

駿河湾ならびに隣接海域の海況変動*

中 村 保 昭

(静岡県水産試験場)

The Fluctuations of the Oceanographic Conditions
in Suruga Bay and the Adjacent Waters

Yasuaki NAKAMURA

(Shizuoka Prefectural Fisheries Experiment Station)

Abstract

Two major basis on which biological production has been implicated in environment are relationships 'between biotic environment and biota' and 'between biotic and abiotic environments'. Some of approaches from abiotic study to fisheries biological researches *in sensu lato* may be analyses of factors involved in fishing ground formation and in fluctuation of stock size as well forecast fishing conditions, etc. However, many of fisheries biological studies in which abiotic factors were taken into consideration, have been done without paying any attention to temporal and spatial fluctuation of environment. Those studies used to take only the magnitude of deviation and temporal relation in defining the intensity of environmental factors. Such a static approach may not satisfactorily interpretate the environmental implication to fishery biology. The fishery oceanographical problem to be solved is, therefore, a quantitative clarification of time-space fluctuation and its factor by environmental researchers in response to specification of environmental factors involved in every growth stage of fish species by fisheries biologists. In this occasion, it is necessary to treat environmental factors as a function of time and space.

Two sets of data are used here. One is the oceanographic data obtained through observations made once every month, 1964-1974, in Suruga Bay and adjacent waters where such commercially important fish as horse mackerel, mackerel, sergestid shrimp, *shirasu* have been taken. Another is daily observation data taken at the depth of 50 m in the IWAE set-net, 1953-1973. The results obtained by the analysis of these data are summarized as follows:

- 1) Temporal and spatial fluctuation of environment was clarified quantitatively.
- 2) Deviation of water temperature showed an approximate normal distribution.
- 3) The secondary minimum of water temperature (secondary salinity maximum) in summer was discussed in relation to the maximal anomaly of water temperature. Their relation to the fluctuation of the Kuroshio was suggested.
- 4) Some tangible problems of environmental research in relation to fisheries biology were pointed out.

1. 緒 言

従来の資源解析の一般的手法である、いわゆる population dynamics は主として漁獲統計、たとえば単位努力あたり漁獲量およびその組成(年級群など)と漁獲との関係などを求めて、相対的資源量などを推算してきた。

*静岡県水産試験場(本場)業績 第1031号

この方法では環境による変動は、ランダムな誤差の中に入れて取り扱われたが、近年、環境を一定とした取り扱いの矛盾点が多く見受けられ、環境の変動の量的認識が資源研究において不可欠な問題となってきた。

特に、主要漁業生物に対する環境の激変は、漁業生物の分布、回遊路の変化による漁場への加入条件などの変

化を与える。さらに、海況の短期変動などによる生物の逃避行動、環境の急変を契機として生物社会構造の変化、(例えば、魚種組成の交替など)から起る漁業生産の質的、量的組成の変動などが考えられる。

このように、環境因子が生物生産に影響を及ぼすことは、1963年の異常低温年にみられた具体的事例を含む諸現象の観察事例、(科学技術庁、1964、農林水産技術会議事務局、1969; CRAIG, 1974)を見るまでもなく明らかである。これに関して、辻田(1969)は事例の紹介に止まらず1963年の異常低温海況が漁業生物に影響を及ぼした具体例を広範囲に論述し、それらに新たな解釈を与えた。

生物生産の原理は「生物と生物の関係」および「生物と非生物の関係」において、非生物から広義の資源研究へのアプローチとしては、漁場形成要因、資源変動要因、(再生産変動要因)、漁況予測などがあげられよう。

また、資源研究に環境因子が無視できないことはよく認識されているが、海況変動の実態を把握するうえでの方法論については必ずしも明確ではなかった。このように、水産海洋学として解明が待たれる諸問題の一つは、資源研究者による漁業生物の生活の諸段階における重要な環境因子の指摘に対して、環境研究者が、環境の時空的変動を数量化し、さらに、その変動要因をも究明することである。

資源研究における環境の具体的現況を把握する調査は、1963年冬～春季の異常低温現象を契機に、翌1964年から漁海況予報事業として始められた。水産庁を中心に、各都道府県水産試験場が各地先の海域を毎月1回以上、11年以上にわたって観測し、現在も継続され、その都度、現況報告がなされている。しかし、この膨大な資料の蓄積にもかかわらず、これらから普遍的な事実、あるいはその変動の実態など、また、各地先、あるいはそれらを総合した海域の海況特性などを明確に示した報告は余り見あたらない。現在も当初とほぼ同様な方法でルーチン・ワークとして継続されているのが実情である。これらの資料収集は、今後も海況変動の要因解明などの上で、是非必要であるが、一方では、これらの集約一例えば、海況変動の数量化などが必要不可欠である。この成果は、当然現在の観測方法の改善にも反映されるものと思われる。

本論文は、アジ、サバ、サクラエビ、イワシシラスなどの生物生産に重要である駿河湾ならびに隣接海域における月1回の観測結果が、資源研究において環境の代表となり得るか否かの方法論の検討を行ったものである。月1回の記録に対し、1カ月以内の海況の時間的変化を

検討するため、相模湾奥部岩江定置網の日々観測記録をも解析に供した。これらの解析結果が、他の内湾を含む沿岸海域のモデルとなり得るように、環境の時空的変動を定量的に明示し、これらの変動要因を解明することを目的とした。さらに、当海域の特異海況などを含む、環境の強度一特に、資源研究における一を標準化する際の基本的な環境の時空間スケールが必要となるので、これらの諸結果を用いて、環境を標準化した。

報告に先だって、ご指導を賜わった東海大学宇田道隆教授、北海道大学辻田時美教授、福岡二郎教授、種々有益なご助言および議論をしていただいた遠洋水産研究所山中一郎海洋部長、東京水産大学松山優治氏、相模湾岩江定置網の水溫資料収集でご労苦をいただいた神奈川県水産試験場相模湾支所木幡孜氏、膨大な計算処理に多大なご協力をいただいた当時故増田清助氏、東海大学海洋学部川島輝久氏(現、轉村松商店)並びに観測、資料整理にご協力いただいた当時資源海洋研究室のスタッフおよび調査船駿河丸八木主計船長(前、杉山有司氏)同天城丸杉山孝夫船長はじめ乗組員の方々に、厚く御礼申し上げます。

2. 資料および資料の検討

本論文では駿河湾ならびにその隣接海域を対象海域とし(Fig. 1)主として月1回の水溫および塩分の観測記

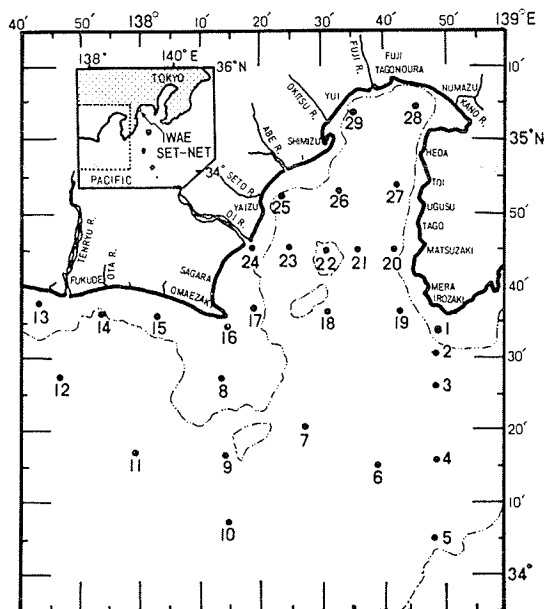


Fig. 1. Station plan in Suruga Bay and the adjacent waters (1964-1975).

録を利用した。1 カ月以内の海況の変化については、相模湾岩江定置網の日々の水温記録を用いて検討の素材とした。用いた資料は下記の通りである。

(1) 地先定線調査

1964~1974年(一部~1975年)の29測点における0~300 m(一部~600 m)の水温および塩分の月1回観測値(約140回)。

出所: 地先定線調査報告; 静岡県水産試験場。

(2) 相模湾岩江定置網 50 m 深水温 1953~1973年, 毎日実施(約7,100回)

出所: 相模湾定置網漁海況調査表; 神奈川県定置漁業研究会, 神奈川県水産試験場相模湾支所。

(3) 水路部海洋速報(1964~1975年)

岩江定置網は相模湾西北奥部に位置し(Fig. 1)これは駿河湾では St. 29 が地理的に対応する。両測点の海洋学的特性を検討する。Fig. 2-1 は岩江の日々の 50 m 深における水温記録のうち, 毎月15日の測定結果をその月の代表とした月別平均水温と駿河湾 St. 29 の 50 m 深における月1回の記録による月別平均水温の関係を, また Fig. 2-2 は両観測点の月別の水温標準偏差を示したものである。Fig. 3-1 および Fig. 3-2 には駿河湾および

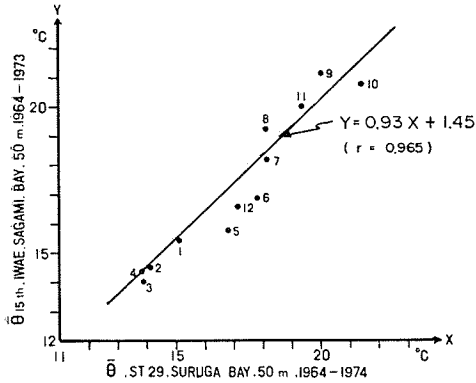


Fig. 2-1. Relation between mean water temperature ($^{\circ}\text{C}$) at 50 m depth of Iwae Set-Net in Sagami Bay observed on 15th of every month, 1964-1973, and that of St. 29 in Suruga Bay observed regularly once a month, 1964-1974.

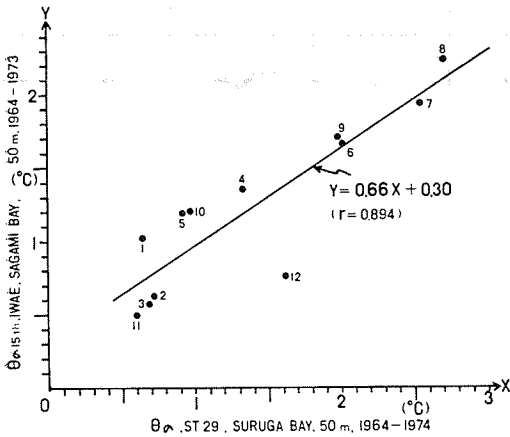


Fig. 2-2. Relation between standard deviation of water temperature ($^{\circ}\text{C}$) at 50 m depth of Iwae Set-Net in Sagami Bay observed on 15th of every month, 1964-1973 and that of St. 29 in Suruga Bay observed regularly once a month, 1964-1974.

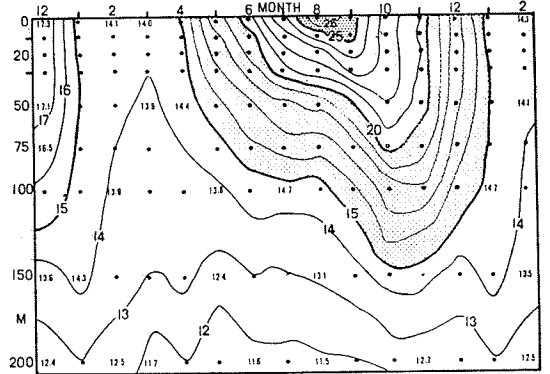


Fig. 3-1. Isoleth of mean water temperature ($^{\circ}\text{C}$) in Suruga Bay (Sts. 17-29), 1964-1974.

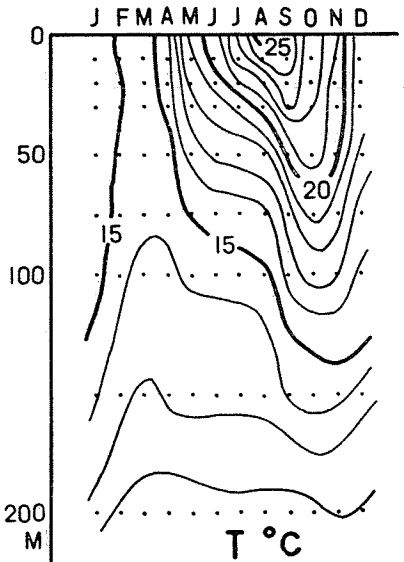


Fig. 3-2. Isoleth of mean water temperature ($^{\circ}\text{C}$) in Sagami Bay, 1958-1970. (After Iwata, 1972).

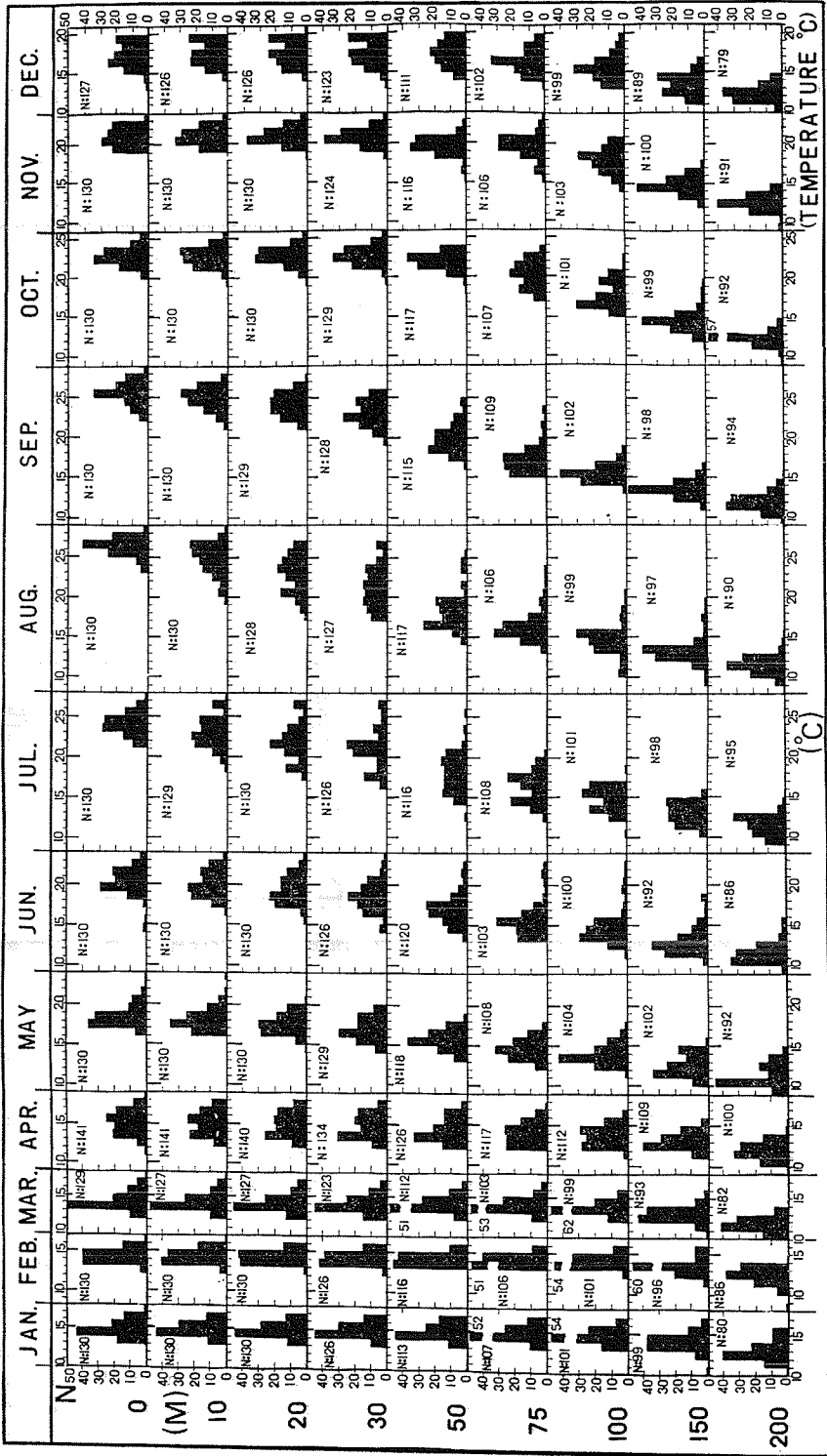


Fig. 4. Frequency distribution of water temperature (°C) in Suruga Bay (Sts. 17-29), 1964-1974.

び相模湾(岩田, 1972)の水溫イソプレットを示した。両湾を対比すると, Fig. 2-2 の12月に若干の違いがみられる他は, 本質的に顕著な相違は認められないので, 相模湾の日々の水溫記録を用いて, 海況の1カ月以内の時間的変動を論じて, 駿河湾のそれを類推することができると考えた。

3. 結 果

1) 水溫の頻度分布

駿河湾の水溫の時空的分布特性を検討するために, 湾内の13測点(Sts. 17~29)について, 水溫の月別および深度別の頻度分布を示した(Fig. 4)。この図の縦軸には, 個々の深度毎に水溫の出現割合(%)を, また, 横軸には月別の出現水溫(°C)を示してある。資料数(N)はそれぞれの枠内に示した。表層と下層で資料数に相異がみられるのは, 観測点の海深に起因した, 観測層の多寡によるものである。

この図から, 6~9月の夏季に卓越する水溫躍層付近の20~75mの水溫変動が最も大きく, 10°C以上にも達することが判る。このように夏季には躍層付近をはじめとして, 表層部から下層部(150m)まで四季の内で年変動が最も卓越する。続いて, 躍層の形成層が下層に移る秋季の75~100mを中心に水溫の年変動が大きい。一方, 冬季には表層から150m付近まで水溫は均一分布を示し, この年変動は四季の内で最も小さく, おおむね3°C以内である。

次に, 日々の水溫記録を用いて検討する。Fig. 5には岩江50m深における日々の水溫の月別頻度分布と月別の平均水溫($\bar{\theta}$)および水溫標準偏差(σ)を示した。図を通覧すると, 水溫の頻度分布は季節的水溫躍層の卓越する7~8月に, 17°Cおよび21~22°C台をモードとする双峰型(bimodal)になる他はほぼ正規型を示す。水溫の年変動および月間変動の区分は困難であるが, 概して年変動は冬季小さく, 夏季に大である。Fig. 4の50m深とFig. 5は全体としては前述の年変動の卓越する夏季の季節的躍層付近で若干異なる他は, ほぼ正規型を示し, 両者はほぼ一致する。

2) 変動幅

1) 鉛直方向における変動幅

駿河湾を代表する測点としては St. 26 が, 流動(中村, 1972b, 1976)および生物相(大森, 私信)の両面から, 代表点となるので, これを湾内の代表点とし, 鉛直方向における各種検討を行った。Fig. 6は St. 26における毎月の水溫の時系列である。この図を基に, 水溫の

最高および最低を求めておくと, 海況の変動実態のみならず, 日本沿岸域における増養殖の可否などを検討する際の参考資料となる。

Fig. 7-1 および Fig. 7-2 は, 1964~1974年間に St. 26に出現した最高水溫および最低水溫を示したものである。このように, 最高・最低水溫を対比すると, 年変動の大きいことがわかる。これらの変動をより明瞭に示すため, St. 26の最高水溫および最低水溫の差, すなわち水溫変動幅を Fig. 8に示した。Fig. 4からも窺えたように, 変動幅は6~9月の表層~150m深付近に大きく, これは5°C以上に達する。特に, 7月の50m深においては, 最大変動幅10°C以上を示した。駿河湾全体(Sts. 17~29)および遠州灘全体(Sts. 1~16)の変動幅の分布も, Fig. 8のそれとはほぼ同様な変動傾向を示す。

夏季, 表層~150m深における変動幅の極大に続いて, 10~12月(11月中心)の75~150m深に第2番目の極大が認められる。夏季および秋季にみられる変動幅の極大に対応する深度は, おおむね, 季節的溫度躍層の深さに

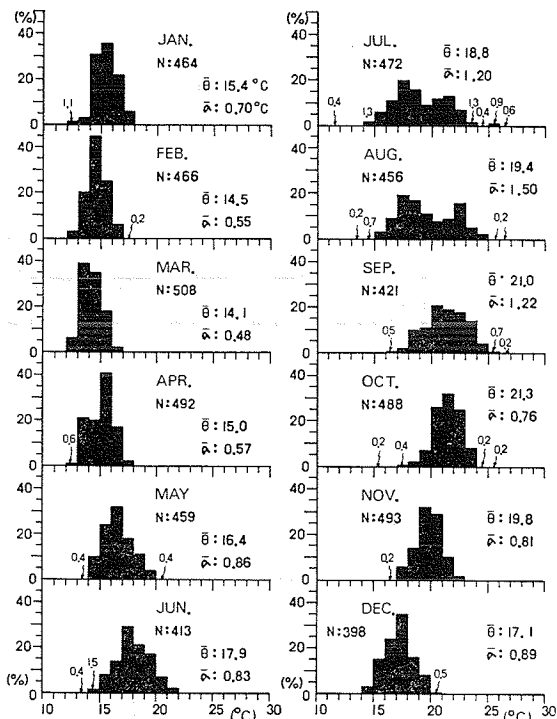


Fig. 5. Frequency distribution of water temperature (°C) at 50m depth of Iwae Set-Net in Sagami Bay, 1953-1973, with mean water temperature ($\bar{\theta}$: °C) and standard deviation of water temperature ($\bar{\sigma}$: °C) for each month.

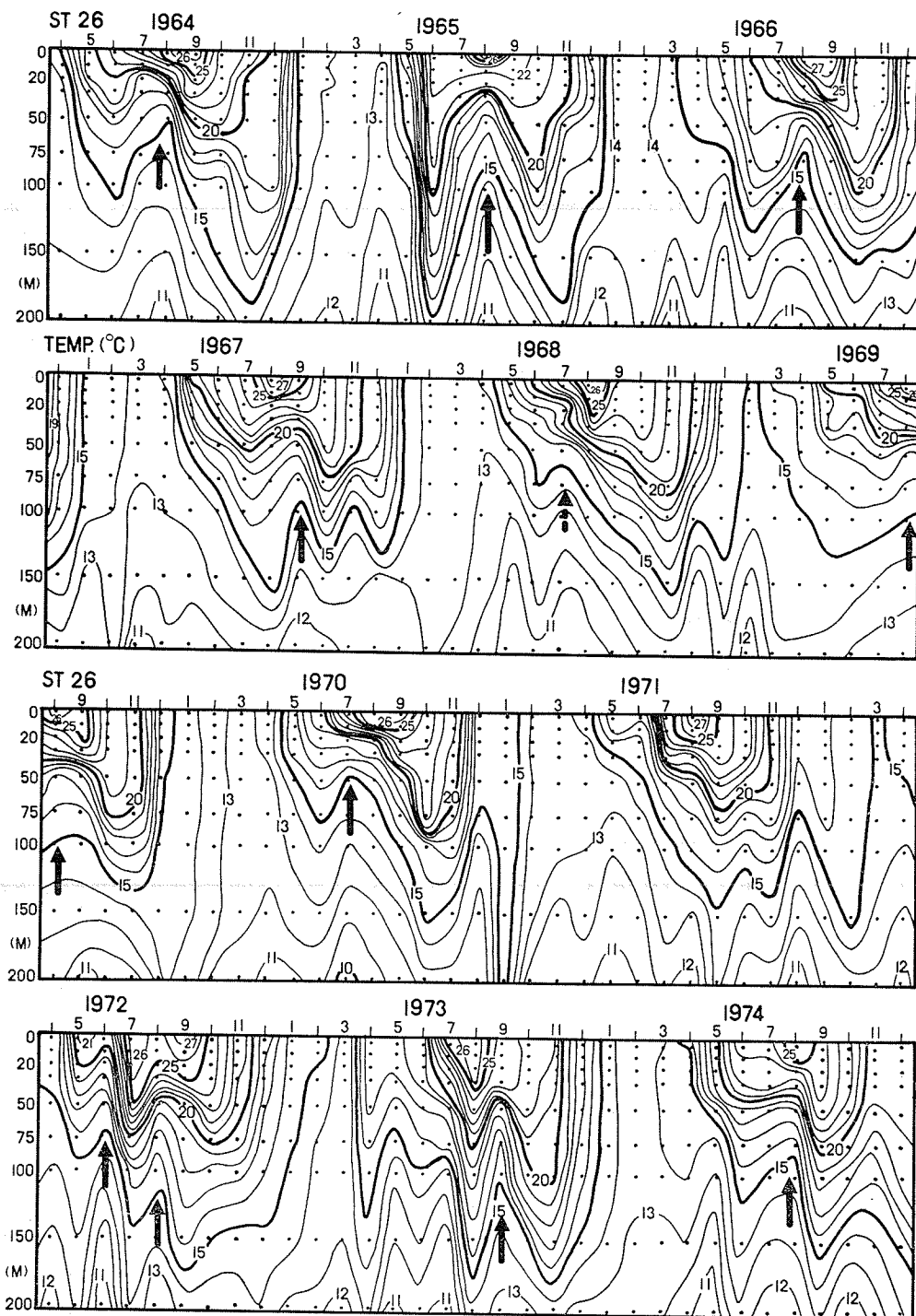


Fig. 6. Isoleth of water temperature ($^{\circ}\text{C}$) at St. 26, in Suruga Bay, 1964-1974.

対応し、さらにこの形成層の年変動（躍層の上下振動）が、変動幅の年変動に対応する。冬季1～3月の水温変動幅はほぼ2°C台で、夏季～秋季における躍層の上下

動に対応するものとは異なり、対流期のため、水平方向の変動によるものと考えられる。

ii) 水平方向における変動幅

水平方向の変動幅として、0, 50m, 100mおよび200m深において、Fig. 1に示した全測点の1964～1974年間の水温および塩分の変動幅を算出した。一例として、サクラエビ、サバなどの資源研究で環境の代表深度として使用される50m深の水温変動幅をFig. 9-1に、塩分変動幅をFig. 9-2に示した。各深度別および月別の水温変動幅は水平的にも50m深の夏季が全域で大きく、冬季に最小を示す。空間分布としては、周年を通じて、一般に、石廊崎および遠州灘沖合部で大きい。これは主として外洋系水の離接岸に対応するものである。しかし、夏季には湾内においても沖合部に匹敵する程の大きさを示す。

塩分変動幅は0mの春季～秋季（夏季中心）の駿河湾西岸域～遠州灘沿岸部で最も大きい。これは河川系水の流出分布と対応する（中村, 1972a, 1973）。Fig. 9-2に示した50m深の塩分変動幅は水温変動幅（Fig. 9-1）とほぼ同様な傾向を示す。すなわち、塩分変動幅は夏季～秋季の7～10月のほぼ全域で大きく、冬季には小さい。

iii) 水温の年変動と月間変動

水温の月間および年変動を量的に検討するため、岩江50m深の年別および月別に算出した水温変動幅および平均水温変動幅（°C）、水温変動幅の標準偏差（°C, σ）をFig. 10に示した。月間および年変動ともに、50m深付近が季節的水温躍層形成期に相当する夏季6～9月（8月中心）に最大を、これに続いて顕著な昇温期の5月を中心とする春季および顕著な降温期の12月に、どちらも大となる傾向を示す。しかし、11月は月間変動は比較的大きいが（10月にほぼ匹敵）年変動は躍層が混合の発達に伴って50m以深となるため、2月に次いで小さい。一方、月間変動の最低は2～3月を中心とする冬季に、また、年変動も一般に冬季に小さく、特に2月が最低である。

また、月間変動としては、1955年7月、1961年8月および12月、1967年8月などが、6～7°C以上、一方、年変動としては7～8月を中心とする8月の2°C台から10°C台、12月の2°C台から6°C台などが変動の大なる例として挙げられる。Fig. 10から時間的変動を月別（月間変動）にみるためには、平均変動幅（Fig. 10の Mean 参照）が、また年変動については変動幅の標準偏差がそれぞれ量的な指標となる。

3) 平均値

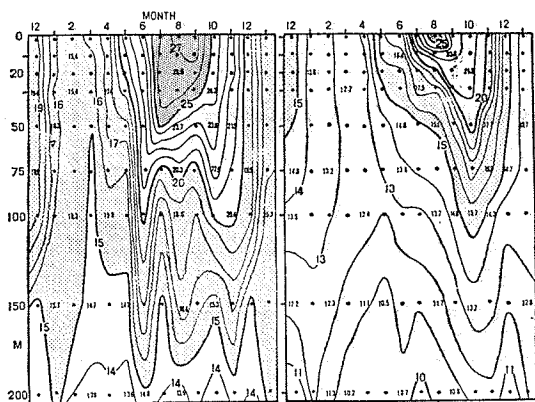


Fig. 7-1. Isopleth of water temperature (°C) maximum, at St. 26, 1964-1974.

Fig. 7-2. Isopleth of water temperature (°C) minimum, at St. 26, 1964-1974.

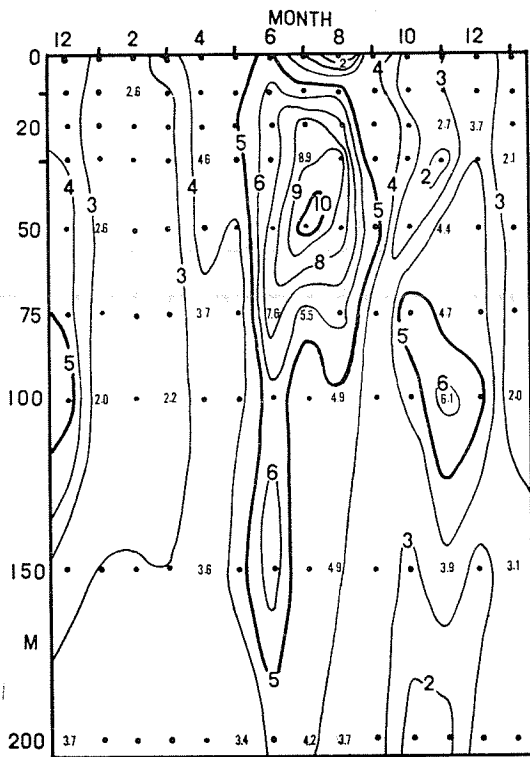


Fig. 8. The range of variation of water temperature (°C) at St. 26, 1964-1974 (ΔT=T max.-T min.).

駿河湾ならびに隣接海域の海況変動

一般に、平均を取り扱う場合は、同質のものを平均化すること、同質・異質を混ぜて平均する場合とははっきり区別して検討する必要がある。この前段階として、諸現象を質的に区別するうえで、平均化は重要な方法である。しかし、現在の当海域では、時空的分布をある程度

満たす資料で、質的区分の検討に必要なだけの長年の資料がないため、同質・異質を区別して検討することができない。当海域では海況の質的区分の考慮を必要とする顕著な海況変化が存在することがある。大型冷水塊が存在する特異海況と、このような顕著な冷水塊が存在しな

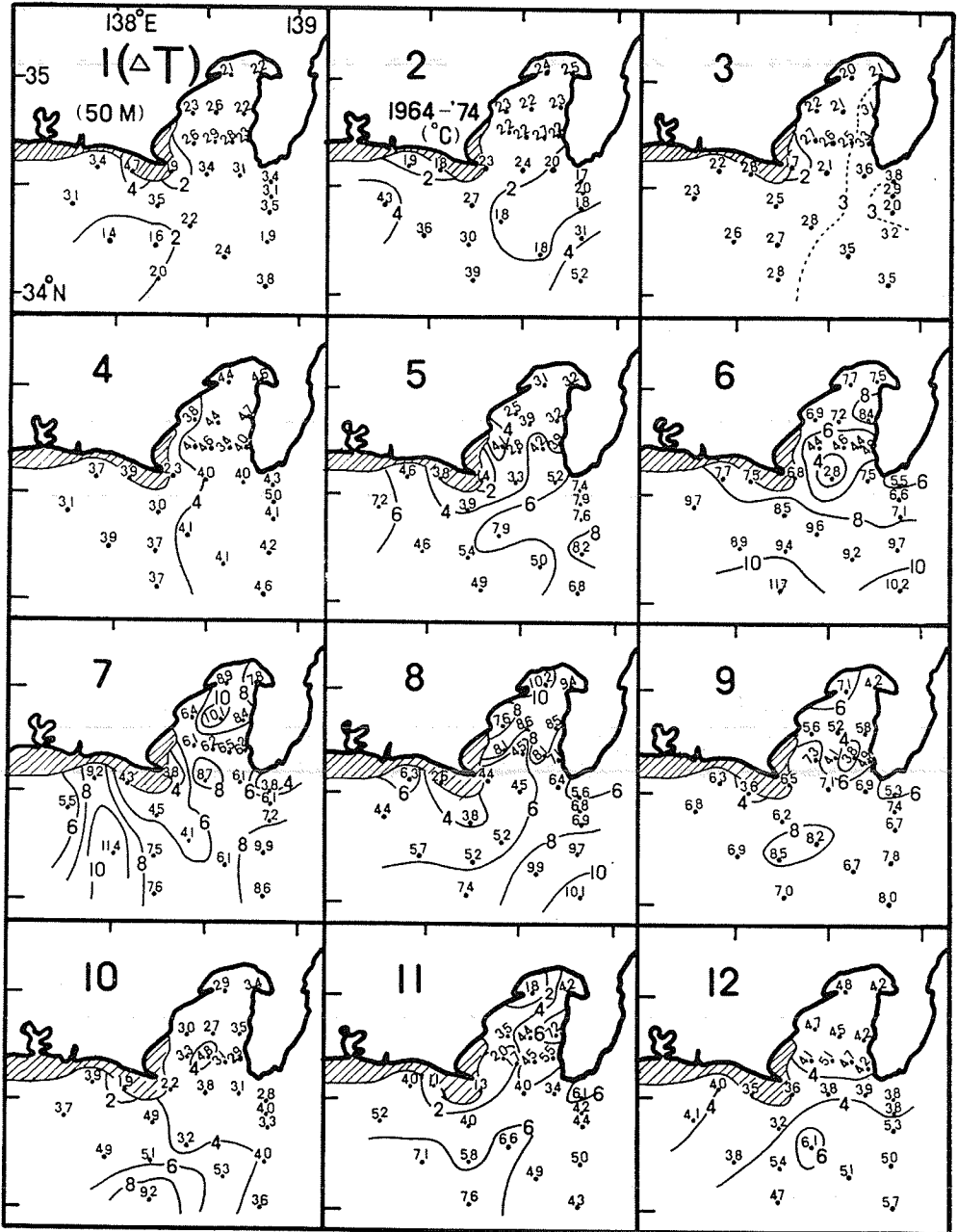


Fig. 9-1. Monthly distribution of the range of variation of water temperature (°C) at 50m depth, 1964-1974 ($\Delta T = T_{max} - T_{min}$).

い海況である。しかし、対象とした1964~1974年の当海域の海況は比較的安定(同質)で、1969年に準大型冷水塊が存在した程度であった。

次に、本項で述べる平均値などを用いて海況の動態を論ずる場合、量の概念の他に、質の概念を明らかにする

必要がある。このためには、まず質的に違う諸段階の現象的な認識から出発せねばならない。例えば、漁業生物学においては、生物の发育段階、生活年周期のように、種の一定の発展段階を等質化しながら実体をとらえている(佐藤, 1961)。また、漁業資源研究会議(1969)ある

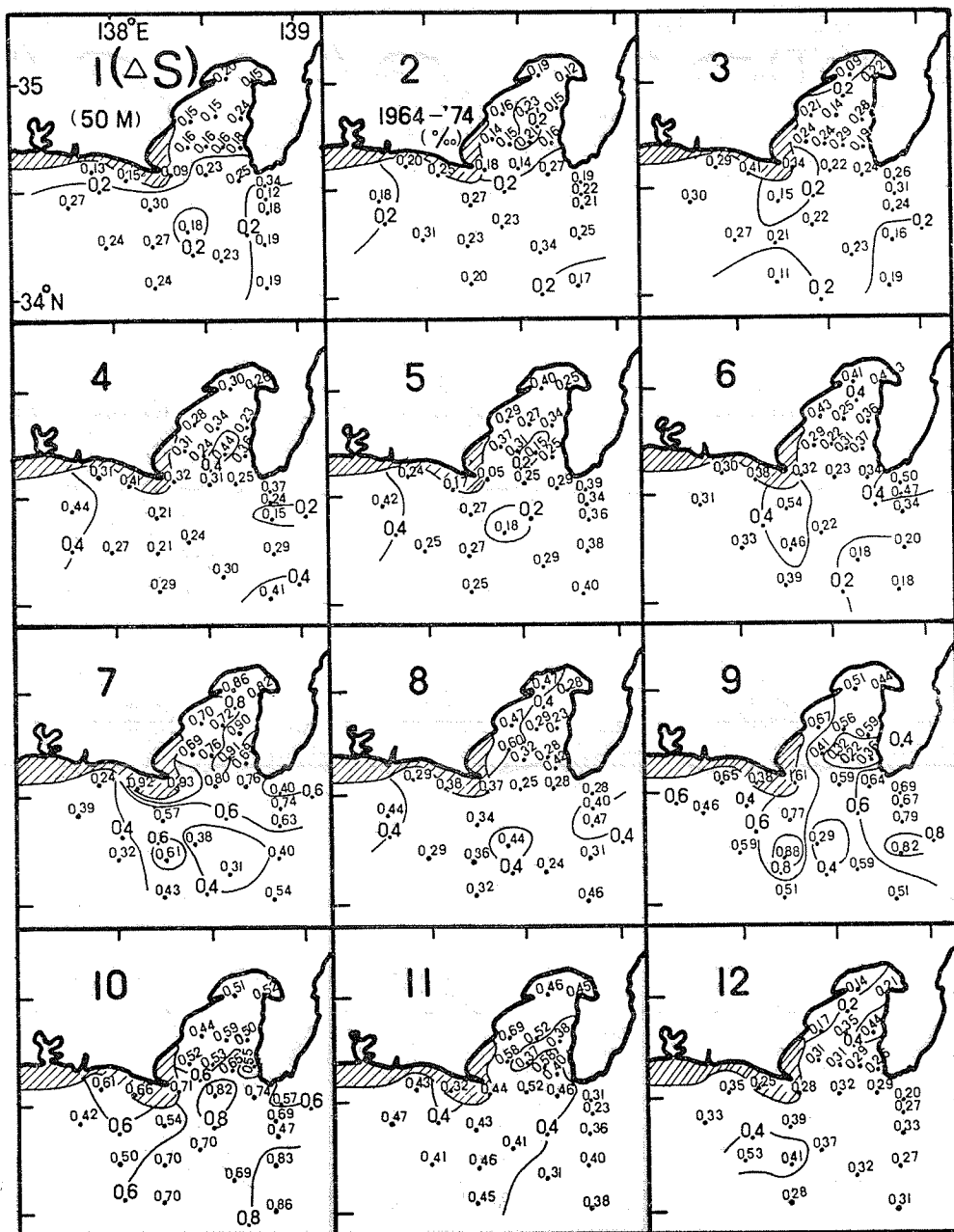


Fig. 9-2. Monthly distribution of the range of variation of salinity (‰) at 50 m depth, 1964-1974 ($\Delta S = S \text{ max.} - S \text{ min.}$).

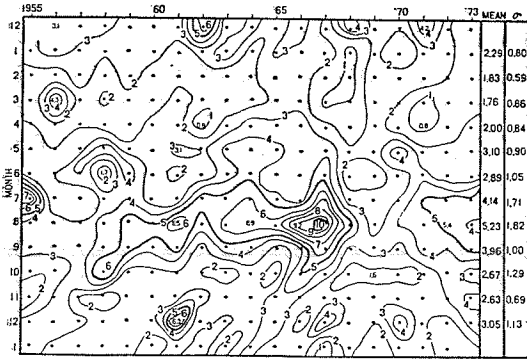


Fig. 10. Range of variation of water temperature (°C) at 50m depth in Iwae Set-Net, Sagami Bay, 1955-1973. "Mean" in the right column indicates mean range of variation of water temperature (°C) and σ , standard deviation of water temperature (°C), respectively.

いは藤井 (1972) らが述べているように、海況の年周期として、成層期、対流期、対流期から成層期までの成層前期、成層期から対流期までの成層後期と四つに区分して、海況の動態を論ずるのも一方法であろう。すなわち、環境自体を等質化していくための仮説を設定していく必要があろう。前述の観点に立って、以下に、平均値と海況の動態について述べる。

Fig. 11-1, Fig. 11-2 および Fig 11-3 は St. 26 における水温、塩分および thermosteric anomaly (δT と記す) の平均イソプレットを示したものである。これによれば、1~3月 は 150m 以浅の水温が最低、塩分は最高を示す対流期である。4月以降、表層の昇温に伴って季節的溫度躍層の形成が始まり、また、低塩分水が表層に出現し始める(成層前期)。8月には表面水温が年間最高の 26°C 台に、塩分は最低の 33.0‰ 台に達し、成層盛期となる。9月以降11月頃の成層後期は表層水温の低下に伴って、混合が始まり、躍層は衰退期に入り、50m では

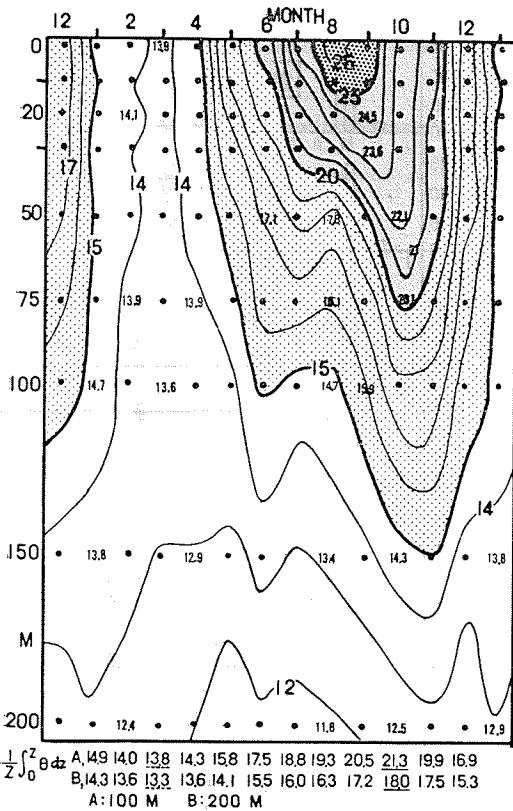


Fig. 11-1. Isopleth of mean water temperature (°C) at St. 26, during 1964-1974. Numbers on the bottom of the panel indicate the mean value of integrated mean water temperature (°C).

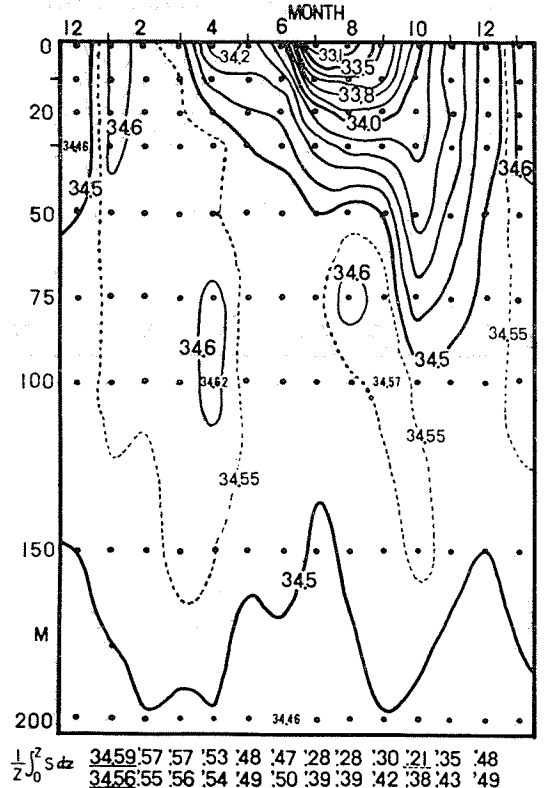


Fig. 11-2. Isopleth of mean salinity (‰) at St. 26, during 1964-1974. Numbers on the bottom of the panel indicate the mean value integrated mean salinity (‰).

10月, 100 m では11月に水温は最高, 塩分は最低を示す。これより下層の200mでは4月から9月は水温, 塩分ともに低い, 10~3月の対流期には対照的に高い。水温および塩分で示した, 海況の時間的变化は δT の時間的变化とも対応している。さらに, Fig. 11-1 で注目すべきことは, 7~8月の約50 m 以深は, その前後の

5~6月および9~10月に比べて低温なことである。50m以深の水温の四季変化をみると, 3月を中心とする冬季および夏季を中心にそれぞれ低温現象が認められる。この低温現象を, 冬季の場合を水温第1極小, 夏季の場合を水温第2極小と呼ぶことにする。一方, Fig. 11-2 では, 水温第1極小および水温第2極小に対応して, 塩分に二つの極大が出現する。塩分の二つの極大のうち, 冬季の場合を, 塩分第1極大, 夏季の場合を塩分第2極大, と呼ぶことにする。ここで特に注目した, 水温第2極小とこれに対応する塩分第2極大はともに, 約

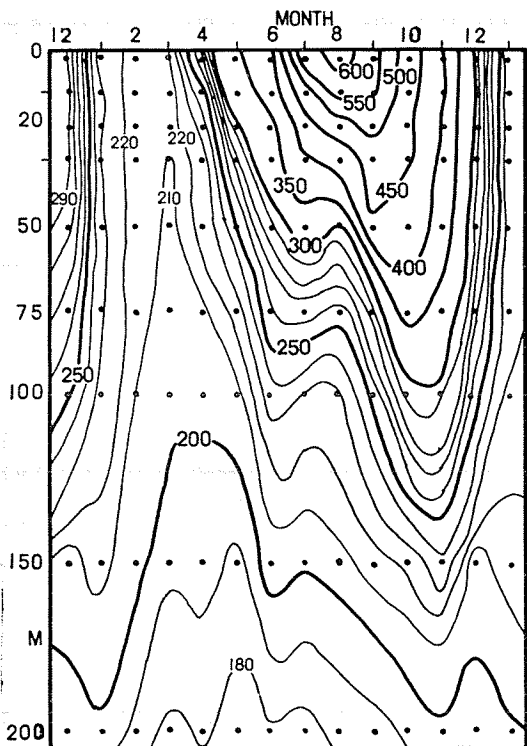


Fig. 11-3. Isopleth of mean thermosteric anomaly (δT : cl/ton) at St. 26, 1964-1974.

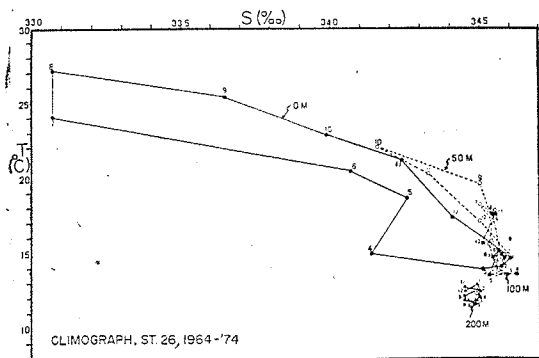


Fig. 12. Climograph at St. 26. Temperature ($^{\circ}\text{C}$) and salinity (‰) used are mean for 1964-1974.

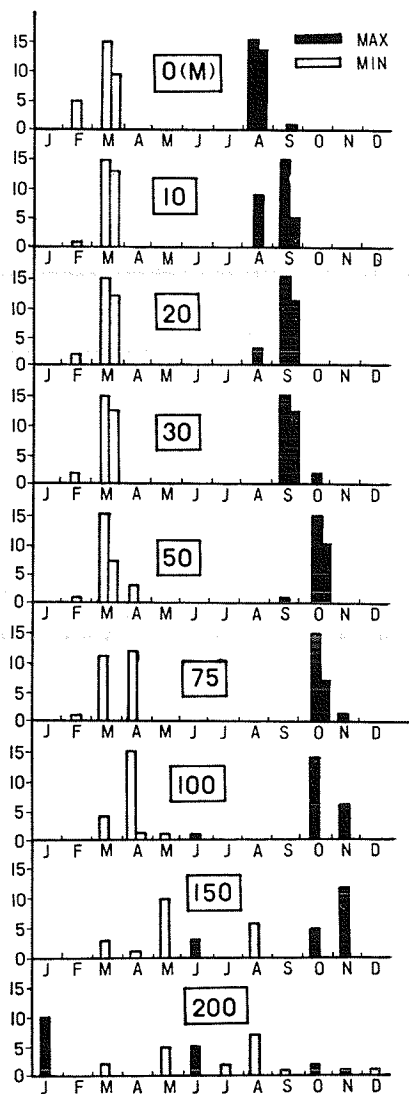


Fig. 13. Frequency distribution of water temperature maximum and minimum at each station (T : 1964-1974).

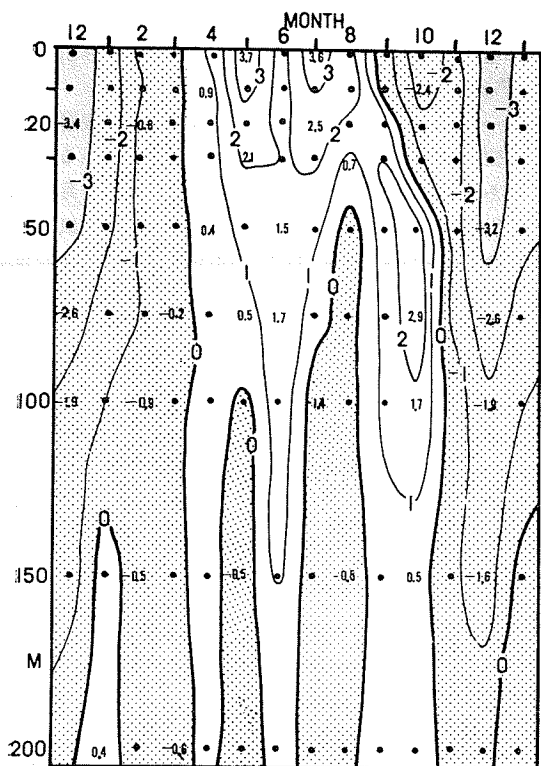


Fig. 14-1. Difference of mean water temperature ($^{\circ}\text{C}$) from the previous month at St. 26, 1964-1974.

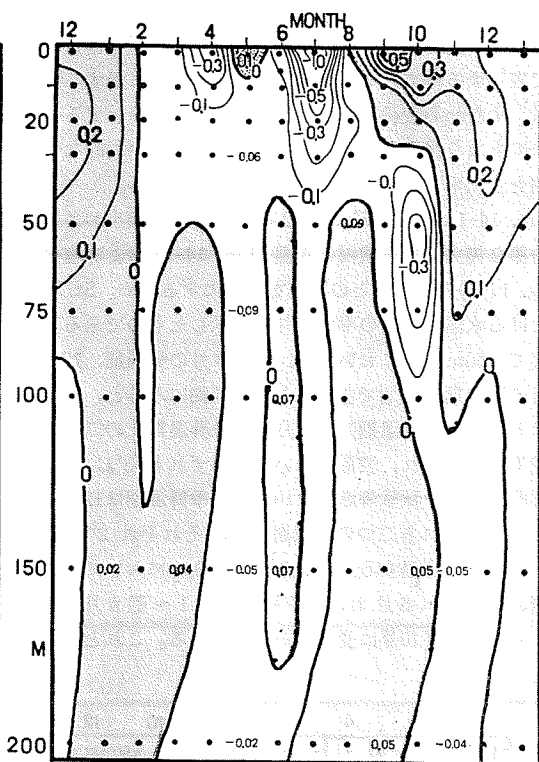


Fig. 14-2. Difference of mean salinity (‰) from the previous month at St. 26, 1964-1974.

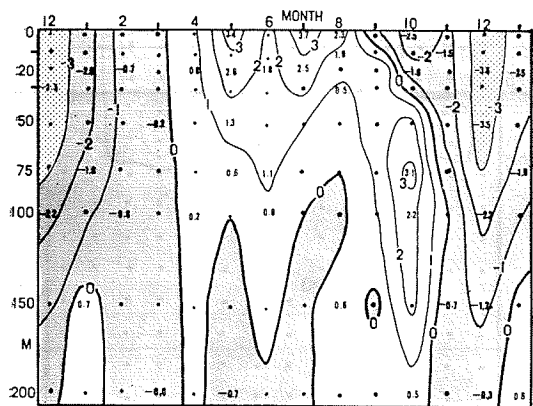


Fig. 15. Difference of mean water temperature ($^{\circ}\text{C}$) from the previous month in Suruga Bay (Sts. 17-29), 1964-1974 (See Fig. 3-1).

50~150 m 付近まで明瞭に現われている。これは δT 分布 (Fig. 11-3) でも明らかである。このように約 50~150 m 深の水溫、塩分および δT の四季変化は 50 m 以

浅と異なり、年 2 回の高・低極を示す。夏季を中心に出現する水溫第 2 極小およびこれに対応する塩分第 2 極大については従来の知見は極めて乏しい。この挙動は、すでに Fig. 8 で述べた水溫変動幅の時空的分布特性において、夏季の約 50~150 m が最高を示すことと関連して、さらに、海況の時空的変動の数量化として、標準偏差などを検討する際にも極めて重要な現象と考えられる。Fig. 12 に、水溫塩分の深度別 (0, 50, 100 および 200 m) のクリモグラフを示した。

水溫、塩分の最高および最低の出現時期は、深度によって時間的「おくれ」(time lag) がみられる。水溫の深度別、月別および測点別に求めた平均値から最高および最低水溫を取り出して、これらの出現月の測点数 ($N=29$) の頻度分布を最高および最低別に Fig. 13 に示した。水溫の最高および最低の出現時期の深度による時間的「おくれ」は、ほぼ全測点においてもみられる。しかし、100 m 以深においては、各測点によってそれらの出現時期に相違が認められる。

4) 変化率

漁業生物資源に対する環境としてスカラー量を偏差などで表示する他に、これらの量的表示を時間に対する変化量、すなわち変化率は、年変動を客観的に検討する一手法にもなり得る。本項においては、海況の平均的な年周期を変化率（1カ月当り）と言う形で述べる。

Fig. 14-1 および Fig. 14-2 は、水温第2極小および塩分第2極大の出現状況と水温 (Fig. 14-1) および塩分 (Fig. 14-2) の変化率との関連を明瞭にするため、St. 26 における水温と塩分の平均前月差を示したものである。水温では50m以浅においては、4~9月の昇温期、10~3月の降温期に大別できる。これを詳細にみると、昇温には5月（春季昇温期）と7月（夏季昇温期）の二つの卓越期が認められ、表層においてはいずれも 3°C 以上の昇温を示す。秋季降温期は10月、冬季降温期は12月に認められ、これら二つの卓越期には、それぞれ 2°C 以上、3°C 以上降温する。下層の50~100mにおいては、表層の昇温期（5月および7月）より1~数カ月遅れて、6月および10月に変化率が顕著となる。これとは対

照的に、降温期の卓越は昇温期のそれと幾分出現傾向に相違がみられ、12月を中心に冬季ただ1回のみ出現する (Fig. 11-1)。

一方、塩分 (Fig. 14-2) についてみると、表層における変化率の分布は水温の変化にはほぼ対応している。すなわち、春季4月頃 (-0.3‰以上) および夏季7月 (-1.0‰以上) にそれぞれ負の卓越を、9月 (0.5‰以上) に正の卓越を示す (Fig. 11-2)。50m深においては表層に比べ、正、負の変化率の出現に「おくれ」が認められる。特に秋季の成層後期の50~100m深においては、表層より約2~3カ月遅れて、10月に昇温、降鹹となる。このほか、夏季7~8月を中心に、おおむね50m以深に低温高塩水の出現が時期およびその強度とともに明瞭に示されている。Fig. 3-1 を基に算出した駿河湾全体の水温変化率 (Fig. 15) をみても、表層部における5月および7月の正の卓越、10月および12月の負の卓越、さらに、下層における「おくれ」など St. 26 と同様な出現傾向を示す。

5) 躍層の消長

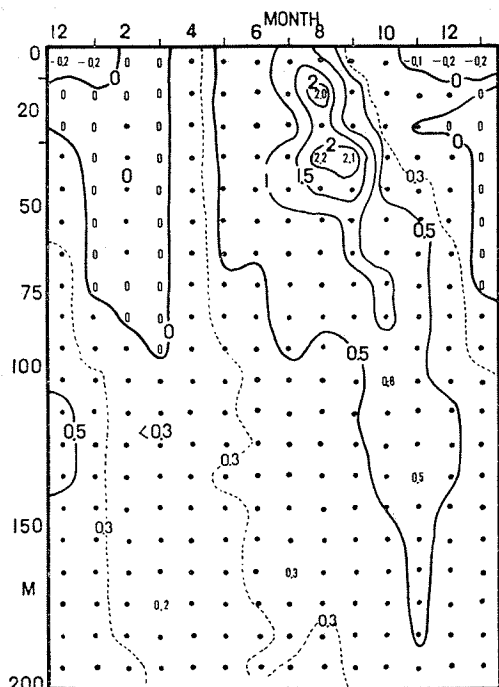


Fig. 16-1. Mean thermal gradient ($\times 10^{-1}$ °C/m) at St. 26, 1964-1974. The symbol “+” means that the water temperature (°C) of upper layer is higher than that of lower layer and “-” vice versa.

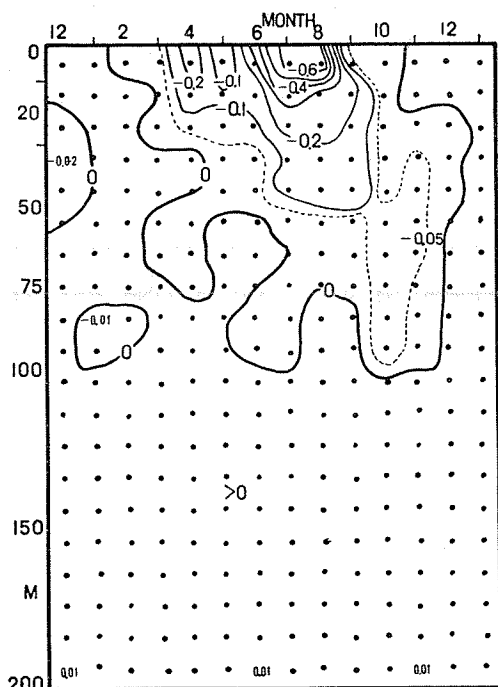


Fig. 16-2. Mean salino-gradient ($\times 10^{-1}$ ‰/m) at St. 26, 1964-1974. The symbol “+” means that the salinity (‰) of upper is higher than that of lower layer and “-” vice versa.

漁業生物資源の分布などに深い係りを持つ水温および塩分の鉛直方向への傾度の時空的変動について述べる。

St. 26 における1964~1974年の水温および塩分の鉛直方向への平均傾度 ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$ および $\text{‰}/\text{m}$) を月別に算出し、これらを Fig. 16-1 および Fig. 16-2 にそれぞれ示した。当海域も、WYRTKI (1964) が提案した $0.3^{\circ}\text{C}/10\text{m}$ 以上を温度躍層とする定義と一致した。季節的水温躍層は12~4月まではほとんど認められず、5月に入って、約60m以浅にみられる。その後は、顕著な成層状態を示し、8月の30~40m 深においては $2^{\circ}\text{C}/10\text{m}$ 以上の最大値を示す。これ以降、10~11月は温度躍層の最大層の深さの増す様子が明瞭に示され、最も深くなるのは11月で50~150m 深に存在する。これは成層後期の混合期を示すものである。また、冬季の表層部は逆転現象が現われる (Fig. 17)。このように躍層の発生、発達、衰退および消滅の年周期の上層から下層への「おくれ」が明瞭に存在する。これらを整理すると、水温の鉛直傾度極大が $0.3^{\circ}\text{C}/10\text{m}$ 以下は対流期、この増大期の $0.3\sim 1.0^{\circ}\text{C}/10\text{m}$ は成層前期、 $1.0^{\circ}\text{C}/10\text{m}$ 以上は成層盛期および減

少期の $0.3\sim 1.0^{\circ}\text{C}/10\text{m}$ は成層後期として、それぞれ水温躍層の年周期として定義できる。

次に、塩分躍層 (Fig. 16-2) をみると、12~3月頃までは水温と同様に、塩分躍層は形成されず、4月に入って表層部からその形成をみる。塩分躍層は6月から9月頃までは表層部において、 $0.4\text{‰}/10\text{m}$ 以上の値をとる。11月に入ると、塩分躍層はこれまでの表層部から幾分下層の約30~100m 深付近に形成される。これも水温と同様に混合期における塩分躍層の特性である。

以上主として、水温躍層および塩分躍層の鉛直方向への傾度の消長について論じた。次に、鉛直安定度について検討する。St. 26 の平均鉛直安定度の時空的変動を Fig. 17 に示した。

なお、鉛直安定度は次式 (SVERDRUP *et al.* 1942) で算出した。

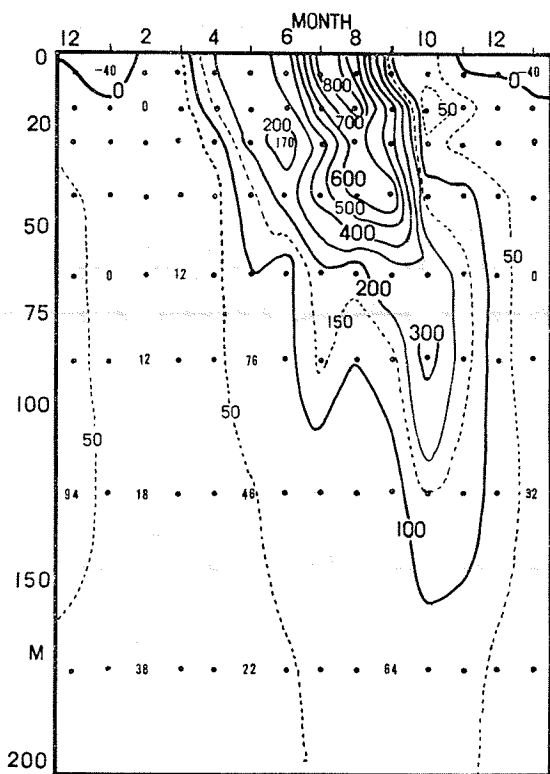


Fig. 17. Mean vertical stability ($\times 10^4\text{g}/\text{cm}^3/\text{m}$) at St. 26, 1964-1974.

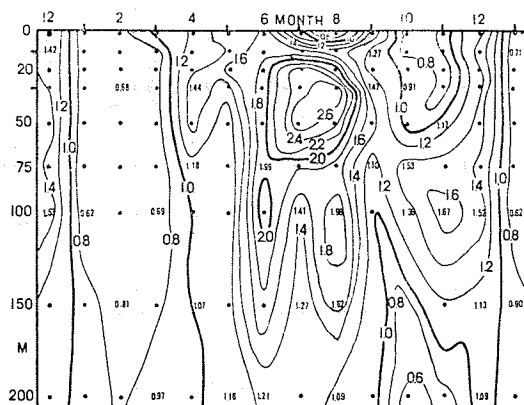


Fig. 18-1. Standard deviation of water temperature ($^{\circ}\text{C}$) at St. 26, 1964-1974.

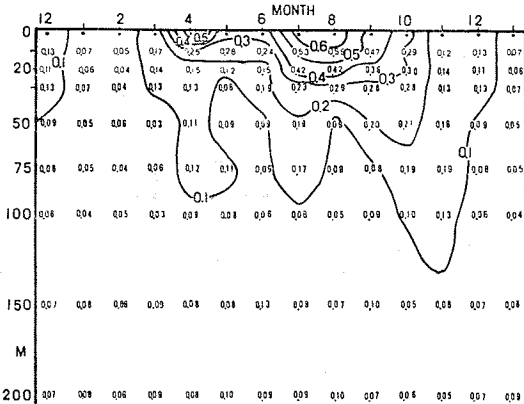


Fig. 18-2. Standard deviation of salinity (‰) at St. 26, 1964-1974.

$$E' = 10^{-3} \frac{d\sigma_t}{dz}$$

σ_t : 現場密度 (g/cm^3)

Z: 深さ (m)

鉛直安定度の時間的変化をみると、冬季12~3月頃ま

では、表層部から 200 m 深まではほぼ中立である。その後、3月頃から躍層の発生期（形成期）に入り、それに伴って鉛直安定度は増大し（発達期）、夏季7~8月最大となる。9月以降は躍層の衰退期に入り、表層部において安定度は激減する。次に、空間的変化では、時間の経

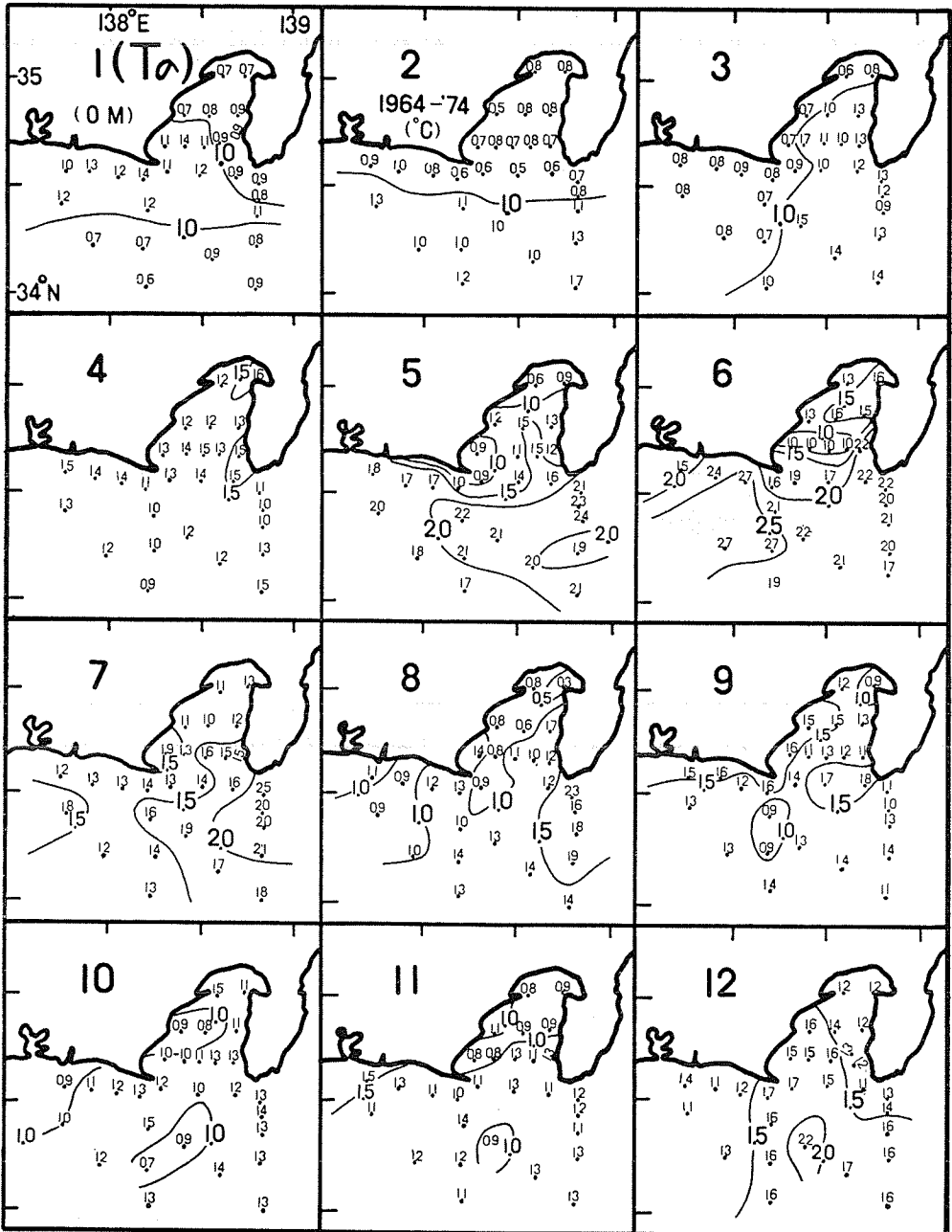


Fig. 19-1. Monthly standard deviation of water temperature ($^{\circ}\text{C}$) at the 0 m, 1964-1974.

駿河湾ならびに隣接海域の海況変動

過とともに、下層の安定度の増大は遅れる。成層状態を示す $100 \times 10^6 \text{g/cm}^3/\text{m}$ は、表層においては、3月頃から8月、50m深においては、4月から発生し、10月頃まで卓越する。さらに、その下層の100m深においては、6月から11月にそれぞれ卓越する。このように、成層は

150m以浅に限られ、これは Fig. 16-1 で $0.5^\circ\text{C}/10\text{m}$ の躍層に対応する等値線の時空的变化に対応する。

また、夏季約50m以深に出現する水温第2極小は、7~8月の水温躍層および塩分躍層が、前後の時期に比較して、それ程顕著に浅層部にあるわけでもないの

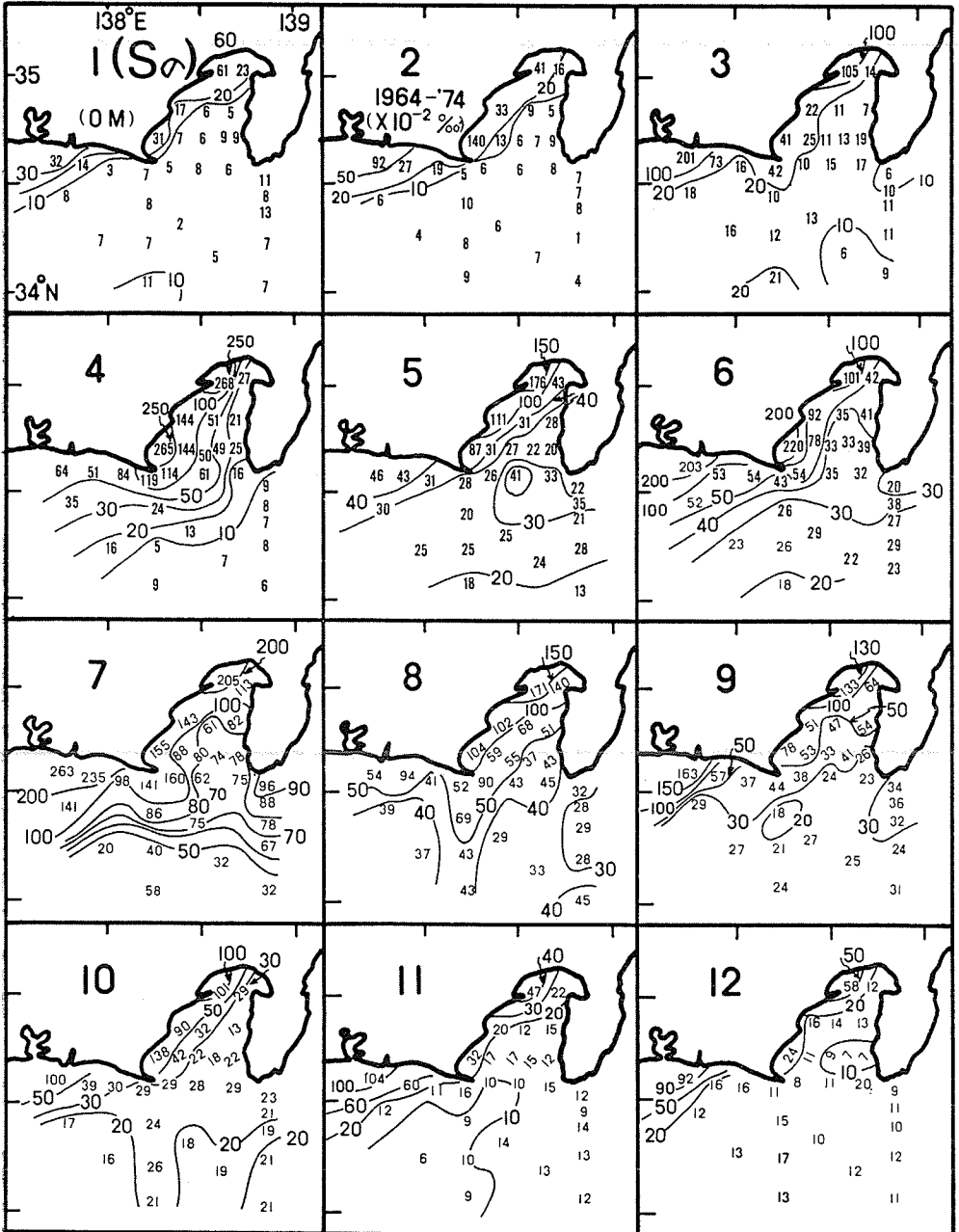


Fig. 19-2. Monthly standard deviation of salinity ($\times 10^{-2}\text{‰}$) at 0 m, 1964-1974.

Fig. 16-1 および Fig. 16-2 においては余り明瞭に識別できない。しかし、Fig. 17 では、同一時期、同一層において、その特徴が明瞭に示される。

6) 標準偏差

本項では、標準偏差を用いて海況変動を検討する。

i) 鉛直方向における標準偏差

水温および塩分の変動を検討するため、全測点において全層の標準偏差を算出した。そのうち一例として St. 26 の場合を Fig. 18-1 および Fig. 18-2 に示した。

水温変動幅の分布図 (Fig. 8) から予想されたように、冬季 1~3 月 (2 月中心) に表層から下層まで、水温の標準偏差は 0.8°C 以下と最小を示す。3 月以降、特に 4 月から偏差は急増し、6~8 月は表面を除いては、100 m 深まで大きい。30~75 m 深 (50 m 中心) で最大となり、標準偏差は 2.6°C 以上にも達する。また、成層盛期に達する直前の 6 月は下層の 200 m 深まで大きい。その後は混合の卓越に伴って、躍層も深くなり (Fig. 11-1, Fig. 16-1, Fig. 17) 標準偏差は時間的には 6~8 月の 50 m 深の第 1 ピークに続いて、11 月の 100 m 深を中心に第 2 のピークが出現し、これも約 1.5°C 以上に達する。しかしながら、夏季 8 月を中心とする表面の標準偏差は下層とは異なり、0.8°C 以下と冬季に続いて極小を示す。現象的には、夏季に、河川系水を含む内湾水の水温が最高 (Fig. 11-1) を示す結果、外洋系水と内湾水との水温差が最小となり、表面の年変動は冬季に続いて極小を示す。Fig. 19-1 に示した表面水温の月別標準偏差を見ても明らかなように、夏季は水温の空間的分散が冬季に続いて小さい。

一方、塩分の標準偏差 (Fig. 18-2) は、1~3 月はおおむね表層から下層まで 0.1‰ 以下と、対流混合が発達するため水温と同様に最も小さく、4 月以降、12 月まで約 100 m 以浅においては 0.1‰ 以上の標準偏差を示す。このうち、特に夏季の表層においては、0.6‰ 以上となり、Fig. 18-1 で述べた水温分散の最小に対して、塩分は最大の分散を示す。これは、夏季の多雨に伴う河川系水の流出域の顕著な地理的変化および降雨量の年変動などによるものである (Fig. 19-2)。また夏季は、河川系水の水平的な拡がり卓越するため、この拡がりの大小が特に表面の塩分の分散を顕著なものとする。水温分散の最大を示した 7~8 月の 50 m 深を中心に塩分分散もかなり認められ、この分布傾向は、秋季の混合期においても水温の場合と同様で良く対応している。

以上、主として St. 26 における水温および塩分の標準偏差について述べた。St. 26 以外にサクラエビ漁況予報

(Omori *et al.* 1973) に環境の代表点としている St. 29, Fig. 20 に示した駿河湾全体 (Sts. 17~29) および Fig. 21 に示した遠州灘 (Sts. 1~16) における水温標準偏差の時空的分布も、St. 26 の場合と本質的な相違は認められない。これとは別に、水温および塩分の平均値 (Fig. 11-1, Fig. 11-2) が時空的に異なるため、平均値 (M) に対する標準偏差 (σ)、すなわち変動係数 (σ/M) を検討しても標準偏差に全く対応する。このため海況の時空的変動の量的表示は標準偏差で代表できる。

ii) 水平方向における標準偏差

水温および塩分の標準偏差を全測点の全深度について算出した。このうち 50 m 深をとりあげ、Fig. 22-1 および Fig. 22-2 に、水温および塩分の標準偏差を示した。ここでは、主として両図に示した標準偏差の地理的分布の時間的変化の特徴について述べる。

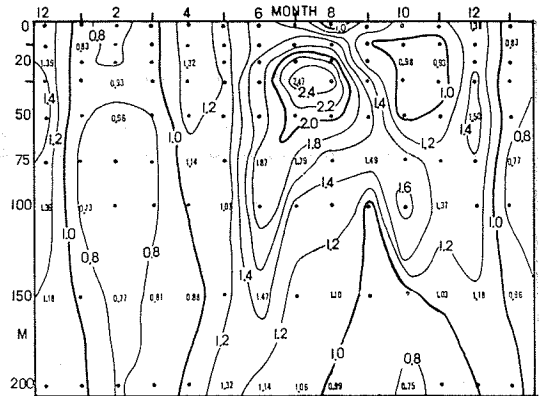


Fig. 20. Standard deviation of water temperature (°C) in Suruga Bay (Sts. 17~29), 1964-1974.

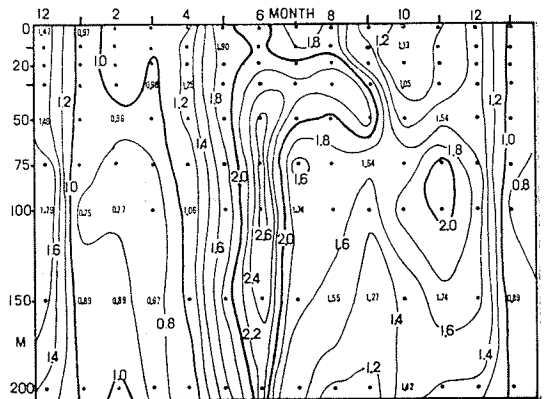


Fig. 21. Standard deviation of water temperature (°C) in the Sea of Enshunada (Sts. 1~16), 1964-1974.

季節的水温躍層の未発達冬季を除いて、5~11月頃までは、水温の分散に地理的な特徴が認められる。すなわち、黒潮系水、時には親潮系水などが存在する水系分布の複雑な伊豆諸島を中心に、沖合部で特に顕著である。6~8月の夏季は、駿河湾においてもその変動は大きく、ほぼ遠州灘のそれに匹敵する。これは、夏季の水

温第2極小と関連して極めて重要なことである。一方、塩分 (Fig. 22-2) は水温とは対照的に、河川の集中する駿河湾西部~遠州灘沿岸で大なる傾向を示し、(Fig. 19-2 参照) 特に駿河湾の変動が外洋のそれよりも大なる場合が認められる。さらに、塩分の分散の時間的変化は、水温と同様に、夏季6~9月を中心に大きく、また、同期

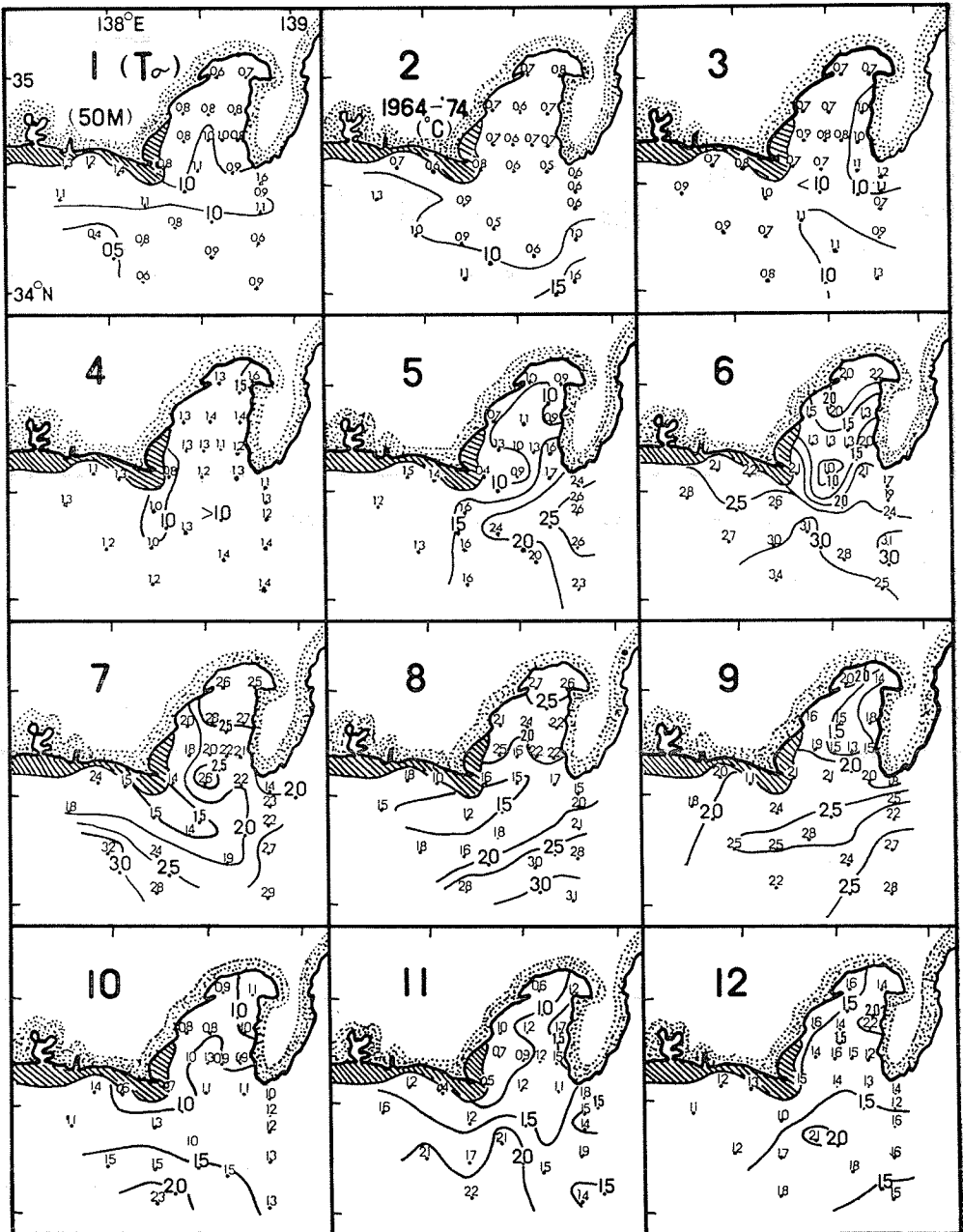


Fig. 22-1. Monthly standard deviation of water temperature ($^{\circ}\text{C}$) at 50 m, 1964-1974.

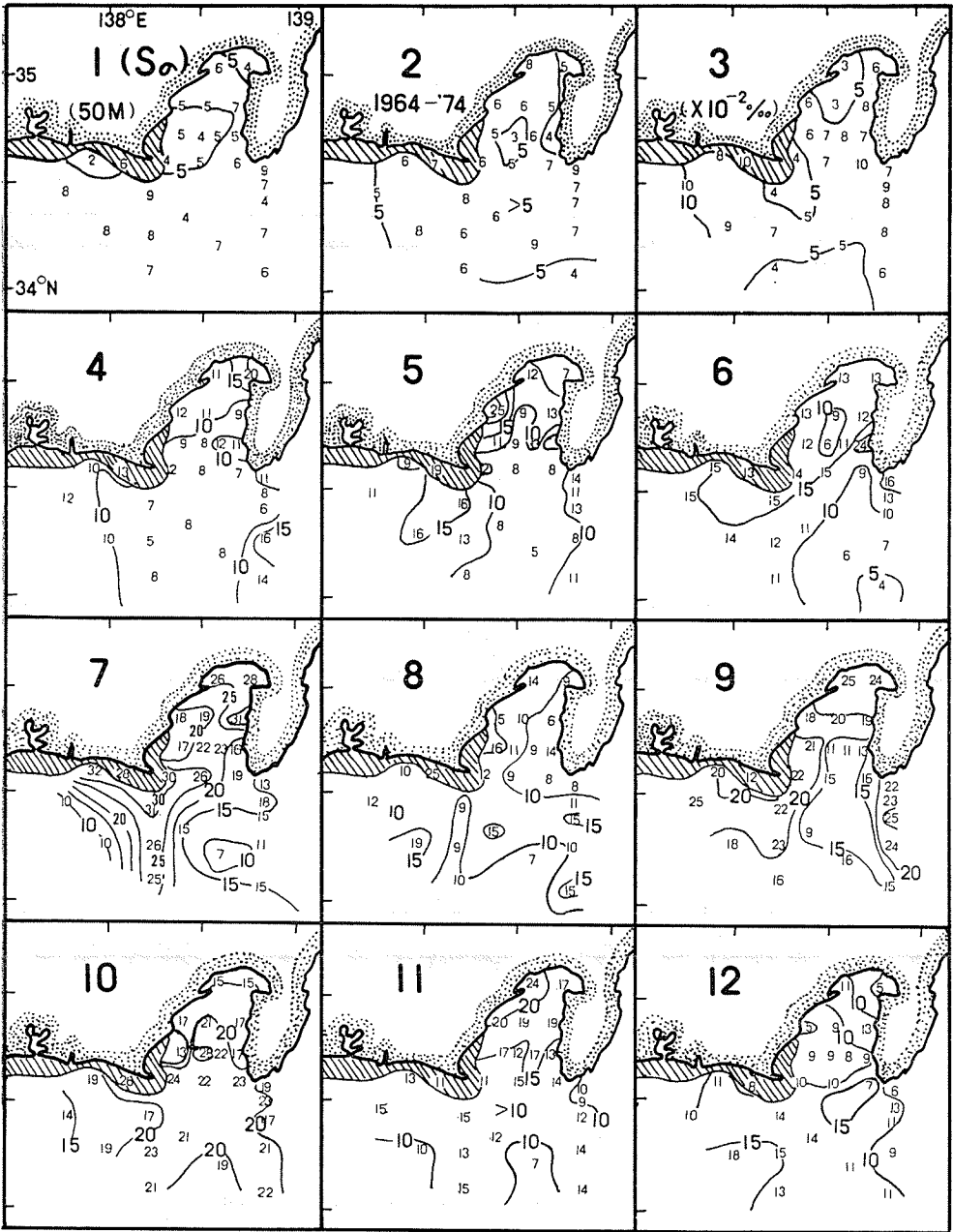


Fig. 22-2. Monthly standard deviation of salinity ($\times 10^{-2}\text{‰}$) at 50 m, 1964-1974.

間のそれは駿河湾でも外洋に匹敵する程大きい。

4. 考 察

1) 海況の時空的変動

i) 海況の年周期の基本型

従来、環境要素の大きさを表示する際、その時空的変

動、すなわち、質的な概念を余り考慮しないで、ただ量的大小のみで表示する傾向があった。

量的には同一であっても、地理上の1点で時間的に異なる同一空間において水温の平均値からの差、すなわち、水温偏差が等量の場合（例えば2月と8月における50m深）、あるいは、空間的に異なる同一時刻において

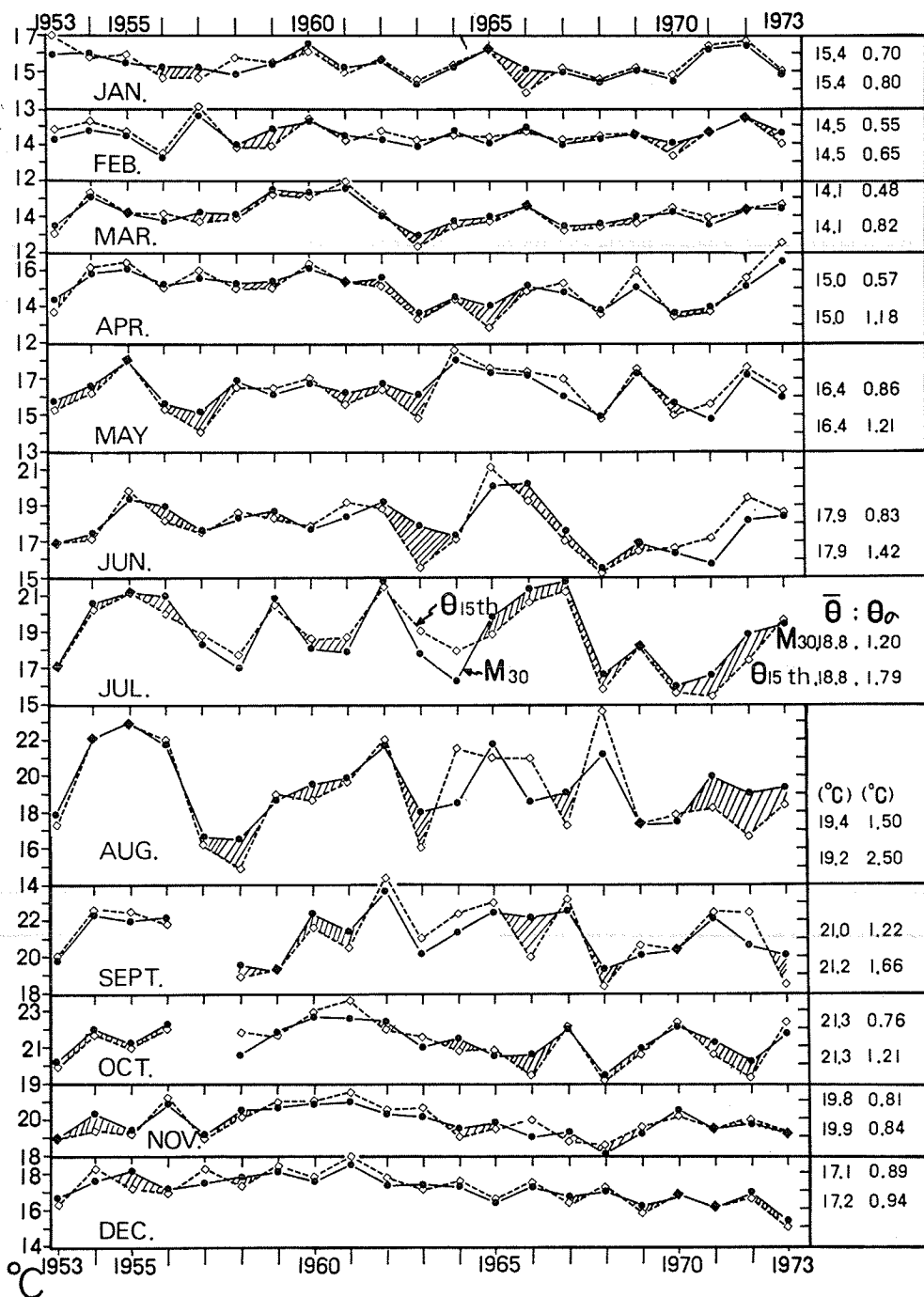


Fig. 23. Monthly mean water temperature ($^{\circ}\text{C}$) calculated from daily data (M_{30}) and that obtained by observation on 15th of every month as a representative value for a month ($\theta_{15\text{th}}$) at 50m depth of Iwae Set-Net in Sagami Bay, 1953-1973. Figures on the right column indicate mean water temperature ($^{\circ}\text{C}:\bar{\theta}$) and standard deviation of water temperature ($^{\circ}\text{C}:\theta\sigma$), respectively.

水温偏差が等量の場合（例えば8月における表面と100m深），これらの質的吟味が必要となる。このため，ここでは，海況の時空の変動を水温および塩分の標準偏差を用いて数量化した。標準偏差は，特異海況などを含む，海況の時空的な強度を吟味する際の基本的な物指となるので，極めて有意義なものである。

Fig. 18-1, Fig. 18-2, Fig. 20 および Fig. 21 から明らかなように，海況の空間的変動はおおむね75~100m以浅で大となり，時間的には夏~秋季に変動が大きい。一方200m深においても海況の時間的変動が明瞭に認められた。

海況の時空的変動の結論として，これを“海洋暦”としてみると，冬の海（対流期）は2月（分散が最小，安定），春の海は5月（成層前期，4月の昇温期，変動大），夏の海は8月（成層盛期，表面水温の分散が極小，安定）そして秋の海は11月（成層後期，10月および12月顕著な降温期）をそれぞれ中心にみられるのが，当海域の海況年周期の基本型と見てよい。

ii) 月1回観測値によるその月の代表信頼限界

月1回の観測値がその月の代表となり得るかどうか（月の代表信頼限界）の検討を日々の観測値から月別に考察した。

Fig. 23 は岩江50m深における日々の水温記録に基づいて算出した月平均水温 (M_{30}) と，日々の水温記録から，毎月15日の記録をその月の代表水温 (θ_{15th}) として，年別，月別にそれぞれ図示したものである。図中に1953~1973年の月別平均水温 ($\bar{\theta}$) および月別標準偏差 (θ_0) も併せて示した。

50m深水温の月間変動と年変動は既に Fig. 10 において述べた。Fig. 23 から月間変動は四季別では一般に冬季小さく，夏季6~9月（7~8月中心）に大きく，また，年変動も月間変動に相似し，冬季に小さく，夏季に大きいことが容易に認められる (θ_0 参照)。ここで注意すべきことは，月間変動が下層50m深においてもかなりみられることである。Fig. 10 と Fig. 23 を見る限りにおいては，冬季の場合は月1回の観測値が比較的月の代表値として使えるが，夏季の場合は月間変動が大きいため，月の代表とすることは極めて危険であり，冬季を除いては，月間変動を十分に考慮する必要がある。

Fig. 24-1 は，月1回の記録と日々の記録とを検討するため，同じく岩江50m深の M_{30} と θ_{15th} の関係を月別に示したものである。また，それぞれの標準偏差の関係を Fig. 24-2 に示した。長期にわたる両者の関係は直線式となり，一見，ほとんど相違は認められないが， M_{30}

の標準偏差は， θ_{15th} のその約 $1/2$ で，理論値（約 $1/3$ ）より大きい。これは日々の記録が1カ月内でかなり分散するためである。

また，夏季相模湾に出現がみられることのある水温第2極小 (Fig. 32 参照) は，Fig. 24-1 で平均的にみると，特徴が消され，5月から10月まで続いて昇温を見る。これは3-3) で述べたように，平均化の取扱いに対し注意を促す好例と言えよう。

iii) 日々の水温記録からみた水温の時間的変動

Fig. 8 で述べた月1回の観測資料において，10年以上継続した St. 26 の水温変動幅の50m深における時間的変動（年変動）と Fig. 10 に示した50m深の岩江の水温変動幅の時間的変動（年変動および月間変動）におい

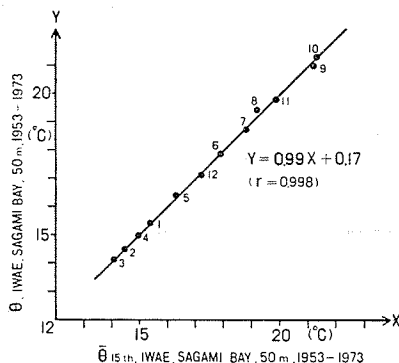


Fig. 24-1. Relation between mean water temperature ($^{\circ}\text{C}$) calculated from daily data and that obtained by observation on 15th of every month, at 50 m depth of Iwae Set-Net in Sagami Bay, 1953-1973.

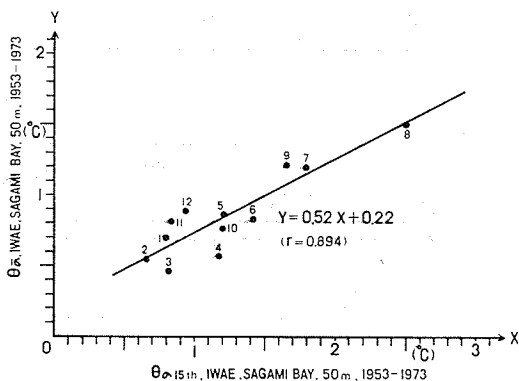


Fig. 24-2. Relation between standard deviation of water temperature ($^{\circ}\text{C}$) calculated from daily data and that obtained by observation on 15th of every month at 50 m depth of Iwae Set-Net in Sagami Bay, 1953-1973.

て、両者の年変動の分布はほぼ同様な傾向を示す。

これらの状況をより詳細に検討するため、年別および月別の水温標準偏差を Fig. 25 に図示した。これから、月間変動としては夏季に最大、冬季に最小を示すこと、

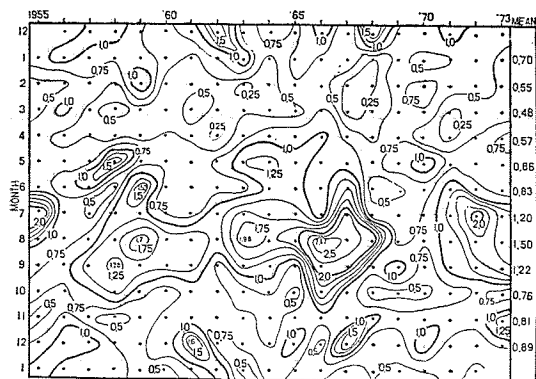


Fig. 25. Standard deviation of temperature (°C) at 50m depth of Iwae Set-Net in Sagami Bay, 1955-1973.

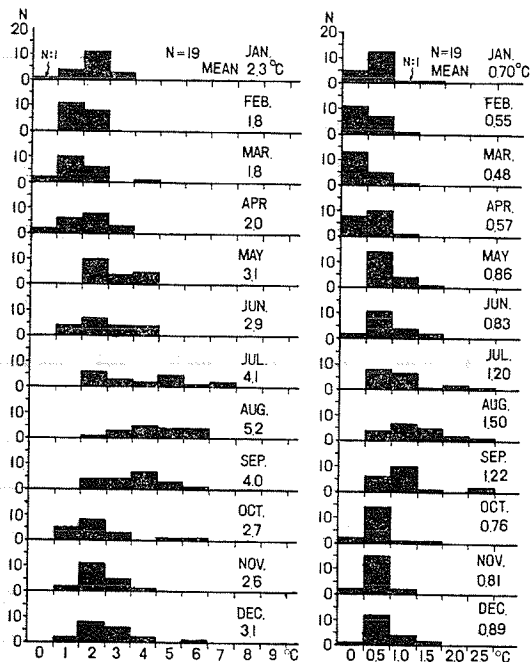


Fig. 26.

Fig. 27.

Fig. 26. Frequency distribution of range of variation of water temperature (°C) at 50 m depth of Iwae Set-Net, in Sagami Bay, 1955-1973.

Fig. 27. Frequency distribution of standard deviation of water temperature (°C) at 50 m depth of Iwae Set-Net, 1955-1973.

また、年変動の対応関係も見出すことができる (Fig. 18-1, Fig. 20, Fig. 21, Fig. 22-1)。Fig. 25 は今後の岩江50m深における水温の月間変動の大きさを比較的簡単に判定できる一つの基準として有意義なものと考えられる。

以上主として、水温の時間的変動について考察したが、これらを頻度分布としてまとめ、Fig. 10 については Fig. 26 に、Fig. 25 については Fig. 27 に示した。岩江50m深の月別水温変動幅および同標準偏差からみた水温の時間的変動は、これらの頻度分布図に集約される。

月1回の観測資料を用いた水温の時間的変動の解析結果は、年変動については、その量的表現が可能であるが、月間変動のそれについては不可能である。しかし、月1回の観測資料でその月を代表させるためには、当然月間変動の量的検討が必要である。

駿河湾においては、下層の日々の記録がないため、相模湾の50m深水温資料を用いて、年変動および月間変動の両面から量的に考察した。この結果、両者の間には夏季に最大を、冬季に最小を示すことを明示した。今後は、さらに、水温の持続性の検討が必要である。

これまで、海況の月間変動および年変動を余り考慮せず、環境要因の一指標として水温と生物生産との対応関

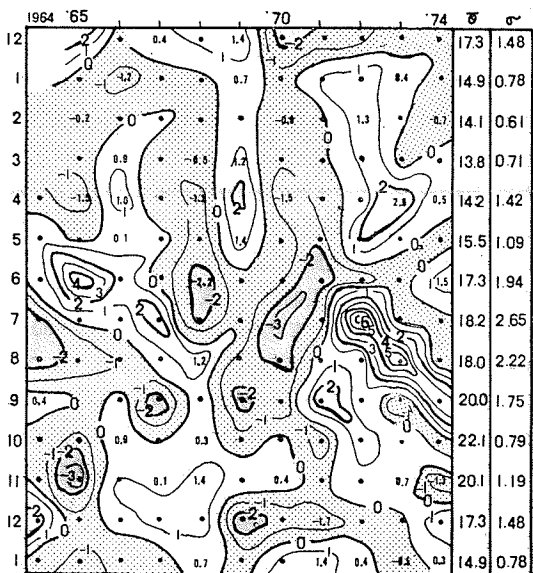


Fig. 28. Water temperature deviation (°C) at 50m depth in Suruga Bay, during 1964-1974. On the right side column, $\bar{\theta}$ indicates mean water temperature (°C) and σ standard deviation of water temperature (°C).

Table 1. Monthly mean water temperature ($^{\circ}\text{C} : \bar{\theta}$) and standard deviation of water temperature ($^{\circ}\text{C} : \theta\sigma$) at St. 26 in Suruga Bay, during 1964-1974.

		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
0 m	$\bar{\theta}$	14.8	14.1	13.9	15.0	18.7	20.4	24.0	26.5	25.3	22.8	21.1	17.6
	$\theta\sigma$	0.76	0.75	1.03	1.17	1.46	1.72	1.02	0.55	1.45	0.74	1.03	1.43
50 m	$\bar{\theta}$	14.9	14.1	13.8	14.2	15.5	17.3	18.2	18.0	20.0	22.1	20.1	17.3
	$\theta\sigma$	0.78	0.61	0.71	1.42	1.09	1.94	2.65	2.22	1.75	0.79	1.19	1.48
100 m	$\bar{\theta}$	14.7	13.8	13.6	13.6	13.4	15.1	14.7	15.0	16.1	17.6	17.5	15.9
	$\theta\sigma$	0.62	0.61	0.69	1.00	0.96	2.00	1.34	1.37	1.20	1.31	1.64	1.62
200 m	$\bar{\theta}$	12.9	12.4	11.8	12.0	11.4	11.9	11.6	11.5	12.2	12.3	12.8	12.6
	$\theta\sigma$	0.90	0.77	0.97	0.99	1.19	1.19	1.31	1.04	1.13	0.64	0.82	1.02
$\frac{1}{50} \int_0^{50} \theta dz$	$\bar{\theta}$	14.9	14.1	13.9	14.6	19.4	19.1	21.3	22.5	23.4	22.7	20.7	17.6
	$\theta\sigma$	0.75	0.69	0.77	1.32	1.32	1.87	2.03	1.81	1.13	0.80	0.87	1.43
$\frac{1}{100} \int_0^{100} \theta dz$	$\bar{\theta}$	14.9	14.0	13.8	14.3	15.9	17.7	18.8	19.3	20.6	21.3	19.8	17.1
	$\theta\sigma$	0.70	0.62	0.70	1.24	1.09	1.79	1.85	1.69	1.19	0.72	1.04	1.40
$\frac{1}{200} \int_0^{200} \theta dz$	$\bar{\theta}$	14.3	13.6	13.3	13.6	14.1	15.6	15.9	16.3	17.3	18.0	17.4	15.5
	$\theta\sigma$	0.66	0.54	0.66	1.12	1.08	1.69	1.46	1.46	1.09	0.61	0.93	1.13

係を論ずる場合がみられたが、前述の結論はこの点について重要な認識を与えた。

iv) 月 1 回の水温記録からみた水温の時間的変動

漁業生物資源に対する環境の激変は、一般に、漁業生物の分布、回遊路に変化を与えるため、環境の取扱いを、平均的にみること以外に、年変動を考慮した、環境の時空的特性（本項においては月 1 回の記録のため、年特性）を検討する必要がある。

月 1 回の水温の観測資料において、少なくとも 10 年以上の資料がある場合、水温の頻度分布がおおむね正規型を示すことが示唆された (Fig. 4)。これを具体的に示すため、1964~1974 年の水温の平均値 (Fig. 11-1) および水温の標準偏差 (Fig. 18-1) を深度別および 0~50m, 0~100m, 0~200m の積算平均別にそれぞれ算出した。さらに、平均値からの水温偏差を深度別 (0, 50, 100 および 200m) 深に、および積算平均水温からの偏差 (0~50m, 0~100m, 0~200m) の時系列をそれぞれ求めた。このうち、St. 26 における 50m 深の水温偏差の時系列を Fig. 28 に図示した。また、St. 26 の 11 カ年の平均水温および標準偏差を Table 1 に示した。Table 1 は今後の駿河湾の水温の高低を比較的簡単に判定できる一つの基準となると考えられる。さらに、これらの水温偏差を整理して Table 2 を得た。なお、1964~1975 年の深度別水温偏差と積算平均別水温偏差の関係は、Table 3 に示した両者の月別の相関係数をみても、危険率 1% 以上は 50m の 9 月、100m の 10 月および 200m の 11, 12, 2 月にみられるのみで全体的には両者は正の高い相関を示す。前

Table 2. Classified water temperature deviation at St. 26 in Suruga Bay, during 1964-1975.

Method	No. of data	$< \pm 1 \sigma$		$< \pm 2 \sigma$	
		n	%	n	%
0 m	132	81	61.4	127	96.2
50 m	132	87	65.9	126	95.5
100 m	132	91	68.9	127	96.2
200 m	132	96	72.7	127	96.2
$\frac{1}{50} \int_0^{50} \bar{\theta} dz$	138	85	61.6	133	96.4
$\frac{1}{100} \int_0^{100} \bar{\theta} dz$	129	81	62.8	124	96.1
$\frac{1}{200} \int_0^{200} \bar{\theta} dz$	129	89	69.0	122	94.6
Mean			66.0		95.9

述の 50m の 9 月、100m の 10 月、200m の 11~12 月は混合層の時間的「おくれ」 (Fig. 11-1) と一致しており、これは等温層の厚みによるものである。この時期には層別水温と積算平均水温との相関関係が小さいため熱量として深度別水温を用いる場合には注意を要する。むしろ積算平均水温での表示の方がより客観的である。

なお、Table 3 の 200m の 2 月は $r = +0.26$ と最低を示したが、これについては今後の検討を待ちたい。

Table 2 を通覧すると、種々の方法で求めた水温偏差は、おおむね $\pm 1 \sigma$ 範囲内に 66%、 $\pm 2 \sigma$ 範囲内に 96% 入り、ほぼ正規型を示す。すなわち、駿河湾を含む当

Table 3. Coefficient of correlation between deviation of water temperature at several layers and that of integrated mean water temperature at St. 26 in Suruga Bay, during 1964-1975.

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
50 m	0.99	0.91	0.99	0.98	0.86	0.77	0.93	0.94	0.61	0.74	0.74	0.98
100 m	0.98	0.93	0.96	0.91	0.91	0.92	0.91	0.94	0.91	0.58	0.87	0.90
200 m	0.82	0.26	0.74	0.90	0.92	0.94	0.88	0.93	0.88	0.76	0.43	0.56

海域の月1回の水温記録においては、Fig. 18-1、あるいは Table 1 に示した $\pm 1\sigma$ 範囲内の水温偏差を示す海洋諸現象はその年変動からみた場合、極く自然に起り得る現象である。この結果、月1回の観測値を月の代表値として、取り扱う場合、冬季を除いては、時間的変動幅を考慮に入れない議論は現象の時空的変動を無視することになり、余り意味をもたないように思われる。

小川(1969)は、日本海の表面の定地水温に“平年並”(平均値±標準偏差)を定義づけた。著者はさらに空間的に拡大し、各層においても $\pm 1\sigma$ の範囲内は“平年並”として取り扱われることを提言したい。これは Fig. 25 に示した日々の記録においても基本的には大差ない。既に述べた標準偏差の時空的分布は、特異現象などを含む、海況を規定する際の基本的な“物差し”として有意義なものと思われる。小川(1969)も指摘しているように平年偏差の標準偏差に対する割合 ($\theta - \bar{\theta} / \sigma$) で変動の度合を表現した方が、水温の高低に対する基準がより明瞭に示されるものと考えられる。今後は、Fig. 28 にも見られたように、平年偏差が $\pm 1\sigma$ 以上の現象、とりわけ、 $\pm 2\sigma$ 以上の平年偏差については、その持続性、出現要因ならびに変動要因の分析が重要な検討課題となろう。それと同時に、環境の時空的変動の量的な認識が、資源研究において環境を取扱う場合、特に重要なことと思われる。

2) 夏季に出現する水温第2極小の挙動

i) 水温イソプレットに現われる水温第2極小

夏季の水温最大変動の変動要因について考察する。

St. 26 (Fig. 11-1) の他に、駿河湾および遠州灘における他の測点の水温イソプレット (Fig. 29-1~Fig. 29-4) においても、通常夏季を中心に約 50m 以深に、いわゆる水温第2極小が存在するケースが多く、50~200m 深の水温の四季変化は 50m 以浅と異なり、年2回の高・低極を示す。これは水温分布以外に、塩分の時系列 (Fig. 11-2)、あるいは δT 分布 (Fig. 11-3) も、50m 以浅と 50~200m 深の海況の時間的変化の相違が明示された。このように、水温第2極小の出現要因としては、下層冷水の

移流によるものであることが Fig. 11-1 ~ Fig. 11-3 から充分考えられる [特に Fig. 11-2 の 50m 深付近にみられる塩分極大層——冬季以外は約 50 ~ 150 m (中村, 1975)——の浅層部への出現]。この水温第2極小の出現時期および出現層は、駿河湾の代表的漁業生物であるサクラエビ (Omori *et al.*, 1973) の産卵期 (6 ~ 8月盛期) と主産卵層 (50m 中心) に対応する。この出現が卵・稚子の発育、成長に負の影響を多大に及ぼす具体的現象であることを見出した。夏季に水温変動が最大に達する現象の一要因として、前述の下層からの冷水移流の効果に伴う、成層盛期における水温、塩分などの季節的躍層 (Fig. 16-1, Fig. 16-2) の上下動が挙げられる。

水温第2極小は、Fig. 29-1~Fig. 29-4 に示したように、平均的にみると、毎年夏季に出現するケースが多い。しかし Fig. 11-1 の平均水温 (1964~1974年) の時系列に対して、1964~1974年の時系列 (Fig. 6) を、また、Fig. 29 の平均水温の時系列のうち St. 5 (Fig. 29-4) に対する 1964~1974年の時系列 (Fig. 30) を見ると、必ずしも恒常的に出現するものではない。

駿河湾、豆南海域 (Sts. 1~5)、遠州灘で水温第2極小の出現傾向に若干の相違がみられるが、各年の水温時系列を通覧し、50m 深に注目すると、1968年および1971年の2年において、駿河湾内の各測点 (Fig. 34) ではほとんど出現せず、1973年はむしろ9月に出現をみた。また、湾外では、St. 5 (Fig. 30) で1968年 (ほとんど出現せず)、1969年、St. 12 で1972年に出現を見なかった (Fig. 34)。この時間的相違は、出現の時間的相違というよりは、むしろ観測の時間的な相違によるものと思われる。さらに、出現層の深浅度合、あるいは同一深度における前月差の大小などにみられるように、この出現の強度 (出現深度および水温前月差) に年変動が卓越することも容易に認められる。

ii) 駿河湾における水温第2極小の年変化

水温第2極小の強度の年変化を具体的に求めるため、St. 26 および Fig. 29 の5測点において、年別、月別および深度別 (0, 50m, 100m, 200m) 水温前月差を、

さらに 0~100 m, 0~200 m の積算平均水温の年別, 月別水温前月差を求めた。水温第 2 極小の出現深度は, 表面では明瞭に見られず, 50 ~ 150 m 付近に認められる

(Fig. 6, Fig. 11-1, Fig. 29, Fig. 30)。これを具体的に示すため, St. 26 (Fig. 6) の 50 m 深の水温前月差および 0~100 m の積算平均水温の前月差の時系列を Fig.

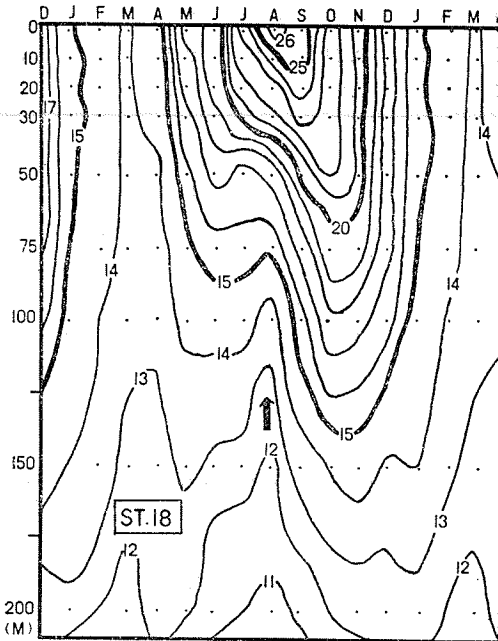


Fig. 29-1. St. 18.

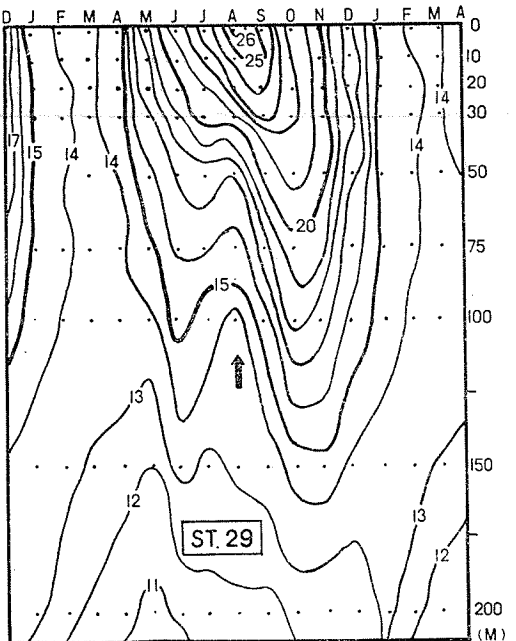


Fig. 29-2. St. 29.

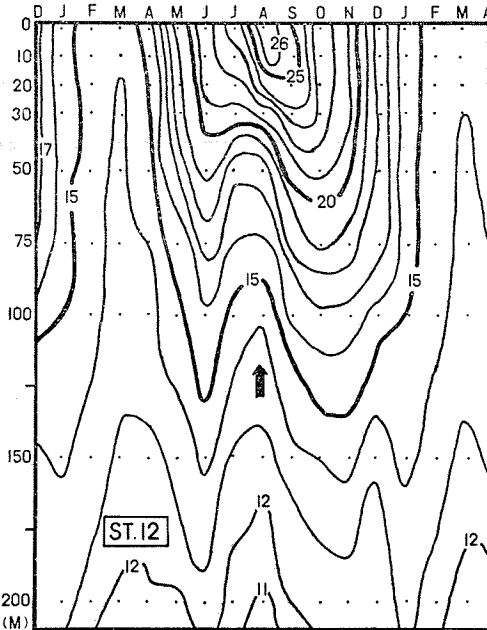


Fig. 29-3. St. 12.

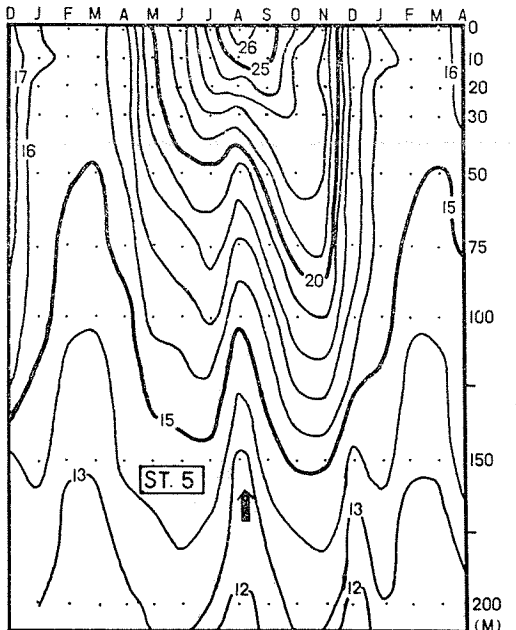


Fig. 29-4. St. 5.

Fig 29 Isoleth of mean water temperature($^{\circ}$ C) at each station, during 1964-1974.

駿河湾ならびに隣接海域の海況変動

31-1 および Fig. 31-2 に示した。これらの図によると、 にかけて一様に昇温傾向 (+ 域) を示し、10~11月頃か
 0~100m 付近までは、通常、3~4月頃から9~10月頃 ら2~3月頃までは降温傾向 (- 域) に転ずる。しかし、

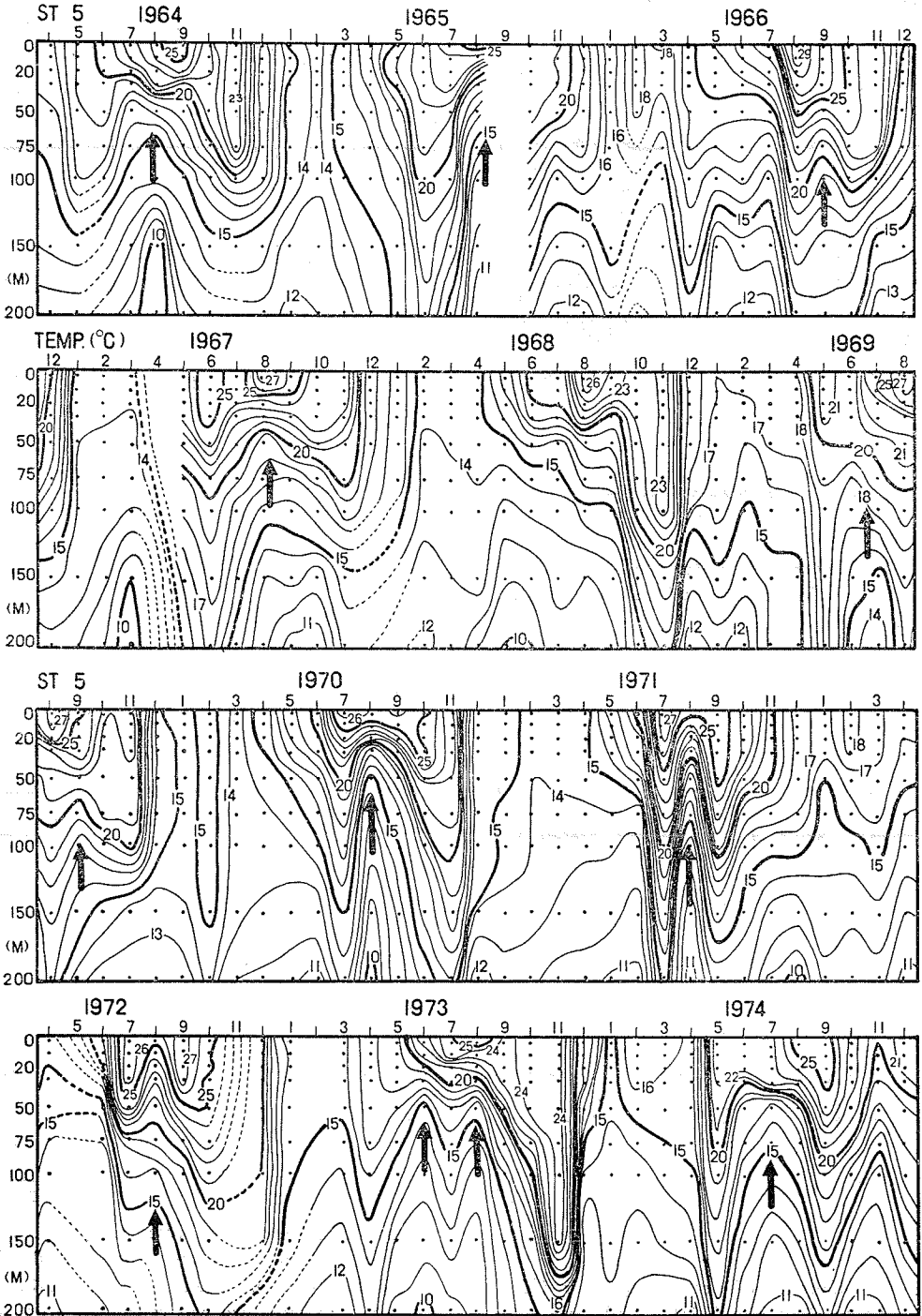


Fig. 30. Isoleth of water temperature ($^{\circ}\text{C}$) at St. 5, 1964-1974.

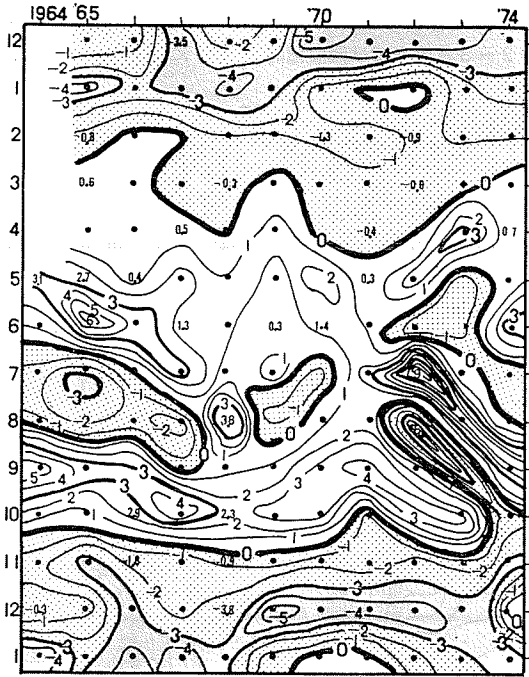


Fig. 31-1. Difference of water temperature (°C) from the previous month at 50m depth of St. 26, 1964-1974.

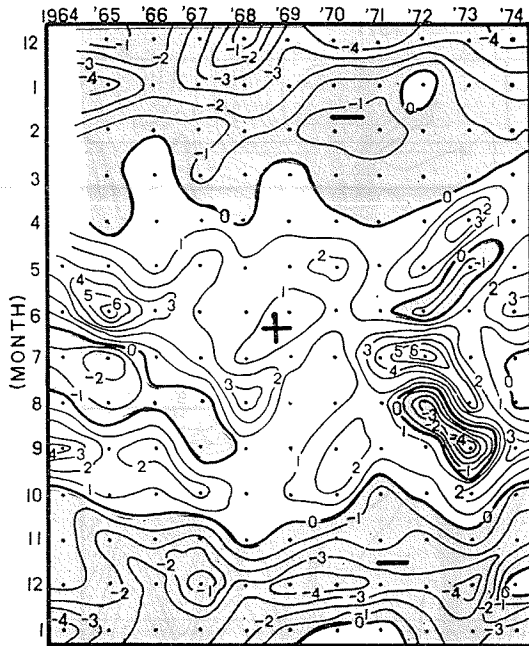


Fig. 31-2. Difference of water temperature (°C) from the previous month integrated from sea surface to 100m at St. 26, 1964-1974.

50~200m 深, 特に 50~100m 深の夏季をみると, 必ずしも昇温傾向を示すとは限らず, 全体としては降温を示す場合が多く, 年変動も大きいことが認められる。このように, 周年を通じてみると, 50~200 m 深の水温の四季変化は50m以浅と異なり, 年2回の高・低極を示す。

水温第2極小を深度別にみると, 表層部においては出現せず, 50~100m深には明瞭に現われ, 200m深では幾分不鮮明となる。これらは積算平均水温の前月差 (Fig. 31-2) とも対応している。

iii) 出現範囲

水温第2極小の地理的出現範囲について検討する。

先ず, 駿河湾 (Fig. 3-1) および相模湾 (Fig. 3-2) でみると, 種々の測点 (特に海深の異なる) が入るためか, Fig. 11-1, あるいは Fig. 29-1~Fig. 29-4 にみられたような明瞭な夏季の水温第2極小は認め難い。しかしながら, 駿河湾~遠州灘などにおいて測点毎にその出現の有無ならびに強度を検討したように, 相模湾においても同様に検討する必要がある。

Fig. 32 は, 夏季水温第2極小の出現の有無, ならびにその強度, さらに, 周年を通じた水温の変化率を明示するため, 岩江 50 m 深の M₃₀ を用いて算出した年別および月別水温前月差図である。

これをみると, St. 26の50m 深における水温前月差 (Fig. 31-1) と同様に, おおむね, 3~4月頃から9~10月頃までは昇温期, 10~11月頃から2~3月頃まで降温期を示す。しかし, 夏季を詳細にみると, 必ずしも昇温傾向を示すとは限らず, むしろ降温傾向も認められる。このように50m深を周年にわたってみると, 水温の

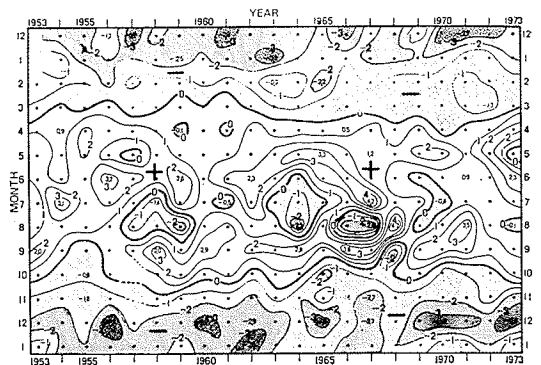


Fig. 32. Difference of water temperature (°C) from the previous month at 50m depth of Iwae Set-Net, in Sagami Bay, 1953-1974. Each water temperature was calculated from daily data.

四季変化は、年 2 回の高・低極を示すことがわかる。さらに、この強度が顕著な年変動を示すことなど、前述の駿河湾と同様である。

次に、夏季 7～8 月を中心に、水温第 2 極小の出現をみると、1953～1973 年の 21 年間に 12 回出現し、そのうち、前月差が 1℃ 以上は 6 回出現した。持続時間は駿河湾～遠州灘海域 (Fig. 34) と同様に、ほぼ 1～2 カ月であるが、1964 年の場合は一例だけ、6～8 月まで 3 カ月間、月毎にその値を増加しながら持続した。前述の 12 回の出現年代は、1957～1959 年、1963～1965 年 (1964 年中心)、1966～1967 年および 1969～1970 年にみられた。これを駿河湾 (Fig. 31-1) と対比すると、1964～1974 年において、その出現時期およびその強度は 1972 年を除いては良く対応している。すなわち、Fig. 31-1 で示した 1964～1974 年の非出現の 1968 年、1971 年および 1973 年は岩江においても出現せず、全く一致している。このように、月 1 回 (Fig. 31-1) と日々の記録 (Fig. 32) とがよく対応することは、これが顕著な海況変化で、かつ、かなり広範囲にわたる現象であることを容易に想像させる。

水温第 2 極小の出現海域については現在検討中であるが、常磐・鹿島灘の水温イソプレット (久保, 1972) を見ると 6 月を中心に 50m 深にみられるのみで、夏季 7～8 月にはほとんど出現しないようである。房総周辺の水温イソプレット (瀬戸口, 1973) では少なくとも房総沿岸水帯と黒潮主流域との混合水帯には出現している。さらに、駿河湾より西側の熊野灘海域においても黒潮内側域に出現する現象として確認されている (坂本・藤井, 1966)。

iv) 黒潮変動との関係

水温第 2 極小の出現は広範囲にわたり、さらに、顕著な海況変化のため、この出現の一要因として、黒潮との関係が推定される。この関係を調べるため、31°N から本州、および 136°～139°E で囲まれた海域の面積 (S=10.8×10⁴km²:100%) と、200m 深 15℃ 線 (UDA, 1964) から本州側および 136°～139°E で囲まれた面積、いわゆる黒潮内側域との面積比 (%) で、黒潮のパターンを表示した (Fig. 33)。さらに、夏季 6～9 月の黒潮のパターンを半月毎に二谷 (1969) の方法によって分類し (Type)、同期間の黒潮内側域の面積比 (%) および Fig. 11-1 および Fig. 29 の 5 測点の各深さの水温前月差のうち、50m 深の水温第 2 極小の存在に相当する水温前月差を、それぞれ Fig. 34 に示した。

当海域は特に黒潮流路の変動が顕著であるが、(SHOJI: 1972), Fig. 33 に例示したように、1968 年夏季 (29%)

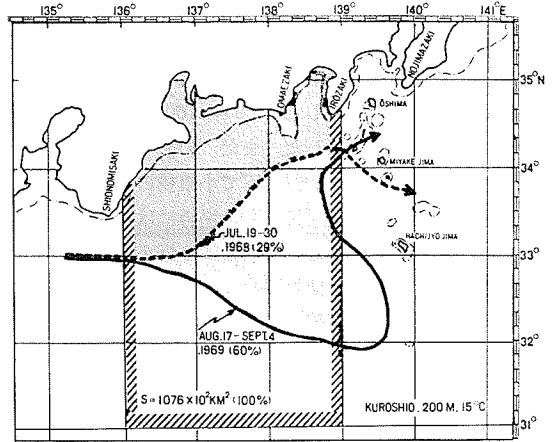


Fig. 33. Example of the path of Kuroshio based on the charts in the Oceanographic Report published by the Hydrographic Department, Maritime Safety Agency.

	1964												1965												1966											
	S T				TYPE				%				S T				TYPE				%				S T				TYPE				%			
	12	5	18	26	29	12	5	18	26	29	12	5	18	26	29	12	5	18	26	29	12	5	18	26	29	12	5	18	26	29	12	5	18	26	29	
JUN	F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				
JUL	F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				
AUG	F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				
SEP	F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				

	1967												1968												1969											
	S T				TYPE				%				S T				TYPE				%				S T				TYPE				%			
	12	5	18	26	29	12	5	18	26	29	12	5	18	26	29	12	5	18	26	29	12	5	18	26	29	12	5	18	26	29	12	5	18	26	29	
JUN	F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				
JUL	F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				
AUG	F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				
SEP	F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				

	1970												1971												1972											
	S T				TYPE				%				S T				TYPE				%				S T				TYPE				%			
	12	5	18	26	29	12	5	18	26	29	12	5	18	26	29	12	5	18	26	29	12	5	18	26	29	12	5	18	26	29	12	5	18	26	29	
JUN	F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				
JUL	F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				
AUG	F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				
SEP	F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				

	1973												1974												1975											
	S T				TYPE				%				S T				TYPE				%				S T				TYPE				%			
	12	5	18	26	29	12	5	18	26	29	12	5	18	26	29	12	5	18	26	29	12	5	18	26	29	12	5	18	26	29	12	5	18	26	29	
JUN	F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				
JUL	F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				
AUG	F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				
SEP	F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				F	H				

Fig. 34. Difference of water temperature (°C) at 50m depth from the previous month related to "second water temperature minimum", meandering type of the Kuroshio and areal proportion of the Kuroshio, 1964-1975.

は、ほぼ接岸状態を示した。この年は水温第2極小は Fig. 11-1 および Fig. 29-1~Fig. 29-4 に示した5測点のうち、St. 12 で幾分みられたほか、他の測点においてはほとんど出現をみなかった。これとは対照的に、かなり顕著な冷水塊が存在した1969年(60%)には、St. 5を除いては全点に出現した。また、Fig. 34 によれば、黒潮内側域がおおむね40%以下で小規模の冷水域を伴ったB型あるいは接岸型(N型)の場合には駿河湾内においては7~8月を中心とする水温第2極小の出現は明瞭に認められず、これとは対照的に、黒潮が顕著に蛇行した場合、すなわち、顕著な冷水塊が存在する場合(1965, 1966, 1969年)にはこれが明瞭に出現するようである。また、駿河湾(St. 29, St. 26, St. 18)において、水温第2極小が出現した場合、1969年の St. 5 および1972年の St. 12 を除いて豆南・遠州灘海域においても、出現がみられた。黒潮蛇行と夏季下層低温現象(水温第2極小に対応)に関して、坂本・藤井(1966)は熊野灘沿岸において、黒潮の接岸期には夏季下層の降温が顕著であると述べている。これは著者の駿河湾、遠州灘~豆南海域での指摘と異なり、今後の研究の課題である。

v) まとめ

水温、塩分の時空の変動を解析した結果、夏季の約50m以深の水温変動の極大の一要因として、水温第2極小に注目して、この出現の有無、および、その強度について考察した。そして、水温第2極小が、年間を通じて夏季6~9月(7~8月中心)の約50m以深の水温標準偏差を大きくする一つの要因であることを明らかにした。次いで、この出現と黒潮との関係について調べ、黒潮の接岸期には余り明瞭にはみられず、むしろ離岸期に認められる傾向があることを示唆した。しかし、出現機構の詳細についてはまだ不明である。今後は、黒潮のより詳細な時空の変動と黒潮内側域の特に下層における水温の時空的に詳細な資料をもとに検討する必要がある。

要 約

駿河湾ならびに隣接海域における海況の時空の変動を、量的に、さらにその変動要因を究明するために主として1964~1974年の毎月および50m深の日々(1953~1973年)の資料をもとに解析し、以下の結果を得た。

1. 水温の年変動は夏季50m深を中心に第1のピーク、秋季100m深を中心に、第2のピークを示した。さらに、これらと季節的躍層の消長との関係を示した。また、冬季における年変動は、表層~150m深まで一様に極小を示す。一方、塩分の年変動は夏季に表層で最大を

示し、全体として、水温と同様に塩分の季節的躍層の消長と対応する。

2. 水平方向における水温の年変動は沖合部で多少大きい傾向を示す。しかし、塩分の年変動は、河川の地理的位置ならびに駿河湾の循環流などから推定されるように、駿河湾西岸域~遠州灘沿岸部で大きく、特に、表面の春季~秋季(夏季中心)に卓越する。

3. 海況年周期の基本型を“海洋暦”としてみると、“冬”の海”(対流期、分散が最小、安定)は2月、“春”の海”(成層前期、4月の昇温期、変動大)は5月、“夏”の海”(成層盛期、表面水温の分散が極小、安定)は8月、“秋”の海”(成層後期、10月および12月顕著な降温期)は11月をそれぞれ中心にみられるのが、当海域の海況年周期の基本型と見てよい。

4. 水温、塩分の時系列分布から、夏季を中心として約50m以深に、水温第2極小(年間を通じて2低極 double minimum)および塩分第2極大が存在することを明らかにした。50~200m深の水温および塩分の四季変化は50m以浅と異なり、年2回の高・低極を示す。これは密度の時系列でも明瞭に識別できた。

5. 夏季の50m以深の水温変動の極大値の出現の要因として、夏季の水温第2極小を具体的に明示した。さらに、この出現の有無のほか、その強度について考察し、これが、夏季の水温標準偏差を大きくする一つの要因であることを明らかにした。

6. 水温第2極小は恒常的に出現する場合が多い。この出現機構の詳細については不明であるが、塩分第2極大と併せて考えると、これは主に下層冷水の移流によるものであろう。駿河湾の場合、この出現時期および出現層が湾の代表的漁業生物であるサクラエビの産卵期および主産卵層に対応し、この出現が卵・稚仔の発育、成長に負の影響を多大に及ぼす具体的現象であることを見出した。このためこの出現機構の解明は極めて重要である。

7. 水温第2極小の出現範囲については駿河湾~遠州灘および相模湾で確認し、常盤、房総および熊野灘では既往の水温イソプレットを検討した。

8. 水温第2極小は、黒潮の接岸期には余り明瞭にみられず、むしろ離岸期に認められる傾向が示唆された。この出現機構の詳細については不明のため、今後は、広範囲の資料、各測点における黒潮との対応関係を含む、黒潮および内側域のより詳細な時空の変動との関係を検討する必要がある。

9. 表層部における顕著な昇温期は5月(春季昇温期)および7月(夏季昇温期)の2回出現し、顕著な降温期

は10月(秋季降温期)および12月(冬季降温期)の2回出現する。下層においては1~数カ月の時間的「おくれ」がみられる。塩分の変化率も水温の変化率にほぼ対応する。すなわち、顕著な異温期に対して、塩分は春季4月頃および夏季7月にそれぞれ降鹹を、これに対して、9月に最大の増加を示す。

10. 鉛直方向の水温傾度 $0.3^{\circ}\text{C}/10\text{m}$ 以上を水温躍層として取り扱った。この消長は海況の動的年周期として考えられる。水温傾度の $0.3^{\circ}\text{C}/10\text{m}$ 以下は対流期、この増大期の $0.3\sim 1.0^{\circ}\text{C}/10\text{m}$ は成層前期、 $1.0^{\circ}\text{C}/10\text{m}$ 以上は成層盛期、減少期の $0.3\sim 1.0^{\circ}\text{C}/10\text{m}$ は成層後期として定義づけた。また、塩分躍層の消長についても、水温と同様に論じた。一方、鉛直安定度から、冬季12~3月頃までは表層部から200m深まで中立層を示し、その後、3月頃から躍層の形成期に入り、それに伴って鉛直安定度は増大期(発達期)を経て、夏季7~8月最大となる。9月以降は衰退期に入り、表層部において激減する。空間的変動は水温および塩分と同様に上層と下層においては、時間的「おくれ」が認められる。

11. 海況の時空的変動を標準偏差を用いて量的に明示した。

12. 駿河湾の海況の時間的変動を論ずる場合、相模湾の日々の記録から論じて、全体としては駿河湾のそれを類推することができる。

13. 月1回の観測値がその月の代表値となり得るかどう(月の代表信頼限界)の検討を50m深の日々の観測値から月別に考察した。月間および年変動ともに夏季6~9月(8月中心)に最大を、これに続いて、5月を中心とする春季および12月にいずれも大なる傾向を示した。しかし、11月は月間変動は比較的大きいが、年変動はこれに対して、2月に次いで小さい。一方、月間変動の最小は2~3月を中心とする冬季に、また、年変動も一般に冬季に小さく、特に2月が最小である。

14. 50m深水温の時間的変動について、その年変動および月間変動の両面から考察して、両者の間には夏季を極大に冬季を極小とするほぼ正の相関があることを結論づけた。

15. 日々の連続記録から算出した月別年変動と月1回の記録から算出した月別年変動との間には正の相関があり、標準偏差はおおむね前者が後者の約 $1/2$ であった。

16. 駿河湾において種々の方法で、各深度について求めた水温偏差は、 $\pm 1\sigma$ 範囲内に66%、 $\pm 2\sigma$ 範囲内に入り、ほぼ正規型を示す。この結果、“平均値 \pm 標準偏差”は“平年並”として取り扱われよう。また、標準偏差の

時空的分布は、特異現象などを含む海況を判定する際の基本的な“物差し”として極めて有意義なものと思われる。

17. 偏差が $\pm 1\sigma$ 範囲内においての高・低の比較は余り意味がなく、少なくとも $\pm 1\sigma$ 以上の現象、特に、そのうち $\pm 2\sigma$ 以上の特異現象については、その持続性、出現要因ならびに変動要因などの要因分析が重要である。

18. 海況の時空的変動を具体的に表現する方法として、平均値からの差で示すのではなく、平年偏差($\Delta\theta$)の標準偏差(θ_0)に対する割合($\Delta\theta/\theta_0$)で表現することの重要性を下層にまで拡大した。

19. 各層水温偏差と積算平均水温偏差との関係を深度別および月別にみると、50m深の9月、100m深の10月および200m深の11~12月を除いて、正の相関がみられた。これらの深度における不一致は等温層(混合層)の厚みの下層における時間的「おくれ」に起因するものと考えられる。この結果、この時期における水温の客観的表示としては、積算平均水温が深度水温よりもよいように思われる。

文 献

- CRAIG, R.E. (1974) El Niño and Peru's fishing waters. *Fishing News International*, **13**, 35-36.
- 藤井 浄(1972) 環境研究のための水産海洋研究. 漁業資源研究会議報, **13**, 18~84.
- 漁業資源研究会議(1969) 北海道沿岸、沖合における環境研究. 漁業資源研究会議報, **10**, 123-130.
- 岩田静夫(1972) 相模湾の海況(II)季節変化について. 水産海洋研究会報, **20**, 51-58.
- 科学技術庁(1964) 日本近海の異常冷水研究に関する特別研究報告書(第1~2分冊).
- 久保治良(1972) 茨城県沿岸域における海況の季節変化について(特に大洗正東海域)―I. 茨城水試試報, 昭和46年度, 17-25.
- 中村保昭(1972 a) 駿河湾の海況学的研究―I. 秋季における海洋構造の一特性. 静岡水試研報, **5**, 1-20.
- 中村保昭(1972 b) 駿河湾の海況学的研究―II. 湾奥部表層における流動. 沿岸海洋研究ノート, **9**, 44-53.
- 中村保昭(1973) 駿河湾の海洋構造 1970年早春季の特性. 水産海洋研究会報, **22**, 96-104.
- 中村保昭(1975) 駿河湾の海洋構造―特にその季節特性値について. 昭和50年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集, 5-6.
- 中村保昭(1976) 巨視的にみた駿河湾の環流系, 1976年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集, 89-90.
- 二谷頼男(1969) 最近数年の黒潮変動について. 水産海洋研究会報, **14**, 13-18.
- 農林水産技術会議事務局(1969) 冷水塊の水産資源の分

- 布, 消長に及ぼす影響に関する研究. 研究成果, **38**, 217 pp.
- 小川嘉彦(1969) 平年並水温の定義について, 水産海洋研究会報. **14**, 196-199.
- OMORI, M. *et al.* (1973) History and present status of fishery *Sergestes lucens* (Penaeidea, Decapoda, Crustacea) in Suruga Bay, Japan. J. Cons. int. Explor. Mer, **35**, 61-77.
- 坂本市太郎, 藤井一郎(1966) 熊野灘における沖合海況と沿岸海況との関係. 原子力発電所が熊野灘沿岸海域の環境及び生物の生産に及ぼす影響予察報告書. 23-31.
- 佐藤 栄(1961) 水産資源研究の理論と実践における諸問題. 水産科学, **29**, 1-28.
- 瀬戸口明広(1973) 房総海域における水温, 塩素量の平均的分布とその季節的变化, 関東・東海ブロック水産海洋連絡会要旨 (昭和47~48年), 10-21.
- SHOJI, D. (1972) The variation of the Kuroshio south of Japan, The Kuroshio. Univ. of Tokyo Press, 217-234.
- SVERDRUP H.U. *et al.* (1942) The oceans. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N. J., U. S. A, 401-418.
- 辻田時美(1966) 異常低温海況が漁業生物に及ぼす影響について. 東北区水研研報, **26**. 1-8.
- UDA, M. (1964) On the nature of the Kuroshio, its origin and meander. Studies Oceanography, 89-107.
- WYRTKI, K. (1964) The thermal structure of the eastern Pacific Ocean. Herausgegeben von Deutschen, Hydrographischen Institut, Reiche, A (8), Nr. 6, 1-84.