

## 浅海域における海況変動と漁況に関する研究\*

俵 悟

Studies on the Characteristics of Oceanographic Condition  
in Relation to Fishing Condition in the Shallow Coastal Waters

By

Satoru TAWARA

The major aim of the present study was to find out a new method of the catch prediction by analysing the catch statistics, oceanographic and weather data in the shallow coastal waters. Therefore, the characteristics of seasonal changes of constant flow and oceanographic structure were studied, using the available data in the Seto Inland Sea. In summer, in the layer shallower than 5 m, the westward current which had mean velocity of 1-3 cm/s was recognized in the western region of Bisan Seto. And in the eastern region of Bisan Seto the eastward current with mean velocity of 2-3 cm/s was recognized. Further, in the layer deeper than 10 m or in the bottom layer, the eastward current existed in the western region of Bisan Seto and the westward current existed from the eastern region of Bisan Seto to western region of Harima Nada. From these facts, it is suggested that the gravitational circulations due to density current should be formed in both regions of Bisan Seto and come into contact with each other near Bisan Seto.

In the region from Bisan Seto to Harima Nada, eastward current was stronger in winter than in summer and its velocity was about 5 cm/s in the eastern region of Harima Nada. In the region from Bingo Nada to Iyo Nada, westward current velocity tended to become smaller than 1 cm/s, but a little different current pattern was seen in summer.

These suggest that a constant flow pattern in summer is not the same as that in winter, because in summer the density current develops due to the increase of discharged water from rivers and in winter the wind driven current develops due to monsoon.

Sea surface water temperature in the western region tends to be higher than that of the eastern region in winter, and *vice versa* in summer. The yearly means of sea surface temperature of Bungo strait, Iyo Nada and Kii strait near open sea, are higher than inner region. Annual ranges of temperature in the same regions are smaller than inner region.

As to the yearly heat budget between sea and air of each region of Seto Inland Sea, it was clarified in this study that heat flux from sea to air exists and that heat flux which keeps balance of heat budget between sea and air flows into the Seto Inland Sea from the open sea. The yearly means of sea surface temperature of Bisan Seto and western part of Harima Nada are the lowest in Seto Inland Sea, because advective heat flux from the open sea is small.

Sea surface salinity of the eastern region is relatively lower than that of the western region. Salinity of each region varies corresponding to the amount of discharged water from

\*水産大学校研究業績 第1051号, 1985年7月29日受理.

Contribution from Shimonoseki University of Fisheries, No.1051. Received July 29, 1985.

rivers before one to three months salinity observation. Relative horizontal distribution of salinity doesn't change seasonally, because relative fluctuation of monthly discharge water volume from each river is similar to one another.

As results of the classification of the seasonal variation types of oceanographic condition in Seto Inland Sea on the basis of the characteristics of seasonal variation of temperature and salinity at each sector, six types are found which are recognized in Suo Nada, Bungo strait and Iyo Nada, Aki and Hiuchi Nada, Bisan Seto, Harima Nada and Osaka Bay, Kii strait, respectively.

It is clarified that the seasonal variation of oceanographic condition in Seto Inland Sea is fundamentally controlled by seasonal variation of salinity.

Fishing condition in relation to temperature and salinity which are the fundamental factors of characteristics of oceanographic condition, and to discharged waters from rivers and to factors of weather, are investigated by means of a multiple regression analysis.

Fish and cephalopod species selected for this study are Japanese anchovy, sand lance, common seabass, horse mackerel, cuttlefish, octopus, and gray mullet. Landing by months of good catch are set up as the dependent variables. Water temperature, salinity, transparency, discharge water volume, air temperature, solar radiation, precipitation, east and north component of wind vector in one and two months before fishing catch, are set up as the independent variables. In order to get the multiple regression equation for catch prediction, relationship between dependent and independents is calculated by a forward selection method. Results of these relationships in most species are almost significant at 5 % level statistically. Therefore, it is possible to predict the catch of those objective fish species by using the above-mentioned environment factors.

In early June 1977, duration of abundant occurrence of anchovy, current of sea surface water, water temperature and salinity were continuously observed for 15 days and simultaneously, echo survey of anchovy was done twice a day in Yuya Bay. Fluctuation of standing crop of anchovy corresponded with current pattern of open sea water flowing into the Bay. It is estimated that the fish schools drift along the anticlockwise circulation in the Bay and exchange with one after another at a few days interval.

Synthetically, on the basis of the data up to the present in Seto Inland Sea, the characteristics of seasonal variation of oceanographic structure, and also the relation between fishing condition of the useful fish species and factors of oceanographic condition are clarified. Furthermore, a new method of quantitative prediction of catch is found out, of which little information has been obtained. On the other hand, through the continuous observation at the field in Yuya Bay, it is supposed that a possible factor which causes immigration of anchovy fry or emigration seems to be movements of water body of the Bay on meso-scale which are the phenomena in time scale examined scarcely.

## 目 次

### I. 緒 言

### II. 既存資料に基づく瀬戸内海の海況特性の分析—主に季節変動特性を中心にして

#### II・1 恒流の季節変動

##### 1. 資料と方法

##### 2. 結果と考察

- II・2 水温・塩分の季節変動
  - 1. 資料と方法
  - 2. 結果
    - 2・1 水温の季節変化
    - 2・2 熱収支
    - 2・3 塩分の季節変化
    - 2・4 塩分と河川流量との関係
    - 2・5 密度の季節変化
    - 2・6 水温・塩分からみた海域区分
  - 3. 考察
- III. 既存資料に基づく漁況の分析と漁況予測の試み
  - III・1 資料とその分析方法
  - III・2 分析結果
    - 1. カタクチイワシ（春～夏）
    - 2. イカナゴ
    - 3. その他の魚種
  - III・3 考察
- IV. 現地観測に基づくローカルスケールの漁況と海況との関係の分析
  - IV・1 はじめに
  - IV・2 方法
  - IV・3 結果
    - 1. 流れと海況
    - 2. 魚群の分布, 移動, 現存量の変動
  - IV・4 考察
- V. 総括
  - V・1 月スケールでみた漁況と海況について
  - V・2 ローカルスケールでみた漁況と海況の関係について

謝辞  
文献  
付表, 付図

## I. 緒言

近年、我が国では浅海域における水産資源の見直しを行うとともに、この海域での漁業の振興をはかることが重要な問題となっている。このような社会的背景の中で浅海域における生物生産環境としての流況、海況の諸特性を明らかにし、これらと漁況変動との関連から、漁獲量の量的予

測法を確立することは、基本的に重要な研究課題の一つであると考えられる。しかしながら、現在の漁況予測では、経験的知識に基づいて判断がなされることが多く、その殆んどは定性的な段階にとどまっている。

そこで、本研究ではまず、瀬戸内海を対象に選び、既存資料（主に毎月の調査資料）に基づいて、流況、海況の諸特性を明らかにし、さらに、重回帰分析によって、それら

と漁況との関連を総合的に検討し、漁獲量の量的予測法を見出そうとした。また、瀬戸内海ではこれまで殆んど資料が得られていない数日程度の短い時間スケールでの海況変動と漁況との関連について、山口県油谷湾で現地調査を行い、資源生物の現存量の変動が流況、海況の短期変動とどのような関係をもっているかを明らかにし、これらの結果を総合しながら、浅海域における漁況変動を海況のデータに基づいて予測するための新たな指針を見出そうとした。

瀬戸内海は、日本の沿岸漁業生産量の約40%を占める重要な海域である。近年、沿岸における工業の発展、開発工事等により汚染負荷が増大し、漁場環境の悪化が深刻な問題となっている。それに伴い、瀬戸内海においては、海洋環境に関する調査は主として環境アセスメントを目的として実施される傾向にあり、生物生産の環境としての海水流動、海況の季節変動など、漁業生産に直接関連する重要な問題については、これまで十分なりまとめがなされていない。

そこで、本研究では、まず瀬戸内海の生物生産を支える基本的な環境条件として、海水流動、水温、塩分、密度の季節変動の大きさ、それらの海域的特性の詳細を明らかにしようとした。また、これらにさらに気象要素を加えた環境諸因子と、カタクチイワシ、イカナゴなど瀬戸内海における有用魚種の漁獲変動との関係について、重回帰分析による検討を行い、これらの各魚種の漁獲変動と環境要因との現象論的な関連を瀬戸内海の各灘ごとに明らかにしようとした。

瀬戸内海は Fig. 1 に示すように東西約500 km、幅20～

50 km、水深15～50 m (平均30 m) 程度で、複数の開口部をもつ浅海内湾である(神戸海洋気象台1967)。外海とは豊予、関門、鳴門、紀淡の4つの海峡によって通じている。内部には幾つかの灘、内湾を形成し、それ等が狭い海峡によって結ばれている。これらの灘区分(瀬戸内海漁業灘別区分)を Fig. 1 に示した。また、各灘の面積、水深、容積、河川流域面積、河川流量を Table 1 に、主な海峡の大きさと上げ潮、下げ潮の最大流速を Table 2 に示した。平均水深は紀伊水道、伊予灘で50 m 以上あり、その他の灘は30 m 以下で、中央部の燧灘、備讃瀬戸がそれぞれ16.9、13.9 m と浅くなっている。各灘の容積に対する河川流量の比をみると、東部海域が西部に比べて大きい。外海と通ずる主な海峡の断面積は、友が島水道と鳴門海峡を合わせたものが豊予海峡のそれの約1/3である。また、上げ潮、下げ潮の平均最大流量を比較すると、豊予海峡は友が島、鳴門海峡を合せた流量の約4.4倍となり、豊予海峡を通じての外海水の交流が大きい。瀬戸内海の潮汐を概観すると、豊後水道、紀伊水道から進入した潮汐は $M_2$ 分潮が卓越し、両者は燧灘東部または備讃瀬戸付近で相会する(杉本ら1971)。また、 $M_2$ 分潮による流量は備讃瀬戸西部で0となる(YANAGI *et al.* 1982)。

瀬戸内海の海面漁業を支える重要資源の多くは、内外海交流種であり、浮魚資源の大部分は隣接外海からの入り込み種である。底魚のなかにも季節的に入り込み種が多い。瀬戸内海は水深が浅く、餌料生物が豊富で幼魚の生育水域として優れており、資源の再生産の場としても重要である(南西水研1977)。

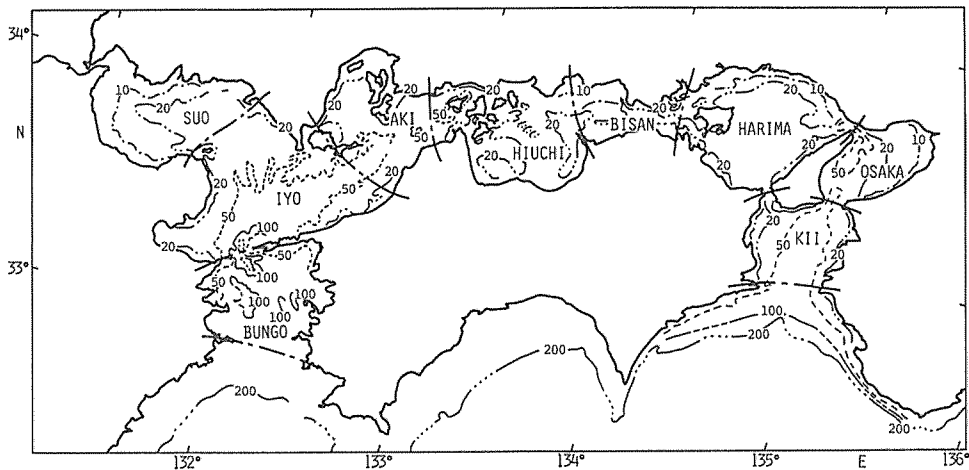


Fig. 1. Bathymetric chart with notation of sectors in Seto Inland Sea.

Table 1. Geographical dimensions 1.

Sectors	Area*			Volume*			Mean depth*		Basin area** B (km <sup>2</sup> )	B/A	Discharge** volume from rivers (km <sup>3</sup> /year) R	R/V
	A (km <sup>2</sup> )	%	Order	V (km <sup>3</sup> )	%		H (m)					
Kii	1,554	8.32	6	87.0	14.32	3	56.0	1	7,649	4.92	9.434	0.108
Osaka	1,529	8.19	7	41.8	6.88	6	27.5	3	10,731	7.02	12.476	0.298
Harima	3,426	18.36	2	88.7	14.60	2	25.6	5	7,450	2.17	7.994	0.090
Bisan	916	4.91	8	12.7	2.09	8	13.9	8	5,751	6.28	5.451	0.429
Hiuchi	2,250	12.06	4	38.0	6.25	7	16.9	7	3,131	1.39	2.697	0.071
Aki	1,909	10.23	5	52.2	8.59	5	27.3	4	4,848	2.54	7.612	0.146
Iyo	3,974	21.30	1	213.6	35.15	1	53.7	2	4,189	1.05	4.117	0.019
Suo	3,100	16.61	3	73.6	12.11	4	23.7	6	4,947	1.60	6.725	0.091
Total	18,658			607.6			32.6		48,696	2.61	56.506	0.093
Bungo	2,575			186.5			72.5		1,632	0.634		

(Original data from Nansei Reg. Fish. Res. Lab., 1977\* and HAYAMI *et al.*, 1970\*\*)

Table 2. Geographical dimensions 2.

Straits	Width (km)	Mean water depth (m)	Minimum cross-sectional area (km <sup>2</sup> )	Maximum velocity of tidal current (m/s)		Maximum volume of tidal current (×10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /s)
				flood	ebb	
Tomogashima Suido	5.55	55.9	0.3108	1.80	1.70	0.544
Naruto St.	1.48	16.8	0.0248	5.04	5.25	0.128
Muya St.	0.25	6.9	0.0017	3.0	3.7	
Akashi St.	4.00	50.0	0.2000	3.60	2.78	
Central part of Bisan Seto	6.46	33.2	0.2147	1.7	1.49	
Kurushima St.	2.58	43.9	0.1263	5.25	4.17	
Hayatomo Seto	0.64	13.6	0.0087	4.27	4.06	0.036
Hoyo St.	12.40	91.5	1.1134	3.04	2.52	3.095

(Data from SUGIMOTO *et al.*, 1971)

瀬戸内海における海面漁業の漁獲量の推移をみると、戦前の約15万トン以下の水準から、戦後期（1945～'55）には急激に増加し、1955年には約25～27万トンに達した。その後、生産は停滞したが1963～'69に再び増加し、漁獲量は約40万トンに達した。1970年以後、漁獲量はほぼ横ばい傾向を示しているが、年々の変動は大きい。魚種別では、一般に富栄養化に強いと考えられているカタクチイワシ *Engraulis japonica*、イカナゴ *Ammodytes personatus* の資源水準は上昇しているが、マガイ *Pagrus major*、クロダイ *Acanthopagrus schlegeli*、スズキ *Lateolabrax japonicus*、

クルマエビ *Peraeus japonicus*、ガザミ *Portunus trituberculatus* 等の底棲の高級種の資源水準は低下している。高級魚でもブリ *Seriola quinqueradiata*、サワラ *Scomberomorus niphonius*、マナガツオ *Pampus argenteus*、コウイカ *Sepia esculenta* のような入り込み浮魚等は、年変動があってもほぼ安定している（南西水研1975）。灘別の単位面積あたりの生産量は、Fig. 2に示すように年々変化しているが、相対的には東部が西部のそれより多い傾向がみられる。東部の高い生産量を支える魚種は、カタクチイワシ、イカナゴであり、西部ではアサリ *Tapes philippinarum*、モガ

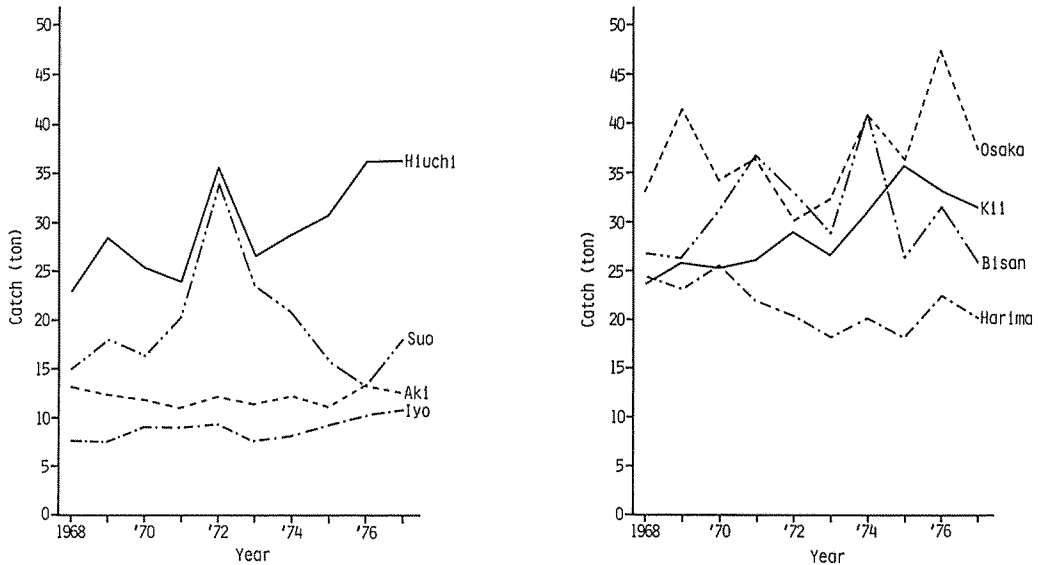


Fig. 2. Annual variation of catch per km<sup>2</sup> by sector (1968 to 1977).

イ *Scapharca subcrenata* 等である。

一方、瀬戸内海における魚卵、稚仔の出現、分布の実態については、これまで多くの報告がある（水戸1964, '65; 千田1964; 井上ら1967）。千田（1964）によると瀬戸内海では春から夏にかけて魚卵が極めて多く出現し、月別では、4～6月にネズボ類 *Callionymidae*、4～7月にカタクチイワシの卵が多い。稚魚の出現量は春から夏に多く、冬季に最も少ない。一方、内海固有種の中で最も重要なイカナゴは産卵期が冬であり、冬季の気象、海象がこの魚種の再生産に重大な影響をおよぼしている（浜田1966）。

以上のように瀬戸内海は西日本海域において、魚卵、稚仔魚が最も多く出現し、魚類の再生産の場としても重要な海域である。魚卵、稚仔の灌スケールでの輸送、拡散に大きな役割を果たす恒流について、柳ら（1979）は従来の観測資料に基づいて初めて基本的な整理を行ったが、流速の大きさまでは示しておらず、単に恒流、環流を模式的に描いた定性的な分析にとどまっている。また、これは年スケールでの分析であり、魚卵、稚仔の輸送を考える場合に極めて重要と考えられる恒流の季節的な特性については全く明らかにされていない。一方、中田（1977）は表層漂流ハガキの漂着状況から、夏、冬を通じて備讃瀬戸西部から西側の表層水が全体的に西方へ移動すること、またその移動速度、拡散係数はいずれも夏に大きいことなど、初めて

季節別の表層水の流動の実態を報告しているが、数回にわたるハガキ調査結果だけでは流動場の平均像を十分にとらえることは難しい。村上ら（1978）はまた、シミュレーション手法を用いて瀬戸内海における密度流の分布を報告しているが、現実の流動現象をこの分析結果がどれだけ再現し得ているかについては判らない。

本研究ではまず、漁業資源の再生産の場としての瀬戸内海の重要性をふまえ、卵、稚仔の輸送、拡散に大きな役割を果たす恒流に着目し、海上保安庁水路部その他の機関で実施された潮流観測資料をできるだけ多く収集し、夏、冬季別の恒流を定量的に明らかにしようとした。

一般に、内湾水の水温、塩分、物質の濃度の分布は淡水の供給、外海との交流、大気との水、熱の交換等の境界過程と、流動、拡散等の内部過程によって決定される（杉本ら1971）。瀬戸内海を漁業生産の場として把握するためには、生物の環境として、漁期に対応した海況の季節変化、その海域的特性を明らかにする必要がある。このような見地から、現地観測資料を全域的にまとめた研究としては、宇田ら（1933）の瀬戸内海の平年各月海況に関する報告が知られているが、当時は観測網や、塩分の測定方法が不備であり、そこでは漁場環境としての大まかな特徴を述べられているにすぎない。また、近藤（1976）は、浅海定線観測資料の3～6年分の平均値から底層水温、塩分の毎月の

分布図を描いて、それらの季節変化の特徴を述べているが、底層のみのまとめであり、このような検討がどの程度の意味をもつのか不明である。今里ら (1978) はまた、1972年5、8、10月、1973年1月の一斉観測資料 (環境庁1972~73) に基づく分析を行っているが、その時々々の海況を把握したにすぎず、季節変化の平均像を知るには問題がある。さらに、YANAGI (1982) は海況の季節変化、経年変化の周期特性の分析を行っているが、瀬戸内海を海峡部の10点の観測資料で代表させており、瀬ごとの海域特性等については全く把握していない。

一方、数値シミュレーションによる海況の研究としては村上ら (1978) があるが、計算条件として、今里ら (1978) と同じ資料を用いており、現況の海況要素の分布については、どれだけ海況の平均像を表現しえているのか問題がある。また、水平一次元鉛直2層位モデルによる水温、塩分分布のシミュレーションは、これらの分布に影響をもたらす素過程、例えば密度流の効果を評価するには有効であるが、海況要素の分布の再現性を論ずるのには、技術的にまだ問題が多いと思われる。

瀬戸内海における海況特性とその季節変化を基本的にとりまとめることは、漁況の変動等の問題を考える上で最も重要な課題と思われるが、以上に示したように、このような観点での海況資料の整理は十分になされていない。そこで本研究では、1963年から1970年 (燧灘、伊予灘、豊後水道は1972年から1978年まで追加) までの8年間の浅海定線観測資料 (水産庁海洋観測資料1966~81) より、海況の平均的な季節変動の大きさ、海域の特性の詳細を明らかにしようとした。

浅海定線における月1回の海洋観測は、海況を把握する役割と共に、漁況予測を行うための基礎資料としての役割をもつと考えられる。周知のように資源生物の数量変動や、それらの回遊は、海況の変動と密接に関連している。しかしながら、この両者の関係は必ずしも単純なものではなく、多くの場合には幾つかの海況要因が漁獲量等の変動に複合的に作用している。これまでの単相関法による漁況予測 (浜田1966) では、このような漁獲量と海象・気象要因の関連の一つ一つについての関係は理解されるが、これらの要因が複合的に作用する場合に、総合的、定量的な漁況予測を行うことはできない。近年、電算機による計算処理が容易になるに従い、このような漁況予測に多変量解析の手法が用いられるようになった。例えば、土井 (1971) は兵庫県のイカナゴの発生量の数値予測に6つの独立変数を取り、この独立変数から主成分分析によって、抽象化された

第1、第2、第3主成分をとり出し、この主成分による重回帰分析によってイカナゴの発生量の予測を試みている。この方法では、独立変数が抽象化されるため、漁況とその変動要因との因果関係を理解することが難しい。また、主成分分析は、互に相関をもつ多くの変量を、より少ないいくつかの主成分に集約して説明する方法である。しかし、この方法を用いた予測では従属変数と単相関が高い幾つかの独立変数をそのまま用いた分析より、高い精度の予測ができると考えられない。一方、岸 (1981) はGMDH (Group Method of Data Handling) によって、定置網による漁獲の定量的予測を試みた。この方法は少ない入出力データで複雑な非線形系の同定、予測が可能であるが、どのような環境要因を入力データとすべきか、どのような魚種に有効か、予測期間をどのくらい長期にできるか、などについて検討すべき問題がある。小川 (1980) は、山口県日本海沿岸におけるカタクチイワシ大中型群およびカタクチシラスの漁況変動に作用する物理的環境の評価のためのフローチャートを示した。このフローチャートは対象魚種間の捕食・被捕食の関係、それに伴う沖合漁場における中・大型魚群の滞留または南下の条件を考えた作業仮説を提示したものであり、経験的に組み立てられた予測モデルとしては優れているが、定性的な議論の域を出ていない。

瀬戸内海における漁況海況予報事業の浅海定線調査は1972年より開始され、主として、カタクチイワシ、イカナゴについて、卵・稚仔調査、魚体調査などから資源動向の評価が行われており、それらと海況要因との関係に基づいてその年の漁況の予測がなされている。しかしながら、予測はいずれも定性的であり、単相関法の域を脱していない。漁況予測の目的は、効率的な操業と資源の合理的な利用にある。このためには、従来のような長期的な漁況予測だけでなく、月単位、瀬ごとの漁況予測を行うことも重要と考えられる。そこで、本研究は、まず、月単位、瀬ごとの魚種別の漁況変動について、重回帰分析による漁況予測を行い、漁況との関連を具体的に明らかにしようとした。すなわち、小川 (1980) がカタクチイワシの漁況予測のために示したフローチャートと同様の考え方で、それぞれの魚種ごとにその魚種の漁獲量 (従属変数) とのタイムラグを考えた海況、気象の諸要因を独立変数とし、さらに変数選択法によって、これらの独立変数のうちからできるだけ従属変数を説明し得る変数を選択した。ここで選択された独立変数は漁獲の変動に影響が強いのか、または制限因子となる可能性のあるものであり、これに基づいて各瀬、各魚種別に漁況と海況の関連を見出すことができる。

以上に述べたように瀬戸内海においては漁況、海況ともにこれまで月単位の調査資料しか得られておらず、最近、観測手法の進歩と相まって重要性が指摘されている数日程度の時間スケールでの、しかも個々の漁場に対応した局所的な空間スケールにおける漁況と海況との関係については全く分析することができない。このような小スケールの漁況と海況の変動に関する研究は重要な課題であり、また、新しい研究の方向であると考えられる。そこで本研究では、山口県油谷湾をモデル海域として、これまで殆んど知見が得られていないこのような小スケールでの資源生物の現存量の変動と海況の関係について、連続15日間の流況、海況観測、魚探調査を実施した。

油谷湾は Fig. 25 に示すように山口県北西部に位置し、湾口約3.5 km、奥行約8.5 km で、西に向って開き、日本海に通じている。この湾では沿岸域における重要魚類の補給機構を解明するため、1972年7月から1974年10月まで西海区水産研究所下関支所の手で魚群探知機による魚群調査、船びき網による漁獲試験、環境調査などが毎月実施されている。これらの結果によれば、湾内に出現する魚種は約270種と多いが(森:1981)、その約80%がカタクチイワシである(大川ら:1978)。

本研究ではこのカタクチイワシの短期的な漁況変動と海況との関係を具体的な課題としてとりあげた。

西日本海域における漁況の短期変動について、三井田ら(1972)は旋網7統分の筑前海におけるマアジ、サバ *Scomber japonicus* の日別漁獲量と、対馬暖流水と沿岸水との境界付近に位置する小呂島の水温日変化とを対比させ、漁獲量の急上昇のあった時、あるいは直前に水温ジャンプがあることを見出した。この水温ジャンプは、主として対馬暖流水が沿岸域へ多量に流入し、沖合水と沿岸水との交替によって生じたものと推定されている。また、OGAWA (1979)、OGAWA *et al* (1981) は日本海南西部沿岸水域で、浮魚類(主としてカタクチイワシ)の来遊、逸散過程に、漁場内の水塊の交替現象が深く関与していることを報告している。一方、海況の短期変動について、速水ら(1964)、国司ら(1965, '67, '68)、西ら(1971)、および永田(1982)は、水温の不連続的な変化は間欠的な外海水の流入に伴う現象として報告している。永田(1982)は外海水の貫入機構から、湾内に侵入する外海水のふるまいは一種の密度流として解釈しようと説明している。しかしながら、以上に述べたような漁況、海況の短期変動に関するこれまでの研究は、いずれも測流データが十分でなく、また、必ずしも漁業生物の情報と海況、流れの情報とが関係

づけられるような形での測定がなされていない。

そこで本研究では、油谷湾において、これまで殆んどなされたことがない連続15日間の魚探調査を行い、魚群(主としてカタクチイワシ)の現存量の動態を把握すると共に、湾口部において魚探調査と同時期に測流、水温、塩分の連続測定を実施し、魚群の加入、逸散がどのような時間スケールで生起し、海況変動とどのように対応しているかを見出そうとした。

## II. 既存資料に基づく瀬戸内海の家況特性の分析 主に季節変動特性を中心にして

### II・1 恒流の季節変動

#### 1. 資料と方法

瀬戸内海において、海面漁業を支える重要資源の多くは、春、夏季に隣接外海から入り込む魚種で構成されている。一方、東部海域で多獲されるイカナゴは内海固有種であり、冬季産卵する。したがって、瀬戸内海における卵・稚仔の輸送に大きな役割を果たす恒流については、産卵期に対応した季節的な流動パターンを把握することが必要であるが、これまでそのような知見は殆んど得られていない。そこで、海上保安庁水路部、環境庁1972年7月一斉調査、産業公害防止協会(1972)、肥後ら(1980)、その他の機関で1928年から1977年までの間に実施された潮流観測の資料(約6,400個)を収集し、恒流の解析を行った。

これらの資料を観測期間別に集計すると Table 3 に示すように1昼夜観測が全体の93.8%を占め、次に14~29日(主として15昼夜)が6.0%である。したがって、ここでいう恒流は潮流の25時間平均値として定義される。各年ごとの観測数は Fig. 3 に示すように1941年から1944年の間に集中して多く、次に1972年に多い。月別には Fig. 4 に示すように、5~9月に多く観測が行われている。観測層別では Table 4 に示すように5 m 以浅の観測が約52%である。これらのことから、季節としては夏季(5月から10月)、冬季(11月~4月)に区分した。また、層別では5

Table 3. Frequency distribution of duration of tidal current observations.

Duration (days)	Number
1	6,009
2 — 13	6
14 — 29	382
30 — 60	7
61 —	1
Total	6,405



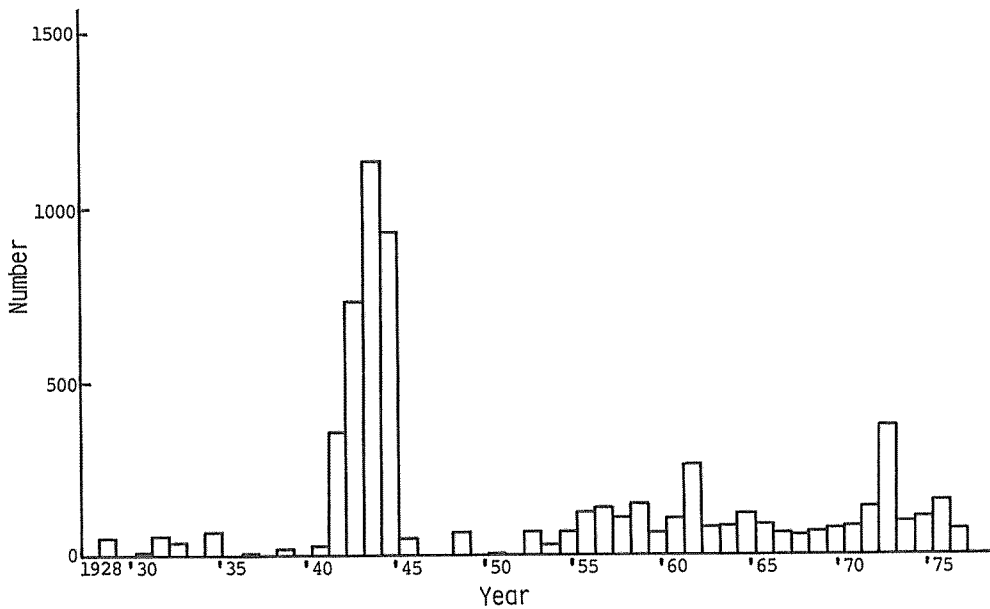


Fig. 3. Annual change of frequency of tidal current observations in Seto Inland Sea. (1928-'77)

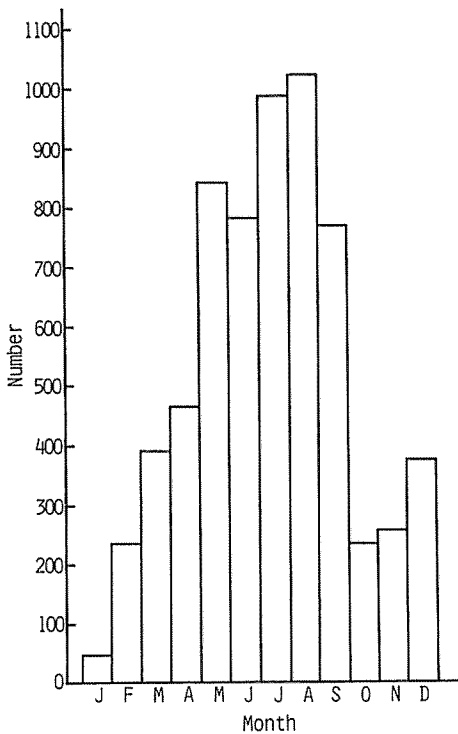


Fig. 4. Seasonal change of frequency of tidal current observations in Seto Inland Sea.

Table 4. Frequency distribution of depth of tidal current observations.

Depth (m)	Number	%
5	3,310	51.7
5 — 10	1,082	16.9
10 — 20	924	14.4
20 — 30	423	6.6
30 — 40	259	4.0
40 — 50	172	2.7
50 —	235	3.7
Total	6,405	100.0

m以浅の観測資料を表層として集計し、底層としては資料は少なくなるが、10.1 m以深の観測資料を集計した。これらの季節別、層別について、緯度、経度それぞれ0.05°ごとのメッシュで恒流のベクトル平均値を求め、夏、冬季それぞれの恒流分布図を作成し、季節的な流況の差異について検討した。

## 2. 結果と考察

夏、冬季のそれぞれについて、5 m以浅の観測層で得られたすべての恒流データを、0.05°ごとのメッシュでベクトル平均して得られた夏、冬季の恒流分布図を Fig. 5 に、その模式図を Fig. 6 に示した。各灘ごとに恒流分布の状況を整理すると次のとおりである。

豊後水道：宇和海北部に反時計まわりの環流があり、中

央部から南部にかけて15 cm/s の南流がある。冬季は中央部の南下流が弱くなっている。

伊予灘：資料が少ないのではっきりしないが、北東部に反時計まわりの小さな環流，北部に周防灘へ向う西流，国東半島から別府湾湾口にかけて，20～30 cm/s の南下流が

顕著である。冬季はこの南下流が弱くなっている。

周防灘：北部を西流し，反時計まわりに国東半島沖を東流し，別府湾へ向う流れがある。

広島湾：東部を北上，西部を南下する流れがある。流速10 cm/s 程度である。冬季，湾奥部での南西流が強くなっ

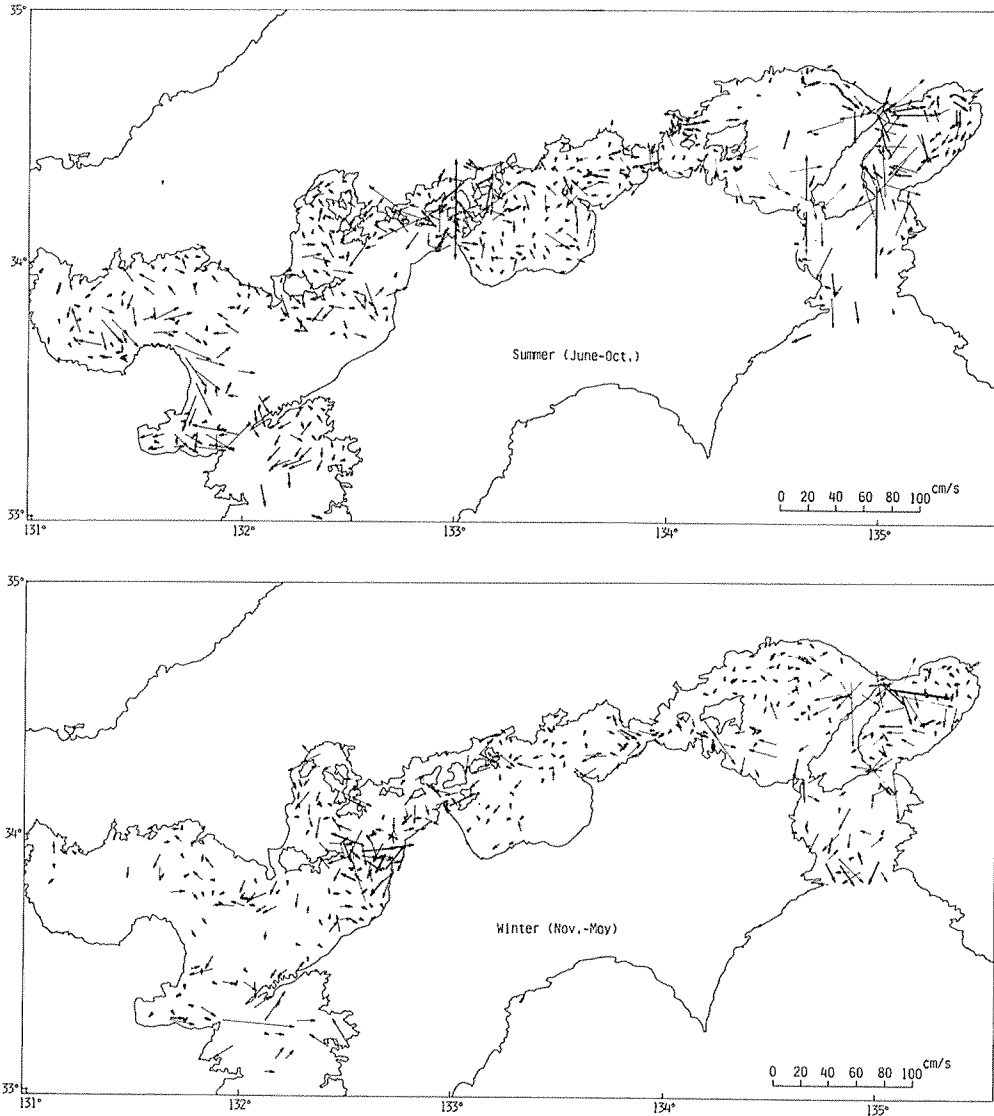


Fig. 5. Average vector of surface (0-5 m) constant flow by season in every 3'×3' mesh.

(Based on the data observed by Maritime Safety Agency and other governmental organizations from 1928 to '77)

ている。

安芸灘：北部に15~20 cm/sの西流がある。

燧灘・備後灘：燧灘の西部に時計まわり、東部に反時計まわりの弱い環流がある。備後灘では西流がある。冬季は燧灘西部に存在する時計まわりの環流が不明瞭となっている。

備讃瀬戸：東向流と西向流が混在しているが、東部は東向流の傾向が強い。冬季はこの東向流が顕著になる。

播磨灘：北部は時計まわりの環流があるが、その一部は東向流で明石海峡から大阪湾へ向う。西部では、小豆島東岸を南下し、四国沿岸を南東に向い、その一部は鳴門海峡から紀伊水道へ向う。

大阪湾：中央部の時計まわり、湾奥部から泉南沖へ向う南下流が顕著である。

紀伊水道：紀伊半島沿いに北流、四国沿いに約20 cm/sの南流がある。冬季でも南流の傾向がある。

これまで主に、各灘に形成される環流について述べたが、恒流ベクトルの分布を詳細にみると、その流線は必ずしも、各灘ごとに閉じているのではなく、西方または東方に向う一定方向の流れの存在が認められる。このような一定方向

の恒流は、卵・稚仔の灘間の輸送には、環流よりも大きく寄与していることが考えられる。そこで、Fig. 5に示す恒流分布図から、環流が顕著でない海域をFig. 7に示すように8海区に区分し、それぞれの海区に含まれる5 m以浅の観測層で得られた恒流データから、夏、冬季ごとのベクトル平均値を求め、表層水の一定方向の恒流分布図としてFig. 7に示した。底層水の流動については資料が少ないが、10.1 m以深を一応底層水とみなし、それぞれの海区に含まれる恒流データからベクトル平均値を求め、Fig. 7に合せて示した。これらによると、夏季の表層水については備讃瀬戸西部から備後灘、安芸灘、伊予灘にわたり、平均1~3 cm/sの弱い西向流が認められ、備讃瀬戸東部から播磨灘にかけて2~3 cm/sの東向流が認められる。一方、10.1 m以深の中、底層水には備後灘、備讃瀬戸西部海域で東向流、備讃瀬戸東部、播磨灘西部で西向流が認められる。これらは瀬戸内海全体規模で密度流による重力循環流が形成され、備讃瀬戸付近でこの循環流が相接していることを示唆している。冬季には備讃瀬戸から播磨灘にかけて、表層で東向流が強くなり、播磨灘東部では流速約5 cm/sと夏季の2倍の大きさを示す。備後灘、安芸灘、伊

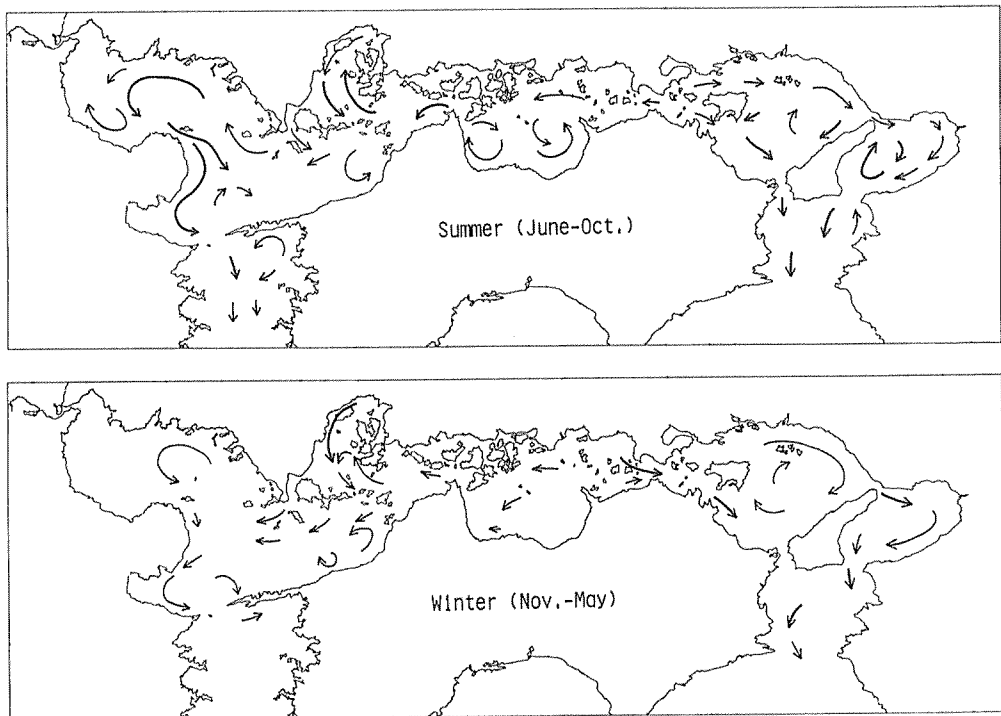


Fig. 6. Schematic representation of constant flow by season in Seto Inland Sea.

予灘にかけては、いずれも夏季と同様西向流の傾向を示すが、流速は1 cm/s以下と弱い。

従来、瀬戸内海の恒流については、水温・塩分その他の海洋要素の分布から間接的に東向流の存在が推定されていた(宇田ら1933)。日高(1937)は冬季の瀬戸内海における一昼夜の測流資料を解析し、瀬戸内海に存在する東向流の流速は極めて弱く、一般に流速計に感じ得ない程度であると報告している。速水ら(1970)は瀬戸内海を一次元の水路と考え、各断面の平均塩分分布から解析的に淡水供給量とほぼ同程度の海水流入量  $7 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{year}$  を推定し、明石海峡を西から東へ向って通過する流量として  $9.15 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{year}$ 、年平均流速として1.5 cm/s程度極めて弱い東向流を推定している。一方、産業公害防止協会(1973)によって実施された秋季(9月)の測流結果によれば、備讃瀬戸西部から安芸灘にかけて表層水は全体として西向流を示すことが推定されているが、測点が全域で50点余りの数昼夜潮流観測資料からの推定であることから、その結論には問題が多いと考えられる。また、千田(1966)はサヨリ *Hemiramphus sajori* の産卵期(4~6

月)に流れ藻に対する標識放流を行ない、内海の各灘にみられる流れ藻は多くの場合、その付近の海岸に打ち上げられること、それでも長期間の後には海峡や瀬戸を通じて各灘間での流れ藻の交流がみられ、とりわけ、4月の調査では、備後灘、燧灘では西寄りの漂着、備讃瀬戸以東では東寄りの漂着が多いことを報告している。中田(1977)はさらに漂流ハガキの漂着状況から、夏季、瀬戸内海中央部において、備讃瀬戸西部から西側では、漂流ハガキは全体的に西方へ移動する傾向を見出した。また、冬季、来島海峡と備讃瀬戸中央部の表層水はそれぞれ燧灘、備讃瀬戸に滞留する傾向が強いなど、夏季とは著しく異なる様相を示すことを定性的であるが初めて明らかにした。一方、このような現地測定に対して村上ら(1978)は数値シミュレーションの結果から、内海西部(豊後水道~伊予灘西部)と内海東部(紀伊水道)では、密度が外海よりも高いか低いかに対応する形で、夏季には上層で内海水が外海へ流出し、冬季には逆に上層で外海水が内海へ流入し、その流速は10 cm/s以上であることを示した。柳ら(1979)は本研究と同様に海上保安庁その他の機関の潮流観測資料(約2500

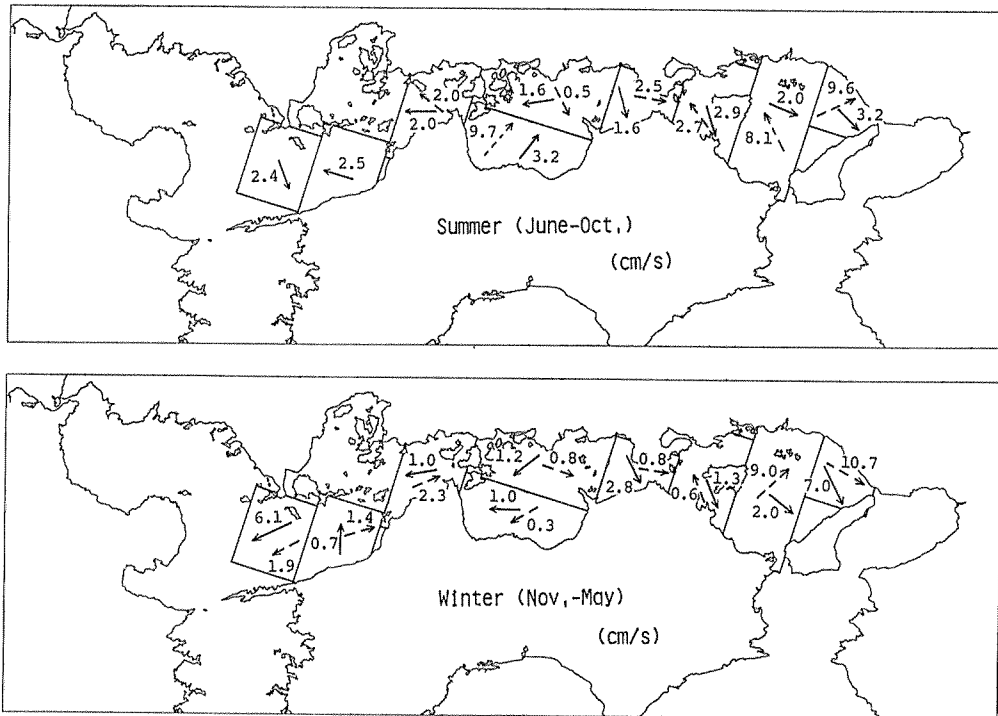


Fig. 7. Sector mean of constant flow.  
 —→ surface layer (surface to 5 m depth)  
 - - - - -> bottom layer (deeper than 10 m)

個)を収集し、全域を東西南北とも3'30"ごとのメッシュに分割し、各メッシュ内で恒流ベクトルを平均し、定性的、模式的に内海全域の年間を通しての恒流を表わしたが、季節的な流況の差については全く言及していない。

本研究で得られた表層水の夏季の恒流の模式図は柳ら(1979)の図とほぼ同じパターンを示している。これは、柳ら(1979)が用いた観測資料の多くは5月から8月のもので、この時期の流動パターンが強く現れているためであろう。冬季の恒流の模式図では、周防灘の東部の反時計まわりの環流と、国東半島から別府湾にかけての南下流は夏季に比べて流速が小さくなっており、また、備讃瀬戸では冬季の東向流が顕著になっているなど、年間を通じての分析では明らかでなかった幾つかの季節的特徴が見出された。各灘に形成される環流は、夏季、冬季とも、その方向はほぼ同様であるが、灘によっては、冬季にその流速が明らかに減少している。しかしながら、灘間の卵・稚仔の輸送には、このような環流に比べて西または東への一方向へ向う恒流が大きな役割を果たすことが考えられる。本研究の結果、表層水では夏季、備讃瀬戸西部より西側の海域では1~3 cm/sの西向流、備讃瀬戸東部より東側の海域では2~3 cm/sの東向流が認められた。また、冬季、備讃瀬戸東部から播磨灘にかけた東向流は夏季のおよそ2倍(流速約5 cm/s)となるなど夏季と冬季とでは流況が異なることを見出した。これらの本研究で得られた恒流の季節変化に関する知見は、瀬戸内海における物質の広がり、卵・稚仔の輸送機構を考える上で、ある程度実証的な根拠になりうるものと考えられる。外海に近い豊後・紀伊の両水道における潮流観測は内海内部海域に比べると少ないが、夏季には両水道の表層水は明らかに外海へ流出している。また、冬季には豊後水道の表層水の外海向きの流れはやや弱まっているが、やはり流出の傾向がみられ、紀伊水道の表層水は夏季とはほぼ同様の流出傾向を示す。紀伊水道の底層水はこのとき表層水とは逆に内海へ流入する傾向を示している(Fig. 5)。

瀬戸内海を一次元水路とみなし、表面の密度分布の季節変化をFig. 8に示した。これによれば、夏季には、燧灘から大阪湾にかけて密度は小さく、最小密度域は備讃瀬戸から播磨灘西部域と大阪湾奥部に認められる。また、密度の大きい水は伊予灘、豊後水道、紀伊水道に分布している。この密度分布に対応した流れをみると、内海の表層水は備讃瀬戸を境に西部では西向流、東部では東向流となり、密度の水平傾度の大きい伊予灘北東部、周防灘東部、大阪湾では、水平循環流が発達することが考えられる。一方、冬

季の密度分布では、その水平傾度は夏季のそれより小さく、内部では密度流は発達しないと考えられる。なお、西部の伊予灘では密度の大きい水が分布し、表層水は豊後水道から内海へ向う傾向を示す。これらの密度流の状況をここで得られた恒流パターンと比較すると、夏季の流況は密度流の流況とほぼ一致していることがわかる。したがって、夏季の恒流は主として密度流と潮汐残差流によるものと推察される。一方、冬季には備讃瀬戸を境に西部では西向流、東部で東向流の傾向がみられ、これらは密度分布とはほぼ対応しているが、備讃瀬戸、播磨灘での東向流が夏季より強くなっていることは、密度分布からは十分説明ができない。内海中央部においては東西風が吹きやすく、とくに、寒冷前線の通過や西高東低の気圧配置によって冬季西風が卓越することが知られている(中島1972, 神戸海洋気象台1967)。冬季には播磨灘で東向流が強くなることの大きな要因の一つとして北西季節風による吹送流が寄与していることが推察されるが、現在のところ、必ずしもそれを実証する知見は得られていない。豊後水道、紀伊水道における流況は内海の海況に大きな影響を与えているが、この両水道における観測資料は概して少なく、本研究では流況の詳細を明らかにすることはできなかった。今後、組織的な潮流観測、水温、塩分の観測を通じてこれらの実体をさらに明らかにする必要がある。

## II・2 水温・塩分・密度の季節変動

### 1. 資料と方法

瀬戸内海の平年各月海況については、これまでに宇田ら(1933)の報告があり、1918年から1930年の海洋観測資料に基づいて、海況の季節的な特徴が整理されている。しかしながら、当時の観測線は各灘を横断するようになっており、観測網もかなり粗く、塩分の分析法の精度にも問題があった。瀬戸内海の海洋観測はその後も続けられたが、いずれも観測線によって観測月がまちまちであり、塩分については比重計の測定データからの換算値が大部分であった。1963年から水産庁南西海区水産研究所の指導のもとに、瀬戸内海沿岸の各府県水産試験場によって毎月1回、瀬戸内海定線の海洋観測が実施されるようになった。本研究では、海況の季節変化の詳細を明らかにするため、この浅海定線の毎月の海洋観測資料(水産庁：海洋観測資料1966~1981)について、1963年から1970年までの8年間の資料を各定点ごとに集計して解析に用いた。ただし、燧灘、伊予灘、豊後水道については、この期間、欠測が多かったため、さらに1972年から'78年までを追加した。一般に数年間の

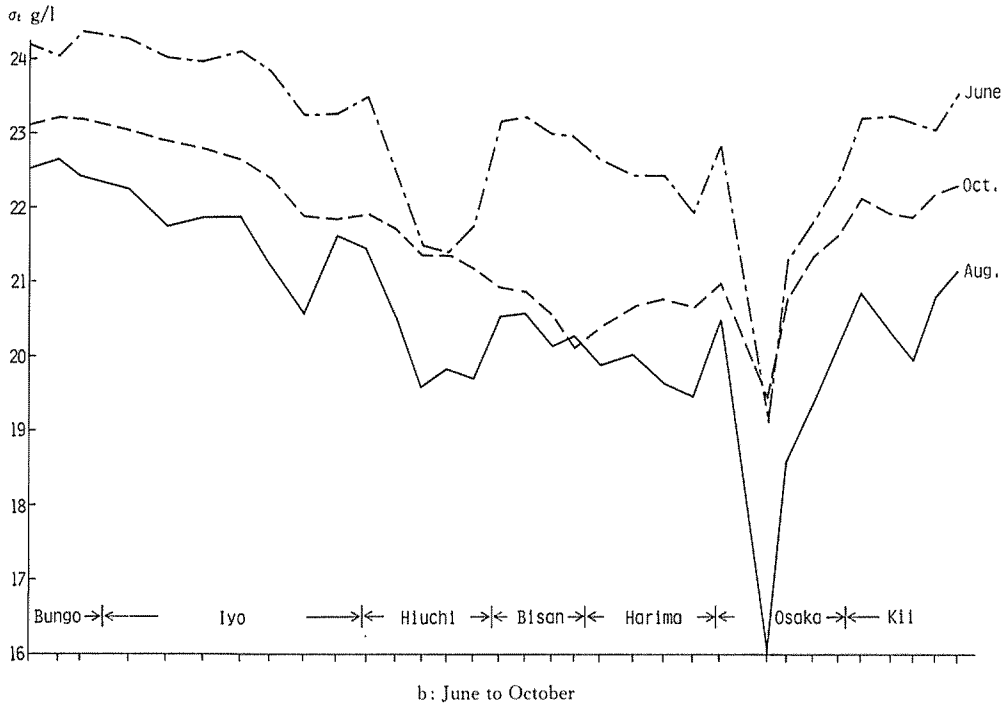
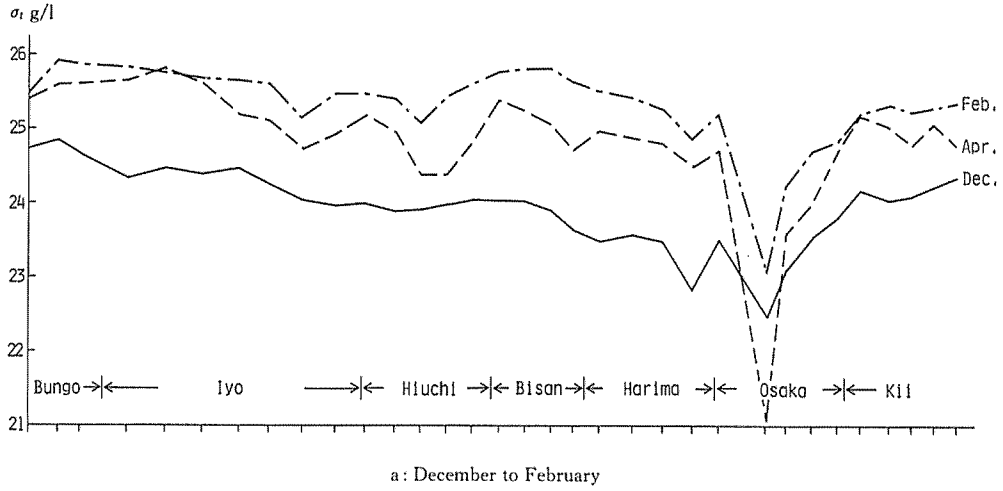


Fig. 8. Seasonal change of density ( $\sigma_t$ ) at surface along the line shown in Fig. 14, in Seto Inland Sea.

平均値を用いると、その平均した期間によって平均値が異なるが、App. Fig. 9 と 11 に示すように、季節変動の解析では、1972年から78年を追加して得られた平均値は、1963年から1970年の平均値とほぼ同じものとして用いてよい。

Table 5 に月ごとの観測日の分布を示した。この表から、観測は毎月上旬に集中し、その月の20日までに全体の93%が行われていることになる。ここでは、観測値の平均値を求める場合、各月の21日以降は翌月の観測と見なし、前月の21日から当月の20日までについて平均した。したがって、ここで求めた平均値は毎月5日頃に相当する。ここでは、この浅海定線調査資料に基づいて、瀬戸内海全域

の水温、塩分、密度の季節変化を、これらのほぼ鉛直平均値に近い10m層について解析し、その変動の大きさ、海域的な特性について検討を加えた。

水温についてはその季節変動特性を量的に表わすために、 $t$ 月の水温を式(1)のようにフーリエ展開し、

$$\theta_t = A_0 + A_1 \cos(\omega t - \alpha_1) + A_2 \cos(2\omega t - \alpha_2) \dots \dots \dots (1)$$

調和定数  $A_0, A_1, \alpha_1, A_2, \alpha_2$  を求めた。これらの調和定数の水平分布から、海域的な季節変動特性を解析した。

また、瀬戸内海の水温を決める重要な因子として、海面を通しての熱収支の計算を行った。海面を通じての熱の交

Table 5. Monthly frequency distribution of the number of days carried out the oceanographic observations in Seto Inland Sea (1963-1970).

Date	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.-Dec.	Rate	Cumulate rate
1	0	59	68	83	81	88	68	31	123	96	105	41	843	0.0501	0.0501
2	0	53	103	74	64	137	100	94	127	159	59	129	1,099	0.0653	0.1154
3	0	102	122	59	18	101	131	175	157	171	6	110	1,152	0.0685	0.1839
4	0	109	108	30	31	95	180	189	141	148	202	121	1,354	0.0805	0.2644
5	34	76	84	76	10	112	119	216	138	167	156	147	1,335	0.0794	0.3438
6	117	124	116	108	98	87	115	137	122	135	145	86	1,390	0.0826	0.4264
7	77	117	97	90	126	103	115	84	94	110	145	137	1,295	0.0770	0.5034
8	107	124	56	121	129	100	88	102	80	44	115	87	1,153	0.0685	0.5719
9	132	39	43	95	117	75	71	102	41	41	63	93	912	0.0542	0.6261
10	174	40	101	58	117	50	65	35	50	9	60	87	846	0.0503	0.6764
11	108	19	70	16	71	59	23	66	57	37	75	40	641	0.0381	0.7145
12	70	51	21	69	124	42	48	61	30	36	41	14	607	0.0361	0.7506
13	30	31	46	86	109	36	73	34	30	27	35	21	558	0.0332	0.7838
14	19	28	38	49	71	33	79	22	32	51	39	52	513	0.0305	0.8143
15	6	34	13	39	34	33	80	0	15	49	22	84	409	0.0243	0.8386
16	19	43	5	40	24	16	46	8	33	24	30	37	325	0.0193	0.8575
17	41	35	7	48	28	26	38	29	19	23	43	29	366	0.0218	0.8797
18	36	28	5	37	27	28	35	19	44	34	40	25	358	0.0213	0.9010
19	58	8	1	13	20	12	11	12	52	27	37	0	251	0.0149	0.9159
20	48	0	7	30	8	11	16	27	30	31	11	19	238	0.0145	0.9304
21	45	0	12	22	8	12	5	13	23	36	12	9	197	0.0117	0.9421
22	32	10	7	21	15	15	4	22	14	28	8	10	186	0.0111	0.9532
23	19	11	7	23	15	15	11	9	0	7	10	0	127	0.0075	0.9607
24	0	13	1	19	8	31	4	22	8	16	0	9	131	0.0078	0.9685
25	0	0	9	8	2	15	10	22	18	11	9	0	104	0.0062	0.9747
26	6	10	40	14	11	0	3	11	1	0	9	0	105	0.0062	0.9809
27	25	14	11	13	0	4	0	3	0	18	25	0	113	0.0067	0.9876
28	30	0	0	3	0	0	10	0	0	3	19	0	65	0.0039	0.9915
29	6	0	0	0	11	0	18	10	0	14	25	0	84	0.0050	0.9965
30	0	0	0	0	7	4	14	7	14	6	2	0	54	0.0032	0.9997
31	0	0	0	0	6	0	0	0	0	3	0	0	9	0.0005	1.0000
Total													16,820		

換量は  $H_L$  は

$$H_L = H_S - H_b - H_e - H_c \dots\dots\dots(2)$$

で求められる。ここで、 $H_S$  は日射量、 $H_b$  は海面からの逆放射、 $H_e$  は蒸発によって失なう潜熱、 $H_c$  は海洋と大気との間の伝導に伴う顕熱を表わしており、これらの間には次のような関係式が成り立つ。

$$H_S = H_{so}(1 - r) \dots\dots\dots(3)$$

$$H_b = s\sigma\theta_a^4(0.39 - 0.058\sqrt{e_a})(1 - k_b \cdot n^2) \dots\dots\dots(4)$$

$$+ 4s\sigma\theta_a^3(T_w - T_a)$$

$$E = k \times (e_w - e_a) \times U \dots\dots\dots(5)$$

$$H_c = L \cdot E \dots\dots\dots(6)$$

$$L = 596.0 - 0.52T_w \dots\dots\dots(7)$$

$$H_c = B_r \cdot H_e \dots\dots\dots(8)$$

$$B_r = 0.66(T_w - T_a)/(e_w - e_a) \dots\dots\dots(9)$$

$$T_w - T_a = 0.71(T_w - T_a') \dots\dots\dots(10)$$

ここで、 $H_{so}$  は全天日射量で、実際の計算には Table 6 に示した気象官署による実測値の月平均値を用いた。また、 $r$  は各月の平均海面反射率を表わし、ここでは Table 7 に示す各月の値を全海域について用いた。 $s$  は表面放射と黒体放射の比を表わす係数で 0.9 とした。 $\sigma$  は Stefan-Boltzman 定数  $3.51648 \times 10^{-6} \text{ly}/(\text{month} \cdot \text{deg}^4)$ 、 $\theta_a$  は表面気温 ( $^{\circ}\text{K}$ )、 $e_a$  は大気中の水蒸気張力 (mb)、 $n$  は雲量で

Table 6. Meteorological observatories chosen for calculation on sector heat budget.

Sea regions \ Factors	Global solar radiation $H_{so}$	Air temp. $T_a$	Vapor press. $e_a$	Cloud mass $n$	Wind velocity* $U$
Suo-Nada	Shimonoseki	Shimonoseki	Shimonoseki	Shimonoseki	Shimonoseki $\times 1.0$
Bungo Channel	Oita	Uwashima	Uwashima	Uwashima	Uwashima $\times 2.0$
Iyo-Nada	Matsuyama	Matsuyama	Matsuyama	Matsuyama	Matsuyama $\times 2.37$
Hiroshima Bay	Hiroshima	Hiroshima	Hiroshima	Hiroshima	Hiroshima $\times 1.3$
Aki-Nada	Matsuyama	Kure Matsuyama	Kure Matsuyama	Kure Matsuyama	Matsuyama $\times 1.6$
Bingo-Nada	Takamatsu Matsuyama	Matsunaga (Fukuyama)	Matsunaga (Fukuyama)	Matsunaga (Fukuyama)	Matsunaga $\times 2.4$
Hiuchi-Nada	〃	〃	〃	〃	Tadotsu $\times 1.42$
Bisan-Seto	Takamatsu Okayama	Takamatsu Okayama Tadotsu	Takamatsu Okayama Tadotsu	Takamatsu Okayama Tadotsu	Tadotsu $\times 1.0$
Harima-Nada	Kobe Takamatsu	Himeji	Himeji	Himeji	Takamatsu $\times 1.27$
Osaka Bay	Kobe	Osaka Kobe Sumoto	Osaka Kobe Sumoto	Osaka Kobe Sumoto	Osaka $\times 1.48$
Kii Channel	Wakayama Tokushima	Wakayama Tokushima	Wakayama Tokushima	Wakayama Tokushima	Tokushima $\times 1.85$

\* Factor for sea wind estimation was based on ISHIZAKI *et al.*, (1978) and Kobe Met. Obs. (1967).



全天雲でおおわれる場合を1とする。 $k_b$ は緯度に依存する係数0.65,  $T_w$ は水温(°C),  $T_a$ は気温(°C),  $L$ は海水の潜熱(cal/g),  $E$ は蒸発量(cm/month),  $k$ は蒸発係数,  $U$ は海上風(m/s),  $e_w$ は海面飽和水蒸気圧(mb),  $T_a'$ は沿岸での気温(石崎ら1978)。熱の交換量を式(2)~(10)で求める際に、問題となるのは、蒸発係数 $k$ と海上風 $U$ (m/s)の決定である。 $k$ については石崎ら

(1978)が述べているように、これまで研究者によって幾つかの値が示され、時・空間スケールや大気の安定度および風速によって異なるといわれている。

ここでは、石崎ら(1978)が瀬戸内海全域について決定した $k=0.17$ (mm·s/(day·mb·m))の値を用いた。海上風の値はTable 6に示したように、陸上の観測値にそれぞれの係数を掛けて推定した。

Table 7. Albedo in Seto Inland Sea.

Month	Jan.	Fed.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
Albedo	0.100	0.085	0.075	0.065	0.060	0.060	0.060	0.060	0.065	0.075	0.095	0.105

(Data from UNOKI *et al.*, 1974).

## 2. 結 果

### 2・1 水温の季節変化

瀬戸内海全域における水温の水平分布の季節変動特性を見るため、1月から12月までの10m層の水温分布をFig. 9に示した。これらに示された各月の水温分布の特徴は次のとおりである。

1月……13°C以上の相対的な高温水が、西側では豊後水道から伊予、安芸灘西部まで分布し、東側では紀伊水道北部に分布している。9°C以下の低温水は周防灘西部、播磨灘北西部に分布する。顕著な水温前線が紀伊水道南部、伊予灘国東半島南岸付近にある。全域的にみると西高東低の水温傾向を示す。

2~3月…全域にわたって水温が1年中で最も低くなり、13°Cの等温線は豊後水道北部、紀伊水道南部まで南下している。3月の水温分布は2月とほぼ類似している。1月にみられた伊予灘の水温前線が消滅している。

4月……全域で水温が上昇している。播磨灘が低温域となっている。

5月…これまで低温域であった播磨灘、周防灘の水温上昇が大きく、東西の水温がほぼ等しくなり、水平傾度が最も小さくなる。これまで紀伊水道南部にあった水温前線が消滅している。

6~8月…19°Cの高温水は紀伊水道北部、豊後水道中部にある。伊予灘は相対的に低温域となり、全域的には、これまでの傾向と逆転し、西低東高となる。7月は6月とほぼ同じ分布パターンを示す。8月は西低東高の傾向が大きくなる。

9月……全域的に水温が最も高くなる。26°C以上の高温水が周防灘西部、燧灘から播磨灘にかけて分布する。

10月……水温が低下し、東西方向の水温水平傾度が小さくなる。

11月……全域の水温が約20°Cとなり、東西の水温水平傾度が殆んどなくなる。

12月……水温の低下が続き、西高東低の傾向を示す。周防灘西部が13.0°C以下で、最も低い。

以上に述べた10m層水温についての概略的な特徴は、表面水温についてもほぼ同様であった。

次に、水温の季節変動特性を量的に表わすために、 $t$ 月の水温 $\theta_t$ を

$$\theta_t = A_0 + A_1 \cos(\omega t - \alpha_1) + A_2 \cos(2\omega t - \alpha_2) + \dots \quad (11)$$

と表わし、各定点の月平均水温値より、調和定数 $A_0, A_1, A_2, \alpha_1, \alpha_2, \dots$ を求めた。その結果、水温の大よその季節変化は $A_0, A_1, \alpha_1$ で表わすことができることがわかった。これらの定数の分布をFig. 10に示す。以下、表面、底層のそれぞれについて海域的な季節変動特性を述べる。

#### 表面

1) 水温の年平均値( $A_0$ )の水平分布(Fig. 10)では、19°C以上の高温域は外海水の影響が強い豊後水道と紀伊水道にあり、17°C以下の低温域は備讃瀬戸にある。豊後、紀伊水道を除く内海においては、水平的に水温差が小さく、僅かに1.5°C以下の範囲である(Fig. 10-1)。

2) 年周期の振幅( $A_1$ )の分布では、豊後水道、伊予灘、紀伊水道南部で7°C以下と小さく、周防灘西部、燧灘東部、大阪湾で大きい値を示す(Fig. 10-2)。

3) 年周期の位相( $\alpha_1$ )は水温の最低、最高の大よその起時を示す。 $\alpha_1$ の範囲は210°~240°であり、 $A_1$ の大きい海域は $\alpha_1$ が小さい(Fig. 10-3)。

#### 底層

1) 水温の年平均値( $A_0$ )の分布では表面の $A_0$ の分布と同じ傾向を示し、豊後水道と紀伊水道が高温で、周防灘東部と播磨灘西部が低温である(Fig. 11-1)。

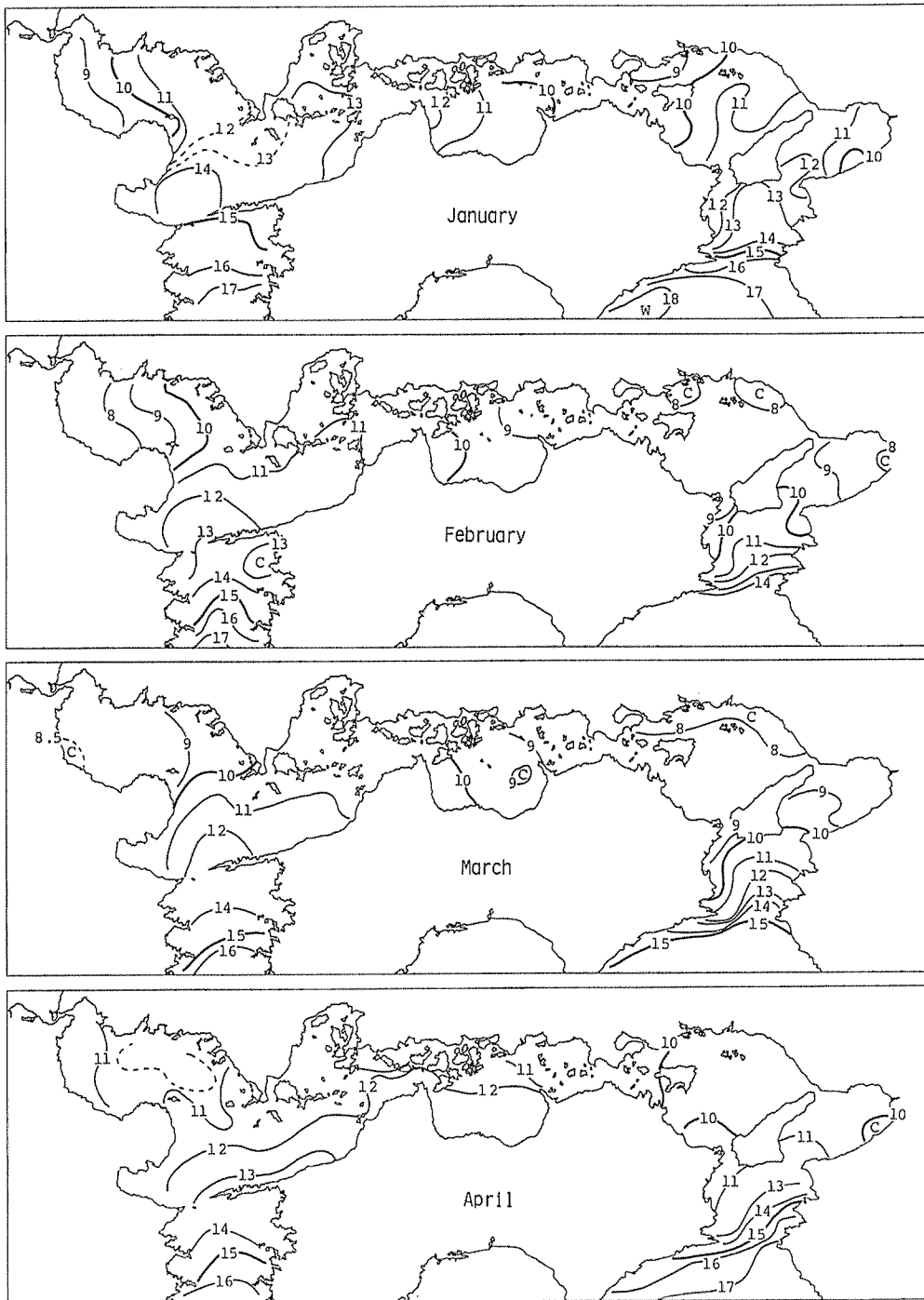


Fig. 9. Monthly mean temperature at 10 m depth in Seto Inland Sea (°C).

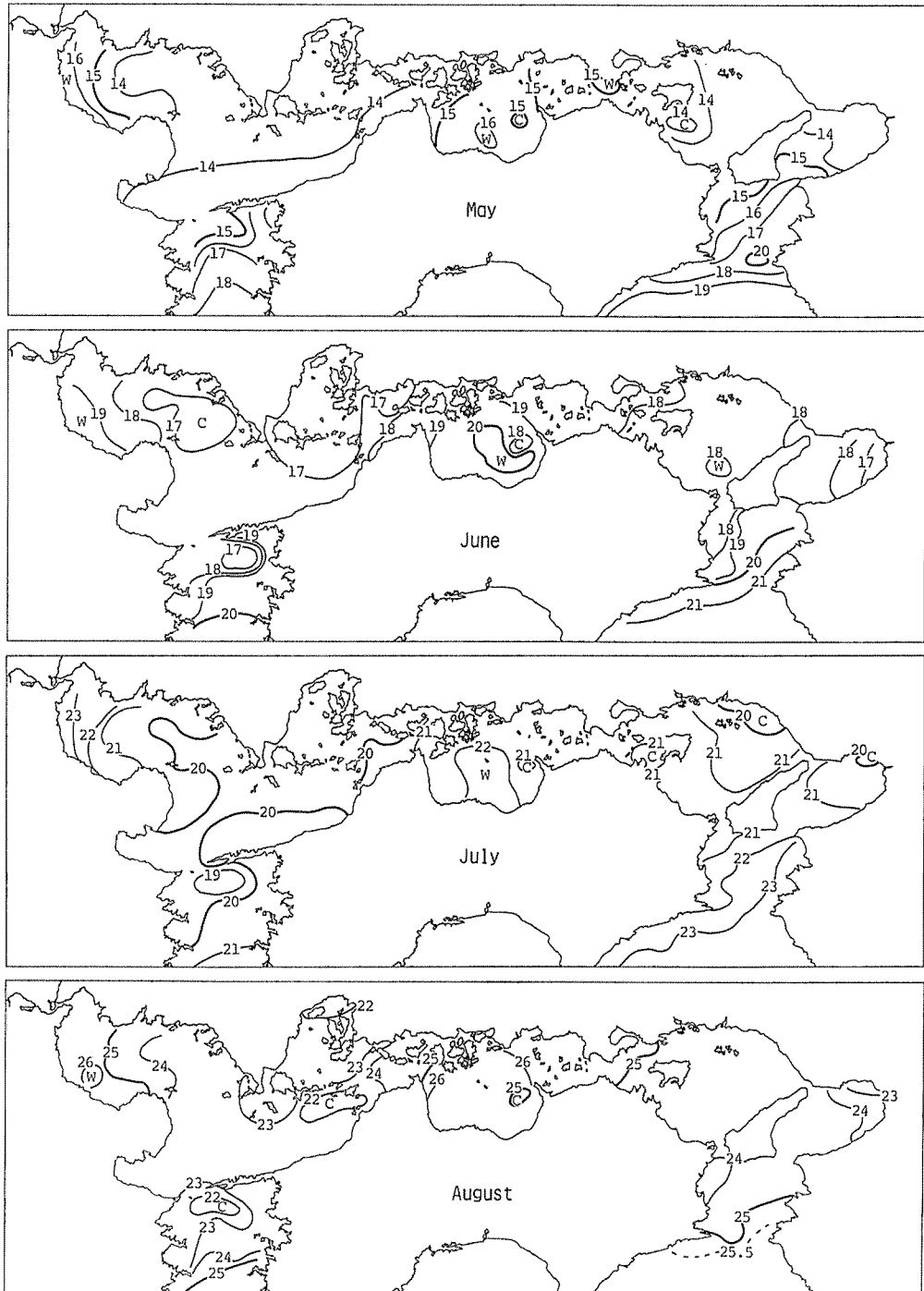


Fig. 9. Monthly mean temperature at 10 m depth in Seto Inland Sea (°C).

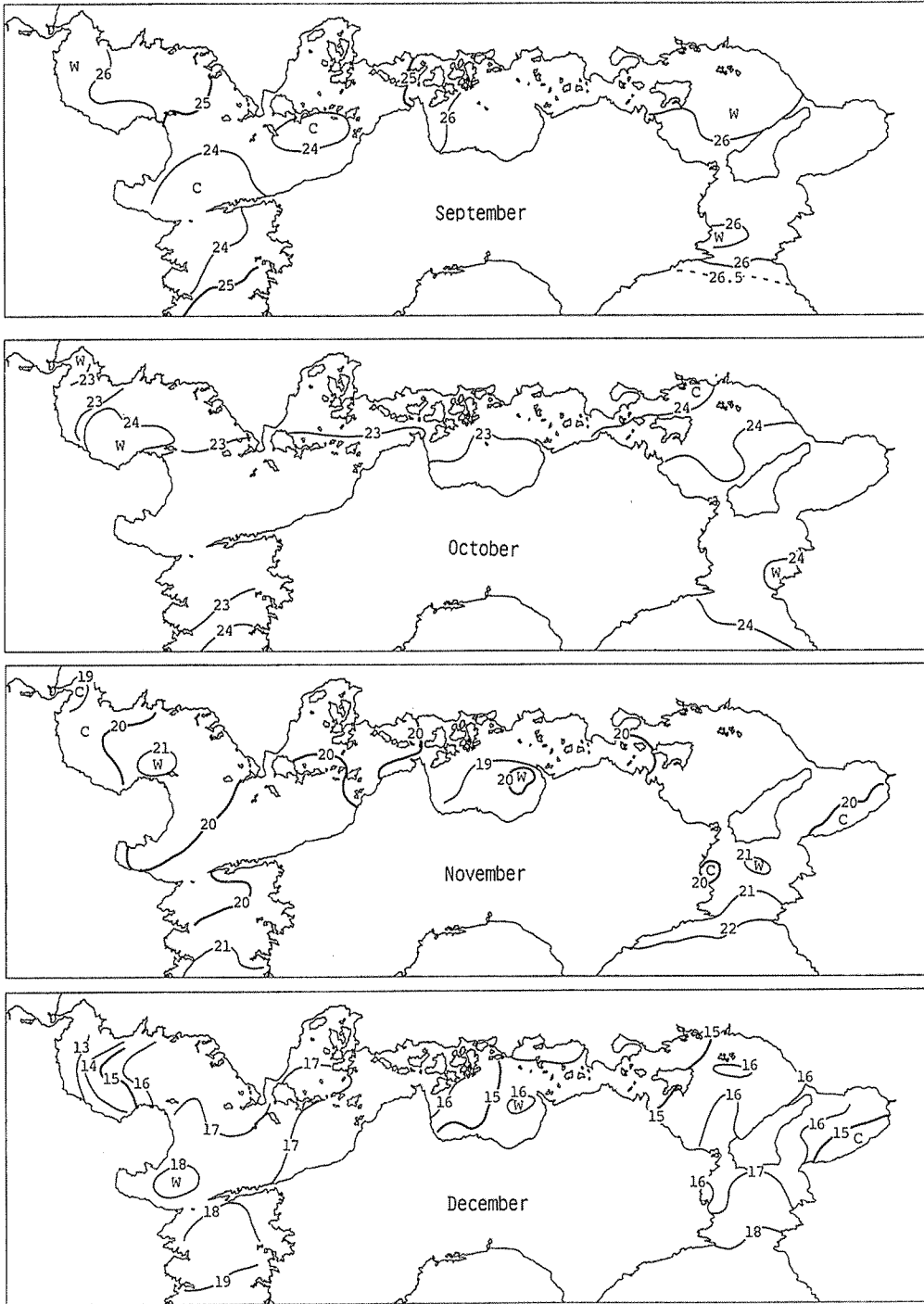


Fig. 9. Monthly mean temperature at 10 m depth in Seto Inland Sea (°C).

2) 年周期の振幅 ( $A_1$ ) の分布では、表面と同じ分布傾向を示し、豊後水道、紀伊水道は相対的に小さな値を示し、 $A_1$  の大きい海域は周防灘西部、大阪湾南東部、備讃瀬戸である (Fig. 11-2)。

3) 年周期の位相 ( $\alpha_1$ ) の分布では、豊後水道、紀伊水道は $240\sim 250^\circ$ で大きく、周防灘西部、燧灘、備讃瀬戸、大阪湾南東部は小さい値を示す (Fig. 11-3)。

また、表面と底層の調和定数を比較して、鉛直的な水温

分布の季節変動の差異をみると、

1) 表面、底層の年平均水温差 ( $A_{0s}-A_{0b}$ ) の分布 (Fig. 12-1) によれば、表面と底層の年平均値の差は全域で小さく、 $2.0^\circ\text{C}$  以内である。 $A_0$  の差が $1^\circ\text{C}$  以上 (7月には表面と底層の水温差が $4^\circ\text{C}$  以上になる) の海域は周防灘、広島湾、燧灘南部、播磨灘西部海域にあり、 $0.5^\circ\text{C}$  以下の海域は、速吸瀬戸、来島海峡、備讃瀬戸、明石海峡、紀淡海峡付近にある。

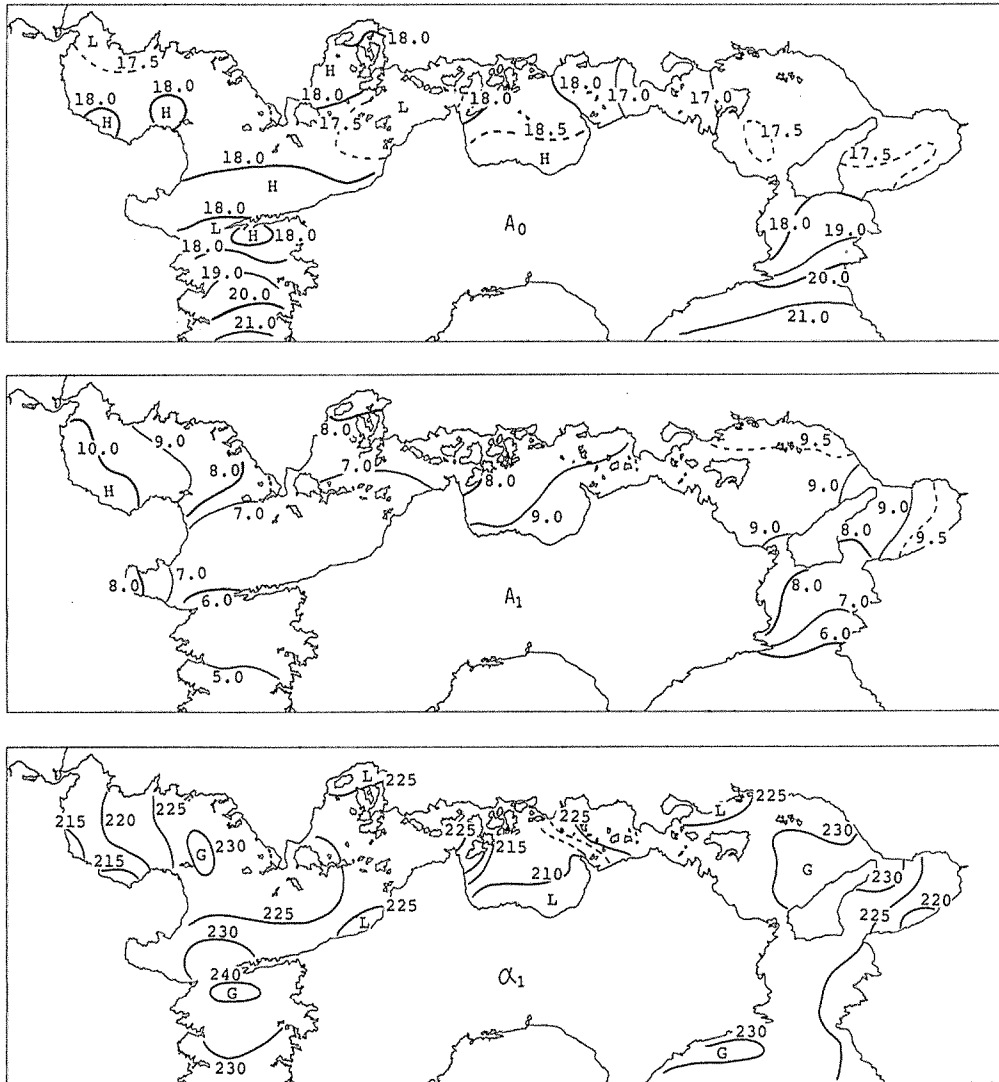


Fig. 10. Horizontal distributions of annual mean temperature ( $A_0$ ), ( $^\circ\text{C}$ ), amplitude of annual component ( $A_1$ ), ( $^\circ\text{C}$ ) and phase of annual component ( $\alpha_1$ ), ( $^\circ$ ) at sea surface in Seto Inland Sea.

2) 表面, 底層の年周期の位相の差 ( $\alpha_{10}-\alpha_{1s}$ ) の分布 (Fig. 12-2) については, 位相の差 $15^\circ$ 以上の海域は周防灘東部と伊予灘北部と燧灘東部と播磨灘西部であり, 年平均値の差が $1.5^\circ\text{C}$ 以上の海域に対応している。また, 位相の差 $5^\circ$ 以下の海域は上記  $A_0$  の差 $0.5^\circ\text{C}$ 以下の海峡付近である。

3) これらのことから,  $A_0$  の差 $1.5^\circ\text{C}$ 以上,  $\alpha_1$  の差 $15^\circ$ の海域は, 周防灘東部と燧灘東部と播磨灘の弱い反時

計まわりの環流域に対応しており (Fig. 5), それぞれの灘の深所にあたる。ここでは, 海水が停滞し, 上下層の海水は混合しにくい状態にあるものと考えられる。一方, 海峡部では,  $A_0$  の差  $\alpha_1$  の差は小さく, 上下層の水は混合している。

## 2・2 海面を通じての熱収支

海面を通じての熱の交換量  $H_L$  は, 日射量  $H_s$ , 海面からの逆放射  $H_b$ , 蒸発によって失なう潜熱  $H_e$ , 海洋と大

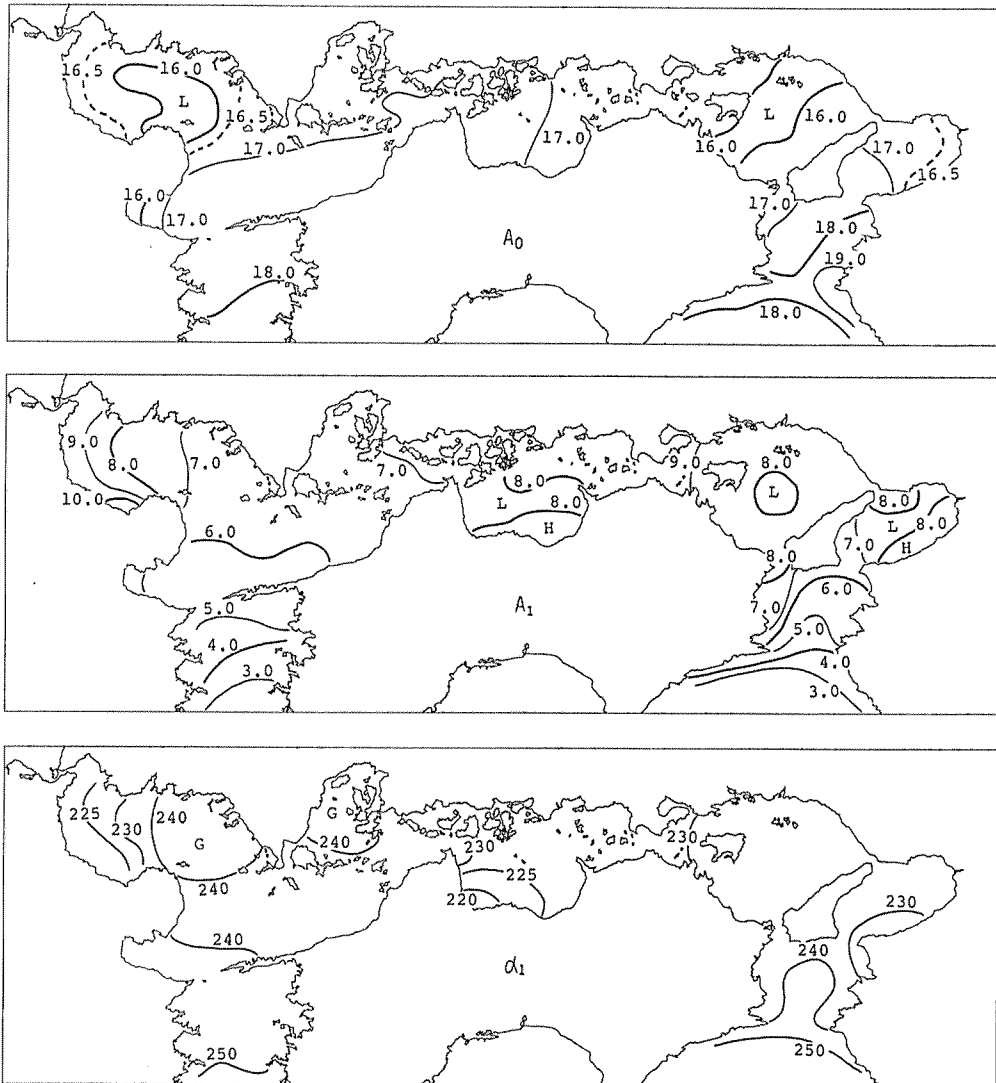


Fig. 11. Horizontal distributions of annual mean temperature ( $A_0$ ), ( $^\circ\text{C}$ ), amplitude of annual component ( $A_1$ ), ( $^\circ\text{C}$ ) and phase of annual component ( $\alpha_1$ ), ( $^\circ$ ) at bottom in Seto Inland Sea.

気との間の伝導に伴う顕熱  $H_c$  とすると

$$H_L = H_S - H_b - H_e - H_c \dots\dots\dots(12)$$

によって求めることができる。 $H_L$ の正の値は海への熱の供給を、負の値は海からの熱の放出は表わしている。ここではこの熱収支計算結果に基づき、表面水温の季節変化と、海域差をもたらす海面の熱過程の各要素の変動特性について検討した。

1) 日射量  $H_s$

各海域における  $H_s$  Kcal/(cm<sup>2</sup>・month) の年変化を Table 8 に示す。全域にわたり 5 月と 8 月に最大 10.6~13.3, 12 月に最小 4.0~5.5 Kcal/(cm<sup>2</sup>・month) の年変化を示す。6, 7 月に幾分小さな値となるが、これは梅雨型の天気による雲の影響である。海域較差は 5~8 月にやや大きく、2.06~2.85 Kcal/(cm<sup>2</sup>・month) の間にあり、豊後水道と大阪湾で相対的に小さく、紀伊水道と備讃瀬戸と燧灘と播磨灘と伊予灘でやや大きい。年間を通して海域較差は 1.0~2.85 Kcal/(cm<sup>2</sup>・month) の範囲にある。

2) 有効逆放射量  $H_b$

$H_b$  の年変化は  $H_s$  と逆センスで、12 月に最大で 3.9~5.4, 7 月に最小の 0.7~1.8 の年変化を示す。夏、冬季の海域較差が春、秋季のそれに比べてやや大きい。しかしながら、海域較差の数値そのものは夏、冬季で僅かに 1.4 Kcal/(cm<sup>2</sup>・month) と小さい。

3) 蒸発による潜熱  $H_e$

各海域における  $H_e$  の年変化は秋から冬にかけて大きく、10, 11 月に最大、7 月に最小となる。 $H_e$  は式 (5) に示されるように、表面水温による飽和蒸気圧 ( $e_w$ ) と大気の水蒸気圧 ( $e_a$ ) の差と風速 ( $U$ ) との積によってきまる。そこで  $U$  と ( $e_w - e_a$ ) の年変化をみると、風速は冬季 12~3 月までが年平均值より大きく、夏季 4~11 月は年平均值より小さくなる。一方、( $e_w - e_a$ ) は秋から冬にかけて、大気の冷却と湿度の低下により大きくなり、夏季は大気加熱と湿度の増加により小さくなる。このことから、秋季 (10, 11 月) は  $U$ , ( $e_w - e_a$ ) とともに大きくなり  $H_e$  は最大となって、夏季 7 月は  $U$ , ( $e_w - e_a$ ) とともに小さくなく

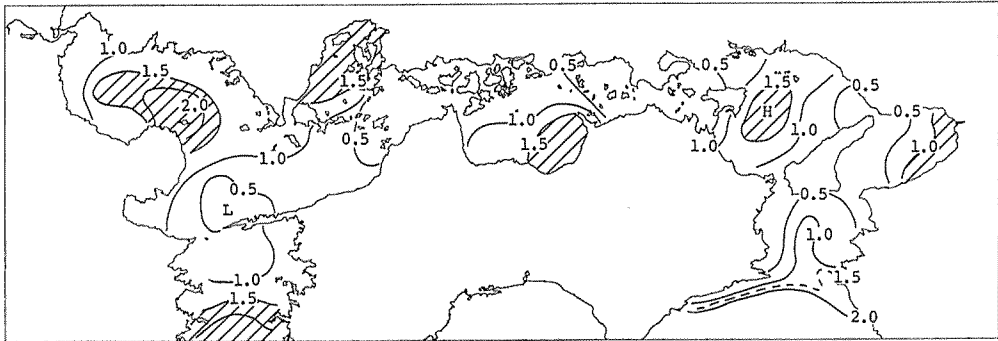


Fig. 12.1. Distribution of between-layer difference in annual mean temperature (°C,  $A_{05} - A_{08}$ ).

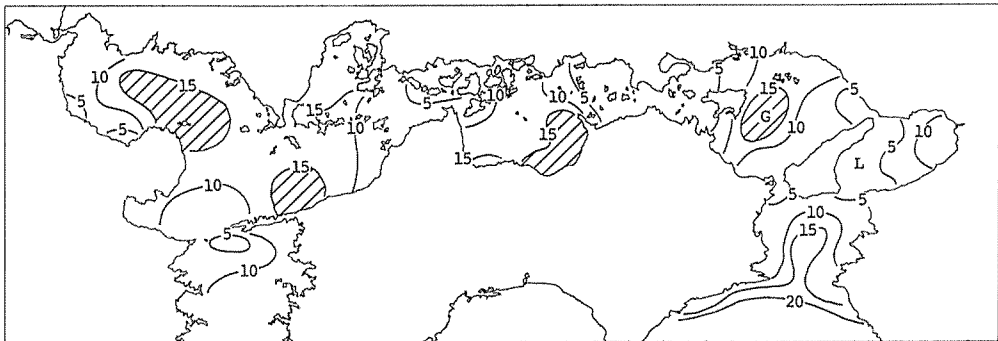


Fig. 12.2. Distribution of between-layer difference in phase of annual component (degree,  $\alpha_{10} - \alpha_{15}$ ).

Table 8. Heat budget at each sector in Seto Inland Sea.

		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
$H_j$	Suo	-11.84	-6.65	-1.57	3.95	4.30	4.38	4.65	1.64	-5.92	-10.82	-11.72	-13.77	-43.38
	Bungo	-35.11	-21.41	-13.12	-1.42	2.01	5.79	11.30	5.70	-1.55	-11.19	-18.80	-28.46	-103.03
	Iyo	-20.61	-13.57	-7.62	-0.32	6.91	6.45	8.46	5.99	-2.45	-11.66	-17.44	-20.96	-66.81
	Hiroshima	-13.42	-8.72	-5.30	0.24	4.01	4.11	6.22	2.94	-6.23	-17.42	-16.93	-16.98	-67.48
	Aki	-11.94	-6.66	-2.01	3.47	7.65	6.40	11.52	9.46	0.94	-7.05	-10.70	-12.81	-11.74
	Bingo	-10.83	-5.79	-2.31	2.73	3.01	2.60	7.51	1.82	-4.37	-7.79	-9.25	-11.51	-34.18
	Hiuchi	-15.47	-8.14	-4.08	1.62	2.98	1.42	4.32	4.27	-1.29	-6.76	-10.64	-15.81	-47.57
	Bisan	-11.53	-4.97	-0.00	5.96	7.76	7.80	10.22	6.68	-2.54	-8.48	-10.88	-13.01	-12.97
	Harima	-14.24	-6.13	-1.15	5.26	5.97	5.86	8.09	3.64	-4.34	-10.48	-12.99	-14.46	-34.97
	Osaka	-12.68	-7.79	-3.65	2.60	2.13	3.07	5.58	0.95	-8.69	-14.04	-14.47	-16.57	-63.58
	Kii	-21.48	-16.85	-11.15	-1.12	2.94	4.32	9.21	2.69	-7.18	-18.33	-21.43	-23.47	-101.83
$H_s$	Suo	4.75	6.41	9.45	9.71	11.32	10.50	10.38	11.78	9.63	8.54	5.90	4.01	102.39
	Bungo	6.49	7.81	9.55	9.63	10.79	9.86	10.63	10.63	8.73	7.71	6.46	5.45	103.75
	Iyo	6.02	7.98	10.26	10.00	12.00	11.07	12.21	12.69	10.20	9.08	7.00	5.37	113.90
	Hiroshima	5.91	7.44	9.63	10.03	11.52	10.56	11.06	11.72	9.47	8.51	6.62	5.34	107.82
	Aki	6.02	7.98	10.26	10.00	12.00	11.60	12.21	12.69	10.20	9.08	7.00	5.37	114.43
	Bingo	6.19	8.00	10.11	10.32	12.22	11.63	12.08	12.63	9.76	8.72	6.85	5.49	114.00
	Hiuchi	6.19	8.00	10.11	10.32	12.22	11.63	12.08	12.63	9.76	8.72	6.85	5.49	114.00
	Bisan	6.29	7.78	9.69	10.47	12.21	11.10	11.69	12.34	9.35	8.27	6.56	5.54	112.28
	Harima	6.15	7.58	9.32	10.16	11.81	10.65	11.27	11.82	8.86	7.94	6.38	5.47	107.42
	Osaka	5.94	7.14	8.68	9.69	11.20	10.10	10.59	11.06	8.41	7.52	6.06	5.32	101.72
	Kii	6.72	8.16	10.01	11.22	13.28	11.92	13.23	13.28	10.24	8.72	7.06	5.79	119.61
$H_b$	Suo	4.06	3.77	3.80	2.64	2.61	1.98	1.39	1.63	2.76	4.08	4.29	3.94	36.97
	Bungo	5.15	4.84	4.28	2.98	2.41	1.57	0.73	1.22	2.19	3.64	4.82	5.02	38.84
	Iyo	4.82	4.82	4.36	3.11	2.20	1.56	1.10	1.23	2.25	3.92	4.79	4.95	39.13
	Hiroshima	5.07	4.78	4.47	3.15	2.68	1.97	1.34	1.59	2.59	4.42	5.09	5.26	42.42
	Aki	4.77	4.65	4.19	2.87	2.26	1.78	0.83	1.03	2.22	3.95	4.78	4.90	38.23
	Bingo	5.05	4.66	4.21	2.98	2.91	2.24	1.25	1.66	2.74	4.16	4.88	5.04	41.78
	Hiuchi	5.14	4.81	4.48	3.32	3.15	2.65	1.76	1.71	2.59	4.08	4.88	5.14	43.72
	Bisan	4.67	4.37	3.94	2.69	2.46	1.66	0.94	1.45	2.60	4.11	4.82	4.79	38.50
	Harima	5.21	4.49	3.92	2.67	2.48	1.74	1.00	1.47	2.67	4.36	5.19	5.40	40.59
	Osaka	4.98	4.65	4.09	2.76	2.62	1.79	1.13	1.47	2.50	4.13	4.91	5.14	40.17
	Kii	5.28	5.01	4.54	2.99	2.42	1.66	1.10	1.41	2.33	4.03	5.00	5.29	41.05
$H_e$	Suo	9.16	6.81	6.12	3.68	4.86	4.30	4.69	8.62	11.33	12.69	10.48	10.15	92.90
	Bungo	24.74	16.88	13.96	7.43	6.54	3.32	0.73	5.11	7.76	12.63	15.65	20.32	132.89
	Iyo	14.78	11.51	10.37	6.79	4.48	4.37	4.80	7.44	10.12	14.12	15.05	15.02	118.85
	Hiroshima	9.26	7.61	7.83	6.07	5.12	4.55	4.04	7.59	11.87	17.36	13.62	11.60	106.50
	Aki	9.09	7.03	6.44	3.96	3.16	3.89	1.79	3.89	6.94	10.29	10.01	9.43	75.93
	Bingo	7.76	6.07	6.20	4.51	6.10	6.40	4.15	9.40	10.11	9.92	8.21	8.04	86.87
	Hiuchi	10.65	7.44	7.03	4.65	5.49	6.59	5.71	6.70	7.65	9.20	9.23	10.84	91.18
	Bisan	9.07	5.96	4.80	2.33	2.62	2.27	1.58	4.69	8.21	10.61	9.42	9.63	70.75
	Harima	9.68	6.12	5.09	2.87	4.01	3.51	2.92	6.78	9.17	11.12	10.27	9.63	81.17
	Osaka	9.57	7.38	6.84	5.21	7.08	5.95	5.22	9.62	13.38	14.51	12.10	12.04	108.91
	Kii	15.71	13.86	12.72	8.84	8.70	6.68	4.37	10.18	14.00	19.10	18.05	17.04	149.25
$H_c$	Suo	3.37	2.49	1.10	-0.57	-0.46	-0.16	-0.35	-0.11	1.45	2.59	2.86	3.70	15.90
	Bungo	11.72	7.50	4.44	0.63	-0.17	-0.81	-2.13	-1.41	0.33	2.62	4.79	8.58	35.05
	Iyo	7.03	5.22	3.14	0.42	-1.59	-1.32	-2.15	-1.97	0.28	2.69	4.60	6.37	22.74
	Hiroshima	5.00	3.77	2.63	0.57	-0.28	-0.07	-0.54	-0.40	1.25	4.15	4.85	5.46	26.39
	Aki	4.10	2.97	1.65	-0.30	-1.08	-0.48	-1.92	-1.69	0.10	1.89	2.92	3.85	12.01
	Bingo	4.22	3.05	2.02	0.09	0.20	0.39	-0.83	-0.25	1.28	2.43	3.01	3.92	19.54
	Hiuchi	5.87	3.89	2.68	0.74	0.60	0.97	0.28	-0.05	0.80	2.20	3.38	5.33	26.67
	Bisan	4.08	2.43	0.96	-0.52	-0.63	-0.63	-1.06	-0.49	1.08	2.48	3.20	4.12	15.01
	Harima	5.50	3.11	1.47	-0.64	-0.65	-0.46	-0.74	-0.07	1.37	2.95	3.91	4.90	20.63
	Osaka	4.08	2.91	1.40	-0.87	-0.63	-0.71	-1.34	-0.98	1.22	2.93	3.52	4.71	16.22
	Kii	7.22	6.14	3.90	0.50	-0.78	-0.74	-1.46	-1.00	1.08	3.92	5.45	6.93	31.15



て  $H_e$  は最小となる。海域別にみると各月の  $H_e$  は、外海に近い豊後水道、伊予灘、紀伊水道、大阪湾で大きく、安芸灘、備讃瀬戸では小さい。

4) 顕熱  $H_c$

$H_c$  は水温と気温との差と風速との積に比例する。風速の年変化については前述のように12月から3月までは風速は大きく、4月から9月の間は小さい。一方、水温と気温との差は冬季に大きく、春・秋には小さく、夏季は負の値となる。したがって、 $H_c$  の年変化は10月から2月に大きく、4月から8月までは僅かに負となる。海域較差は1、2月に大きく、それぞれ8.35、5.07 Kcal/(cm<sup>2</sup>・month)であり、9月は1.35 Kcal/(cm<sup>2</sup>・month)と年間で最も小さい。

5) 熱交換量  $H_L$

$H_L$  は9月から3月までは負、4月から8月までは正となり、最大は7月、最小は12月に生じる。12、1月には  $H_s + H_e$  はほぼ零に近くなり、この時期の冷却は  $H_e$  と  $H_c$  とによる。7月には  $H_s$  は5月とほぼ同じ値であるが、 $H_e$ 、 $H_c$  とも最小になり、 $H_c$  は負となるので  $H_L$  は最大となる。秋には前述のように  $H_e$  が増加し、 $H_L$  は急激に減少する。

海域別の年合計の熱収支では外海に近い豊後水道、紀伊水道でそれぞれ-103.03、-101.83 Kcal/(cm<sup>2</sup>・year)と大きく、安芸灘、備讃瀬戸では-11.74、-12.97 Kcal/(cm<sup>2</sup>・year)と小さい。これらの熱量は、外海から移流によって供熱される。また、各月における  $H_s$ 、 $H_b$ 、 $H_c$  の海域較差はいずれも  $H_e$  に比べて小さい。そこで海域別年合計値について  $H_L$  と  $H_e$  との関係を見ると、相関係数  $r = -0.97$  で両者の相関は極めて高く、 $H_L$  の変動の94%までは  $H_e$  の変動によるといえる。年合計で日射量に対する各項の割合をみると、 $H_s$  は0.33~0.39、 $H_c$  は0.10~0.35、 $H_e$  は0.63~1.28であり、 $H_e$  の海域較差が最も大きい。

これまでの結果から、瀬戸内海の水温分布を支配する海面を通じての熱収支の海域較差の大部分は、風速に大きく依存する蒸発に伴う潜熱  $H_e$  によって規定されていることがわかる。

2・3 塩分の季節変化

瀬戸内海全域における塩分の水平分布の季節変動特性を見るために、10 m層を代表面を選び、1月から12月までの塩分水平分布を Fig. 13 に示した。10 m層の塩分は、水

Table 8. Continue

Evaporation mm/month	Suo	155.1	115.1	103.6	62.5	82.8	73.4	80.5	148.1	194.6	217.1	178.5	172.3	132.0*
	Bungo	383.7	286.9	237.1	126.4	111.5	56.7	12.6	87.7	133.0	216.2	267.2	346.3	188.8*
	Iyo	250.7	195.2	175.9	115.4	76.2	74.5	82.2	127.6	173.4	241.5	256.7	255.5	168.7*
	Hiroshima	156.9	128.9	132.6	103.2	87.2	77.8	69.2	130.4	203.5	297.1	232.4	197.3	151.4*
	Aki	154.1	119.1	109.1	67.3	53.9	66.5	30.5	66.7	118.9	176.0	170.6	160.3	107.8*
	Bingo	131.3	102.7	104.9	76.6	104.0	109.5	71.1	161.6	173.5	169.6	139.9	136.5	123.4*
	Hiuchi	180.4	126.0	119.1	79.1	93.7	113.0	98.0	115.1	131.3	157.3	157.3	184.0	129.5*
	Bisan	153.4	100.7	81.1	39.5	44.6	38.8	27.1	80.6	141.0	173.8	160.6	163.4	100.4*
	Harima	164.0	103.5	86.0	48.7	68.3	59.9	50.0	116.5	157.5	190.4	175.2	163.6	115.3*
	Osaka	162.0	124.8	115.8	88.3	120.7	101.7	89.5	165.2	229.6	248.3	206.4	204.5	154.7*
Kii	266.6	235.0	215.8	150.3	148.3	114.1	74.9	174.8	240.3	326.9	308.1	290.0	212.1*	
Precipitation mm/month	Suo	91.8	65.6	85.9	163.3	173.2	256.8	243.7	116.0	185.2	74.2	90.7	61.9	109.9*
	Bungo	70.8	62.9	96.7	152.3	135.2	240.7	183.9	202.6	205.9	81.3	82.9	63.6	131.6*
	Iyo	53.9	48.4	92.0	127.8	139.7	218.4	162.8	86.6	168.0	83.7	75.9	41.2	108.2*
	Hiroshima	57.0	47.6	103.4	155.7	161.4	293.1	263.6	94.1	186.1	82.0	80.6	35.5	130.0*
	Aki	52.1	45.9	95.1	141.1	141.9	244.7	198.4	95.4	173.2	87.4	74.8	38.9	115.7*
	Bingo	38.9	38.5	68.8	122.2	132.3	203.6	197.5	75.4	163.3	77.6	61.1	27.0	100.5*
	Hiuchi	38.9	38.5	68.8	122.2	132.3	203.6	197.5	75.4	163.3	77.6	61.1	27.0	100.5*
	Bisan	43.6	48.0	75.3	126.4	138.0	182.5	161.4	88.5	182.6	82.7	59.7	29.0	101.5*
	Harima	45.2	51.3	94.7	139.6	144.1	223.4	198.0	103.4	212.5	84.0	62.8	28.7	115.6*
	Osaka	56.6	52.7	109.1	148.1	150.3	208.3	196.2	99.6	214.1	93.3	76.1	38.1	120.2*
Kii	55.0	51.0	94.0	134.9	162.1	205.0	178.3	148.7	260.8	103.1	76.6	40.4	125.8*	

\*: For Evaporation and Precipitation, monthly mean.

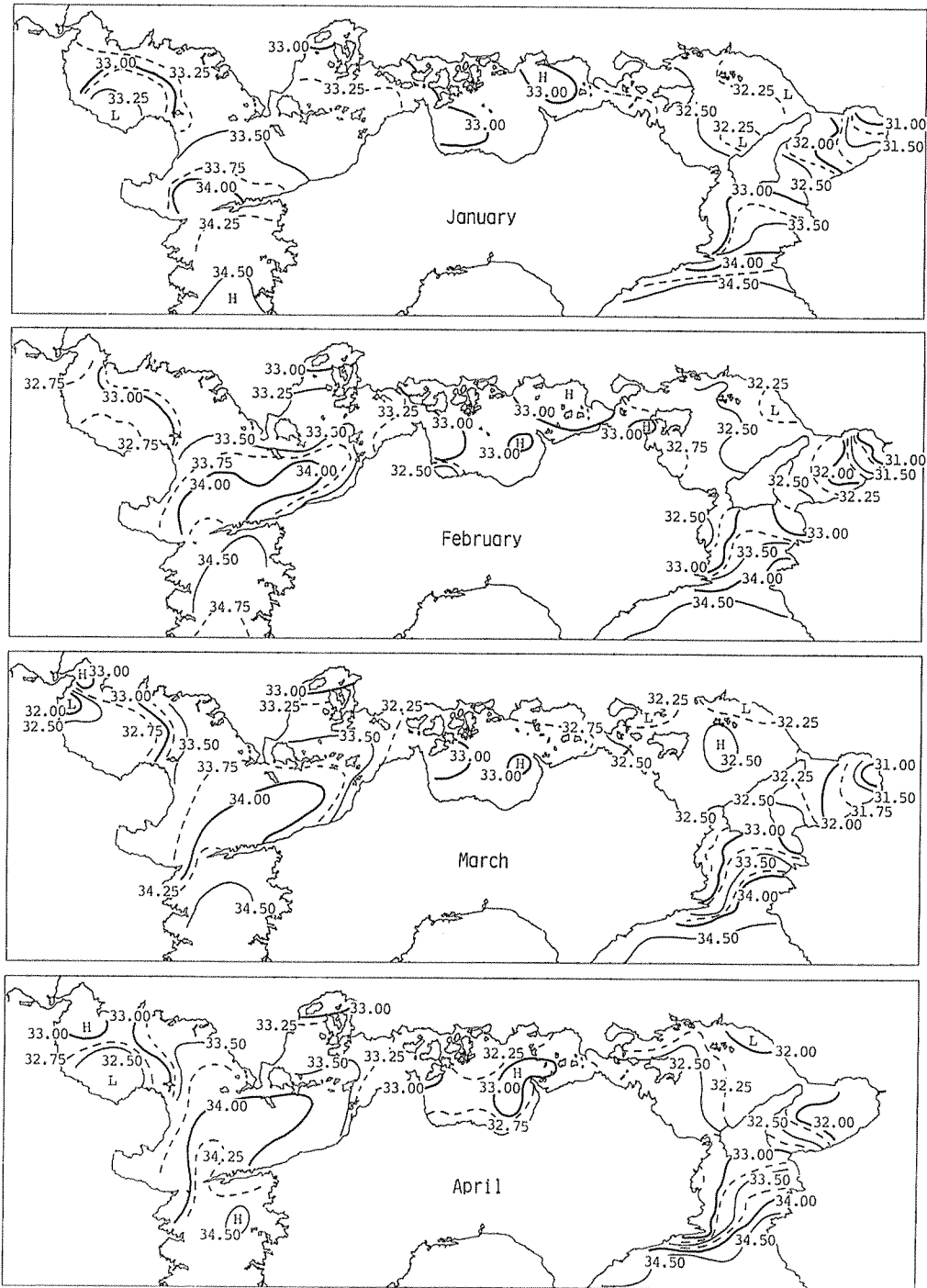


Fig. 13. Monthly mean salinity at 10 m depth (‰).

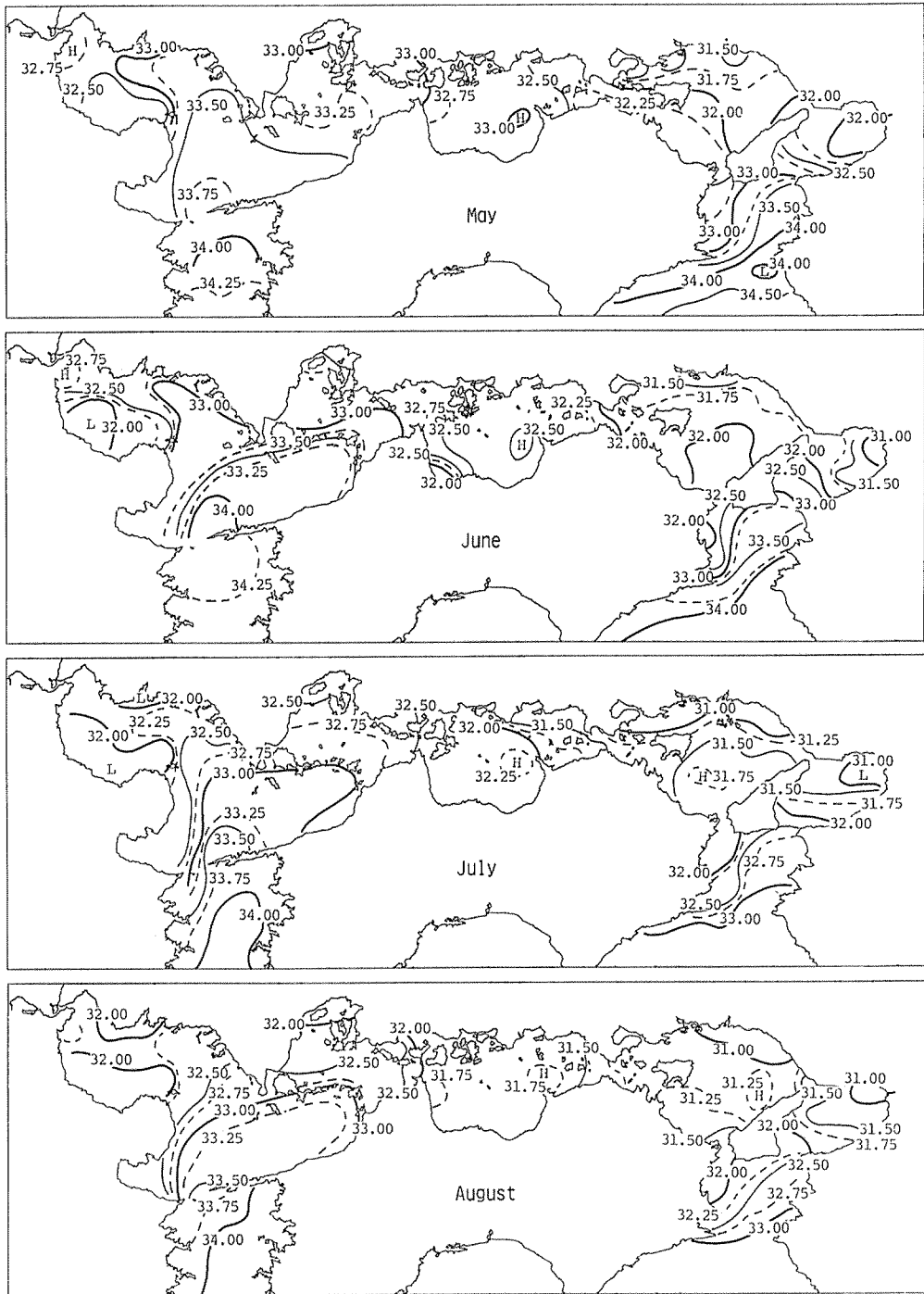


Fig. 13. Monthly mean salinity at 10 m depth (‰).

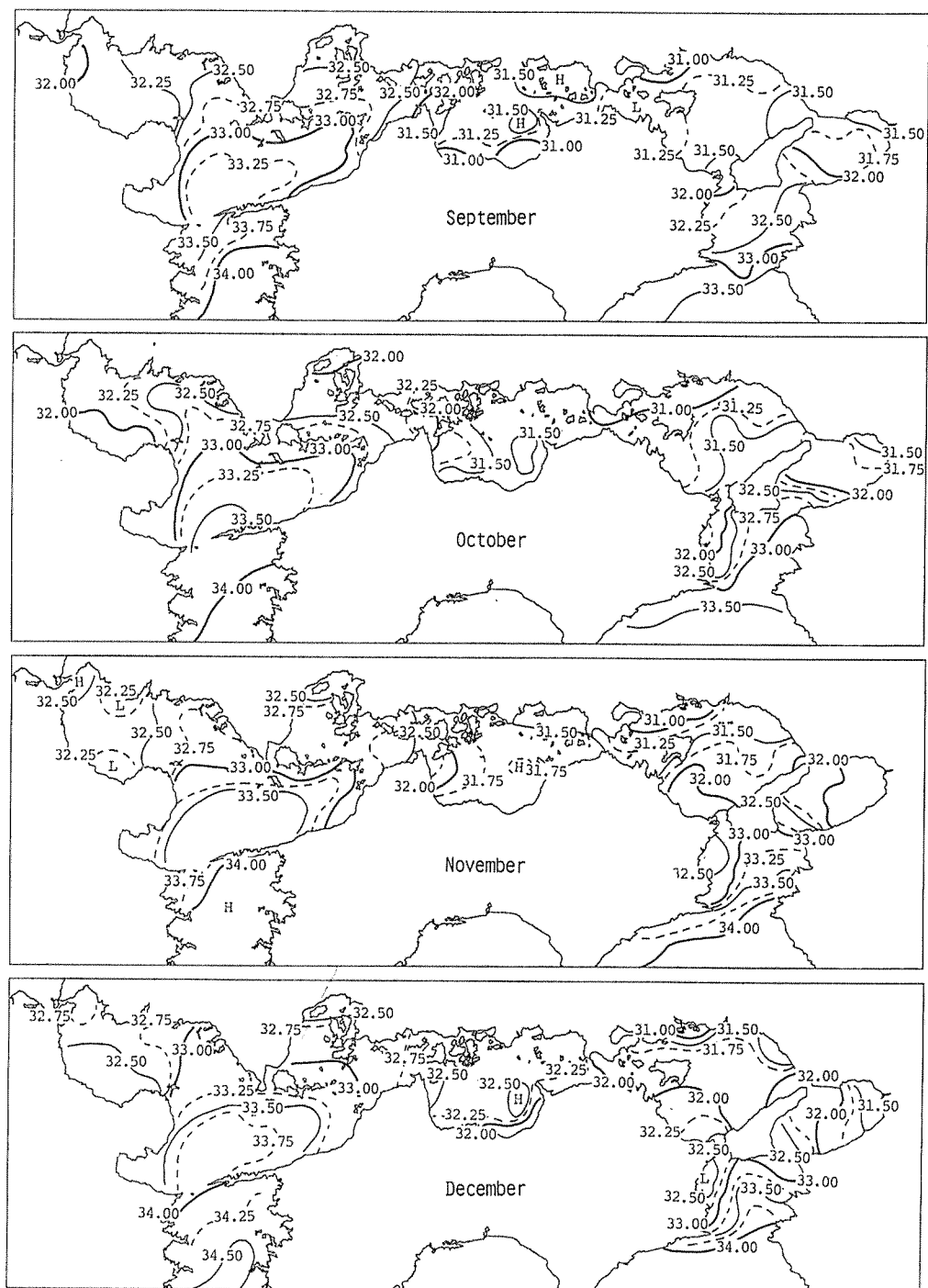


Fig. 13. Monthly mean salinity at 10 m depth (‰).

深20 mの表面から底層までの積分平均値にはほぼ等しく、観測当日の潮時、風による河川水の広がりの影響が割合少ない。したがって、10 m層の塩分は各定点の水柱全体の塩分にはほぼ対応しており、月1回の観測値から、内海全体の塩分の季節変化を調べるには最適の代表面といえる。Fig. 13に示す各月の塩分分布の季節変化の特徴は次のとおりである。

1～3月……相対的には、明らかに東部で低く、西部で高い。33.0‰の高塩分水は西部から燧灘中央部まで分布し、東部では紀伊水道の北部まで紀伊半島寄りに分布している。低塩分水は大阪湾奥、紀伊水道西部（吉野川河口域）、播磨灘北部、広島湾奥部、周防灘西部海域に分布する。この分布パターンは3月まで殆んど変化しない。

4月……西部で塩分が僅か低下し、33.0‰の等量線は燧灘来島海峡付近まで後退している。しかし、34.0‰の高塩分水は年間を通して、伊予灘で最も広く分布し、豊後水道から伊予灘への塩分輸送量が最も大きい。紀伊水道でも33.0‰の等量線は幾分北上している。

5月……塩分は全域で低下し始める。西部では33.0‰の等量線は殆んど移動していないが、34.0‰の等量線は豊後水道まで後退している。

6月……西部では33.0‰の等量線の範囲が狭くなっている。東部では33.0‰の等量線は5月と殆んど同じ位置にある。32.0‰の等量線は鳴門海峡から播磨灘中央部へ向って大きく入り込んでおり、鳴門海峡を通じての播磨灘への塩分輸送量が大きいように考えられる。

7月……月当たりの塩分の低下量が全域にわたって最大で、西部より東部の低下量が大きい。西部では33.0‰の高塩分水は伊予灘に分布するが、東部では紀伊水道の南部に分布する。

8月……全域にわたり塩分が最低となる。33.0‰の等量線の範囲が1年の間で最も狭い。東部では33.0‰の等量線は紀伊水道で最も南下している。

9月……西部では塩分が回復し始める。東部では8月の分布と殆んど変わらない。

10月……西部は9月と殆んど同じ分布である。東部の紀伊水道では33.0‰の高塩分水が紀伊半島寄りに北上している。

11月……西部では塩分が徐々に回復し、31.5‰の等量線は備讃瀬戸中部に達する。ここから播磨灘北部にかけて31.5‰以下の低塩分水が分布している。紀伊水道では33.0‰の等量線が紀伊半島寄りに北部まで達している。

12月は11月とほぼ同じような塩分分布を示す。

## 2・4 塩分と河川流量との関係

塩分の水平分布の季節変化をみると、明らかに塩分は東部で低く、西部で高い。内部においては本州側が四国側より低塩分である。また、高塩分水は外海に近い豊後水道、伊予灘、紀伊水道の紀伊半島寄りに分布し、低塩分水は大阪湾奥、紀伊水道西部（吉野川河口域）、播磨灘北部、広島湾奥部、周防灘西部海域に分布しており、その相対的な分布パターンは季節によって変化しない。したがって、基本的には塩分は灘の容積に対する河川流量の比と豊後水道、紀伊水道を通じての外海水の海水交換の強さによってきまるといえよう。そこで、本研究では、塩分の変動機構を灘に流入する河川水の流量変化、さらには、流入した河川水の滞留を考慮に入れて究明することにし、そのため、内海の縦断面定点上の10 m層の塩分と各灘の主要河川の流量とが、どのような関係をもつのか、重回帰分析によって検討した。

まず、全域の主要河川について、月単位の流量が、各河川間でどのような関係にあるかを調べるため、各河川間の流量の相関マトリックスを計算し、その結果をTable 9に示した。この表から、月単位でみると全域の河川流量間の相関は1%の水準で有意であり、ほぼ類似した変動をしていることがわかる。したがって、塩分と流量との関係を調べるためには、各灘へ流入する主要河川流量だけをとればよいことになる。そこで、ここでは各定点ごとの塩分変動と、Table 10に示す河川における3か月前、2か月前、1か月前、当月の河川流量との関係を次の重回帰式（前進選択法）によって推定した。

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 \dots \dots \dots (13)$$

$y$ は10 m層における塩分、 $x_1$ は3か月前の流量、 $x_2$ は2か月前の流量、 $x_3$ は1か月前の流量、 $x_4$ は当月の流量である。塩分量  $y$  を表示するため、上述の4個の独立変数からいずれか1個、2個……4個の独立変数を用いた重回帰式を考える。ここではFig. 14に示すStn. 34についての計算過程を記し、重回帰式による推定法を述べる。 $x_1$ から $x_4$ までの4個の独立変数の各々に対する回帰によって除去できる  $y$  の変動を調べると、 $x_3$ （1か月前の流量）によって除去できる変動が最大であり、この独立変数1個を用いるだけで、相関係数0.430となり、1%の水準で有意とみなせる次の式が得られる。

$$y = 33.66 - 0.4877 \times 10^{-4} x_3 \dots \dots \dots (14)$$

これが、独立変数の中から1個選択した時の回帰式である。

Table 9. Correlation coefficient matrix of main river discharge volume in Seto Inland Sea (1963-70).

	Yamakuni	Banjo	Saba	Ota	Hiji	Shigenobu	Ono	Asahi	Ashida	Takahashi	Yoshii	Ibo	Yodo	Yoshino	Yamato	Kino	
Yamakuni		0.613**	0.819**	0.793**	0.804**	0.742**	0.777**	0.750**	0.779**	0.783**	0.735**	0.701**	0.708**	0.534**	0.592**	0.484**	
Banjo			0.413**	0.502**	0.622**	0.591**	0.891**	0.471**	0.522**	0.488**	0.436**	0.469**	0.406**	0.709**	0.336**	0.463**	
Saba				0.891**	0.847**	0.697**	0.581**	0.734**	0.718**	0.733**	0.696**	0.606**	0.768**	0.439**	0.590**	0.454**	
Ota					0.776**	0.724**	0.646**	0.842**	0.820**	0.863**	0.856**	0.793**	0.783**	0.555**	0.633**	0.578**	
Hiji						0.926**	0.776**	0.665**	0.734**	0.689**	0.610**	0.672**	0.655**	0.738**	0.513**	0.693**	
Shigenobu							0.699**	0.707**	0.715**	0.678**	0.687**	0.727**	0.687**	0.745**	0.576**	0.679**	
Ono								0.592**	0.648**	0.615**	0.534**	0.569**	0.507**	0.689**	0.379**	0.432**	
Asahi									0.869**	0.955**	0.934**	0.887**	0.842**	0.613**	0.665**	0.644**	
Ashida										0.930**	0.849**	0.811**	0.726**	0.682**	0.645**	0.606**	
Takahashi											0.932**	0.871**	0.776**	0.609**	0.620**	0.631**	
Yoshii												0.913**	0.828**	0.562**	0.742**	0.676**	
Ibo													0.787**	0.669**	0.661**	0.637**	
Yodo														0.582**	0.824**	0.691**	
Yoshino															0.518**	0.736**	
Yamato																0.756**	
kino																	

\*\* : significant at 0.01 level

次に、 $x_3$  以外の 3 個の独立変数から 1 個を選択する。その選択法は 3 通りある。その各々に対する回帰によって除去できる  $y$  の変動を調べると、 $x_3$  に加えて  $x_4$  を選択することによって除去できる  $y$  の変動が最大となり、これらの 2 個の独立変数を用いた式は

$$y = 33.79 - 0.4524 \times 10^{-4} x_3 - 0.2662 \times 10^{-4} x_4 \dots \dots (15)$$

となる。重相関係数は 0.485 であり、1 % の水準で有意である。この式は、独立変数 2 個を選択した時の重回帰式である。このようにして順に、 $x_1$  から  $x_4$  まで用いた重回帰式が求められる。重相関係数  $R$  は 0.430 から 0.497 まで、独立変数の選択数と共に増加するが、その増加率は小さくなる。これらの独立変数群の有効性を示す尺度として AIC という係数があり (大崎ら 1970)、この係数が小さい程、独立変数群の回帰に対する効率が大きいとみなせる。そ

こで、AIC が極小になるまで独立変数をとることにすると、ここで用いた Stn. 34 の例では独立変数 2 個で塩分が表現できることになる。すなわち、塩分は 1 か月前、当月の流量で、表現でき、この式は 1 % の水準で有意とみなせる。このような方法で、各地点ごとに同様の計算を行った結果、豊後水道の塩分を除いて、すべての海域で塩分の変動は、3 か月前、2 か月前、1 か月前、当月の河川の流量によって表現でき、有意とみなせる式が得られた (App. Table 1)。さらに、塩分を表現するための独立変数の選択される順位の組合せによって、Table 11 に示す A, B...E の 5 型式の区分を設けた。この区分の水平分布を Fig. 15 に示す。ここで、D, E 型式は塩分が 2 か月前、3 か月前の河川流量と関連していることを意味しており、河川水の海水交換が悪く、滞留時間が長いといえる。海域別にみると、周防灘、燧灘は河川水の交換が悪いと考えられる。

以上のことから、瀬戸内海の塩分の月単位の変動は、主として流入河川水の流量によって表現できる。

**Table 10.** The independent variables to estimate multiple linear regression equation of salinity in respective sector.

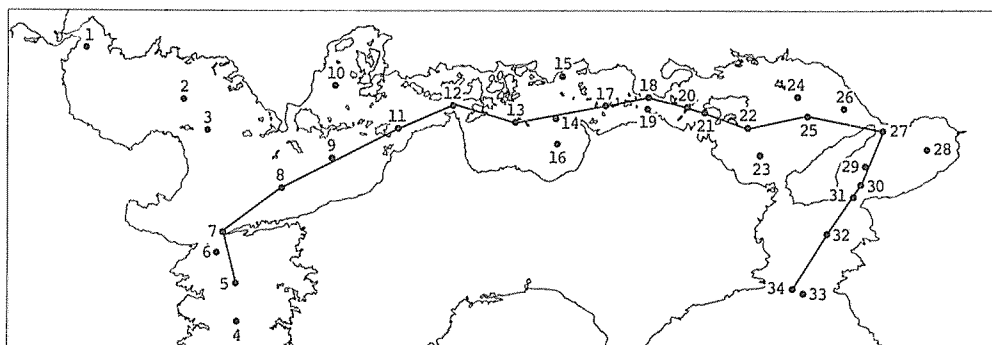
Sector	Independent variables
Suo	Sada + Yamakuni
Bungo	Banjo + Ono
Iyo	Shigenobu + Hiji
Aki	Shigenobu + Ota
Hiuchi	Ashida
Bisan	Ashida + Takahashi + Asahi + Yoshii
Harima	Ibo
Osaka	Yodo + Yamato
Kii	Yoshino + Kino

The discharge volume from the rivers shown in the column, which is 3 to Q month before salinity observation, is used as independent variables.

**Table 11.** Types of salinity-river discharge relation based on the order of  $Q_i$ , adopted as effective in dependent variables of multiple linear regression equation of salinity (by forward selection method).

	$Q_3$	$Q_2$	$Q_1$	$Q_0$
A			1	2
B	3	2	1	4
C	2	3	1	4
D	3	1	2	4
D'	4	1	2	3
E	1	2	3	4

$Q_i, \dots$  discharge volume of river at  $i$  month before the salinity observation,  $i$  being 0 to 3.



**Fig. 14.** Chart of positions for secular variations of temperature, salinity and transparency, monthly variations of temperature and salinity and isopleth of temperature.

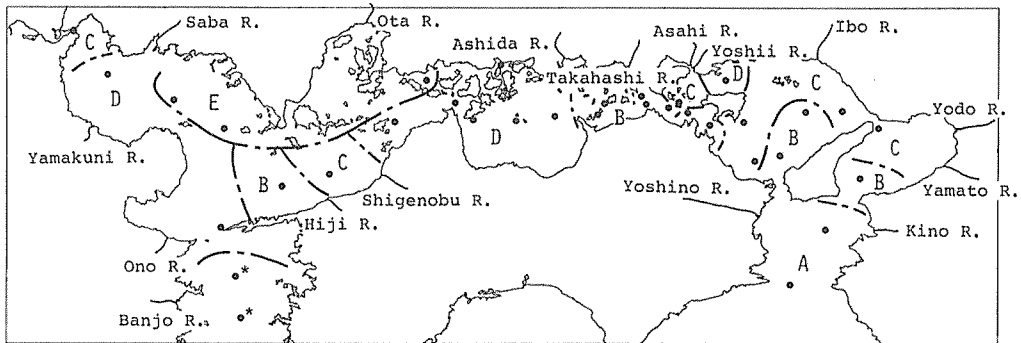


Fig. 15. Distribution of types of salinity—river discharge relation defined by Table 11.

## 2. 5 密度の季節変化

水温・塩分と同様に10 m層における密度 $\sigma_t$ の各月の水平分布を Fig. 16 に示した。季節変動の特徴は次の通りである。なお、相対的な密度の分布パターンは、塩分と同じように西部で大きく東部で小さい。

1月……海面の冷却により水温が低下し、密度は大きくなる。この水温の低下は相対的に低塩分で、水深の浅い海域で大きい。したがって、密度の海域差は小さい。 $\sigma_t$ で24.75 g/l以下の密度の小さい海域は大阪湾、播磨灘にみられる。

2月, 3月……密度が最も大きくなる。25.00 g/l以下の軽い水は大阪湾のみに分布する。一方、豊後水道から伊予灘にかけて25.75 g/lの最も重い水が分布している。これは水温が1月に比べて約1°C低下し、塩分が0.25‰増加したためである。

4月……水温が上昇し、密度は小さくなる。25.00 g/l以下の低密度の海域は周防灘南部、燧灘南部、播磨灘東部から大阪湾にかけてみられ、塩分の分布パターンとよい対応を示している。鳴門海峡から播磨灘西部の $\sigma_t=25.00$  g/lと塩分32.5‰の分布がほぼ一致している。

5月……水温の上昇と塩分の低下により、密度は小さくなる。水温の上昇は低塩分域で大きい。したがって密度の海域差が大きくなっていく。

6月～9月……6, 7, 8月は同じような密度の分布パターンを示し、9月に密度がほぼ最小となる。東西の密度差はこのとき最大になる。豊後水道から伊予灘南部にかけて、 $\sigma_t=22.50$  g/l以上の密度の重い水が分布している。これは、海峡部における下層水との混合によって水温が低下し、密度が大きくなったためと考えられる。

10～11月……西部では塩分が増加し、東部の播磨灘、大阪湾では塩分はあまり変化しない。水温は9月から低下し、

11月にはほぼ東西の水温が等しくなる。したがって、密度の分布は塩分の分布パターンと対応する。 $\sigma_t=23.0$  g/l (塩分33.0‰)の水は西部では安芸灘西部まで、東部では紀伊水道の紀伊半島寄りに分布している。密度の小さい水は播磨灘北部に分布している。

12月……水温の東西の水平傾度が逆転するにともない、相対的に低塩分の東部海域では水温低下が西部より大きいため、密度の海域差は全体的に小さくなる。

## 2. 6 水温・塩分からみた海域区分

これまで、水温・塩分それぞれの季節変化の特徴について明らかにした。ここでは、水温・塩分の季節変化の様相に基づいてそれを大きく3つの型に分類し、それぞれの型の特徴と海域的な分布について検討した。

代表面として10 m層をとると、瀬戸内海の水温は7.2～27.5°C、塩分は30.9～34.8‰の範囲にある。これらの値から季節的な特徴を勘案し、Fig. 17 に示したように、水温・塩分の季節変化をHS, MS, LSの3つの型に分類した。また、さらに4月から9月までの水温上昇期と、10月から3月までの下降期にわけ、下降期の塩分が上昇期の塩分より高いものを、Aタイプ、逆の場合をBタイプとした。このように分類した型の海域的な分布を Fig. 18 に示した。以下、それぞれの型別に分布の特徴を述べる。

HS-A型……豊後水道から伊予灘にみられる変動型で、その特徴は高温で、塩分が最も高く、しかも水温・塩分の年較差が最も小さい。降水量は5月より6月が多いにもかかわらず、塩分は逆に6月が5月より高くなっている。これは外海水の内海への流入量の増加と、それに伴う下層の外海水との混合によるものと考えられる。6, 7月には河川水の流量の増加により塩分は低下するが、9月から次第に塩分は回復し、水温下降期の塩分は上昇期の塩分より高い (Fig. 19-1)。



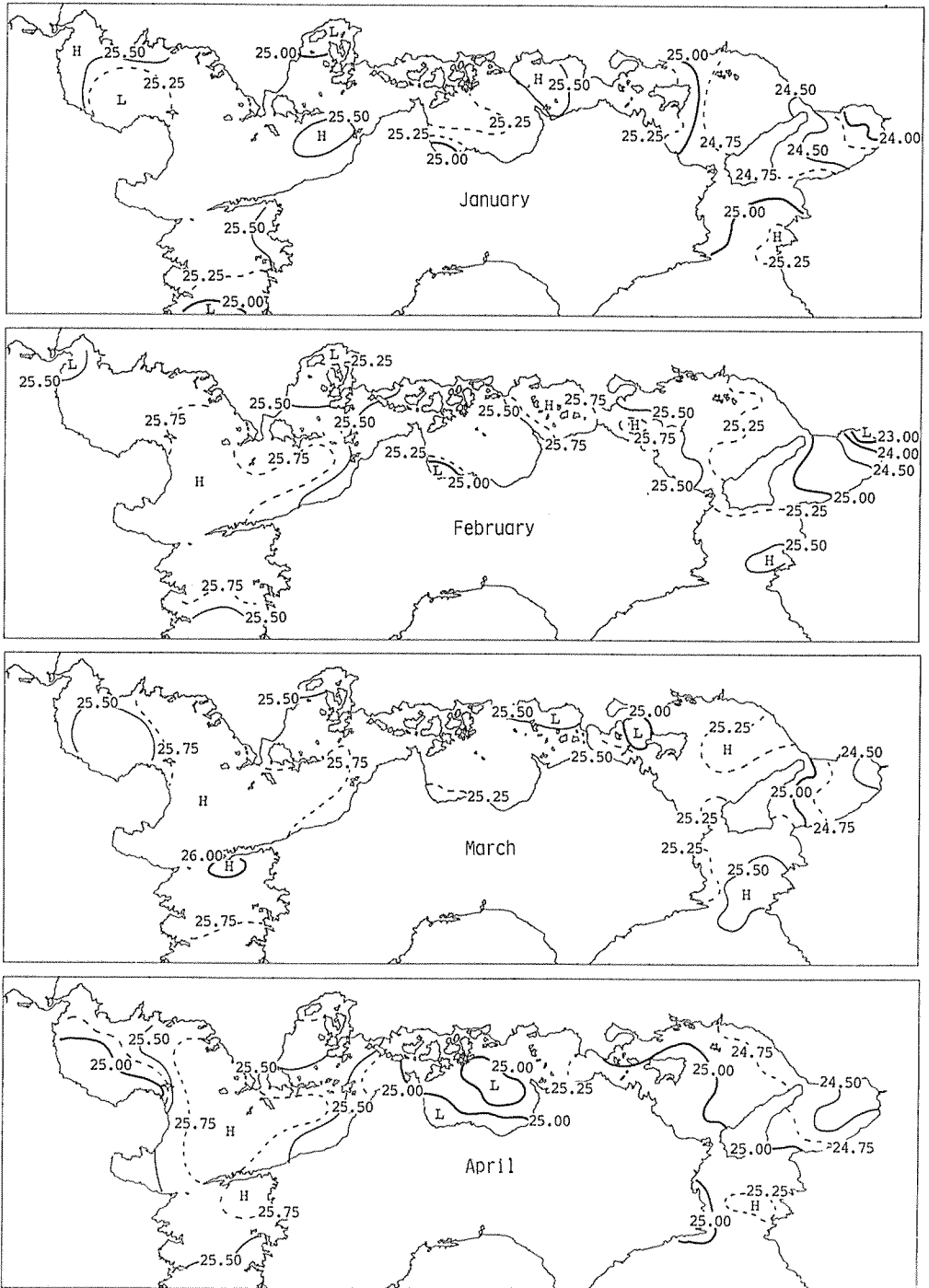


Fig. 16. Monthly mean density ( $\sigma_t$ ) at 10 m depth (g/l).

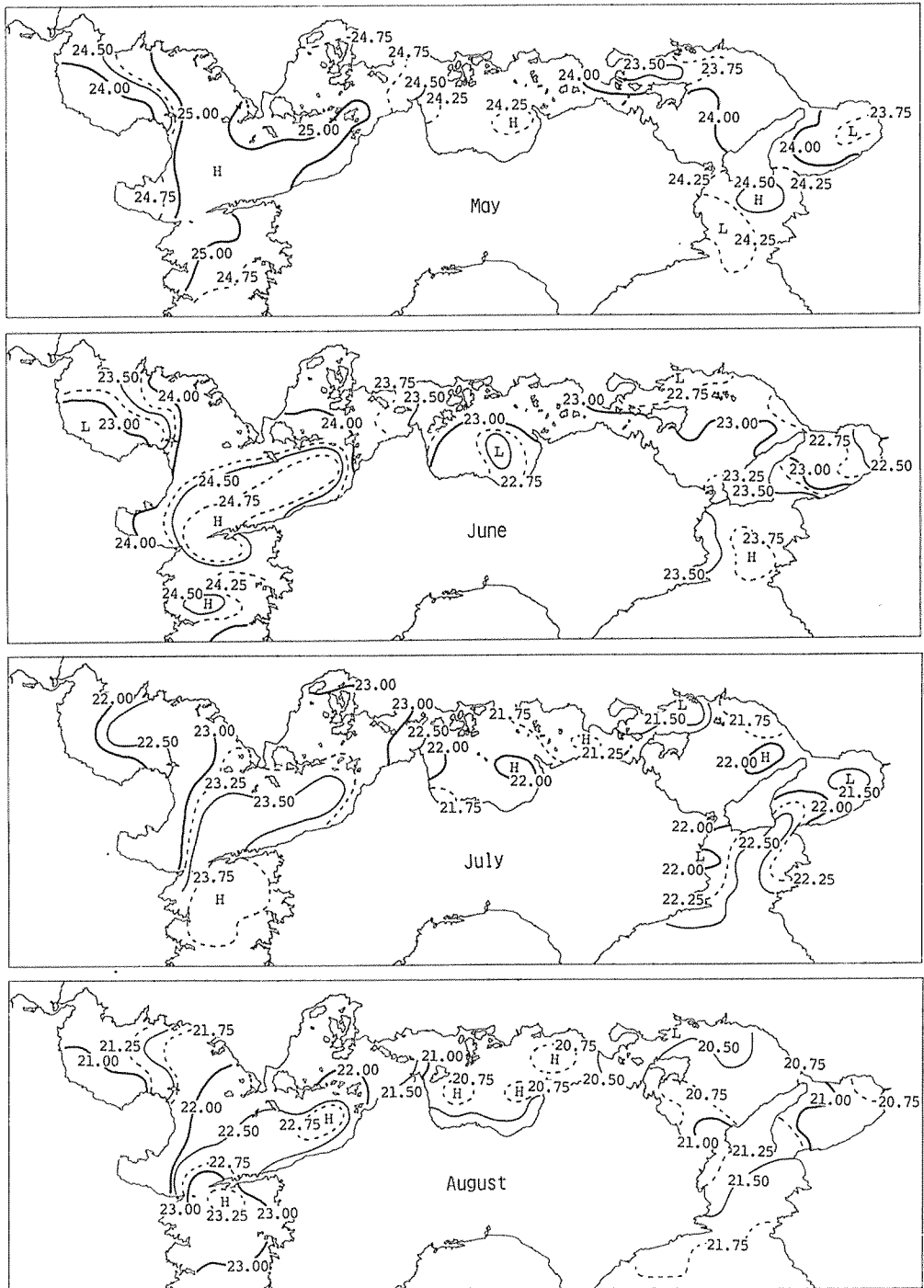


Fig. 16. Monthly mean density ( $\sigma_t$ ) at 10 m depth (g/l).

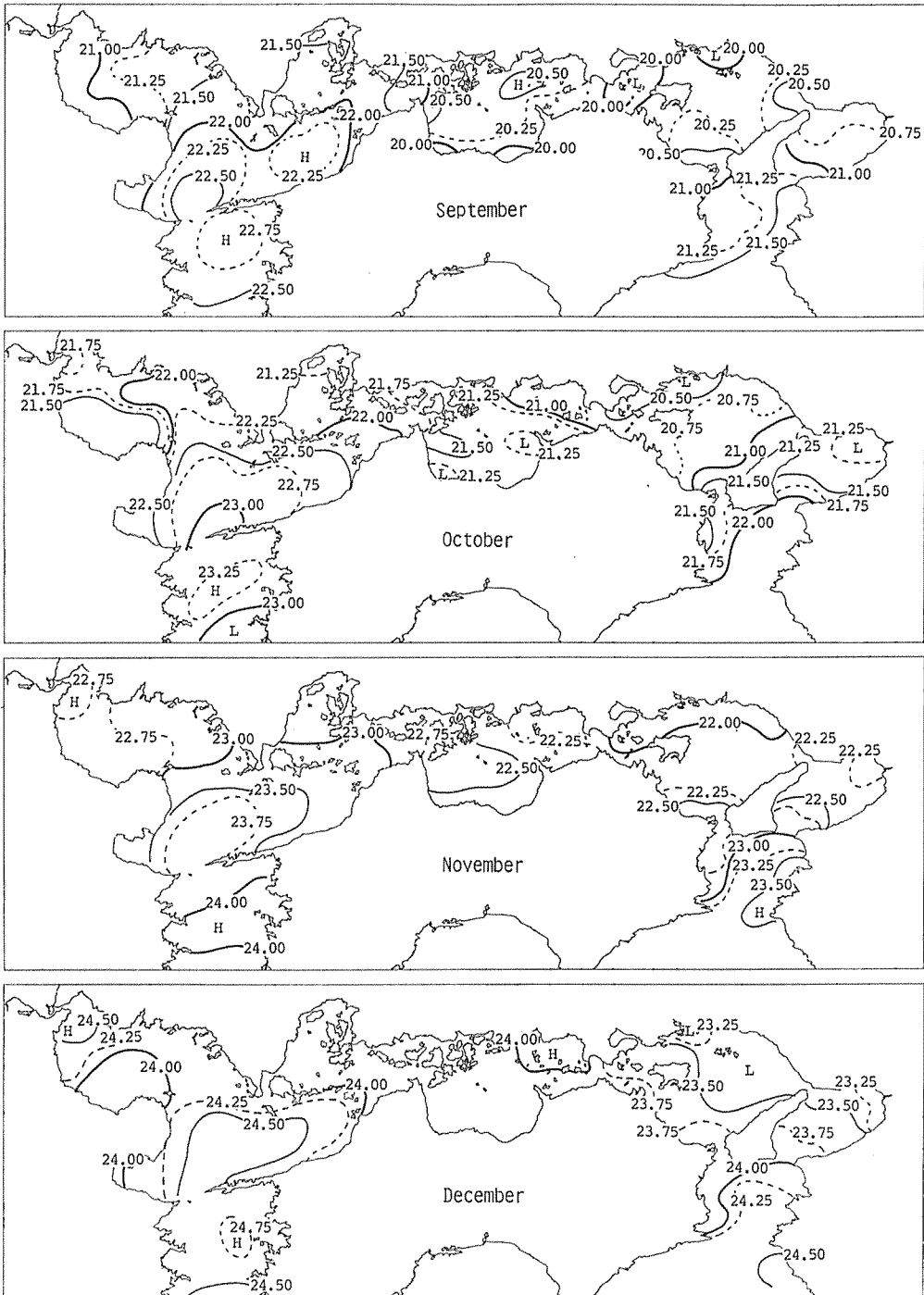


Fig. 16. Monthly mean density ( $\sigma_t$ ) at 10 m depth (g/l).

MS型……周防灘、安芸灘、紀伊水道にみられる変動型であり、HS型に比べて、塩分が低くなり、水温・塩分の年較差も大きい。この中でBタイプに属する海域は、周防灘、安芸灘がある。これらの海域は、河川水の流量が小さくなる9月頃から塩分は次第に増加するが、夏季6、7、8月のレベルまで塩分は回復しえないので、水温下降期の塩分は上昇期の塩分より低い。したがって、これらの海域では河川水の滞留時間が長いことを示唆している (Fig. 19-2)。

LS……年間を通じて最も塩分が低い。この変動型は備讃瀬戸、播磨灘、大阪湾にかけてみられる (Fig. 19-3, 4)。

紀伊水道から播磨灘西部にかけては、豊後水道、伊予灘と同じように5月より6月の塩分が高くなっている。これは海峡部での鉛直混合が盛んであり、下層の高塩分水と混合しているためであろう。

燧灘はMS-LS-B型を示す。塩分の季節変動型からみると、この海域では西部からの外海水の影響が弱くなり、この海域の東部海域との中間的特性を示している。

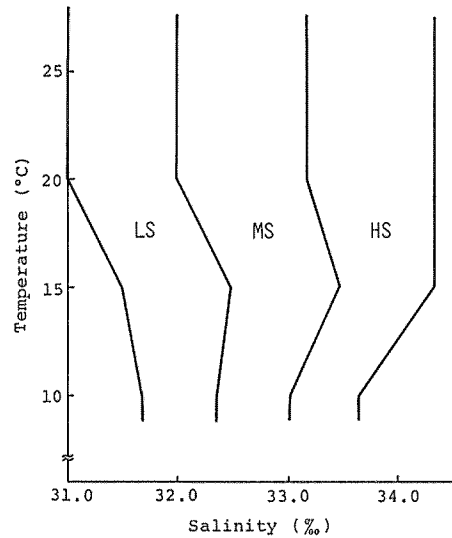


Fig. 17. The three water types defined by the monthly variation of temperature and salinity at 10 m depth.

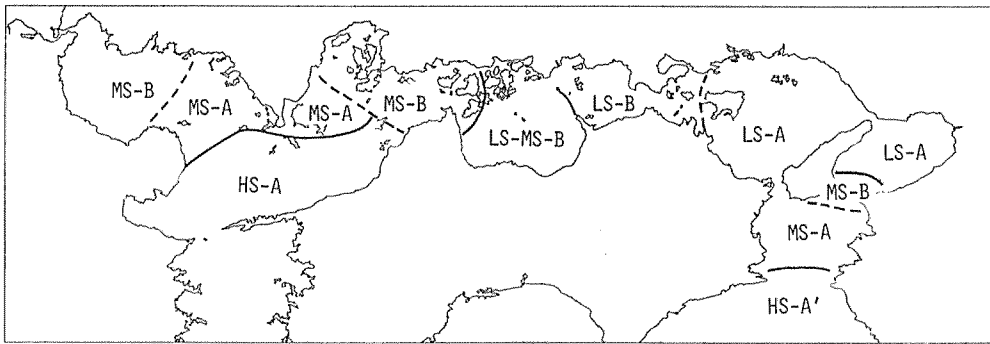


Fig. 18. Water types defined by the analysis of monthly variation of temperature and salinity at 10 m depth.

Fig. 18 に示されるように、水温・塩分の季節変動型から瀬戸内海の各灘の海況特性をいくつかの水塊に区分して考えることができる。大きくみると、西部から周防灘、豊後水道・伊予灘、安芸灘・燧灘 (備後灘)、備讃瀬戸、播磨灘・大阪湾、紀伊水道の6つに分けられることがわかる。

### 3. 考 察

瀬戸内海の水温の季節変化の海域的な特徴については、10 m 層を代表面とし、各月の水温分布の概要を述べ、季節変化を量的に把握するため調和解析を行った。その結果、水温の季節変化の特徴は、年平均値 ( $A_0$ )、年周期の振幅 ( $A_1$ )、年周期の遅角 ( $\alpha_1$ ) で表現できることが判明した。

したがって、ここではその定数を比較することによって水温の季節変化の海域的特性について考察する。

表面水温の年平均値 ( $A_0$ ) の水平分布 (Fig. 10) をみると、外海水の影響の強い豊後水道、紀伊水道を除くと、 $17.0\sim 18.5^\circ\text{C}$  の範囲で、その差は僅か  $1.5^\circ\text{C}$  で、水平的には水温差が小さいといえる。 $17^\circ\text{C}$  の低水温域は備讃瀬戸に形成されている。底層水温の年平均値は  $16\sim 17^\circ\text{C}$  で、水平的には水温差が小さいが、低水温域は、表面とは異なり、周防灘南東部、播磨灘西部海域に形成されている。水温の年周期の振幅 ( $A_1$ ) (Fig. 10) は外海水の影響が強い豊後水道と紀伊水道では  $6^\circ\text{C}$  以下で小さいが、この両海

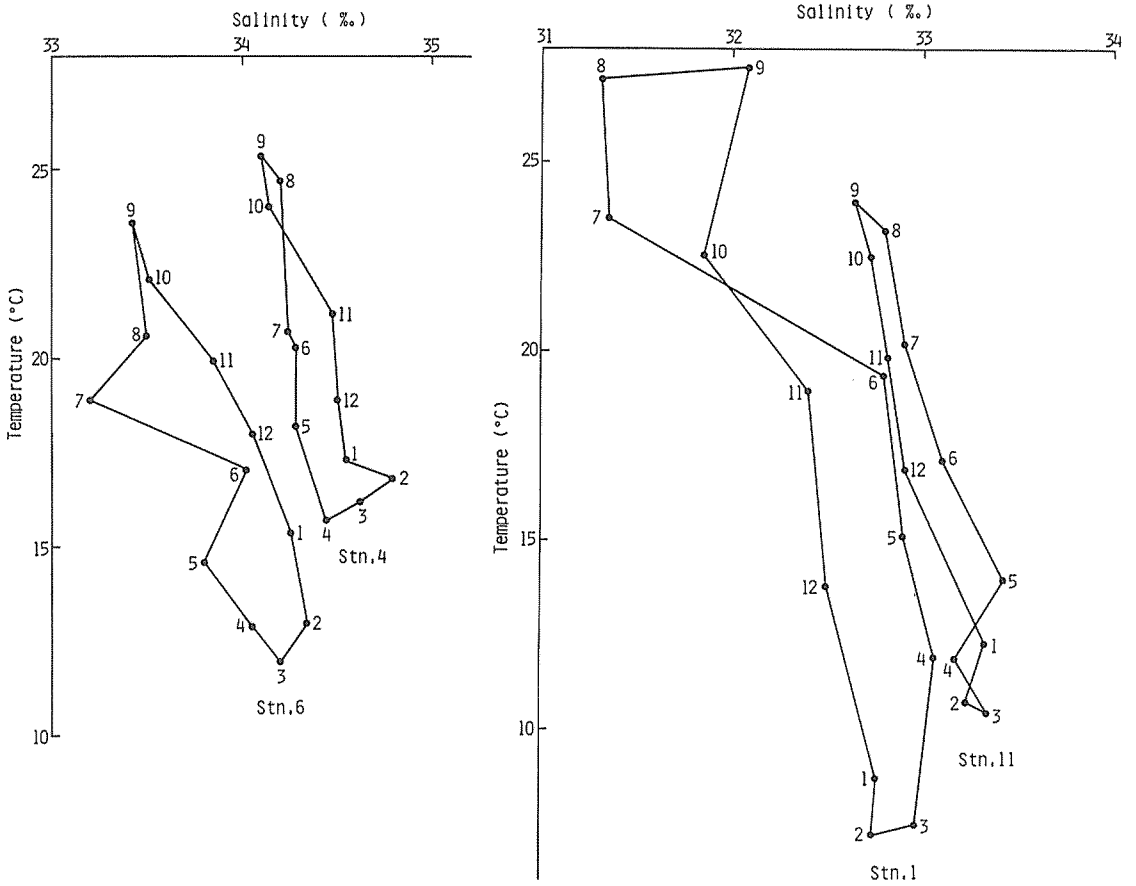


Fig. 19-1, 2. Monthly variation of temperature and salinity at 10 m depth of the stations shown in Fig. 14.

域を除くと、 $7^{\circ}\sim 9.5^{\circ}\text{C}$ の範囲にある。 $A_1$ の値で $9^{\circ}\text{C}$ の等量線は、水深20 mの等深線とはほぼ平行している。宇田ら(1933)の指摘にもあるように、 $A_1$ は水深と反比例の関係にあることを示している。年周期の遅角( $\alpha_1$ ) (Fig. 10)は $A_1$ の値と対応し、 $A_1$ の値が大きい海域では $\alpha_1$ は小さくなっている。表面と底層の水温の年平均値の差が $1^{\circ}\text{C}$ 以上の海域は、周防灘、広島湾、瀬灘南部、播磨灘西部にある。これらの海域はApp. Fig. 5に示すように夏季、成層が発達し、海水流動も弱い停滞域である。表面と底層の水温の年平均値の差が $0.5^{\circ}\text{C}$ 以下の海域は豊予海峡、来島海峡、備讃瀬戸、明石海峡、紀淡海峡付近にある。海峡付近では潮流が速く、上下層の海水混合が盛んなためと考えられる。したがって、成層が発達する6月から9月にかけては、海峡部は相対的に低温域となっている。

水温は基本的には海面における大気熱交換量と移流・拡散による熱フラックスおよび灘のもつ熱容量によってきまる。そこで、瀬戸内海を一次元水路と考え、豊後水道から紀伊水道までを8つの灘に区分し、各灘における水温の変動過程が季節的にどのように変化するかを検討した。

各灘ごとの水柱全体の水温の各月変化量を $\Delta T^{\circ}\text{C}/\text{month}$ とする。次に海面での各月における熱交換量を $H_L$ とし、海水柱の平均密度 $\bar{\rho}$ 、平均水深 $\bar{H}$ 、海水の比熱 $c_p$ とすると、海面過程による水柱全体の水温変化は $T_{ex} = H_L / c_p \bar{\rho} \bar{H}$ 、移流・拡散による水温変化は $T_{ad} = \Delta T - T_{ex}$ となる。各灘における移流・拡散による熱のフラックスは $T_{ad}$ に灘の容積 $V$ を掛けた値である。瀬戸内海の縦断面における積分平均水温の季節変化をFig. 20に、また、各灘における水温の各月変化量 $\Delta T$ 、海面過程による水温

の変化量  $T_{ex}$ , 移流・拡散による水温の変化量  $T_{ad}$ , 各灘間の移流・拡散による熱フラックスを Table 12 に示した。海面過程における年間の熱収支は、全域で負の値を示している。したがって、移流・拡散による熱フラックスは、外海から内海へ流入する。この流入量は外海と内海の温度差が最も大きくなる1月から2月で最大  $2.2 \times 10^{18} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{cm}^3/\text{month}$  となり、6月までは  $1.2 \times 10^{18} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{cm}^3/\text{month}$  を示している。8月から10月にかけては、内海の水温が外海のそれより高くなり、僅かに外海へ熱の流出がある。11月から12月にかけて再び外海からの熱の流入があるが、その量は1～6月の流入量の約1/2程度である。年間を通じてみると、外海から内海へ、移流・拡散による熱のフラックスがあり、豊後水道を通じての熱フラックスは紀伊水道のその約2.0倍である。

各灘ごとに水温の変動をもたらす海面過程と移流・拡散

過程の季節変化をみると (Table 13), 冬季, 10月から1月にかけて各灘とも、海面過程の効果が移流・拡散の効果に比べて大きい。この期間, 最低水温域は備讃瀬戸から播磨灘西部に形成される (Fig. 9)。これは、この海域の水深が浅いので、海面過程による水温の低下が他の海域より大きく、また、外海からの移流・拡散による熱フラックスが最も小さいことによると思われる。

一方、夏季には、外海に近い豊後水道、伊予灘、大阪湾、紀伊水道では移流・拡散の効果が海面過程の効果より大きいものに対して、内海部の備讃瀬戸、播磨灘では海面過程の効果が著しい。このことは、水深が浅い燧灘、備讃瀬戸、播磨灘西部に高温域が形成されることに対応している (Fig. 9)。

これまで、瀬戸内海の水温の季節変化については宇田ら (1933), 近藤 (1976), 今里ら (1978) の報告があるが、

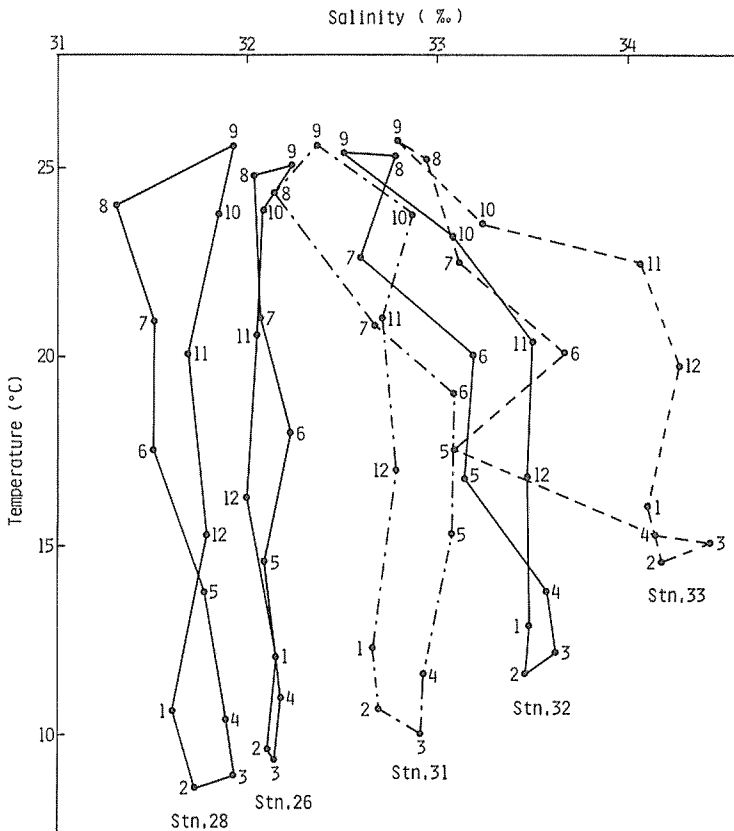


Fig. 19-3. Monthly variation of temperature and salinity at 10 m depth of the stations shown in Fig. 14.

それらはいずれも、水温の季節変化の概要を記述したにすぎず、その変動過程については十分に究明されていなかった。また、村上ら (1978) は数値シミュレーションから瀬間の熱フラックスの収支を計算している。この計算では、海面における熱収支を計算するとき、蒸発係数と海上風の推定に問題があり、熱フラックスの絶対値としての比較は難しいが、海面過程と移流・拡散による熱フラックスの相対的な大きさについては本研究の結果とほぼ一致している。

本研究では、以上に述べたように瀬戸内海の水温の季節変化とその海域的特性について、これまで定性的に述べられていたことを、ある程度、定量的に表現し、また、これに基づいて各灘における水温の季節変動の過程を明らかにすることができた。

一方、塩分の水平分布 (Fig. 13) をみると、相対的に

は明らかに東部が低く、西部が高い。内部においては本州側が四国側より低い。高塩分水は外海に近い豊後水道と伊予灘、紀伊水道紀伊半島よりに分布し、低塩分水は大阪湾奥、紀伊水道西部 (吉野川河口域)、播磨灘北部、広島湾奥部、周防灘西部海域に分布し、相対的な分布パターンは季節によって変化しない。宇田ら (1933) は灘の代表点における塩分と降水量との関係から、塩分は1か月前の降水量と負の相関があることを見出した。当時は河川の流量が殆んど測定されていないのでやむをえないが、塩分の変動をみるのであるから、灘へ流入する河川水の流量との関係を見出すべきである。今里ら (1978) は豊後水道と紀伊水道から流入した外海水が、各灘に流入する河川水によって、どれだけ稀釈されながら内海中央部へたどり着くかということで、塩分分布の状態が大局的に決まると説明しているが、外海水の交換については考慮されていない。また、山

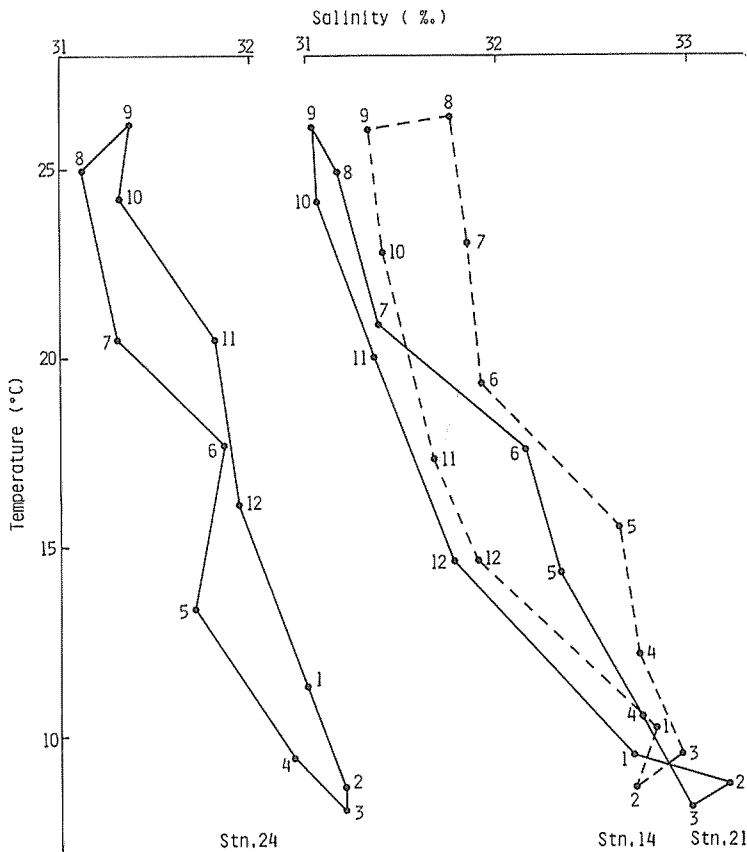


Fig. 19-4. Monthly variation of temperature and salinity at 10 m depth of the stations shown in Fig. 14.

辺 (1976) は塩素量分布に着目して、海域の海水交換、淡水の滞留度を塩素量と海水の保存式から求めているが、塩素量の分布から淡水の流れの方向を一意的に仮定し、備讃瀬戸、鳴門海峡、周防灘西部に壁を設定している点など、その推定には問題がある。一方、柳 (1982) は海峡部を一種のローパスフィルターと考え、瀬戸内海全域を10測点で代表させ、塩分の経年変化について解析し、2.8年の周期の変動が卓越していること、それが降水量の経年変動に起因していることを見出しているが、灘ごとの海域特性や季節変動の詳細については殆ど解析していない。

そこで、本研究では塩分と灘に流入する河川水の流量との関係について、タイムラグを考慮しながら重回帰分析を用いて、その統計的な特徴を明らかにしようとした。その

結果、灘のいくつかの定点の塩分と河川流量との重相関はいずれも1%の水準で有意であり (App. Table 1)、塩分は河川流量だけでも十分説明し得ることがわかった。また、各灘に流入する河川水がどれだけのタイムラグで塩分の変動に関係するか、両者の関係を A, B, C, D, E の5つの型に分類し (Table 11)、その水平分布 (Fig. 15) から、燧灘、安芸灘、周防灘では、河川水の3か月、2か月前の流量と塩分とが最も良く対応しており、河川水の滞留時間が長いこと、紀伊水道はA型に属し、宇田ら (1933) も指摘しているように河川水の滞留時間は短いことなどを明らかにした。ここで得られた河川水の滞留時間は、海域に流入した河川水の混合・交換の指標として注目される。

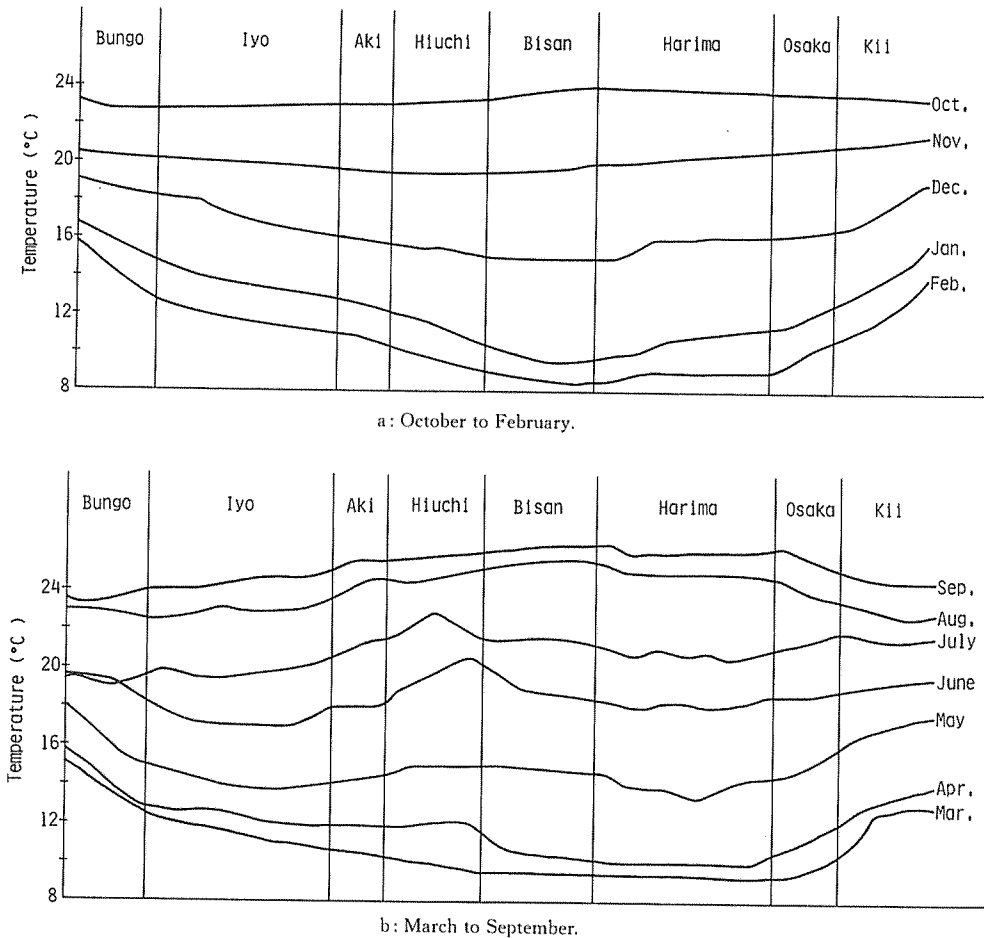


Fig. 20. Areal difference of monthly mean water column temperature in Seto Inland Sea.



Table 12. Seasonal change of heat budget in Seto Inland Sea with that of respective sectors.  
 $10^{15} \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{cm}^3 / \text{month}$

Sector	Bungo	Iyo	Aki	Hiuchi	Bisan	Harima	Osaka	kii
Jan. - Feb.	1470.7	835.8	505.2	379.8	94.6	369.4	487.4	685.4
	634.9	330.6	125.4	285.2	94.6	369.4	118.0	198.0
Feb. - Mar.	1363.8	787.9	314.1	218.0	48.2	209.2	310.6	607.9
	575.9	473.8	96.1	169.8	48.2	209.2	101.4	297.3
Mar. - Apr.	1172.3	783.4	287.2	203.1	33.4	205.4	330.1	606.2
	388.9	496.2	84.1	169.7	33.4	205.4	124.7	276.1
Apr. - May	862.0	454.7	105.5	75.4	5.6	136.3	250.8	451.7
	407.3	349.2	30.1	75.4	-5.6	141.9	114.5	200.9
May - June	872.6	445.3	100.4	80.5	62.1	62.3	190.5	357.6
	427.3	344.9	19.9	49.3	-30.9	124.3	128.3	167.1
June - July	447.0	426.8	109.6	71.3	17.0	70.4	136.7	282.8
	20.2	317.2	38.3	88.3	-34.0	87.4	66.3	146.1
July - Aug.	416.6	197.2	96.9	14.9	43.0	5.3	25.8	39.5
	219.4	294.1	-82.0	28.1	-48.3	10.6	20.5	13.7
Aug. - Sept.	-75.4	112.7	177.6	74.0	33.0	10.5	17.0	189.8
	37.3	64.9	-103.6	-41.0	-43.5	27.5	53.9	118.9



Table 13. Budget of heat flux in each sector.

	Flux of heat × 10 <sup>15</sup> °C·cm <sup>3</sup> /month		Bungo			Iyo			Aki			Hiuchi			Bisan		
	Bungo	Kii	△T	T <sub>ex</sub>	T <sub>ad</sub>	△T	T <sub>ex</sub>	T <sub>ad</sub>	△T	T <sub>ex</sub>	T <sub>ad</sub>	△T	T <sub>ex</sub>	T <sub>ad</sub>	△T	T <sub>ex</sub>	T <sub>ad</sub>
	Jan.-Feb.	1679.49	653.84	-1.40	-5.04	3.64	-1.80	-4.00	2.20	-1.60	-4.27	2.67	-1.64	-9.54	7.90	-1.00	-8.64
Feb.-Mar.	1318.18	631.74	-0.56	-3.08	2.52	-0.37	-2.63	2.26	-0.35	-2.54	2.19	0.12	-5.02	5.14	0.68	-3.72	4.40
Mar.-Apr.	1310.61	450.62	0.52	-1.89	2.41	0.93	-1.48	2.41	1.43	-0.77	2.20	1.90	-2.56	4.46	1.17	0.00	1.17
Apr.-May	1096.73	474.77	2.20	-0.20	2.40	1.97	-0.06	2.03	2.33	1.32	1.01	3.07	1.00	2.07	4.38	4.47	-0.09
May-June	1149.47	362.06	3.04	0.29	2.75	3.33	1.34	1.99	3.82	2.92	0.90	4.52	1.84	2.68	4.30	5.82	-1.52
June-July	150.31	209.15	0.00	0.83	-0.83	2.38	1.25	1.13	2.97	2.44	0.53	2.50	0.88	1.62	2.43	5.84	-3.41
July-Aug.	441.54	188.14	3.47	1.62	1.85	3.18	1.64	1.54	3.13	4.40	-1.27	2.84	2.66	0.18	4.05	7.66	-3.61
Aug.-Sept.	-147.73	101.94	0.78	0.82	-0.04	1.48	1.16	0.32	1.30	3.61	-2.31	1.02	2.63	-1.61	0.78	5.01	-4.23
Sept.-Oct.	-429.76	-31.24	-0.62	-0.22	-0.40	-1.50	-0.48	-1.02	-2.27	0.36	-2.63	-2.50	-0.79	-1.71	-2.50	-1.90	-0.60
Oct.-Nov.	0.00	168.78	-2.66	-1.97	-0.69	-3.05	-2.64	-0.41	-3.50	-3.16	-0.34	-3.68	-5.89	2.21	-4.02	-6.95	2.93
Nov.-Dec.	471.76	176.11	-1.62	-2.72	1.10	-2.75	-3.38	0.63	-3.73	-4.08	0.35	-4.12	-6.56	2.44	-4.74	-8.15	3.41
Dec.-Jan.	643.29	221.66	-2.90	-4.09	1.19	-3.62	-4.07	0.45	-3.47	-4.89	1.42	-4.10	-9.74	5.64	-5.20	-9.75	4.55

	Flux of heat × 10 <sup>15</sup> °C·cm <sup>3</sup> /month		Harima			Osaka			Kii		
	Bungo	Kii	△T	T <sub>ex</sub>	T <sub>ad</sub>	△T	T <sub>ex</sub>	T <sub>ad</sub>	△T	T <sub>ex</sub>	T <sub>ad</sub>
	Jan.-Feb.	1679.49	653.84	-1.77	-5.79	4.02	-2.08	-4.80	2.72	-1.87	-3.98
Feb.-Mar.	1318.18	631.74	0.37	-2.50	2.87	-0.12	-2.95	2.83	-0.16	-3.13	2.97
Mar.-Apr.	1310.61	450.62	0.74	-0.47	1.21	1.53	-1.38	2.91	1.02	-2.07	3.09
Apr.-May	1096.73	474.77	4.00	2.14	1.86	4.00	0.98	3.02	2.88	-0.21	3.09
May-June	1149.47	362.06	4.28	2.43	1.85	3.70	0.81	2.89	2.38	0.55	1.83
June-July	150.31	209.15	2.65	2.38	0.27	2.77	1.16	1.61	2.36	0.80	1.56
July-Aug.	441.54	188.14	4.10	3.29	0.81	2.60	2.11	0.49	1.35	1.71	-0.36
Aug.-Sept.	-147.73	101.94	1.08	1.48	-0.40	1.73	0.36	1.37	1.73	0.50	1.23
Sept.-Oct.	-429.76	-31.24	-2.18	-1.77	-0.41	-1.93	-3.29	1.36	-1.10	-1.34	0.24
Oct.-Nov.	0.00	168.78	-3.68	-4.61	0.93	-3.00	-5.37	2.37	-2.45	-3.60	1.15
Nov.-Dec.	471.76	176.11	-4.58	-5.29	0.71	-4.43	-5.48	1.05	-3.45	-3.99	0.54
Dec.-Jan.	643.29	221.66	-5.20	-5.88	0.68	-4.47	-6.28	1.81	-3.73	-4.37	0.64

以上、生物生産に基本的に重要な環境要因として水温、塩分、密度のそれぞれの季節変化の海域的特徴と、その変動機構を明らかにした。しかしながら、生物生産の環境という見地からみると、水温・塩分を組にした月変化から、その海域的特徴を明らかにすることは重要なことである。各灘における水温・塩分の月変化 (Fig. 19) をみると、それらの変動の型は、塩分濃度と、水温上昇期、水温下降期における塩分の変動パターンに基づいて、Fig. 17 に示したように分類することができる。この分類結果の海域的な分布を Fig. 18 に示したが、大局的にみると(1)周防灘、(2)豊後水道・伊予灘、(3)安芸灘・燧灘 (備後灘)、(4)備讃瀬戸、(5)播磨灘・大阪湾、(6)紀伊水道の6つの水塊に区分

できた。このように、海況の季節変化の海域的特徴を表わす水塊は、塩分の変動パターンに基づいて区分された。したがって、瀬戸内海の海況の季節変化は、基本的には塩分の季節変化によって規定される。

### Ⅲ. 既存資料に基づく漁況の分析 と漁況予測の試み

#### Ⅲ・1 資料とその分析方法

漁況の変動は、対象生物の生活と、漁業に関する社会経済的な情勢を背景とした人間活動のさまざまな要因によって生ずる現象である。しかし、社会経済的な要因は計数し

にくいので、漁場の海象、気象要因だけをを用いることによって、漁況変動をどの程度表示できるかを知る必要がある。そこで、本研究は瀬戸内海における灘別、月別の対象魚種の漁獲量の変動を、海象、気象要因から予測し、それに基づいて漁況と海況との具体的な関連について検討した。

瀬戸内海の灘別、月別、魚種別漁獲量は Fig. 1 に示した灘区分に従い、属人統計量として1969年から1977年までの9年間だけ発行されている（農林省中国四国農政局、1971～1979）。したがって、ここでいう灘別漁獲量とは、厳密には当該海域のみの漁獲量ではなく、当該海域の沿岸に居住する漁業経営体による漁獲量である。しかし、灘の範囲でみれば、両者は殆んど等しい（南西水研1977）。そこで、本研究では灘別漁獲量を当該海域の漁獲量として用いた。また、気象要素については気象月報（気象庁1968～'77）、河川流量については流量年表（建設省河川局1968～'77）を資料として用いた。

漁況予測の対象魚種は、できるだけ単一の専用漁法、または2～3種の漁法によって漁獲されるものを選んだ。具体的には、カタクチイワシ、イカナゴ、ボラ *Mugil cephalus*、スズキ、アジ類 Carangidae、コウイカ、タコ類 Octapoda の7種を対象にとりあげた。これらの魚種の資源特性（産卵期、入り込み種または固有種）と主な漁法

はそれぞれ Table 14 に示すとおりである。

漁況変動を表示するための独立変数を設定するには、まず、漁況予測システムを考えなければならない。小川（1980）は、山口県日本海沿岸におけるカタクチイワシ大・中型群およびカタクチシラスの漁況変動に作用する物理的環境の評価のためのフローチャートを呈示している。このフローチャートは対象魚種間の捕食・被捕食の関係、それに伴う沖合漁場における中・大型群の滞留または南下の条件を考えた作業仮説である。本研究で用いたフローチャートは、基本的には小川が示したものと同じ考え方に基づくものであるが、対象魚種の生態的特性、漁場、漁法によってフローチャートの各項目はそれぞれ異なる。例えば、外海から内海へ産卵のため回遊してくる産卵入り込み型の魚についての漁況予測のフローチャートは、Fig. 21 のように示される。この図では、対象魚種の親魚は外海で生活しており、産卵のため瀬戸内海に回遊するとき、まず、黒潮の流況がその回遊の成否に関連することになる。その親魚が瀬戸内海への回遊に成功した場合には、次に回遊した親魚は餌が豊富であるか、環境要因が産卵に適しているか、産卵後、卵・稚仔の輸送、拡散に流況（潮流、恒流、吹送流）が有効に作用しているか、さらに、稚仔の生育条件としての環境が適しているか等の条件が漁況に大きく関

Table 14. Characteristic of species used for landing prediction.

	Spawning season	Fishing method	Ecological characteristic
Anchovy	spring (Apr. - June) summer (July - Aug.) autumn (Sept. - Dec.)	boat seine roundhaul net	young stage immigrate from open sea
Sand lance	mid Dec. - early Feb.	boat seine lift net	endemic species
Common sea bass	Nov. - Jan.	beach seine pound net angling	endemic species
Horse mackerel	Feb. - June	lift net, angling roundhaul net	young stage migration
Cuttlefish	western area: mid Apr. - May eastern area: May - June	dragged gear	spawning migration
Octopus	late Aug. - Oct.	dragged gear pot	endemic species
Grey mullet	coastal area of Kuroshio region: Oct. - Nov.	encircling- gillnet pound net	young stage immigrate from open sea

与してくると考えられる。このようなフローチャートに含まれる種々の要素の中から、1) 観測 (測定) が容易であり、その結果を入手しやすいもの、2) 従属変数の変動をよく説明できるもの、を独立変数として選ぶことが必要である。一方、漁況予測の対象としてとりあげた魚種の漁獲量の季節変化には、Fig. 22 に示されるように、年1回のピーク、年2回のピークをもつもの、周年漁獲されるものと3つのタイプが認められる。このような漁獲の変動は、魚自体の生態的リズム (回遊、索餌、産卵) によるものと、環境要因の季節変化によるものの両者が考えられる。前者を表わすために環境と無関係に月による漁獲量の差を考え、これを独立変数として扱う。すなわち、ある月の漁獲を基

準として、それ以外の月は  $a_i$  だけ多いか、あるいは少ないと考える。この  $a_i$  を表現するため  $a_i x$  を使い、 $x$  を1または0とする手法を用いる。この  $x$  をダミー変数という。もし、1) 月による漁獲の差が、環境要因の影響よりも明らかであれば、漁獲は上述の  $a_i$  だけで表わされる。2) 月による漁獲量の差をとり除いた後、同じ月の環境要因の年による差があり、それが漁獲に影響をおよぼすとすれば、その環境要因は独立変数として、漁獲量の予測式の中に用いられる。すなわち、3) 月による漁獲量の差が明らかに環境要因の影響によるものとするれば、あらかじめ考えていた月による漁獲の差を表わすダミー変数は独立変数として用いられず、漁獲変動は環境要因だけを独立変数とした重回帰式で表わされる。この考え方に従って、月による差を表わすダミー変数と毎月の環境要因の両者を用いて漁獲変動の予測を行った。Table 15 には、これまでに述べた思考過程を通して、それぞれの魚種に対して予測式の中に選択される可能性のある独立変数を一括して示した。それぞれの独立変数について漁獲月の2か月前、1か月前の状態をそれぞれ変数としてとり、これらの変数からできるだけ少数の変数を変数選択法によって選び、漁獲量の予測を行った。なお、独立変数のデータ処理については次のような方法をとった。

各灘の気象要素、河川流量、水温、塩分、透明度については Table 16 に示す定点の観測値を用いた。

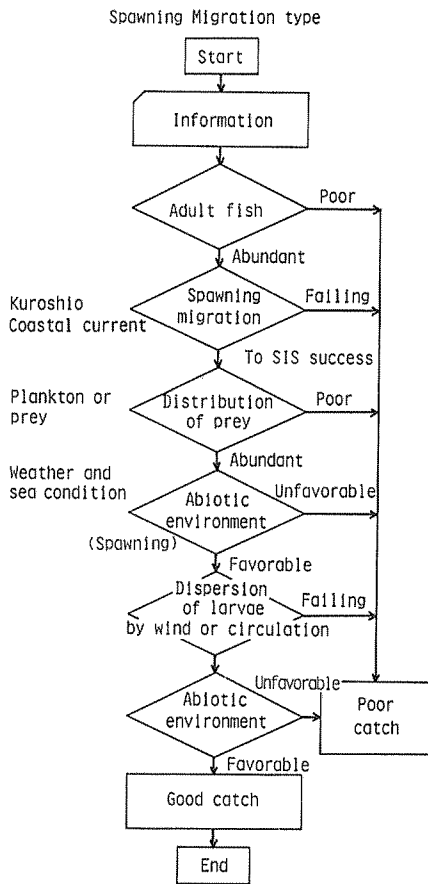


Fig. 21. Flow chart of the system for catch prediction. (reformed from OGAWA 1980)  
SIS: Seto Inland Sea

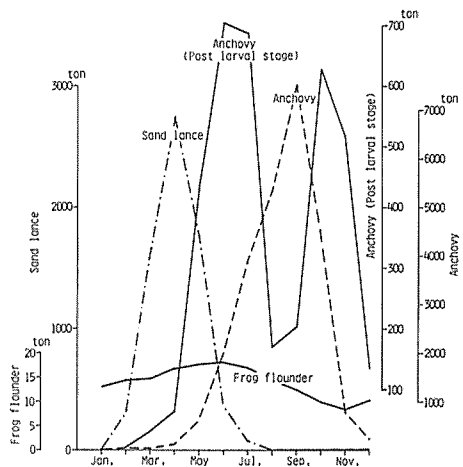


Fig. 22. Seasonal variation of catch (tons/month) of several species in Osaka Bay.



Table 15. continue

6. Cuttlefish (Oct. - Dec.) $N_{max} = 27$																							
Osaka	26	0.856**	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+									
Harima	22	0.759*	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+									
7. Octopus (June - Aug.) $N_{max} = 27$																							
Osaka	27	0.736**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+									
Iyo	19	0.887**	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
Suo	27	0.811**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-									
8. Gray mullet (Jan. - Mar.) $N_{max} = 27$																							
Harima	18	0.927**	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-									
Iyo	23	0.675*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+									
9. Gray mullet (Apr. - June.) $N_{max} = 27$																							
Area	$N$	$R$	$D-1$	$D-2$	$AT02$	$PR02$	$HS02$	$WN02$	$WE02$	$WT02$	$S02$	$Q02$	$TR02$	$AT01$	$PR01$	$HS01$	$WN01$	$WE01$	$WT01$	$S01$	$Q01$	$TR01$	
Harima	19	0.738*	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Bisan	19	0.906**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hiuchi	20	0.806**	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Aki	22	0.893**	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Iyo	21	0.814**	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
10. Gray mullet (Aug. - Oct.) $N_{max} = 27$																							
Harima	18	0.847*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bisan	23	0.861**	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Hiuchi	23	0.850**	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Aki	24	0.783**	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Iyo	22	0.792**	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
11. Gray mullet (Oct. - Dec.) $N_{max} = 27$																							
Harima	20	0.912**	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Iyo	24	0.780**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

XX01 : 1 month before the salinity observation, XX02 : 2 month before the salinity observation

R : Multiple regression coefficient

N : Number of data

Table 16. Station list of data source of independent variables for catch prediction.

Sector	River	Observer	Oceanographical Stations
Kii	Yoshino	Tokushima	Tokushima Stn. 5
Osaka	Yodo	Osaka	Osaka Stn. 7
Harima	Ibo	Himeji*	Hyogo Stn. 15
Bisan	Takahashi	Takamatsu	Kagawa Stn. 23
Hiuchi	Ashida	Tadotsu**	Kagawa Stn. 15
Aki	Ota	Matsuyama	Hiroshima Stn. 2
Iyo	Ono	Matsuyama	Ehime Stn. 6
Suo	Yamakuni	Shimonoseki	Yamaguchi Stn. 7

\*, \*\* : For solar radiation  $H_s$ , the records at Takamatsu were used.

これらの独立変数の中で、季節変動の大きい気温と日射量については、各月平均値からの偏差を独立変数とした。また風については、月平均風速と最多風向のデータを基に、北、東成分のそれぞれの風速を求め、これを用いた。

水温については、1) 各月平均値から調和定数を求め、この定数を用いて各月15日の値に換算する。2) 各月15日の値から各月平均値、標準偏差を計算、3) 各月平均値からの偏差を標準偏差で除して規準化した。

このようにして設定された独立変数は、必ずしも、全部が対象魚種の漁獲量の変動と関連するかどうかは不明である。したがって、これらの独立変数の中から、できるだけ統計的に効率よく漁獲量の変動を説明できる変数を選んで、これらの変数による重回帰式を用い、漁獲量の子測を試みた。

### III・2 分析結果

#### 1. カタクチイワシ (夏~秋)

資料および方法の項での説明を補うため、ここでは、まず、大阪湾で主として巾着網(現地では旧来からの名称を引きついであくり網と呼んでいる)、船びき網によって漁獲されるカタクチイワシの7、8、9、10月の漁獲量の予測について、変数選択法による重回帰式の計算過程を述べる。

月別漁獲量  $y$  の変動に関与する可能性のある独立変数  $x_1, x_2, \dots, x_{23}$  を次のように定める。すなわち、 $x_1 \sim x_3$  はさきに説明したように月による変化を表わすダミー変数とし、8月の漁獲量を基準と考え、7月は  $x_1 = 1, x_2 = x_3 = 0$ 、8月は  $x_1 = x_2 = x_3 = 0$ 、9月は  $x_2 = 1, x_1 = x_3 = 0$ 、10月は  $x_1 = x_2 = 0, x_3 = 1$  とする。 $x_4$  は5月のシラス漁獲量、 $x_5$  は6月のシラス漁獲量、 $x_6, x_7$  は5月、6月の気温の月偏差、 $x_8, x_9$  は5月、6月の降水量、 $x_{10}, x_{11}$  は5月、6月の日射量、 $x_{12}, x_{13}$  は5月、6月の

河川流量、 $x_{14}, x_{15}$  は5月、6月の水温の月偏差、 $x_{16}, x_{17}$  は5月、6月の塩分、 $x_{18}, x_{19}$  は5、6月の透明度、 $x_{20}, x_{21}$  は5、6月の風の北成分、 $x_{22}, x_{23}$  は風の東成分とした。

$x_1$  から  $x_{23}$  までの23個の独立変数の各々の回帰によって除去できる  $y$  の変動を調べると、 $x_2$  (9月) によって除去できる  $y$  の変動が最も大きく、この独立変数を用いるだけで、相関係数  $R$  は0.466となり、1%の水準で有意とみなせる次の回帰式が得られる。

$$y = 4636.3 + 3011.5x_2 \dots \dots \dots (16)$$

この式から8月の漁獲量に比べて9月の漁獲量が3011.5トン多いことがわかる。独立変数としていずれか1つを用いるとすれば  $x_2$  を選択することになる。次に、残りの独立変数22個の中から、さらに1個を選ぶとすれば、その選び方は22通りあるが、その各々の回帰によって除去できる  $y$  の変動を調べると、 $x_{16}$  (5月の塩分) を加えることによって、除去できる  $y$  の変動が最大となり、これら2つの独立変数を用いた式は

$$y = -63999.1 + 3011.5x_2 + 2100.5x_{16} \dots \dots \dots (17)$$

となる。このときの重相関係数  $R$  は0.541で、これは1%の水準で有意とみなせる。さらに、独立変数21個の中から、1個選ぶとすれば、 $x_9$  (6月の降水量) となり、これら3つの独立変数を用いた式は

$$y = -102666.1 + 3011.5x_2 + 3349.9x_{16} - 1.086x_9 \dots \dots (18)$$

となり、重相関係数  $R$  は0.574で、1%の水準で有意とみなせる。

このようにして、 $x_1$  から  $x_{23}$  の独立変数を用いた重回帰式を求めていくと、重相関係数  $R$  は0.466から0.667ま



で増加するが、その増加率は小さくなる。そこで、用いる独立変数の数の割に最も実用的で有効と考えられる予測式を求める方法を考えてみる。漁獲量の資料として、ここではⅢ・1で述べたように9年間の資料を用い、3～4か月間の漁獲量の予測をしようとしている。したがって、予測式を求めるための全資料数は36～27組であるが、中には欠測もあるので実際の資料数は36～20組程度である。これらの資料を用いて漁獲量を予測する場合、1) 統計的には5%の水準で有意とみなせること、2) 漁獲変動をより忠実に表現するためには、重相関係数として、資料数20のとき  $R=0.70$  以上、35のとき  $R=0.55$  以上でなければならない、3) 実用性を考慮し、独立変数の数は多すぎないことなどを勘案すると、独立変数の数は4～5個となる。

さきに示した大阪湾におけるカタクチイワシに関する計算例では、独立変数を6個用いた式が得られた。

$$y = -107814.6 + 2642.3x_2 + 3510.7x_{16} - 0.94489x_9 - 1107.4x_1 - 8.5726x_{10} - 1138.2x_3 \dots\dots\dots(19)$$

このときの重相関係数は  $R=0.631$  で、5%の水準で有意である。なお、この式における変数は式に取入れられた順序に並べてある。

以上のことから、大阪湾における7、8、9、10月のカタクチイワシの漁獲量は、月ごとの差を表わすダミー変数 ( $x_1, x_2, x_3$ ) と、5月の塩分 ( $x_{16}$ )、日射量 ( $x_{10}$ )、6月の降水量 ( $x_9$ ) によって、5%の水準で有意な予測ができることがわかった。さらに、1968年から'76年までの資料を用いて予測式を求め、この期間に関する漁獲量の実測値と、この式による計算値をFig.23-1に示した。この手法による漁況予測の精度を示すため、その式の各項に'77年の実測値を入れて求めた'77年の漁獲量の予測値と実測漁獲量をつけ加えた。これらはいずれも5%の水準で有意であった。このことから、大阪湾におけるカタクチイワシについては、少なくともその年の5月の塩分、日射量、6月の降水量の実測値に基づいて、秋漁期7、8、9、10月の漁獲の量的予測が可能であるといえる。

Table 15には瀬戸内海の他の海域について行った同様の解析結果をあわせて示したが、以上に述べたように大阪湾では5%の水準で、播磨灘、安芸灘、伊予灘では1%の水準でカタクチイワシ漁獲量の予測は有意であった。カタクチイワシの漁獲量は一般に月による変動が大きく、東部の播磨灘では8月に、大阪湾では9月に漁獲のピークが認められる。安芸灘では月による漁獲量の差は小さいが、西部の伊予灘では月による漁獲量の変動が大きく、東部よ

り1か月遅れて10月に漁獲量のピークが認められる。この月による漁獲量の差をダミー変数によって除くと、大阪湾では、6月の降水量、5月の日射量、5月の塩分が、播磨灘では6月の気温、6月の塩分、透明度が漁獲量の予測に

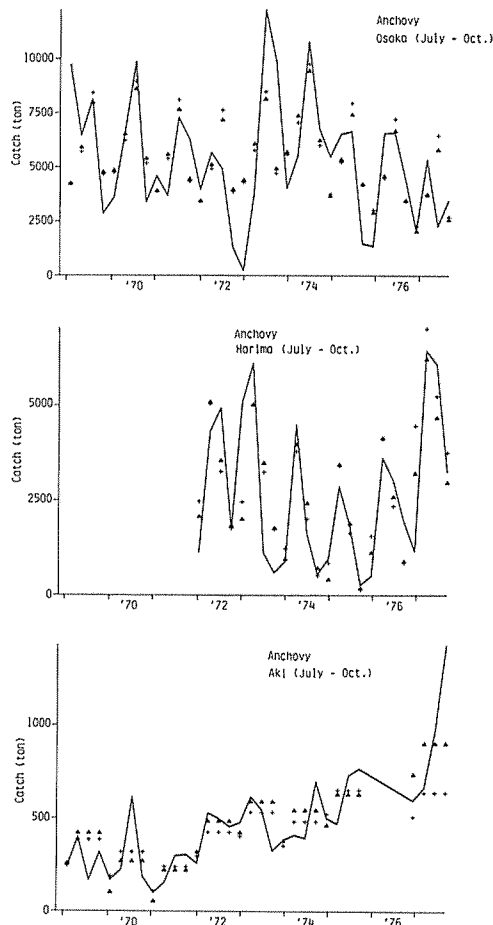


Fig. 23-1. Prediction of monthly catch (tons) by species using multiple linear regression equation.

line: actual catch recorded  
 + estimated by equation 2  
 △ estimated by equation 1  
 equation 1.....estimated using the data throughout the years under consideration (the first to the  $n$ -th year)  
 equation 2.....estimated from the data of the first to the  $(n-1)$ -th year (for prediction of catch in the  $n$ -th year)

用いられている。安芸灘では他の海域と違って、ダミー変数以外の独立変数が多く用いられる。それらの独立変数は、気温、水温、塩分、風である。伊予灘では、独立変数として、5月の水温、6月の気温、日射量があげられる。

2. イカナゴ

イカナゴの漁獲量については、浜田 (1966-a, b, c), 土井 (1971) によってその予測が試みられており、実用的にはこれらも充分利用できると思われる。すなわち、浜田は、親魚の漁獲量、親魚のうちの1年魚の占める割合、産卵期前後の海象・気象 (水温、塩素量、偏西風の吹いた日数) のそれぞれと当才魚の漁獲量とは、いずれも相関が高いことを報告しており、土井はこれらの要因について主成分分析法による当才魚の漁獲の量的予測を試みた。本研究では、これらの結果と重回帰分析による予測とを比較するため、土井 (1971) が用いたものと同じ資料について重回帰式を求めてみた。漁獲資料は1960年から1969年までのもので、従属変数  $y$  (トン) は4月から6月までの当才魚の漁獲量である。独立変数  $x_1$  はその年の1, 2月の水温 ( $^{\circ}\text{C}$ )、 $x_2$  は10月~12月の産卵親魚の漁獲量 (トン)、 $x_3$  は産卵親魚のうち当才魚の占める割合 (%),  $x_4$  は播磨灘1~3月の塩素量 (%),  $x_5$  は産卵盛期20日間 (2月上旬) に偏西風の吹いた日数、 $x_6$  は稚仔分布面積 ( $\text{km}^2$ ) とした。

この場合には、漁獲量の予測式に用いられる可能性のある独立変数は6個である。このように独立変数の数が少ないときには、予測式の中に用いられる最も有効な変数の組を選出する方法 (最良選択法) が適している。この方法による計算過程の概要を述べる。 $x_1$  から  $x_6$  までの6個の独立変数の各々の回帰によって除去できる  $y$  の変動を調べると、 $x_6$  (稚仔分布面積) によって除去できる  $y$  の変動が最も大きく、この独立変数1つを用いるだけで相関係数  $R$  は0.906であり、1%の水準で有意とみなせる次の回帰式が得られる。

$$y = 904.2 + 8.4591x_6 \dots\dots\dots(20)$$

次に、上述の6個の独立変数からいずれか2個ずつ選ぶ。この選び方は ${}_6C_2 = 15$ 通りあり、その各々の回帰によって除去できる  $y$  の変動を調べると、 $x_1$  と  $x_6$  の組合せによって除去できる変動が最大となる。これら2つの独立変数を用いた式は

$$y = -386220.2 + 21905.0x_1 + 6.7439x_6 \dots\dots\dots(21)$$

となり、重相関係数  $R$  は0.9762で、1%の水準で有意と

みなせる。

このようにして、独立変数を1から6個用いた最適重回帰式を求めていくと、重相関係数  $R$  は0.9059から0.9913まで、独立変数を用いる数によって増加する。しかし、その増加率は次第に小さくなる。そこで、独立変数の数の割に有効と考えられる回帰式を得るため、その効率を示す尺度としてAICという係数 (大崎紘一ほか, 1970) を用いた。この係数が小さいほど変数群の回帰に対する効率が高いとみなせるので、AICが極小になる独立変数の数を選択すると、このイカナゴの例では4個の独立変数で十分であり、最適回帰式として次式が得られた。

$$y = -342950.3 + 3.73705x_2 - 79.7537x_3 + 19513.7x_4 + 7.5442x_6 \dots\dots\dots(22)$$

このときの重相関係数  $R$  は0.9912で、1%の水準で有意である。この予測式を用い、1970年の  $x_2, x_3, x_4, x_6$  の値から当才魚の漁獲量を推定すると、実測値3.2万トンに対し、予測値2.8万トンとなり、ほぼ一致する (Fig. 23-2)。

3. その他の魚種

その他の魚種の漁獲量予測では、漁獲対象魚の年令幅が、カクチイワシ、イカナゴと異なり、数年にわたっているため、資料と方法の項で述べたように、独立変数を漁獲月の2か月前、1か月前の海・気象要因として、Table 15のように設定し、前進選択法によって少数個の独立変数を選択し、漁獲量を予測した。予測式に用いられた独立変数とその偏回帰係数を一括してApp. Table 2に示した (ただし、資料数が少ないものについては省略した)。Table 15に示されるように、ここで得られた回帰式の大部分は有意とみなせる。以下、各魚種ごとに結果の概要を述べる。

スズキ：春から夏にかけて漁獲が多いが、年々の漁獲変動は小さい。漁獲量の予測はFig. 23-2, 3, 4に示したように、全期間の資料を用いたもの、および1年前 (1976) までの資料から求めた回帰式に、'77の独立変数の値を代入して予測したものなどであるが、いずれもかなり良く適合しているといえる。

アジ類：7月から9月にかけての漁獲量の予測結果をFig. 23-4, 5, 6に示した。漁獲量の変動は安芸灘、周防灘、伊予灘では小さいが、紀伊水道、大阪湾では大きい。大阪湾では、漁獲量と塩分との相関が高く、独立変数の中でも塩分が第1番目に選択されている。1969, '74の漁獲のピークには高塩分の影響が大きかったと考えられる。

コウイカ：10月から12月にかけての漁獲量の予測をFig.

23-6に示した。大阪湾では11月より12月の漁獲量が平均24トン多い。1969年の好漁には、2か月前の水温が1~2℃低く、1か月前の日射量が低いことが影響していると推察される。また、1974年の漁獲量の低下には、2か月前の降水量、1か月前の降水量が多いのが影響している。播磨灘では2か月前、1か月前の塩分が漁獲に大きく影響している。

タコ：6月から8月にかけての漁獲量の予測結果をFig.

23-7に示した。大阪湾での漁獲は7月が6月、8月よりも多いが、この月による漁獲量の差と漁獲の2か月前の透明度、1か月前の日射量とが漁獲量の変動に大きく寄与している。また、伊予灘では、2か月前の降水量、風の北、東成分、1か月前の気温などが漁獲量に影響している。風の北、東の2成分による漁獲への影響がプラスになった時、漁獲量は大きくなっている。一方、周防灘では、2か月前の気温、降水量、風の東成分、1か月前の風の東成分と塩

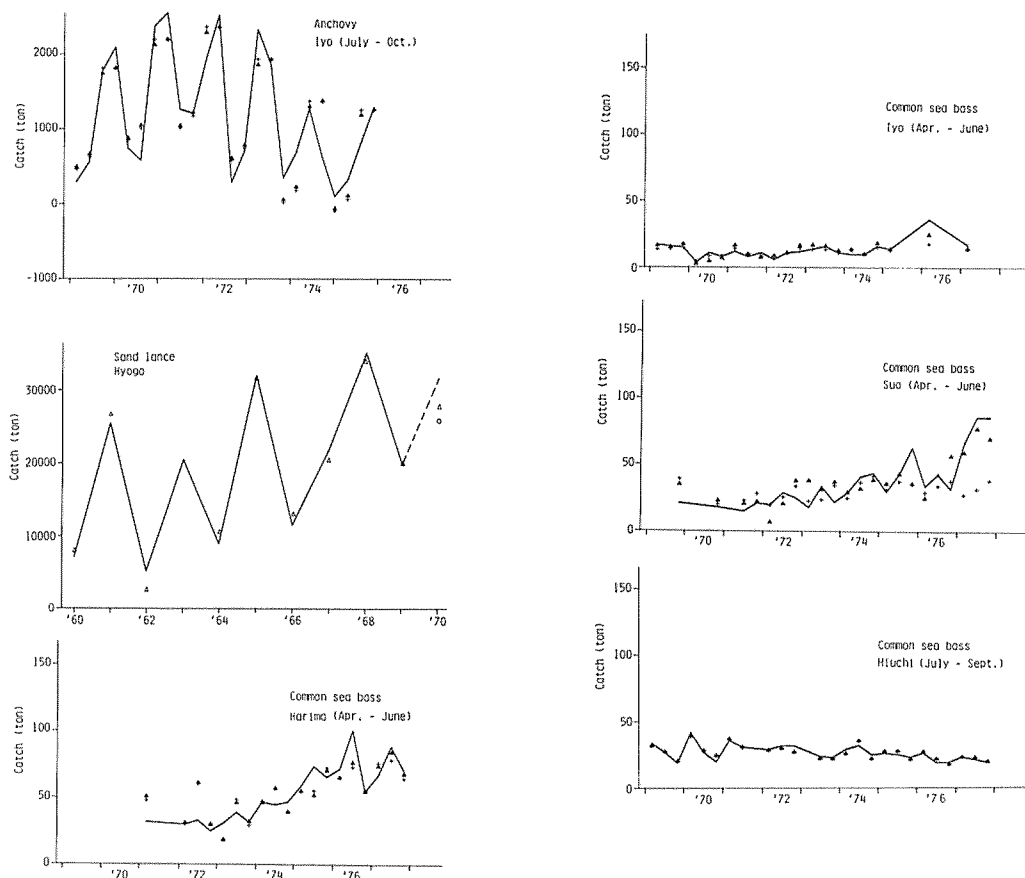


Fig. 23-2, 3. Prediction of monthly catch (tons) by species using multiple linear regression equation.

line: actual catch recorded  
 + estimated by equation 2  
 △ estimated by equation 1  
 equation 1.....estimated using the data throughout the years under consideration (the first to the  $n$ -th year)  
 equation 2.....estimated from the data of the first to the  $(n-1)$ -th year (for prediction of catch in the  $n$ -th year)  
 For sand lance (annual catch)  
 ○ estimated by DOI (1971)

分などが漁獲量に影響している。1975年の漁獲のピークは (Fig. 23-7)、2か月前、1か月前に強い西風が吹いたことと、1か月前の低塩分の影響によるものと思われる。

ボラ：周年にわたって漁獲されているが、経年的な漁獲変動は小さく、ほぼ安定している。Fig. 23-8, 9, 10, 11, 12に示すように、予測の精度はタコについて良い。伊予灘では1月から3月にかけての漁獲量は変動が大きい (Fig. 23-8)。1975年3月の漁獲量のピークは1か月前の気温が低く、1か月前の河川流量が大きいことが影響して

いると考えられる。また、燧灘の5月から6月までの漁獲量は変動が大きい (Fig. 23-10)。1972年の豊漁は1か月前の日射量、風の北成分、低塩分がプラスに影響している。'76の漁獲量には2か月前の気温、1か月前の低塩分がプラスの影響をもたらしているが、1か月前の日射量、風の北成分はマイナスの影響を示しており、そのためこの年には平均的な漁獲量を示したものと思われる。

ボラについては、海況要因として塩分が予測式に用いられた時には、漁獲量との間に負の相関があるが、上述のよ

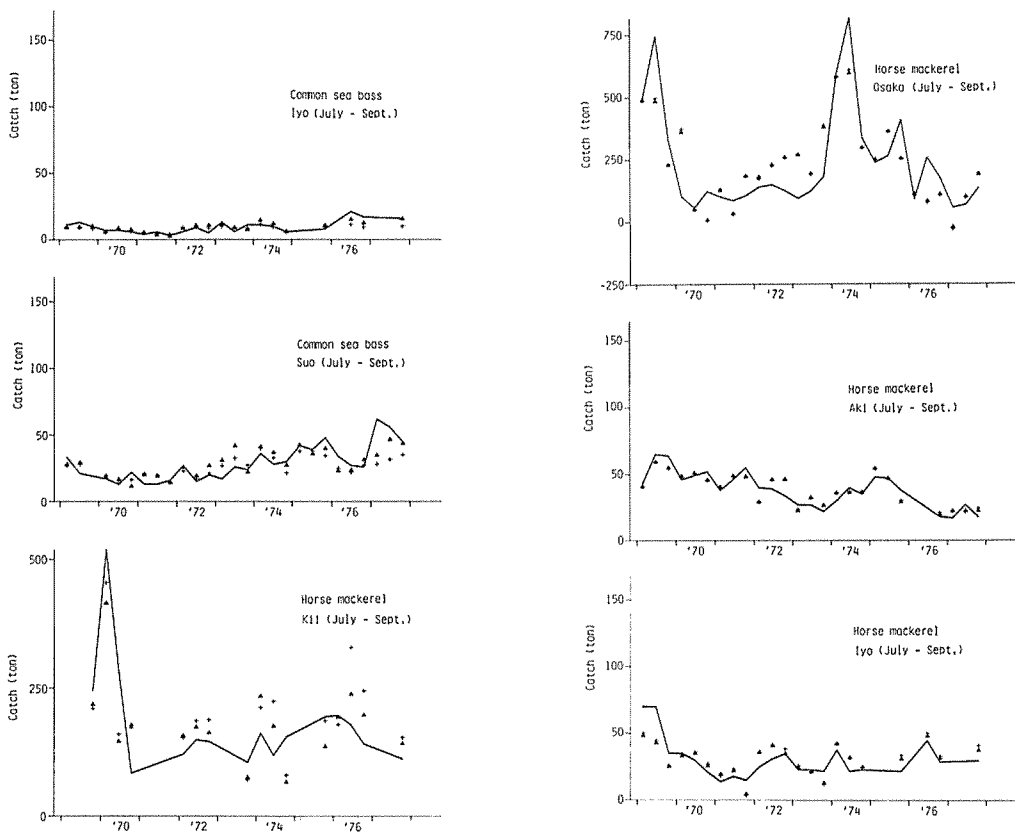


Fig. 23-4, 5. Prediction of monthly catch (tons) by species using multiple linear regression equation.

line: actual catch recorded  
 + estimated by equation 2  
 △ estimated by equation 1  
 equation 1.....estimated using the data throughout the years under consideration (the first to the n-th year)  
 equation 2.....estimated from the data of the first to the (n-1) -th year (for prediction of catch in the n-th year)

うに他の変動要因の影響が塩分による漁獲変動を上廻ることも多いため、漁獲量の経年変化は塩分の変化に比べて小さいと考えられる。

### Ⅲ・3 考 察

季節変動の海域別の特性を明らかにした水温・塩分などの海況因子に、さらに河川流量、風などの気象要因を加え、これらが内海における漁況の変動にどのような形で関与しているかを重回帰分析によって検討した。

分析の対象とした魚種は、消極的漁法によって獲られるもので、しかも単一または2～3種の漁業の主対象とされるカタクチイワシ、イカナゴ、スズキ、アジ、コウイカ、タコ、ボラの7種類である。これらの魚種のそれぞれについて盛漁期3～4か月間の漁獲量を従属変数とし、気象、海象要因の漁獲月の2か月前、1か月前の値を予測式の中に用いられる可能性のある独立変数として、これらの独立変数の中から、前進選択法によって4～6個を予測の回帰式

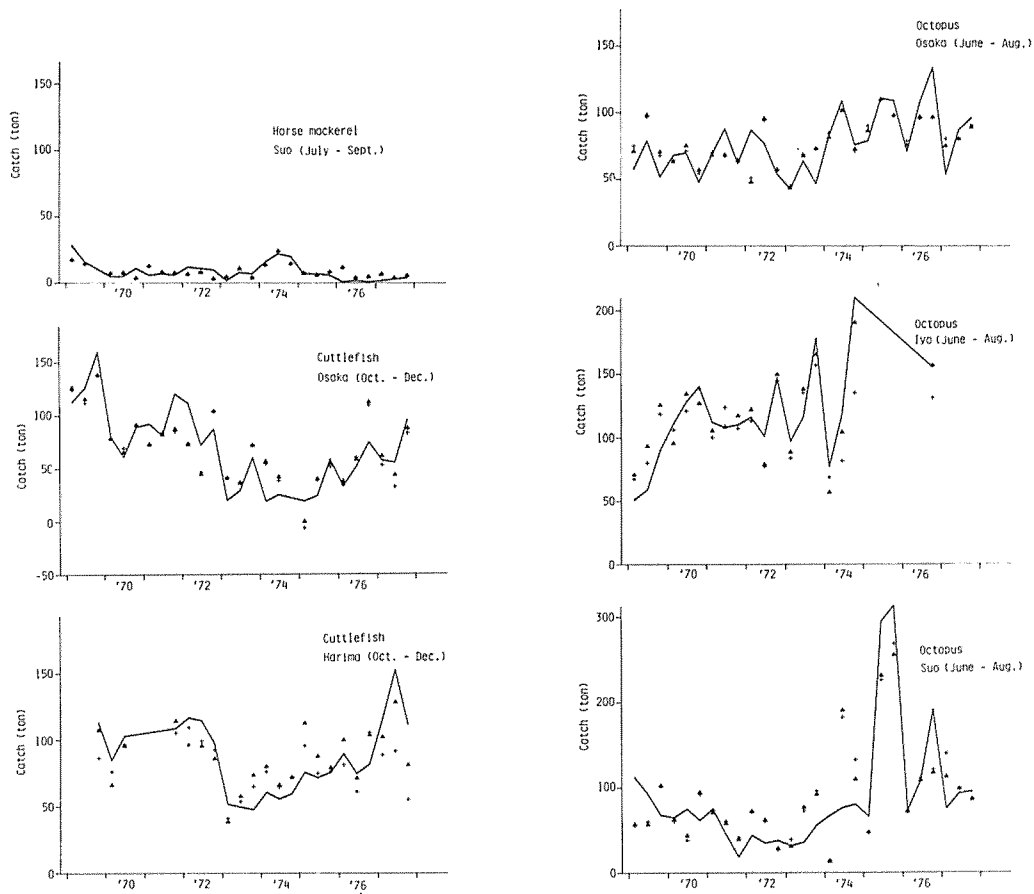


Fig. 23-6, 7. Prediction of monthly catch (tons) by species using multiple linear regression equation.

line: actual catch recorded  
 + estimated by equation 2  
 Δ estimated by equation 1  
 equation 1.....estimated using the data throughout the years under consideration (the first to the  $n$ -th year)  
 equation 2.....estimated from the data of the first to the  $(n-1)$ -th year (for prediction of catch in the  $n$ -th year)

に用いると、統計的に有意な漁獲予測が可能であった。また、イカナゴの当才魚の漁獲予測については、予測に用いられる可能性のある独立変数が6個であったので、これらの独立変数から、最も漁獲量の予測に有効な独立変数の組を求めるため、最良選択法によって、4個の独立変数を選択し、重相関係数 $R$ は0.991という精度の高い量的予測ができ、これまで全く指針が得られていなかった有用魚種の漁獲変動予測について新たな方法を見出した。

瀬戸内海における漁況の予測については、これまで多く

の研究があるが(久保1935, 1940, 土井1950, 1955, 浜田1966), これらの殆んどは、漁獲量と環境要因との単相関関係から漁獲量を予測したものである。土井(1971)は多変量解析手法を漁況の予測に初めて導入し、イカナゴの発生量について、環境、生物要因について主成分分析を行い、その第1, 第2, 第3主成分と漁獲量との重回帰から予測を行ったが、その精度はあまりよくない。本研究では、まず、従来の研究を通して漁況との因果関係があると考えられる要因を、Fig. 21に示すような予測のためのフロー

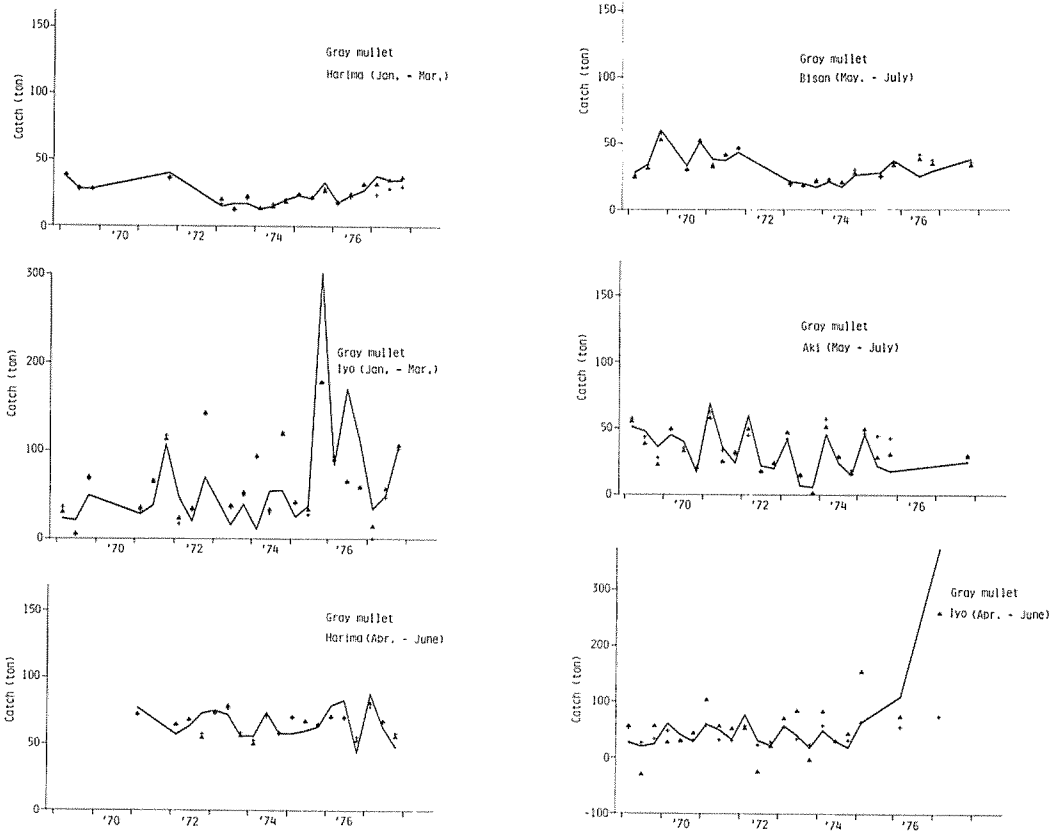


Fig. 23-8, 9. Prediction of monthly catch (tons) by species using multiple linear regression equation.

line: actual catch recorded  
 + estimated by equation 2  
 △ estimated by equation 1  
 equation 1.....estimated using the data throughout the years under consideration (the first to the  $n$ -th year)  
 equation 2.....estimated from the data of the first to the  $(n-1)$ -th year (for prediction of catch in the  $n$ -th year)

チャートを設定し、その中から対象魚種の漁獲量の変動をよく説明する可能性があり、しかも、操作や測定（観測）のしやすいものを独立変数として用いた。このような独立変数は多数個あり、必ずしも全部の独立変数が、漁獲量の変動をよく説明し得るとは限らない。これらの独立変数は、それぞれの独立変数間の相関関係はあまり大きくなく、実際にどの独立変数が漁獲の制限因子になるかは、瀬ごとに、年月によっても異なる。漁獲量の予測には、これらの多数の独立変数の中から、できるだけ少数個の独立変数を選んで重回帰分析を行うことが望ましい。しかしながら、

このような予測方法においては、予測のために用いられた独立変数の中には、漁獲量との単相関が有意でないものもある。そこで、予測のための独立変数を、1) 従属変数  $y$  との相関が5%の水準で有意であり、予測式の中に選択された独立変数、2)  $y$  との相関が5%の水準で有意であるが、予測式の中に選択されなかった独立変数、3)  $y$  との相関が5%の水準では有意でないが、予測式の中に選択された独立変数、4)  $y$  との相関が5%の水準で有意とみなされず、予測式の中にも選択されない独立変数の4つのグループに区分し、各魚種ごとに整理した。Table

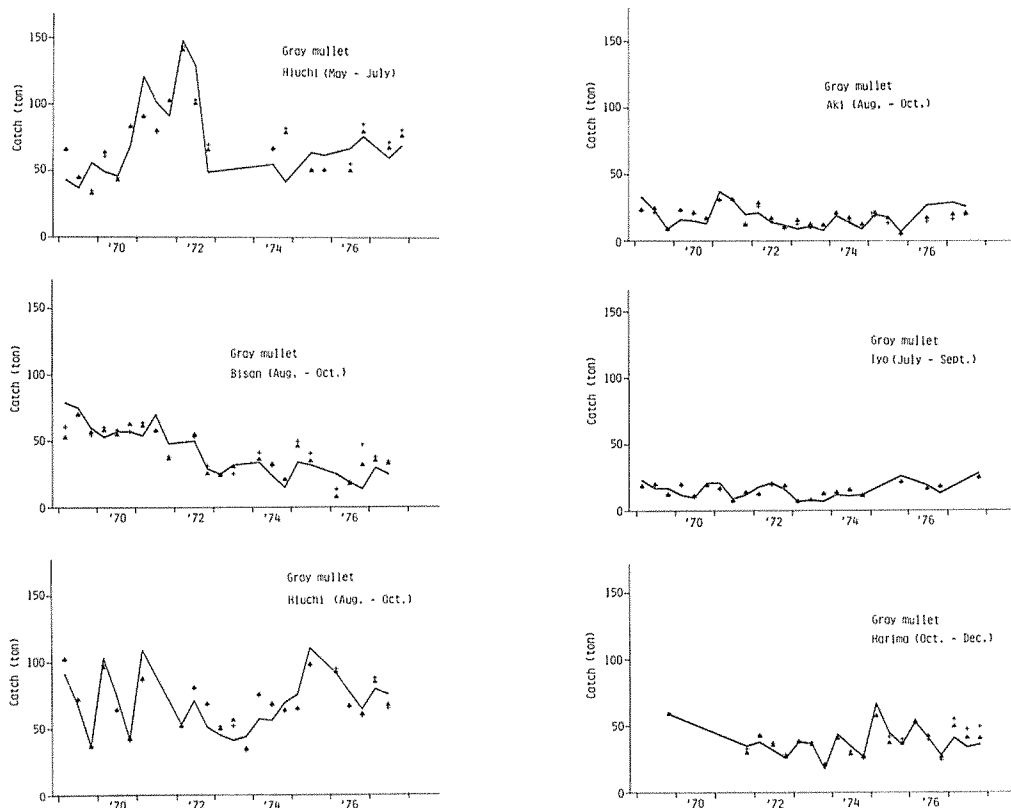


Fig. 23-10, 11. Prediction of monthly catch (tons) by species using multiple linear regression equation.

line: actual catch recorded  
 + estimated by equation 2  
 Δ estimated by equation 1  
 equation 1.....estimated using the data throughout the years under consideration (the first to the  $n$ -th year)  
 equation 2.....estimated from the data of the first to the  $(n-1)$ -th year (for prediction of catch in the  $n$ -th year)

17はその結果を一括して示したものである。これによると漁獲との単相関が5%の水準で有意とみなされず、単相関法では棄却されていた独立変数だけの重回帰で、有意な予測式が得られた例が33例中12例あることが判る。その反面、漁獲との単相関が5%の水準で有意な独立変数だけが選択された予測式が得られたのは、僅かに2例（大阪湾コウイカ、およびタコ）のみである。また、このような整理に用いられた独立変数はダミー変数を除いて延べ596個であるが、その中で漁獲量との単相関が5%の水準で有意とみなされないにもかかわらず予測式に用いられたものが112個あり、単相関が5%の水準で有意な独立変数で予測式に用いられたものは僅か37個である。

以上の結果から、従来の単相関法による漁況予測と異なり、重回帰分析によれば、ある単一要因であり精度の高い予測ができない場合でも、それ以外の要因を考えれば、さらに精度の高い予測ができることが判明した。また単一変数だけ用いた場合には、当然漁獲と単相関が高い要因による予測が最も正確であるが、第二、第三の要因を考える場合、必ずしも、それに次いで漁獲と単相関の高い要因を用いることが有利であるとは限らない。すなわち、第二、第三の要因を考える場合には、漁獲との単相関の低い要因も、漁況予測の重回帰式の中にとりあげた方が良いこともあることが判明した。

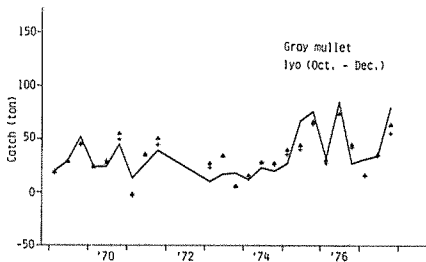


Fig. 23-12. Prediction of monthly catch (tons) by species using multiple linear regression equation.

line: actual catch recorded  
 + estimated by equation 2  
 Δ estimated by equation 1  
 equation 1.....estimated using the data throughout the years under consideration (the first to the  $n$ -th year)  
 equation 2.....estimated from the data of the first to the  $(n-1)$ -th year (for prediction of catch in the  $n$ -th year)

漁獲量の予測の対象魚種について、灘ごとに用いられた独立変数はそれぞれ Table 15 に示した通りである。これによると、得られた予測式の中に用いられた独立変数は、同じ魚種でも各灘ごとに異なっている。このことは、それぞれの灘によって、同じ環境要因でも、その変域の位置と、その範囲が異なり、したがって、ある要因を考えた場合に、ある灘では変域が狭いか、あるいは魚の行動を制限するに至る値より遠いが、他の灘では、魚の行動を制限する値に達するか、その変域が広いためであると考えられる。また、同じ灘でも、魚種によって漁況予測に用いられる独立変数が異なるのは、魚種によって行動を左右する限界に近い要因が異なるからである。環境要因の複合体の中で、どの要因がその魚種の行動を束縛するかは、他の要因の値およびその魚種の適応状態によって異なる。

以上に示したように、漁獲量の予測に用いられた独立変数は、いずれも、現象的に漁獲に強い影響をおよぼすか、または制限因子としての影響をもたらすものと考えられることができる。そこで、さらに選択された独立変数からみた灘の類似性について検討した。そのため、まず、灘間の類似度指数を Jaccard (1902) によって提案された共通係数

$$CC = \frac{c}{a+b-c} \quad \text{によって求めた。ただし、} a \text{ および}$$

$b$  は両海域の選択された独立変数の数、 $c$  はその共通独立変数の数である。対象海域が3つ以上ある場合、この類似度指数から Mountford 法 (木元：1978) による群分析 (Cluster analysis) を行い、デンドログラム (Dendrogram) に基づいて灘を幾つかにグループ分けすることができる。Fig. 24 には各魚種ごとに解析した結果を示した。

カクチイワシ (7~10月) では、大阪湾、播磨灘、安芸灘、伊予灘が漁獲量予測の対象海域である。これらのうち、大阪湾、播磨灘、伊予灘では月による漁獲の差が他の要因に比べて漁獲の変動に大きく寄与している。安芸灘では月による漁獲の差は相対的に小さく、むしろ他の要因が漁獲に影響を与えている。播磨灘と伊予灘との類似度は高く、次にこれらの2つの灘と大阪湾とが類似しており、安芸灘はこれら3つの灘との類似度は低いといえる。

一方、スズキ (4~6月) の漁獲予測は、播磨灘、伊予灘、周防灘で行われた。この3つの灘では、播磨灘と伊予灘とで、共通の独立変数として、透明度、気温、風の東西成分が選択されており、両者の類似度が高い。周防灘ではこの2つの灘との類似度が低い。

また、アジ類 (7, 8, 9月) の漁獲予測は、紀伊水道、大阪湾、安芸灘、伊予灘の4つの海域で行われた。このう







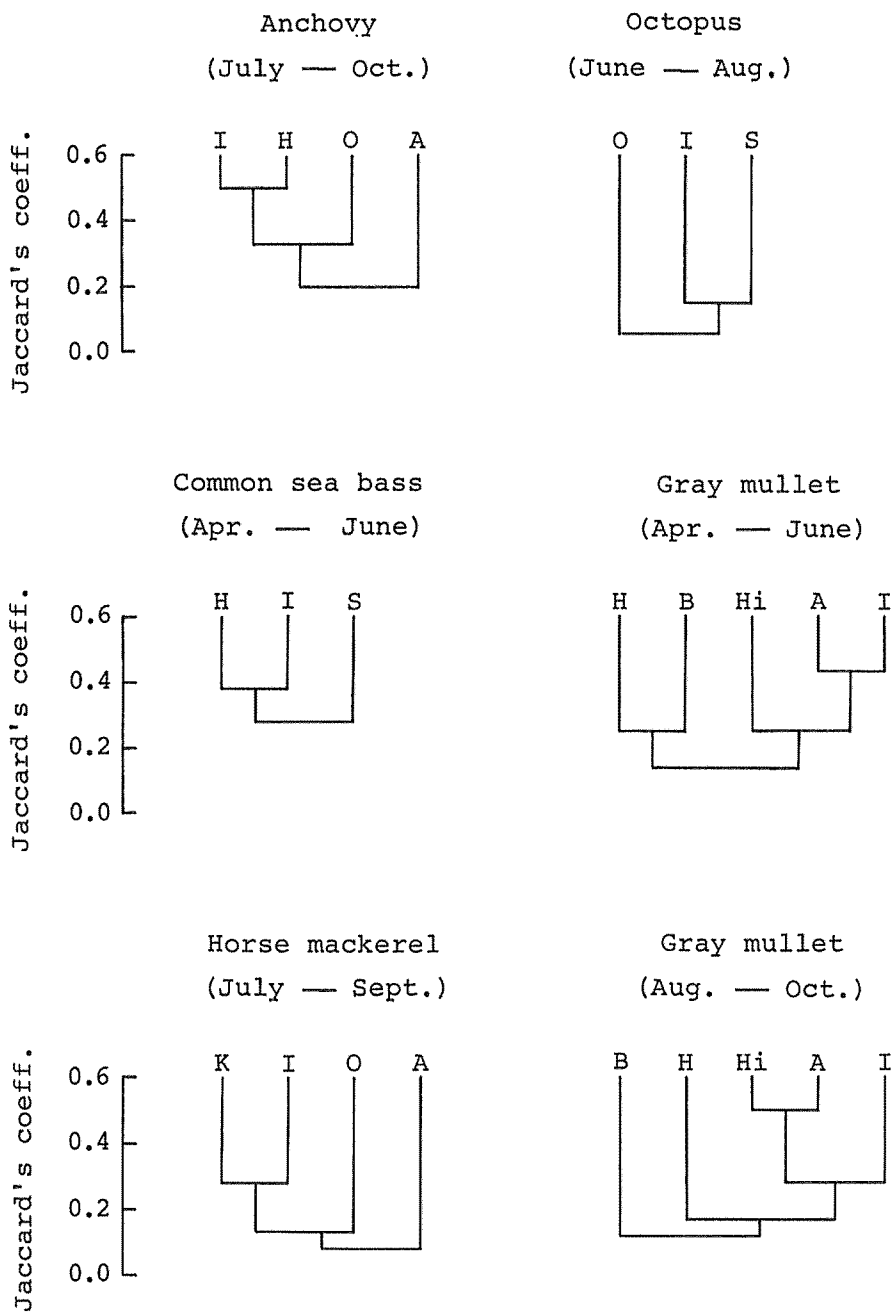


Fig. 24. Cluster analysis of sectors based on the similarity (Mountford's method).

ち、紀伊水道と伊予灘では透明度、風の東西成分が共通の独立変数として選択されており、類似度が高い。大阪湾、安芸灘では、独立変数の中に塩分が用いられており、外海の影響の強い紀伊水道、伊予灘とはその点が全く異なるため、類似度も低い。

タコ（6, 7, 8月）の漁獲予測は大阪湾、伊予灘、周防灘で行われた。伊予灘、周防灘では、降水量、風の東西成分が共通の独立変数として用いられ、これらの灘と大阪湾との類似度は低い。

さらに、ボラの4, 5, 6月の漁獲予測は、播磨灘、備讃瀬戸、燧灘、安芸灘、伊予灘の5つの海域で行われた。選択された独立変数から東部の播磨灘、備讃瀬戸、燧灘と西部の安芸灘、伊予灘の2つのグループに区分することができる。一方、ボラの7, 8, 9月の予測では燧灘と安芸灘では月ダミー変数、透明度、日射量が共通の独立変数として用いられ、類似度は最も高い。灘間の結合の仕方は4, 5, 6月の場合と少し異なるが、大きくみると燧灘以西と備讃瀬戸以東のグループに分けることができるといえよう。さらに、II章で述べたように、海況の季節変化は基本的には塩分の季節変化によって支配されることが判ったので、漁獲量の予測式の中に塩分が独立変数に用いられているかどうかという見地から、灘の類似性を検討した。それらの結果から、カタクチイワシの予測では、大阪湾、播磨灘、安芸灘で塩分が用いられ、スズキの予測では播磨灘、周防灘で用いられている。また、アジ類の予測には大阪湾、安芸灘で塩分が用いられ、ボラの予測には播磨灘、燧灘で塩分が用いられている（Table 15）。

以上に述べたような二つの方法で灘の類似性を検討した結果、1) 外海に近い伊予灘、紀伊水道と他の海域とは異なる環境といえる。

2) 瀬戸内海の安芸灘から大阪湾にかけては、塩分の変動が、カタクチイワシ、イカナゴ、アジ類、ボラの漁況変動に大きく影響している。3) ボラの環境について灘の類似性をみると、大きくは燧灘以西と備讃瀬戸以東とに区分されることが明らかになった。

#### IV. 現地観測に基づくローカルスケールの漁況と海況との関係の分析

##### IV・1 はじめに

浅海域の対象海域として、前章では瀬戸内海を取り上げ、主として月スケールの海況特性と季節変化の詳細について、さらには、それらと漁況変動との関連などを明らかにした。

しかしながら、もう少し局所的な漁場の規模でみると、漁況は数日程度の時間スケールで変動しており（三井田ら1972, OGAWA *et al.* 1981）、このような短期的な漁況変動と海況との関係の重要性が最近指摘されてきているが、これらに関する研究は比較的少ない。海況については、各種の観測手法の進歩と相まって、その短期変動の実態が最近少しずつ明らかになってきているが、漁況の短期変動については、人為的なフィルターを通した漁獲量の日変化からその様相を把握するような調査研究が断片的に行われているだけで、漁業生物の現存量の日変化の実態は殆んど明らかにされていない。生物資源のクイックアセスメントの手法として、エレクトロニクスが発達に伴って各種の魚群計量装置が開発され、諸種の実験が行われているが（ISHII 1976, '77, SHIBATA 1971, 青山ら1971, '82, 見元ら1978, 大川ら1978）、瀬戸内海においては、このような調査によって測定された生物の現存量の短期変動に関する資料、あるいはそれらと海況との関係を検討するための十分な資料は、これまでに得られていない。

本研究ではこのような見地から、山口県油谷湾をモデル水域としてとりあげ、現地観測によって、以上に述べたような短期的漁況変動と海況との関係を明らかにしようとした。油谷湾では、西海区水産研究所下関支所によって、重要魚類の補給機構を解明するために1972年から1974年まで、各種の調査研究が実施された。その結果によれば、油谷湾に出現する約270種の魚種（森1981）のうち、量的には約80%がカタクチイワシによって占められている（大川ら1978）。しかも、湾の大きさはFig. 25に示すように湾口約3.5 km、奥行約8.5 kmで湾内での魚探による魚群調査、海洋観測等も2～3時間程度で実施できる。

##### IV・2 資料と方法

油谷湾の流況については、Fig. 25に示した湾口部3定点において、カタクチイワシの春生れのシラス群が多量に出現する1977年6月4日から19日までの間、連続観測を実施した。Stn. A, Bではフィルムカーレントメーター（General Oceanic Co., Ltd.）によって7.5分間隔、Stn. CではMTCM-4型（鶴見精機）により5分間隔で測流を行い、Stn. Cにおいてはさらに、水温、塩分についても併せて観測した。流速計の設置要領はFig. 26に示したとおりである。

一方、この流動観測と並行して、Fig. 25に示す定線をアルファベット順にaからsまで、1日2回、連続15日間、魚探調査による湾内の資源の現存量を測定した。この調査

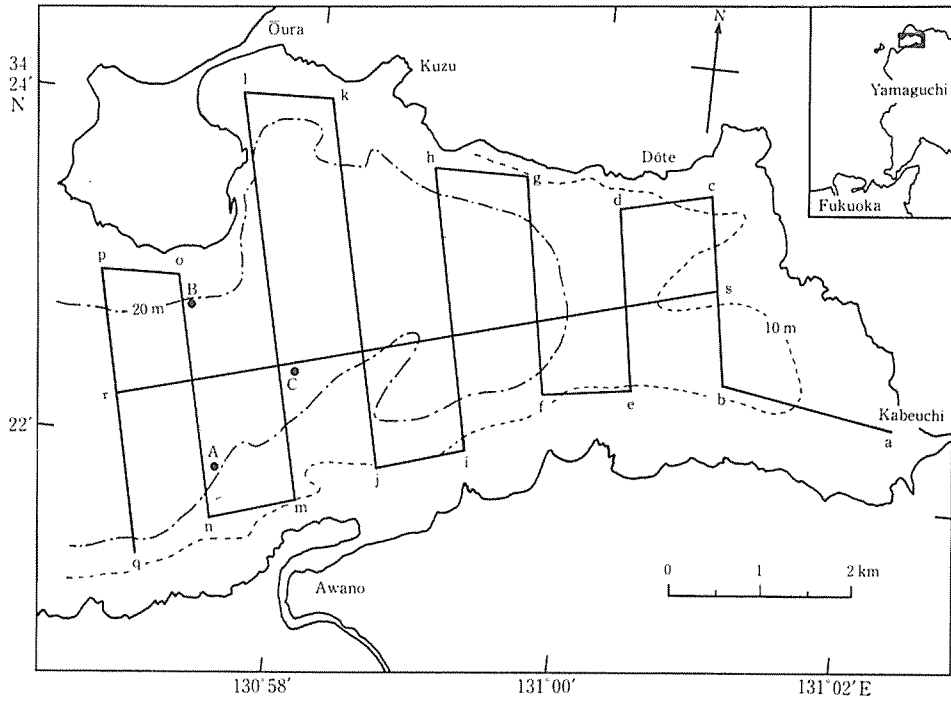


Fig. 25. Echo-survey line and positions of current measurement in Yuya Bay (June, 1977).

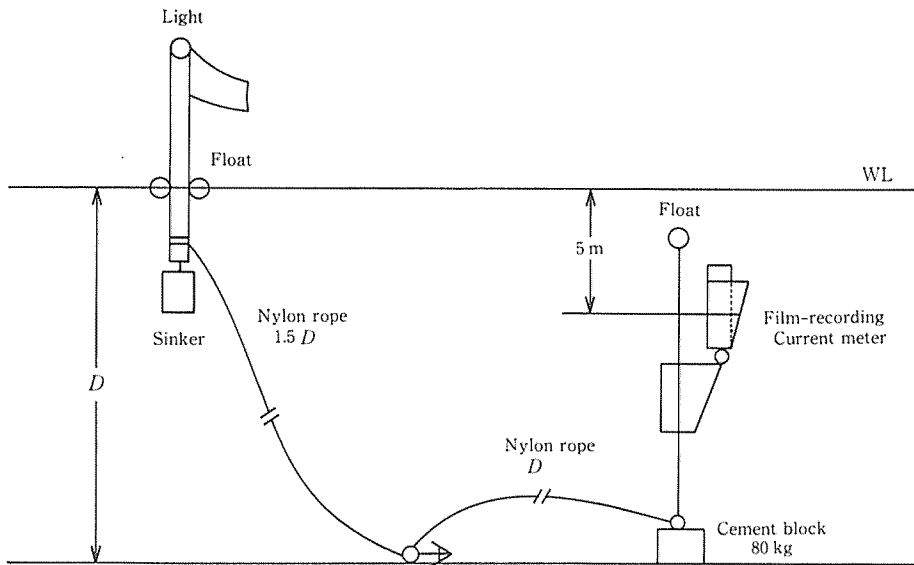


Fig. 26. Mooring system of current meter at Stns. A and B.

で使用した魚群探知機は周波数75 kHz、超音波の発射回数は毎分180回、送受波器の半減半角約 $8^\circ$ である。大川ら(1978)の魚探調査から、Fig. 27, 28に示すようにイワシ類のシラスが出現する時期には、魚探に記録される魚群の群数が急激に増加し、その魚探映像の平均面積も小さい。これまでの調査結果から、ここで用いた魚探の記録紙に得られた魚群反応映像面積のうち $10\text{ mm}^2$ 以下の小さい映像面積はイワシ類のシラスと推定されるので、ここでの魚群量の集計には、全魚群量と、 $10\text{ mm}^2$ 以下の映像面積だけをシラス群として集計した。また、魚群反応映像面積から魚群量(重量)を求めるためには、大川ら(1978)が油谷湾で魚探調査と船びき網による漁獲試験から得た関係式を用いた。すなわち、定線下の、魚探によって探索された水量中の魚群密度と、定線で囲まれた漁場水量中の魚群密度とは等しいと仮定して、定線下の探索水量中で観測された魚群密度に、その漁場の水量を乗じてこれを湾内の魚群量とした。この方法は水深が比較的浅い、湾スケールでの魚群量の推定法としては最も実用的と考えられる。

#### IV・3 結 果

##### 1. 流れと海況

油谷湾はFig. 25に示すように山口県北西部に位置し、湾口は約3.5 km、奥行約8.5 kmで、西に向って日本海に開いた湾である。これまでの研究によればこの湾は外海水の影響が強く、開放的な湾といえる。油谷湾の潮流は、潮差が大潮時でも約80 cmと小さいため、全般的に小さい。潮汐による予想最強流速は、湾口部で19~23 cm/s、湾奥部で2~3 cm/sと極めて微弱であり、潮流による海水流動は殆んどない状態といえる(第七管区海上保安本部1979)。恒流については、第七管区海上保安本部の資料に、本研究で測定したStn. A, B, Cの15日の平均流を加えてFig. 29に示した。湾内では反時計まわりの環流が形成され、外海水は湾口南寄りに流入し、内湾水は湾口北寄りに流出していることが推定される。恒流の流線をたどると、湾口部に環流が形成されていることがうかがえるが、その流速は湾口で約3~4 cm/s、湾奥で1~2 cm/sと小さい。したがって、このような湾内の環流は風などによっても大きく変化すると推定される。

Fig. 30には湾口部3定点での測流(1977年6月4日~19日)によって得られたデータについて、25時間移動平均をとり、潮汐の日周期、半日周期成分を除去して求めた恒流ベクトルの時系列変化、湾北約5 kmの川尻岬における風のデータについても24時間移動平均をとり風のベクトル

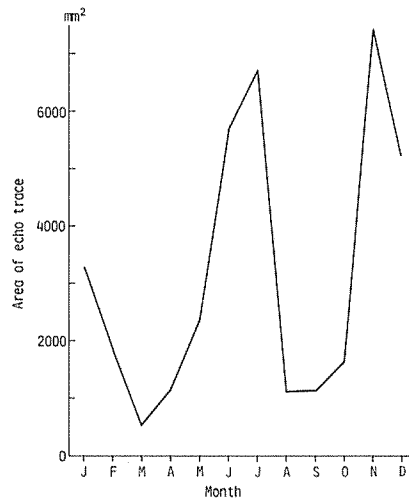


Fig. 27. Seasonal change of monthly average area of echo trace of fish school from August, 1972 to October 1974 in Yuya Bay. (From Shimomoseki Fish. Res. Lab., Branch of Seikai Reg. Fish. Res. Lab., 1976)

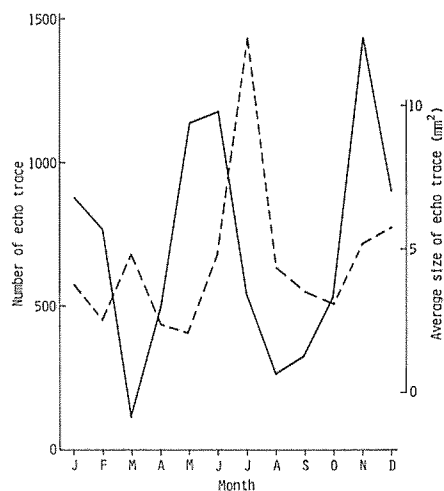


Fig. 28. Seasonal change of number and average size of echo trace of fish school. (From Shimomoseki Fish. Res. Lab., 1976)  
 — Number of echo trace  
 - - - Average size of echo trace

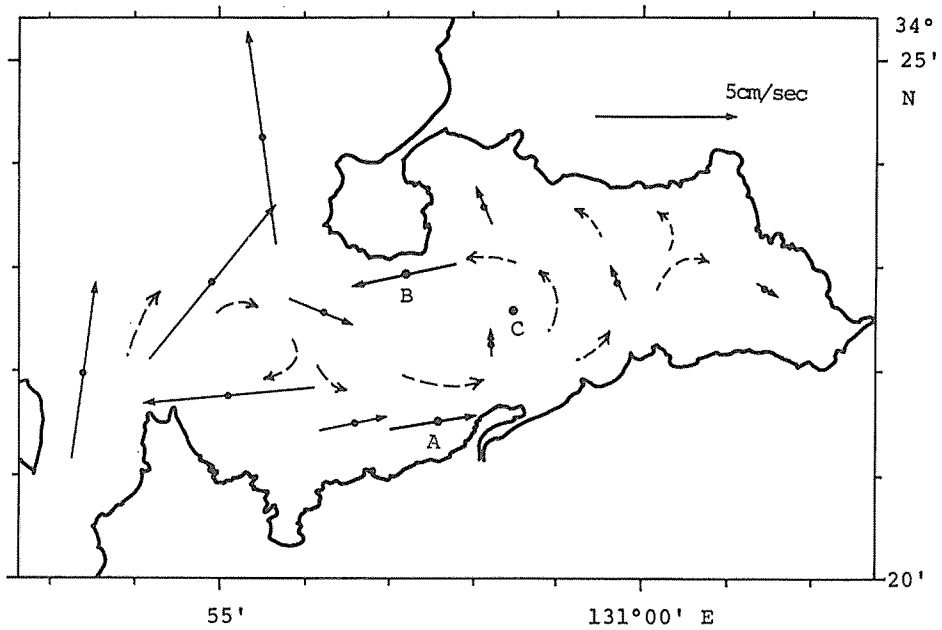


Fig. 29. Constant flow of Yuya Bay.  
(From the 7th District Regional Maritime Safety Headquarters, 1979)

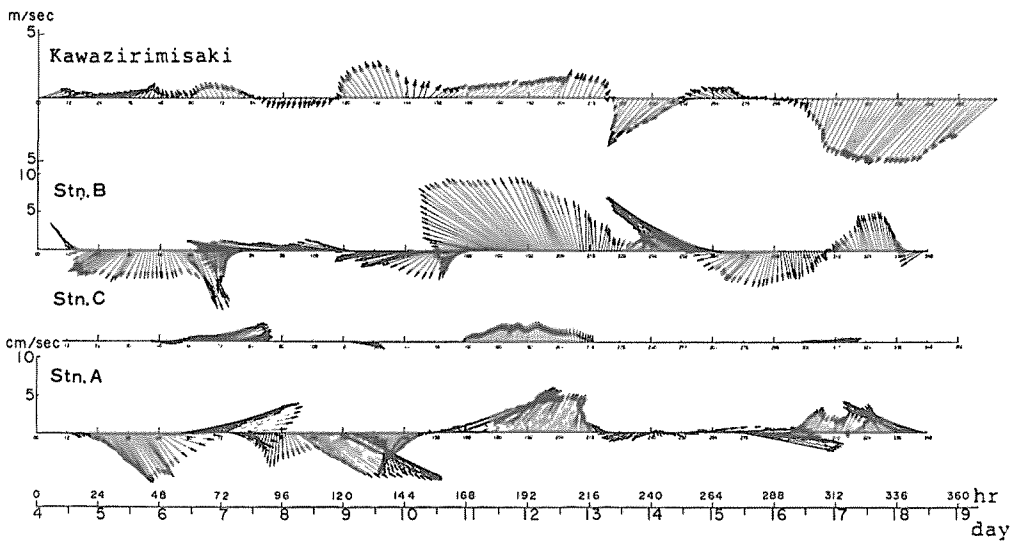


Fig. 30. Vectors of 24 – hour running means of wind at Kawazirimisaki and 25 – hour running means of current at Stn. A, Stn. B and Stn. C from June 4 – 19 1977 at the mouth of the bay.

の時系列変化をあわせて示した。

風は全般的には平均風速  $1 \sim 2$  m/s で弱いが、観測期間の後半 6 月 14 日と 17 日以降は北東、 $4 \sim 5$  m/s の風が卓越した。恒流の時系列変化から、湾口南側 (Stn. A) より外海水が  $3 \sim 4$  日の周期的変化をしながら流入し、それに伴って、湾口北側 (Stn. B) より内湾水が流出している状態が読みとれる。さらに湾口部における外海水、内湾水の流出入の実体を把握しやすくするため、Stn. A, B における流動の東西分速の実測値とその 25 時間移動平均値、Stn. C における水温・塩分の時系列変化を Fig. 31 に示した。図によると、調査期間の前半には湾口南側の Stn. A から外海水が流入し、それに僅か遅れて湾口北側の Stn. B から内湾水が流出しているのが認められる。一方、調査期間後半の 6 月 15 日、Stn. B からの内湾水の流出のピークがみられ、それに約 12 時間遅れて Stn. A からの流入のピークが認められる。このように流入入のパターンが前半と後半では異なっている。調査期間の前半では風は平均風速  $2$  m/s 以下で弱いため、恒流への影響は殆んど無視できることから、Stn. A での流入の 3 つのピークは、いずれも外海水の流動の変化によるものと考えられる。6 月 14 日以降では、低気圧の通過に伴って北東風が卓越し、この風によって湾口北側 Stn. B より内湾水が流出し、これに対応

して南側 Stn. A では外海水の流入が認められる。その後、北東風がさらに強くなると、表層では湾口の南側、北側のいずれでも流出傾向が強まっている。

このように調査期間の前半は外海水自体の変化により、後半は北東風の影響により流出入の様相と機構に変化が認められたが、湾口部の反時計まわりの環流は全期間を通じて認められた。この環流の形状、渦度の強さの変化を Fig. 30 に示す。Stn. C はこの環流のほぼ中心付近に位置しており、そのために流動は他の地点より弱かったものと考えられる。湾口部における海水の流出入のピークの出現には、 $3 \sim 4$  日の周期的変化が認められ、また、このような周期的変化のほかにも間欠的な流出入がみられる。間欠的な流出入についてみると、Stn. A で 6 日の 20 時から 7 日の 3 時までの間流入、10 日の 6 時から 16 時までの間流出、15 日の 16 時から 22 時の間流入が認められ、Stn. B では 14 日 22 時から 15 日 4 時までの間流出が認められる。このような間欠的な流出入のある期間に、Stn. C における水温・塩分が不連続的に急変しているのがみられる (Fig. 31)。これは、このような現象に対応して間欠的に内湾水の海水交換が促進され、湾内の水温・塩分が急変していることを示していると推定される。このような間欠的な流出入、それに伴う水質の急変は注目すべき現象である。

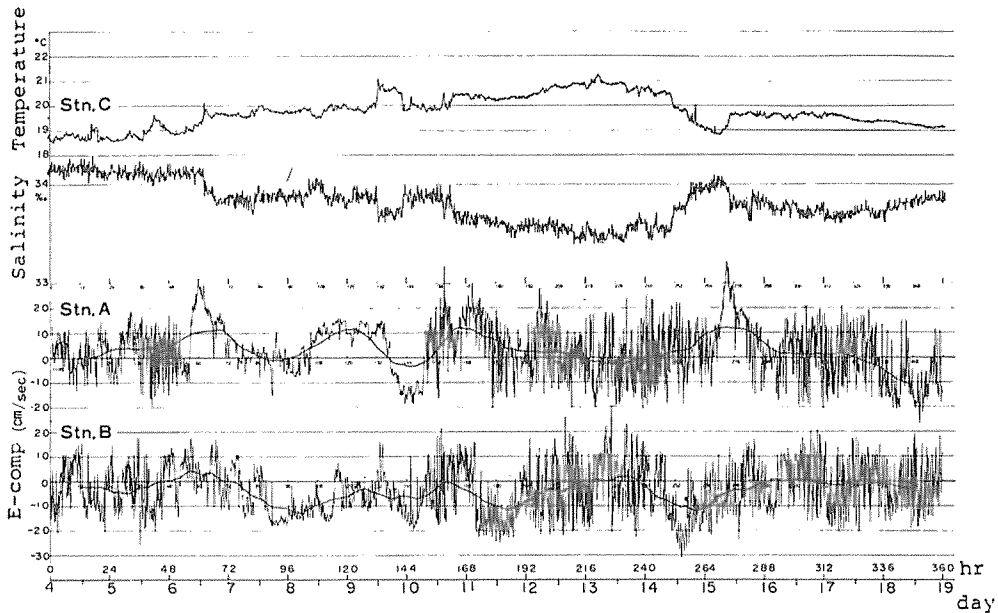


Fig. 31. Records of temperature and salinity at Stn. C and East-component of observed current and 25-hour running means at Stn. A and Stn. B from June 4-19, 1977.



湾口部における海水流動の変動特性をみるため、Stn. A, Bにおける測流データを東西、南北分速に分解し、それぞれ1時間ごとの平均値を求め、最大エントロピー法(MEM法)によってスペクトル解析を行った。Stn. A, Bにおける東西(U)、南北(V)分速のスペクトルをFig. 32に示す。Stn. Aの東西分速(U)については、潮汐の半日周期、日周期に近い周期12.8, 25.6時間にエネルギー密度のピークが認められるが、特に著しいエネルギー密度のピークはむしろ周期2.5日に認められる。南北分速(V)については潮汐周期、慣性周期以外の27.5, 15.6, 8.6時間にエネルギー密度のピークが認められる。Stn. Bの場合、Uは周期3.8日に著しいエネルギー密度のピークを示しており、その他、周期32.6, 18.9, 9.0時間に若干のピークが認められる。Vは潮汐周期に近い周期の22.4, 12.8時間にエネルギー密度のピークが認められ、また、周期3.8日にもピークが認められる。Stn. A, BにおけるそれぞれのU, Vのスペクトルのエネルギー密度を比較すると、周期1日以上長周期の乱れのエネルギーはStn. Aの方が大きい。海洋における1日より長い周期の乱れは、著しく非定常であると考えられるが、この観測期間では、Stn. A, Bの東西分速(U)にそれぞれ2.5日, 3.8日の周

期に著しいエネルギー密度のピークが認められる。このことは、湾口における海水流動が3~4日の時間スケールで変化していることを示唆している。

## 2. 魚群の分布、移動、現存量の変動

油谷湾における全魚群量、イワシ類シラス群の現存量を比例水量法(大川ら1978)によって、トン数に換算しその日々の変化をFig. 33に示した。この図に示されるように、全魚群量は600トンから1200トンまで、3~5日の周期的変化をしながら増加している。また、シラス群は最大540トンから233トンまで、3~5日の周期的変化をしながら減少している。1日2回の測定値を平均し、その平均値についてシラス群の現存量の水平分布をFig. 34に示した。この図から、魚群量が前日より増加している時の濃密群は湾奥に分布することが多いことがわかる。前日より減少している時には、湾奥北部に分布する濃密群が湾口部北側から逸散しているようである。湾の北西部には常に濃密群が認められるが、これは湾の地形により、海水が停滞しているためと推定される。

シラス群は遊泳能力が弱く、その移動は恒流など、湾内の流れに大きく依存していると考えられることから、湾内のシラス群の日々の水平分布の変化に基づく簡単な輸送モ

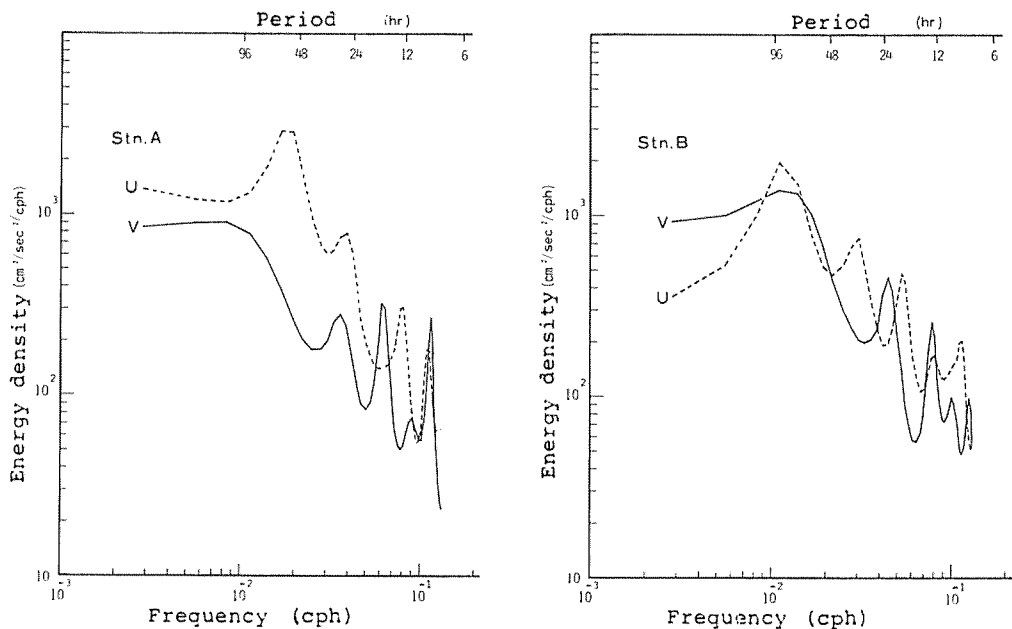


Fig. 32. Spectra of E-component and N-component of current at Stns. A and B. U: E-component of current, V: N-component of current

デルを作成して、日単位の魚群の移動状況を量的に表現することを試みた。すなわち、湾内を Fig. 35-1 に示すように4つの区域に分け、湾外から魚群が加入する場合には、I区域からII区域への移動量をZ、III区域からIV区域への移動量をX<sub>1</sub>、III区域からII区域への移動量をX<sub>2</sub>、IV区域からI区域への移動量をYとし、i日のj区域における魚群の日変化量をΔn<sub>i,j</sub>とすると、次式が得られる。

$$\begin{cases} \Delta n_{i,j} = n_{i+1,j} - n_{i,j} & \dots\dots\dots(23) \\ \Delta N_i = \sum_{j=1}^4 \Delta n_{i,j} \end{cases}$$

ここにn<sub>i,j</sub>はi日、j区域の魚群量、ΔN<sub>i</sub>はi日の4区域合計の魚群の日変化量を表わす。湾外からΔN<sub>i</sub>だけ湾内へ移動する場合、その動きが湾口部 Stn. A, Bにおける恒流の状況に依存すると仮定すると、殆んどの場合魚群はIII区域から湾内へ移動していることになる。この場合、III区域からIV区域へ、III区域からII区域への配分率は次の方法で計算する。

$$\begin{cases} X_{i,1} = \frac{u_a}{u_a + v_a} \cdot \Delta N_i & \dots\dots\dots(24) \\ X_{i,2} = \frac{v_a}{u_a + v_a} \cdot \Delta N_i \end{cases}$$

ここで、X<sub>i</sub>はi日にIII区域から隣接区域へ移動する魚群量、u<sub>a</sub>, v<sub>a</sub>はStn. Aにおけるi日の恒流の東西、南北分速とする。

i日におけるj区域での魚群の日変化量 Δn<sub>i,j</sub>は次のように表わされる。

$$\begin{aligned} \Delta n_{i,1} &= Y_i - Z_i \\ \Delta n_{i,2} &= Z_i + X_{i,2} \\ \Delta n_{i,3} &= \Delta N_i - X_{i,2} - X_{i,1} \\ \Delta n_{i,4} &= X_{i,1} - Y_i \end{aligned} \dots\dots\dots(25)$$

一方、湾内から湾外へ移動する場合は、Fig. 35-2 に示すように

$$\begin{aligned} Z_{i,1} &= \frac{u_b}{u_b + v_b} \cdot Z_i \\ Z_{i,2} &= \frac{v_b}{u_b + v_b} \cdot Z_i \end{aligned} \dots\dots\dots(26)$$

ここで、Z<sub>i,1</sub>はI区域からII区域へ、Z<sub>i,2</sub>はII区域からIII区域へ移動する魚群量を示し、Z<sub>i</sub> = Z<sub>i,1</sub> + Z<sub>i,2</sub>とする、u<sub>b</sub>, v<sub>b</sub>はStn. Bにおけるi日の恒流の東西、南北分速とする。

i日、j区域での魚群の日変化量は

$$\begin{aligned} \Delta n_{i,1} &= Y_i - Z_{i,1} \\ \Delta n_{i,2} &= Z_{i,1} - Z_{i,2} - \Delta N_i \\ \Delta n_{i,3} &= Z_{i,2} - X_i \\ \Delta n_{i,4} &= X_i - Y_i \end{aligned} \dots\dots\dots(27)$$

となる。

Δn<sub>i,j</sub>を魚探調査結果から推定し、上記の連立方程式を解いてX<sub>i</sub>, Y<sub>i</sub>, Z<sub>i</sub>を求め、その結果をFig. 36に示した。輸送モデルに基づく魚群の量的な移動の様相を12例あげたが、このうち反時計まわりの移動パターンは8例認められ、時計まわりの移動パターンは1例のみ、残りの3例はそれぞれI区域へ、IV区域へ、III, IV区からI, II区域に魚群

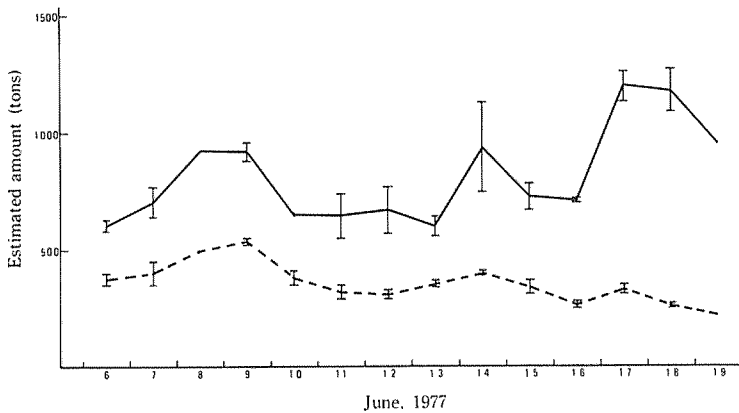


Fig. 33. Day-to-day change of the estimated amount of fish population.  
 Solid line : Total amount of fish population  
 Broken line : Amount of larval population

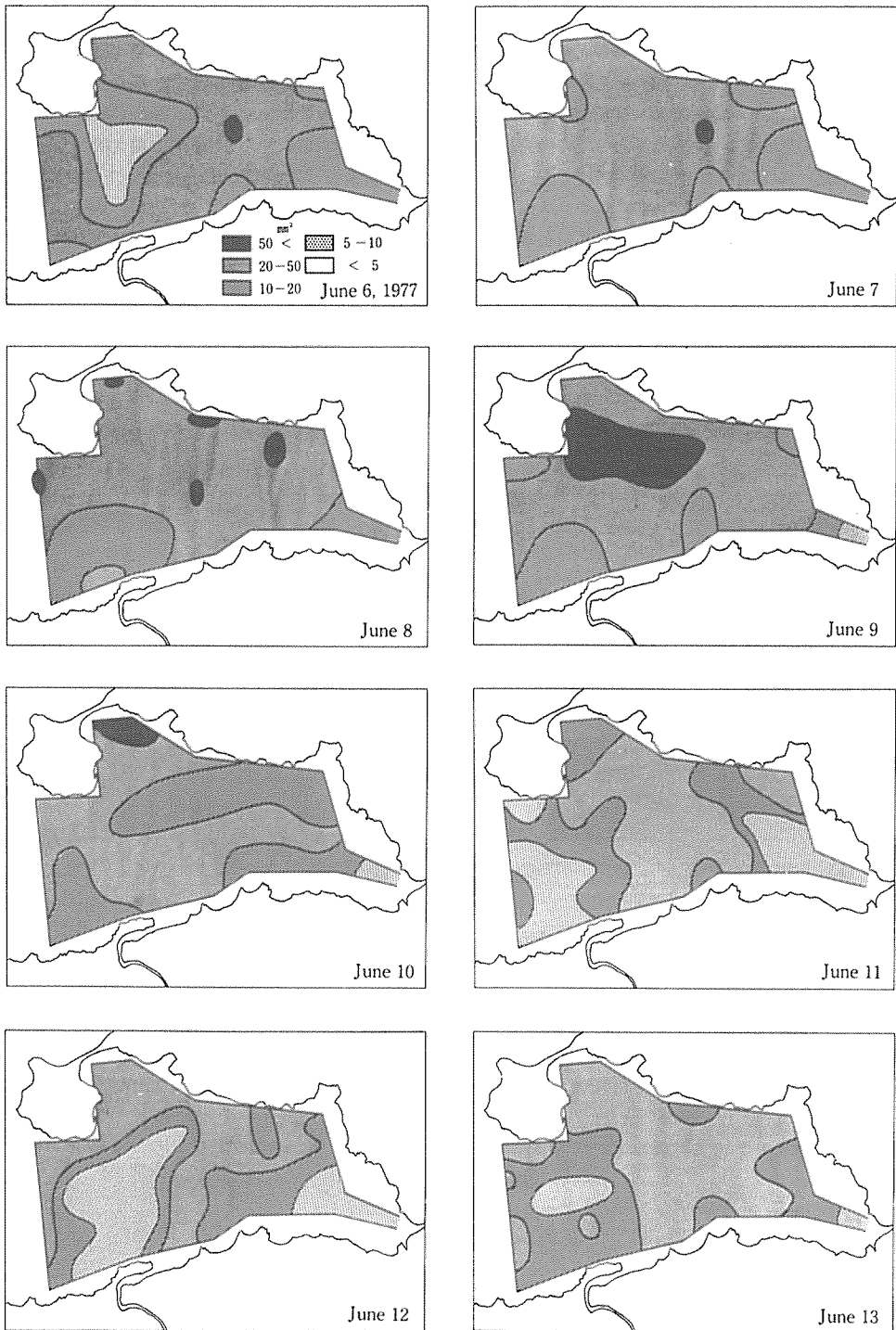


Fig. 34. Daily sections of horizontal distribution of larval fish population in the bay.

が集積されるような移動パターンを示した。この輸送モデルで最も重要なことは、湾内における魚群の入れ替りが量的に表現できることである。もし、湾内の魚群が次々と入れ替っているならば、湾内に存在する魚群量が少なくとしても、実際の漁業の見地からすれば漁場としての価値は高く、入れ替りが遅ければ、湾内の魚群量が多くても、漁場価値は低いといえよう。したがって油谷湾のシラス魚群は次々と入れ替っており、漁場としての価値は高いと考えられる。

#### IV・4 考 察

湾口部における海水の流入に関する特徴的な現象として、3～4日の周期的変化と間欠的な流入が認められる。この間欠的な流入に伴って、Stn. Cにおける水温・塩分の値も不連続的に変化している。間欠的な外海水の流入に伴う水温の不連続的な変化については、すでに速水ら(1964)、国司ら(1965, '67, '68)、西ら(1971)、永田(1982)によって報告されており、外海水が湾内へ短い時間内に侵入し、内湾水と入れ替ったときに見られる現象と

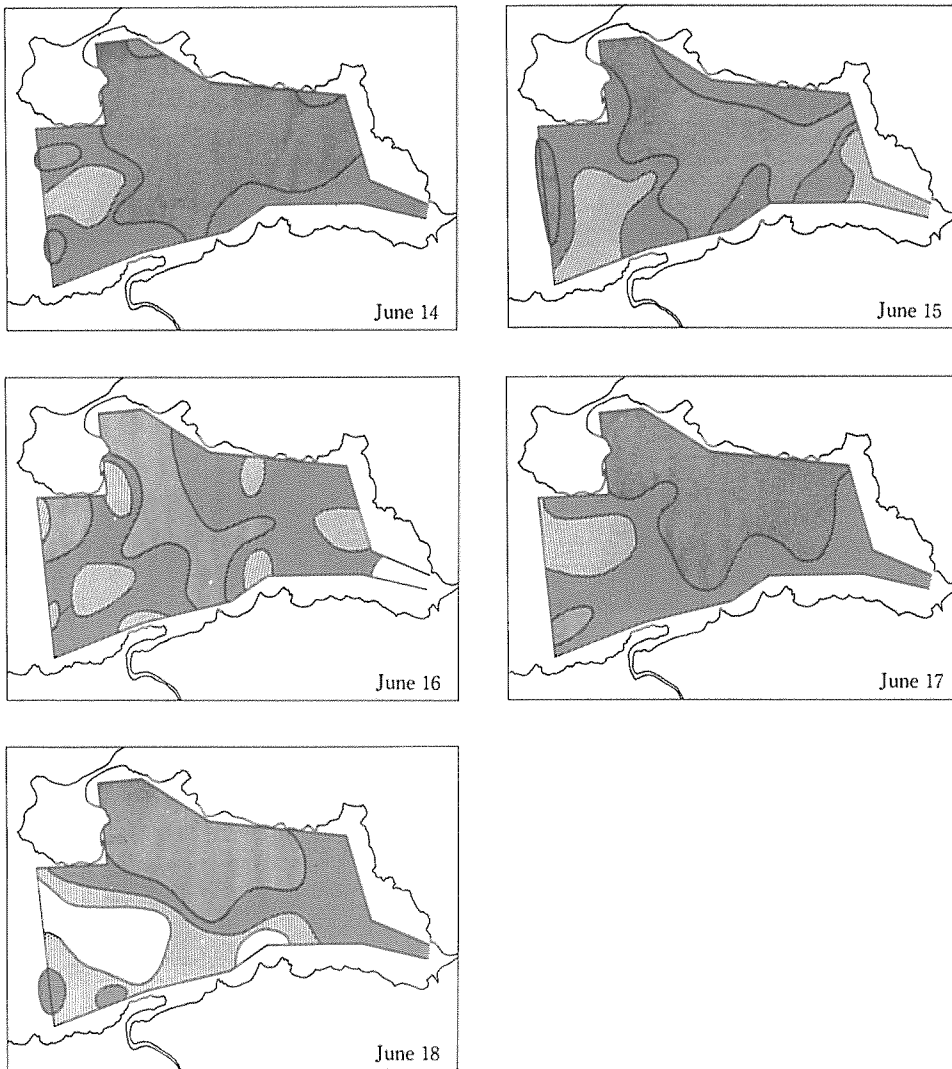


Fig. 34. Daily sections of horizontal distribution of larval fish population in the bay.

いわれている。永田 (1982) はさらに、外海水の貫入機構から、湾内に侵入する外海水のふるまいは一種の密度流として解釈しようと説明している。油谷湾の Stn. C は、湾口部に形成される反時計まわりの環流のほぼ中心位置にあり、しかも、1 点だけの観測であるから、湾内の海水が間欠的に交換して水温・塩分が急変したのか、環流の中心位置が南北に移動して、水温・塩分が急変したのか、はっきりしないが、水温・塩分が急変後そのままの状態を保っていることからみれば、間欠的な湾内水の交換によるものと解釈される。

魚探調査によって測定された湾内の全魚群量は、Fig. 33 に示したように、全魚群量は600トンから1200トンまで、3～5日の周期的変化をしながら増加している。イワシ類シラス群は最大540トンから233トンまで、3～5日の周期的変化をしながら減少している。このように、魚群の現存

量が流動と同じような時間スケールで変動していることは、遊泳力の弱いシラス群の移動が、恒流に大きく依存していることを示唆している。ここでは、湾外から湾内へ、または、湾内から湾外への移動は湾口部の恒流によるという輸送モデルを作成して、日々の湾内での移動状況を量的に推定した。その結果、現存量が増加する場合には、湾口部南側から移動・加入し、減少するときには、湾口部北側から湾外へ逸出していく傾向が認められ、12例中8例で反時計まわりの移動を示した。12例中6例は平均約53トンが湾外から湾内へ移動し、残りの6例は平均約67トンが湾外へ移動している。これらのトン数は、湾外から湾内へ、または、湾内から湾外へ移動する魚群量の1日間の差引量である。さらに、1日間に湾内から湾外へ、または、湾外から湾内へ移動する魚群 ( $\Delta N'_i$ ) がいると考えられる。この魚群量変化  $\Delta N'_i$  は1日2回の魚探調査からは算定できない。そ

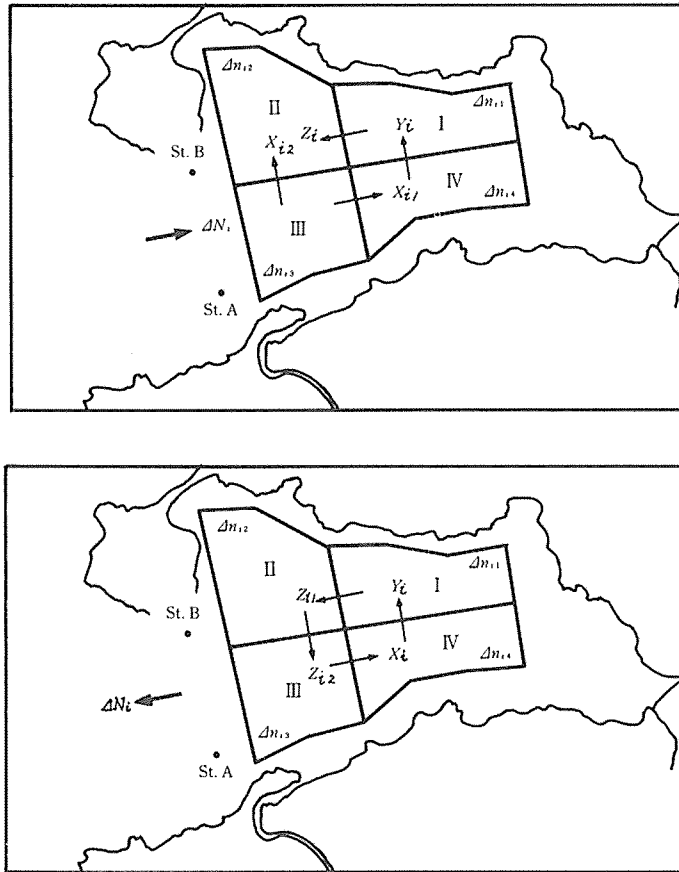


Fig. 35. Transportation model with abbreviations employed.

れ故、仮りに、魚群の入れ替りが最も少ない時、即ち、 $\Delta N_i = 0$  とすると、1日あたり約30トンが湾外から湾内へ、湾内から湾外へ移動していることになる。一方、14日間のシラス群の日々の現存量の変化には、最低値が3回認め

られ、その平均値は260トンであり、14日間の平均現存量は345トンである。最低値である260トンは湾内に滞留しており、85トン(345-260トン)が短期変動をし、湾内の滞留群とは混じらないと仮定すれば、この変動量は1日あた

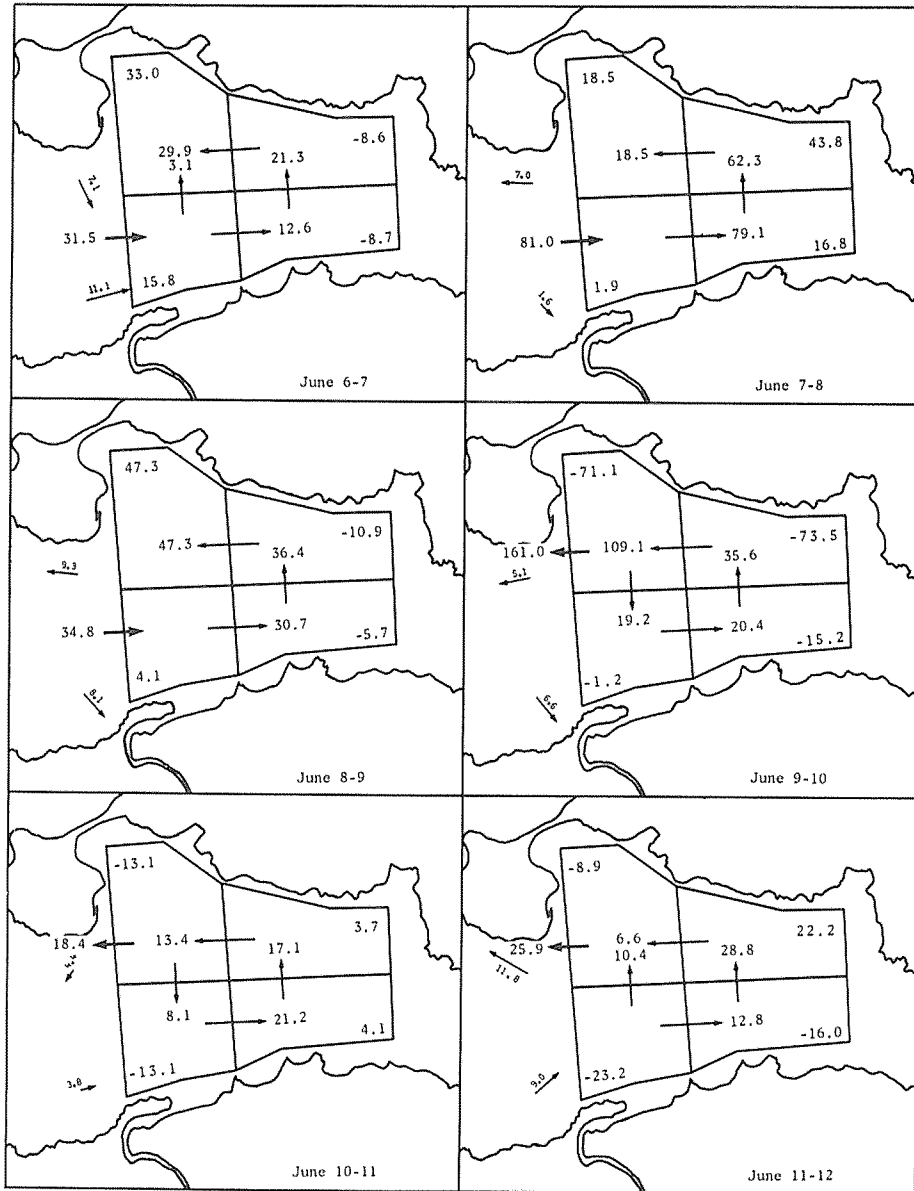


Fig. 36. Budget model of larval fish population (tons/day) in respective sections, based on constant flow (cm/s) at the mouth of the bay.

りの魚群の入れ替り量（平均約30トン）の2.8倍に相当し、変動魚群は湾内に2.8日間滞在していることになる。また、 $\Delta N_i$  を1日の平均移動量とほぼ同じ30トンと仮定し、この期間の平均現存量である。345トンが次々に入れ替ると

すれば、魚群は約6日間滞留することになる。これらのことは、油谷湾におけるイワシ類シラス群が、数日スケールで次々に入れ替っていることを示唆している。

湾口部における測流結果から、3～4日の周期的な変動

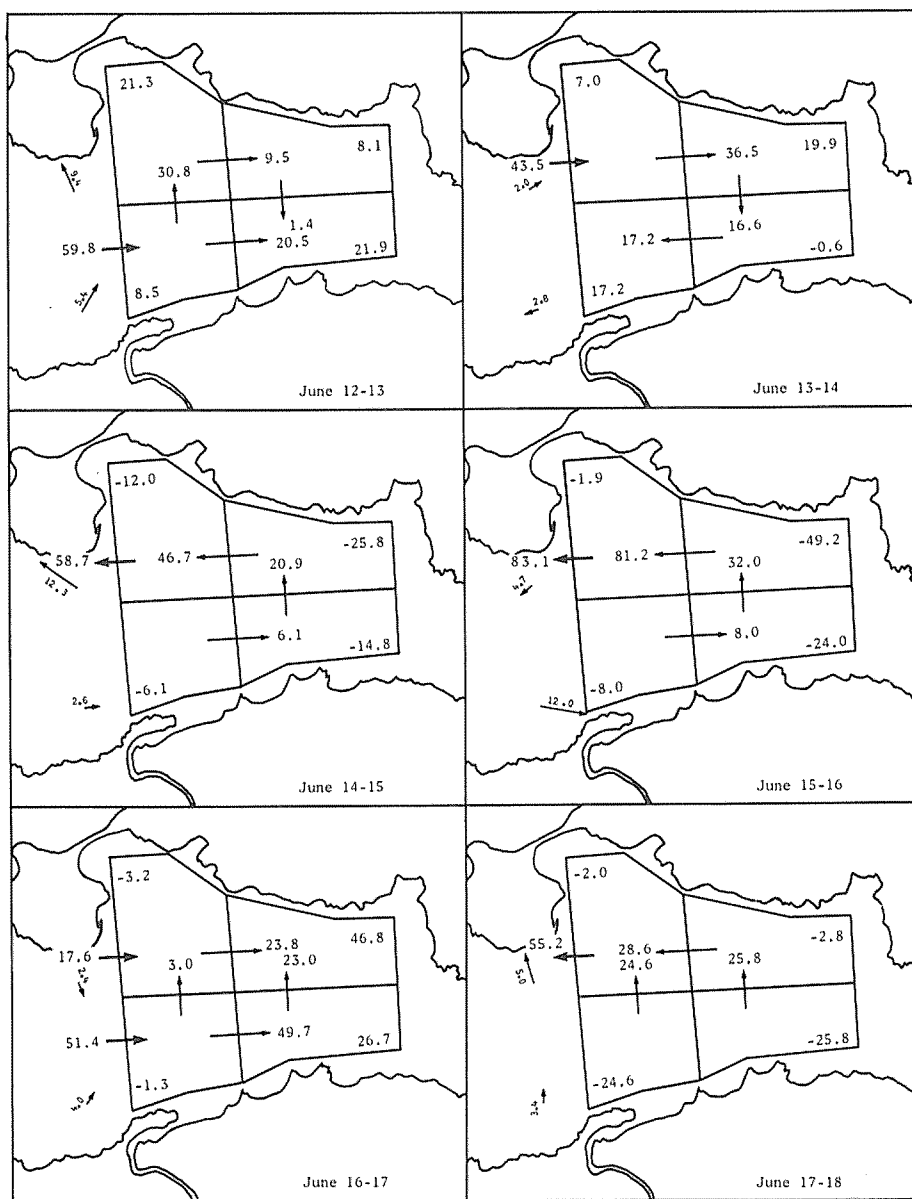


Fig. 36. Budget model of larval fish population (tons/day) in respective sections, based on constant flow (cm/s) at the mouth of the bay.

が卓越していることが明らかになった。OGAWA *et al.* (1978) は対馬海峡東水道における海流板の追跡による流動調査から、数日スケールでの流れの変動を観測し、この短期変動は日本海と東シナ海との気圧差に対応しているという事実を発見した。また、OGAWA *et al.* (1981) は水温、透明度の変化から数日スケールで水塊の交替が起きていることを推定している。これらの事実は、対馬海峡付近および、日本海南西海域において、海況の数日スケールでの短期変動が存在していることを示唆している。油谷湾湾口における測流結果から、外海水の湾内への流入が3~4日の時間スケールで変化していることが認められ、これに伴って湾内の水塊の移動が起きていることが示唆された。このことは、これまで、小川ら (1978)、OGAWA *et al.* (1981) が、沖合の海域で見出した数日スケールの水塊の交替が、沿岸域でも生起していることをある程度実証的に明らかにし得たものと考えられる。さらに、湾内の魚群の現存量が3~5日の周期で変動し、魚群の移動が湾口部における流動に依存していることが見出された。このことから、魚群の移動・交替に同じ時間スケールでの水塊の移動・交替が関与していることが判明した。

## V. 総 括

本研究では浅海域として、まず瀬戸内海を対象に選び、生物生産環境としての流況、海況の季節変動特性を明らかにし、さらに気象要素を加えた環境諸因子とカタクチイワシ、イカナゴなど瀬戸内海における有用魚種の漁獲変動との関係について、重回帰分析による検討を行い、漁況予測の手法を見出した。次に、通常の観測ではフィルターアウトされるような数日スケール、数kmでの海況の短期変動と生物の現存量の変動との関係について、山口県油谷湾をモデル水域として、現地観測を通して究明した。

### V・1 月スケールでみた漁況と海況について

#### (1). 瀬戸内海における夏、冬季の恒流

夏季には、備讃瀬戸西部から備後灘、安芸灘、伊予灘の表層(5m以浅)に平均1~3cm/sの弱い西向流、備讃瀬戸東部から播磨灘にかけて2~3cm/sの東向流が認められた。一方、10m以深の中、底層水は備後灘、備讃瀬戸西部海域で東向流、備讃瀬戸東部、播磨灘西部海域で西向流を示すことから、瀬戸内海規模で密度流による重力循環流が形成され、備讃瀬戸付近でこの循環流が相接していることが推察された。

冬季には備讃瀬戸から播磨灘にかけて、東向流が夏季より強くなり、播磨灘東部海域では流速約5cm/sと夏季の2倍の大きさを示す。備後灘、安芸灘、伊予灘にかけては、流速1cm/s以下と弱くなっているが、いずれも夏季と同様西向流の傾向を示す。

恒流は以上述べたように夏季と冬季で若干の様相が異なるが、これらは夏季における河川水流入量の増大による密度流の発達、冬季の季節風に伴う吹送流の発達などの影響によるものと考えられる。

#### (2). 海況の季節変動について

瀬戸内海における水温の水平分布を巨視的にみると、冬季には西高東低、夏季には西低東高の様相を示した。さらに水温の季節変化をフーリエ展開し、その調和定数を比較することによって、従来、定性的にしか記述されていなかった水温の季節変動の海域的特性を量的に表現することができた。これによると、外海に近い豊後水道、伊予灘、紀伊水道は内部の海域に比べて水温の年平均値は大きく、年較差は小さい。また、熱フラックスを概算した結果、海面過程における年間の熱収支は全域について負の値を示すこと、したがって、これに見合う移流・拡散による熱フラックスが外海から内海へ流入していることが明らかになった。海面過程と移流・拡散による熱フラックスを各灘ごとにみると、海面過程の効果が移流・拡散の効果より大きいことが判明した。すなわち、夏季は、水深が浅く熱容量が小さい燧灘から東部海域は西部に比べて水温が高く、冬季は夏季と逆の水温分布パターンを示す。

塩分の水平分布については、年間を通して相対的に東部が低く、西部が高い。各灘における鉛直平均値にほぼ等しい10m層の塩分の値は、各灘に流入する主要河川の流量と対応して変化している。

水温・塩分の季節的変動特性に基づいて、瀬戸内海各灘における海況変化のタイプを分類すると、大きく周防灘、豊後水道・伊予灘、安芸灘・燧灘、備讃瀬戸、播磨灘・大阪湾、紀伊水道の6つに区分することができる。また、瀬戸内海の場合の海況の季節変化は基本的には塩分の季節変化によって規定されていることが判明した。

#### (3). 主要魚種の漁獲量の量的予測について

季節変動の海域別特性を明らかにした水温・塩分などの海況因子に、さらに恒流の変動に重要な河川流量、風などの気象要因を加え、これらが内海における漁況の変動にどのような形で関与しているか重回帰分析によって検討した。

分析の対象とした魚種はカタクチイワシ、イカナゴ、ス



ズキ、アジ、コウイカ、タコ、ボラの7種類である。これらの魚種のそれぞれについて、盛漁期3～4か月間の漁獲量を従属変数とし、気象、海象要因の漁獲月の2か月前、1か月前の値を独立変数とし、前進選択法によって予測の回帰式を求め、その予測値がどの程度実際の漁況に対応しているかを検証した。その結果、対象魚種に対する独立変数を4～6個用いることにより、統計的には有意な漁獲予測が可能となった。また、得られた予測式の中に用いられた独立変数は、同じ魚種でも各灘ごとに異なっている。さらに、同一魚種について、予測式に用いられた独立変数をもとにクラスター分析し、灘の類似性を検討した結果、1)伊予灘、紀伊水道と他の海域とは異なった環境にあることが明らかとなった。また、2)瀬戸内海内部から東部にかけては塩分の変動が、カタクチイワシ、イカナゴ、アジ類、ボラの漁況変動に大きく影響していることが判明した。

## V・2 ローカスケールでみた漁況と海況の関係について

カタクチシラスの出現が多い6月初旬(1977年)に連続15日間、油谷湾の湾口部3点における測流、水温、塩分の測定と、併せて魚探調査による湾内の資源生物の現存量測定を行ない、これらの結果を総合して、小スケールでの漁況と海況の変動の実態と、その両者の関係について考察を試みた。これらの結果を要約すると、

1)湾口部における測流結果から、外海水は湾口南岸沿いに流入し、その流速は3～4日の周期で変化している。それに伴い湾口北岸沿いに内湾水が流出していることが明らかとなった。

2)調査期間における魚探調査によって測定された湾内のカタクチシラスの現存量は、233トンから540トンの間で変動し、その変動の時間スケールは3～5日と見積られた。

3)カタクチシラス魚群の現存量の変動は外海水の流入とかなりよく対応していることから、湾内の魚群は湾内に形成される環流に沿って反時計まわりに移動し、数日スケールで次々に入れ替っているものと推定された。

以上、本研究では、まず、瀬戸内海において既存の調査資料に基づき、流況、海況の季節的な変動特性、さらには海況諸要因と漁況変動との関係について基本的なとりまとめを行ない、これまで全く指針が得られていなかった有用魚種の漁獲変動予測について新たな方法を見出した。また、油谷湾における現地観測を通して、これまで知見が非常に少なかったローカスケールでの漁況の短期変動と海況と

の関係を示した。

なお、今後に残された問題点について考えてみると、

1)瀬戸内海の魚種別、月別、灘別の漁獲統計を用いて、対象魚種の漁況予測を行ったが、沿岸漁業の見地からみると、各漁業別における魚種別、漁場別の漁獲予測がなされなければならない。このためには、漁況予測の資料として、漁業種別、魚種別、漁場別の日報を収集し、これに対応した海象・気象データを用いて、漁況の短期(旬別、月別)予測法を確立すべきである。

2)油谷湾をモデル海域として、現地観測から、資源生物の現存量の短期変動と海況の短期変動の実態が明らかになった。最近では資源生物のクイックアセスメントとして魚探にコンピューターを付加した科学魚探が使用されるようになった。このような音響機器による資源量推定法を導入し、湾内と沖合での日単位の魚群量を推定し、魚群量の変動、回遊と海況との関連を究明すべきであろう。

3)瀬戸内海西部の豊後水道速吸瀬戸および別府湾周辺海域は、外海から内海、内湾へ多くの魚種の卵・稚仔魚が輸送される。隣接する別府湾は湾口23 km、湾奥25 kmで、魚探による魚群調査、海洋観測は5～10時間程度で実施でき、海況の短期変動と漁況との関連を研究するには最適のモデル水域といえる。このような水域で、油谷湾で得られた調査手法に加え、レーダーブイ追跡による外海水、内湾水の流動、CTDによる微細海洋観測、ネットによる卵・稚仔の採集を通じて、局所的なスケールでの漁況と海況に関連する研究は瀬戸内海における水産海洋学研究的研究の今後の新しい方向性を見出す上で興味ある課題といえる。

## 謝 辞

終りに臨み、本研究に懇切な御指導を賜り、原稿の御校閲をいただいた前東京大学(現東海大学)教授平野敏行博士に深く感謝の意を表す。

なお、瀬戸内海の海洋観測資料をまとめるにあたって、御協力をいただいた中国工業試験所藤原建紀博士に厚く御礼を申し上げます。

さらに、本研究を進めるにあたり、数々の便宜をはかっていただいた西海区水産研究所長佐藤重勝博士および研究員の皆様へ感謝の意を表す。

また、本研究をまとめるにあたり、有益な討論、助言をいただいた東京大学中田英昭博士、水産大学校教授三橋寛、前田 弘両博士に深甚の謝意を表す。

## 文 献

- 青山恒雄・見元孝一・柴田恵司・西ノ首英之・藤井泰司・中原民男・小川嘉彦・広瀬誠 (1971) : 山陰高山岬沖におけるカタクチイワシの分布, S型魚群計量装置・段階記録式魚群計量装置および光学魚量計による実験結果報告, 西水研報, 29-35.
- 青山恒雄・石井丈夫・青木一郎・稲垣正 (1982) : ネクトンおよびマイクロネクトンのクイックアセスメント技法開発に関する基礎的研究, 昭和56年度科研費 (一般研究B) 報告書, 1-106.
- 安部恒之 (1980) : 大阪湾の海況変動, 水温・塩分の自動観測からみた短期変動, 海と空, 56 (2-3), 55-65.
- 土井長之 (1950) : 瀬戸内海におけるイワシの漁況について (第1報) 漁獲高の永年変化, 日本水産学会誌, 16 (4), 132-136.
- 土井長之 (1955) : 瀬戸内海におけるイワシの漁況について- II, 漁獲高の自然環境に対する相関及び漁況の予報, 日本水産学会誌, 21 (2), 82-87.
- 土井長之 (1971) : イカナゴの発生量数値予測, 東海区水研, 漁場海況概報, 52, 32-36.
- 浜田尚雄 (1966) : 播磨灘, 大阪湾におけるイカナゴ発生量変動に関する研究-I, 親魚の年令組成との関係, 日本水産学会誌, 32 (5), 393-398.
- (1966) : 播磨灘, 大阪湾におけるイカナゴ発生量変動に関する研究-II, 稚仔の分布消長について, 日本水産学会誌, 32 (5), 399-405.
- (1966) : 播磨灘, 大阪湾におけるイカナゴ発生量変動に関する研究-III, 産卵期前後の海気象との関係, 日本水産学会誌, 32 (17), 579-584.
- 速水頌一郎・国司秀明・西勝也 (1964) : 白浜海洋観測塔の設備と二、三の観測記録について, 京大防災研報, 7, 434-453.
- 速水頌一郎・宇野木早苗・中野猿人・渡辺信雄 (1970) : 瀬戸内海の海水交流と物質の拡散, 東海大学調査報告, 68p.
- 日高孝次 (1937) : 瀬戸内海の東向流について, 海と空, 17 (2), 100-104.
- 肥後竹彦・高杉由夫, 田辺弘道 (1980) : 瀬戸内海全域の潮流について, 中工試報, 12, 81-120.
- 今里哲久・国司秀明・武岡英隆・吉岡洋・柳哲雄・淡路敏之・遠藤修一 (1978) : 瀬戸内海の海況変動について, 沿岸海洋研究ノート, 15 (2), 138-142.
- 井上明・高森茂樹・国行一正・小林真一・仁科重己 (1967) : イカナゴの漁業生物学的研究, 内海水研報, 25, 1-335.
- ISHII, T. (1976) : Studies on Counting the Echo Pattern of Individual Fish by Pattern Analysis Method - I, Total System and Hard Wear, *Bull. Jap. Soc. Fish.*, 42 (3), 251 - 264.
- (1976) : Studies on Counting the Echo Pattern of Individual Fish by Pattern Analysis Method - II, Identification of the Echo Pattern, *ibid.*, 42 (10), 1065 - 1076.
- (1976) : Studies on Counting the Echo Pattern of Individual Fish by Pattern Analysis Method - III, Analysis of Elements of Echo Data, *ibid.*, 42 (11), 1251 - 1261.
- (1977) : Studies on Counting the Echo Pattern of Individual Fish by Pattern Analysis Method - IV, Design of the Echo Pattern Mask, *ibid.*, 43 (1), 19 - 30.
- (1977) : Studies on Counting the Echo Pattern of Individual Fish by Pattern Analysis Method - V, Analysis of the Relationship between Echo Pattern Counts and Fish Density by the Simulation Method, *ibid.*, 43 (2), 151 - 161.
- 石崎廣・斉藤実 (1978) : 瀬戸内海における蒸発量について, 沿岸海洋研究ノート, 16 (1), 11-20.
- (1978) : 瀬戸内海における熱収支について, 海と空, 54 (1), 1-11.
- JACCARD, P. (1902) : Geetze der Pflanzenvertheilung in der alpinen Region, *Flora*, 90, 349 - 377.
- (木元新作 (1978) : 動物群集研究法 I より再引用)
- 近藤正人 (1976) : 瀬戸内海の海況に関する研究資料-I, 底層平均水温・塩分の分布, 浅海定線調査担当者会議資料
- 海上保安庁水路部 : 潮汐観測 (1928-1977).
- 海上保安庁第七管区海上保安本部 (1979) : 角島周辺海域潮流観測報告書, 1-40
- 環境庁水質保全局 (1973) : 昭和47年度瀬戸内海水質汚濁総合調査

建設省河川局：流量年表1968～1977

木元新作 (1978)：生態学研究法講座14, 動物群集研究法 I, 多様性と種類組成, 共立出版, 東京, 192p.

気象庁：気象月報1968～1977

岸 道郎 (1981)：定置網漁獲量のGMDHによる定量的予測, 定置水温から米神漁場のマアジ漁獲量を予測する, 水産海洋研究会報, 38, 1～5.

神戸海洋気象台 (1967)：瀬戸内海の内海気象と海象, 神戸海洋気象台彙報, 177.

久保伊津男 (1935)：瀬戸内海に於ける鯖の漁獲高と降水量及び気温との関係について, 日本水産学会誌, 4 (4), 253～258.

——— (1940)：イセエビ *Panulirus japonicus* (V. Siebold) の漁況, II 降水量との関係について, 日本水産学会誌, 8 (6), 287～291.

国司秀明・西勝也・由佐悠紀 (1965)：白浜海洋観測塔における水温変動について, 京大防災研報, 8, 479～493.

——— (1967)：白浜海洋観測塔における水温変動について (第2報), 京大防災研報, 10 B, 295～303.

国司秀明・西勝也・鈴木徹 (1967)：田辺湾における海況変動の観測, 京大防災研報, 10 B, 305～311.

——— (1968)：田辺湾における海況変動の観測 (第2報), 京大防災研報, 11 B, 327～335.

三井田恒博・大内康敬・古田久典 (1972)：生物資源の輸送としての対馬暖流域の動態に関する研究 (I), 課題の設定について, 福岡水試報告, 36～39.

見元孝一・青山恒雄 (1978)：超音波魚群計量装置による計測値の実数化に関するまき網操業実験について, 西水研報, 51, 159～166.

水戸 敏 (1964)：瀬戸内海に出現する魚卵および稚仔魚の研究 I, 分布と出現量, 内海区水研刊行物 C 輯第2号, 1～24.

——— (1965)：瀬戸内海に出現する魚卵および稚仔魚の研究 II, 出現する種類, 内海区水研刊行物 C 輯第4号, 1～18.

森慶一郎 (1981)：内湾域における魚類の生産・再生産に関する研究, 東大・農学系博士論文, C 輯第4号, 1～18.

村上真裕美・大西行雄・原島省・国司秀明 (1978)：瀬戸

内海における水温, 塩分分布の数値シミュレーション, 沿岸海洋研究ノート, 15 (2), 130～137.

南西水研 (1975)：瀬戸内海における漁業資源と漁業の展望, 基本委託調査および魚介類回游調査に基づく綜説, 南西海区水研調査報告第1号, 68p.

——— (1977)：瀬戸内海灘別漁業動向について, 南西水研調査報告第2号, 423p.

永田 豊 (1982)：湾内水温の急変現象と外洋条件, 沿岸海洋研究ノート, 19 (2), 103～111.

中田英昭 (1977)：瀬戸内海における生物生産環境としての海水流動・拡散に関する研究, 東大・農学系, 博士論文.

中田英昭・岸道郎 (1981)：水産海洋研究へのシステム理論の応用システムと制御, 25 (2), 74～81.

中島暢太郎 (1972)：瀬戸内海の内海気象・海洋科学, 4 (4), 23～28.

西勝也・鈴木徹・国司秀明 (1971)：田辺湾における海況変動の観測 (第3報), 京大防災研報, 14 B, 533～550

農林省中国四国農政局：瀬戸内海漁業灘別統計表, 1969～1972.

———：瀬戸内海漁業灘別月別漁獲統計表, 1973～1977.

OGAWA, Y., MIITA, T., ICHIHARA, A., HASEGAWA, Y. and INOUE, N. (1978)：Fluctuations of the Tsushima Current Measured with the Current Drogue, *Bull. Seikai Reg. Fish. Res. Lab.*, (51), 13～44.

OGAWA, Y. (1979)：Alternation of Water Masses on the Coastal Fishing Ground in the Southwestern Japan Sea, *Bull. Seikai Reg. Fish. Res. Lab.*, (52), 79～89.

小川嘉彦 (1980)：沿岸域における海況変動と漁業生産, 沿岸海洋研究ノート, 17 (2), 131～144.

OGAWA, Y. and NAKAHARA, T. (1981)：Daily Variations in the Occurrences of Pelagic Fishes and Zooplankton within a Coastal Fishing Ground of the Southwestern Japan Sea, *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 36 (6), 275～285.

大川浩・三栖寛 (1978)：魚群探知機により魚群量を推定する一つの試み, 西水研報, 51, 141～157.

大崎絏一・菊地進・緒方正名 (1970)：コンピュータ・プログラムによる統計技術, 同文書院, 東京, 328p.

- 産業公害防止協会 (1972) : 長浜地先海域海況調査報告書  
 産業公害防止協会 (1973) : 瀬戸内海海況調査報告書, 55p.
- 西海区水研下関支所 (1976) : 油谷湾をモデル水域とした沿岸域における重要魚類の補給機構に関する調査資料, 第1輯環境および魚群の量と分布, 250p.
- 千田哲資 (1964) : 西日本海域における魚卵・稚魚の分布の研究, 岡山県水試, 昭和39年度臨時報告, 80p.
- (1966) : 瀬戸内海におけるサヨリの産卵, I. 流れ藻などに対する産卵, 日本生態学会誌, 16 (4), 165~169.
- SHIBATA, K. (1971) : Studies on Echo Counting for Estimation Fish Stocks — I., Overlap Counting and Reading of S-type Echo Counter, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 37 (8), 711 — 719.
- SHIBATA, K., AOYAMA, T., MIMOTO, K. and NISHINOKUBI, H. (1971) : Studies on Echo Counting for Estimation of Fish Stocks— II., An Example of Field Survey, *ibid.*, 37 (9), 825 — 830.
- 水産庁 (1958) : 対馬暖流開発調査報告第1輯 (漁況海況編), 1~501.
- : 海洋観測資料, 1966~1981.
- 杉本隆成・樋口明生 (1971) : 瀬戸内海における潮汐混合の実験的研究 (I) 序報, 京大防災研報, 14 B, 435~450.
- 宇田道隆・渡辺信雄 (1933) : 瀬戸内海の平年各月海況, 水産試験場報告, 3, 137~164.
- 宇野木早苗・岸野元彰・岡見登 (1974) : 伊勢湾の平均的  
海況と交流要因, 伊勢湾における汚濁物質の循環機構に関する調査報告書, 産業公害防止協会, 31~160.
- 山辺功二 (1976) : 瀬戸内海における海水交換, 地理学評論, 49 (7), 480~487
- 柳哲雄・樋口明生 (1979) : 瀬戸内海の恒流, 沿岸海洋研究ノート, 16 (2), 123~127.
- YANAGI, T. (1982) : The Ocean Characteristics and Their Change in the Seto Inland Sea, *La mer*, 20, 161 — 168.
- YANAGI, T., TAKEOKA, H. and TSUKAMOTO, H. (1982) : Tidal Energy Balance in the Seto Inland Sea, *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 38 (5), 293 — 299.

App. Table 1. Ordering of variables in multiple regression of relation between salinity and river discharge volume.

Stn.	$a_0$	$Q_{03}$	$Q_{02}$	$Q_{01}$	$Q_{00}$	$R$	D. F
1	33.789			1 (-0.00005)	2 (-0.00003)	0.485**	2, 83
2	33.674			1 (-0.00006)	2 (-0.00004)	0.636**	2, 81
3	32.954		2 (-0.00001)	1 (-0.00002)		0.428**	2, 69
4	32.651	2 (-0.00002)	3 (-0.00001)	1 (-0.00003)		0.577**	2, 69
5	32.430	2 (-0.00022)	3 (-0.00015)	1 (-0.00028)		0.592**	3, 110
6	32.549	3 (-0.00022)	3 (-0.00029)	1 (-0.00033)		0.694**	3, 107
7	32.685	3 (-0.00031)	2 (-0.00032)	1 (-0.00033)		0.714**	3, 102
8	32.588	2 (-0.00034)		1 (-0.00040)		0.633**	2, 48
9	32.821	2 (-0.00037)	3 (-0.00034)	1 (-0.00035)		0.684**	3, 91
10	32.863	3 (-0.00010)	2 (-0.00011)	1 (-0.00010)		0.734**	3, 99
11	32.968	3 (-0.00012)	2 (-0.00011)	1 (-0.00011)	4 (-0.00005)	0.731**	4, 99
12	33.114	3 (-0.00012)	2 (-0.00014)	1 (-0.00014)		0.746**	3, 99
13	32.666	3 (-0.00011)	2 (-0.00015)	1 (-0.00013)		0.664**	3, 61
14	32.652	3 (-0.00054)	2 (-0.00050)		1 (-0.00063)	0.741**	3, 50
15	32.951	1 (-0.00015)	2 (-0.00011)			0.567**	2, 55
16	32.831	3 (-0.00032)	1 (-0.00076)	2 (-0.00065)		0.692**	3, 78
17	32.896	3 (-0.00028)	1 (-0.00063)	2 (-0.00050)	4 (-0.00023)	0.691**	4, 77
18	33.019	4 (-0.00016)	1 (-0.00056)	2 (-0.00050)	3 (-0.00018)	0.682**	4, 77
19	33.302	3 (-0.00005)	1 (-0.00014)	2 (-0.00010)		0.588**	3, 67
20	33.318		1 (-0.00009)	2 (-0.00005)		0.424**	2, 71
21	33.699	2 (-0.00011)	1 (-0.00014)	3 (-0.00009)		0.559**	3, 58
22	33.850	3 (-0.00011)	2 (-0.00011)	1 (-0.00011)	4 (-0.00006)	0.565**	4, 94
23	34.261	3 (-0.00006)	1 (-0.00006)	4 (-0.00005)	2 (-0.00007)	0.493**	4, 105
24	31.662	3 ( 0.00087)	1 ( 0.00056)	4 ( 0.00026)	2 ( 0.00084)	0.141	4, 106
25	34.672		3 (-0.00019)	2 (-0.00027)	1 (-0.00043)	0.489**	3, 99
26	33.814		2 (-0.00033)	1 (-0.00095)		0.653**	2, 35
27	33.417	1 (-0.00012)		2 (-0.00010)		0.520**	2, 53
28	33.094	1 (-0.00026)	2 (-0.00020)	3 (-0.00013)		0.732**	3, 52
29	33.103	2 (-0.00048)		1 (-0.00040)	3 (-0.00031)	0.654**	3, 39
30	32.698	3 (-0.00009)	1 (-0.00021)	2 (-0.00018)		0.696**	3, 72
31	32.925	3 (-0.00011)	4 (-0.00010)	1 (-0.00011)	2 (-0.00012)	0.755**	4, 114
32	33.299	3 (-0.00007)	2 (-0.00011)	1 (-0.00009)	4 (-0.00004)	0.726**	4, 89
33	33.482	1 (-0.00011)	3 (-0.00008)	2 (-0.00009)	4 (-0.00007)	0.742**	4, 111
34	33.018	2 (-0.00016)	1 (-0.00017)	3 (-0.00014)	4 (-0.00008)	0.676**	4, 111

Number in parentheses denotes partial regression coefficient of variables.  
 $Q_i$  denotes discharge volume of river in  $i$  month before the salinity observation,  $i$  being 0 to 3.  
 $R$  denotes multiple correlation coefficient. D.F denotes degree of freedom.

App. Table 2. Estimated equations for catch prediction (by forward selection method).  
 $y = a_0 + a_1x_1 + \dots + a_6x_6$ ;  $R$ ,  $n_1$ ,  $n_2$ : Multiple correlation coefficient and its df.  
 Abbreviation in parentheses: Number under the partial correlation coefficient shows respectively the order of variables used as one of the independent variables.

	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$R$	$n_1$	$n_2$
Osaka	-107245.5	-1677.6 (D-1)	2073.2 (D-2)	-1138.2 (D-3)	-0.94489 (PR-6)	-8.5726 (HS-5)	3510.7 (S-5)	0.631*	6	29
Harima	-44302.9	-3015.0 (D-1)	-1545.2 (D-2)	-3250.3 (D-3)	-3383.7 (AT-6)	1540.9 (S-6)	117.87 (TR-5)	0.815**	6	17
Aki	8579.8	-166.42 (D-1)	112.44 (AT-6)	144.43 (T-6)	-249.70 (S-5)	95.789 (WE-5)	-55.593 (WE-6)	0.808**	6	25
Iyo	524.7	-171.0 (D-1)	1074.7 (D-2)	1150.5 (D-3)	101.89 (AT-6)	-5.6604 (HS-6)	165.04 (T-5)	0.924**	6	17

2. Sand lance (Regression equation estimated by all possible selection method.)

	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$R$	$n_1$	$n_2$
Hyogo	-342950.0	3.73705 (X-2)	-79.7537 (X-3)	19513.75 (X-4)	7.5442 (X-6)			0.991**	4	4

X2: Catch of parents, X3: Percentage of yearling in Oct.-Dec., X4: CI (%) in Jan.-Mar.,  
 X6: Area of distribution of juvenile.

3. Common sea bass (Apr. - June)

	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$R$	$n_1$	$n_2$
Harima	66.0	-3.3140 (TR02)	-20.014 (AT01)	0.01944 (PR01)	0.58583 (HS-1)	-37.857 (WE01)	5.6824 (TR01)	0.819*	6	12
Iyo	20.5	4.2589 (AT02)	1.2977 (WE02)	-0.95762 (TR02)	4.7537 (AT01)	1.7949 (WE01)		0.809**	5	15
Suo	15.4	0.01196 (PR02)	0.26319 (HS-2)	1.5904 (WE02)	0.01191 (PR01)	0.18985 (HS-1)	3.1111 (WE01)	0.801*	6	15

4. Common sea bass (July - Sept.)

	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$R$	$n_1$	$n_2$
Hiuchi	-16.1	1.3174 (WE02) 6	0.92571 (S02) 2	1.1417 (TR02) 3	0.00435 (PR01) 1	-1.0007 (WVN01) 5	-0.48466 (TR01) 4	0.902**	6	18
Iyo	14.1	1.0250 (AT02) 6	0.04559 (HS-2) 1	-2.7278 (T02) 2	-0.40016 (TR02) 5	0.03273 (HS-1) 3	-1.5207 (WVN01) 4	0.777**	6	15
Suo	11.9	0.08641 (HS-2) 2	4.3043 (WVN02) 4	-3.7020 (S02) 6	1.7106 (WE01) 3	-2.6729 (T01) 5	3.5339 (TR01) 1	0.760*	6	19

5. Horse mackerel (July - Sept.)

	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$R$	$n_1$	$n_2$
Kii	-78.0	59.3 (D-1) 4	-99.182 (WE02) 1	6.4173 (TR02) 2	-52.495 (AT01) 3			0.755*	4	11
Osaka	-9844.5	-100.53 (WVN02) 4	90.600 (WE02) 3	79.703 (T02) 2	305.44 (S02) 1			0.802**	4	22
Aki	-408.4	7.6390 (S02) 2	0.00291 (Q02) 3	5.9943 (AT01) 6	-2.3336 (WE01) 4	5.7223 (S01) 5	0.00410 (Q01) 1	0.894**	6	18
Iyo	80.0	4.9129 (WE02) 1	-2.3769 (TR02) 5	0.16388 (HS01) 3	4.6291 (WE01) 2	-3.0235 (TR01) 4		0.738*	5	16

6. Cuttlefish (Oct. - Dec.)

	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$R$	$n_1$	$n_2$
Osaka	98.0	24.4 (D-2) 5	-0.01620 (PR02) 1	-16.964 (T02) 3	-0.01311 (PR01) 2	-0.35137 (HS-1) 4		0.856**	5	20
Harima	467.1	-17.6 (D-1) 5	0.27311 (HS-2) 3	-27.015 (S02) 2	0.62386 (HS-1) 1	15.588 (S01) 4		0.759*	5	16

7. Octopus (June - Aug.)

	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$R$	$n_1$	$n_2$
Osaka	70.2	-23.6 (D-1) 2	-11.4 (D-2) 4	4.0372 (TR02) 3	0.20811 (HS-1) 1			0.736**	4	22
Iyo	110.7	72.6 (D-2) 1	-0.02382 (PR02) 4	-40.725 (WVN02) 5	-21.054 (WE02) 3	-23.772 (AT01) 2		0.887**	5	13
Suo	1277.3	-23.137 (AT02) 5	-0.01437 (PR02) 4	6.7973 (WE02) 3	20.403 (WE01) 1	-33.066 (S01) 2		0.811**	5	21

## 8. Gray mullet (Jan. - Mar.)

	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$R$	$n_1$	$n_2$
Harima	329.5	7.8 (D-2) 4	0.14574 (HS-2) 3	6.6090 (WN02) 1	-9.0035 (S02) 2	-0.24867 (HS-1) 6	-0.02432 (Q01) 5	0.927**	6	12
Iyo	-8.0	58.8 (D-2) 1	1.6432 (HS-2) 4	-39.519 (AT01) 2	23.999 (T01) 3	0.08354 (Q01) 5		0.675*	5	17

## 9. Gray mullet (Apr. - June)

	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$R$	$n_1$	$n_2$
Harima	601.5	-10.9 (D-1) 5	-0.01015 (PR02) 1	3.9358 (WN02) 4	3.8334 (WN01) 3	-15.902 (S01) 2		0.738*	5	13
Bisan <sup>1)</sup>	15.5	-3.2407 (WN02) 3	-5.7997 (AT01) 4	0.00858 (PR01) 1	-0.06880 (HS-1) 5	-2.6208 (WN01) 2		0.906**	5	13
Huichi	1344.1	67.230 (D-1) 1	16.232 (AT02) 2	-0.51881 (HS-1) 3	9.9317 (WN01) 5	-39.446 (S01) 4		0.806*	5	14
Aki <sup>1)</sup>	8.1	24.9 (D-1) 1	3.8796 (WE02) 3	13.545 (AT01) 2	-0.15043 (HS-1) 4	1.6594 (TR01) 5		0.893**	5	16
Iyo	127.6	115.7 (D-1) 1	-39.557 (AT02) 3	0.69610 (HS-2) 5	43.288 (AT01) 2	-9.3350 (TR01) 4		0.814**	5	15

## 10. Gray mullet (Aug. - Oct.)

	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$R$	$n_1$	$n_2$
Bisan	7.1	2.7792 (WE02) 6	0.00330 (Q02) 3	9.7616 (AT01) 4	-0.11311 (HS-1) 2	0.00275 (Q01) 5	2.8600 (TR01) 1	0.861**	6	16
Harima	51.9	-7.8577 (D-1) 4	0.00208 (PR02) 2	6.1081 (AT01) 3	0.00619 (PR01) 5	2.6637 (WE01) 6	3.5367 (T01) 1	0.847*	6	11
Huichi	115.9	11.9 (D-1) 3	-14.0 (D-2) 1	6.0308 (T02) 5	-5.9228 (TR02) 2	0.17057 (HS-1) 6	-8.7270 (T01) 4	0.850**	6	16
Aki	88.5	5.7 (D-1) 3	-7.7 (D-2) 1	-0.06196 (HS-2) 5	-2.6797 (S02) 6	1.8547 (TR02) 4	-0.08748 (HS-1) 2	0.783**	6	17
Iyo <sup>2)</sup>	36.0	7.2 (D-2) 6	0.033 (HS-2) 3	1.0088 (WE02) 2	-1.0173 (TR02) 4	2.6585 (WE01) 5	-1.5885 (TR01) 1	0.792*	6	15



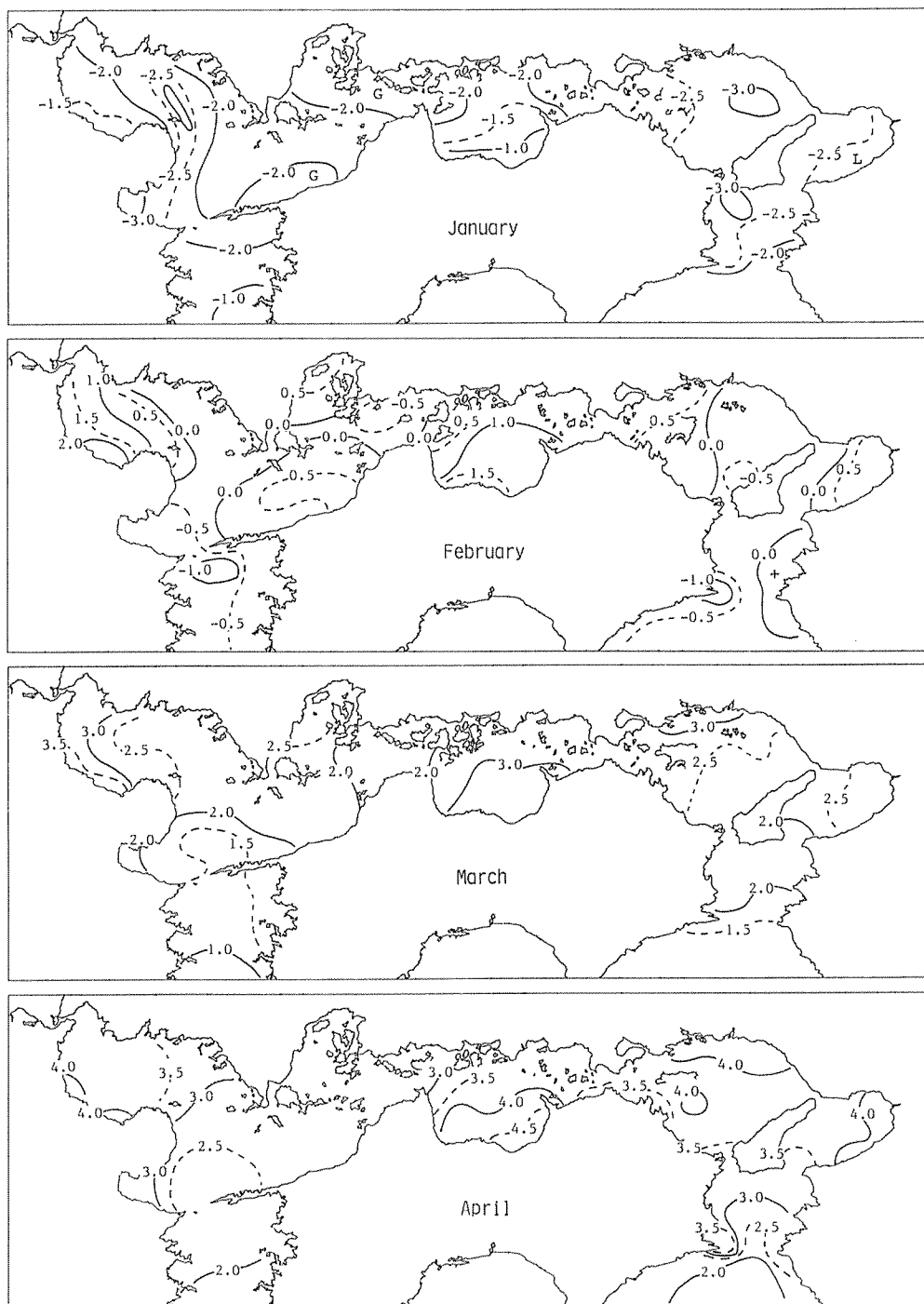
11. Gray mullet (Oct. - Dec.)

	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$R$	$n_1$	$n_2$
Harima	60.3	12.2 (D-1)	-2.5389 (AT02)	0.00064 (PR02)	-36.416 (WE02)	5.5569 (AT01)	0.00215 (PR01)	0.912**	6	13
		2	6	4	1	3	5			
Iyo	117.8	-6.3 (D-1)	22.6 (D-2)	0.26913 (HS-2)	-3.3046 (S02)	-20.470 (WN01)	-10.033 (WE01)	0.780**	6	17
		1	6	3	2	4	5			

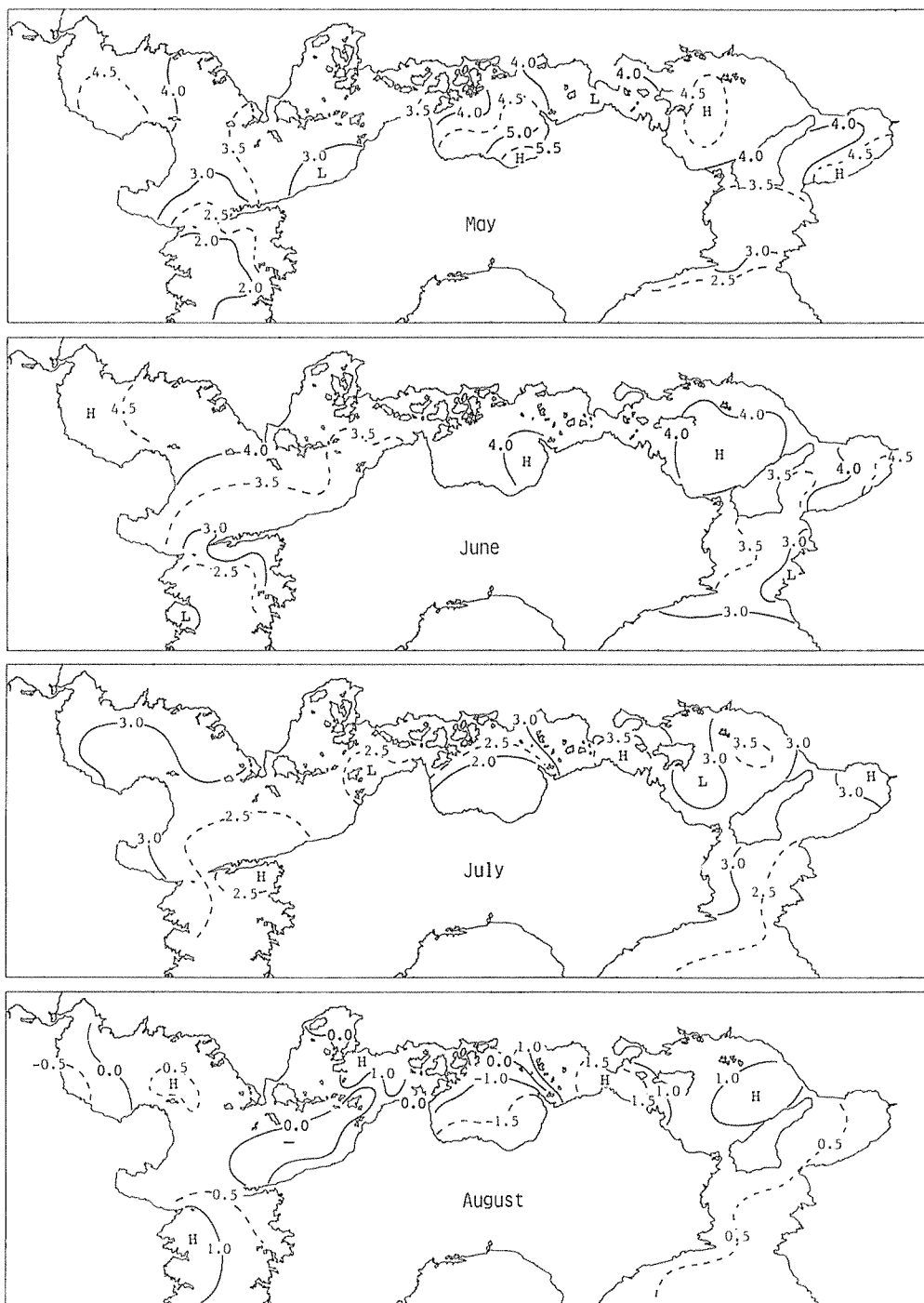
\*, \*\* : Significant at 5% and 1% level, respectively

1) Catch in May, June and July.

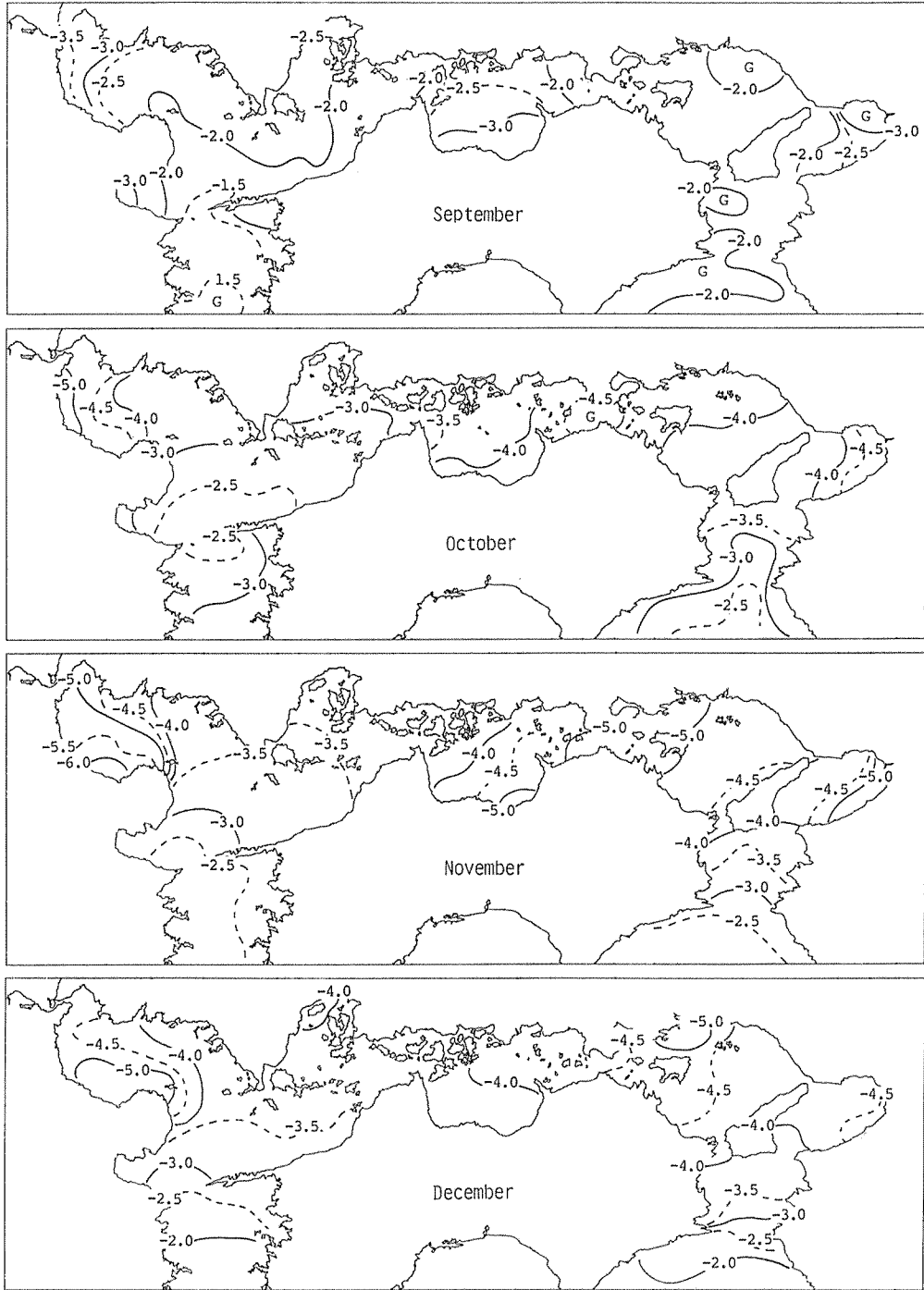
2) Catch in July, August and September.



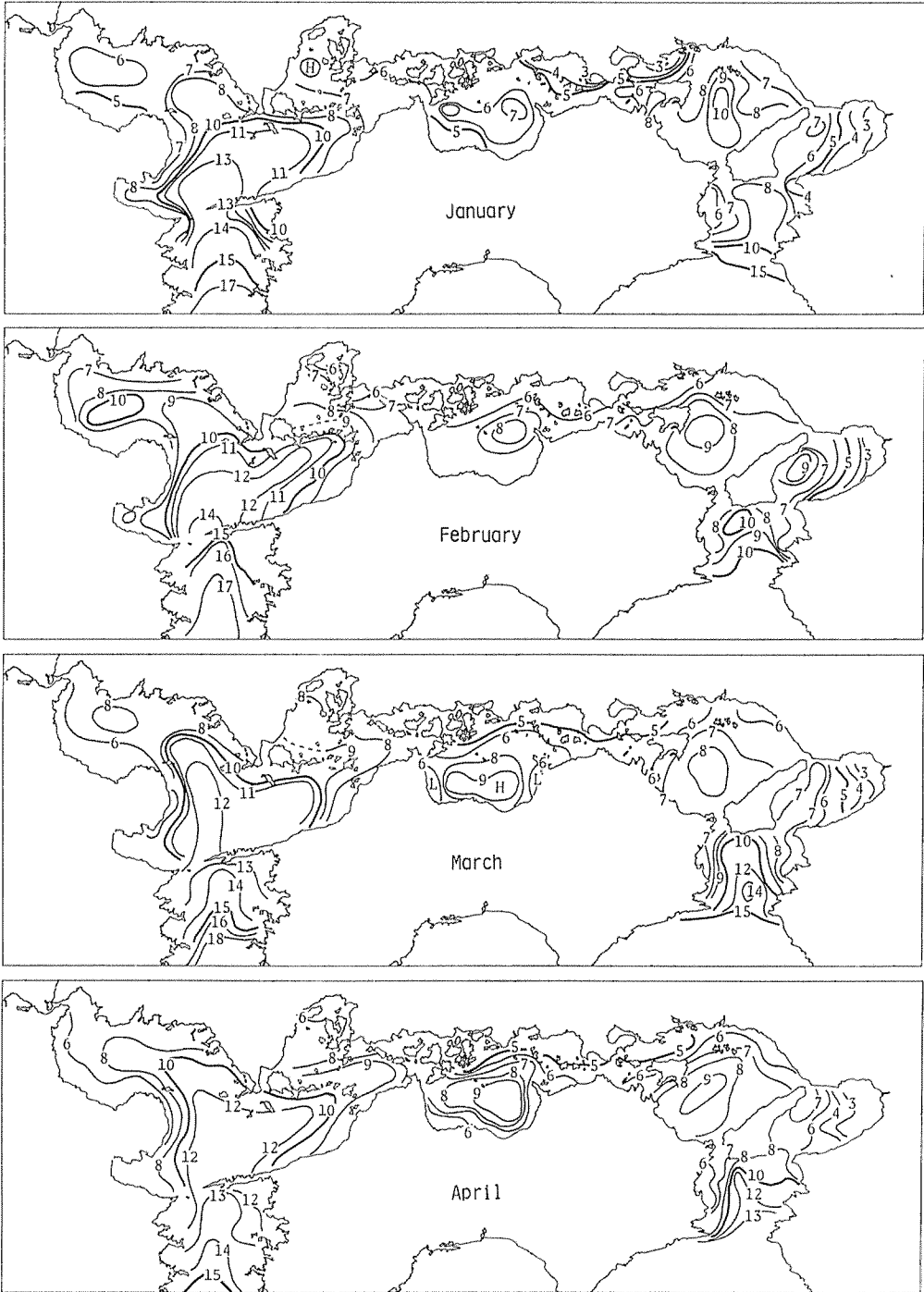
App. Fig. 1. Monthly distributions of rate of variation of mean surface water temperature ( $^{\circ}\text{C}/\text{month}$ ).



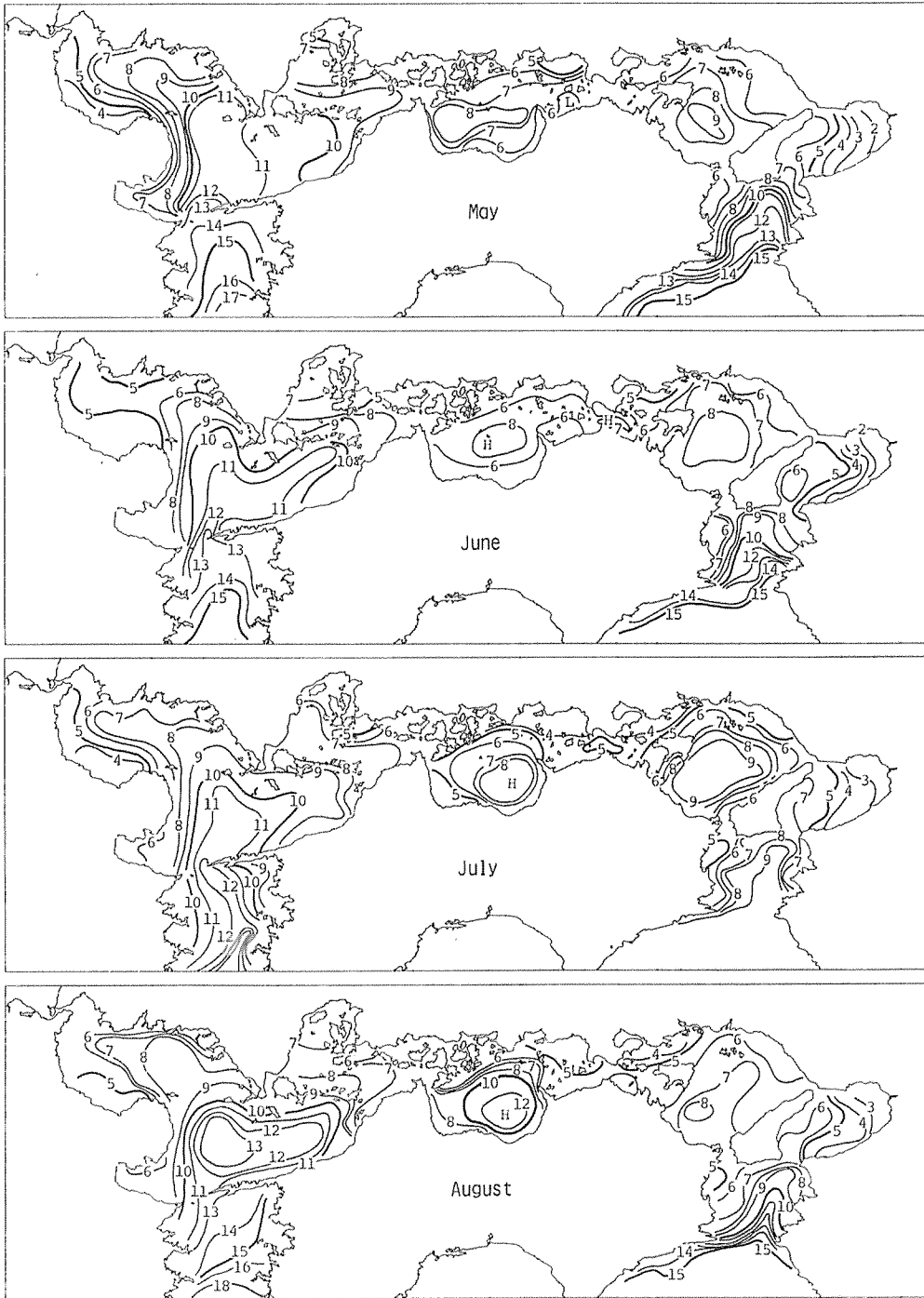
App. Fig. 1. Monthly distributions of rate of variation of mean surface water temperature (°C/month).



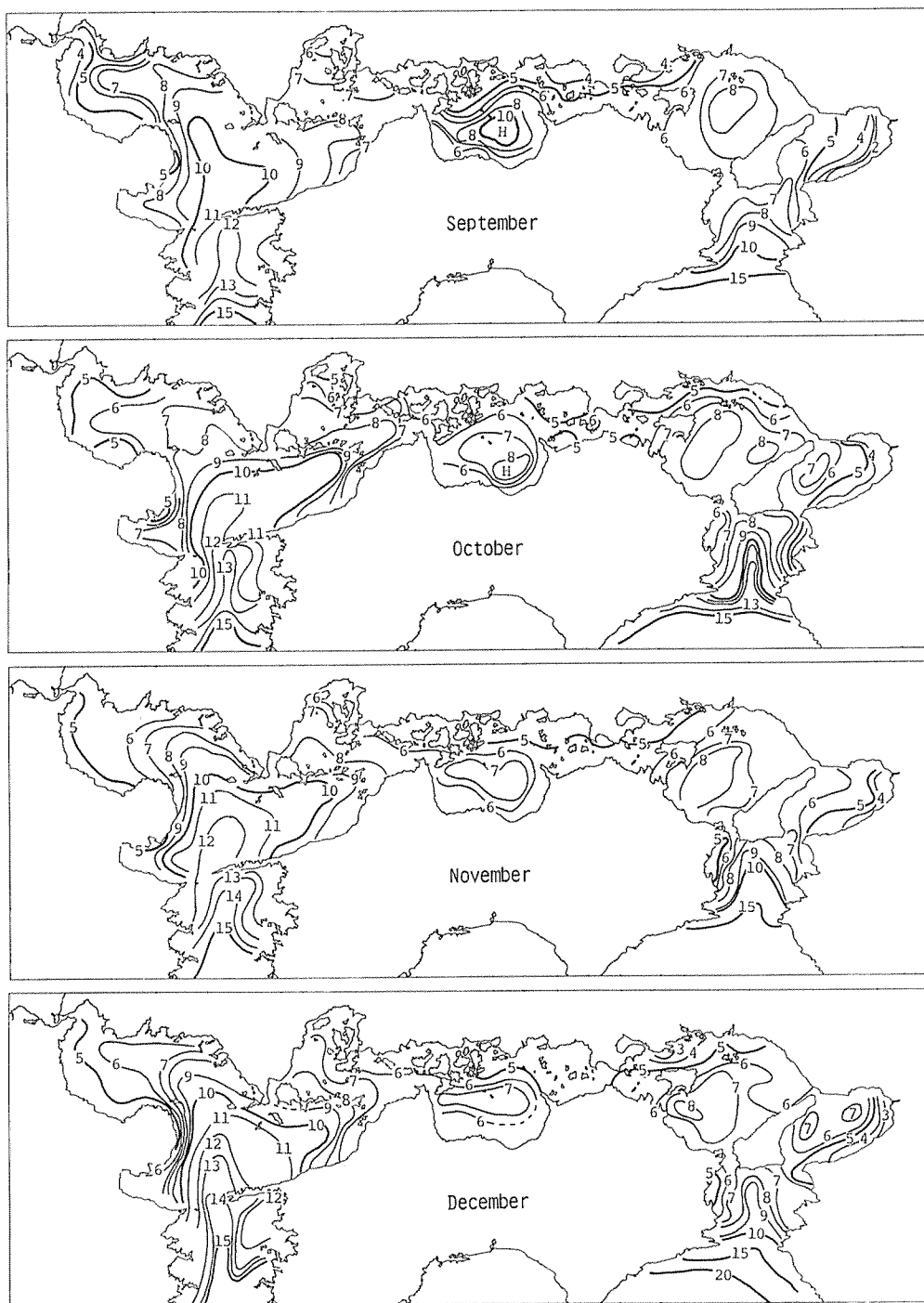
App. Fig. 1. Monthly distributions of rate of variation of mean surface water temperature ( °C/month).



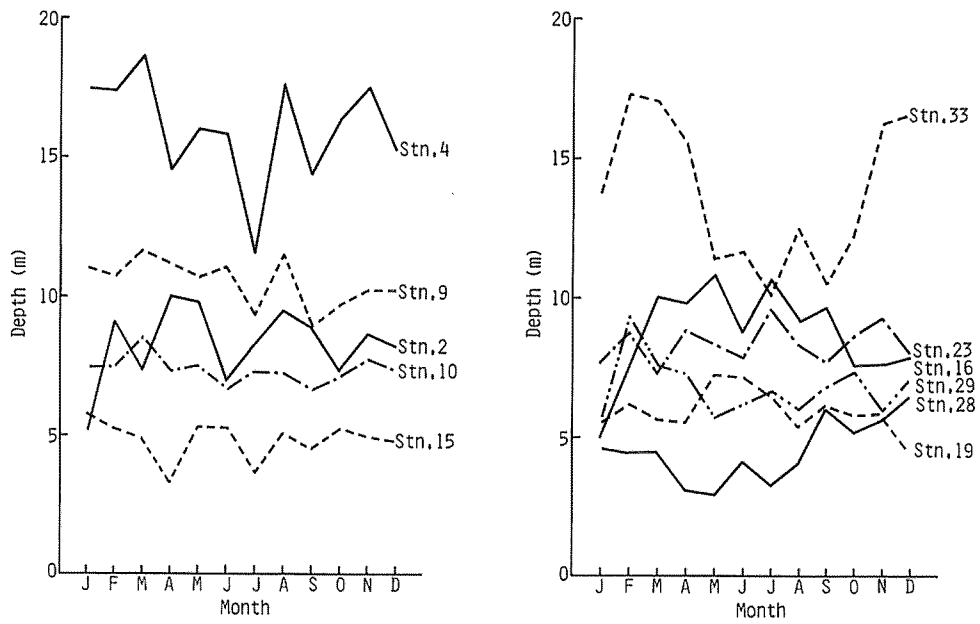
App. Fig. 2. Horizontal distributions of monthly mean transparency (m).



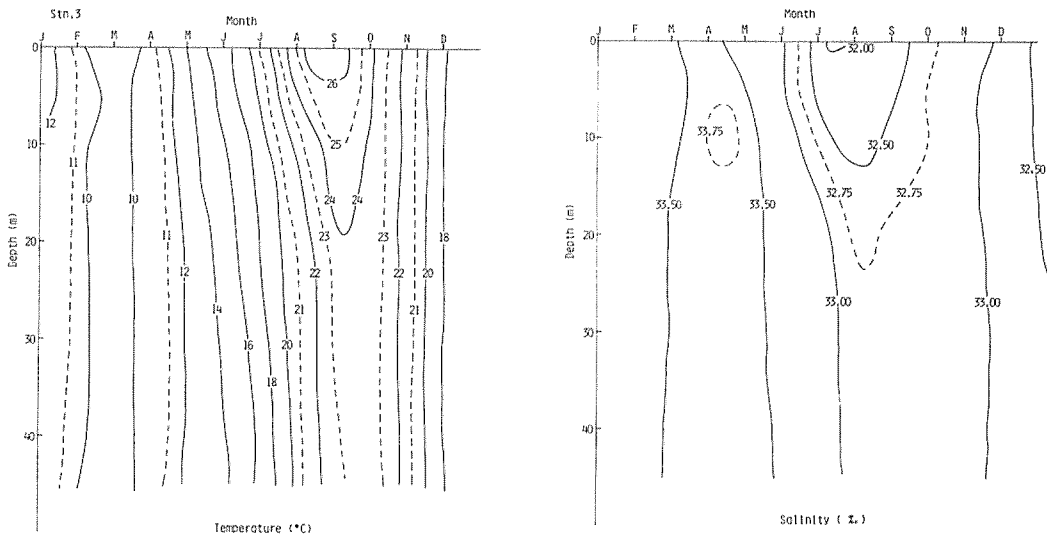
App. Fig. 2. Horizontal distributions of monthly mean transparency (m).



App. Fig. 2. Horizontal distributions of monthly mean transparency (m).

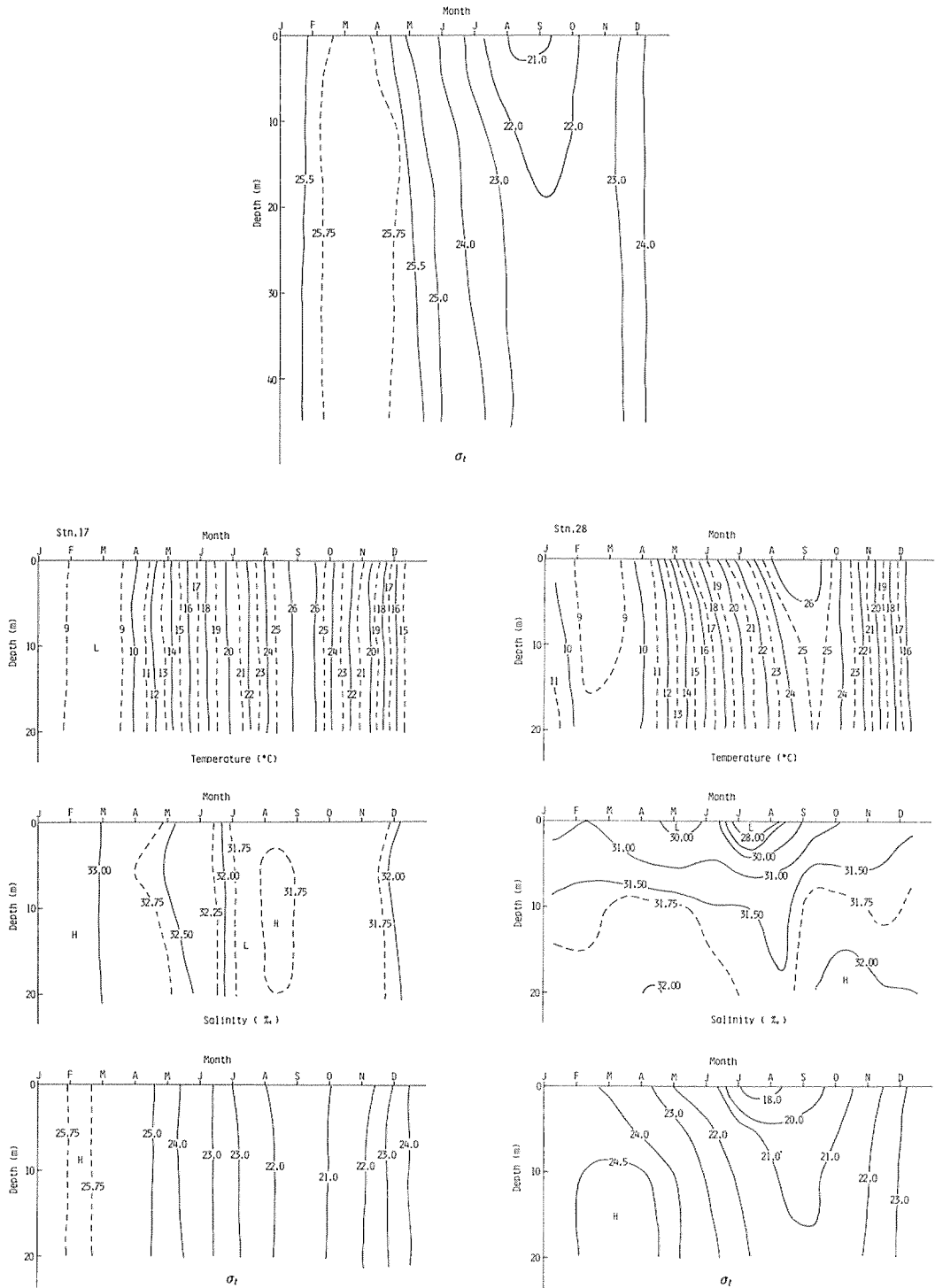


App. Fig. 3. Seasonal variation of transparency at the stations shown in Fig. 14.

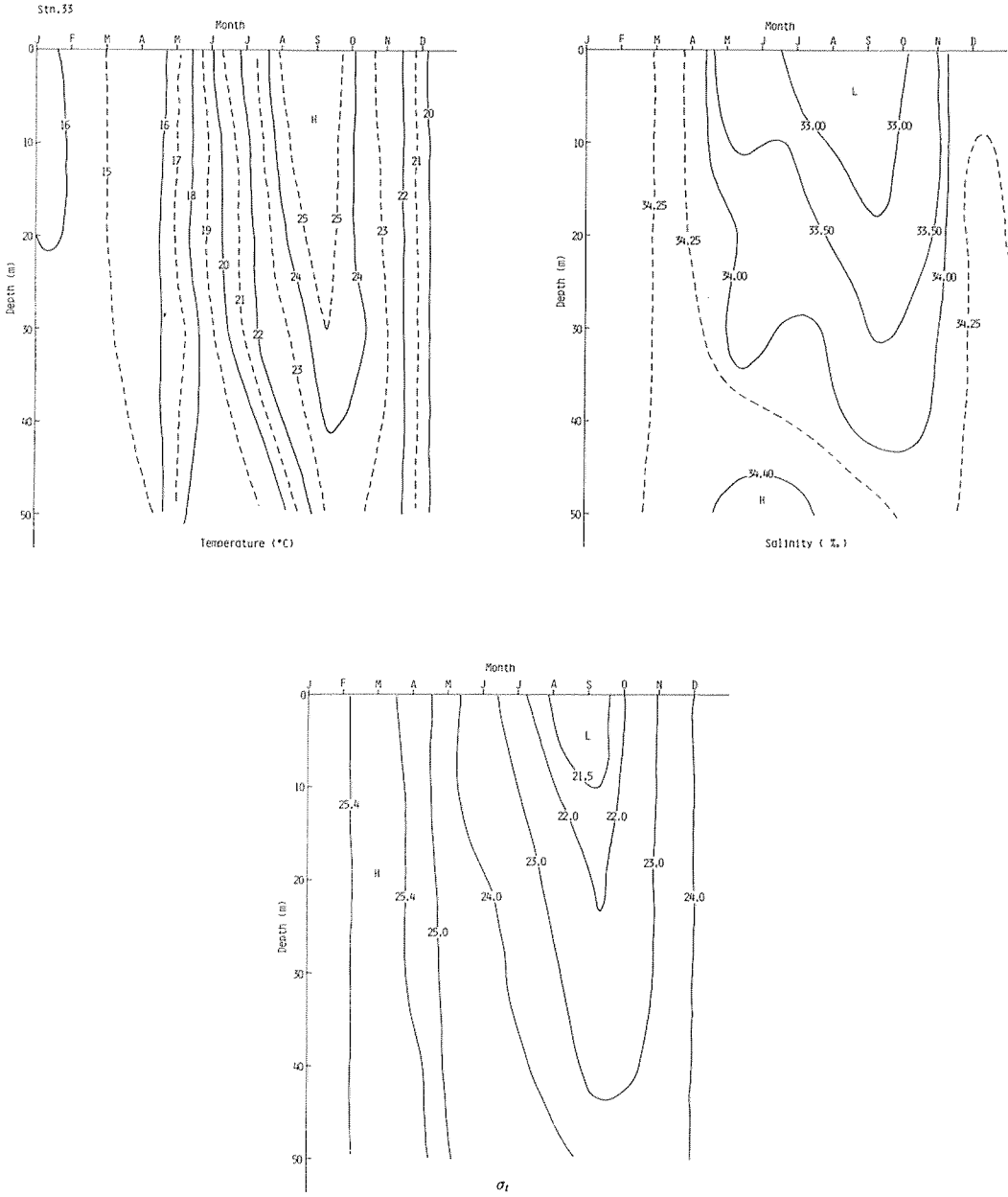


App. Fig. 4. Isopleth diagrams of temperature, salinity and density ( $\sigma_t$ ) at the stations shown in Fig. 14.

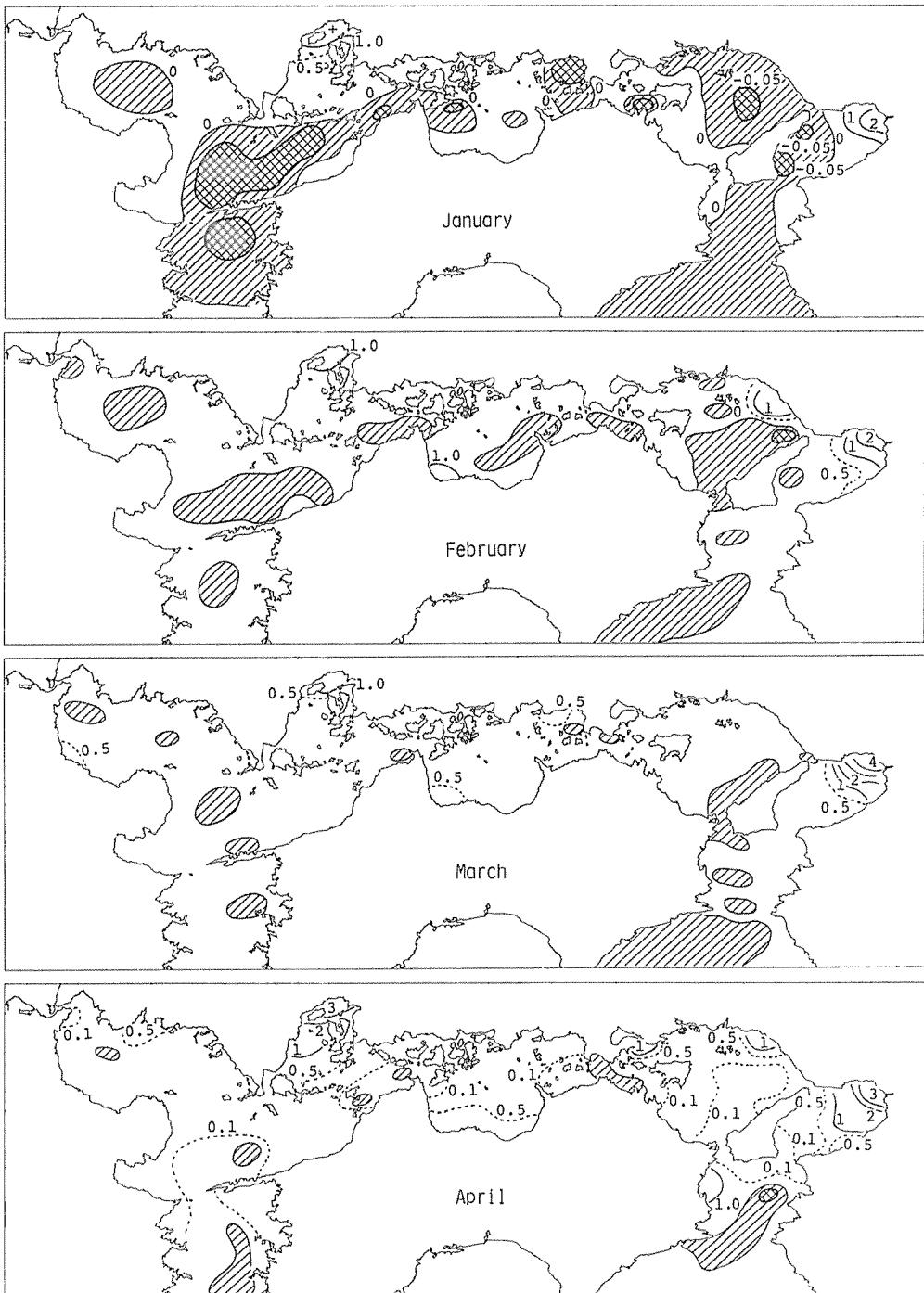




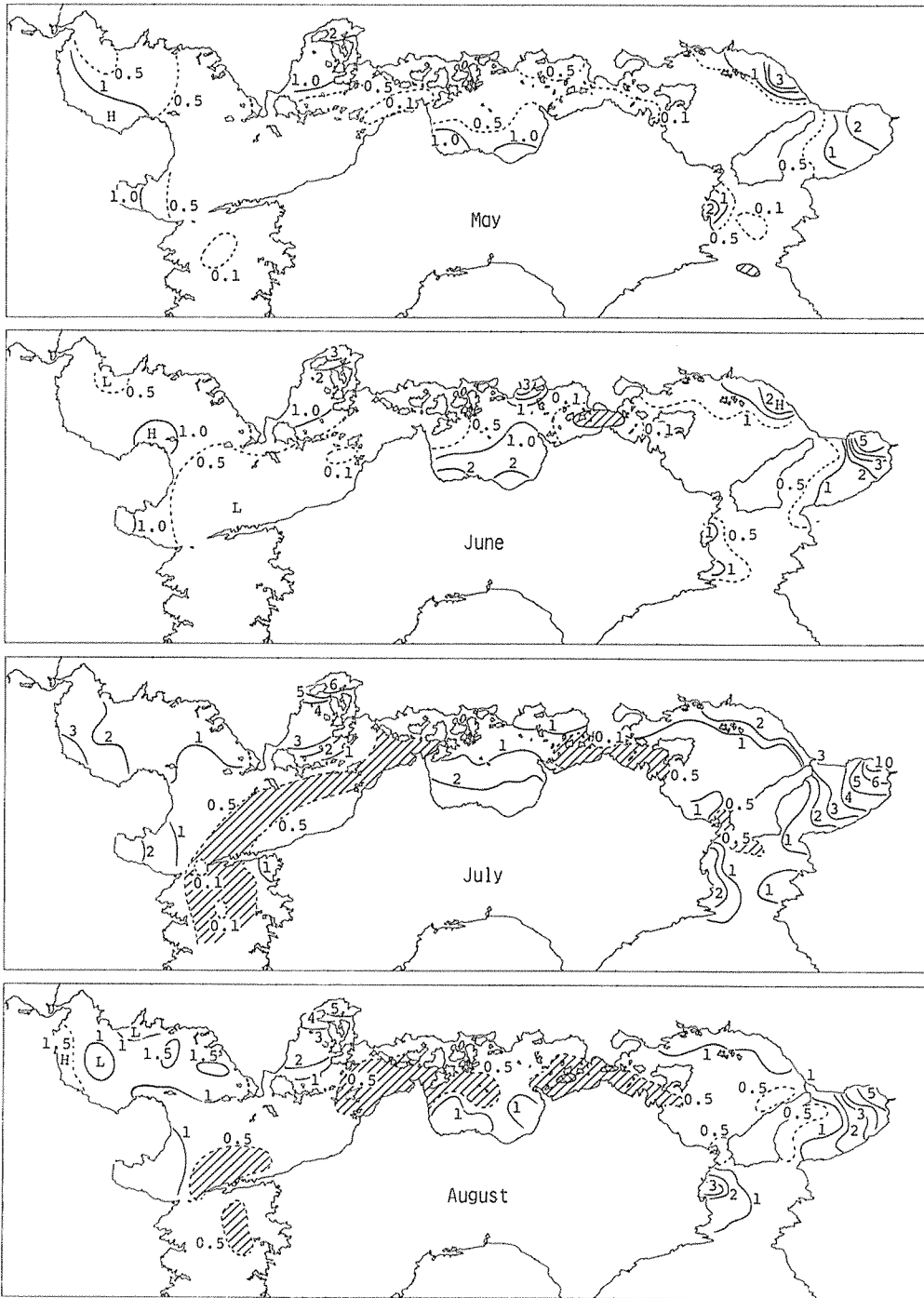
App. Fig. 4. Isopleth diagrams of temperature, salinity and density ( $\sigma_t$ ) at the stations shown in Fig. 14.



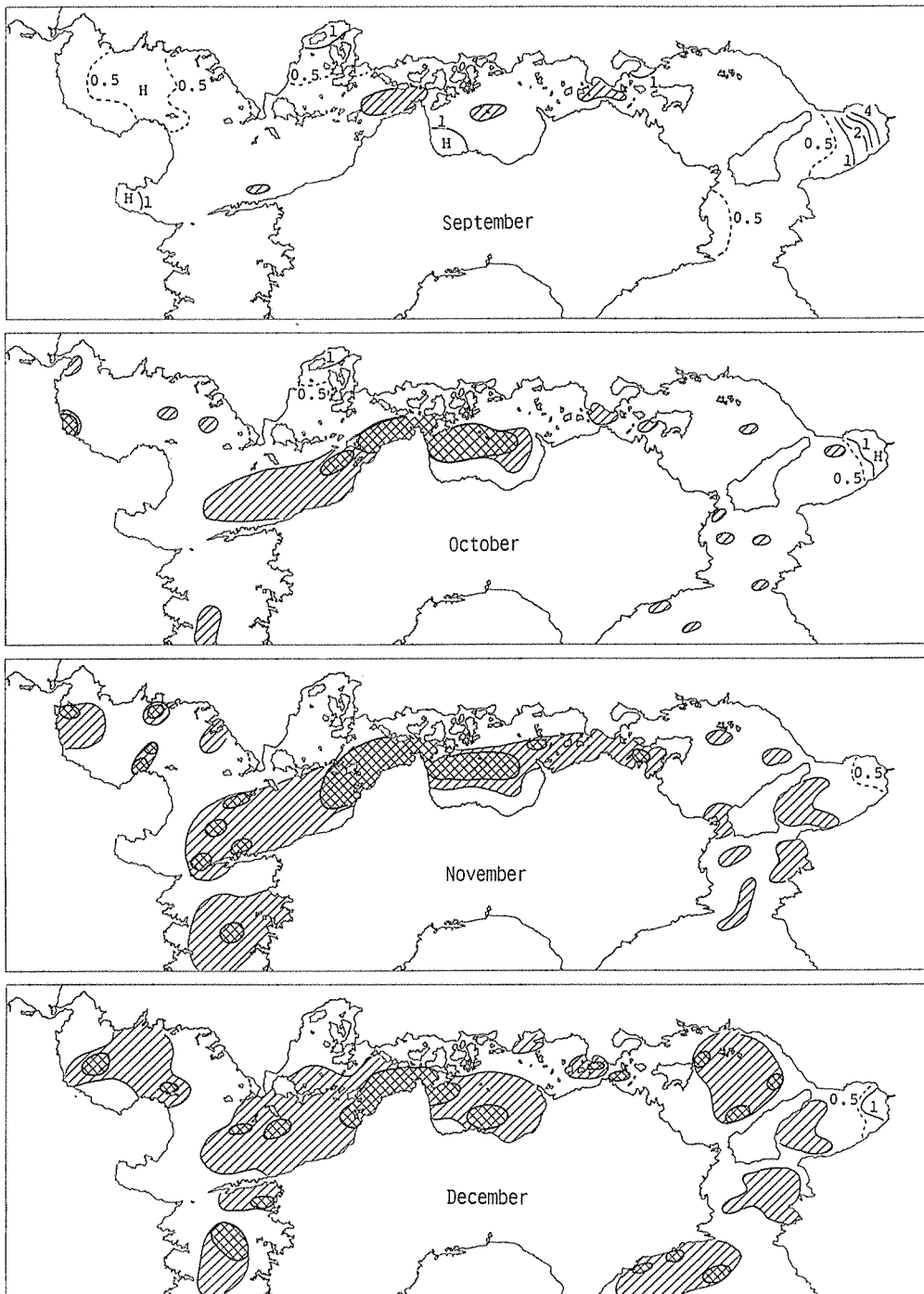
App. Fig. 4. Isopleth diagrams of temperature, salinity and density ( $\sigma_t$ ) at the stations shown in Fig. 14.



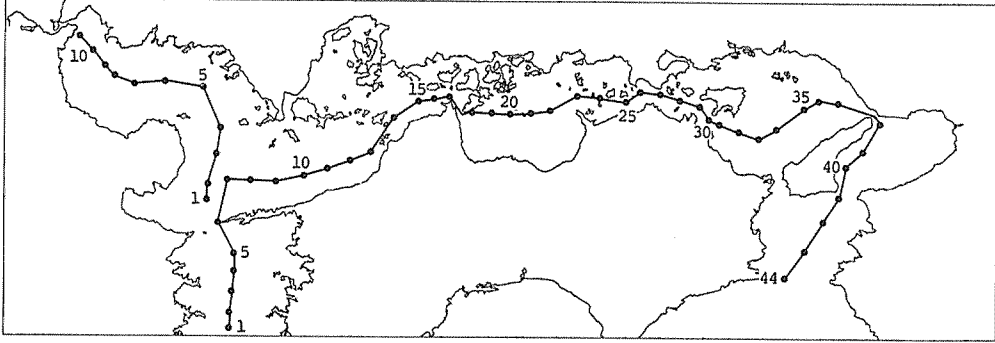
App. Fig. 5. Monthly distributions of vertical stability ( $\sigma_{t,10} - \sigma_{t,s}$ ). Unit : (g/l/10 m)  
 ● : Unstable area      ● : -0.5g/l/10 m



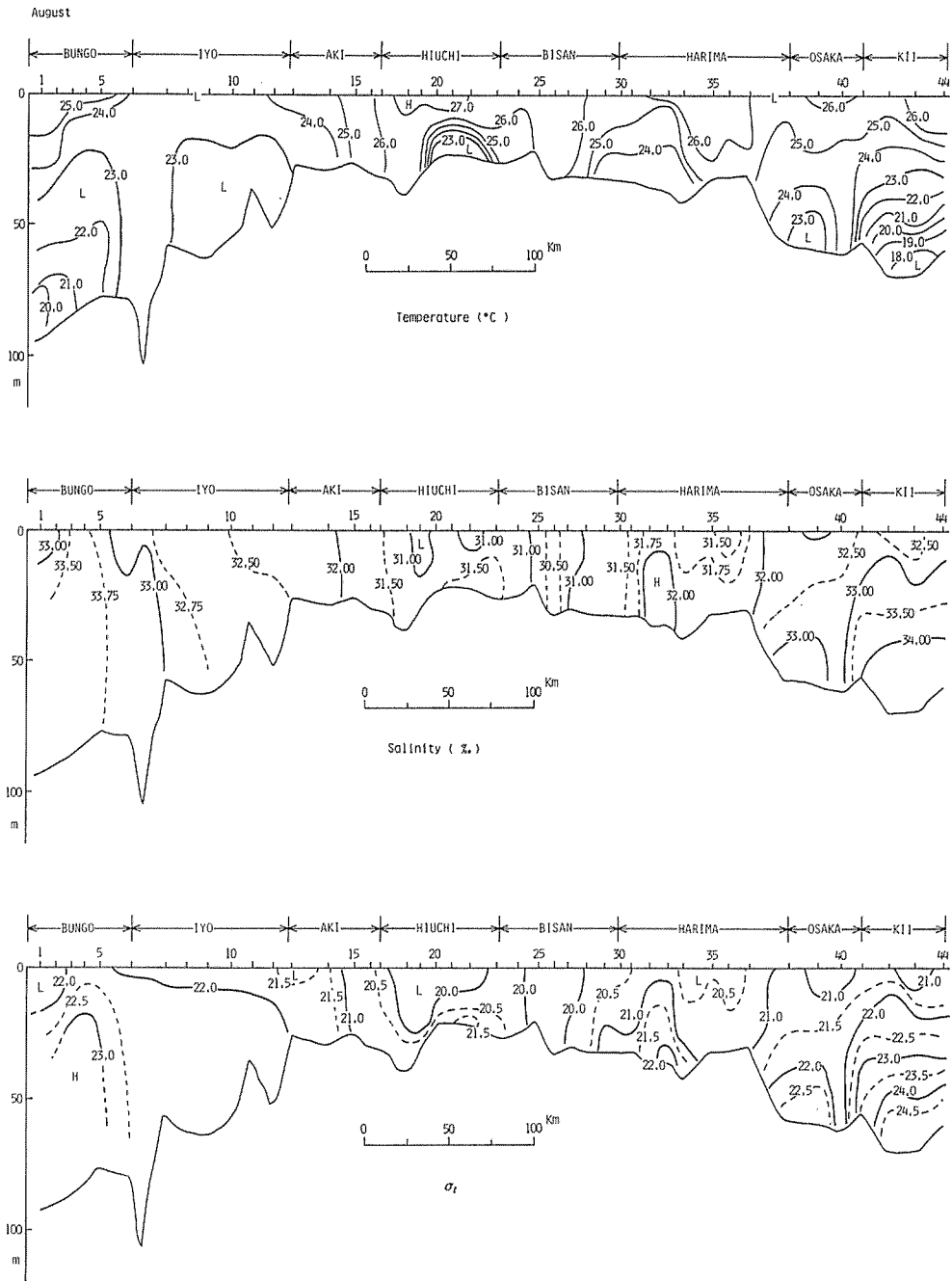
App. Fig. 5. Monthly distributions of vertical stability ( $\sigma_{7-10} - \sigma_{7-5}$ ). Unit: ( $g/10\text{ m}$ )  
 ● : Unstable area      ● :  $-0.5g/10\text{ m}$



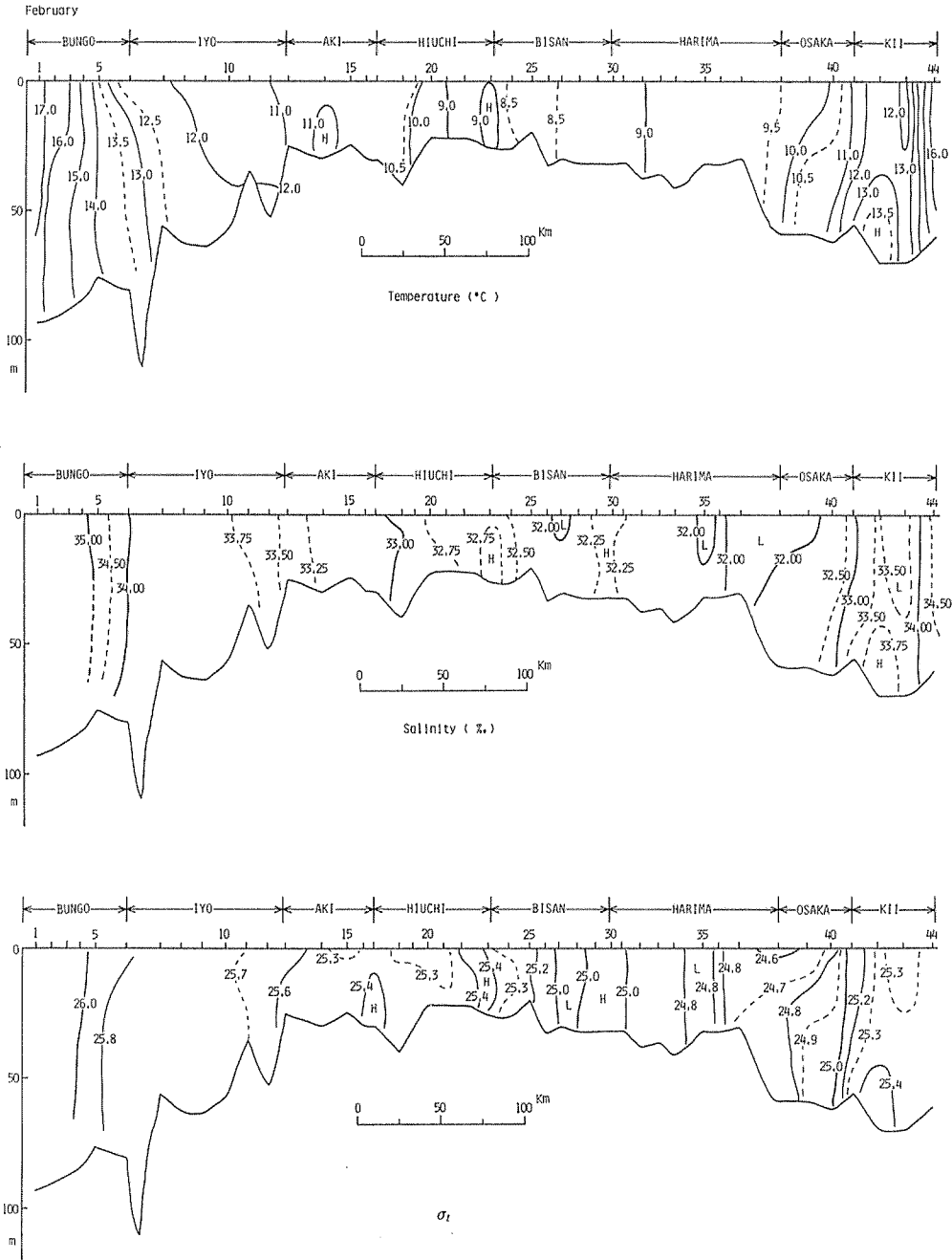
App. Fig. 5. Monthly distributions of vertical stability ( $\sigma_{t,10} - \sigma_{t,s}$ ). Unit: (g/l/10 m)  
 ● : Unstable area      ● : -0.5g/l/10 m



App. Fig. 6. Chart showing the line of cross-sections and the stations in Seto Inland Sea.

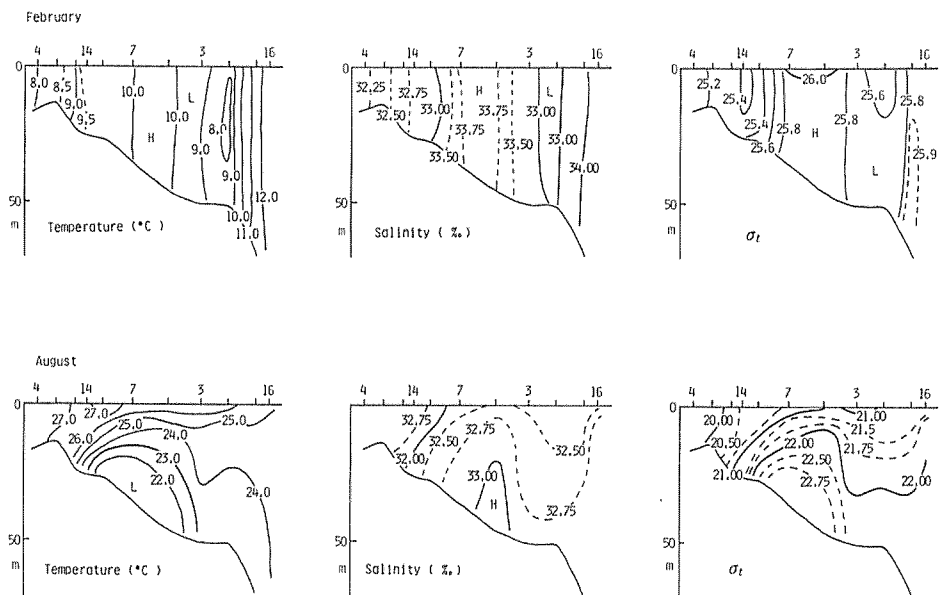


App. Fig. 7. Vertical distributions of water temperature, salinity and density along the line shown in App. Fig. 6.

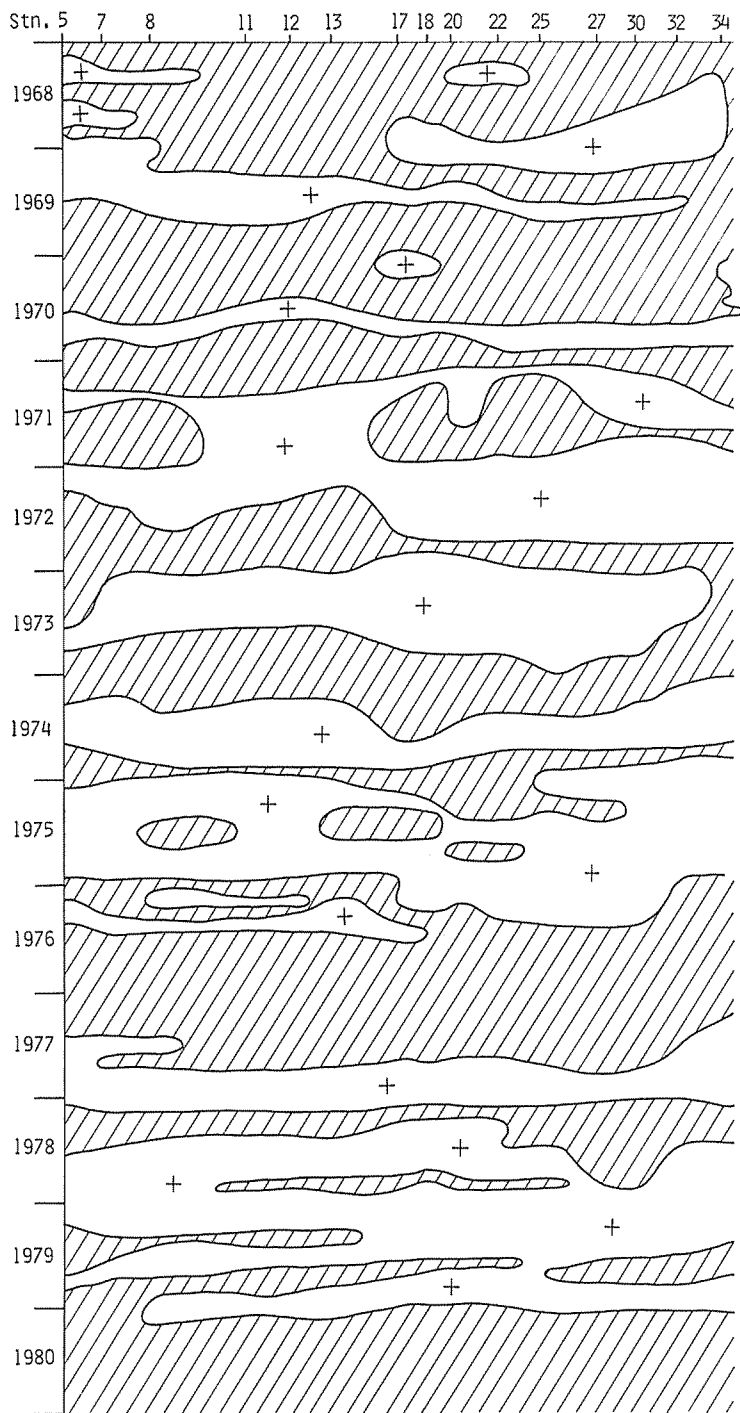


App. Fig. 7. Vertical distributions of water temperature, salinity and density along the line shown in App. Fig. 6.

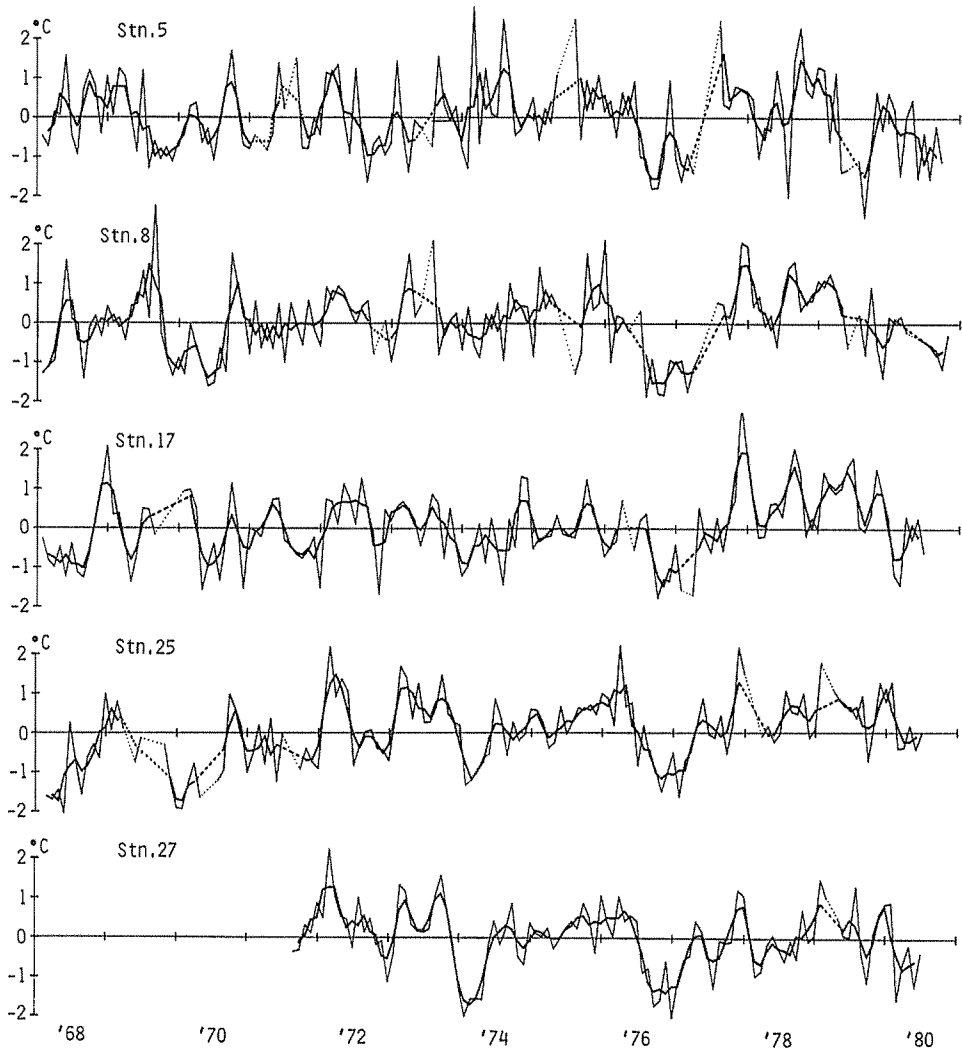




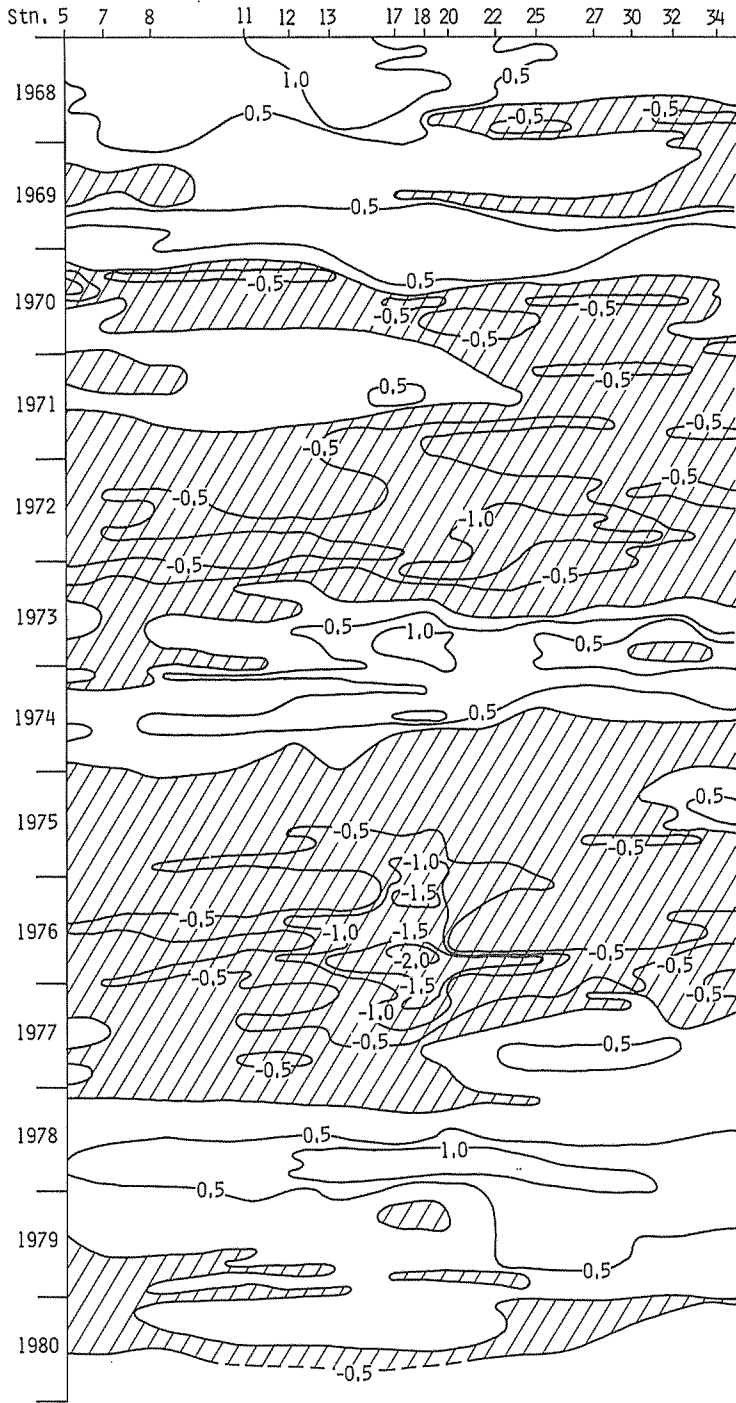
App. Fig. 7. Vertical distributions of water temperature, salinity and density along the line shown in App. Fig. 6.



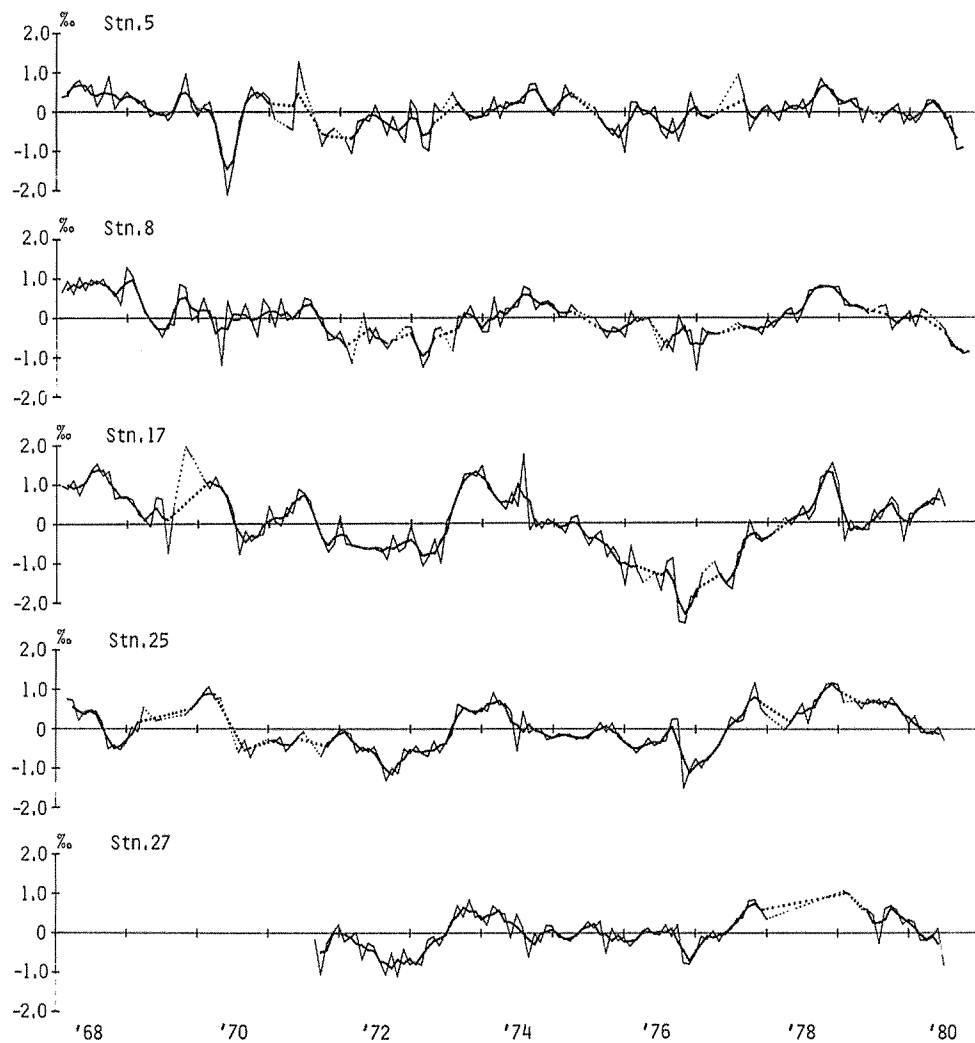
App. Fig. 8. Secular variation of deviation from monthly mean temperature at 10 m depth along the line shown in App. Fig. 6.



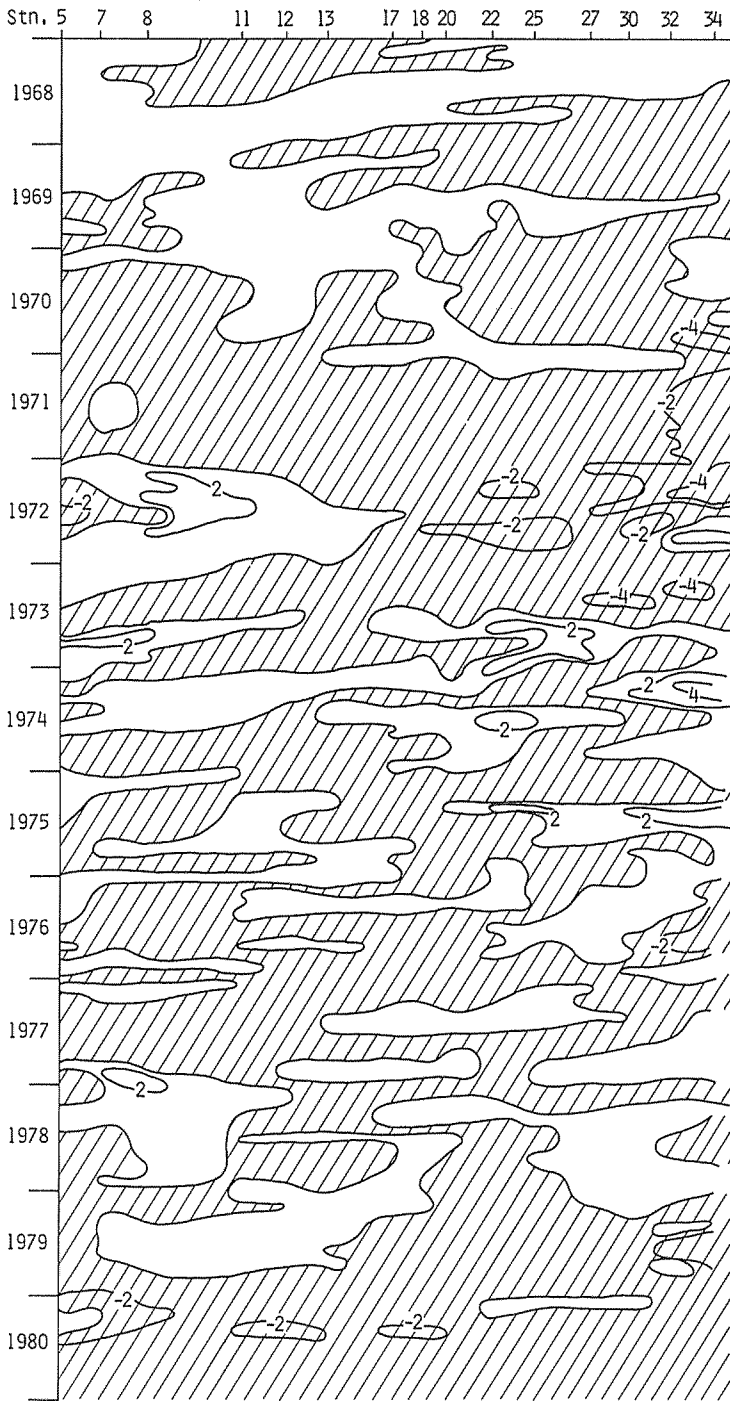
App. Fig. 9. Secular variation of deviation from monthly mean temperature at 10 m depth (thin line) and its 3-month running mean (thick line) at the representative stations shown in App. Fig. 6.



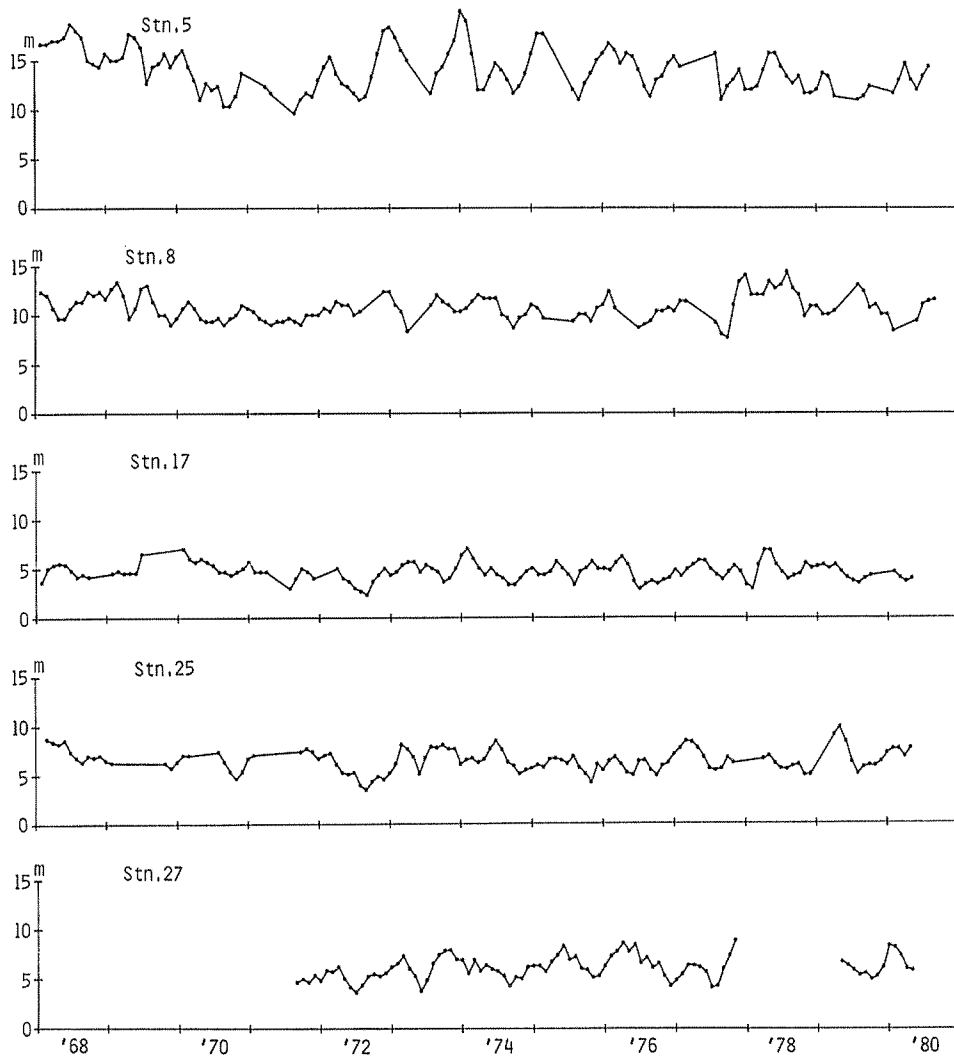
App. Fig. 10. Secular variation of deviation from monthly mean salinity at 10 m depth along the line shown in App. Fig. 6.



App. Fig. 11. Secular variation of deviation from monthly mean salinity at 10 m depth (thin line) and its 3-month running mean (thick line) at representative stations shown in App. Fig. 6.



App. Fig. 12. Secular variation of deviation from monthly mean transparency along the line shown in App. Fig. 6.



App. Fig. 13. Secular variation of 3-month running mean transparency at the representative stations shown in App. Fig. 6.