

論文題目

相模湾奥部の循環流・海水交換・水質の変動と  
それらに対する黒潮変動の影響

Studies on the circulation, water exchange  
and water quality in the inner Sagami Bay influenced  
by the fluctuations of the Kuroshio.

農学生命科学研究科水圏生物科学専攻

平成3年度博士課程入学

古島靖夫

指導教官 東京大学海洋研究所資源環境部門

教授 杉本隆成

## 論文題目

相模湾奥部の循環流・海水交換・水質の変動と  
それらに対する黒潮変動の影響

Studies on the circulation, water exchange  
and water quality in the inner Sagami Bay influenced  
by the fluctuations of the Kuroshio.

農学生命科学研究科水圏生物科学専攻

平成3年度博士課程入学

古島靖夫

指導教官 東京大学海洋研究所資源環境部門

教授 杉本隆成

# 目次

第1章 序章	
1-1 本研究の背景・意義	1
1-2 相模湾の水質と循環流および漁況に関する従来の研究	2
1-2-1 相模湾の水質	2
1-2-2 相模湾の循環流と急潮	3
1-2-3 相模湾の漁況に対する流況変動の影響	4
1-3 本研究の目的	6
1-4 本論文の構成	6
第2章 相模湾奥部の亜表層水平循環流の変動特性	
2-1 資料および調査・解析方法	8
2-2 解析結果	9
2-2-1 測流測定結果をもとにした相模湾奥部の循環の類型化	9
2-2-2 流速の時間的変動のエネルギー・スペクトル	10
2-2-3 相模湾奥部の循環型と黒潮前線との関係	11
2-2-4 大島西水道・東水道の通過流量と相模湾奥部の循環型との関係	12
2-3 考察	14
第3章 相模湾奥部に流入する河川系水の負荷	
3-1 資料および解析方法	17
3-2 解析結果	18



3-2-1	河川からの負荷と水質変動	18
3-2-2	各河川河口における水質諸量の変動特性	19
3-2-3	相模湾沿岸域における水質諸量の変動特性	21
3-2-4	河川物質負荷量と沿岸域の水質諸量との変動特性	23
3-3	考察	24
第4章 相模湾奥部への東京湾系水の流入機構		
4-1	資料および解析方法	28
4-2	解析結果	29
4-2-1	相模湾奥部への東京湾系水の流入の変動特性	29
	(1) 東京湾口の表面塩分変動	29
	(2) 相模湾口の表面塩分変動	30
	(3) 東京湾口と相模湾口のCOD変動	30
4-2-2	衛星画像から見た東京湾系水の張り出し	31
4-2-3	東京湾系水の張り出しと外的諸要因	32
4-2-4	東京湾系水の張り出しの類型化	32
4-2-5	東京湾系水の張り出しの重回帰分析	33
4-3	考察	35
第5章 相模湾奥部の海水交換と黒潮変動の影響		
5-1	資料および解析方法	38
5-1-1	ボックスモデルと基礎方程式	38
	(1) ボックスモデル	38
	(2) 変数Tokを設けた意味	38



(3) 基礎方程式	39
(4) ボックスモデルに用いた基礎データ	40
5-1-2 水平拡散係数 ( $K_h$ ) の与え方	40
5-2 解析結果	41
5-2-1 黒潮非大蛇行期	41
5-2-2 黒潮大蛇行期	42
5-2-3 黒潮大蛇行期・非大蛇行期の海水交換	43
5-2-4 東京湾系水による相模湾奥部へのCOD負荷	43
5-3 考察	44
5-3-1 黒潮大蛇行期と非大蛇行期の循環型とフラックス	44
5-3-2 変数Tokの水平拡散係数への依存性	45
5-3-3 与えた鉛直拡散係数の値の吟味	46
5-3-4 東京湾系水の流入が相模湾奥部の水質に及ぼす影響	46
第6章 総合考察	
6-1 相模湾奥部の水質管理のあり方	48
6-1-1 相模湾奥部の水質悪化の原因	48
6-1-2 無機栄養塩類の流入負荷の削減策	49
6-1-3 相模湾沿岸域の環境管理に対する考え方	50
6-2 相模湾に流入する河川の集水域の開発と東京湾系水の流入負荷	51
6-2-1 東京湾内の水質と湾外への流出特性—赤潮の誘発とクラゲの流入	51
6-2-2 相模湾沿岸域の水産およびリゾート開発とそれらが水質環境に及ぼす影響	51
6-3 今後に残された研究課題	52

要約	54
謝辞	58
参考文献	59
図・表	63

この論文は、日本の経済成長と、その要因について、長期的な視点から、分析を試み、その結果を報告している。その中で、日本の経済成長の要因として、労働力の増加、資本の蓄積、技術進歩、制度の整備などを挙げ、それぞれがどのように経済成長に貢献したかを分析している。また、これらの要因が、どのように相互作用し、経済成長を促進したかを論じている。論文は、日本の経済成長の歴史を振り返り、その要因を明らかにすることで、今後の経済政策に示唆を与えている。

論文の導入部分では、日本の経済成長の歴史を振り返り、その要因を明らかにしている。その中で、労働力の増加、資本の蓄積、技術進歩、制度の整備などを挙げ、それぞれがどのように経済成長に貢献したかを分析している。また、これらの要因が、どのように相互作用し、経済成長を促進したかを論じている。論文は、日本の経済成長の歴史を振り返り、その要因を明らかにすることで、今後の経済政策に示唆を与えている。

## 第1章 序章

### 1-1 本研究の背景・意義

本州のほぼ中央の太平洋に面する相模湾は、北側を関東平野、東側を房総半島、西側を伊豆半島で囲まれた、わが国有数の開放型の湾で、湾内の循環流や海水交換には沖合を流れる黒潮からの分枝流の流入の強さや変動が重要な役割を果たしていると考えられている。一般に相模湾は、伊豆半島の石廊崎、伊豆大島、房総半島の洲崎を結んだ線以北の海域で定義され、大島を挟んで西水道と東水道がその湾口に位置する (Fig. 1-1)。狭義の相模湾 (本研究では相模湾奥部と呼ぶ) は、伊豆半島の真鶴と三浦半島の三崎を結んだ線以北の海域を言い、この海域の水質は、黒潮系水に加え、隣接する東京湾から流入する東京湾系水と相模川・酒匂川をはじめとする大小約20の河川から流入する河川系水の影響を大きく受けて変動していることが報告されている (小泉・増沢、1952; 岩田、1979)。

1970年代に入り、神奈川県内の都市化・工業化の進行に伴い家庭用水・工業用水の確保が必要となり、相模川・酒匂川で盛んに取水が行われるようになった。また、都市下水による河川の汚染を防止するために、神奈川県は下水を両河川の終末処理場で一括処理した後、河口域へ集中的に排水するようにした。この下水処理排水が、沿岸域・河川河口部の水質に対し悪影響を及ぼすことが懸念され、この沿岸の基幹漁業となっているマアジ・マイワシ・ブリなどの回遊性魚類を対象とした定置網漁業への影響調査が行われるなど (平野、1969、1971、1977)、環境保全に対する議論が長年なされてきている。さらに、1980年代半ばからは、神奈川県では漁業だけではなくレクリエーション等も含む海洋の総合利用が目指され、ヨットハーバーの建設など、沿岸域の多角的利用・開発が急速に進んでいる (米村、1990)。神奈川県内の人口の増加に加えて、このような開発と利用の促進は、沿岸域の水質の悪化をもたらし、実際に海域のCOD濃度は1970年代より1980年代の方が約1.5~2倍程度に上昇し、その上昇傾向は現在も続いている (山田・岩田、1992)。



このような、水質環境の変化の全体像を明らかにするためには、まず相模湾奥部の物質収支を明らかにすることが重要であり、これには3系水（東京湾系水・相模湾河川系水・黒潮系沖合水）の流入・流出が問題になる。また、相模湾奥部の水質変動について説明・把握することは、相模湾の水質環境の維持・保全に対して重要な課題であり、開発が先行しがちな相模湾の今後の環境保全を考えていく上で必要不可欠な研究である。

## 1-2 相模湾の水質と循環流および漁況に関する従来の研究

### 1-2-1 相模湾の水質

相模湾奥部の河川系水は、伊豆半島の真鶴と三浦半島の三崎を結ぶ線（ほぼ $35^{\circ} 08'N$ ）以北に拡がり（平野、1969）、鉛直方向の影響は成層期には海面から50m深付近にまで及ぶ（亀山、1979）。その分布は、湾奥西部海域に拡がる傾向が強い（岡部ら、1971）が、黒潮流路変動に伴う海況変動の影響を受ける（平野、1969；岩田1979）。個々の河川で見ると、最大の河川流量を持つ相模川が、水質に最も大きな影響を及ぼすことが示唆されている（早川・平野、1978；早川、1979）。次に大きな酒匂川からの栄養塩の負荷も、相模川のそれに匹敵する（早川、1985）。斎藤ら（1987）は、富栄養化が地形的にも進行しやすいと考えられる江ノ島西部沿岸域では、相模川・酒匂川に次ぐ河川規模を持つ境川の影響が沿岸から約1.7Km～2.7Km沖にまで及ぶことを指摘している。また、相模湾へ流入する全河川のBOD濃度・負荷量が上昇傾向にあるが（矢沢、1979）、相模川・酒匂川のような大規模河川より小さな河川のBOD濃度や負荷量が高くなり、中小規模河川の沿岸域への影響が懸念されている。

東京湾系水は、東京湾内の浦賀水道の三浦半島側を南下し、三浦半島先端部を回って相模湾東部沿岸域に分布し、特に、夏季の成層期には、鎌倉、江ノ島付近まで達することが知られている（小泉・増沢、1952；小倉、1993など）。1989年に東京湾内へ流入した河川流量は年平均約 $270m^3/s$ で、同期間の総負荷量は、CODが約300t/day、窒素が約320t/day、

リンが約26t/dayである。それに対して、相模湾に流入する河川流量は、1980~88年の年平均で約70m<sup>3</sup>/s、その期間の年平均の総負荷量は、CODが約35t/day、窒素が約32t/day、リンが約3t/day程度である。したがって、東京湾の方が流入河川流量で約3.5倍、総流入負荷量で10倍程度多いことから、相模湾東部沿岸域の水質の悪化（富栄養化など）に対して、相模湾へ流入する東京湾系水の影響の度合いが問題になる。しかし、その流入機構あるいは、流入に伴う水質環境への影響についてはこれまで明らかにされていない。

相模湾の水質は、このような外部からの富栄養物質の負荷を受けて季節的な変動をする（池田、1979）。しかし、河川水の影響を受けやすい江ノ島付近や、相模川河口付近の海域では、栄養塩は高濃度で変動し、季節変動は大きくない（吉見、1992）。

#### 1-2-2 相模湾の循環流と急潮

相模湾の循環流とその変動に関する研究は、古くはブリ漁況と海況との関連性や定置網の流網被害防止を検討することに端を発している（宇田、1937；木村、1942）。この研究において宇田（1937）は、海流瓶、海流板漂流調査結果などをもとに、相模湾内の循環流パターンを模式的に示した。黒潮分枝流が大島西水道から流入し東水道にぬける通過流によって生じる相模湾の中～奥部の左循環流像は、相模湾の循環流パターンの典型的なものとして現在もなおよく使われている。

その後相模湾の循環について、岩田（1986）は、相模湾内での係留系による測流結果をもとに、黒潮分枝流の北側にできると考えられる反時計回りの循環流の存在を確認し、黒潮流路の接岸が大島西水道からの黒潮分枝流を強め、相模湾奥部の左循環流を強める関係を明らかにした。また、宇田（1937）が先に示した相模湾の循環は、一層モデルを用いた数値計算によっても確認されている（川上ら、1976）。また、相模湾内の潮流は、内部潮汐の成分の大きいことが示され（松山、1988）、主に半日周期が卓越することが観測と数値実験から明らかにされている（Ohwaki et al., 1991）。

一方、秋・杉本（1992）は、回転系の水理模型実験により、大島西水道から流入する黒



潮分枝流の変動に伴う湾内の循環流の応答過程を明らかにした。さらに、杉本ら(1992)は、係留系による観測結果から、黒潮がC型期でも房総半島に接岸する時は、黒潮系暖水が主に大島東水道から流入する傾向があることを示し、同時に湾奥部と西部に弱い左旋環流が生じることを示唆した。このような、相模湾内の循環系は、東京湾系水・河川系水を含む沿岸水と沖合水との海水交換過程に密接に関係し、また相模湾内の魚卵稚仔等の輸送にも大きな影響を及ぼすと考えられている(中田・蓮沼,1986)。

大島西水道から相模湾へ流入する黒潮分枝流の流量は、係留系による測流から、 $1.8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ が見積られている(Taira and Teramoto, 1986)。この大島西水道からの黒潮流量と、神津島と南伊豆の潮位差との間には良い相関があり(秋, 1992)、日平均潮位から相模湾に流入する黒潮分枝流の流量を見積ることができる。

沿岸定置網に多大な被害を及ぼす急潮現象の研究も古くから行われ、急潮現象は沖合の高温水の突発的な流入による昇温現象であると定義された(木村, 1942)。岩田(1979)は、急潮現象には、水温の上昇を伴う場合、水温の下降を伴う場合、水温の変化が見られない場合の3パターンあることを示した。また、急潮発生の主な原因は、黒潮の流路変動(宇田, 1953; 岩田, 1976)、沖合水の急激な流入、あるいは沖合水と沿岸水の前線の移動(岩田, 1978)、低気圧の通過に伴う沖合水の流入(宇田, 1953; 岩田ら, 1990)によって発生し、湾内を反時計廻りに伝播する物理的機構も示された(Yamagata, 1980; Kubokawa and Hanawa, 1984; 松山ら, 1992)。

このように、相模湾では、準定常的な湾内の循環や定置網漁業に被害をもたらす急潮現象の研究は数多く進められてきたが、湾内の循環とそれに伴う長期的な水質の変動に関する十分な知見は得られていない。

### 1-2-3 相模湾の漁況に対する流況変動の影響

相模湾では、開放型の湾であるという特徴を生かした定置網漁業が基幹漁業として営まれている。大小約80ヶ統の定置網が張り建てられており、マアジ・マイワシ・ブリ等の回



遊性魚類が主に漁獲されている。マアジは、湾奥の西湘海岸（湾西部）で主に漁獲され、マイワシはマアジと対照的に三浦半島沿岸（湾東部）で主に漁獲される（木幡ら、1975）。マアジは、黒潮分枝流が大島西水道から流入し東水道に抜け、湾内に左旋環流が生じるといった海況のとき多獲され（米神定置網）、黒潮がC型期のとき（西水道から黒潮分枝流が流入しないとき）は、不漁になる傾向がある（為石、1988）。古島・杉本（1992）は、黒潮C型期の米神定置網のマアジ漁獲量は低レベルながらも安定しており、相模湾東部の諸磯定置網（Fig.1-2）におけるマアジ・マイワシの漁獲量は、黒潮系暖水の大島東水道からの流入と関連があることを示唆した。

木幡（1990）は、相模湾沿岸域の魚種組成から見た海域区分を行ったが、相模湾沿岸域の海況特性との関連性などについては明らかにされていない。

相模湾では、定置網漁業の他にキンメダイ・マダイ・クルマエビなどを種苗放流し、自然生産力を利用して成育した放流魚を再捕獲する栽培漁業が営まれており、放流魚の移動や分散、放流魚の年齢別再捕率、成長等の調査・研究が進められている（高間、1981；今井、1987など）。神奈川県沿岸に放流されたマダイの稚魚は、大部分の群が放流地先で漁獲されるが、すみ場環境が低い場所と考えられる熱海や西湘地区（相模湾西部沿岸域）に放流された魚は移動率が高く、一部は成長とともに三浦半島側に移動する傾向がある。また、東京湾で放流されたヒラメが、相模湾で再捕された例もある。しかし、放流魚の移動・分散がどのような環境条件に影響されて起こるのか、といった問題は明確にされておらず、水塊の移動や水質環境の変化などの影響を検討することが重要であると考えられる。

このように、相模湾の定置網に入網する回遊性魚類の地域性と沿岸域の海況特性との関連性、種苗放流魚の移動・分散への海洋環境の影響などを知る上で、相模湾奥部の河川系水、東京湾系水、黒潮系沖合水の流入・流出に伴う海況変動や、水質（漁場）環境の変化を検討することは、相模湾の漁海況に関する研究の基礎的な部分の理解につながると考えられる。

### 1-3 本研究の目的

相模湾や駿河湾、土佐湾、豊後水道、紀伊水道などの開放型の湾では、沖合水との海水交換が、伊勢湾や東京湾などの閉鎖性内湾に比べて良好であるため水質環境に対する大きな懸念は今まで小さかった。しかし、相模湾のCOD濃度は、1980年代には1970年代の約2倍程度に上昇し（Fig.1-3）、水質悪化の傾向が続いている。

そこで本研究では、相模湾奥部を対象にして水質の長期変動機構の解明に焦点を絞り、現場観測により循環流の変動特性を、既存データの統計的解析により相模湾に流入する陸起源の有機物の負荷量を、塩分収支のボックスモデル解析により東京湾系水の相模湾奥部への流入流量を、それぞれ明らかにするとともに、開放型沿岸域の海水交換や水質の長期変動の特性について考察した。さらに、相模湾奥部の水質環境の将来予測や漁場環境の維持、あるいは今後の環境保全のあり方について考察した。

### 1-4 本論文の構成

第2章では、三崎西沖と真鶴東沖に約1年間設置した係留系の測流結果を分析し、相模湾奥部の水質環境に対して重要である湾奥部の水平循環流の短期変動特性を明らかにした。また、遠州灘沖黒潮流路の非大蛇行期における湾奥部の循環型と黒潮前線波動の通過に伴う黒潮の離接岸との関係について議論した。

第3章では、既往資料を用いて、相模湾奥部に流入する河川からの有機物と窒素・リン負荷量の変遷について議論した。また、相模湾奥部の水質変動の特性を、主成分分析から明らかにした。

第4章では、東京湾系水が低温・低塩分水で表層に分布することを前提に、相模湾奥部への東京湾系水の流入パターンと黒潮流路の関係、さらに、風、東京湾へ流入する河川流量との関係について定性的に明らかにした。

第5章では、塩分収支のボックスモデルを用いて、夏季の相模湾奥部の循環パターンと

海水交換および東京湾系水の相模湾奥部への流入量を見積もった。さらに、黒潮の大蛇行期と非大蛇行期における海水交換率、東京湾系水の流入量の相違について議論した。

第6章では、相模湾奥部における水質の悪化の原因は何であるかを総合的に考察した。さらに、相模湾沿岸域における水質環境を維持・保全していくために今後、進めるべき研究課題について提言した。



## 第2章 相模湾奥部の亜表層水平循環流の変動特性

本章では、係留系の測流結果をもとに、相模湾奥部の亜表層の水平循環流の構造と変動特性を明らかにし、この循環流が、相模湾に流入する河川系水や東京湾系水の拡がりにとどのような影響を及ぼすかを次章以降で考察するための基礎とした。

### 2-1 資料および調査・解析方法

三崎と真鶴を結ぶ線上のFig.2-1に示す東西の2地点（FW：北緯35度8.6分、東経139度14.0分とFE：北緯35度8.3分、東経139度30.6分）に、1992年5月3日～1993年5月7日までの約1年間、係留系を設置し、上層（約350m深）と下層（約700m深）の流向・流速・水温を30分毎に測定記録した。Fig.2-2（a）、（b）に、係留地点を含む鉛直断面および係留系のシステムを示す。係留系の設置・回収作業は、東京大学海洋研究所所属の研究船淡青丸KT92-6次航海およびKT93-6次航海により行った。得られたデータは、1時間毎に平均した後、25時間移動平均を施して1日以下の短周期変動を除去したものを基礎データとして使用した。本研究では、河川系水や東京湾系水の移動と、湾奥部の循環流との関連性を検討することを目的としているため、FE点、FW点における上層の測流結果を用いた。また、係留系を設置したほぼ2週間後（5月16日～18日）に、相模湾の海洋構造を把握するためにCTDによる水温・塩分の観測をFig.2-1に示す観測点で行い、係留系による測流結果と併せて解析した。

また、係留系設置期間中の黒潮流路の変動や黒潮系水の相模湾への流入状況を見るために、東京都、神奈川県、千葉県、静岡県の水産試験場によって発行されている、1都3県漁海況速報（土・日・祭日を除く毎日報告）と漁業情報サービスセンター発行のNOAA衛星の熱赤外画像を用いた。さらに、大島西水道と東水道を通る黒潮系水の流入量の指標として、それぞれ伊豆大島の岡田と伊豆半島の南伊豆との潮位差、および岡田と房総半

島の布良との潮位差を用いた。なお各地点の潮位は、気象庁および海上保安庁により Fig.2-1に示す地点で観測されているもので、南伊豆は網代の、岡田は大島の、布良は館山の海面気圧を用いて気圧補正を行ったのち解析に用いた。

## 2-2 解析結果

### 2-2-1 流速測定結果をもとにした相模湾奥部の循環の類型化

Fig.2-3は、FE-上層（三崎沖）とFW-上層（真鶴沖）で得られた全観測期間の測流結果をベクトルで表したものである。ベクトルは流れて行く方向を示し、北向きは相模湾奥部への流入を、南向きの流れは相模湾奥部からの流出を表す。

Fig.2-4 (a)、(b) に示す流向の頻度分布から分かるように、三崎側では主に北北西-南南西の流れが、真鶴側では北東-南西の流れが卓越している。これは、両測点とも陸棚に沿った流れが支配的であることを示すが、左旋環流を示す、三崎沖で流入し真鶴沖で流出する流れは顕著ではない。そこで、両測点の流向の組み合わせで次の4パターンに分類し頻度を求めた。

(1) 左旋型：FEで流入、FWで流出、(2) 右旋型：FEで流出、FWで流入、(3) 流出型：FE・FWともに流出、(4) 流入型：FE・FWともに流入

また、平均流速は、両測点とも約10cm/sであり、最高流速はFEで約50cm/s、FWで約40cm/sであったことから、流速値10cm/sを基準として上記4パターンのそれぞれをさらに4パターンに細分類した。分類の詳細をTable2-1に示す。Fig.2-5に上述したパターン分けをした結果を示す。係留系観測期間の循環型の頻度は、左旋型（27%）と右旋型（31%）とが同程度生じることが分かった。また、三崎・真鶴両地点で同じ方向の流れを示す流入型と流出型もそれぞれ19%、23%認められた。各循環型ごとに流速値10cm/sを基準として、三崎側と真鶴側のどちらが強流かによってこれらをさらに4パターンに分類した結果（Fig.2-5）、左旋型における三崎側・真鶴側での強流の存在が24%と最も大きく、そ



れ以外の循環型では強流の存在が10%程度であることが分かった。

## 2-2-2 流速の時間的変動のエネルギー・スペクトル

循環型の持続性と推移を見るために、上記の4パターンの持続期間を表したものがFig.2-6である。この図から、各パターンの持続期間は、短いもので1日～3日程度、長いもので10日前後である。流速の南北成分と東西成分のFFT (First Fourier Transform) によるエネルギー・スペクトル解析を行った結果をFig.2-7 (a)、(b)に示す。計算に際して、データは25時間移動平均を施して潮汐などの短周期変動を除去し、得られたスペクトル密度関数には平滑化を2回施した。真鶴沖 (Fig.2-7 (a)) では、95%の信頼区間を越える有意な周期が9日付近に見られる。また、有意水準80%の信頼区間で見ていくと、15日前後と20日前後および3日～4日の周期帯にピークが存在している。一方、三崎沖 (Fig.2-7 (b)) では、95%の信頼区間を越える有意な周期が15日前後と10日前後および3日前後に見られる。また、有意水準80%の信頼区間で見ていくと、真鶴と同様に、20日前後の周期帯にピークが存在する。

以上の結果から、真鶴沖と三崎沖の垂表層における流れは、3日、10日、20日前後の周期で変動していることが分かった。20日周期の変動は、黒潮の前線域で見られる擾乱ともなう流速変動の周期 (木村、1990; Kimura and Sugimoto, 1993)、相模湾沖合における流速変動周期 (秋、1992) とほぼ一致する。また、1992年は黒潮が主にN型で、相模湾付近を真っ直ぐに東進する傾向が強かった。したがって、20日周期の変動が黒潮特有の性質であり、さらに黒潮流軸が相模湾に近いところを通過していたことを考慮すると、三崎沖、真鶴沖で見られた20日周期の流速変動は、黒潮の前線波動通過の影響によるものであると考えられる。

Fig.2-6をもとに左旋型、右旋型、流出型、流入型の各パターンの推移の様子 (パターン間の移行の回数) をFig.2-8に示した。左旋型の場合から始めて移行回数の多い方向へ順に見ていくと、相模湾奥部の循環は、左旋型→流出型→右旋型→流入型→左旋型、といった



変動を繰り返していることが推測できる。また、流出型の後は左旋型に、流入型の後は右旋型に戻る可能性も強いことが分かる。さらに、流入型から流出型への移行、またはその反対の移行はほとんど見られず、流出型および流入型は、左旋型あるいは右旋型への移行期に生じる現象であることも同時に推測できる。これらの各循環型あるいは移行に対して、黒潮から波及する黒潮前線波動の影響が十分にあると考えられる。そこで、次の節では循環型と黒潮の前線波動との関係について検討する。

### 2-2-3 相模湾奥部の循環型と黒潮前線との関係

Fig.2-9 (a)、(b)は、左旋型が継続的に見られた10月2日～7日前後の表面水温の分布と、FE、FWの毎時の流速変動を示したものである。10月2日に大島西水道から東京湾口に向かうような北東向き(約45°)の暖水(24°C)流入が見られ、5日にその等温線は東京湾口付近に波及している。その間の3日～4日に、FEで20cm/sを越える北向きの強い流れが、FWでは20cm/sを越える南向きの強い流れが見られる。6日以降、24°Cの等温線は大島の北側に南下し、同時にFEとFWの流速も弱まっているのが分かる。

右旋型が顕著に見られた8月21日～28日前後の表面水温の分布とFE、FWの毎時の流速変動をFig.2-10 (a)、(b)に示す。8月21日の水温分布図を見てみると、25°Cの等温線が大島西水道から相模湾奥部に北向きに分布し、大島の南側の流れはほぼ北向きになっており、このとき、FE、FWにおける流速はともに微弱で、大島西水道からの沖合水の流入は弱いと考えられる。一方、8月25日以降の水温分布を見ると、大島東水道からほぼ真北に暖水(26°C)の流入が見られ、FE、FWの流速も10cm/sをこえる強い右旋環流を示唆する流れを示している。したがって、右旋型は、黒潮系水が大島西水道から湾奥部にほぼ真北に流入するような場合と、大島東水道から湾奥部に北西向きに黒潮系水が流入するような場合に生じると考えられる。

Fig.2-11 (a)、(b)、(c)は、流出型が顕著に見られた10月20日、21日の水温の水平分布、10月19日～28日のFE、FWの流速変動、および10月28日の衛星画像を示す。10月20

日、21日に湾中央部から湾奥部にかけて高温水が分布し、三崎沖、真鶴沖ともに南向きの流れが強くなっている。28日の衛星画像を見ると、湾中央付近に流入している暖水が、湾奥部で西向きに向きを変えており、このときの流速変動はFWで南向きの強い流れを示し、FEでは弱い南向きの流れを示している。これらの結果は、湾中央部に流入した黒潮系水が相模湾奥部で三崎側と真鶴側に分岐していること、さらに、相模湾中央付近から湾西側に小規模の左旋環流が生じることを示すものである。したがって、FEで強い南向きの流れが見られ、FWで流れが弱かった25日前後は、相模湾中央付近から東側に小規模の右旋環流が生じていたのではないかと推測できる。Fig.2-12 (a)、(b)は、真鶴流出型(FWの流速が10cm/s以上)のとき(1992年5月16日~17日)の表面塩分とSigma-tの水平分布を示したものであり、塩分分布とSigma-tの分布は、ほぼ一致している。すなわち、相模湾奥部中央付近に高塩分の沖合水の分布が見られ、東部沿岸域には低塩分水(東京湾系水)の拡がりが見られるが、西部沿岸域には低塩分水の分布が見られない。相模湾西部沿岸域に顕著な低塩分水(河川系水)分布が見られないのは、先に述べた湾中央付近から湾西側に生じる小規模の左旋環流の影響によるものと推察される。

流入型が顕著に見られた5月18日~20日の水温の水平分布とFE、FWの流速変動をFig.2-13 (a)、(b)に示す。5月18日には18°Cの等温線が大島西水道および東水道から相模湾内に分布し、19日にはこの等温線が東側に移動し、20日には大島付近まで南下している。FE、FWの流速は18日以降北向きの流れがともに強くなっている。また、水温分布を左旋型・右旋型・流出型の場合と比較してみると、湾奥部での水温勾配が弱い。したがって、黒潮系水の流入が左旋型・右旋型・流出型に比べて顕著でないようなとき、相模湾奥部が流入型になるものと推察される。

#### 2-2-4 大島西水道・東水道の通過流量と相模湾奥部の循環型の関係

相模湾の循環は、黒潮前線の離接岸に伴う黒潮分枝流の流入の強弱に影響される。また、黒潮分枝流は近似的に地衡流として取り扱うことができるため、黒潮分枝流の通過流



量の変動は、大島西水道および大島東水道を挟む日平均潮位差に反映される。そこで、大島西水道を挟む日平均潮位差を大島と南伊豆の潮位から、大島東水道を挟む日平均潮位差を大島と布良の潮位からそれぞれ計算し、黒潮分枝流の通過流量との関係を調べた。

大島西水道における黒潮分枝流の流量は、係留系による測流および水温・塩分の断面観測などのデータから、Taira and Teramoto (1986) によって見積られている。この輸送量と大島と南伊豆の潮位差、および大島と布良の潮位差との関係をFig.2-14 (a)、(b)に示す。両図共に相関係数が $r_1=0.759$ 、 $r_2=0.925$ と非常によいため、得られた回帰式を大島西水道および東水道の通過流量を求める式とした。回帰式は以下の通りである。

$$Y_1 = 1.51 + 16.6 X_1 \quad (2-1)$$

$$Y_2 = 0.78 + 23.3 X_2 \quad (2-2)$$

ここで、 $Y_1$ は大島西水道の黒潮通過流量 (sv)、 $Y_2$ は大島東水道の黒潮通過流量 (sv)、 $X_1$ は大島と南伊豆の潮位差 (m)、 $X_2$ は大島と布良の潮位差 (m) をそれぞれ示す。(2-1)、(2-2)式を用いて、大島西水道と東水道の1992年5月～12月の平均通過流量を求めると、大島西水道では、相模湾流入向きに約0.3sv、東水道では流出向きに約0.76svであることが分かった。1977年(大蛇行期)の大島西水道における平均通過流量は、(2-1)式から約1.9svと見積もれる。これは、非大蛇行期であった1992年の平均通過流量の約5倍程度大きい。すなわち、黒潮が非大蛇行期の場合、相模湾へ流入する黒潮系水の影響が弱く、同時に沖合水の流入量が少ないことから海水交換率も大蛇行期に比べて悪いことが分かる。

Fig.2-15は、大島と南伊豆の潮位差、大島と布良の潮位差および循環型の変動を示したものである。各潮位差は、(2-1)、(2-2)式を用いて流量が0、すなわち $Y_i=0$ の場合の $X_i$ を計算しその値を基準値(=0)として求めた。したがって、両水道における正の値は相模湾への沖合水の流入を、負の値は相模湾からの湾内水の流出をそれぞれ示す。Fig.2-15を見ると、5～8月下旬までは主に大島西水道からの黒潮系水の流入が強く、それ以降は



主に大島東水道からの黒潮系水の流入が強いことが分かる。Table 2-2は、大島西水道および東水道の潮位差が正のときの各循環型の頻度を求めたものである。黒潮系水が、大島西水道あるいは東水道から流入した場合のどちらの場合においても、各循環型は同程度存在することが分かる。言い換えるならば、非大蛇行期の相模湾の循環型の頻度は、黒潮系水が西水道と東水道のどちらから流入するかにほとんど影響されないと考える。

### 2-3 考察

Fig. 2-16は、1992年5月16～18日に行ったCTDによる観測データを用いて計算した、三崎-真鶴断面を通過する地衡流の分布である。St.L3～L7の上層で流出、下層で流入である。流出する流れは、St.L5付近を中心に湾西部では300m以浅に分布し、湾東部では200m以浅に分布しており、その分布の幅は、西部沿岸域で狭く、東部沿岸域で広い。また、流出している深さと地衡流速は西側と東側で異なる。これは、相模川を中心にした相模湾奥部東部沿岸域には200m深の陸棚が広く分布しているのに対し、西部沿岸域ではその分布が狭い、という相模湾奥部の海底地形の違いの影響と考えられる。したがって、相模湾中央付近から湾奥部へ流入してきた沖合水は、湾奥部の陸棚付近で東西に分割され、東側に分割された沖合水は陸棚上で水平方向に拡がり流出する。一方、西側に分割された沖合水は、陸棚の影響が弱いため水平的に拡がらず、鉛直方向に分布を伸ばすと考えられる。地衡流速は、この地形分布に依存するため湾西部の方が東部に比べて速くなると見られる。地衡流断面 (Fig. 2-16) から流出流量を見積ると、湾西部が約0.6sv、湾東部が約0.5svとなり、三崎-真鶴断面を通して約1.1svの水が交換されていることが分かった。さらに、相模湾奥部の体積 (500m以浅) と流出流量から海水交換日数を求めると、約30日となる。

Fig. 2-7 (a)、(b) のスペクトル解析の結果、相模湾口の三崎-真鶴間では流速変動に、短いもので数日程度、長いもので20日後の周期があることが分かった。この周期は、遠州灘・熊野灘における黒潮前線波動にともなう水温および流速の変動周期 (木村、

1990) とほぼ一致する。また、秋(1992)は、木村(1990)の結果と、大島の北側に設置した流速計の観測結果のスペクトル解析から、相模湾へ流入する黒潮分枝流と湾内水(ここでは、石廊崎-大島-洲崎を結んだ相模灘を含む相模湾の水)とのフロント域では、前線波動に伴う現象が発生していることを示唆した。これらのことから、三崎-真鶴間で得られた本研究の流速の周期解析の結果は、大島西水道、あるいは東水道から流入する黒潮系水と、湾内水との境界で起こる前線波動の影響が湾奥部まで及んでいることを示唆している。

さらに、三崎と真鶴における流速変動(Fig.2-3)およびその結果から得られた循環型(Fig.2-5)、またその推移(Fig.2-6とFig.2-8)に関する解析結果から、非大蛇行期における相模湾の循環の変動機構は模式的にFig.2-17のように考えられる。まず、黒潮前線波動の通過に伴い、大島西水道から東京湾口へ向かう方向に黒潮系水が流入し、湾内は左旋型になる。その後、西水道からの流入が弱くなり黒潮系水は湾中央付近から流入し、湾奥部でその流れは東西に分割され流出型となる。このとき黒潮系水の流入角は変わらない。すなわち、左旋型と流出型の応答は、大島西水道からの流入の強弱によって変動していると考えられる。流出型から右旋型への変化は、黒潮系水の流入が強まると同時に、流入角がほぼ真北になるときに生じると考えられる。右旋型になった後、流出型に戻る頻度は小さい。右旋型のとき、大島西水道からの黒潮系水の流入が弱まると、湾奥部での右旋環流が弱まると同時に東水道から黒潮系水が流入し湾内は流入型になると考えられる。流入型になった後は、左旋型あるいは右旋型になる傾向が強く、おのおの2通りの応答が考えられる。まず、右旋型に戻る場合は、西水道から真北に向かう流れが強まる場合と、黒潮系水が東水道から流入し西水道へ抜けると同時に湾内が右旋環流になるような場合の2通りが考えられる。一方、左旋型になる場合は、西水道からの黒潮系水の流入が強まり、流入角が東京湾口へ向かうような場合と、東水道から黒潮系水が真北に流入する場合の2通りが考えられる。これらの循環型の推移には、黒潮前線波動の南北移動の影響が強いことが推測される。したがって、黒潮大蛇行期に見られる相模湾の左旋環流は、大島西水道からの



黒潮分枝流の影響を大きく受けているが、非大蛇行期に相模湾で見られる湾内の循環には黒潮前線の南北移動に伴う黒潮系水の流入の強弱、あるいは流入角の違いの影響が大きいことが推測された。

Fig.2-12 (a) の塩分分布と (b) のSigma-tの分布から、相模湾西部沿岸域では、湾中央から湾西側に生じた左旋環流によって河川系水が一掃され顕著な低塩分水の分布が見られないことが分かる。したがって、湾内に左旋環流が顕著に生じているときには、湾内に流入する陸起源の低塩分水は沖合水によって交換されやすいと推測される。



### 第3章 相模湾奥部に流入する河川系水の負荷

本章では、相模湾奥部に流入する河川の水質変動および負荷量変動について議論した。さらに、相模湾内の水質諸因子の分布と、湾内に流入する大小8河川からの物質負荷との関係を明らかにするために、これらの水質諸量の主成分分析を行い、相模湾沿岸域と流入河川(河口)の水質、および河川からの物質負荷が沿岸域の水質に及ぼす影響について検討した。

#### 3-1 資料および解析方法

相模湾に流入する河川のうち流域面積が上位を占める河川、および過去に家畜あるいは農業排水による河川の汚染が生じ漁業者の間で深刻な問題とされた小規模河川を対象に解析を行った。対象とした河川は、Fig.3-1に示した相模川・酒匂川・境川・花水川・早川・引地川・中村川・森戸川の8河川で、各河川河口における水質資料として、(財)相模湾水産振興事業団の調査資料(水温、pH、T-N、T-P、SS、BOD)と神奈川県水質調査年表の河川資料(COD、流量)を併せて用いた。ただし、相模川の流量は、神奈川県企業庁より入手した寒川取水堰の下流放流量と寒川取水堰より下流で相模川と合流する目久尻川・小出川の各流量の和を用いた。海域の水質資料は、Fig.3-1に示した沿岸域の観測地点(St.1~St.20)における、神奈川県水質調査年表の表層の資料(水温、透明度、pH、COD、DO、T-P、T-N、塩分)を用いた。河川、海域ともに1980年4月~1988年3月の8年間について解析を行なった。

まず、各河川河口における水質諸量の変動の特性を検討するために、河川河口の水温、pH、T-N、T-P、SS、BOD、COD、流量およびT-N、T-P、SS、BOD、CODの各負荷量を説明変数(全13変数)として、各河川河口ごとに調査資料(1変数の最大データ数;96)の主成分分析(田中・脇本、1983)を行なった。この際、観測日のT-N、T-P、SS、BOD

、CODの各濃度に河川流量を掛け合わせたものを各河川における「負荷量」と定義した。

次に、相模湾沿岸域における各水質諸量ごとの変動の特性を検討するために、Fig.3-1に示した各観測点（St.1～St.20）における同一項目の水質諸量を説明変数（全20変数）として、水温、透明度、COD、T-N、T-P、塩分のそれぞれについて主成分分析を行った。

さらに、河川からの物質負荷と相模湾沿岸域の水質環境とを総合的に検討するために、流域面積が上位（100km<sup>2</sup>以上）を占める5河川（相模川・酒匂川・境川・花水川・早川）と沿岸域の各観測点（St.1～St.20）における同一の負荷量項目を説明変数（全25変数）として、T-N、T-P、CODのそれぞれについて主成分分析を行った。

ただし、本研究で使用した水質資料では、毎月の調査は海域が月の前半、河川は月の後半に行われているので、河川負荷量に対する沿岸域水質としては翌月の資料を用いて計算した。

## 3-2 解析結果

### 3-2-1 河川からの負荷と水質変動

相模川と酒匂川の有機物の指標となるBODの濃度変動をFig.3-2に示した。相模川では、1973年と1977年に河口付近に処理場が設置され、設置後、BOD濃度は低濃度で安定している。一方、酒匂川のBOD濃度は、1980年代前半は高濃度であるが、1982年に処理場が設置された後は相模川とほぼ同レベルになっている。中規模河川である境川と花水川のBODの濃度変動をFig.3-3に示した。1987年以降、濃度に減少傾向が見られるものの相模川や酒匂川に比べると10倍程度高濃度で推移している。これらの濃度変動に、流量を積算して負荷量を求め、経年変動を表したものがFig.3-4とFig.3-5である。また、Table3-1に、相模川、酒匂川、境川、花水川の年代別のBOD・COD濃度と負荷量の平均値を示した。これらから、中小河川の汚染負荷が大規模河川の負荷より大きいことが分かる。特に、Fig.3-4とFig.3-5を見ると、1987年以降は両者が同レベルで推移しており、大規模河川のみならず中



小河川からの汚濁負荷に伴う沿岸域の水質の悪化が懸念される。

Fig.3-6は、相模川・酒匂川の流域下水道の普及率の推移を示したものである。1980年代以降、流域下水道の普及率の増加に伴い、相模川や酒匂川のBOD濃度と負荷量は1970年代に比べ減少し安定しており（Fig.3-4）、処理場の効果が顕著に見られる。一方、Fig.3-7は、酒匂川の硝酸態窒素（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）と磷酸態リン（ $\text{PO}_4\text{-P}$ ）の変動を示したものである。酒匂川で有機物（BOD）濃度あるいは負荷量が減少し始めた1980年中期以降、硝酸態窒素濃度は上昇傾向にあり、一方、磷酸態リン濃度は1980年代を通じてほぼ横這い状態にある。この硝酸態窒素の上昇傾向は、下水の増加に伴い処理場を通じて無機化された窒素が河川流域あるいは沿岸域に大量に流入していることを示している。

次節では、相模湾に流入する主要河川の水質変動の特性について統計的に検討する。

### 3-2-2 各河川河口における水質諸量の変動特性

各河川河口の水質諸量の主成分分析から得られた、第1主成分、第2主成分の因子負荷量をTable3-2 (a)、(b)に示す。

相模川と酒匂川の第1主成分では、流量と各負荷量項目の因子負荷量が0.7以上を示し、第2主成分では負荷量項目のうちのT-N、T-P、BODの因子負荷量が0.6以上を示している。これは、相模川と酒匂川の水質変動の類似性がこの第1主成分と第2主成分によって説明できることを表す。また、両河川において、因子負荷量が高い値を示した項目が同一であることから、相模川と酒匂川の水質諸量の変動特性が類似していることが分かる。相模川と酒匂川は、河口付近の下水処理場により水質諸量の濃度が排水基準値に合うように処理されているであろうから、この両河川の相模湾沿岸域への負荷は、主に流量に比例して決まると考えられる。

境川と引地川の第1主成分では、T-N、T-P、SS、BOD、CODの各水質項目と各負荷量の因子負荷量が0.7以上を示している。また、第2主成分では流量と水温の因子負荷量が0.6以上になっている。第1、第2主成分を決めている因子負荷量が同一であることが



ら、この両河川の水質諸量の変動特性は類似しており、その変動特性は前述の相模川や酒匂川とは異なることが分かる。第1主成分において、両河川の水質濃度と負荷量の因子負荷量が大きいことから、境川と引地川の相模湾沿岸域への負荷は、主に水質諸量の水質濃度の変動に影響されると言える。すなわち、この両河川が都市域を流れていることから見て、都市排水などの影響が直接、負荷に反映される河川であると推察できる。さらに、第2主成分では、水温と流量の因子負荷量が0.7以上の値を示していることから、この主成分は季節変動（夏に流量が多い）を表していることが分かる。

花水川と森戸川では、水温と流量およびSS負荷量、COD負荷量が第1主成分で0.6以上の値を示しており、水温と流量の因子負荷量が大きいことからこの主成分は季節変動を表していると推察される。一方、第2主成分の因子負荷量を見ると、花水川ではBOD負荷量とBOD濃度の因子負荷量が0.7以上を示しており、花水川の水質汚濁にBODが主として影響を及ぼしていることが示唆される。また、森戸川では明確な第2主成分が表れていないが、Table3-2 (a) を再度見ると、第1主成分では水温と流量の因子負荷量が0.8以上を示しているのに対し、水質諸量のうちT-N、T-P、BOD、CODの各因子負荷量は-0.7以下になっている。すなわち、これは、森戸川の河川規模が小さく比較的郊外を流れている河川であることから、降雨などにより河川流量が増加するとそれに応答して水質諸量の水質濃度が減少する河川であることを示している。

中村川は、第1主成分で、T-N、T-P、SS、BODの各負荷量と、T-N、T-P、SS、BODの各水質項目の因子負荷量、また第2主成分では、流量とCOD負荷量の因子負荷量が高い値を示している。これらの両主成分から、中村川は、境川や引地川の水質諸量の変動特性にほぼ類似していることが推察される。

早川は、第1主成分で各負荷量項目と流量・SS・CODの各水質項目の因子負荷量が相模川や酒匂川ほどではないが高い値を示し、第2主成分ではT-N、T-P、BOD、CODの各水質項目の因子負荷量が正の値、流量が負の値をそれぞれ示している。この結果から、早川は、第1主成分を見ると相模川・酒匂川の変動特性とほぼ類似しており、第2主成分を

見ると、森戸川の変動特性とほぼ類似していることが分かる。

以上の主成分分析の結果から、対象とした8河川を変動特性（変動の類似性）別に大きく分類してみると、相模川・酒匂川のように相模湾沿岸域への負荷に対して流量の増加・減少が左右する河川、境川・引地川・中村川のように相模湾沿岸域への負荷に対して水質諸量の濃度の増加・減少が影響する河川、また、森戸川のように、流量が増加すると水質諸量の濃度が減少する河川、そして、花水川や早川のように前述したタイプに類似しないか、あるいは、前述した2タイプの変動特性を持つ河川、の4タイプにグループ分けすることができる。この4タイプの河川のうち、どの河川がもっとも相模湾沿岸域の水質環境に影響を及ぼしているのかを判断することは非常に重要な問題である。そこで、次に河川の水質変動の特性だけでなく、相模湾沿岸域における水質諸量の変動特性についても検討した。

### 3-2-3 相模湾沿岸域における水質諸量の変動特性

相模湾沿岸域における水質諸量（水温、透明度、塩分、COD、T-N、T-P）の主成分分析の結果を、Table3-3 (a) ~ (f) に示す。

水温について見ると、第1主成分の因子負荷量が全ての観測点で0.9以上の値を示し、第2主成分までの累積寄与率も98.2%になっている。これは、第1主成分だけで沿岸域の表層水温の変動傾向の類似性が説明できることを表している。したがって、この第1主成分は水温の季節変動を表していると言える。

透明度も、水温と同様、第1主成分の因子負荷量が全観測点で0.7以上を示し、累積寄与率も73.1%になっている。したがって、透明度の第1主成分も季節変動を表すと言える。また、第2主成分を見ると、St.1~St.9とSt.13のように因子負荷量が正の値を示す観測点群と、St.10~St.12とSt.14~St.20のように因子負荷量が負の値を示す観測点群とに分けられる。これらの観測点群をFig.3-1で見ると、相模川の河口域を中心に東部沿岸域と西部沿岸域に分けられる。これは、相模湾東部沿岸域と西部沿岸域で透明度の変動が異なっ



ていることを表している。

塩分の第1主成分は、St.1およびSt.17を除く各々の観測点で因子負荷量が0.8以上を示し、この主成分は季節変動を表していることが分かる。しかし、境川と引地川および塩匂川の河口域にあるSt.1とSt.17では因子負荷量の値が小さく、必ずしも季節変動が卓越しているとは言えない。すなわち、この両測点付近の塩分の変動には、季節変動だけでは説明が付けられない別の要因が存在することを示唆している。

CODについてみて見ると、第1主成分はSt.1以外の因子負荷量が0.7以上であるから、これは季節変動を表す主成分である。また第2主成分では、因子負荷量が正の値であるか、負の値であるかによって観測点群を分けてみるとSt.9を除き、透明度の第2主成分と同様に相模川河口域を中心とした東部沿岸域の観測点群と西部沿岸域の観測点群に分けることができる。

T-Nでは、境川、引地川、相模川の河口域に位置するSt.1とSt.11を除き、第1主成分の因子負荷量の値が高く、季節変動が卓越していることが分かる。一方、第2主成分では、因子負荷量がSt.2以西では正、St.1以东では負の値を示している。

T-Pの第1主成分の因子負荷量は、Table3-3(a)～(e)に示した水質諸量の第1主成分の因子負荷量の値よりやや小さいが、St.1とSt.11を除く全測点で因子負荷量がほぼ0.5以上であることから、これも他の水質諸量と同様に季節変動を示していると推察される。St.1とSt.11は河川河口付近の測点であり、他の海域とは異なるT-Pの変動特性を持つことが分かる。第2主成分を見ると、St.1以东では因子負荷量が負で、St.2以西ではの因子負荷量が正の値を示し、T-Pの変動も東部沿岸域と西部沿岸域で異なるのが分かる。

以上の結果をまとめると、沿岸域の水質諸量の主成分分析で得られた変動特性のうち第1主成分は主にそれらの季節変動を表し、第2主成分は、水質諸量（透明度、COD、T-N、T-P）の変動特性が、相模川河口域を中心とした湾東部沿岸域と湾西部沿岸域で異なることを示すことが分かった。さらに、境川および相模川河口域に近いSt.1、St.11付近の沿岸域では、水質諸量の変動特性が他の海域と異なることが分かった。

相模湾東部沿岸域と湾西部沿岸域において、水質諸量の変動特性が異なることの原因が、河川からの物質負荷による影響であるかどうかを調べるために、河川物質負荷量と沿岸域の水質諸量との変動特性について次に同様の解析方法を用いて検討した。

#### 3-2-4 河川物質負荷量と沿岸域の水質諸量との変動特性

河川から沿岸域へのCOD、T-N、T-Pの負荷量と、沿岸域のCOD、T-N、T-P濃度の変動との関連性を主成分分析によって検討し、その結果をTable3-4 (a) ~ (c) に示す。

CODの第1主成分 (Table3-4 (a)) を見ると、St.2~St.20の因子負荷量が0.8以上の値を示しており、これは、3-2-3における解析結果と同様にSt.1を除く沿岸域のCODの季節変動を表す主成分であることが分かる。第2主成分を見ると、相模川、境川、花水川およびSt.1~St.10、St.13の因子負荷量が負の値を示し、酒匂川、早川およびSt.11、St.12、St.14~St.20の因子負荷量が正の値を示している。正および負の値の観測点群をFig.3-1で見ると、前者は花水川より東側、後者は西側にそれぞれ分かれる。これは、3-2-3で示した相模川河口域を中心とした湾東部沿岸域と西部沿岸域でCODの変動特性が異なるという結果に対し、東西に位置する河川からのCOD負荷量の変動とが対応していることを示す。第3主成分を見ると、各河川の因子負荷量が0.3以上になっている。これは、各河川のCOD負荷量の季節変動を表す主成分であると見られる。

T-N (Table3-4 (b)) について見ると、第1主成分はSt.3~St.10、St.12~St.20と相模川・花水川の因子負荷量がそれぞれ0.5以上の値を示していることから、主に両河川のT-N負荷量と沿岸域のT-Nの季節変動を表す主成分であると推察される。第2主成分では、酒匂川と早川の因子負荷量が0.5以上になり、両河川におけるT-N負荷量の変動が類似することが示された。第3主成分では、St.11、St.12の因子負荷量が0.6以上を示し、相模川河口域付近の両観測点のT-N変動が応答していることを表している。この両観測点は、第1主成分において因子負荷量が小さかったことから季節変動以外の別な要因によって変動が類似していると推測できる。



T-P (Table3-4 (c)) の第1主成分を見ると、St.1、St.2、St.6、St.11、St.20を除く各観測点と相模川、早川の因子負荷量が0.5以上の値を示し、T-Nの場合 (Table3-4 (b)) と同様に、両河川のT-P負荷量と沿岸域におけるT-Pの季節変動を表す主成分であることが分かる。一方、第2主成分は、St.3~St.4におけるT-Pの因子負荷量と相模川のT-P負荷量の因子負荷量が-0.4以上を示し、三浦半島南部の沿岸域のT-Pの変動と、相模川のT-P負荷量の変動との間に対応があることを表している。しかし、三浦半島南部には、大きな河川の流入がなく、また東京湾系水の分布域が東京湾口から三浦半島沿岸域であること (岩田、1979) から、St.3~St.4付近は、相模湾への東京湾系水の流入に伴うT-Pの負荷の影響を受けている海域であると推察できる。第3主成分を見ると、境川を除く各河川の因子負荷量が0.5以上の値になっており、これは、各河川のT-P負荷量の季節変動を表す主成分であると見られる。

以上をまとめると、沿岸域の水質諸量と河川の負荷量との主成分分析から得られた第1主成分は、主に沿岸域の水質諸量 (COD、T-N、T-P) の季節変動を表し、第2主成分からは、沿岸域のCOD変動と河川のCOD負荷量の変動が、花水川を境にした東西の河川および沿岸域で異なることが示された。

### 3-3 考察

Table3-2の結果から、対象とした8河川を変動特性別に大きく分類してみると、相模川・酒匂川のように相模湾沿岸域への負荷に対して流量の増加・減少が主に影響する河川、境川・引地川・中村川のように相模湾沿岸域への負荷に対して水質諸量の濃度の増加・減少が主に影響する河川、また、森戸川のように、流量が増加すると水質諸量の濃度が減少する河川、そして、花水川・早川のように前述したタイプに類似しないか、あるいは、2タイプに類似する河川、の4タイプにグループ分けすることができた。これらの河川群のうち、特に、都市域を流れていて、沿岸域への負荷量に対し水質濃度の増減が直接

影響すると見られる境川・引地川・中村川は、上流、中流域における高濃度の家庭排水などの影響が河口付近まで及ぶ河川（都市型河川、早川・平野（1978））であると考えられるので、今後、これらの河川利用人口の増加に伴う汚染の進行、およびそれに伴う高濃度の汚染物質の沿岸域への負荷が懸念される。

一方、相模川・酒匂川流域には、工場や住宅などが多く存在するが、比較的、都市域から離れた所を流れていて、河口付近には下水処理場があるため有機物濃度は低レベルで維持されている（田園型河川、早川・平野（1978））。しかし、酒匂川の無機態の窒素濃度は、下水道普及率の増加（Fig.3-6）とともに上昇傾向にあり（Fig.3-7）、下水処理場の効果によって、河川の有機物（BODやCOD）の濃度は低レベルで安定しているものの、その一方で、無機化された処理水による無機塩類の濃度上昇が生じ、沿岸域では内部生産の増加に伴う水質悪化が懸念される。また、相模川の流量は寒川取水堰、酒匂川は飯泉取水堰でそれぞれ管理されているため、有機物・無機物の濃度が低レベルで安定し、取水堰による取水量が増加しなければ、両河川の水質悪化や沿岸域における河川負荷に伴う汚染の程度は軽減されることが考えられる。

森戸川は、流量が増加すれば水質濃度が減少する（降雨等に伴う流量増加によって河川の水質濃度が希釈される、あるいは自然浄化力を持つ）河川であり、河川規模も小さいことから、相模湾沿岸域の汚染に対する影響は小さいと考えられる。

早川と花水川に関してであるが、この両河川は変動特性から考えて、先に示した都市型河川と田園型河川の両方の性質を持つ河川であると見られる。早川は、対象とした河川の中で最も西側の都市域から離れたところに位置し、その流域は主にホテルが建ち並ぶ観光地（箱根）になっている。したがって、早川から相模湾への負荷は、ホテル等からの排水の増減、降雨等に伴う流量の増加に影響されると考えられる。花水川は、第2主成分においてBOD濃度とBOD負荷量の因子負荷量がともに0.7以上になっており、花水川の負荷量は物質濃度によって規定されていると考えられる。すなわち、花水川のBOD負荷量は、幾分減少傾向は見られるものの、流域面積が約10倍大きな相模川と同等あるいはそれ以上に



なっていることから (Fig.3-4、3-5)、相模川より10倍程度、水質悪化が進行していると考えられる。また、花水川のみならず、矢沢 (1979) が示した1970年代後半における河川からの相模湾へのCOD負荷量と1980年代のそれとを比較してみると、僅かではあるが高い値を示している。特に境川ではCOD負荷量が、相模川と同レベルが倍以上になっており、相模川・酒匂川といった大規模河川より、境川をはじめとする中規模河川の水質悪化、そして沿岸域への高濃度の負荷というものが目立つ。したがって、現在、毎月1回、河川河口、上中流域において水質の調査が行われているが、河川の汚染状況を知るためにも今後続けていく必要があると考えられる。さらに、モニタリングだけではなく、中小河川の水質改善策等を考えることも重要であると考えられる。

沿岸域の水質諸量の主成分分析結果 (Table3-3) から、第1主成分には水質諸量の季節変動が示された。これは、相模湾が開放型の湾で、外海水との海水交換がよいためであると考えられる。しかし、境川河口付近のSt.1や相模川河口付近のSt.11のような河川水の影響を受けやすい地点では、他の海域と変動特性が異なり季節変動を示す主成分は現れなかった。また、この両観測点は、吉見 (1992) が通年、夏季、冬季毎に水質データを統計的に解析した結果においても同様に独立することが示されている。また、Table3-3では、相模川を中心とした東部沿岸域と西部沿岸域で、水質諸量の変動特性が異なっていることが分かった。これは、相模湾内における左旋環流、沖合水、河川系水、東京湾系水の海水交換過程を通じて生じている現象を示唆している。したがって、この変動のメカニズムを検討することは、相模湾沿岸域の水質環境を考えていくうえで重要な課題になる。

沿岸域の水質諸量と河川負荷量の主成分分析の解析結果 (Table3-4) から、第1主成分には沿岸域の水質諸量の主成分分析結果と同様に水質諸量の季節変動が示され、第2主成分では、沿岸域のCOD変動と河川のCOD負荷量の変動が、花水川を境にした東西の河川および沿岸域で異なることが示された。しかし、境川系水の影響が、江ノ島付近の沿岸域から1.7Km~2.7Kmまでおよび (斎藤ほか、1987) といった事実を反映する結果は得られなかった。これは、沿岸域と河川とで調査日時がずれていることや、河川から負荷された

物質の沿岸域に及ぼす影響が1ヶ月スケールの変動より早いことなどが主な原因であると考えられる。したがって、河川からの物質負荷変動の影響に伴う沿岸域の水質変動を検討する場合は、毎月1回の調査よりも時間スケールの短い、数日ないしは1週間程度の間隔で、なおかつ、河川と沿岸域での観測日の時間のずれが少ない調査を行なう必要があるだろう。また、三浦半島南部のT-Pの変動と相模川などの負荷量変動との間に対応が見られ、低塩分水である東京湾系水の相模湾東部沿岸域への負荷と、相模湾へ流入する河川の負荷量との変動傾向が類似することが示唆された。このことは、今後、相模湾沿岸域の水質環境を検討していく場合、相模川・酒匂川などの河川からの負荷量のみならず、今まで十分に検討されてこなかった隣接する東京湾系水の流入のメカニズム、それに伴う負荷量なども重要な要因として取り扱う必要があることを示していると考えられる。



## 第4章 相模湾奥部への東京湾系水の流入機構

本章では、黒潮流路の離接岸に伴う東京湾系水の相模湾奥部への流入について、東京湾口と三崎-真鶴断面において毎月測定された塩分とCODの分布を用いて定性的に議論した。また、それに関連する外的諸要因（月平均風速と河川流量）の変動および水質への影響について考察した。

### 4-1 資料および解析方法

1985年～92年までの神奈川県水産試験場が毎月行っている定線観測資料（水温・塩分とCOD）、1都3県漁海況速報、アメダス気象データ、流量年表およびNOAAの衛星画像（日本気象協会発行）を用いて、黒潮流路パターン、風、東京湾内への河川流量の変動に伴う東京湾系水の張り出し（流入）のメカニズムについて解析を行った。Fig.4-1に神奈川県水産試験場が毎月行っている定線観測点を示す。

相模湾奥部への東京湾系水の張り出しと、それに影響を及ぼすと考えられる、黒潮流路パターン、東京湾口付近（三浦）の風、および東京湾内に流入する河川流量（代表として多摩川）の変動との関連性を調べるため、東京湾口（St.13、St.14、St.26）と相模湾の沖合（大島の北側：St.19）で毎月観測された水温・塩分から密度（ $\sigma_t$ ）を計算した。そして、相模湾沖合と東京湾口の密度差が正であるならば東京湾系水が東京湾口付近に張り出し、反対に負であるならば東京湾口付近に沖合水が分布すると考え、この密度差変動と上記の3要因とをそれぞれ比較し、東京湾系水の張り出しに影響を及ぼす主要因について検討した。さらに、密度差の変動パターン（グラフの形状：各月における、St.13、St.14、St.26の棒グラフの向き）から、相模湾奥部への東京湾系水の張り出しパターンを類型化することを試みると同時に、相模湾奥部への東京湾系水の張り出しの頻度について議論した。なお密度は、観測点（St.13、St.14、St.15、St.26、St.19）における0m層、10m

層の水溫・塩分から求め、0m層と10m層の平均値を各測点での密度とし、St.14の密度はSt.15の密度との平均値とした。密度差は沖合のSt.19と東京湾口のSt.13、St.14、St.26との間でそれぞれ計算した。

最後に、相模湾奥部への東京湾系水の張り出しに影響を及ぼすと考えられる主要因を説明変数として、相模湾口および東京湾口の表面塩分に対する重回帰分析を行い、長期的に見た黒潮流路変動の違いに伴う東京湾系水の張り出しの動態について定性的に議論した。

## 4-2 解析結果

### 4-2-1 相模湾奥部への東京湾系水の流入の変動特性

#### (1) 東京湾口の表面塩分変動

Fig.4-2 (a) ~ (h) に、1985年から1992年までの毎年の東京湾口における塩分の時間変動を、Fig.4-3に長期的に見た黒潮流路パターンの変化を示す。Fig.4-2の(a)と(b)を見ると、6月初旬から9月下旬にかけて塩分33psu以下の軽い水が三浦半島から房総半島にかけて存在している。東京湾内へ流入する河川の代表として多摩川の流量をとると、1985、1986年の6月~9月の月平均河川流量は1985年が約70m<sup>3</sup>/s(7、8、9月が欠測のため6月の平均値と相模川の流量から推測)で多く、1986年は約40m<sup>3</sup>/sで少なかった。また、三浦における卓越風向(毎月の最多風向)は1985、1986年共に6月と9月がNNE、7月と8月がSSWであった。このとき黒潮流路の型はC、B、N型で非大蛇行流路をとっていた(Fig.4-3)。Fig.4-2(c)に示す1987年(6月~9月の多摩川の月平均河川流量は22m<sup>3</sup>/s、卓越風向はSSW)には、塩分33psu以下の軽い水が、7月下旬から8月初旬にわずかに三浦半島側で見られるだけで、東京湾口の塩分は1年を通じて他の年より高かった。1987年は、黒潮系水が大島西水道から相模湾に強く流入する(秋、1992)大蛇行期であった。さらに、黒潮がC、B、N型期になっている1988、1989、1991、1992年(Fig.4-2(d)、(e)、(g)、(h))は、Fig.4-2(a)、(b)と同様に、6月から11月中旬まで東京湾口に塩分33psu以下



の低塩分水の分布が見られるものの、1990年のA型期 (Fig.4-2 (f) ) には1987年と同様に低塩分水の顕著な分布は見られない。

以上のことから、黒潮が非大蛇行期には東京湾口に顕著な低塩分水の分布が見られるが、大蛇行期にはその分布が見られないことが分かった。

## (2) 相模湾口の表面塩分変動

Fig.4-4の (a) ~ (g) に、1985年から1991年までの三崎-真鶴間の表面塩分の時系列を示した。東京湾口と同様に、黒潮が非大蛇行流路をとっていた1985、1986、1988、1989、1991年 (Fig.4-4 (a) 、 (b) 、 (d) 、 (e) 、 (g) ) の5月~10月頃に湾口に低塩分水 (33psu以下) の分布が見られた。

非大蛇行期における三浦半島側の低塩分の分布と、東京湾口の低塩分の分布のを比較すると時期はほぼ一致している。したがって、黒潮の非大蛇行期には、相模湾東部沿岸域に東京湾系水が顕著に張り出すことが分かる。また、Fig.4-4 (a) あるいはFig.4-4 (b) などを見ると、夏季の真鶴側に三崎側とで相対する形で低塩分水の分布が見られる。この分布は、相模湾の循環系が主に左旋環流であること、相模川・酒匂川などの数多くの河川が相模湾中部から西部に流入していることから河川系水の影響を受けていると考えられる。

大蛇行期のFig.4-4 (c) と (f) を見ると、東京湾口と同様に顕著な低塩分水の分布は見られなかった。

## (3) 東京湾口と相模湾口のCOD変動

相模湾奥部の水質への東京湾系水の張り出しの影響を検討するため、1985年から1989年までの東京湾口におけるCODの変動をFig.4-5 (a) ~ (e) に、三崎-真鶴間 (相模湾口) におけるCODの変動をFig.4-6 (a) ~ (e) にそれぞれ示す。

非大蛇行期の6月から10月に、東京湾口中央付近から三浦半島側に高濃度のCODの分布が見られ (Fig.4-5 (a) 、 (b) 、 (d) 、 (e) ) 、これらの高濃度のCODの分布は、

Fig.4-2で見られた非大蛇行期の三浦半島側の低塩分の分布時期とほぼ一致した。また、相模湾口でも、低塩分水の分布が顕著に見られる時期 (Fig.4-4 (a)、(b)、(d)、(e)) にCOD濃度が高くなっており (Fig.4-6 (a)、(b)、(d)、(e))、特に、夏季に2.0mg/l以上の高濃度の分布が三崎側と真鶴側に見られた。これらの結果は、三崎側の高COD濃度の分布が東京湾系水の負荷によるもので、真鶴側の高COD濃度の分布は河川系水の負荷によるものであることを示す。また、三崎側と真鶴側のCOD濃度を比較すると、三崎側のCOD濃度の方が高い傾向にあった。

東京湾口と相模湾口における、大蛇行期のCODの分布 (Fig.4-5 (c)、Fig.4-6 (c)) を見ると、1年を通じてCOD濃度が低いことが分かった。COD濃度の最大は、夏季でも1.7mg/l程度であった。

Fig.4-7は、大蛇行期 (1987年5月) と非大蛇行期 (1985年5月) の相模湾奥部における塩分とCODの水平分布図の一例である。非大蛇行期には、湾奥部の東西に低塩分水の分布が見られCOD濃度も高くなっているが、大蛇行期には、湾奥部は高塩分になりCOD濃度も低い。

以上のことから、黒潮が大蛇行期には、相模湾奥部で、東京湾系水や河川系水の分布が顕著に見られ、相模湾奥部の水質濃度も上昇することが分かった。

#### 4-2-2 衛星画像から見た東京湾系水の張り出し

Fig.4-8 (a) ~ (e) は、黒潮と東京湾系水の張り出しを衛星画像から見たものである。黒潮分枝流が大島西水道から房総半島の先端に分布する場合、東京湾口から三浦半島を巻き込む形で東京湾系水の張り出しが見られる (Fig.4-8 (a)、(c))。黒潮分枝流の流入が明瞭でないとき (Fig.4-8 (b)) 東京湾系水の張り出しは顕著に見られる。黒潮分枝流の流入が東京湾口付近にまで及び場合、東京湾系水は沖合水によって沖合への張り出しが抑えられている (Fig.4-8 (d))。さらに、沖合水が湾中央付近に分布している場合、東京湾系水は沖合側に広く分布する (Fig.4-8 (e))。



以上のことから、黒潮系水の流入が強く沖合水が東京湾口におよぶ場合、東京湾系水の相模湾への張り出しは抑えられることが分かった。一方、黒潮系水の流入が弱いときは、東京湾系水が相模湾口に張り出しやすいことが分かった。

#### 4-2-3 東京湾系水の張り出しと外的諸要因

Fig.4-9 (a)、(b)は1986年(非大蛇行期)と1990年(大蛇行期)の密度差の変動と、月平均した三浦における風向・風速、多摩川の月平均流量の変動を示したものである。このような解析を1985年～1991年までの7年間について行った。

非大蛇行期における密度差は、1年を通じて正の値を示す傾向が強く、大蛇行期には主に負を示す傾向が強いことが分かった。また、相模湾奥部へ東京湾系水を張り出させる風は北よりの風であると考えられるが、東京湾系水の張り出しが見られた時(例えば、1986年7、8月: Fig.4-9 (a))の風向は、他の夏季と同様に南よりの風が卓越し月単位の風との対応性は悪い。一方、非大蛇行期(Fig.4-9 (a))の多摩川の月平均流量と東京湾系水の張り出しを比較すると、河川流量が多いとき密度差は正の値を示し良い対応性が見られる。しかし、大蛇行期のときは(Fig.4-9 (b))、河川流量が多くても密度差が負の値を示す傾向が強く、東京湾口への沖合水の波及が推測できる。

#### 4-2-4 東京湾系水の張り出しの類型化

Table4-1は、毎月得られた東京湾口における密度差変動のグラフの形状から、形状を大きく5つのTypeに大別しその頻度を求めたものである。Type 1は、東京湾系水が東京湾口中央付近から三浦半島側に分布するようなグラフの形状になった場合の頻度を、Type 2は、三浦半島側および房総半島側に東京湾系水が分布するようなグラフの形状になった場合の頻度を、また、Type 3は東京湾口全域に東京湾系水が分布するようなグラフの形状になった場合の頻度をそれぞれ表す。Type 4は、東京湾口付近全域に沖合水が分布するようなグラフの形状を示した場合の頻度を表す。また、Type 5は、沖合と東京湾口で

密度差が見られない場合で、沖合水が東京湾口付近まで及んでいるか、あるいは東京湾系水が沖合まで広がっているような場合を示す。

Type 1～Type 3は、東京湾系水が相模湾へ張り出す場合の密度差の分布であり、その頻度分布から、1985年～91年の間に東京湾系水の相模湾への張り出しが7割程度見られたことが分かる。さらに、東京湾系水の張り出しが見られたときの黒潮流路は主に非大蛇期で、張り出しが見られないときは主に大蛇行期であった。

#### 4-2-5 東京湾系水の張り出しの重回帰分析

相模湾奥部への東京湾系水の張り出しには、長期的に見た黒潮流路の変動と東京湾内に流入する河川流量が密接に関係していることを示した。ここでは、重回帰分析を用いて、前節までの結果および、黒潮大蛇行期に東京湾系水が東京湾口で沖合水によって留められるのか、あるいは沖合水によって房総半島側から沖合に流出しているのかを明らかにした。重回帰分析は、Fig.4-1に示した観測点のうちSt.12、St.27、St.29、St.136の表面塩分をそれぞれ目的変数 ( $Y_{ij}$ )、大島と南伊豆の潮位差 ( $X_1$ : 大島西水道からの黒潮分枝流の流量)と東京湾内に流入する河川流量 ( $X_2$ ) を説明変数として、大蛇行期 (M) および非大蛇行期 (NM) に分けて解析した。 $Y_{ij}$ の*i*は観測点番号、*j*は大蛇行期か非大蛇行期かをそれぞれ表す。また、各重回帰式の下部に*p*値、相関係数 (R) および*R*<sup>2</sup>値を示した。

相模湾口東側のSt.12における重回帰分析の結果を以下に示す。

$$Y_{12NM} = -0.006 X_1 - 0.478 X_2 + 35.901 \quad (4-1)$$

(*p*値) 0.0006    0.9579    0.0001    <0.0001  
(R) : 0.477    (R<sup>2</sup>) : 0.228

$$Y_{12M} = 0.304 X_1 - 0.233 X_2 + 34.690 \quad (4-2)$$

(*p*値) 0.1315    0.1616    0.2775    <0.0001  
(R) : 0.428    (R<sup>2</sup>) : 0.184

(4-1)、(4-2)式をみると、非大蛇行期はSt.12の塩分に対して東京湾内の河川流量が有意になっているのに対し、大蛇行期は有意性は低いものの黒潮分枝流の流量がSt.12の塩分に



対し有意になっている。したがって、東京湾系水の相模湾奥部への張り出しには、長期的に見た黒潮流路の変動とそれに伴う大島水道から相模湾への分枝流の流入流量が影響を及ぼすことが分かる。

次に、東京湾口付近のSt.136、St.27、St.29、St.26における重回帰分析の結果を(4-3)～(4-10)式に示す。

[St.136]

$$Y_{136NM} = -0.077 X_1 - 0.694 X_2 + 36.245 \quad (4-3)$$

(p値) <0.0001    0.3904    <0.0001    <0.0001  
(R) : 0.688    (R<sup>2</sup>) : 0.473

$$Y_{136M} = 0.097 X_1 - 0.411 X_2 + 34.485 \quad (4-4)$$

(p値) 0.1058    0.6467    0.0627    <0.0001  
(R) : 0.449    (R<sup>2</sup>) : 0.201

[St.27]

$$Y_{27NM} = -0.062 X_1 - 0.581 X_2 + 36.358 \quad (4-5)$$

(p値) <0.0001    0.5432    <0.0001    <0.0001  
(R) : 0.576    (R<sup>2</sup>) : 0.332

$$Y_{27M} = 0.260 X_1 - 0.311 X_2 + 34.596 \quad (4-6)$$

(p値) 0.0846    0.2121    0.1388    <0.0001  
(R) : 0.458    (R<sup>2</sup>) : 0.210

[St.29]

$$Y_{29NM} = -0.036 X_1 - 0.623 X_2 + 35.692 \quad (4-7)$$

(p値) <0.0001    0.7078    <0.0001    <0.0001  
(R) : 0.620    (R<sup>2</sup>) : 0.384

$$Y_{29M} = 0.212 X_1 - 0.529 X_2 + 35.664 \quad (4-8)$$

(p値) 0.0058    0.2459    0.0073    <0.0001  
(R) : 0.622    (R<sup>2</sup>) : 0.387

[St.26]

$$Y_{26NM} = 0.038 X_1 - 0.332 X_2 + 35.054 \quad (4-9)$$

(p値) 0.0320    0.7663    0.0114    <0.0001

(R) : 0.340    (R<sup>2</sup>) : 0.116

$$Y_{26M} = 0.259 X_1 - 0.378 X_2 + 34.874 \quad (4-10)$$

(p値) 0.0397    0.1989    0.0660    <0.0001

(R) : 0.514    (R<sup>2</sup>) : 0.265

(4-3) ~ (4-10) 式をみると、(4-6式)を除いて大蛇行期、非大蛇行期ともに各測点の塩分に対して東京湾内の河川流量が有意になっている。St.27の大蛇行期の結果(4-6式)では、黒潮分枝流の流量、東京湾内の河川流量とも有意性が低かった。これは、大蛇行期に黒潮系沖合水が東京湾口まで波及していることを示唆している。最も房総半島側のSt.26の結果(4-9、4-10式)をみると、大蛇行期、非大蛇行期ともに塩分に対して東京湾内の河川流量が有意に左右している。これは、大蛇行期に東京湾内の三浦半島側に分布した東京湾系水が、沖合水によって房総半島側から流出していることを表す。

以上の結果から、東京湾系水の張り出しは、非大蛇行期のみならず大蛇行期にもあるが、大蛇行期は東京湾口への沖合水の波及が強いため、東京湾系水はそれに駆動され相模湾奥部には張り出さず、房総半島側から湾外へ流出していると結論できる。

### 4-3 考察

東京湾系水の張り出しと、風の間には良い対応性が見られなかった。これは、夏季に、東京湾系水と相模湾内水との間に強い密度成層が発達し、風によって駆動される影響よりも密度流による影響が強いためと考えられる。また、本解析結果では、突発的なイベントである季節的な強風、あるいは台風などの影響に伴う東京湾系水の相模湾への張り出しは明らかでない。したがって、このような突発的な現象を把握するような短期(日単位)の解析が今後必要と考えられる。

Fig.4-10、Fig.4-11は、1986年(非大蛇行期)と1987年(大蛇行期)の東京湾口・相模湾



口の塩分変動と、相模湾へ流入する河川の流量（相模川と酒匂川の日平均流量の和）および多摩川の日平均流量の変動をそれぞれ示したものである。Fig.4-10（非大蛇行期）を見ると、多摩川の河川流量が多いとき東京湾口に低塩分の分布が見られ、相模湾へ流入する河川流量が多いときは、相模湾口に低塩分水が見られた。しかし、Fig.4-11（大蛇行期）では、夏季に真鶴半島側に河川流量の増加に伴う低塩分水の分布が見られるものの、東京湾口側には河川流量の増加に伴う低塩水の分布は見られなかった。これは、相模湾への黒潮支流の流入が大蛇行期には強く、黒潮系沖合水は東京湾口に波及し、相模湾内に顕著な左旋環流を形成するためであると考えられる。すなわち、東京湾系水や河川系水といった低塩分水は、沖合水によって1ヶ月より短いスケール（数日から1週間程度）で混合されてしまうと推察される。ゆえに、相模湾への東京湾系水の張り出し現象に最も影響を及ぼす要因は、沖合を流れる黒潮流路の変動とそれに伴う相模湾内の循環の強さが重要であると推論できる。1990年10月（Fig.4-2（f））は大蛇行期にもかかわらず東京湾口に東京湾系水の分布が見られた。これは、黒潮が大蛇行期から非大蛇行期（直進期）への移行期で、この時期に相模湾へ流入する黒潮系水は主に大島東水道から流入する傾向があり（杉本ら、1992）、湾内への沖合水の流入が弱められ東京湾系水が張り出したと考えられる。

黒潮が非大蛇行期のとき、東京湾口や相模湾口の塩分が低塩分になると同時にCOD濃度も高くなった。これは、相模湾に張り出した東京湾系水によってCOD濃度が高められたと考えられる。逆に大蛇行期は、東京湾系水が東京湾口付近に波及してくる沖合水によって混合されるため高塩分、低COD濃度の分布になると考えられる。したがって、黒潮が大蛇行期の場合、相模湾奥部の水質は非大蛇行期に比べ良好になると推測できる。

非大蛇行期に見られた相模湾口における夏季のCOD濃度の値は2.0mg/l以上で、相模湾東部湾口で最も高いときは2.8mg/l以上になっていた（Fig.4-6）。これは、相模湾の水質環境基準（斉藤、1992）を超える濃度である。また、密度差変動のグラフの形状から見た東京湾系水の相模湾奥部への張り出しの頻度は、対象とした1985年～1991年までの間に約7割あり、流入の多少はあるが、相模湾奥部へ東京湾系水によって負荷されたCOD、N、

Pなどによる相模湾奥部の水質の悪化（赤潮の発生など）、あるいは定置網漁業等の水産への影響が懸念される。ゆえに、どの程度、東京湾から相模湾奥部へ負荷があるかを定量的に明らかにすることが重要で、そのためには、相模湾奥部への東京湾系水の流入量を明確にする必要がある。



## 第5章 相模湾奥部の海水交換と黒潮変動の影響

この章では、相模湾奥部の循環型の変動と海水交換の関係を、夏季における上層の塩分のボックスモデルによる収支解析に基づいて解析した。また、これまで明確にされていなかった東京湾系水の相模湾奥部への流入量を定量的に見積り、相模湾奥部の水質に対する東京湾系水の影響について考察した。

### 5-1 資料および解析方法

#### 5-1-1 ボックスモデルと基礎方程式

##### (1) ボックスモデル

相模湾奥部をFig.5-1のような3ボックスに分割し、塩分収支から循環流および海水交換について検討した。黒潮系沖合水、東京湾系水および相模湾河川系水の水塊分布の構造と4つの循環型を表すため、湾奥部を3つのボックスに分割した。また、東京湾系水と相模湾河川系水は、ここで対象にした夏季には厚さが約10~20mで三浦半島側と伊豆半島側にそれぞれ分布することが三崎-真鶴間における塩分の鉛直断面図から得られたため、各ボックスの厚さは20mとした。さらに、各ボックスの水平方向の距離もこの分布からそれぞれ11、16、13kmとした。図中の $U_i$ 、 $S_i$ は、各断面における流速および塩分をそれぞれ表し、 $V_i$ 、 $S_{bi}$ は各ボックスの体積と塩分を表す。また、 $R_1$ および $R_2$ は相模川と酒匂川の河川流量を示す。 $L_i$ は、ボックスの中心から湾口側境界、あるいは隣のボックスの中心までの距離を表す。 $Tok$ は、(2)で説明するような東京湾系水のBox1への淡水流入量を示す。

##### (2) 変数 $Tok$ を設けた意味

本ボックスモデルの塩分値は、Fig.5-2の観測資料を用いているため、Box1の沖合側境

界では、塩分値を沿岸までSt.12の値に等しいと仮定した。しかし、三浦半島沿いに狭い幅で間欠的に東京湾系低塩分水の流入があるときは、これを正しく表現しないため (Fig.5-3)、その見落とされた低塩分水流入の効果をTokとして求め、その流入特性を考察した。

### (3) 基礎方程式

用いた方程式を以下に示す。

$$U1 \cdot A1 + Tok + U4 \cdot A4 = 0 \quad (5-1)$$

$$V1 \frac{dSb1}{dt} = U1 \cdot A1 \cdot S1 - Kh \cdot A1 \cdot \frac{Sb1 - S1}{L1} + U4 \cdot A4 \cdot S4 - Kh \cdot A4 \cdot \frac{Sb1 - Sb2}{L4} - Kz \cdot A6 \cdot \frac{Sb1 - S6}{20} \quad (5-2)$$

$$-U4 \cdot A4 + U2 \cdot A2 + R1 + U5 \cdot A5 = 0 \quad (5-3)$$

$$V2 \frac{dSb2}{dt} = -U4 \cdot A4 \cdot S4 - Kh \cdot A4 \cdot \frac{Sb1 - Sb2}{L4} + U2 \cdot A2 \cdot S2 - Kh \cdot A2 \cdot \frac{Sb2 - S2}{L2} + U5 \cdot A5 \cdot S5 - Kh \cdot A5 \cdot \frac{Sb2 - Sb3}{L5} - Kz \cdot A7 \cdot \frac{Sb2 - S7}{20} \quad (5-4)$$

$$-U5 \cdot A5 + R2 + U3 \cdot A3 = 0 \quad (5-5)$$

$$V3 \frac{dSb3}{dt} = -U5 \cdot A5 \cdot S5 + Kh \cdot A5 \cdot \frac{Sb2 - Sb3}{L5} + U3 \cdot A3 \cdot S3 - Kh \cdot A3 \cdot \frac{Sb3 - S3}{L3} - Kz \cdot A8 \cdot \frac{Sb3 - S8}{20} \quad (5-6)$$

ここで、KhとKzは、それぞれ水平拡散係数と鉛直拡散係数を表す。Kzの値は、海面からの攪乱と密度成層状態に依存して変化するが、夏季成層期の標準的な値は0.1~1.0cm<sup>2</sup>/sの程度であり (大久保, 1981)、ここではやや大きめかも知れないが1.0cm<sup>2</sup>/sを定数として与え、鉛直移流の効果は鉛直拡散の中に入れて考えた。



#### (4) ボックスモデルに用いた基礎データ

塩分データは、神奈川県水産試験場が毎月行っている定線観測 (Fig.5-2) 資料を用い、各測点間で水平距離の加重平均を施したのち3ヶ月の移動平均を求め基礎データとした。また、 $\Delta t$ は観測日から次の観測日までの時間で計算した。

各河川流量値は、相模川が寒川取水堰の下流放流量を、酒匂川が飯泉取水堰の下流放流量をそれぞれ3ヶ月の移動平均を施したのち用いた。

#### 5-1-2 水平拡散係数 ( $K_h$ ) の与え方

拡散係数が考えている現象のスケールの4/3乗に比例するというリチャードソンの法則 (5-7) 式を用い、ボックスの各点の分散のサイズとして $L \approx 10\text{km}$ 、乱れのエネルギー逸散率として $\alpha = 0.01\text{cm}^2/3/\text{s}$ を与えると、水平拡散係数は約 $1.0 \times 10^6\text{cm}^2/\text{s}$ となる。

$$K_h = \alpha \times L^{4/3} \quad (5-7)$$

また、大久保の実験式 (5-8) から、染料の拡がりのサイズとしてボックスのサイズ $L \approx 10\text{km}$ を与えると、水平拡散係数は、約 $0.08 \times 10^6\text{cm}^2/\text{s}$ となる。

$$K_h = 0.0103 \times L^{1.15} \quad (5-8)$$

しかしながら、密度流や鉛直シア分散効果を加えると、これらの値よりは大きくなるはずである。また、例えば大阪湾奥部のボックスモデル解析では $0.88 \times 10^6\text{cm}^2/\text{s}$ と見積られている (柳ら、1993)。

そこで、本ボックスモデルでは $T_{ok}$ がゼロに近く密度流や鉛直シア分散効果が小さいと考えられる状況、すなわち黒潮大蛇行期でなおかつ相模湾流入河川流量が少ない1987年について、 $T_{ok}=0$ とし、(5-1) ~ (5-6) 式から $K_h$ を求めた。その結果、 $K_h$ は $0.93 \times 10^6 \sim 1.21 \times 10^6\text{cm}^2/\text{s}$ の範囲の値になり、平均値は約 $1.0 \times 10^6\text{cm}^2/\text{s}$ となった。よって、(5-1) ~ (5-6) 式の連立方程式の $K_h$ にこの値を与え、 $T_{ok}$ および $U_i$ を求めた。なお、本研究では、黒潮が非大蛇行期で、相模湾に流入する河川流量が比較的多かった1985年と、やや少なかった1992年、黒潮が大蛇行期で、相模湾に流入する河川流量が比較的多かった1977

年および少なかった1987年についてそれぞれ計算を行った。計算は、相模湾奥部が主に成層期となる6~7月、7~8月、8~9月の3ケースについて行った。

## 5-2 解析結果

### 5-2-1 黒潮非大蛇行期

Fig.5-4 (a)、(b)は、1992年と1985年の各ボックスの塩分変動と、相模川・酒匂川の流量変動を示したものである。また、Fig.5-5 (a)、(b)は、それぞれ1992年と1985年の計算結果を示す。図中の数値は、各断面を通過する流量 $Q_i (=U_i \times A_i)$ 、河川流量およびTokの流量を表す。括弧内の数字は、流速を表す。

1992年夏季の相模湾奥部表層の循環は、全て左旋型を示す (Fig.5-5 (a)) のに対し、1985年夏季の循環 (Fig.5-5 (b)) は、6~7月が右旋型、7~8月が流入型、8~9月が左旋型と循環型が変化し、流入・流出の平均輸送量のオーダーは1985年が $3000\text{m}^3/\text{s}$ 、1992年が $9000\text{m}^3/\text{s}$ であった。

1992年夏季に相模湾に流入する河川流量は約 $40\text{m}^3/\text{s}$ 、Tokの平均流量は約 $90\text{m}^3/\text{s}$ となり、Tokの方が約2倍大きい。一方、1985年の平均河川流量は約 $70\text{m}^3/\text{s}$ 、Tokの平均流量は約 $40\text{m}^3/\text{s}$ で、河川流量の方が約2倍程度大きかった。

1992年の各ボックスの塩分変動を見ると (Fig.5-4 (a))、6~7月下旬に大きく減少し、その後8月中旬まで上昇、さらに9月上旬にかけて減少している。この間の、相模湾への流入河川流量には大きな変動は見られない。その結果、Tokの流量は6~7月下旬の塩分減少期には約 $150\text{m}^3/\text{s}$ あり、8月中旬までの塩分上昇期には $40\text{m}^3/\text{s}$ と約1/4に減少している (Fig.5-5 (a))。さらに、8月中旬から9月下旬の塩分減少期にTokは約 $80\text{m}^3/\text{s}$ と2倍に増加している。同様に、1985年の塩分変動 (Fig.5-4 (b)) を見ると、6~7月にかけて減少するものの、その後は上昇傾向を示した。河川流量は1992年に比べて大きく、とくに6~7月に見られた塩分減少期に最大になり、その後減少している。この6~7月の平均河川



流量は約 $80\text{m}^3/\text{s}$ で、Tokの流量も同程度（約 $70\text{m}^3/\text{s}$ ）であった。7～8月の塩分上昇期は、河川流量が6～7月と同程度であるのに対し、Tok流量が $30\text{m}^3/\text{s}$ と約50%減少した（Fig.5-5 (b)）。また8月～9月の塩分上昇期は、河川流量がほぼ半分に減少したのに対し、Tok流量は7～8月と同程度であった。以上の結果から、非大蛇行期における相模湾奥部の塩分変動に対して、Tokの寄与が大きいことが分かる。

次に、非大蛇行期（1992年と1985年）における、各ボックスの水平移流・水平拡散・鉛直拡散・陸水流入によるフラックスを計算し、Table5-1とTable5-2に示した。Box1では、淡水流入（東京湾系水）のフラックスが大きく、Box2では河川水流入と水平移流および水平拡散のフラックスが、Box3では水平移流と水平拡散の効果がそれぞれ強いことが分かる。

#### 5-2-2 黒潮大蛇行期

Fig.5-6 (a)、(b)は、それぞれ1977年と1987年の各ボックスの塩分変動と、相模川・酒匂川の流量変動を示したものである。また、Fig.5-7 (a)、(b)は、それぞれ1977年と1987年の計算結果を表す。

1977年夏季の相模湾奥部表層の循環は、すべて流出型を示す（Fig.5-7 (a)）のに対し、1987年夏季の循環（Fig.5-7 (b)）は、8～9月の場合を除き左旋型になった。また、平均輸送量は1977年が約 $30000\text{m}^3/\text{s}$ 、1987年が約 $25000\text{m}^3/\text{s}$ であり、非大蛇行期の輸送量（Fig.5-5 (a)、(b)）と比較すると、数倍～10倍大きい。

各ボックス内の6～9月の塩分変動を見ると（Fig.5-6 (a)、(b)）、減少傾向はあるものの、非大蛇行期の変動に比べて緩やかで、塩分レベルも高かった。また、1977年8月中旬以降と、1987年9月下旬頃に大量の河川水の流入が見られ（Fig.5-6 (a)、(b)）、前者の時期は、ボックスの塩分が若干減少しているものの、後者の時期は塩分が増加傾向を示した。Tokの流量は、非大蛇行期に比べ小さく相模湾奥部への流入が見られない場合もあった（Fig.5-7 (a)、(b)）。これらの結果は、黒潮大蛇行期には、湾内の循環が非大

蛇行期に比べ強く、湾内の塩分変動に対する河川水やTokの寄与が小さいことを示す。

Table5-1と同様に、大蛇行期（1987年と1977年）における各ボックスの水平移流・水平拡散・鉛直拡散・陸水流入によるフラックスを計算しTable5-3とTable5-4に示した。非大蛇行期に比べ、大蛇行期は、各ボックスにおける淡水流入のフラックスが小さく、水平移流・水平拡散による影響の強いことが分かる。

### 5-2-3 黒潮大蛇行期・非大蛇行期の海水交換

湾口側境界を通じてボックスに流入出する塩分の水平移流項と水平拡散項の比は、およそ $Q/(A \times Kh / L)$ で表される。Fig.5-5 (a)、(b) およびFig.5-7 (a)、(b)、Table5-1～Table5-4から、水平移流項と水平拡散項の比は、非大蛇行期がほぼ1/1で、大蛇行期は10/1になる。このことは、月～季節平均で見た水平移流の効果は水平拡散に比べて、非大蛇行期が同程度、大蛇行期には10倍程度卓越していることを表している。

そこで、相模湾奥部の上層水の水平移流による海水交換時間を次式を用いて計算した。

$$T = V / Q_{out} \quad (5-9)$$

ここで、Tは水平移流による海水交換時間（sec）、Vは相模湾奥部の上層水の体積（ $m^3$ ）、 $Q_{out}$ は相模湾奥部から流出する体積輸送量（ $m^3/s$ ）をそれぞれ表す。海水交換時間は、黒潮非大蛇行期に約3～4週間、大蛇行期には約1週間と見積られた。したがって、大蛇行期に比べ非大蛇行期は海水交換に要する時間が長く、東京湾系水や相模湾流入河川系水が停滞し易いものと考えられる。

### 5-2-4 東京湾系水による相模湾奥部へのCOD負荷

東京湾系水の相模湾奥部への体積流入量は、本ボックスモデルから得られたTokの値に、東京湾口上層水の淡水の希釈倍率を乗じることにより求められる。東京湾口上層の平均塩分を $Stok$ 、東京湾口下層の平均塩分を $S_{out}$ とすると、希釈倍率 $R_{dil}$ と東京湾系水の流入量 $Q_{tok}$ は次式で見積られる。



$$R_{dil} = S_{out} / (S_{out} - S_{tok}) \quad (5-10)$$

$$Q_{tok} = Tok \times R_{dil} \quad (5-11)$$

また、東京湾系水の相模湾奥部への流入に伴うCOD負荷量 $Q_{COD}$ は、 $Q_{tok}$ に東京湾口上層のCOD濃度 $COD_{tok}$ を乗じることにより求められる。

$$Q_{COD} = Q_{tok} \times COD_{tok} \quad (5-12)$$

Table5-5は、希釈倍率 $R_{dil}$ と(5-11)式より得られた $Q_{tok}$ の値、および相模湾流入河川流量(相模川・酒匂川)、相模川・酒匂川、東京湾系水のCOD濃度と負荷量をまとめたものである。東京湾系水のCOD濃度としては東京湾口上層の濃度を用いた。希釈倍率 $R_{dil}$ は、8~20倍程度で平均は約15倍になる。また、河川流量が非常に多かった1985年を除き希釈倍率は、黒潮大蛇行期も非大蛇行期もほぼ同程度であった。さらに、東京湾系水の平均流入量は、相模湾に流入する平均河川流量の10~20倍程度になる。大蛇行期と非大蛇行期の相模川と酒匂川の相模湾奥部へのCOD負荷量を比較してみると、相模川は大蛇行期、非大蛇行期ともにそれぞれ約10ton/day、約5ton/dayとなった。一方、東京湾系水による相模湾奥部へのCOD負荷量は、大蛇行期が約50ton/dayであるのに対し、非大蛇行期は200ton/dayとなり黒潮流路型の違いによって4倍程度COD負荷量が変わる。また、東京湾系水による相模湾奥部へのCOD負荷量は、相模湾流入河川のCOD負荷量と比較すると3~10倍程度大きいことが示されている。

### 5-3 考察

#### 5-3-1 黒潮大蛇行期と非大蛇行期の循環型とフラックス

ボックスモデルから得られた循環型は、黒潮大蛇行期が主に左旋型と流出型になり、非大蛇行期は、左旋型、右旋型、流入型になった。中でも、左旋型になるケースが最も多く、相模湾表層の循環が主に左旋環流であること(木村、1942など)と一致する結果となった。しかし、相模湾奥部の循環型には、大蛇行期、非大蛇行期に限らず、右旋型や流

出型、流入型の循環が見られた。1977年の大蛇行期の循環 (Fig.5-7 (a)) は全て流出型で、これは、湾中央付近から流入した沖合水が湾奥部で東西に分岐し三浦半島側で右旋環流、伊豆半島側で左旋環流を形成していることを示すものと考えられる。特に、三浦半島側からの流出が大きいことから、強い右旋環流が生じていると見られる。岩田 (1986) は、三浦半島沿岸に0~5cm/sの弱い南下流の存在を示したが、相模湾奥部の東側で右旋環流が生じるような場合は、これよりも強い流れが存在すると考えられる。

非大蛇行期の各フラックス (Table5-1とTable5-2) を見ると、淡水流入によるフラックスが大きかった。これは、Fig.5-5 (a)、(b) に見られるように、相模湾奥部の循環が弱く、東京湾系水や河川系水が密度流、風等の効果によって流入・流出し、湾奥部の塩分変動を規定していることを表していると考えられる。一方、大蛇行期には淡水フラックスが小さく、水平移流・水平拡散のフラックスが大きい傾向が見られる (Table5-3とTable5-4)。このことは、黒潮大蛇行期には、非常に大きな黒潮系沖合水の流入があり、それに伴う循環によって東京湾系水や河川系水が混合されていることを示していると考えられる。

### 5-3-2 変数Tokの水平拡散係数への依存性

本ボックスモデルでは、水平拡散係数を5-1-2に示した方法によって規定した。しかしながら、水平拡散係数は海況の短期的な変動によって大きく異なりその値のばらつきも大きい (大久保、1981)。そこで、ここでは水平拡散係数を、 $1 \times 10^5$ 、 $1 \times 10^6$ 、 $1.6 \sim 1.8 \times 10^6 \text{ cm}^2/\text{s}$ と変化させた場合のTok流量の違いについて検討した。Fig.5-8に、大蛇行期と非大蛇行期における、水平拡散係数とTokの平均流量との関係を示した。非大蛇行期は拡散係数が大きくなるにしたがってTokも大きくなるのに対し、大蛇行期は拡散係数を大きくしてもTokの値は大きく変化しない。これらのことから、非大蛇行期のTokの流量は拡散係数への依存性が高いと考えられる。また、非大蛇行期は相模湾奥部の循環が比較的弱いため、低塩分の東京湾系水は密度流として相模湾奥部に流入する可能性が高いと見られる。一方、大蛇行期は拡散係数を変化させてもTokへの依存性は弱い。これは、大蛇行期



は相模湾奥部に黒潮系水による強い循環が生じるため、水平拡散の影響よりも水平移流の効果強いことを意味していると考えられる。

### 5-3-3 与えた鉛直拡散係数の値の吟味

1987年と1985年の鉛直拡散による鉛直輸送 (Table5-2とTable5-3) を比較すると、河川流量が多かった1985年の方が3倍程度大きい。これは、兩年のボックスの下層と上層の塩分差 $\Delta S$ が1987年は約0.1であるのに対し1985年は0.3であるが、モデルでは $K_z$ を $1.0\text{cm}^2/\text{s}$ として兩年で等しく与えているため3倍大きくなっているものと考えられる。しかし、 $K_z$ は風による混合の強さが同じなら成層の強さにおおよそ逆比例するので、河川流量が大きかった年は小さかった年に比べて過大評価になっている可能性がある。

そこで、水平拡散係数を $K_h=1.0\times 10^6\text{cm}^2/\text{s}$ とし、 $K_z$ を0、0.3、1.0、3.0、 $10.0\text{cm}^2/\text{s}$ と変化した場合の輸送量 $Q_i$ と $T_{ok}$ の違いについて検討し、1987年の結果をTable5-6に示した。左旋型を示した6~7月と7~8月の場合、塩分収支に対して鉛直拡散係数 $K_z$ が $3.0\sim 10.0\text{cm}^2/\text{s}$ の範囲では、 $K_z$ が大きいくほど輸送量 $Q_i$ も大きくなっている。しかし、 $K_z$ が $0\sim 1.0\text{cm}^2/\text{s}$ の範囲では、塩分収支における鉛直拡散係数の効果は2次的であり、 $T_{ok}$ の流量の差異もほとんど見られない。8~9月について見ると、 $K_z$ が $0\sim 3.0\text{cm}^2/\text{s}$ の範囲では右旋型を示し、 $K_z$ が $10.0\text{cm}^2/\text{s}$ では左旋型を示すが、1都3県の漁海況速報から見ると右旋型になりやすい海況を呈している。さらに、 $T_{ok}$ の値について見ると、 $K_z$ が1.0および $3.0\text{cm}^2/\text{s}$ の場合は、小さいながらも流出、流入とが逆になっているが、Fig.4-2およびFig.4-4の(c)図からは流入は小さいと考えられる。以上のことから、本ボックスモデルで用いた $K_z=1.0\text{cm}^2/\text{s}$ は妥当な値であったと考えられる。

### 5-3-4 東京湾系水の流入が相模湾奥部の水質に及ぼす影響

大蛇行期に比べ非大蛇行期には、東京湾系水による相模湾奥部へのCOD負荷量は約4倍程度多く (Table5-5)、海水交換の時間も3~4週間と長いことが分かった。このことか

ら、非大蛇行期における相模湾奥部の水質は、東京湾系水による有機物質の負荷の大きな影響を受けるものと考えられる。Fig.5-9、Fig.5-10、Fig.5-11は、三崎沖 (St.13) と、相模湾中央部 (St.9) の1985年から1989年までのCODと無機栄養塩 (DIN、 $PO_4\text{-P}$ ) の濃度変動を示したものである。三崎沖の栄養塩の濃度は、相模湾中央部に比べ高い。三浦半島先端部には大きな河川の流入がないことから、三崎沖の栄養塩の変動は、東京湾系水の影響を受けていると考えられる。特に、無機態の窒素・リン濃度は上昇傾向を示しており、非大蛇行期はCODと同様に東京湾系水による相模湾奥部への負荷 (流量) が大きいため、COD負荷のみならず無機態の栄養塩類の負荷に伴う内部生産による相模湾奥部の水質悪化が懸念される。

Fig.5-12は、本論文の冒頭で示した相模湾奥部のCODの濃度変動と、ボックスモデルから得られた相模川・酒匂川および東京湾系水のCOD濃度・負荷量の年平均値の変動を表す。東京湾系水の相模湾奥部へのCOD負荷量は、1970年代後半の黒潮大蛇行期から1980年代前半の非大蛇行期にかけて上昇し、1987年の大蛇行期にやや減少するもののその後は上昇傾向にある。1977年から1985年までの東京湾系水の相模湾奥部へのCOD負荷量は、約5倍上昇したのに対し、1987年から1992年までは約10倍上昇している。これは、1970年代後半に黒潮大蛇行期が長期間あり、この間に黒潮系水による相模湾奥部の水質浄化が活発に行われたことを表していると考えられる。したがって、もし1980年代後半に黒潮大蛇行期が長期間続いていたならば、相模湾奥部の水質悪化は抑えられていたと推測される。



## 第6章 総合考察

この章では、相模湾奥部における1980年代以降の流動や海水交換、東京湾系水の流入負荷の大きさ、水質の悪化の原因等に関する、本研究によって得られた新たな知見に基づいて、相模湾奥部の水質環境保全のあり方について考察する。また、今後に残された研究課題について考察する。

### 6-1 相模湾奥部の水質管理のあり方

#### 6-1-1 相模湾奥部の水質悪化の原因

1970年代の相模湾奥部の水質は、相模湾に流入する相模川や匂勾川からの有機物負荷量の影響が大きく、また、隣接する東京湾でも、1973、74年頃に有機汚濁のピークが見られたように（Fig.6-1；小倉、1993）、陸からの有機物負荷による水質悪化が進行しやすい状況にあった。しかし、1970年代後半（75～79年）に黒潮大蛇行期が約5年間続き、相模湾奥部は黒潮系沖合水の流入による海水交換が活発で、東京湾系水や相模湾流入河川からの負荷が大きくても有機物の濃度は比較的低レベルで維持されていたと考えられる。ところが、1980年代および1990年代前半は、河川からの有機物の濃度・負荷量および東京湾内の有機汚濁が1970年代に比べ低下したにもかかわらず、1987年を除き黒潮が非大蛇行期であったため、相模湾奥部への東京湾系水の有機物負荷が増大すると同時に、黒潮系沖合水との海水交換が不活発で河川系水や東京湾系水が相模湾奥部に留まりやすい状態になり、COD濃度が1.5～2倍上昇するような水質悪化が生じたと考えられる。すなわち、1980年代に入ってからの相模湾奥部におけるCOD濃度の上昇（Fig.1-3）の主な原因は、1970年代初めから1990年代前半にかけての負荷量減少のトレンドに対して、1970年代後半には、黒潮流路が大蛇行期にあったために、この間の相模湾奥部の海水交換がたまたま良かったことによって引き起こされたと見られる。したがって、相模湾のみならず、駿河湾や土佐湾な

どのように黒潮の離接岸の影響を受ける開放型内湾の長期水質変動には、黒潮の数年～10数年スケールの経年的な流路変動に伴う湾内の循環および海水交換の変化が重要であると考えられる。

#### 6-1-2 無機栄養塩類の流入負荷の削減策

Fig.6-2は、東京湾流域の横浜市と川崎市を除く神奈川県東部（境川系）と西部（相模川・酒匂川系）の人口変動を示したものである。東部・西部ともに人口は年々増加傾向にあり、特に西部では人口増加が著しい。神奈川県では、人口増加に伴い公共下水道の整備や新たな下水処理場の建設などを行っている。下水処理場は、河川の有機物の濃度・負荷量を低レベルで維持するには有効であるが、無機栄養塩類の濃度・負荷量を増大させる。すなわち、下水処理量が増加すればするほど相模湾奥部の無機栄養塩類の濃度は上昇し、黒潮が非大蛇行期で相模湾奥部の海水交換が悪いときは、これらの無機栄養塩類が相模湾奥部における内部生産によるCODの増加に寄与する可能性がある。

このような河川水や処理場排水からの無機栄養塩類の負荷が、相模湾沿岸域の水質に影響を及ぼしているのであるならば、無機栄養塩類を削減させることが必要で、沿岸域での内部生産を増加させないための対策も講じる必要がある。

その対策として、例えば、処理場排水を陸棚の外の深層にディフューザーを通して放流する方法が挙げられる。あるいは、処理場排水を河川上流で排水し河川流量を増加させると同時に河床に植物を再生して河川の自浄能力を強化し、排水を再利用するといった対策が考えられる。また、沿岸域における赤潮などの発生の原因の一つとして、沿岸海水における珪素の相対的な量的不足が指摘されている（栗原、1988）。この珪素は、人為的に放出されることはなく河川水から補給されるもので、昭和初期の日本の河川水の珪素の平均的比率はSi : N : P = 317 : 22 : 0.2mg-atoms/m<sup>3</sup>であった。しかし、都市化・工業化に伴いN、Pが増加したためこの比率が崩れ、沿岸域への珪素の補給は減少している。また、相模川や酒匂川では、取水堰の大量取水に伴う河川流量の減少によって河川河口域の河口閉



塞が生じるなど、沿岸漁業への被害も報告されている（徳田ら、1988）。したがって、河川流量を増やし、かつN、Pを削減することがこれらの問題解決に対して有効であると考えられる。

### 6-1-3 相模湾沿岸域の環境管理に対する考え方

本研究では、相模湾奥部の水質悪化は、黒潮流路変動の違い（大蛇行期か非大蛇行期か）による相模湾奥部の海水交換の良し悪しによって生じることを示した。したがって、今後の相模湾の水質環境管理を考える場合は、黒潮非大蛇行期（相模湾奥部の海水交換が悪いとき）を基本とした水質管理施策というものが必要になる。また、黒潮非大蛇行期には、東京湾系水の相模湾奥部への侵入も顕著に見られるため、東京湾系水の負荷対策も含めた総合的な施策も必要になるといえる。

神奈川県では、1988年に「海・浜の秩序ある利用計画」を策定し（高橋、1989）、近年増加しているマリッジ産業と漁業との共存や秩序ある海の利用などについて、「サーフ'90」なるイベント（米村、1990）を通して多くの人々に将来の相模湾のあり方について理解を求めた。しかし、これらは「人と海との共生」という基本理念はあるものの、常にマリッジ産業開発が先に立った考え方が強い。したがって、マリーナが相模湾沿岸域に数多く作られれば、沿岸域の流動場の変化、ヨットなどの船底塗料の溶出やホテル建設に伴う下水の増加など沿岸域の水質悪化の要因は増えるばかりである。これらの対策に関しては言及されていないのが現状である。したがって、相模湾奥部の水質が悪化しつつあるという現状を十分に把握し、陸上で可能な限りリサイクルするシステムによって海域への流入負荷を少なくし、不可逆的な影響を及ぼす浅海域の埋め立てを原則として禁止、さらに、海浜や干潟、藻場等の再生による浄化対策も講じる必要があるといえる。

リゾート地として有名なハワイの海岸では、年間何億円の予算をかけて毎日海岸の清掃が行われ、砂浜の砂の入れ替えなども行い、美しい海と景観が保たれている。ゆえに、相模湾沿岸域でも、開発のみにお金を使うのではなく、有機物負荷量の削減のためのリサ

イクルシステムの構築や海岸域の清掃などの根本的な工夫により、自然のままに近い美しい海に戻す努力が必要である。

## 6-2 相模湾に流入する河川の集水域の開発と東京湾系水の流入負荷

### 6-2-1 東京湾内の水質と湾外への流出特性—赤潮の誘発とクラゲの流入

相模湾奥部では、赤潮の発生が増加している (Table6-1)。赤潮の発生回数は、目視観測や漁業者などの報告によるものであり、発生回数が多いからと言って必ずしもその年は海域の富栄養化が高まっていたと言えるわけではないが、発生場所について経年的に見てみると相模湾奥部の三浦半島側で赤潮の発生頻度が高い。赤潮は、過剰な栄養塩や有機物の負荷によって誘発されるが、相模湾奥部の東側には相模川のような大規模河川の負荷がないため、三浦半島側における赤潮は、東京湾系水による栄養塩や有機物の負荷によって引き起こされた可能性が強いと考えられる。

また、東京湾では、ミスクラゲの大量発生による火力発電所の取水や定置網等の揚網作業への影響等 (大森ら、1992) が社会的問題になり、ミスクラゲの生態に関する研究 (豊川、1994など) が行われている。ミスクラゲは、浮遊生活をしているため、東京湾系水とともに相模湾奥部に大量に流入する可能性が強いと考えられる。

したがって、黒潮の非大蛇行期は、相模湾奥部に東京湾系水が流入しやすかつ海水交換が悪いため、東京湾系水の流入による赤潮の発生や、クラゲの大量発生等に伴う定置網漁業への被害が懸念される。

### 6-2-2 相模湾沿岸域の水産およびリゾート開発とそれらが水質環境に及ぼす影響

相模湾奥部に流入する河川や東京湾系水からの有機物負荷量は、本研究により把握できた。しかし、相模湾沿岸域には、閉鎖的な小内湾が存在し、そこではマリーナやリゾートホテルなどの開発が進めれており、ヨットの船底塗料による水質悪化 (早川、1976) や小



内湾での水質悪化に伴う生物種の減少（森沢、1990）などの問題が起きている。これらの問題が生じている小内湾は、主に相模湾奥部の三浦半島側に存在している。これら小内湾の水質悪化の原因は、東京湾系水との海水交換によるものなのか、開発により藻場が縮小されたためなのか、あるいは陸からの下水量の増加のためなのか、明確にされていない。しかし、河川や東京湾等と同様に相模湾奥部の水質を支配する汚染源であることは事実であるだろう。したがって、相模湾奥部の長期的な水質変動を見るためには、相模湾に付属する小内湾の影響、すなわち小内湾と相模湾奥部との海水交換などを明らかにすることも重要であると考えられる。

### 6-3 今後に残された研究課題

本研究により、今まで明確にされていなかった黒潮が非大蛇行期のさいの相模湾奥部の循環流の変動特性や、季節平均スケールで見た春～夏の密度成層期における相模湾奥部の海水交換の強さや塩分フラックス、水質の長期変動に及ぼす黒潮流路型変動の影響、東京湾系水の相模湾への流入機構と流量ならびに相模湾に流入する大小の河川および東京湾系水の流入による有機物負荷量の変動特性、とくに黒潮流路型変動との関係等に関する新たな知見が得られた。しかしながら、相模湾奥部へ流入する河川系水や東京湾系水の無機栄養塩類の濃度が上昇しており、相模湾奥部の内部生産による有機物（COD）濃度の増加や、海岸域のリゾート開発等による新たな汚染も懸念される。したがって、今後は相模湾に流入する河川水や下水処理場排水からの無機栄養塩類の負荷量を明確にし、相模湾奥部の内部生産に対する影響を明らかにする必要があると考えられる。

本研究では、第2章で示したように、係留系の流速や日平均潮位データにより、相模湾における日単位の循環流の変動の実態を解析し、数日～20日程度の時間スケールの短期変動が卓越することを明らかにすることができた。しかし、塩分収支のボックスモデルによる解析では、数kmメッシュでの月単位のデータしか使えなかったため、10数kmスケール

のボックスで、3カ月移動平均の平滑化を施さざるを得なかった。今回のボックスモデルを改良するためには、係留系や、船舶搭載型のADCPやアクアシャトル、水温や水色の衛星画像などを用いて、数日～1カ月程度の時間的変化、とくに東京湾系水の流入や、急潮、洪水等のイベント現象の影響が把握できる詳細な観測データが必要である。本研究では、基礎生産やCOD濃度が高くなる春から夏の成層期の解析を行ったが、秋～冬季を含む冷却期を問題にする場合には、風波や海面冷却効果のKzへの影響および混合層厚の取り方等を再検討する必要がある。また将来、COD収支を解析するさいには、内部生産の影響を見積ることが重要であり、このためには、相模湾内外の栄養塩とクロロフィル、動植物プランクトン量のデータをあわせて検討する必要がある。



## 要約

わが国の太平洋岸には、相模湾や駿河湾の他に豊後水道、土佐湾、紀伊水道などの開放型の湾が並んでいる。これらの湾の海水循環は、沖合を流れる黒潮の離接岸に伴う黒潮系水の流入の影響が強く海水交換がよいと考えられている。そのため、水質に対する大きな懸念はなかった。しかし、相模湾奥部の表層では、1980年代に入り、海水の有機物の指標であるCOD濃度が1.5ppm程度となり、1970年代に比べ1.5~2倍に増加した。このような水質の悪化に伴い、沿岸域では赤潮やクラゲの大発生が見られるようになり、沿岸漁業にも影響が出ている。相模湾奥部の上層の水質は、主に、隣接する東京湾から流入する東京湾系水や相模川・酒匂川など相模湾に流入する河川水による負荷、湾内の上層における内部生産、沖合水との海水交換および下層水との混合によって規定されていると考えられる。中でも、大島西水道、東水道からの黒潮系水の流入に伴う湾内の循環流の変動と海水交換は、相模湾奥部の水質に対しても影響が大きく、その変動機構を解明することは重要な課題である。

そこで本研究では、1980年代における水質悪化の原因解明に焦点を絞って、現場観測により相模湾奥部の循環流の変動特性を調べ、既往資料の統計的解析により相模湾に直接流入する有機物負荷量と沿岸域への影響の特性を明らかにした。さらに、塩分収支のボックスモデル解析により、東京湾系水の相模湾奥部への流入流量を見積り、その黒潮流路型による差異を定量的に明らかにするとともに、開放型沿岸域の海水交換や水質の長期変動特性について考察した。

得られた研究成果の概要は以下の通りである。

### 1. 相模湾奥部の水平循環流の短期変動特性

相模湾奥部における水平循環流の構造と変動特性を明らかにするため、1992年5月から

約1年間、三崎西沖と真鶴東沖の2地点で係留系による測流を行い、これと水温・塩分分布構造の観測、および潮位資料の解析により、以下のことを明らかにした。

1) 黒潮流路が、熊野灘・遠州灘沖で大蛇行するさいは、伊豆半島沖で著しく接岸し、大島西水道からの黒潮分枝流の流入が強まり、相模湾奥部では左旋環流が発達することが知られている。しかし、黒潮の非大蛇行期には左旋環流は卓越せず、弱い左旋流、弱い右旋流、三崎沖と真鶴沖の両地点でともに流入または流出する4つの型が同程度の頻度で生じる。それらの型の持続期間は、2~10日と短い。

2) 係留系で得られた流速のエネルギー・スペクトルには、3日、10日、20日前後にピークが見られる。これらの周期は、黒潮前線域の擾乱 (Kimura et al., 1993) や、相模湾南部の黒潮分枝流域の流速変動 (秋, 1992) の周期とほぼ一致することから、相模湾奥部の循環は黒潮前線波動および分枝流の変動と連動している可能性が強い。

3) 大島と南伊豆、大島と布良の日平均潮位差に地衡流を仮定して推測される黒潮系沖合水の通過流は、黒潮の非大蛇行期には東向きの場合と西向きの場合の両方が見られるが、湾内の4循環型の出現頻度には影響しない。

## 2. 相模湾奥部に流入する河川からの有機物とN・P負荷量の変遷

相模湾奥部に流入する河川水の水質と負荷量の変動および、沿岸域の水質と河川からの負荷との関係を既往資料を用いて分析し、以下のことを明らかにした。

1) 相模湾奥部に流入する大規模河川 (相模川と酒匂川) の有機物濃度 (BOD) は、下水処理場の設置後は低下したが、中規模河川 (境川、花水川など) の濃度はほとんど減少せず、大規模河川に比べて10倍程度の高濃度で推移し、中小河川による有機物の総負荷量は大規模河川より大きい。

2) 大規模河川を経由するか下水処理場から沿岸域に流入する無機態の窒素とリンの濃度・負荷量は、1980年代には1970年代に比べて1.4~2倍程度増加し、海域での内部生産に



よる有機物の増加が推測される。

3) 相模湾奥部における水質変動は、湾中央部を境にして、東京湾系水の影響の強い東側と相模湾に流入する河川系水の影響の強い西側とで特性を異にする。

### 3. 相模湾奥部への東京湾系水の流入

相模湾奥部への東京湾系水の流入パターンと黒潮流路型の関係、風および東京湾内への流入河川流量との関係について検討し、以下のことを明らかにした。

1) 黒潮大蛇行期には、大島西水道から東水道に抜ける黒潮分枝流が強まり、相模湾奥部に左旋環流が発達し、東京湾系水の湾外とくに相模湾奥部への張り出しが抑えられる。このため、相模湾内の水質は非大蛇行期に比べ良好になる。一方、黒潮非大蛇行期の夏季には、相模湾東部沿岸域への東京湾系水の張り出しが明瞭に観測され、同時に相模湾奥部のCOD濃度も上昇する。

2) 月単位の観測から見た東京湾系水の相模湾への張り出しは、東京湾に流入する月単位の河川流量とはよく対応するが、短期変動の影響が大きいと考えられる風との間にはよい対応性は見られない。

### 4. 相模湾奥部の海水交換と水質に及ぼす黒潮分枝流の変動の影響

夏季における相模湾奥部の循環パターンと海水交換、および東京湾系水の相模湾奥部への流入量をボックスモデルを用いて見積り、以下のことを明らかにした。

1) 季節平均程度の時間スケールで見た相模湾奥部における夏季の表層循環は、黒潮の非大蛇行期・大蛇行期とも左旋環流を示すが、平均速度は大蛇行期の10cm/s程度に比べて非大蛇行期は1cm/s程度と一桁小さい。

2) 東京湾系水の相模湾奥部への流入量は、黒潮大蛇行期に比べて非大蛇行期に多く、非大蛇行期における流入量は、相模湾に流入する河川流量が多い年にはその数分の1程度で

あるが、河川流量が少ない年にはその数倍になる。また、東京湾系水の流入による相模湾奥部へのCOD負荷量は、非大蛇行期には大蛇行期の約4倍になる。

3) 海水交換時間は、黒潮非大蛇行期が約3~4週間、大蛇行期が約1週間と見積られ、前者は1992年5月の海洋観測データ等から見積った海水交換時間ともほぼ一致する。これらのことから、1980年代の相模湾奥部の水質の悪化には、黒潮流路の直進化に伴う東京湾系水の相模湾奥部への流入量の増加とともに、相模湾内の海水交換率の低下が影響しているものと考えられる。

以上のことから、相模湾奥部の海水交換過程とそれに伴う水質変動に関して、以下のことが結論される。1970年代は、相模湾に流入する河川や東京湾で有機汚濁にピークが見られ、相模湾奥部は1980年代に比べて、陸起源負荷による水質悪化が進行しやすい状況にあった。しかし、実際は1980年代の方が1970年代よりも水質が悪化していた。この水質の悪化は、1970年代と1980年代以降の黒潮流路の違いによって引き起こされた。すなわち、1970年代後半（75~79年）は大蛇行期が約5年間続き、相模湾奥部は黒潮系沖合水の流入による海水交換が活発で、東京湾系水や相模湾沿岸域からの負荷が大きくても水質は低レベルで維持されていた。しかし、1980年代および1990年代前半は、1987年を除き非大蛇行期であったため、相模湾奥部では循環が弱く、沖合水との海水交換も不活発であった。そのため、東京湾系水や相模湾に注ぐ河川系水が湾内に滞留する時間が1970年代に比べて長く、また東京湾系水による相模湾への汚濁負荷も増大したため、相模湾奥部のCOD濃度が約1.5~2倍程度上昇したと言える。この結論は、相模湾のみならず、黒潮の影響を受ける開放型内湾の水質変動には、黒潮変動に伴う湾内の循環流の変動の影響が重要であることを示唆している。



## 謝辞

終わりに臨み、本論文のご指導、ご校閲をいただいた東京大学海洋研究所資源環境部門杉本隆成教授に謹んで感謝の意を表する。

また、研究に対し有益な御助言、ご指導を頂いた東京大学海洋研究所資源環境部門中田英昭助教授、岸道郎助手、木村伸吾助手に深く感謝する。本研究を進めるにあたり、資源環境部門の方々には観測や議論を通して数々のご協力を頂いた。特に、観測、コンピュータの使用に関しては、同部門永江英雄技官のご協力を頂いた。また、観測などの事務的な手続きに関しては同部門松本町子技官の手を煩わせた。ここに、深く感謝の意を表する。さらに、係留系の設置・回収などの海洋観測にご協力下さった東京大学海洋研究所所属「澗青丸」の上之清尚船長、ならびに乗組員の方々に感謝の意を表する。

相模湾の定線観測資料のご提供や本研究に対するご助言を頂いた、神奈川県水産試験場岩田静夫博士、山田佳昭氏、石戸谷博範氏、工藤孝宏氏、ならびに寒川取水堰の流量データを快くご提供下さった神奈川県企業庁村田耕道氏、原田勝雅氏に感謝の意を表する。また、衛星画像のデータを快くご提供下さり常に励ましのお言葉を頂戴した、(社)漁業情報サービスセンターの為石日出生博士、本研究を進めるに当たり常に叱咤激励して下さいたトキワ松学園横浜美術短期大学平野敏行学長に感謝の意を表する。

最後に、本研究を行う間、学資を提供し常に励ましをしていただいた、母、姉、義兄に心から感謝する。

## 参考文献

- 秋孝尚・杉本隆成(1992) 相模湾の循環流に関する実験的研究 (I) 一回転系順圧流体模型における循環流パターンのレイノルズ数、ロスビー数依存性一.沿岸海洋研究ノート, 29,2,179-189.
- 秋孝尚(1992) 相模湾の循環系とその変動機構に関する研究.東京大学博士論文.
- 古島靖夫・杉本隆成(1992) 相模湾沿岸定置網の漁獲量の短期変動と水温変動との対応性 II.水産海洋学会講演要旨集, 39-40.
- 早川康博(1976) 諸磯湾における船艇の許容係留数の試算一船底塗料の毒性評価による方法一.水産海洋研究会報, 29,15-29.
- 早川康博・平野敏行(1978) 相模湾河口環境調査.水産海洋研究会報, 32,92-100.
- 早川康博(1979) 相模川河口および相模湾沿岸環境調査から.水産海洋研究会報, 34,86-91.
- 早川康博(1985) 河川水の水質(今年の調査結果).水産海洋研究会報, 47,48,105-110.
- 平野敏行(1969) 河川取水に伴う沿岸漁業影響調査報告書.神奈川県農政部水産課.
- 平野敏行(1971) 河川取水に伴う沿岸漁業影響調査報告書.神奈川県企業庁.
- 平野敏行(1977) 相模川河口域環境調査報告書.(財)相模湾水産振興事業団.
- 平野敏行(1991) 相模の海と環境保全.水産海洋研究, 55,2,115-120.
- 池田文雄(1979) COD・栄養塩類からみた相模湾の海域特性について.相模湾資源環境調査報告書II, 59-62.
- 今井利為(1987) 東京湾クルマエビの研究-II 移動.神奈川県水産試験場研究報告, 8,9-15.
- 岩田静夫(1976) 相模湾をモデルとした海洋調査の考え方一相模湾における海況の短期変動現象例一.水産海洋研究会報, 29,86-90.
- 岩田静夫(1978) 相模湾の海洋学.水産海洋研究会報, 32,82-89.
- 岩田静夫(1979) 平均場からみた相模湾の海況.相模湾資源環境調査報告書II,15-26.
- 岩田静夫(1979) 相模湾における表層水の季節変動.相模湾資源環境調査報告書II, 27-34.



- 岩田静夫(1979) 相模湾の急潮について 定地水温の変動からみたパターン分け.相模湾資源環境調査報告書II, 35-40.
- 岩田静夫(1986) 相模湾の海況の短期変動に関する研究.神奈川県水産試験場論文集.第3集.
- 岩田静夫・松山優治・前田明夫(1990) 相模湾の急潮(2).神奈川県水産試験場報告, 11,11-15.
- 亀山勝(1979) 相模湾における河川水と漁場環境について.相模湾資源環境調査報告書II,41-47.
- 川上俊雄・船越晴世・松浦寿彦(1976) 相模灘海域を含む東京湾広域流動拡散計算.第23回海岸工学講演会論文集, 502-506.
- 木村喜之助(1942) 沿岸の大急潮について.中央気象台集報,19,1-85.
- 木村伸吾(1990) 熊野灘・遠州灘沿岸域への黒潮系暖水の流入過程.水産海洋研究,54(1),19-31.
- Kimura, S.・T.Sugimoto(1993) Short-Period Fluctuations in Meander of the Kuroshio's Path off Cape Shiono Misaki.J.G.R., 98,C2,2407-2418.
- 木幡孜・岩田静夫・小金井正一(1975) 相模湾産重要魚種の生態-VIIの1.神水試相模湾支所報告, 7,47-50.
- 木幡孜(1990) 回遊性浮魚魚類相による相模湾沿岸域の海域区分に関する研究.神奈川県水産試験場論文集.第4集.
- 小泉政美、増沢譲太郎(1952) 相模湾定線観測報告.海洋報告2,(4).
- 高間浩(1981) 大津湾における放流マダいの移動と分散.神奈川県水産試験場報告, 3,57-65.
- Kubokawa, A K.Hanawa(1984) A theory of semigeostrophic gravity waves and its application to the intrusion of a density current along a coast. Part 2. Intrusion of a density current along a coast in rotating fluid.J. Oceanogr. Soc. Jpn, 40,260-270.
- 栗原康(1988) 河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー.栗原康編著.東海大学出版会. 291-305.

- 松山優治(1988) 駿河湾及び相模湾の循環流と潮流.沿岸海洋研究ノート, 26,1,21-32.
- 松山優治・岩田静夫・前田明夫・鈴木亨(1992) 相模湾の急潮.沿岸海洋研究ノート, 30,1,4-15.
- 森沢正昭(1990) 臨海実験所における研究と教育.水産海洋研究,54(3),280-285.
- 中田英昭・蓮沼啓一(1986) 卵・稚子の輸送と分布の観測.水産海洋環境論,恒星社厚生閣, 159-167.
- 大久保明(1981) 海洋科学基礎講座 海洋物理 I.東海大学出版会.267-375.
- 大森信・藤永愛(1992) 東京湾のミズクラゲ.水産海洋研究,56(3),310-313.
- 岡部勝・大林恒四郎・岩田静夫・池田文雄(1971) 沿岸海洋調査報告 相模湾の季節変化. 神水試相資料, 10,15-23.
- 小倉紀雄(1993) 東京湾—100年の環境変遷—.恒星社厚生閣.
- Ohwaki, A. M. Matsuyama S. Iwata(1991) Evidence for Predominance of Internal Tidal Currents in Sagami and Suruga Bays.47,194-206.
- 斎藤和久・秋津孝夫・岡村和雄・平野浩二(1987) 相模湾沿岸域における富栄養化の実態について.日本海洋学会秋季大会講演要旨集, 226-227.
- 杉本隆成・秋孝尚・古島靖夫・森永健司・永江英雄(1992) 黒潮C型期の相模湾の流況.日本海洋学会春季大会講演要旨集, 25-26.
- Taira, K.・T.Teramoto(1986) Path and Volume Transport of the Kuroshio Current in Sagami Bay and their Relationship to Cold Water Masses near Izu Peninsula.J. Oceanogr. Soc. Jpn, 42,212-223.
- 高橋永清(1989) 「海・浜の秩序ある利用計画」について.水産海洋研究,53(3),297-300.
- 田中豊・脇本和昌(1983) 多変量統計解析法.現代数学社京都, 2-99.
- 為石日出生(1988) 相模湾のマアジ漁況と海況.水産海洋研究, 52,4,319-323.
- 徳田正幸・小泉俊雄・平元貢(1988) 相模川の河口閉塞について.水産海洋研究,52(4),305-311.



- 豊川雅哉(1994) 東京湾におけるクラゲ類の生態学的研究.東京大学博士論文.
- 宇田道隆(1937) 「ぶり」漁期における相模湾の海況および気象と漁況との関係.水産試験場報告,8,1-59.
- 宇田道隆(1953) 相模湾の急潮とその予知について(第1報).日本海洋学会誌, 9,1,1-8.
- 柳哲雄・水野裕・星加章・谷本照己(1993) ボックスモデル法による大阪湾の鉛直流速と粒子沈降速度の推定.沿岸海洋研究ノート, 31,1,121-128.
- 山田佳昭・岩田静夫(1992) 相模湾の最近の海洋環境の変化傾向.水産海洋研究, 56,3,323-327.
- Yamagata T.(1980) A theory for propagation of an oceanic warm front with application to Sagami Bay. Tellus,32,73-76.
- 矢沢敏三(1979) 神奈川県沿岸海域に添加される陸上からの汚濁指標成分の動向について.相模湾資源環境調査報告書II, 49-57.
- 米村洋一(1990) 地域づくりとサーフ' 90 -都市型漁業のあり方を考える-.水産海洋研究, 54,3,272-276.
- 吉見洋(1992) 沿岸海域における水質調査地点の集約化方法.水環境学会誌, 15,5,307-312.

Table2-1 Circulation types and range of the N-S component of the daily mean velocity.

Circulation types		Range of the N-S component of the daily mean velocity
Anticlockwise	Strong Anticlockwise	$FW \geq -10$ (cm/s) , $FE \geq -10$ (cm/s)
	Weak Anticlockwise	$-10 > FW > 0$ (cm/s) , $0 < FE < 10$ (cm/s)
	Manazuru Anticlockwise	$FW \geq -10$ (cm/s) , $0 < FE < 10$ (cm/s)
	Misaki Anticlockwise	$-10 < FW < 0$ (cm/s) , $FE \geq 10$ (cm/s)
Clockwise	Strong Clockwise	$FW \geq 10$ (cm/s) , $FE \leq -10$ (cm/s)
	Weak Clockwise	$0 < FW < 10$ (cm/s) , $-10 > FE > 10$ (cm/s)
	Manazuru Clockwise	$FW \geq 10$ (cm/s) , $0 < FE \leq 10$ (cm/s)
	Misaki Clockwise	$0 < FW < 10$ (cm/s) , $FE \leq -10$ (cm/s)
Outflow	Strong Outflow	$FW \geq 10$ (cm/s) , $FE \geq 10$ (cm/s)
	Weak Outflow	$0 < FW < 10$ (cm/s) , $0 < FE < 10$ (cm/s)
	Manazuru Outflow	$FW \geq 10$ (cm/s) , $0 < FE < 10$ (cm/s)
	Misaki Outflow	$0 < FW < 10$ (cm/s) , $FE \geq 10$ (cm/s)
Inflow	Strong Inflow	$FW \leq -10$ (cm/s) , $FE \leq -10$ (cm/s)
	Weak Inflow	$-10 < FW < 0$ (cm/s) , $-10 < FE < 0$ (cm/s)
	Manazuru Inflow	$FW \leq -10$ (cm/s) , $-10 < FE < 0$ (cm/s)
	Misaki Inflow	$-10 < FW < 0$ (cm/s) , $FE \leq -10$ (cm/s)



**Table2-2** Frequency distribution of each circulation pattern related to tidal difference across the Ohshima west and east channels.

Type \ Volume Trans.	Ohshima - Minami Izu > 0	Ohshima - Mera < 0
Anticlockwise	27	33
Clockwise	37	30
Outflow	45	28
Inflow	27	15

**Table3-1 Concentration and load of BOD and at the mouth of Sagami, Sakawa, Sakai, Sakai, and Hanamizu rivers.**

(a)	concentration of BOD and COD (mg/l)									
	Sagami		Sakawa		Sakai		Hanamizu			
	BOD	COD	BOD	COD	BOD	COD	BOD	COD	BOD	COD
1970'S	2.83	4.81	1.87	2.10	13.46	15.49	11.80	9.65		
1980'S	2.45	4.27	1.51	2.49	10.96	12.84	9.03	9.59		
1990'S	1.88	3.90	1.29	2.21	9.97	10.61	7.00	7.23		
Total	2.51	4.42	1.60	2.32	11.79	13.56	9.82	9.28		

(b)	load of BOD and COD (ton/day)									
	Sagami		Sakawa		Sakai		Hanamizu			
	BOD	COD	BOD	COD	BOD	COD	BOD	COD	BOD	COD
1970'S	8.06	13.81	4.49	2.75	10.30	12.08	4.90	4.28		
1980'S	6.39	10.39	2.53	4.68	10.20	11.78	4.14	5.48		
1990'S	6.70	14.55	2.59	5.29	11.28	6.61	4.43	4.99		
Total	7.08	12.31	3.11	4.02	10.33	11.17	4.48	4.95		



**Table3-2 Results of principal component analysis for the rivers of Sagami, Sakawa, Sakai, Hayakawa, Hanamizu, Hikichi, Nakamura and Morido.**

**(a) factor loading of the 1st principal component**

Riv.name	Heads of loading quantity			Heads of water quantity			COD	W.T	pH	T-N	T-P	SS	BOD	COD	Riv. F.	Eigen-value	Proportion	Cumulative proportion
	T-N	T-P	SS	T-N	T-P	SS												
Sagami	0.859	0.852	0.786	0.336	-0.324	-0.446	-0.472	-0.735	-0.320	-0.452	0.982	6.2	47.6	47.6				
Sakawa	0.923	0.852	0.555	0.875	-0.001	-0.226	0.604	0.321	0.171	0.546	-0.199	0.750	4.6	35.1				
Sakai	0.930	0.960	0.950	0.978	-0.269	-0.173	0.429	0.840	0.895	0.929	0.954	0.525	8.5	65.3				
Hayakawa	0.640	0.903	0.877	0.800	0.961	0.374	-0.352	-0.260	0.212	0.809	0.001	0.618	0.629	5.4	41.3			
Hanamizu	0.486	0.323	0.790	0.029	0.744	0.693	-0.145	-0.391	0.381	-0.567	-0.284	0.949	4.0	30.8				
Hikichi	0.817	0.927	0.882	0.975	0.944	-0.259	-0.669	0.566	0.757	0.935	0.922	0.982	8.4	64.6				
Nakamura	0.853	0.902	0.811	0.808	0.459	-0.061	0.132	0.600	0.672	0.796	0.516	0.473	5.0	38.7				
Morido	0.367	0.319	0.560	0.133	0.693	0.874	0.260	-0.771	-0.784	-0.213	-0.817	-0.744	5.3	40.6				

(Riv. name : River name, W.T : Water Temperature, Riv. F. : River Flow)

**(b) factor loading of the 2nd principal component**

Riv.name	Heads of loading quantity			Heads of water quantity			COD	W.T	pH	T-N	T-P	SS	BOD	COD	Riv. F.	Eigen-value	Proportion	Cumulative proportion
	T-N	T-P	SS	T-N	T-P	SS												
Sagami	0.086	0.174	0.303	0.235	-0.432	-0.149	0.587	0.649	0.283	0.708	0.376	0.075	1.9	14.6				
Sakawa	-0.221	-0.124	-0.134	0.262	-0.489	-0.174	0.618	0.597	0.135	0.699	0.260	-0.612	2.4	18.1				
Sakai	0.058	0.090	0.206	0.117	0.787	-0.200	-0.805	-0.242	0.164	-0.233	-0.173	0.695	2.1	15.9				
Hayakawa	-0.613	0.042	0.343	-0.096	0.048	-0.453	0.236	0.645	0.816	0.688	-0.735	3.7	28.4	69.7				
Hanamizu	0.666	0.513	0.298	0.833	0.346	-0.376	-0.003	0.580	0.383	0.357	0.702	0.376	3.0	23.1				
Hikichi	0.310	-0.094	0.311	0.128	0.270	0.757	0.071	-0.609	-0.457	0.143	-0.250	-0.182	0.784	2.2	16.8			
Nakamura	0.210	0.107	0.103	-0.165	0.639	0.333	0.034	0.034	-0.551	-0.375	0.058	-0.633	2.0	15.5				
Morido	0.645	0.628	0.607	0.735	-0.213	-0.089	0.355	0.264	0.602	0.453	0.194	3.1	23.8	64.4				

(Riv. name : River name, W.T : Water Temperature, Riv. F. : River Flow)

**Table 3-3 Results of principal component analysis in the coastal region for**  
 (a) sea surface temperature, (b) transparency, (c) salinity,  
 (d) chemical oxygen demand (COD), (e) total nitrogen (T-N), (f) total phosphorus (T-P).

(a) sea surface temperature			(b) transparency			(c) salinity		
St. Number	Factor 1	Factor 2	St. Number	Factor 1	Factor 2	St. Number	Factor 1	Factor 2
St.1	0.983	-0.021	St.1	0.733	0.079	St.1	0.141	0.879
St.2	0.994	-0.002	St.2	0.911	0.037	St.2	0.829	-0.084
St.3	0.987	-0.015	St.3	0.778	0.319	St.3	0.905	0.067
St.4	0.985	-0.008	St.4	0.848	0.337	St.4	0.924	-0.015
St.5	0.987	-0.032	St.5	0.876	0.338	St.5	0.955	-0.059
St.6	0.989	-0.024	St.6	0.781	0.158	St.6	0.893	-0.127
St.7	0.995	-0.030	St.7	0.866	0.356	St.7	0.892	-0.035
St.8	0.995	-0.020	St.8	0.852	0.309	St.8	0.967	-0.082
St.9	0.993	-0.020	St.9	0.887	0.233	St.9	0.965	-0.061
St.10	0.995	-0.021	St.10	0.915	-0.086	St.10	0.807	-0.144
St.11	0.990	-0.020	St.11	0.889	-0.161	St.11	0.702	0.127
St.12	0.993	-0.019	St.12	0.844	-0.215	St.12	0.915	-0.018
St.13	0.916	0.401	St.13	0.858	0.276	St.13	0.944	0.012
St.14	0.992	-0.020	St.14	0.880	-0.160	St.14	0.746	-0.124
St.15	0.993	-0.017	St.15	0.860	-0.211	St.15	0.934	-0.028
St.16	0.987	-0.024	St.16	0.882	-0.325	St.16	0.920	0.043
St.17	0.991	-0.001	St.17	0.870	-0.291	St.17	0.518	0.437
St.18	0.991	-0.025	St.18	0.902	-0.275	St.18	0.917	0.083
St.19	0.992	-0.015	St.19	0.852	-0.350	St.19	0.908	0.045
St.20	0.989	-0.374	St.20	0.814	-0.304	St.20	0.960	0.004
Eigen-value	19.486	0.169	Eigen-value	14.657	1.345	Eigen-value	14.756	1.071
Proportion	97.4	0.8	Proportion	73.3	6.7	Proportion	73.8	5.4
Cumulative			Cumulative			Cumulative		
proportion	97.4	98.2	proportion	73.3	80.0	proportion	73.8	79.2

(to be continued)



**(d) chemical oxygen demand (COD)**

St. Number	Factor 1	Factor 2
St.1	0.329	0.391
St.2	0.876	-0.092
St.3	0.743	0.400
St.4	0.767	0.379
St.5	0.772	0.411
St.6	0.817	0.159
St.7	0.831	0.280
St.8	0.851	0.205
St.9	0.903	-0.015
St.10	0.841	-0.021
St.11	0.804	-0.163
St.12	0.899	-0.249
St.13	0.871	0.051
St.14	0.842	-0.089
St.15	0.881	-0.105
St.16	0.880	-0.277
St.17	0.846	-0.164
St.18	0.848	-0.197
St.19	0.863	-0.218
St.20	0.778	-0.314
Eigen-value	13.472	1.179
Proportion	67.4	5.9
Cumulative		
proportion	67.4	73.3

**(e) total nitrogen (T-N)**

St. Number	Factor 1	Factor 2
St.1	0.108	0.004
St.2	0.455	0.261
St.3	0.645	-0.474
St.4	0.645	-0.505
St.5	0.809	-0.157
St.6	0.602	-0.337
St.7	0.794	-0.198
St.8	0.693	-0.243
St.9	0.768	-0.176
St.10	0.657	0.243
St.11	0.274	0.528
St.12	0.619	0.450
St.13	0.645	-0.099
St.14	0.601	0.374
St.15	0.662	0.194
St.16	0.600	0.291
St.17	0.739	0.063
St.18	0.763	0.052
St.19	0.777	0.076
St.20	0.648	0.173
Eigen-value	8.385	1.669
Proportion	41.9	8.3
Cumulative		
proportion	41.9	50.2

**(f) total phosphorus (T-P)**

St. Number	Factor 1	Factor 2
St.1	-0.133	0.135
St.2	0.466	-0.062
St.3	0.477	0.617
St.4	0.568	0.573
St.5	0.579	0.476
St.6	0.538	0.247
St.7	0.796	0.437
St.8	0.761	0.349
St.9	0.754	0.233
St.10	0.452	-0.084
St.11	0.217	-0.402
St.12	0.512	-0.463
St.13	0.673	0.210
St.14	0.580	-0.248
St.15	0.711	-0.337
St.16	0.608	-0.674
St.17	0.553	-0.125
St.18	0.755	-0.383
St.19	0.614	-0.365
St.20	0.536	-0.326
Eigen-value	6.907	2.845
Proportion	34.5	14.2
Cumulative		
proportion	34.5	48.7

**Table 3-4 Results of principal component analysis in the coastal region and the river mouth for (a)chemical oxygen demand(COD), (b)total nitrogen (T-N), (c)total phosphorus (T-P).**

(a) chemical oxygen demand (COD)				(b) total nitrogen (T-N)				(c) total phosphorus (T-P)			
Station Number	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Station Number	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Station Number	Factor 1	Factor 2	Factor 3
St.1	0.449	-0.286	-0.138	St.1	0.037	-0.140	0.219	St.1	-0.109	-0.253	0.154
St.2	0.872	-0.037	-0.231	St.2	0.326	-0.423	0.315	St.2	0.375	-0.018	-0.330
St.3	0.838	-0.150	0.071	St.3	0.724	0.160	-0.242	St.3	0.637	-0.485	0.282
St.4	0.853	-0.152	0.147	St.4	0.724	0.160	-0.335	St.4	0.710	-0.510	0.086
St.5	0.819	-0.274	0.128	St.5	0.813	-0.208	0.012	St.5	0.505	-0.475	-0.098
St.6	0.809	-0.212	-0.048	St.6	0.613	-0.287	-0.186	St.6	0.368	-0.222	-0.121
St.7	0.889	-0.231	0.045	St.7	0.825	-0.267	-0.136	St.7	0.830	-0.300	-0.212
St.8	0.865	-0.255	0.007	St.8	0.688	-0.307	-0.173	St.8	0.709	-0.387	-0.365
St.9	0.920	-0.072	-0.150	St.9	0.789	0.334	-0.199	St.9	0.784	-0.105	-0.234
St.10	0.924	-0.012	-0.107	St.10	0.688	0.031	0.014	St.10	0.550	-0.103	-0.057
St.11	0.863	0.055	-0.078	St.11	0.261	-0.056	0.713	St.11	0.309	0.498	0.425
St.12	0.907	0.162	-0.173	St.12	0.386	-0.071	0.629	St.12	0.449	0.579	0.323
St.13	0.897	-0.090	-0.097	St.13	0.734	-0.170	0.125	St.13	0.659	-0.036	0.059
St.14	0.896	0.016	0.045	St.14	0.550	0.156	0.188	St.14	0.494	0.128	-0.152
St.15	0.894	0.108	-0.072	St.15	0.673	-0.266	0.051	St.15	0.670	0.268	-0.431
St.16	0.871	0.289	-0.190	St.16	0.564	0.332	0.323	St.16	0.512	0.751	0.091
St.17	0.865	0.224	-0.088	St.17	0.824	0.232	0.014	St.17	0.603	0.414	0.232
St.18	0.887	0.120	-0.051	St.18	0.796	-0.066	-0.175	St.18	0.801	0.398	-0.029
St.19	0.864	0.299	0.077	St.19	0.777	-0.067	-0.018	St.19	0.452	0.511	-0.109
St.20	0.800	0.226	-0.154	St.20	0.701	0.079	0.099	St.20	0.277	0.521	-0.379
Sagami	0.506	-0.506	0.442	Sagami	0.714	0.241	-0.101	Sagami	0.514	-0.429	0.511
Sakawa	0.341	0.563	0.626	Sakawa	0.467	0.724	0.094	Sakawa	0.086	0.106	0.664
Sakai	-0.106	-0.307	0.323	Sakai	0.010	0.355	-0.291	Sakai	-0.371	-0.079	0.207
Hanamizu	0.388	-0.375	0.499	Hanamizu	0.620	0.146	-0.206	Hanamizu	0.351	0.148	0.574
Havakawa	0.520	0.529	0.550	Havakawa	0.564	0.571	0.121	Havakawa	0.515	-0.384	0.461
Eigen-value	15.423	1.799	1.526	Eigen-value	10.393	2.000	1.706	Eigen-value	7.333	3.564	2.483
Proportion	61.7	7.2	6.1	Proportion	41.6	8.0	6.8	Proportion	29.3	14.3	9.9
Cumulative proportion	61.7	68.9	75.0	Cumulative proportion	41.6	49.6	56.4	Cumulative proportion	29.3	43.6	53.5



Table 4-1 Classification of density difference between waters at the mouth of Tokyo Bay and offshore region.

Type	Schematic view of density difference between the stations	Frequency	Description of Graph
Type1		18	Light Water exists from the center of Tokyo Bay mouth to Miura peninsula.
Type2		6	Light water exists at Boso and Miura peninsula and heavy water exists in the center of Tokyo Bay mouth.
Type3		9	Light water exists in Tokyo Bay mouth area.
Type4		11	Heavy water exists in Tokyo Bay mouth area.
Type5		3	Either heavy or light water may exist in Tokyo Bay mouth and offshore region.

Table 5-1 Salinity balance and fresh water inflow in each box during non-large meander period in 1992.

1992		Hor. Advection (net)			Hor. Diffusion (net)		Ver. Diffusion		Fresh Water Dis.
Box1	V1*dSB1/dt	U1*A1*S1	U4*A4*S4	U5*A5*S5	KH*A1*S11	KH*A4*S13	K2*A6*S14		Tok.Bay W.
6-4-7-28	-265	540920	-542223	-542223	668	111	259		5011
7-28-8-21	470	89429	(-1304)	-89919	737	-27	250		1263
8-21-9-8	-303	287429	(-490)	-288439	515	1	191		2695
SUM	<b>-98</b>		<b>(-2804)</b>			<b>(2006)</b>	<b>700</b>		<b>8970</b>
		Hor. Advection (net)			Hor. Diffusion (net)		Ver. Diffusion		Fresh Water Dis.
Box2	V2*dSB2/dt	U4*A4*S4	U2*A2*S2	U5*A5*S5	KH*A4*S13	KH*A2*S21	KH*A5*S22		Sagami river
6-4-7-28	-654	542223	-182626	-361025	-111	877	-401		714
7-28-8-21	961	89919	(-1428)	-118133	27	1002	-400		574
8-21-9-8	-600	288439	(-70)	-170547	-1	698	-309		954
SUM	<b>-293</b>		<b>(-1278)</b>			<b>(388)</b>	<b>290</b>		<b>2222</b>
		Hor. Advection (net)			Hor. Diffusion (net)		Ver. Diffusion		Fresh Water Dis.
Box3	V3*dSB3/dt	U5*A5*S5	U3*A3*S3	U3*A3*S3	KH*A5*S22	KH*A3*S31	K2*A8*S32		Sakawa river
6-4-7-28	-365	361025	-362851	-362851	401	659	401		537
7-28-8-21	477	118133	(-1826)	-119076	400	692	327		480
8-21-9-8	7	170547	(-943)	-171634	309	555	230		538
SUM	<b>118</b>		<b>(-3856)</b>			<b>(863)</b>	<b>958</b>		<b>1555</b>



Table 5-2 Same as Table5-1 except for during 1985.

1985		Hor.Advection (net)			Hor.Diffusion (net)		Ver.Diffusion		Fresh Water Dis.
Box1	V1*dSb1/dt	U1*A1*S1	U4*A4*S4	Kb*A1*S11	Kb*A4*S13	Kz*A6*S14	Tok.Bay W.		
6.5-7.9	338	-113280	113280	-1136	831	643	2193		
7.9-8.7	-251	11917	-13172	-556	942	618	1080		
8.7-9.4	798	-92362	92650	-678	698	490	908		
SUM	885	(-966)		(100)		1751	4181		

		Hor.Advection (net)			Hor.Diffusion (net)		Ver.Diffusion		Fresh Water Dis.
Box2	V2*dSb2/dt	U4*A4*S4	U2*A2*S2	U5*A5*S5	Kb*A4*S13	Kb*A2*S21	Kb*A5*S22	Kz*A7*S23	Sagami river
6.5-7.9	859	-113280	35198	77260	-831	1239	340	954	1804
7.9-8.7	-557	13172	(-823)	39273	-942	(747)	298	971	1658
8.7-9.4	1090	-92650	(-54661)	98919	-698	(689)	319	797	571
SUM	1392	(-3150)			(404)			2702	4033

		Hor.Advection (net)			Hor.Diffusion (net)		Ver.Diffusion		Fresh Water Dis.
Box3	V3*dSb3/dt	U5*A5*S5	U3*A3*S3	U3*A5*S22	Kb*A3*S31	Kz*A8*S32	Sakawa river		
6.5-7.9	176	-77260	76802	-340	480	493	1013		
7.9-8.7	53	-39273	38584	-298	551	490	989		
8.7-9.4	338	-98919	98900	-319	297	379	531		
SUM	567	(-1166)		(371)		1362	2532		

Table 5-3 Same as Table5-1 except for during 1987.

1987	Hor.-Advection (net)			Hor.Diffusion (net)			Ver.Diffusion	Fresh Water Dis.
Box1	U1*A1*S1	U4*A4*S4	U5*A5*S5	K1*A1*S11	K4*A4*S13	K5*A5*S22	Kz*A6*S14	Tok
6/11-7/8	717886	-718346		11	122		82	-51
7/8-8/13	1383960	-1384604		183	150		118	2076
8/13-9/8	-467405	-466996		225	168		112	-243
SUM	<b>-342</b>	<b>(-1513)</b>			<b>(859)</b>		<b>312</b>	<b>1782</b>
Box2	U2*A2*S2	U3*A3*S3	U4*A4*S4	U5*A5*S5	K2*A2*S21	K3*A3*S31	Kz*A7*S23	Sagami river
6/11-7/8	718346	-296035	-422378		239	-473		225
7/8-8/13	1384604	(-67)	-999104		(-356)	-364	110	396
8/13-9/8	-466996	-385991	177196		381	-302	177	559
SUM	<b>-994</b>	<b>(-835)</b>			<b>(-622)</b>		<b>463</b>	<b>1180</b>
Box3	U3*A3*S3	U4*A4*S4	U5*A5*S5	K3*A3*S31	K4*A4*S42	K5*A5*S52	Kz*A8*S32	Sakawa river
6/11-7/8	422378	-423170		473	480		153	223
7/8-8/13	999104	-1000623		364	388		179	319
8/13-9/8	-177196	177051		302	370		172	414
SUM	<b>427</b>	<b>(-2455)</b>			<b>(2377)</b>		<b>505</b>	<b>946</b>



Table 5-4 Same as Table5-1 except for during 1977.

1977		Hor.Advection (net)			Hor.Diffusion (net)			Ver.Diffusion	Fresh Water Dis.
Box1	V1*δS1/dt	U1*A1*S1	U4*A4*S4	U5*A5*S5	Kh*A1*S11	Kh*A4*S13	Kz*A6*S14	Tok	
6-8-78	-200	-246991	246762		-316	262	83	417	
7-8-88	-315	-482556	-482129		-443	451	104	943	
8-8-97	-211	-1530644	1530300		-318	340	112	-2176	
SUM	-725	(-1000)			(-24)		298	-816	
		Hor.Advection (net)			Hor.Diffusion (net)			Ver.Diffusion	Fresh Water Dis.
Box2	V2*δS2/dt	U2*A2*S2	U3*A3*S3	U5*A5*S5	Kh*A2*S21	Kh*A5*S22	Kz*A7*S23	Sagami river	
6-8-78	-182	500639	-253426		-230	-242	101	785	
7-8-88	-422	694183	-211479		-538	-164	156	1389	
8-8-97	-705	2126064	-595622		-730	16	207	2535	
SUM	-1309	1167			(-1054)		464	4709	
		Hor.Advection (net)			Hor.Diffusion (net)			Ver.Diffusion	Fresh Water Dis.
Box3	V3*δS3/dt	U3*A3*S3	U3*A3*S3	U3*A3*S3	Kh*A3*S31	Kh*A3*S31	Kz*A8*S32	Sakawa river	
6-8-78	63	253426	-253474		242	-214	83	657	
7-8-88	-262	211479	-211731		164	-288	113	869	
8-8-97	-293	595622	-595650		-16	-364	115	1354	
SUM	-493	(-327)			(-476)		311	2880	

Table 5-5 Inflow rate(Qtok) and dilution rate(Rdll.) of Tokyo Bay water by Tok, fresh water discharge, COD concentration and COD load during large and non-large meander periods of the Kuroshio.

(Large meander period)			Fresh water discharge (m <sup>3</sup> /s)				COD concentration (mg/l)				COD load (ton/day)			
Day	Rdll	Qtok (m <sup>3</sup> /s)	Sagami river	Sakawa river	Tok	Sagami river	Sakawa river	Tokyo Bay water	Sagami river	Sakawa river	Tokyo Bay water	Sagami river	Sakawa river	Tokyo Bay water
Jun-77	13.8	165	23	19	14	2.28	1.96	0.62	4.5	3.2	8.9	4.5	3.2	8.9
Jul-77	11.8	330	41	26	35	5.13	3.16	1.14	18.2	7.1	32.5	18.2	7.1	32.5
Aug-77	21.1	***	40	76	***	2.83	1.86	0.96	9.8	12.2	***	9.8	12.2	***
Jun-87	21.4	***	7	6	***	7.30	2.88	1.38	4.4	1.5	***	4.4	1.5	***
Jul-87	15.6	954	12	9	88	5.05	2.33	1.30	5.2	1.8	107.2	5.2	1.8	107.2
Aug-87	17.3	***	16	12	20	8.53	2.10	1.97	11.8	2.2	***	11.8	2.2	***
Average	16.8	483	23	25	39	5.19	2.38	1.23	9.0	4.7	49.5	9.0	4.7	49.5
(Non-large meander period)			Fresh water discharge (m <sup>3</sup> /s)				COD concentration (mg/l)				COD load (ton/day)			
Day	Rdll	Qtok (m <sup>3</sup> /s)	Sagami river	Sakawa river	Tok	Sagami river	Sakawa river	Tokyo Bay water	Sagami river	Sakawa river	Tokyo Bay water	Sagami river	Sakawa river	Tokyo Bay water
Jun-85	9.9	672	54	30	30	4.88	4.00	1.89	22.8	10.4	109.7	22.8	10.4	109.7
Jul-85	8.0	264	50	30	22	1.58	1.38	2.91	6.8	3.6	66.3	6.8	3.6	66.3
Aug-85	8.1	226	17	16	16	3.70	3.55	1.30	5.4	4.6	25.4	5.4	4.6	25.4
Jun-92	21.5	3155	21	16	232	3.70	1.50	2.14	6.7	2.1	583.4	6.7	2.1	583.4
Jul-92	20.2	747	17	14	144	4.43	2.30	1.31	6.5	2.8	84.6	6.5	2.8	84.6
Aug-92	15.2	1203	27	16	150	4.13	3.25	2.66	9.6	4.5	276.5	9.6	4.5	276.5
Average	13.8	1045	31	20	99	3.74	2.63	2.04	9.6	4.7	191.0	9.6	4.7	191.0

Tok : Fresh water intrusion of Tokyo Bay water into the inner part of Sagami Bay

Rdll : Dilution rate of Tokyo Bay water at the mouth

Qtok : Intrusion of Tokyo Bay water into the inner part of Sagami Bay (=Tok X Rdll)



Table5-6 Relation between volume transport  $Q_i$  and effect of vertical diffusion coefficient  $K_z$ .

1987	Jun. - Jul.	$Q1(m^3/s)$	Q2	Q3	Q4	Q5	Tok
Kz	0.0	13420	-4480	-9110	-13600	-9180	2
( $cm^2/s$ )	0.3	15620	-5760	-10140	-15640	-9860	1
	1.0	20900	-8640	-12220	-21080	-12240	-1
	3.0	35860	-16960	-18980	-36040	-19040	-8
	10.0	88220	-46080	-42120	-86400	-42160	-29
1987	Jul. - Aug.	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Tok
Kz	0.0	33200	-8320	-24960	-33320	-24820	50
	0.3	35420	-9280	-26260	-35360	-26180	53
	1.0	40480	-11200	-29380	-40460	-29240	61
	3.0	55220	-17280	-37960	-55420	-38080	83
	10.0	106700	-38080	-68640	-106760	-68680	160
1987	Aug. - Sep.	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Tok
Kz	0.0	-19580	10860	8580	19720	8500	-18
	0.3	-17820	10240	7540	17680	7480	-15
	1.0	-13640	8460	5200	13600	5100	-7
	3.0	-1980	3520	1820	2040	1700	16
	10.0	38940	-13120	-25740	-39100	-25840	95

Table6-1 Occurrence of red tide in Sagami Bay.

Year	Date	Place
1980	5/12,18	Misaki
	5/28,29	all coastal region
	6/16	west side of Miura peninsula
	7/14	Misaki
	8/20,21	Misaki
	9/2,3	Misaki
	9/22	Odawara
	11/4	Odawara
1981	5/26	Misaki
	6/10	Enoshima
	6/17	all coastal region
	8/5	Jogashima
	9/24,25	Misaki
1982	5/17	Misaki
	6/28	Jogashima
	7/5	Misaki
	7/15	Misaki
	7/24-27	Misaki
	8/5-7	west side of Miura peninsula
	8/13	Jogashima
1983	5/24	Misaki
	5/30-6/2	west side of Miura peninsula
	6/25	Misaki
	8/20	Misaki
	8/23	all coastal region
	10/5	Odawara



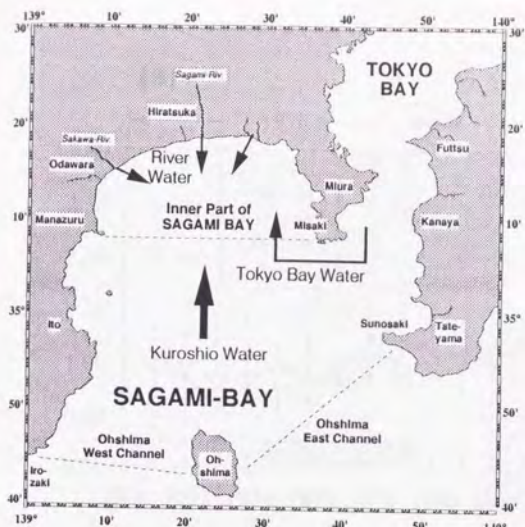


Fig.1-1 Schematic view of Sagami Bay and its water types.



Fig.1-2 Location of set nets in Sagami Bay (dots).

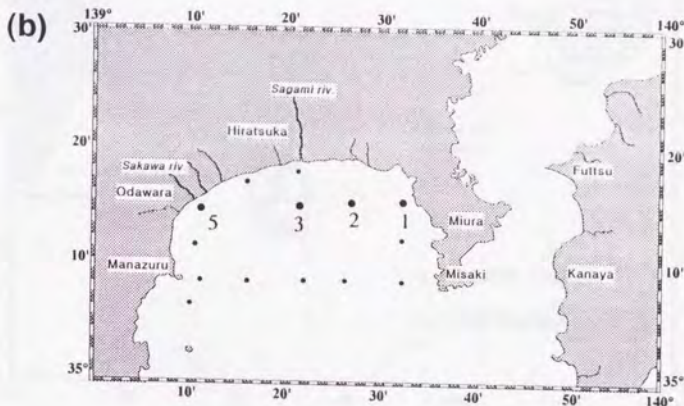
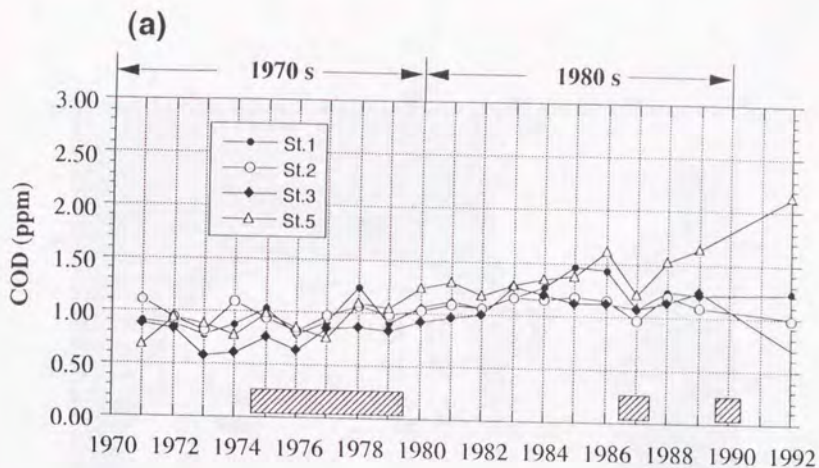


Fig.1-3 Time series of annual mean COD values of COD (a), at the stations in the inner Sagami Bay shown in (b). Thick bars in (a) indicate the periods when the Kuroshio took large meander path.



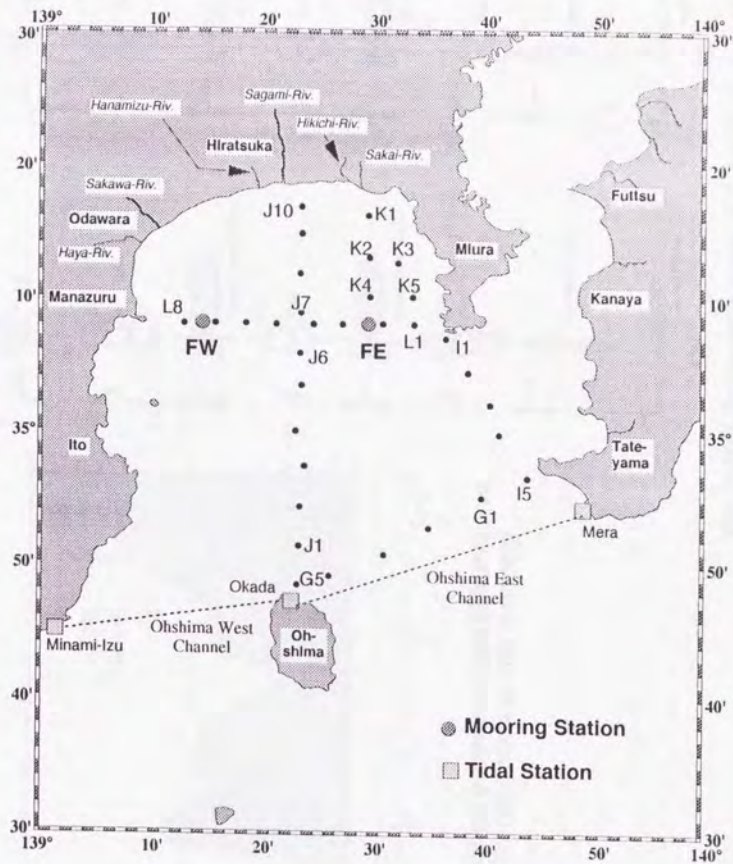


Fig.2-1 Mooring stations (FE and FW) with current meters, tidal stations and observation points during KT92-6 cruise.

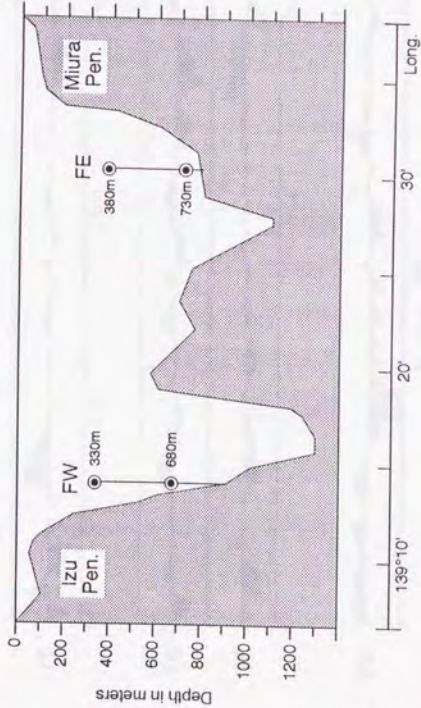


Fig.2-2(a) Vertical section between Misaki(Miura) and Manazuru(Izu), and schematic view of the mooring systems.

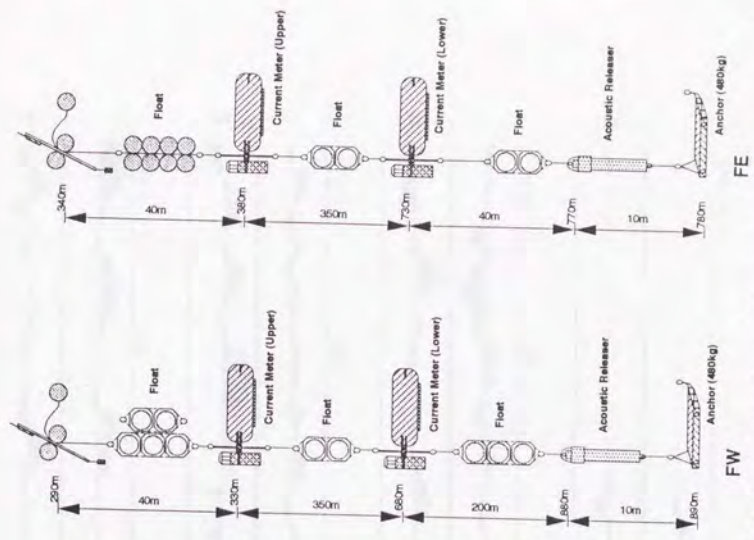


Fig.2-2(b) Schematic view of the mooring systems with current meters.



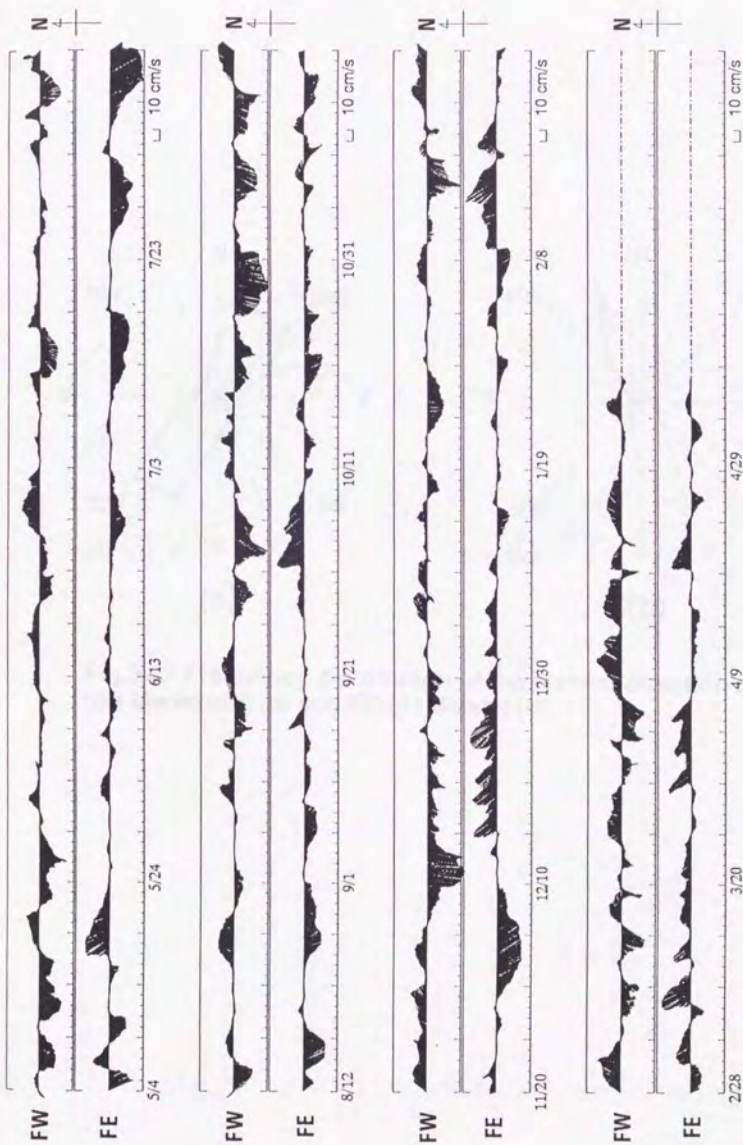


Fig.2-3 Stick diagrams of the current velocity at FW-upper (off Manazuru) and FE-upper (off Misaki) during 4May 1992 - 7 May 1993.

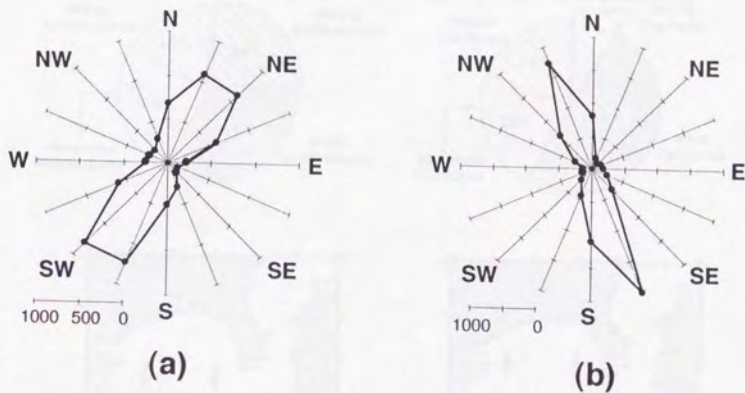


Fig.2-4 Frequency distribution of the current direction at FW (off Manazuru) (a) and FE(off Misaki) (b).



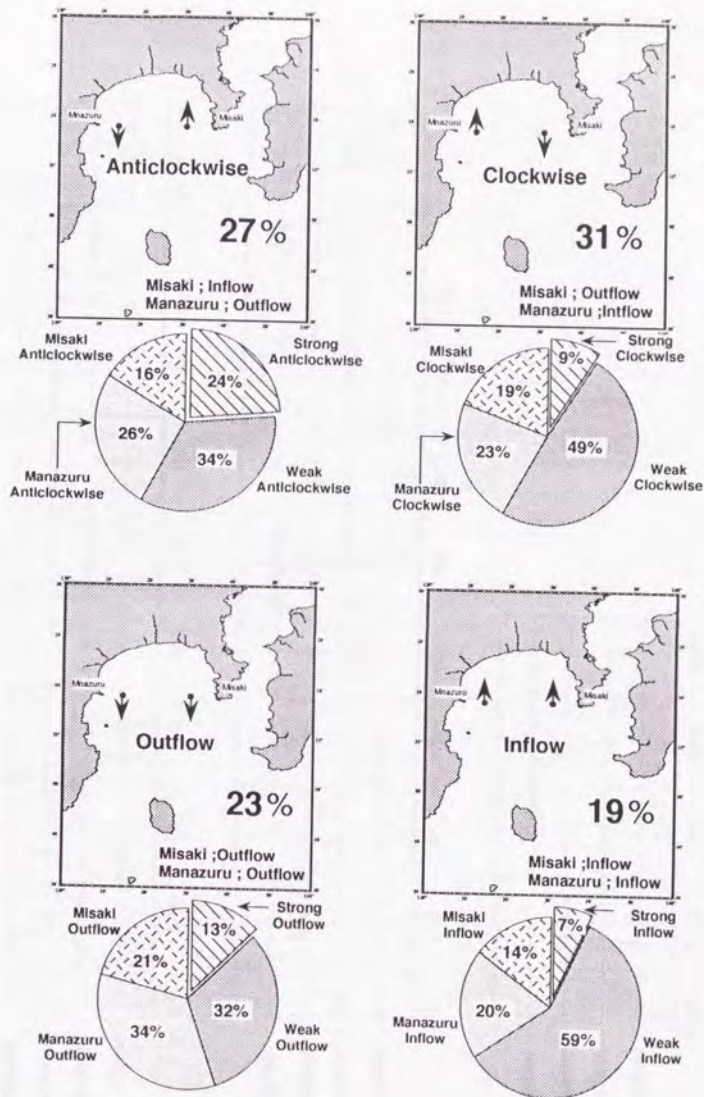


Fig.2-5 Frequency distribution of each pattern in the inner Sagami Bay.

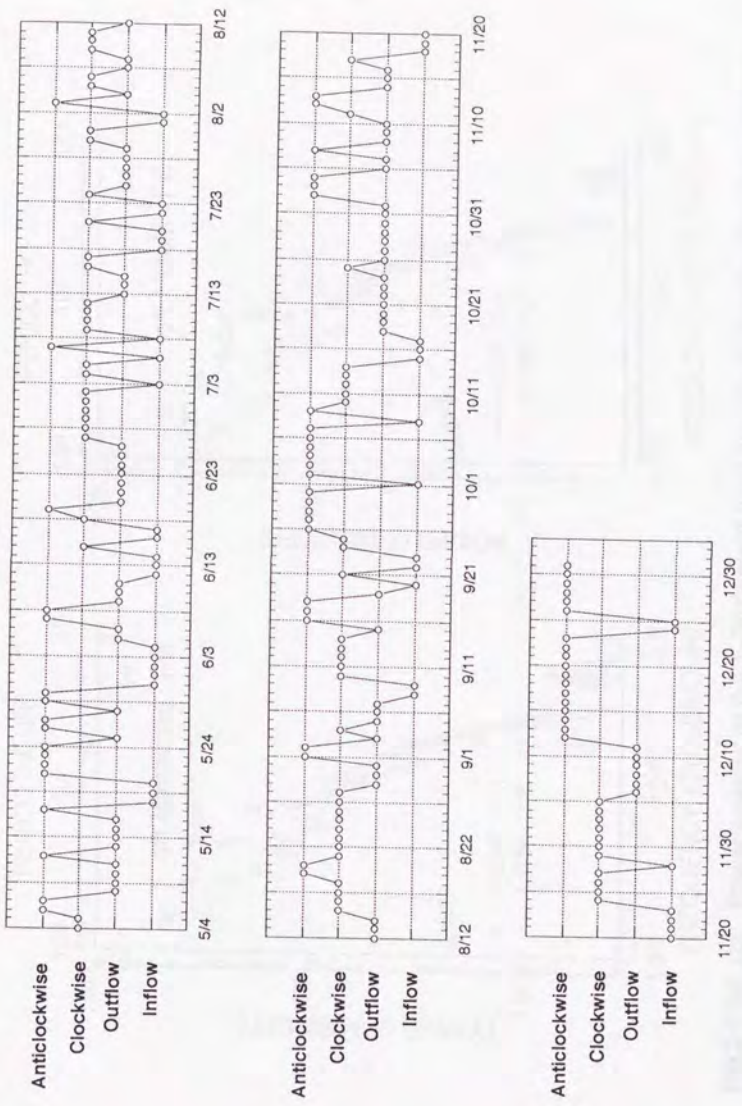


Fig.2-6 Time series of the circulation pattern in the inner Sagami Bay during May - Dec., 1992.



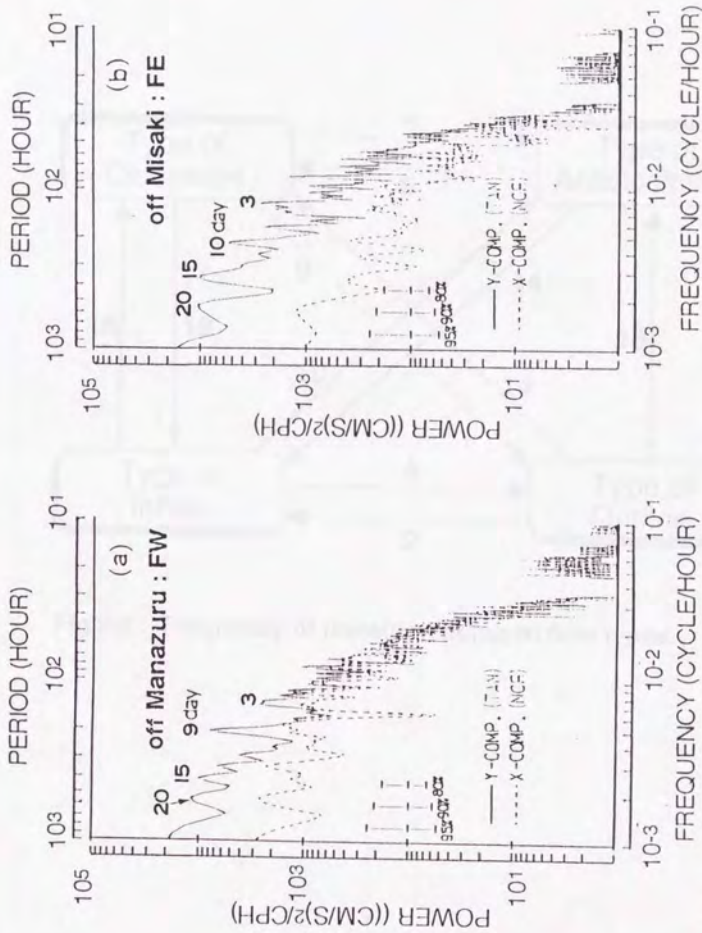


Fig.2-7 (a),(b) Power spectra of the E-W(dashed line) and the N-S(solid line) components of the velocity at FW(Manazuru) and FE(Misaki) .

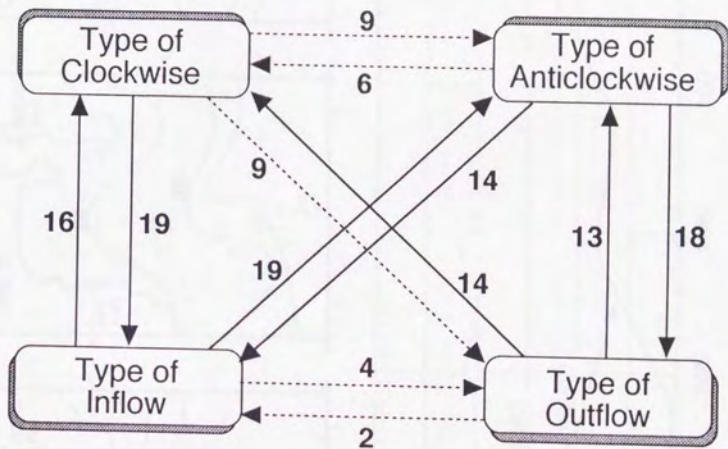


Fig.2-8 Frequency of transition between flow types.



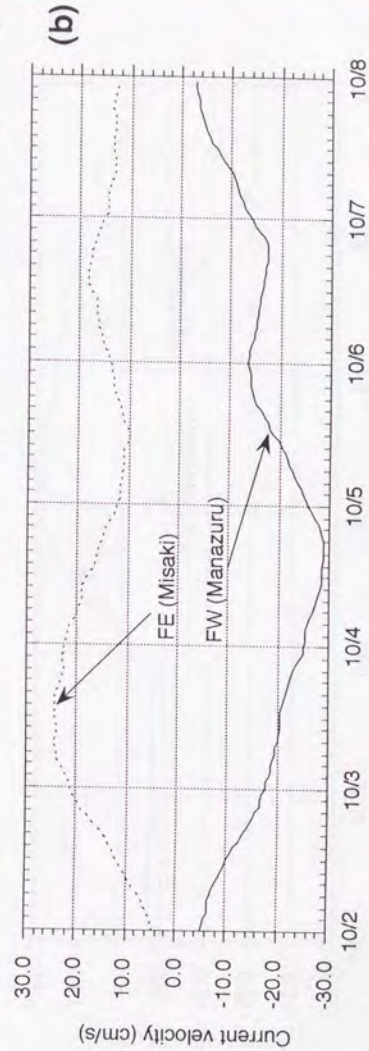
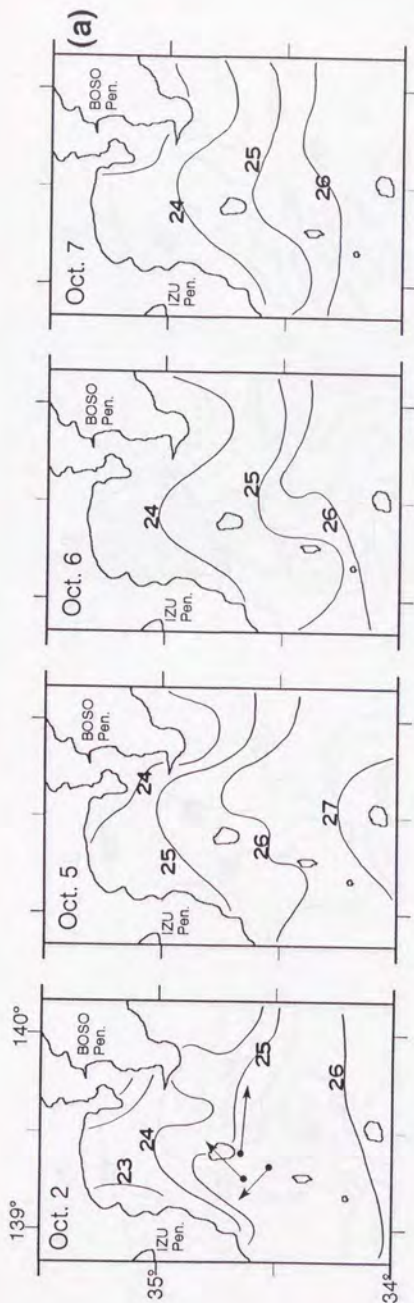


Fig.2-9 Horizontal distribution of surface temperature(a) and current velocity(b) during anticlockwise type in Oct.2 - 8, 1992.

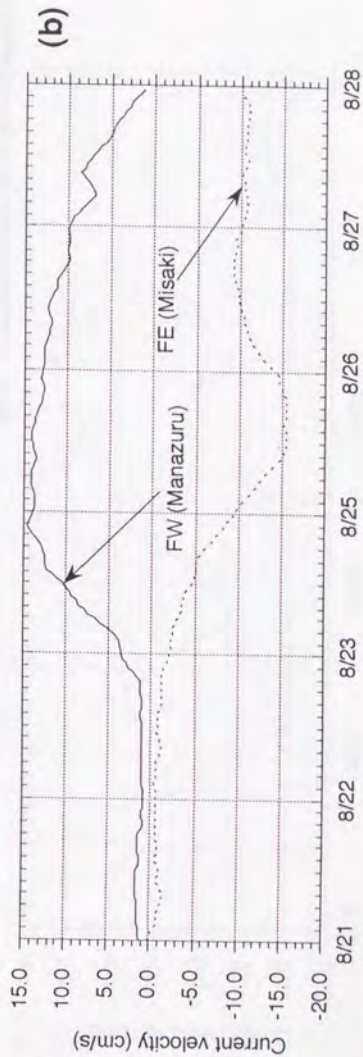
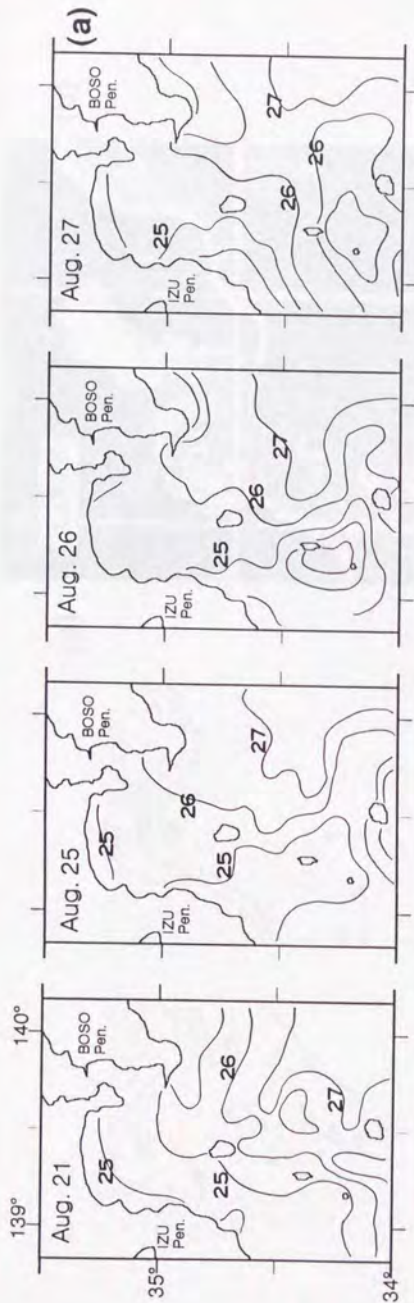


Fig.2-10 Same as Fig.2-9 except for during clockwise type in Aug.21 - 28, 1992.



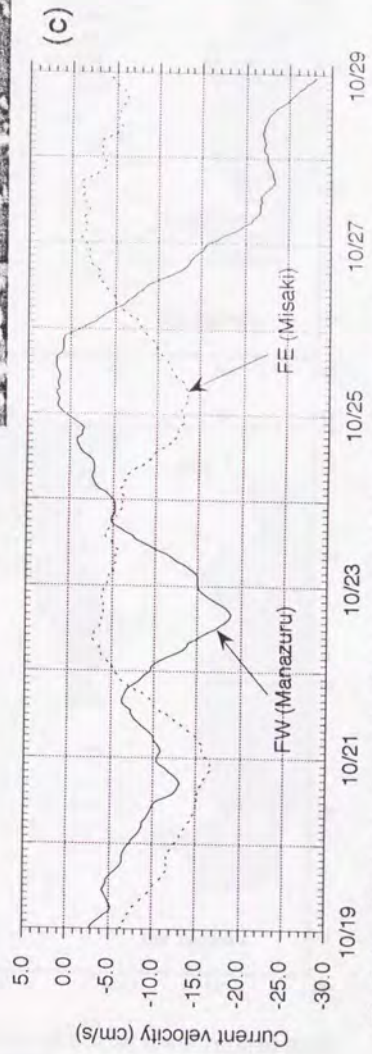
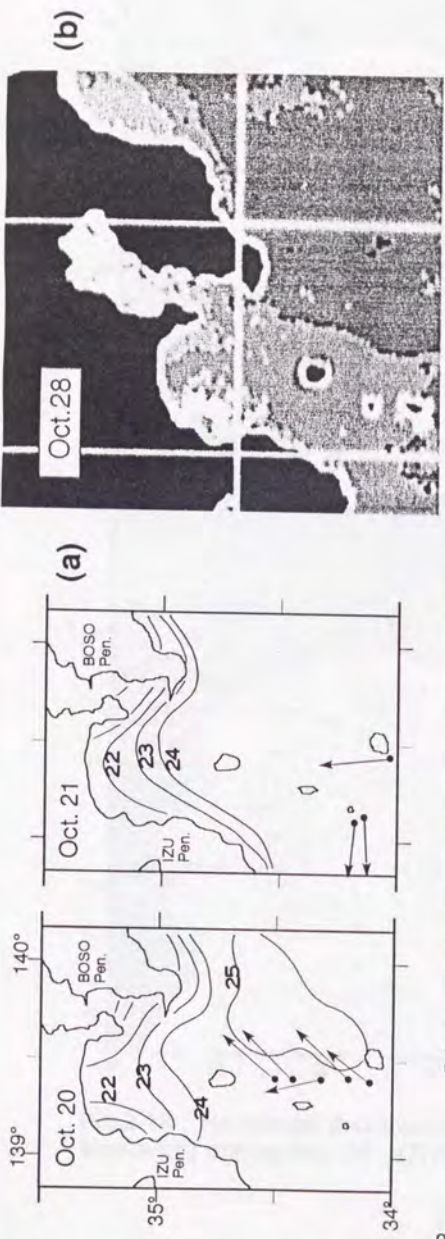


Fig.2-11 Horizontal distribution of surface temperature(a), satellite thermal image(b) and current velocity(c) during outflow type in Oct.19 - 29, 1992.

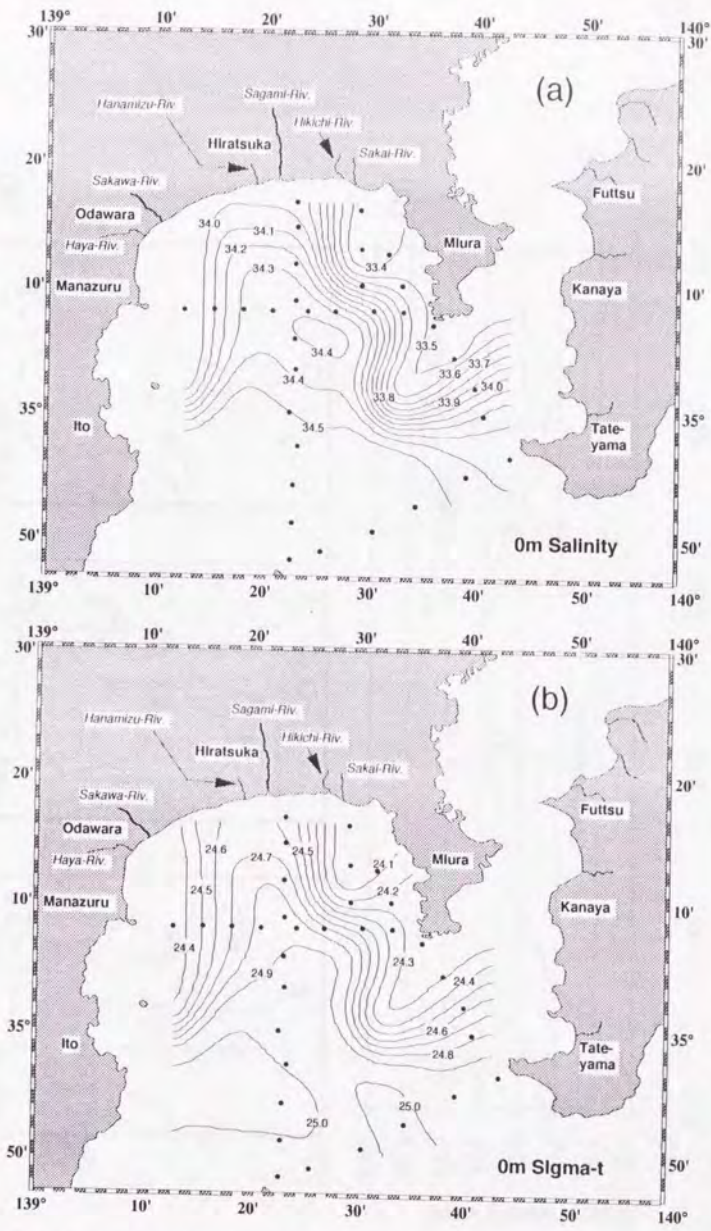


Fig.2-12 Horizontal distribution of surface salinity(a) and sigma-t(b) during May 16 - 17,1992.



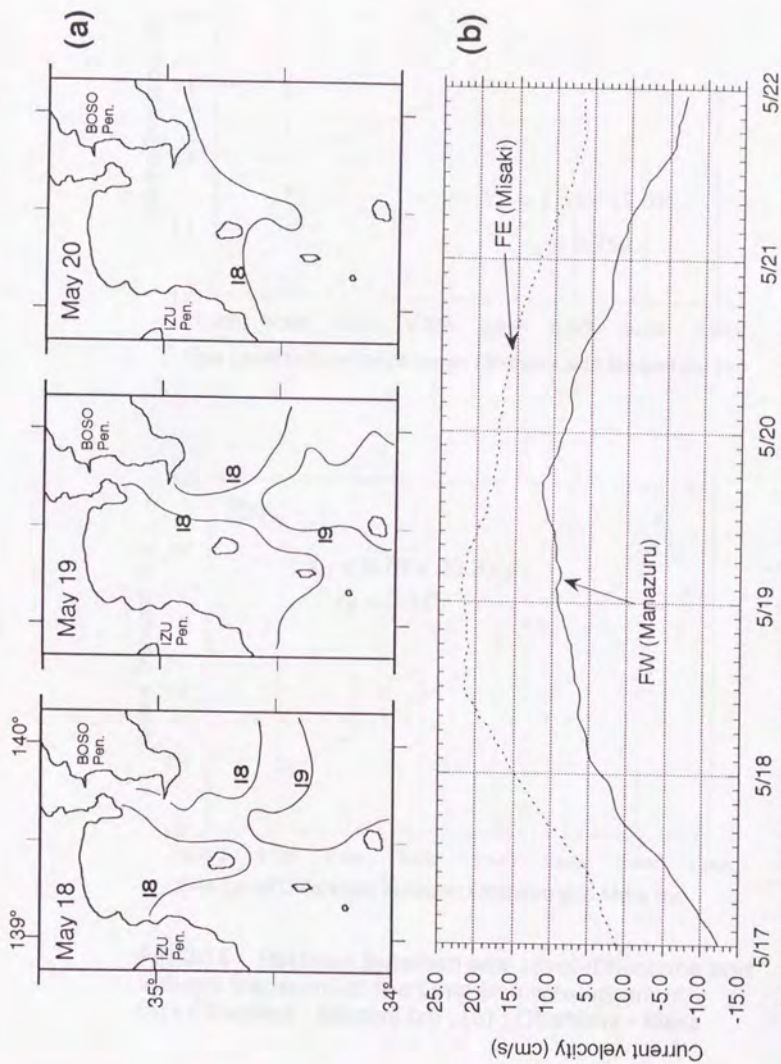


Fig.2-13 Horizontal distribution of surface temperature(a) and current velocity(b) during inflow in type in May17 - 22, 1992.

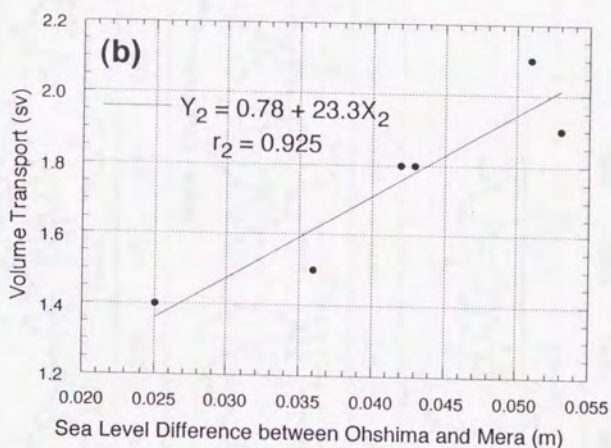
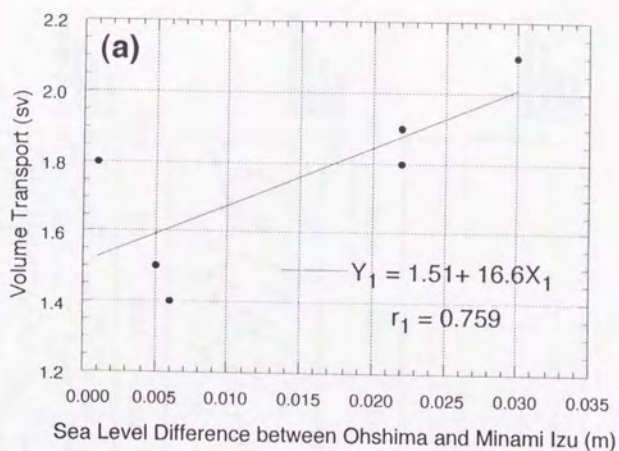


Fig.2-14 Relation between sea level difference and volume transport at the Ohshima west channel.  
 (a) : Ohshima - Minami Izu , (b) : Ohshima - Mera



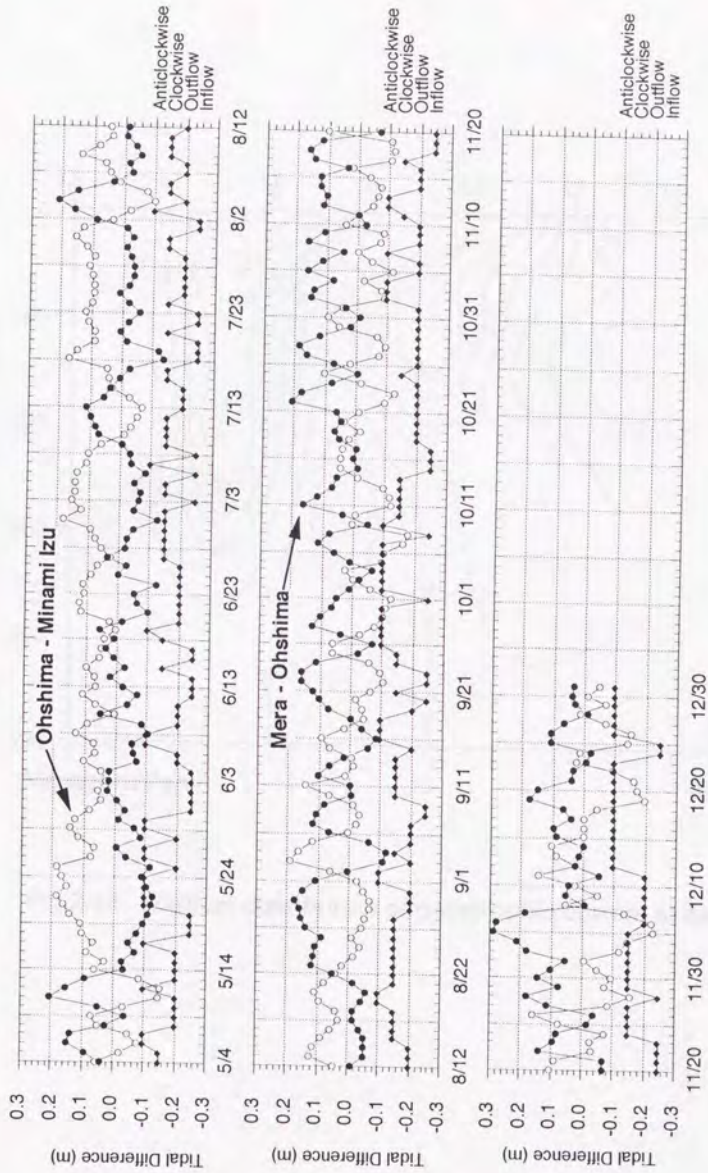


Fig.2-15 Time series of tidal differences and circulation patterns.

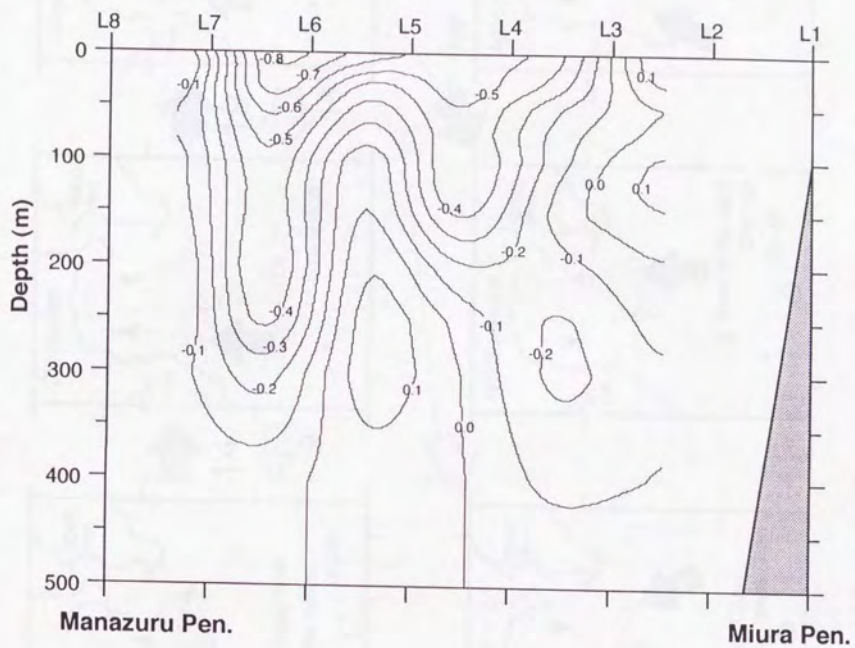


Fig.2-16 Vertical distribution of geostrophic current at section L.



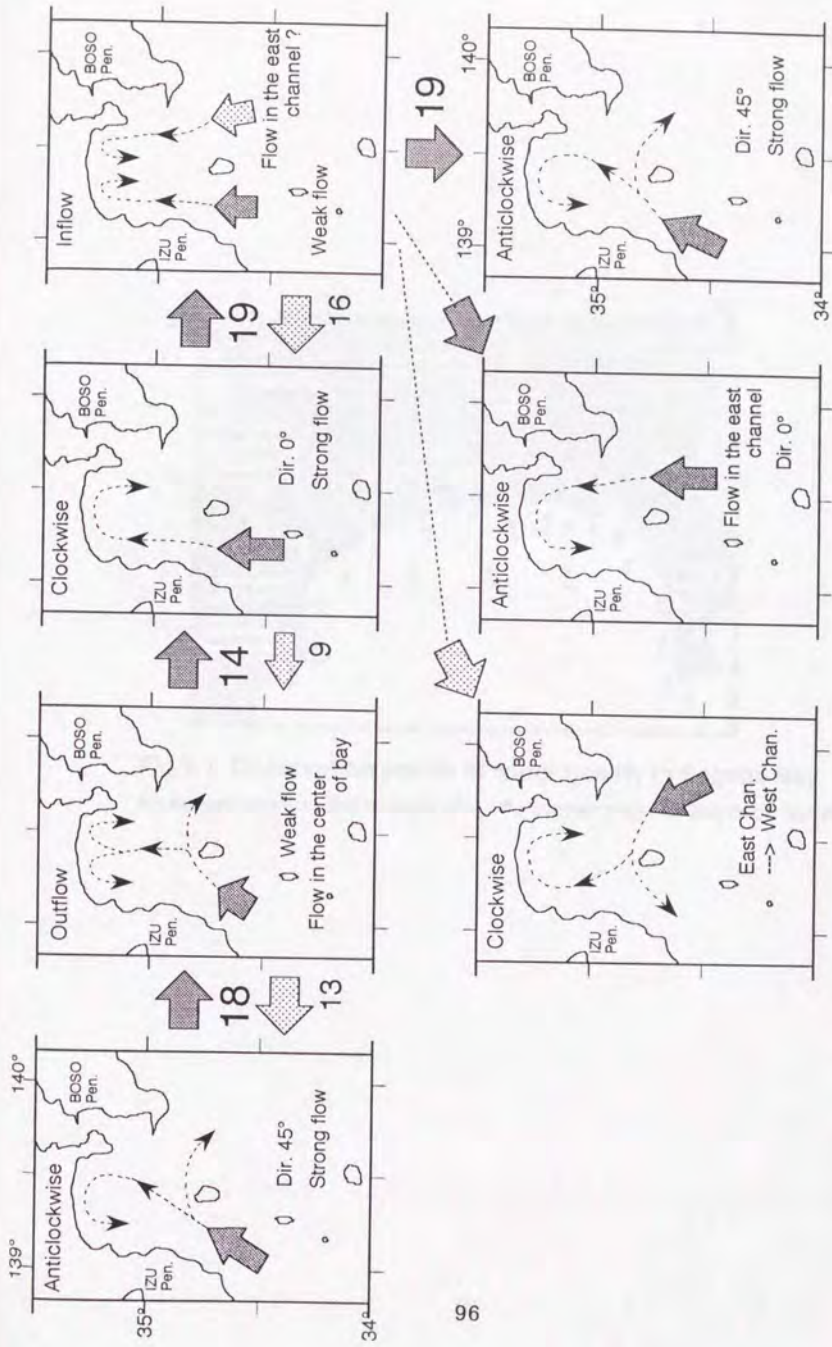


Fig.2-17 Schematic view of the transition between the circulation types.

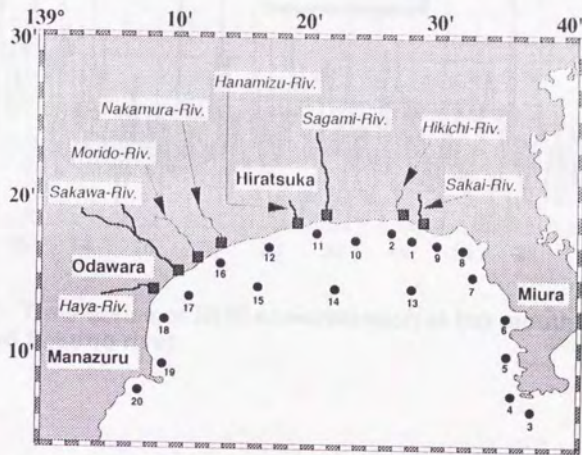
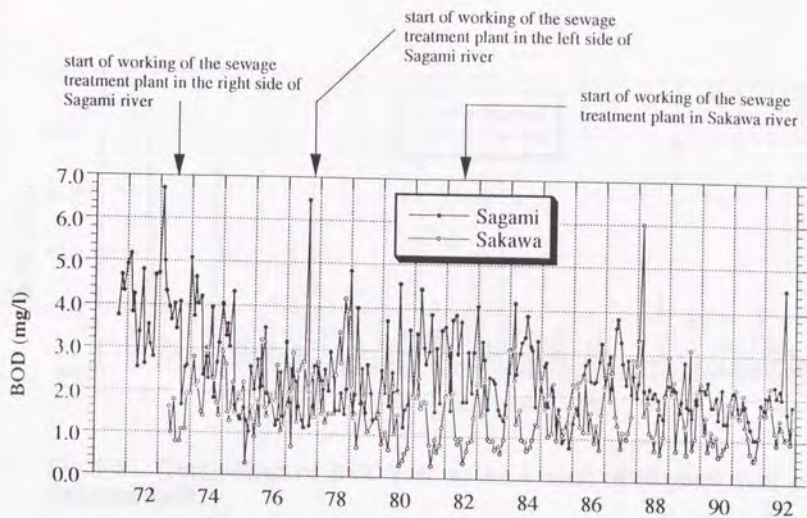
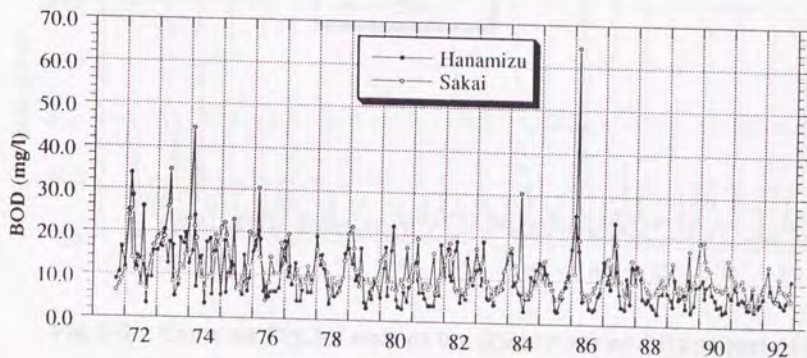


Fig.3-1 Observation points of water quality in Sagami Bay.  
 ● : survey point in the coastal sea , ■ : survey point at the river mouth.





**Fig.3-2** Time series of BOD concentration at the mouth of Sagami river and Sakawa river.



**Fig.3-3** Same as Fig.3-2 except for Sakai river and Hanamizu river.

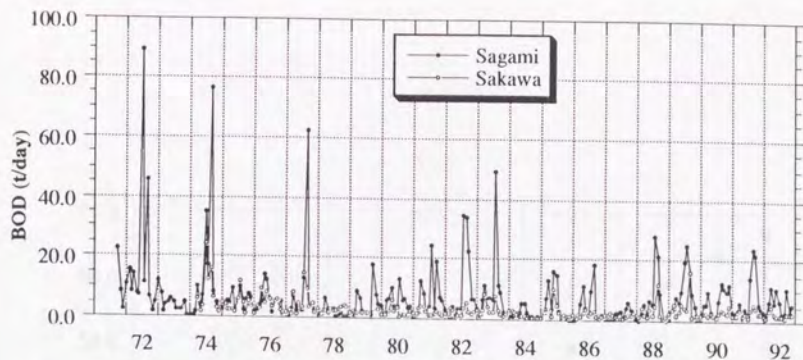


Fig.3-4 Time series of BOD load at the mouth of Sagami river and Sakawa river.

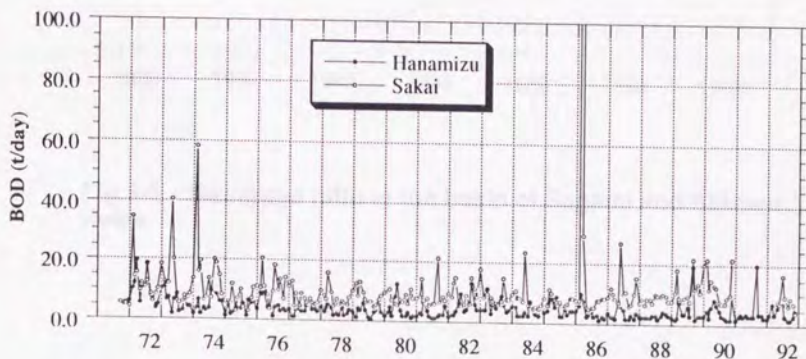
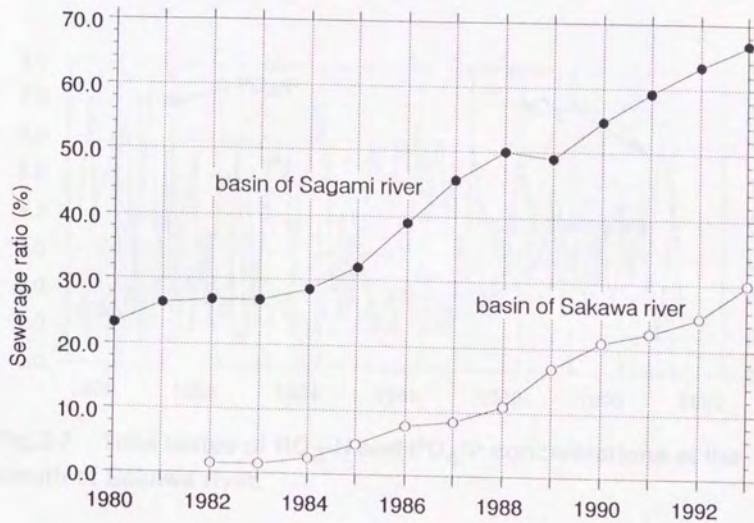


Fig.3-5 Same as Fig.3-4 except for Sakai river and Hanamizu river.





**Fig.3-6** Sewerage ratio in the basin of Sagami and Sakawa rivers.

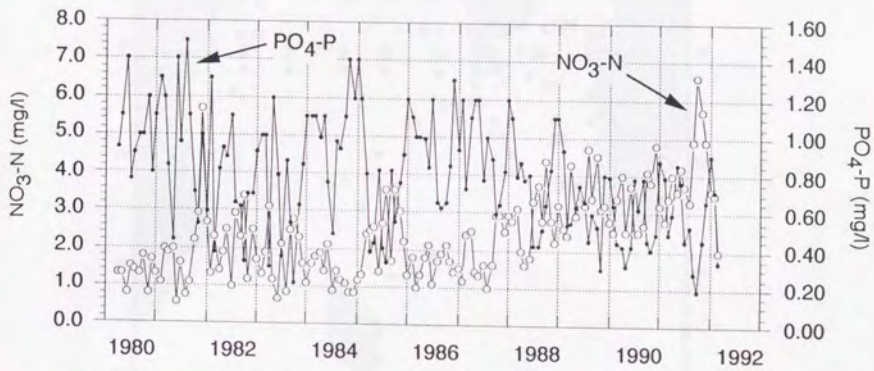


Fig.3-7 Time series of NO<sub>3</sub>-N and PO<sub>4</sub>-P concentrations at the mouth of Sakawa river.



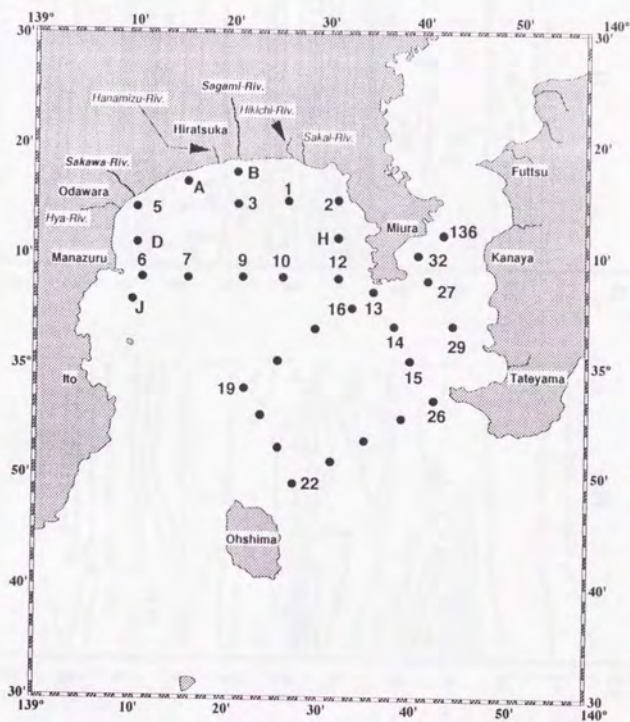


Fig.4-1 Monthly observation points surveyed by the Kanagawa Prefectural Fisheries Experimental Station.

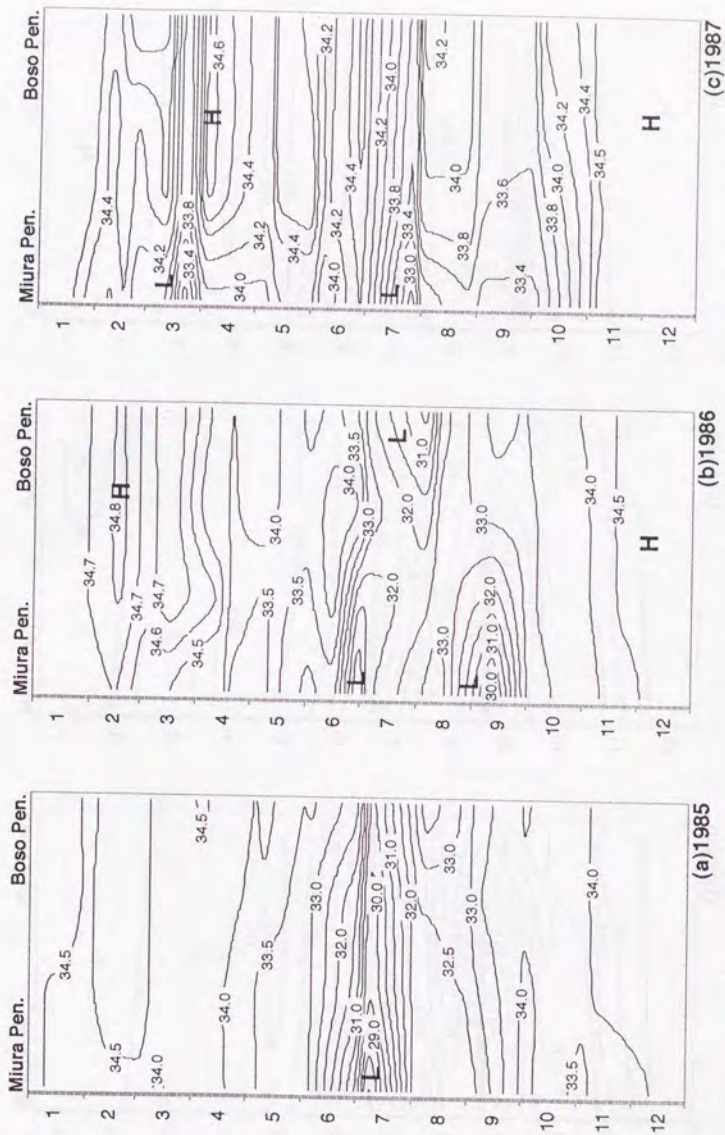


Fig.4-2 Seasonal variation of the surface salinity at the mouth of Tokyo Bay during, 1985(a), 1986(b) and 1987(c).



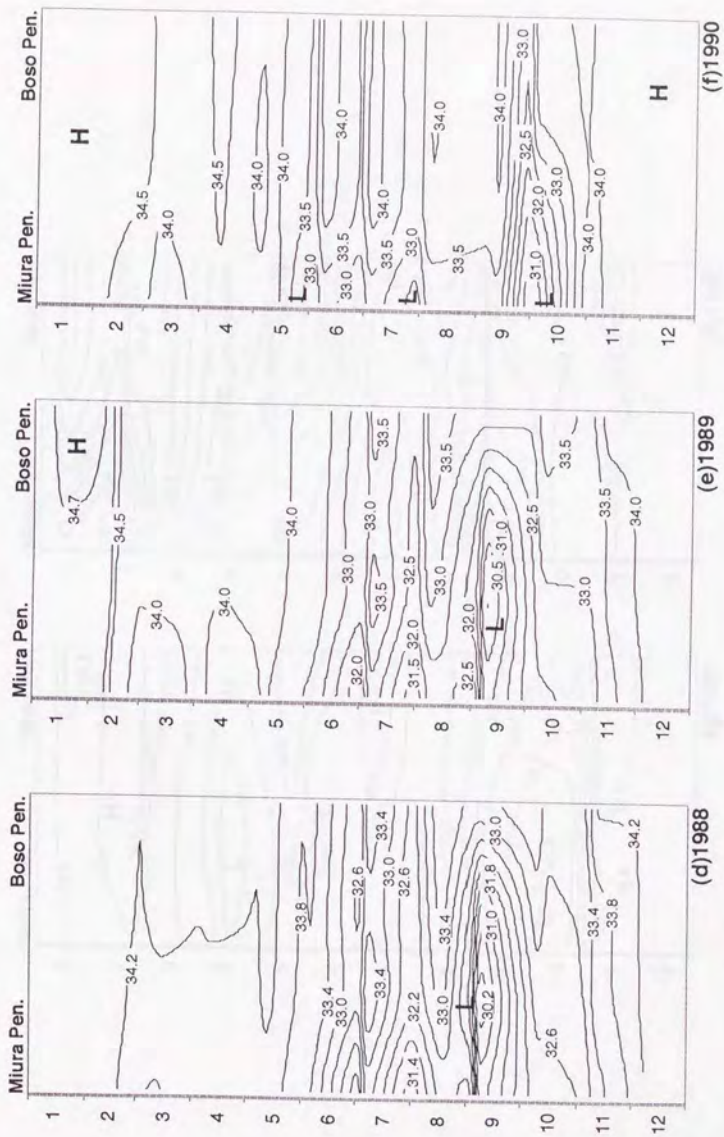


Fig.4-2 Same as the previous figure except for during 1988(d), 1989(e) and 1990(f).

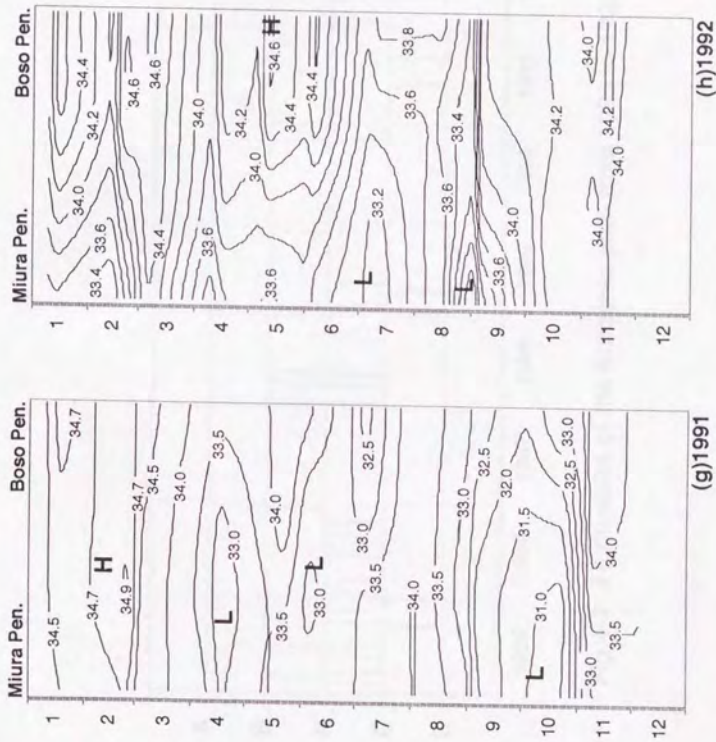


Fig.4-2 Same as the previous figure except for during 1991(g) and 1992(h).



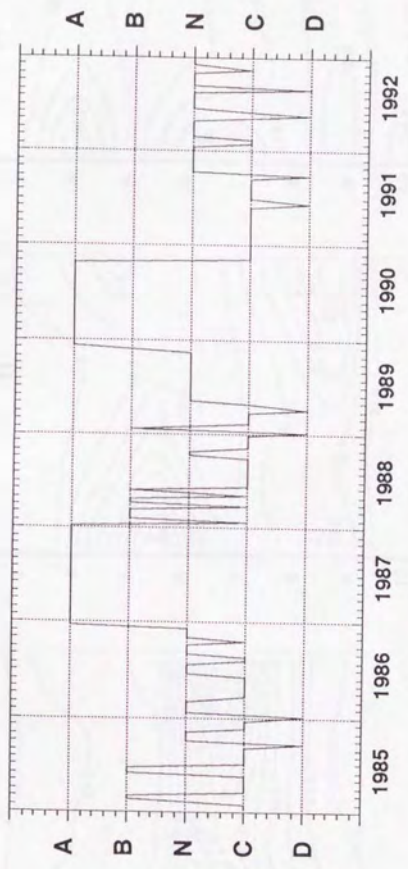


Fig.4-3 Fluctuation of the Kuroshio path from 1985 to 1992.

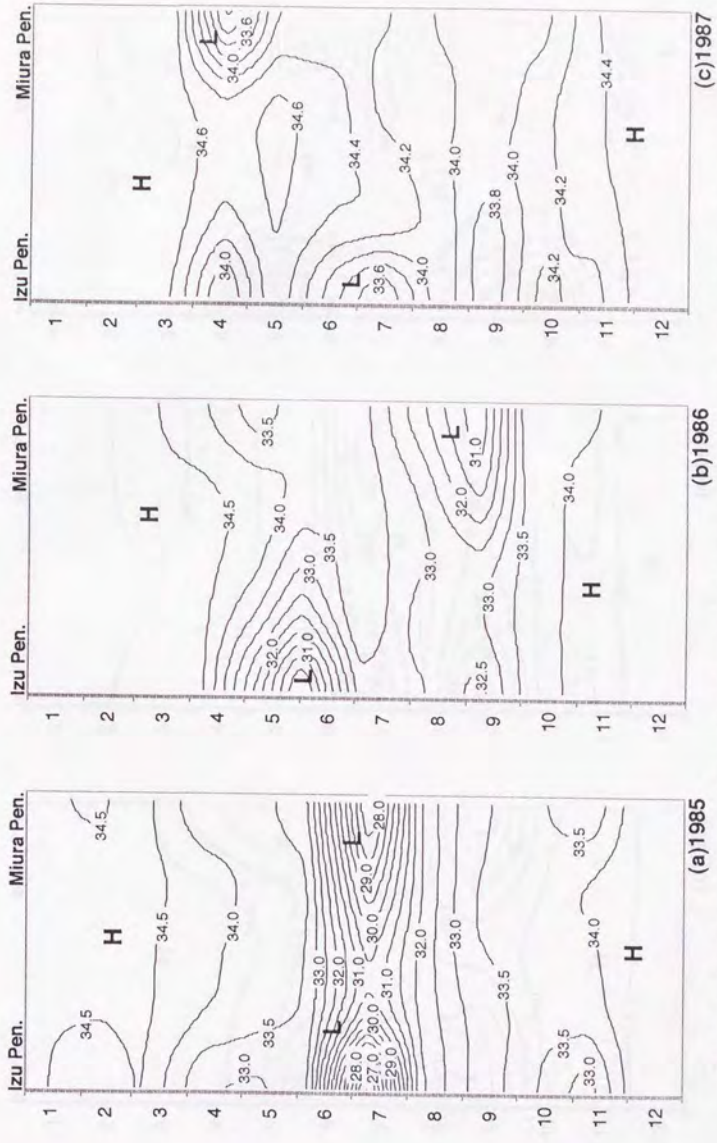


Fig.4-4 Seasonal variation of the surface salinity at the mouth of Sagami Bay during 1985(a), 1986(b), 1987(c).



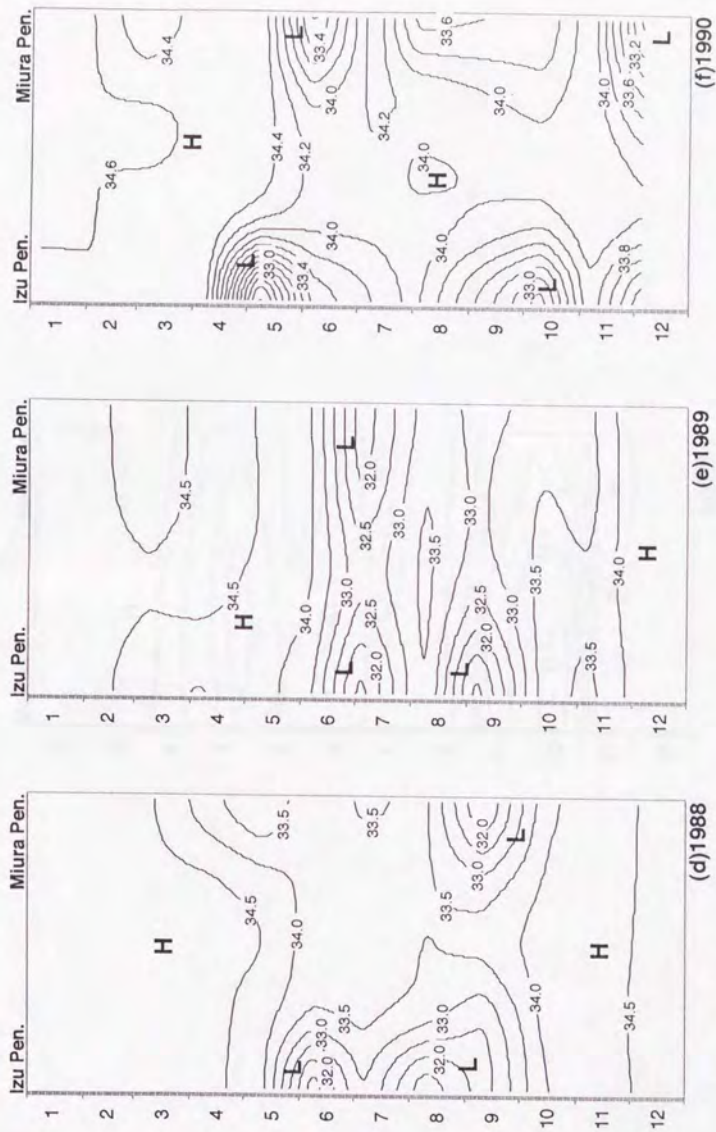


Fig.4-4 Same as the previous figure except for during 1988(d), 1989(e) and 1990(f).

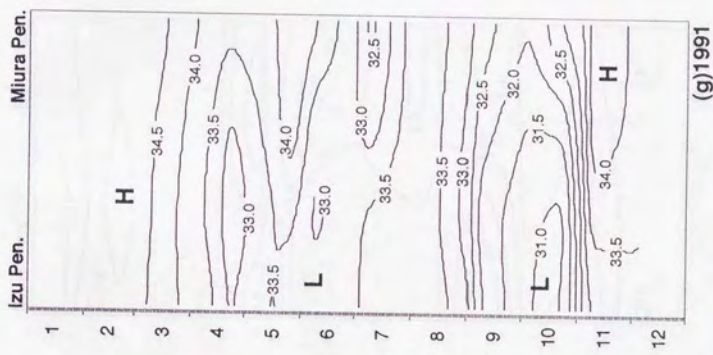


Fig.4-4 Same as the previous figure except for during 1991(g).



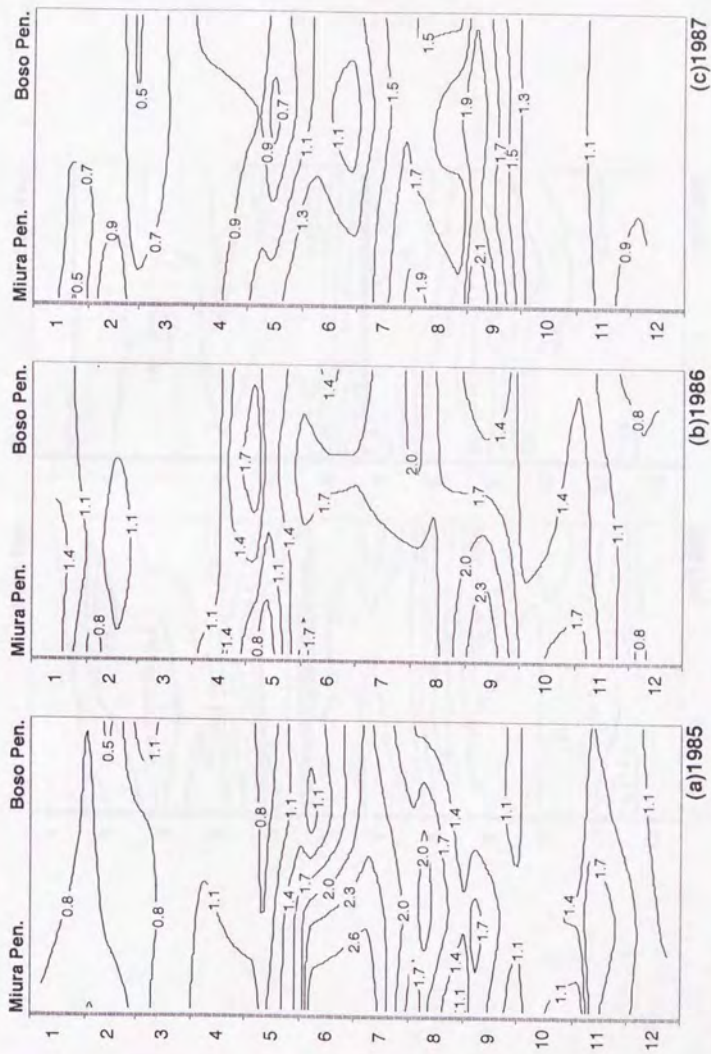


Fig.4-5 Seasonal variation of COD at the mouth of Tokyo Bay during 1985(a), 1986(b) and 1987(c).

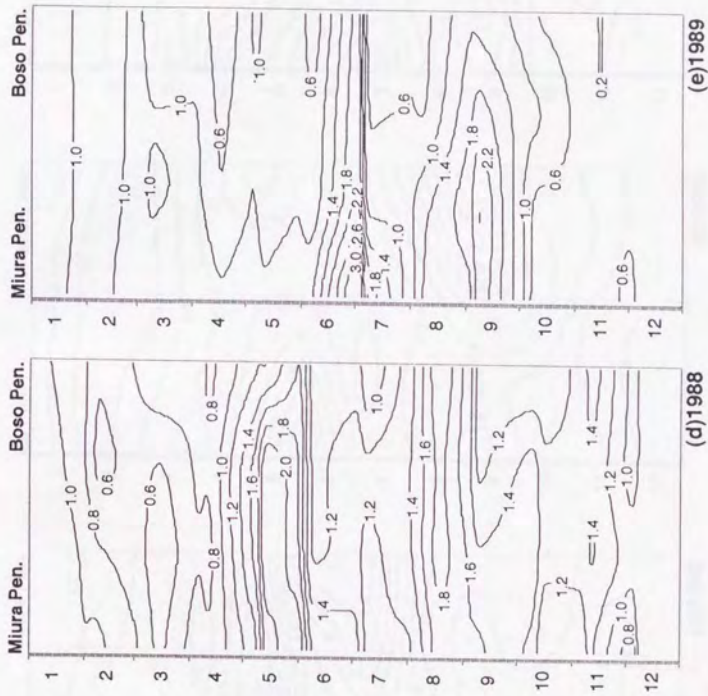


Fig.4-5 Same as the previous figure except for during 1988(d) and 1989(e).



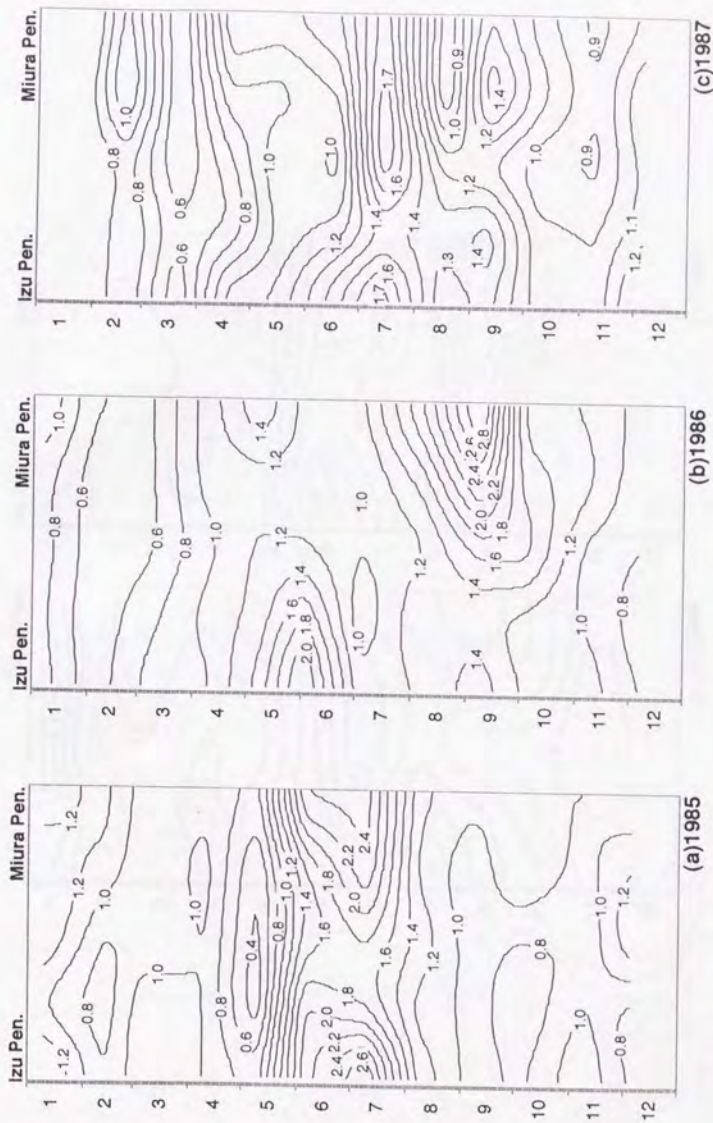


Fig.4-6 Seasonal variation of COD at the mouth of Sagami Bay during 1985(a), 1986(b) and 1987(c).





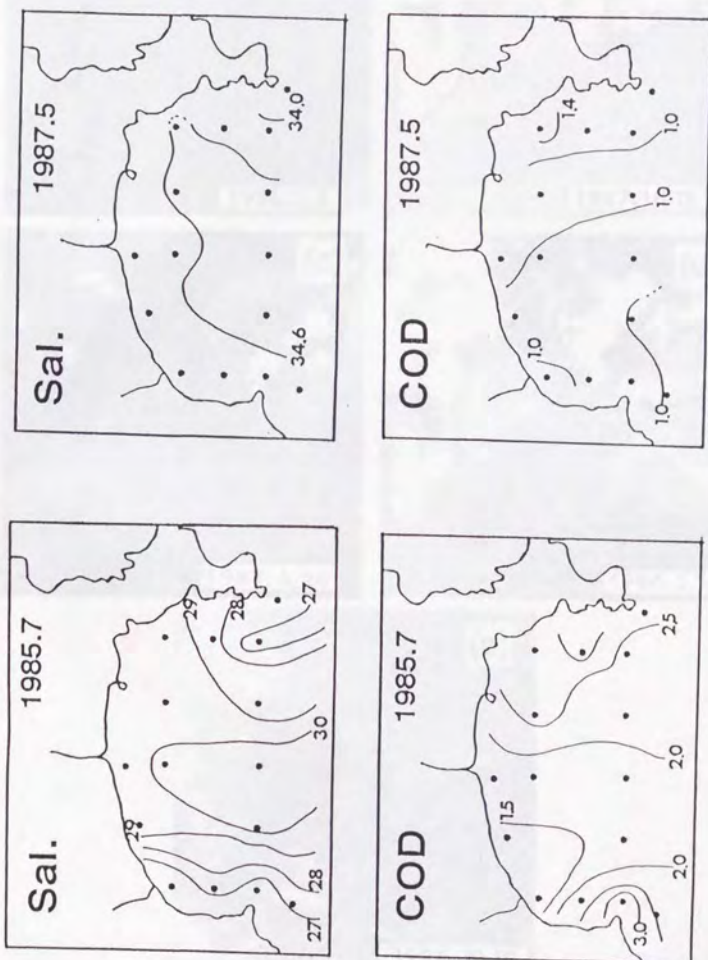


Fig.4-7 Horizontal distributions of salinity and COD during large meander period (1987) and non-large meander period(1985).

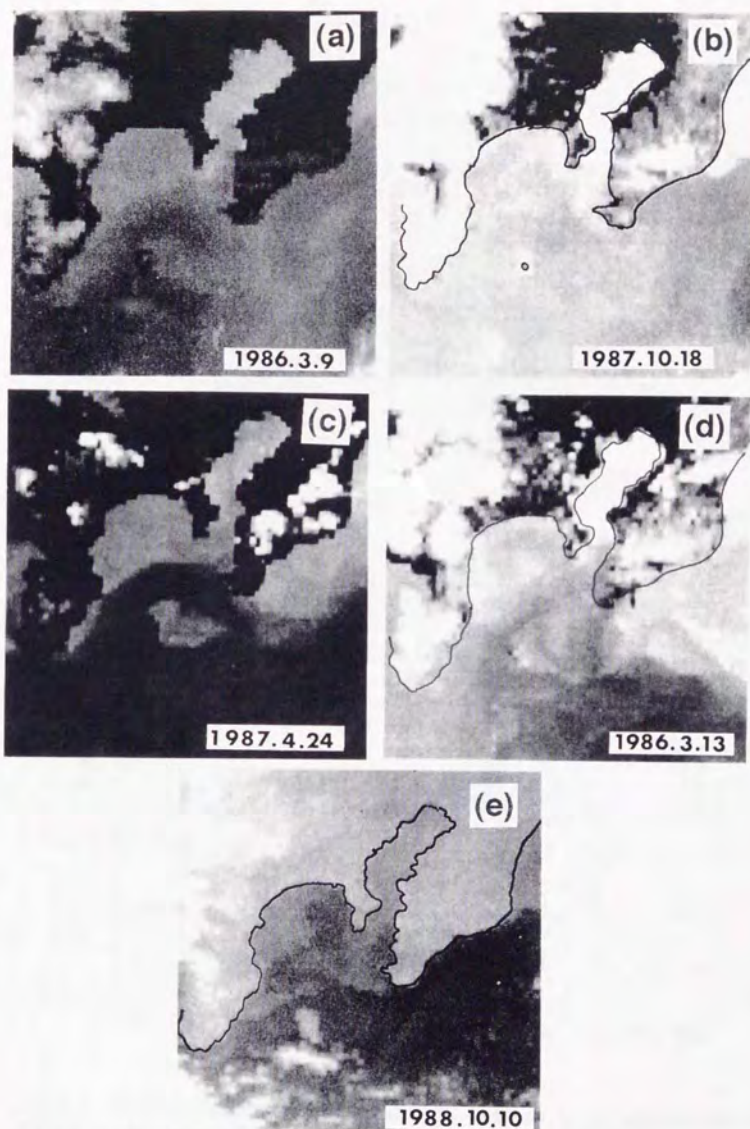


Fig.4-8 Satellite thermal images showing the Kuroshio path and Tokyo Bay water.



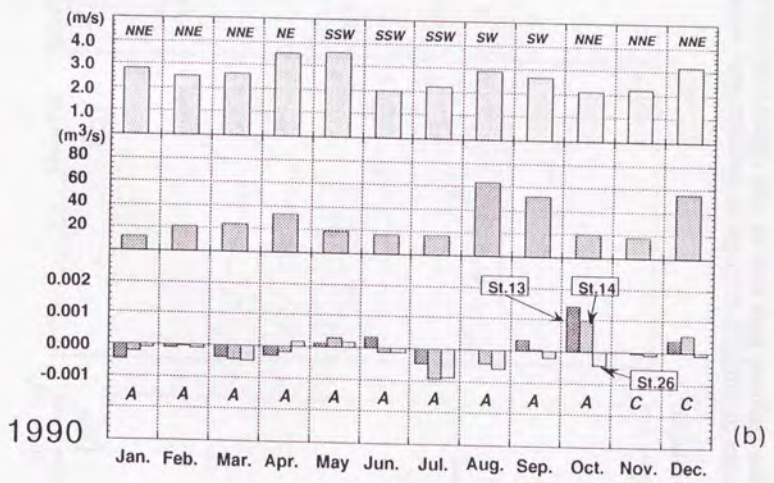
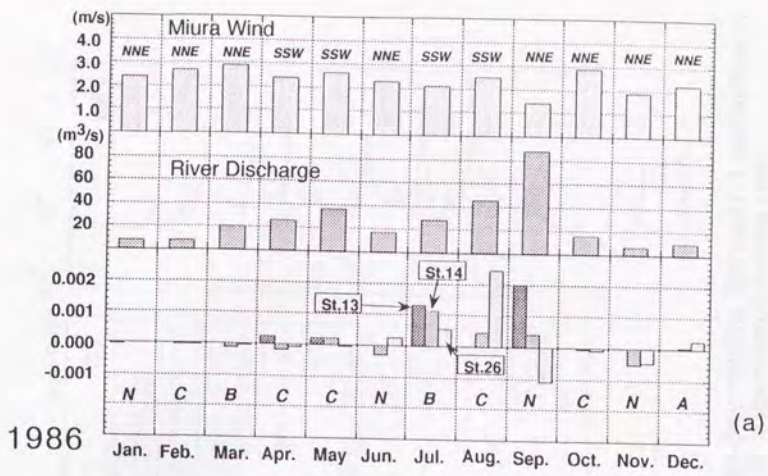


Fig.4-9 Relations between density difference, wind speed, wind direction and river discharge in 1986 (a) and 1990 (b).

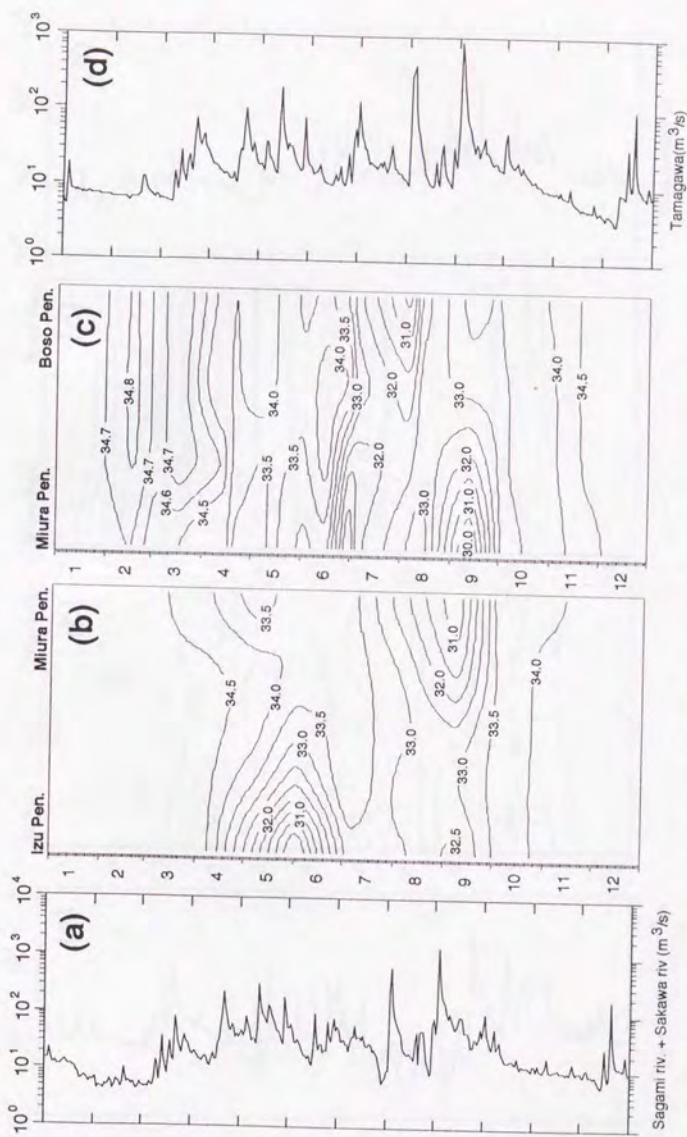


Fig.4-10 Time series of surface salinity at Sagami Bay and Tokyo Bay mouths ((b) and (c) respectively), and river discharges Sagami Bay and of the Tama river((a) and (d) respectively) during 1986.







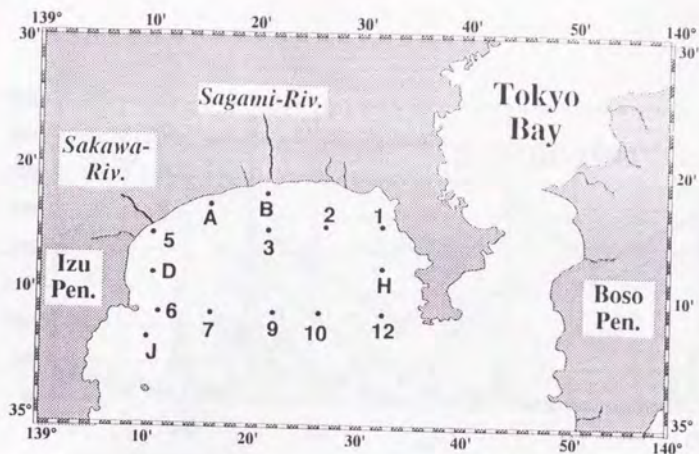


Fig.5-2 Observation points in the inner Sagami Bay surveyed monthly by the Kanagawa prefectural fisheries experimental station.

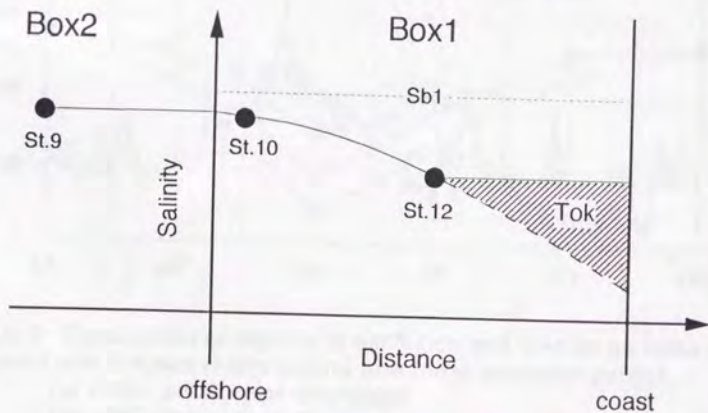


Fig.5-3 Schematic view of salinity distribution crossing St.10 and St.12 and salinity difference relating to Tok. Solid line indicates inter and extrapolated salinity used in this box model, and dashed line indicates salinity distribution expected in the field.

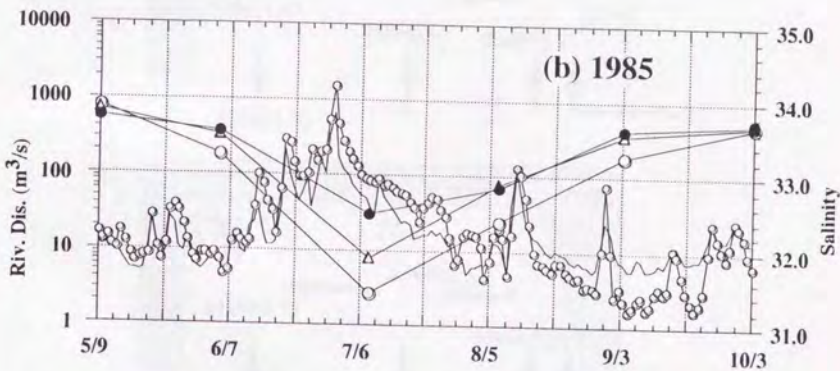
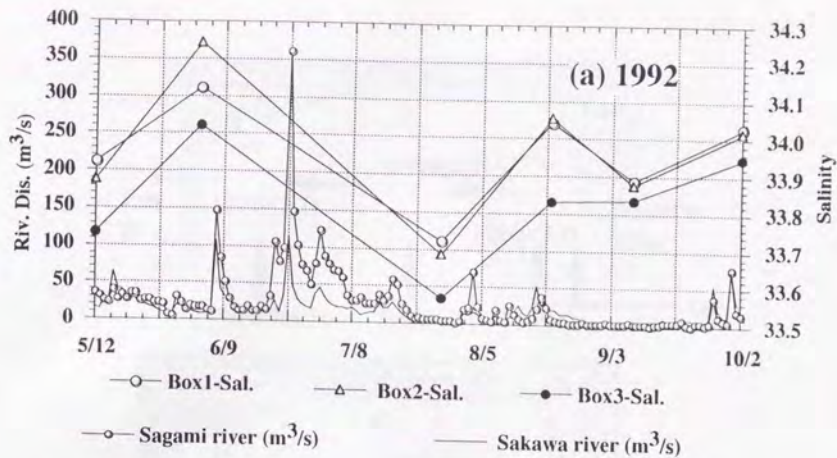


Fig.5-4 Time series of salinity in each box and discharge rates of Sagami and Sakawa rivers during non-large meander period.  
 (a) 1992 : small river discharge  
 (b) 1985 : large river discharge



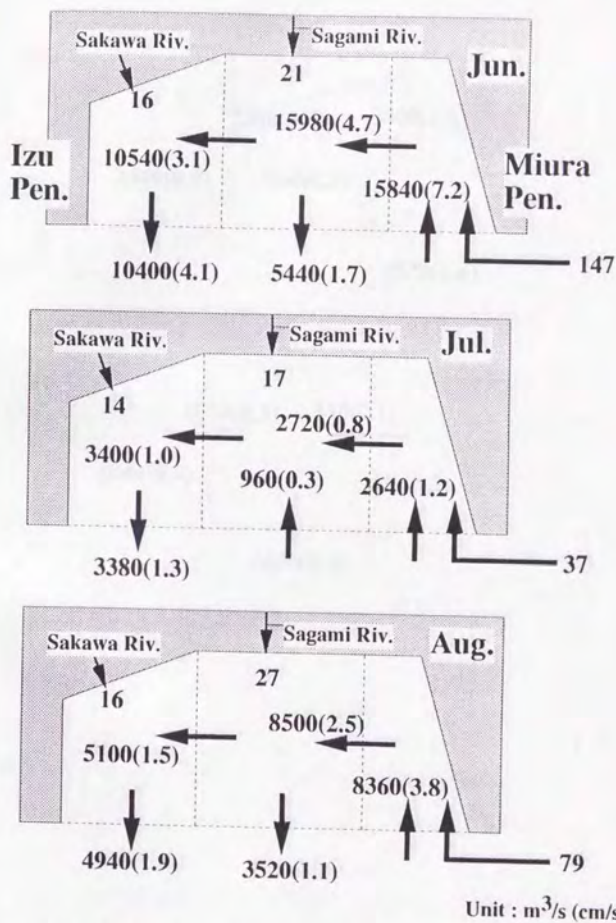
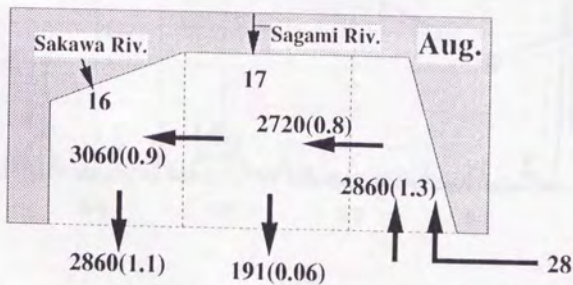
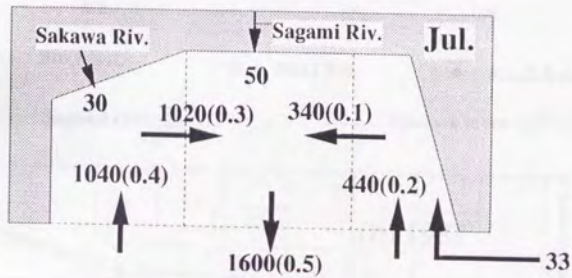
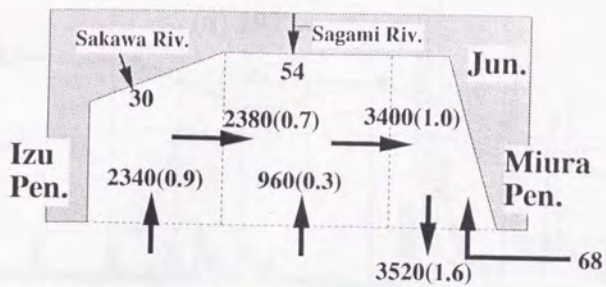


Fig.5-5(a) Results of volume transport and mean velocity across the interface of the box model during summer, 1992.



Unit :  $m^3/s$  (cm/s)

Fig.5-5(b) Same as Fig.5-5(a) except for during summer, 1985.

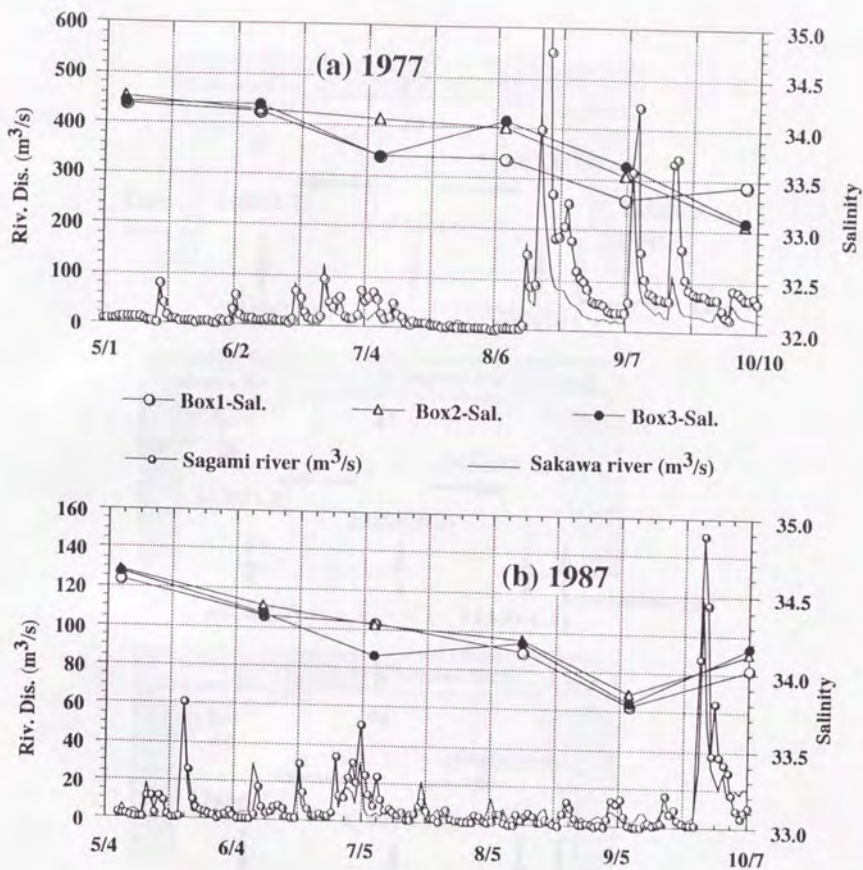


Fig.5-6 Same as Fig.5-4 except for 1977 and 1987, during large meander period.

(a) 1977 : small river discharge

(b) 1987 : large river discharge



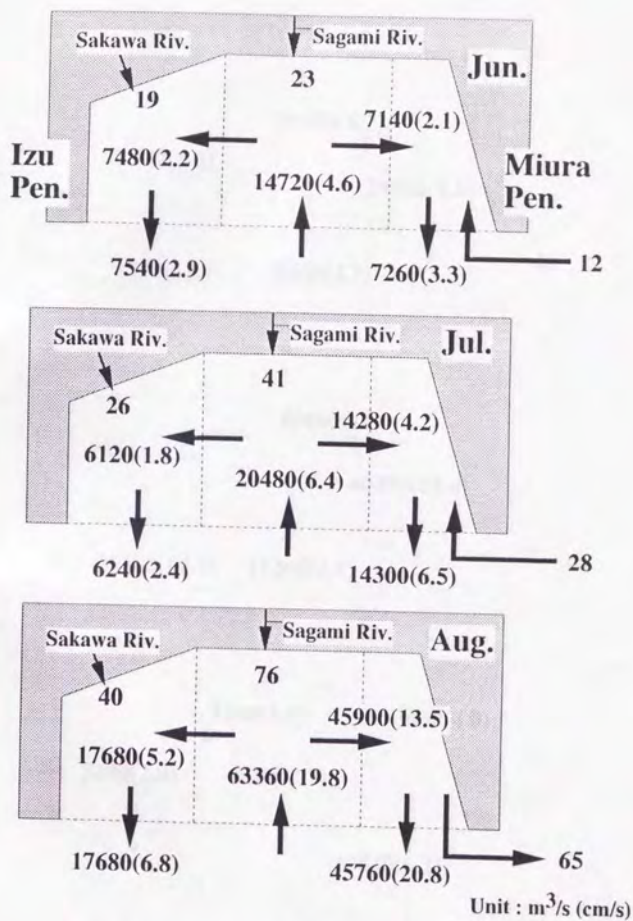


Fig.5-7(a) Same as Fig.5-5(a) except for during summer, 1977.

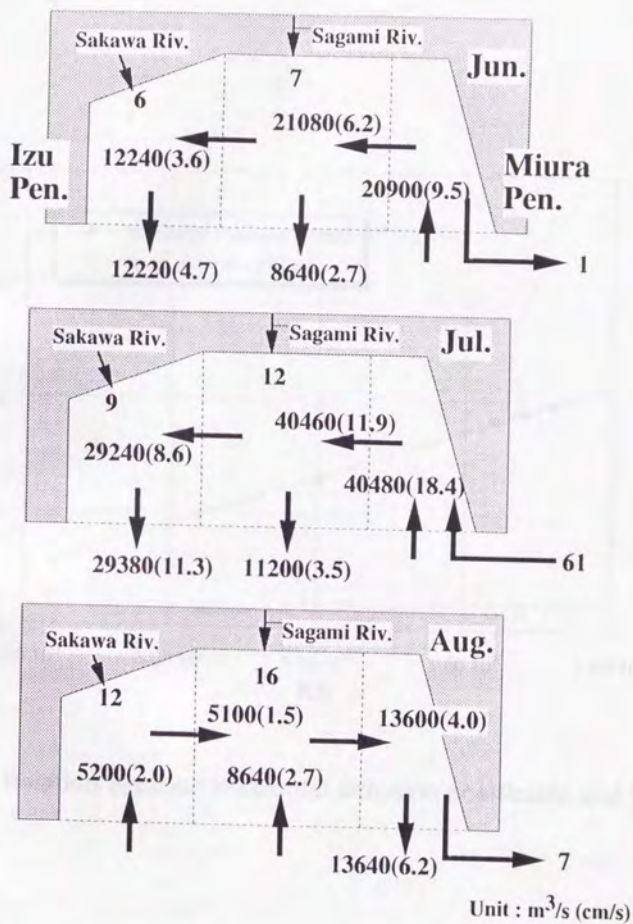


Fig.5-7(b) Same as Fig.5-5(a) except for during summer, 1987.

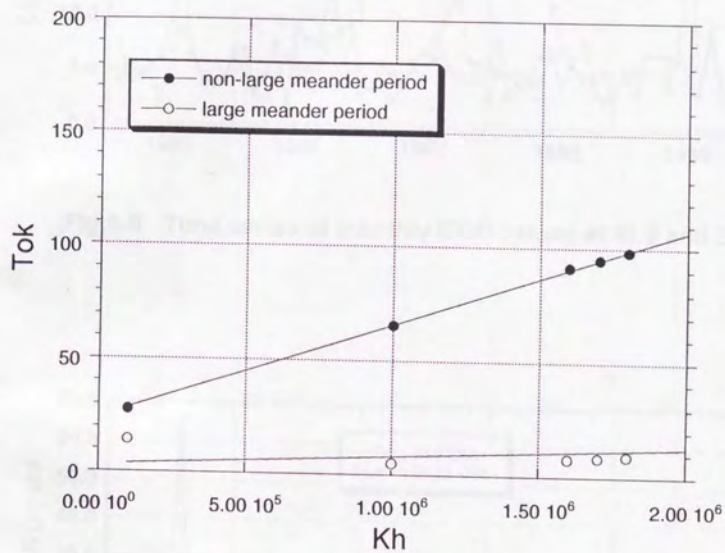


Fig.5-8 Relation between horizontal diffusion coefficient and Tok.



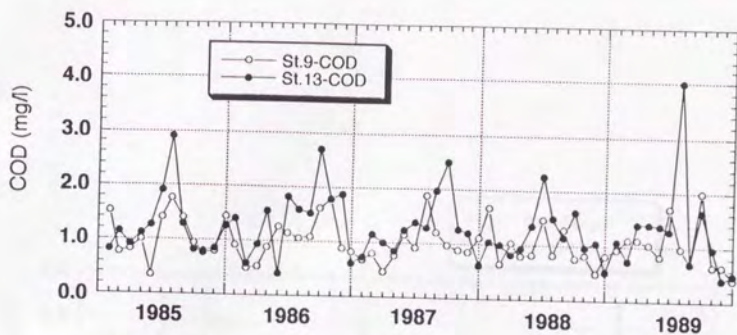


Fig.5-9 Time series of monthly COD values at St.9 and St.13.

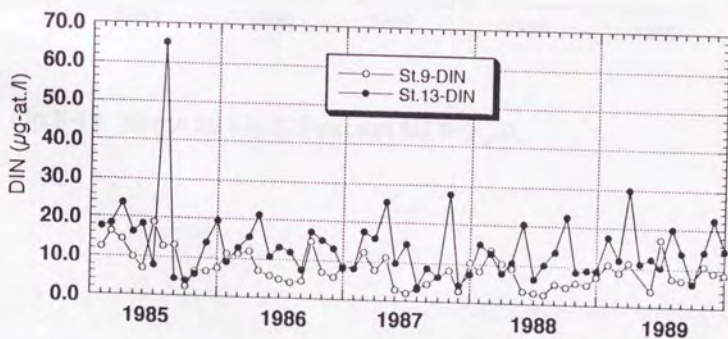


Fig.5-10 Same as Fig.5-9 except for DIN.

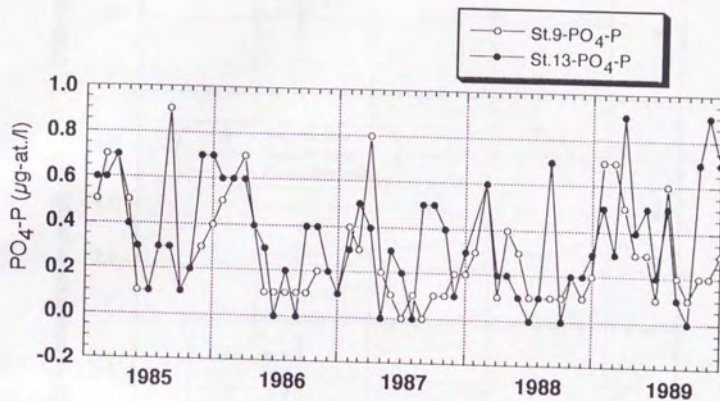


Fig.5-11 Same as Fig.5-9 except for PO<sub>4</sub>-P.

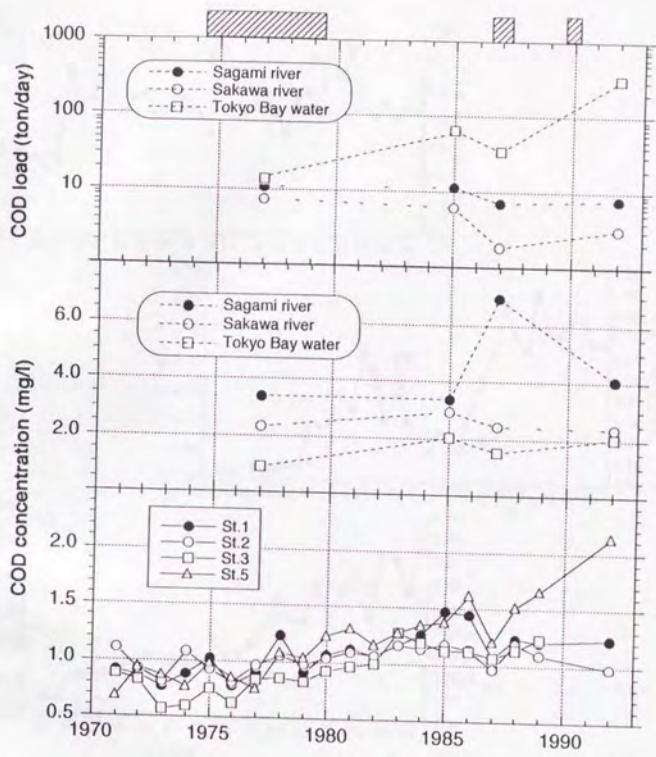


Fig.5-12 Time series of COD concentration and load in the inner Sagami Bay, Sagami and Sakawa rivers and Tokyo Bay water. Thick bars indicate the periods when the Kuroshio took large meander path.



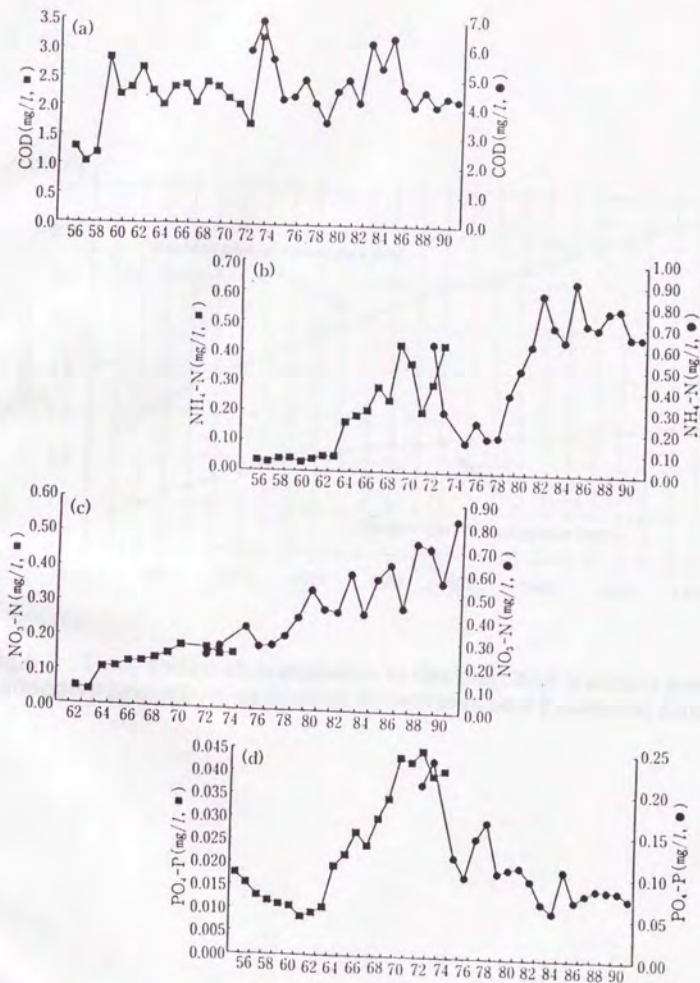


Fig.6-1 Time series of (a) COD, (b) NH<sub>4</sub>-N, (c) NO<sub>3</sub>-N, (d) PO<sub>4</sub>-P in Tokyo Bay (after Ogura, 1993).

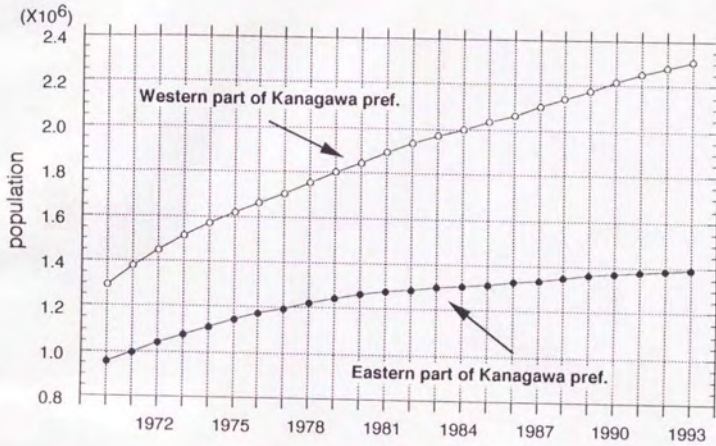
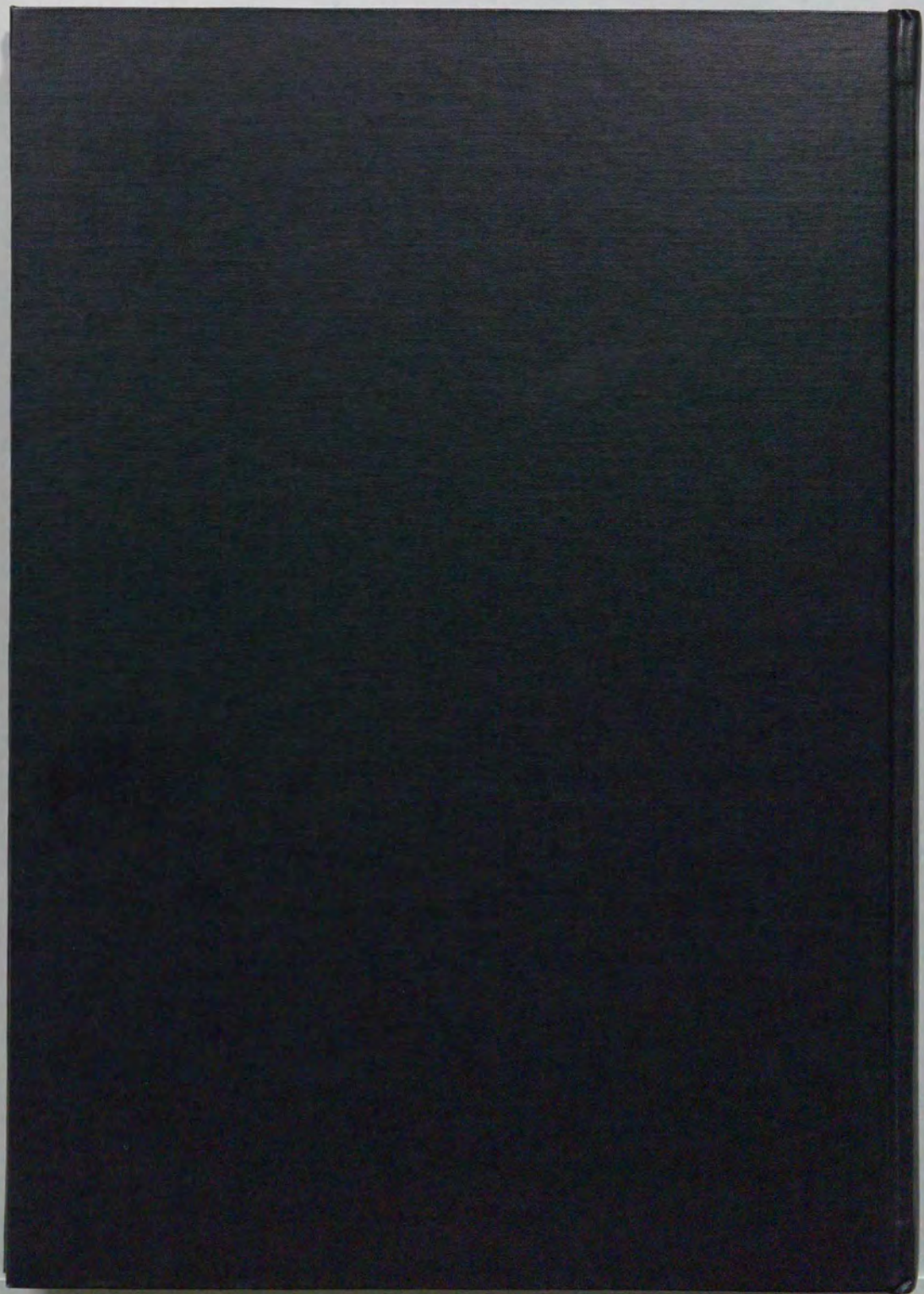


Fig.6-2 Time series of population in the east and western parts of Kanagawa prefecture excluding Yokohama and Kawasaki cities.





inches 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19

# Kodak Color Control Patches

© Kodak, 2007 TM Kodak

Blue Cyan Green Yellow Red Magenta White 3/Color Black



# Kodak Gray Scale



© Kodak, 2007 TM Kodak

A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19

