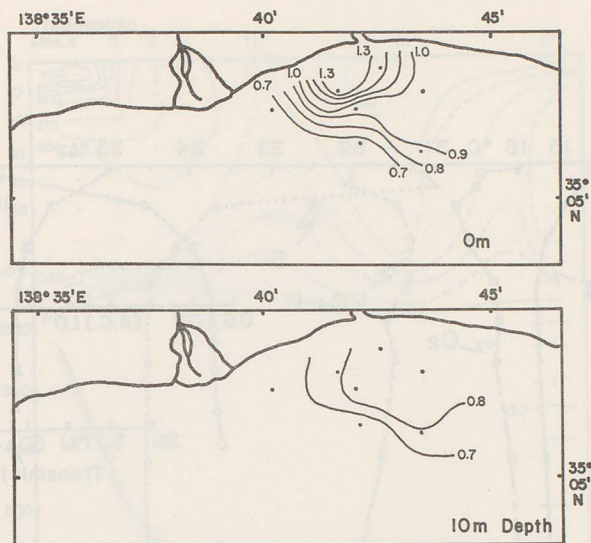


Fig. 15 Distribution of attenuation coefficient of light on March 2, 1976.

(Entrapment または Catchment) になる量が問題で、これは油塊に限らず稚仔魚・プランクトン等についても言える。

4. 漁業環境の変動に関する研究結果

駿河湾内の漁業環境と公害の影響に関する情報を得るため、1970—75年の6年間毎年冬季に湾内の各漁業協同組合、静岡県水産試験場（本場—焼津、分場—沼津）を歴訪し資料を収集した。

4-1 廃油塊の集積と漂着

廃油塊は大体夏季に多く出現し、西伊豆沿岸や御前崎～金洲間の湾口水域（外洋水と湾内西部から流出する沿岸水との潮境）に多く見られ、西伊豆沿岸ではノリ養殖に被害があり、御前崎～金洲海域では船体に付着したり、テグスが黒変したりの被害があった。この廃油は主にタンカーの棄てたものと思われる。これら廃油塊漂着の現象は、黒潮分派の接岸流入に比例すると見られる。1972年頃、湾奥表層魚にボラなど異臭魚がみられたが、油臭魚かどうかは明らかでない。廃油塊は離岸風のためか冬季には湾内で僅少となる模様である。しかし、今なお効果的な廃油塊対策は現われていない。

4-2 ビニール等の不溶性ゴミ公害

このような固体汚染物は海底漁場におよんでおり、陸上からも河川を通じて流入して来ているが、御前崎から三保湾、江ノ浦湾、石花海方面に特に著しく、海底数メートルにわたって堆積している。静浦では、1965年頃イトリがビニール袋に入って浮上した記録がある。さらに、妻良の定置網で漁獲されたラサガメの胃中にビニール袋がつまっていた記録もある。しかし最近では、ビニールの再使用と陸上処理が行われ始め、海底のビニールは減少する傾向にある模様である。

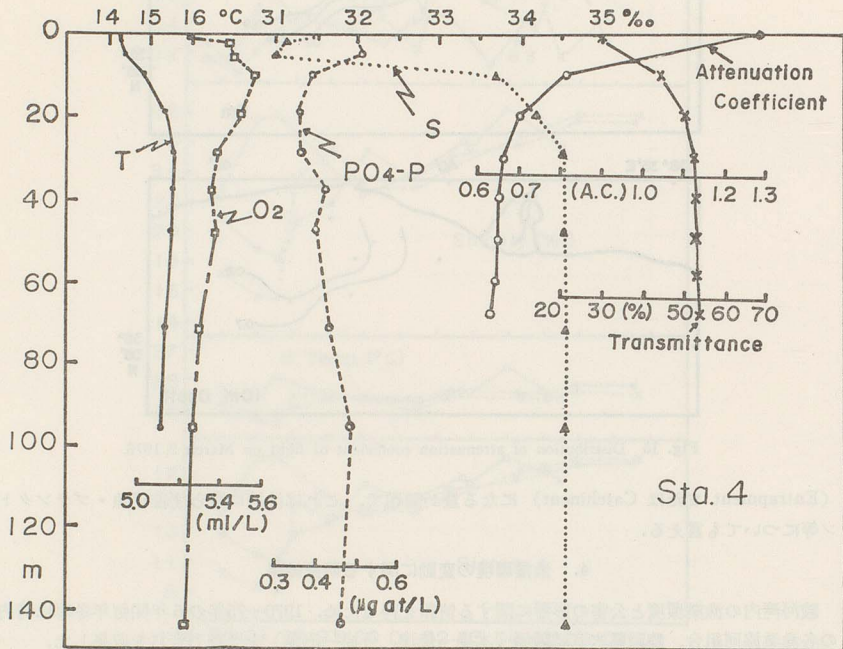


Fig. 16 Distribution of water properties at Sta. 4 on March 2, 1976.

4-3 魚類の奇形

近年、原因は不明であるが魚類の奇形が発生している。その現象の最も顕著に現われたのが駿河湾沿岸底魚のアマダイである。焼津～御前崎沖および静浦では鰭がとれ、妻良では口の曲ったアマダイが漁獲せられた。しかしながら、他の漁場では奇形魚どころか漁獲は皆無に等しい。西倉沢（由比西方）の定置網では、アンコウ・イナダなどに鰭欠損や背曲りのものが見い出された。しかし、1975年以降はこのような奇形魚の出現は減少している。このように駿河湾全体として上層の汚染は改善の兆あるものの湾奥部底層の汚染はまだ続いており、その改善は遅々として進まない。養殖ハマチでも奇形魚が1973年頃まで新聞紙上などで騒がれたが、これは密植による水質悪化（自己汚染、Autopollution）が原因の魚病に関係するともいわれ、目下関係者の手で対策研究が進められている。

4-4 変色

ともかく、汚染水（赤）72年頃は駿田方面にま変化により、かし、1973付近のヘドとも水質検

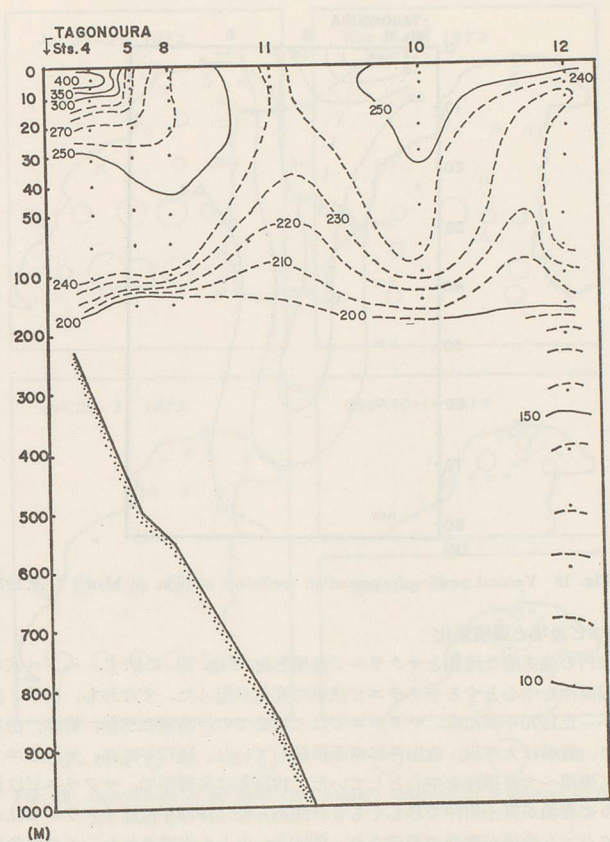


Fig. 17 Vertical profile of $10^5 \Delta st$ on March 2—3, 1976.

4-4 変色汚染のヘドロ水

ともかく、上記の如き奇形魚出現の原因のひとつと考えられるものに田子ノ浦を中心とした赤色汚染水（赤いヘドロ水）があり、PCB・水銀を含むものとせられ、これらの混合変質汚水が1971、72年頃は駿河湾北東部の江ノ浦湾方面にも5～10月の間、時に襲来し、特に南下流の強い時には戸田方面にまで現われ、生簀の餌イワツ蓄養に悪影響を及ぼした。このヘドロ水などによる生態系の変化により、ヘドロ水域周辺にポタンエビ・ジャノメガザミなど甲殻類の一時繁殖を現わした。しかし、1973年頃から「赤いヘドロ水」は見掛け上浄化されはじめ、1975、76年の近頃では田子ノ浦付近のヘドロ水はあまり顕著ではなくなった。しかし、目につく色が浄化されたにとどまり、今後とも水質検査の続行が必要である。

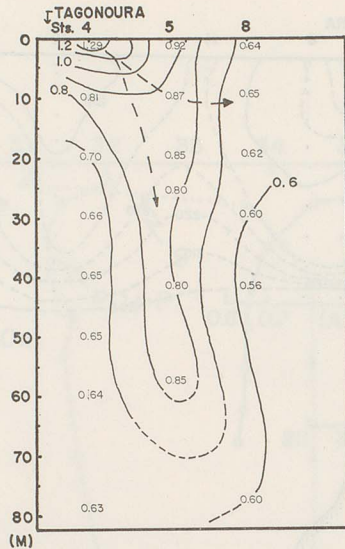


Fig. 18 Vertical profile of attenuation coefficient of light on March 2-3, 1976.

4-5 サクラエビ漁場と環境変化

簡略化した湾内の模式的な流動とサクラエビ漁場とを Fig. 20 に示す。ヘドロ水の分布変化に伴って由比、蒲原沖を中心とするサクラエビ漁場に変化が起った。すなわち、田子ノ浦ヘドロ水騒ぎの最も大きかった1970年頃には、サクラエビはこれまでの好漁場の三保、焼津、由比沖にはほとんどいなくなり、漁場は大井川、吉田沖に南下移動していた。1972年には、サクラエビ主漁場は少し北へもどって焼津～大井川沖を中心としていた。1974年は多雨年で、サクラエビは比較的好漁となり、久しぶりに春漁が富士川沖で珍しくも5日間あった。1975年にはサクラエビはかなりの漁況で、由比沖サクラエビ漁場が春漁で形成され、6000 kg 以上も水揚げされた。この現象は1967、68年以來はじめての由比沖漁場形成であった。このように田子ノ浦ヘドロ水の分布強弱変化とサクラエビ漁場とは良い対応を示しており、さらにこれは黒潮分派流入の勢力にも関連していると考えられる。

4-6 駿河湾漁況の異常と海洋環境指標としての漁況

駿河湾の漁況は黒潮分派流入勢力の指標ともなり、駿河湾漁業環境を知る上での貴重な情報である。1970年8-12月には小規模かつ短期間ながら遠州灘に冷水塊が存在し、その動きのため御前崎で深海性ハタ類の魚が大量に仮死状態で浮上した。このほかに、暖海性のウマズラハギが1973年以前大量に発生し、定置網や旋網の漁業に網破損を生ずるほどの漁獲であったが、1973年以降は漸次数量が減少したものの、1974年にはウマズラハギが1-3月に多量に湾奥の定置網に入網、静浦方面から出漁したサバ旋網船が1網50トンも獲り、網を傷めたほどである。そして湾中部の土肥沖～石花海一面にウマズラハギ群の分布が魚探で検出された。しかし、1975年になってウマズラハギ出現のピークは過ぎ、漸く減少に転じている模様である。一方、このウマズラハギ減少傾向と反比例

するよう
にいる。

このよう
年では、カ
かったが、
め、1973年
口で多獲さ
特に内浦湾
月、湾内に
6 kg のが1
水色良好と

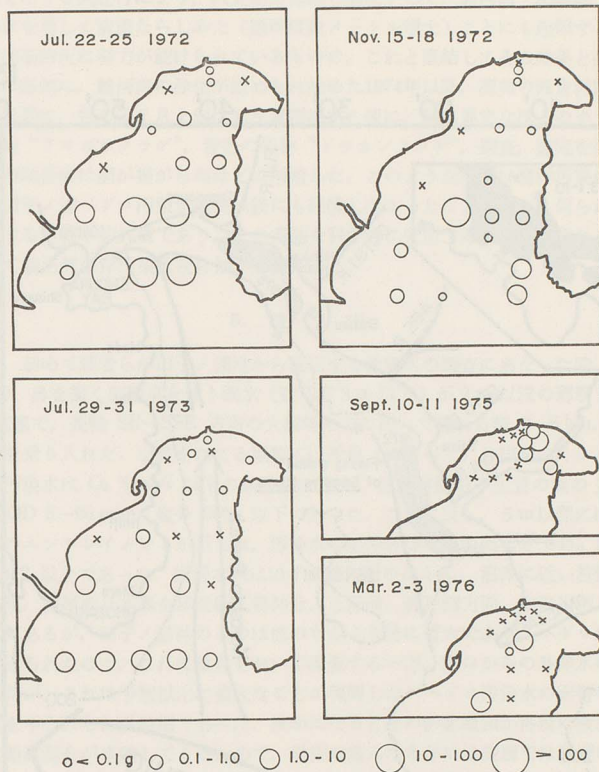


Fig. 19 Distribution of tar balls (dry weight) observed by 5 minutes surface tow with a 1.3 m larval net.

するよう、近年ではタチウオ（幼魚“シラガ”を含む）漁獲が特に駿河湾奥域で著しく増加している。

このような魚種交代現象は、駿河湾の代表的漁業のひとつであるシラスについても言える。1970年では、カタクチシラスとマシラス（マイワシ仔魚）が混獲され、比率はカタクチシラスの方が多かったが、1972年頃からマシラスの割合が増加し、同時にマイワシ成魚も漁獲されるようになり始め、1973年には駿河湾中部～石花海方面でマイワシ好漁を見るに至った、1974年にはマイワシは湾口で多獲され、シラス漁でもマイワシの比率が増え続けた。1975年には、この現象がさらに続き、特に内浦湾のマシラスは好漁であり、マイワシ資源の安定した回復を示唆している。1974年7～8月、湾内にメジ（クロマグロ幼魚）が近年になく多く回遊し、湾奥西倉沢定置網に9月好漁（4～6kg のが1日2.5千～7.8千本、漁が4～5回あり）、さらに1975年5月頃から外洋水が入り込み、水色良好となると共に湾口の妻良、松崎、岩地でメジの入網をみたが、湾奥には少なかった。

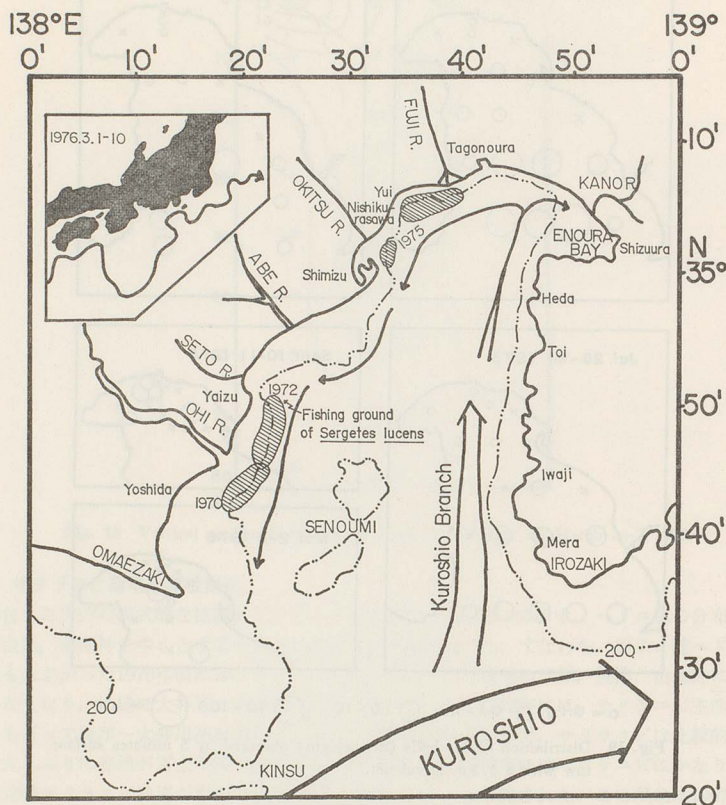


Fig. 20 Fishing grounds of *Sergestes lucens* in Suruga Bay and schematic map of the circulation pattern of Suruga Bay together with the meander of the Kuroshio on March 1—10, 1976.

これらは天然環境の長期変動が豊漁型周期にマイワシ、ムロアジ、サバ、カツオ、メジなどに転じつつある前兆と考えられる。このような自然海況長期変動に伴って駿河湾では以前には漁獲されなかった「尾赤アジ」（ヒメアジとも言う）や「メヒカリイカ」が石花海方面、さらに湾奥の定置網で漁獲され、現在もなおこの現象が続いている。

4-7 駿河湾内の漁業環境改善

上述のように、駿河湾内の漁業環境は1970—73年頃に比べ、1974—75年には一応海水は汚染物処理規制により清澄化され、漁況も好転、魚種組成の変化も生じたようであるが、これは黒潮の熊野

灘沖大冷水塊
差し込み、海
従って、海洋
ではない。そ
6—9月の暖
類（白色の俗
網入れ替え1
た以前にも、
境変化を指示
後も引き続い

1971年11月
（水色17以上
0.8ノットの
どの水域に船
られた。その
然であり、
出した沖合水
m以上、pH
富士川河口水
河口水域など
の悪影響も考
考えて調査し
やはり盛夏季
平混合よりも
った。しかし
って進行し、
亘る湾奥にお
幸いに、近年
奏しているて
が1975年以降
積、漂着は夏
岸、御前崎へ
れた。要する
大切で、海洋
源化すること
続け、種の異
なお、本研

灘沖大冷水塊をめぐる大蛇行により、八丈島方面から直北上して、駿河湾・相模湾・東京湾方面に差し込み、海水を著しく清澄ならしめた（透明度数メートル増大）ことにも起因すると考えられる。従って、海洋汚染防止に努力が続けられているものの、これと直結してその効果と楽観すべきものではない。その証拠に、駿河湾の浄化が認められ始めた1974年以降、湾奥の西倉沢定置網漁場で、6—9月の暖候期に、特に「7月上旬、七夕豪雨出水」後に、網に異常なほどのクラゲ類又はホヤ類（白色の俗称“アサガオクラゲ”，青色の俗称“ドウカンクラゲ”，調査、査定を要す）が付着し、網入れ替え1週間後には網が揚がらぬほどに増殖した。このような現象は海洋汚染の見られなかった以前にも、田子ノ浦へドロ汚染水流出以後にも経験しなかったことであり、何らか新たな海洋環境変化を指示する生物学的異徴であり、その実態を科学的に究明することが望まれる。従って、今後も引き続き駿河湾海洋汚染監視体制が必要である。

5. 結 び

1971年11月、初めて筆者らが田子ノ浦港から流出する汚染水の調査にあたった時、赤褐色をなす（水色17以上）、鼻を衝く刺激臭を伴う濁水（透明度3m以下）が2m以浅の薄層をなして0.6~0.8ノットの流速で、長軸SE~SSE方向の大瀬崎の方に向かって流れる幅2~6km、距岸2kmほどの水域に船を乗り入れた。小波をたてる潮境には死魚（オコゼ?）の腹を白くかえした浮流が見られた。その汚染水は O_2 3ml/l以下の無酸素に近く、活魚運搬船の生簀の魚の全滅したのも当然であり、COD 5—90ppm、塩分30%以下であった。これに反し、5m以深には北に向かって突出した沖合水のエントレイメントが見られ、汚染水の南沖合側では表面塩分34%以上、透明度7m以上、pH 8.2以上であった。低濁水域は田子ノ浦方面のほか、沼津に近い狩野川河口水域、富士川河口水域、蒲原の日本軽金属会社工場沖合、三保湾、折戸湾方面、安倍川河口水域、大井川河口水域などにあるが、田子ノ浦沖のものは他のものより特に著大であり、ドロ水の漁業環境への悪影響も考えられたので、これに重点をおいて調査する一方、湾口からの外洋水の影響もあると考えて調査したが、これは予想以上に強大なことが判明した。ドロ汚染水の影響の甚だしいのはやはり盛夏季を中心にした暖候期であった。秋季になるとその影響範囲が格段に微弱になるのは水平混合よりも鉛直混合が卓越してくるため、対流の盛んな冬季には表層では微弱になることが判った。しかし、パルプかすのような懸濁物質と共に汚染物質の沈降は盛んに沿岸から沖合海底に向かって進行し、このため海底汚染が特に底魚等に不漁や魚体損傷、奇形などその影響を示し、数年に亘る湾奥におけるサクラエビ産卵場および漁場に潰滅的打撃を与えるものになったものと考えられる。幸いに、近年表層の方から下層へと漸次汚染が回復を示して来たのは廃水規制処理の努力も効果を奏しているであろうが、主に外洋水（黒潮系水）の流入が強まり、黒潮蛇行により流路の北方進入が1975年以降急速に湾内浄化と共に魚種交代と漁況変化を示したものとも考えられる。廃油塊の集積、漂着は夏季暖流の流入に伴い南方~南西方から入り込んで、石花海方面の前線渦流域や伊豆西岸、御前崎~金洲の前線域にみられる。ビニール流出公害もひどかったが、最近規制により改善された。要するにビニール、ドロ水や廃油塊など廃物の海中への垂れ流しや投棄を禁止することが大切で、海洋をゴミのためのように考える海洋投棄を厳しく規制し、これら廃棄物を再生利用して資源化することが漁業環境のために大切である。今後も、吾々は海と漁の変動を注意深く観測監視を続け、種の異徴に注意し長期予察の確立と海洋汚染防止に力を注がねばならない。

なお、本研究は文部省特定研究費によったことを付記する。

6. 謝 辞

本論文をまとめるにあたり、校閲願った東海大学海洋学部、渡辺信雄教授に深謝する。また、観測に際して、東海大学丸Ⅱ世の佐藤孫七船長（現、航海工学科、教授）、望星丸の林誠一郎船長、北斗の伊藤長吉船長、南十字の奥山丈一船長はじめ乗組員諸氏および観測時に協力していただいた多くの学生諸君に深謝する。

参 考 文 献

- 赤松英雄 (1975) : 日本海における前線付近の海洋構造について. 海と空, 50 (4), 123—136.
- CHEW, F. and G. A. BERBERIAN (1970) : Some measurements of current by shallow drogues in the Florida Current. *Limnol. Oceanogr.*, 15, 88—99.
- (1971) : A determination of horizontal divergence in the Gulf Stream off Cape Lookout. *J. physic. Oceanogr.*, 1 (1), 39—44.
- CHEW, F. (1975) : The interaction between curvature and lateral shear vorticities in a mean and an instantaneous Florida Current. A comparison. *Tellus*, 27 (6), 606—618.
- 稲葉栄生 (1975) : 駿河湾奥の流動, 1970年から1972年までの三保半島沖における測流結果. 沿岸海洋研究ノート, 12 (2), 127—136.
- 稲葉栄生, 山口敏章, 竜永亮彦, 松田 長 (1976) : 駿河湾奥の流動. 1976年度日本海洋学会春季大会, 講演要旨集, 226—227.
- 川合英夫, 坂本久雄, 百田方子 (1969) : 黒潮表層水の収束発散に関する研究—I. 一海面における収束発散の実測とその解釈. 南西海区水産研究所報告, 1, 1—14.
- 川合英夫, 坂本久雄 (1970) : 黒潮表層水の収束発散に関する研究—II. 一表層混合層の上部と下部における収束発散の実測, 南西海区水産研究所報告, 2, 19—38.
- 神戸海洋気象台 (1939) : 駿河湾海洋観測報告 (昭和11年10—11月施行). 海洋時報, 12 (1), 37—71.
- MOLINARI, R. and A. D. KIRWAN, Jr. (1975) : Calculations of differential kinematic properties from Lagrangian observations in the western Caribbean Sea. *J. physic. Oceanogr.*, 5 (3), 483—491.
- 中村保昭 (1972 a) : 駿河湾の海況学的研究—I. 秋季における海洋構造の一特性. 静岡県水産試験場研究報告, 5, 1—20.
- (1972 b) : 駿河湾の海況学的研究—II. 湾奥部表層における流動. 沿岸海洋研究ノート, 9 (2), 44—53.
- (1976) : 巨視的にみた駿河湾の環流系. 1976年度日本海洋学会春季大会. 講演要旨集, 89—90.
- NAKAO, T. (1976) : Hydrography south of the Okinawa Islands where leptocephalids were collected. *J. Fac. mar. Sci. Technol., Tokai Univ.*, 9, 33—46.
- 二谷頌男 (1969) : 最近数年の黒潮の変動について. 水産海洋研究会報, 14, 13—18.
- PROUDMAN, J. (1953) : *Dynamical Oceanography*. Methuen, London 409 pp.
- 佐藤奎吾 (1967) : 駿河湾の海象. 海上保安庁水路部 124 pp.
- SVERDRUP, H. U. (1939) : Lateral mixing in the deep water of the South Atlantic Ocean. *J. mar. Res.*, 2, 195—207.
- 東海大学海洋学部災害科学研究班 (1971) : 駿河湾の海洋特性と海洋災害に関する研究. 中間報告. 東海大学海洋学部 82 pp.
- 東海大学海洋学部「人間生存環境」研究班 (1972) : 駿河湾を中心とする海洋環境の人間活動による変化に関する研究, 昭和46年度中間報告, 東海大学海洋学部 49 pp.
- (1973) : 同上 昭和47年度中間報告, 東海大学海洋学部 69 pp.

- (1974) : 同上 昭和48年度中間報告, 東海大学海洋学部 83 pp.
- 東海大学海洋学部駿河湾研究班 (1975) : 人為的海洋環境変化の診断と改善・制御に関する基礎的研究 (駿河湾の研究), 昭和49年度中間報告, 東海大学海洋学部 84 pp.
- (1976) : 同上 昭和50年度中間報告. 東海大学海洋学部 123 pp.
- 渡辺信雄 (1972 a) : 駿河湾の海水の流れ. 教師の広場. 特集 駿河湾の自然, NO. 13 静岡教育出版社, 44—57.
- , 中野猿人, 稲葉栄生, 松田義弘 (1972 b) : 駿河湾における物理的環境変化. 駿河湾を中心とする海洋環境の人間活動による変化に関する研究, 昭和46年度中間報告. 7—10.
- (1973) : 駿河湾における物理的環境変化. 駿河湾を中心とする海洋環境の人間活動による変化に関する研究, 昭和47年度中間報告. 5—10.
- 渡辺信雄, 稲葉栄生, 松田義弘 (1974) : 駿河湾における物理的環境変化. 駿河湾を中心とする海洋環境の人間活動による変化に関する研究, 昭和48年度中間報告. 6—11.
- (1976) : 駿河湾奥を中心とした駿河湾の流動. 人為的海洋環境変化の診断と改善・制御に関する基礎的研究 (駿河湾の研究) 昭和50年度中間報告. 21—38.
- 渡辺 鏡 (1972) : 海水交流改善による松島湾漁場の改良に関する研究Ⅳ (続) 干・満潮時における塩分分布から拡散係数を求める試みについて, 宮城県水産試験場研究報告. 6, 237—245.