

東海・関東沿岸海域における暖候期の低温化現象*

宇野木 早 苗**・海 野 裕***

On the Fall of Water Temperature in Warm Seasons Appearing in the Coastal Sea of Tokai and Kanto Districts, the Southeast of Japan

Sanae UNOKI** and Yutaka UNNO***

Abstract

Studies were made on the conspicuous fall of water temperature in warm seasons, the so-called secondary minimum of water temperature (SMWT), which appears frequently in the coastal sea of Tokai and Kanto Districts, the southeast of Japan, and affects marine lives and fisheries considerably. There is not so much difference among the frequencies of occurrence in the four sub-regions as Kumano-nada, Enshu-nada, Zunan sea area and Boso sea area. As for the horizontal extent of appearance three cases are found, i. e., the case when it covers almost the whole area, the case when it is limited within a partial region and the case when the points of appearance are scarce and scattered. The fall of water temperature is usually predominant in the layer of 50-100m depth and faint at the sea surface. The duration of SMWT is various, and there are not a few cases when it can be recognized to exist by observations taken only once a month or so. Especially in Enshu-nada we find many cases of long duration with more than a month in comparison with the other regions.

A close relation was not found between SMWT and the distance to the Kuroshio axis from the coast of each sea area, neither between SMWT and the type of the Kuroshio path. However the fall of water temperature of wide extent occurs most frequently when the Kuroshio approaches the coast and scarcely when it is stationary or recedes from the coast. Moreover in Kumano-nada and Enshu-nada, SMWT appears more frequently in the case of westerly winds than easterly ones. This suggests that some of SMWT are associated with the coastal upwelling due to the wind. Then the extensive temperature fall is likely to occur when the Kuroshio comes nearer to the coast and a westerly wind prevails.

1. まえがき

わが国の南岸に面する沿岸海域では、一般に表層では最低水温は3月頃に、最高水温は表面は8月頃に、その下層では深さとともに遅れて現われる。しかるに東海・関東沿岸海域では、暖候期の20~200m層付近にしばしば著しく低温な水が見出される。その例は水温イソプレットを描いた Fig. 1 に白い矢印で示してある。このことはさらに長期間の平均でも明白に見てとれる。すなわ

ち Fig. 2 に、4測点の月平均水温の年変化曲線が描かれているが、暖候期に上記と同じ層に明瞭な水温低下が認められる。長期間の平均であるにもかかわらず、暖候期の水温低下がこのように明瞭であるのは、この現象が稀でなく、かなりの頻度で起っていることを意味する。

この水温低下は暖候期の特徴的な海況として注目を惹くばかりでなく、海洋生物や水産にとっても影響が大きい。例えば駿河湾の場合にはサクラエビの産卵、稚仔の発育や成長に著しいマイナスの効果を生ずると言われている(中村, 1977)。それ故この現象は主に水産研究者によって注目され、いろいろ検討がなされている。その中でこの現象について最も詳しい解析を行った静岡水試の中村(1977)は、寒候期の水温(第1)極小に対比し

* 1983年7月14日受理

** 理化学研究所 Institute of Physical and Chemical Research, Wako 351, Japan

*** 成山堂書店 Seizando-shoten, Shinjuku 160, Japan

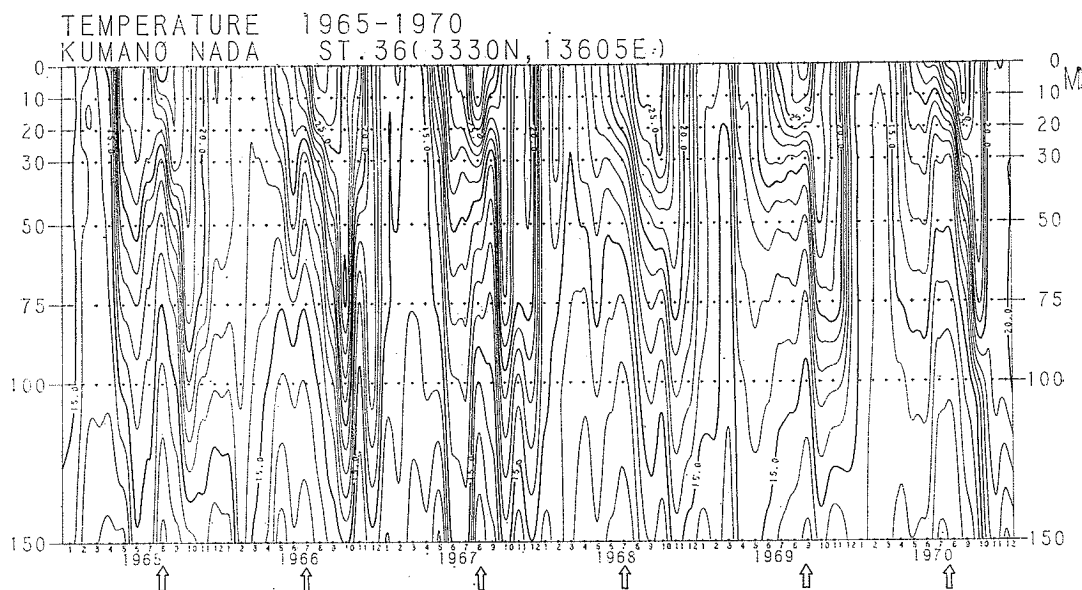


Fig. 1. Isoleth of water temperature ($^{\circ}\text{C}$) at a station in Kumano-nada during 1965-1970. The occurrence of the secondary minimum of water temperature (SMWT) is designated by the white arrows.

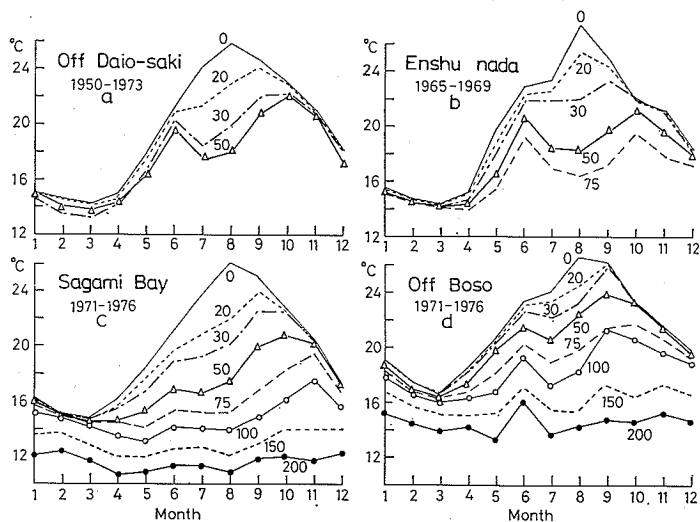


Fig. 2. Annual variation of water temperature averaged for many years at four stations a, b, c and d whose localities are shown in Fig. 3. Numerals attached to the curves of water temperature give the depth in meter.

て、暖候期の水温低下を“水温第2極小”と名付けた。それ以後この名称が一般に使用されている。

水温第2極小はこれまで熊野灘から鹿島灘までの海域で、主に黒潮の内側にその存在が報告されている。すなわち紀伊半島南部から熊野灘については坂本ほか(1966)、

杉村(1979)、伊藤(1979)などが、伊勢湾・三河湾の周辺海域については宇野木(1978)や船越ほか(1979)が、駿河湾・遠州灘とその隣接海域については中村(1977)や稲葉(1981)が、相模湾については岩田(1979)が、房総沿岸については宮沢(1979)が、そして鹿島灘につ

いては久保 (1979) らが報告を行っている。

この現象はかなり広範囲にわたるものであろうとの指摘は中村 (1977) によってなされているが、その空間スケールは明瞭でない。それは多くの場合は各県水試の関連海域ごとに部分的に調べられているためであって、現象の空間的広がりや地域の特徴を理解する上に、もっと広く海域全体を通して見ることの必要性が感じられる。

またこの水温低下の出現機構に関連して、黒潮との関係が調べられているが、異なる意見が見出される。坂本ら (1966) は熊野灘の場合この現象は黒潮の接岸期に生ずると述べているが、駿河湾とその隣接海域では逆に離岸期に見られることを中村 (1977) は報告している。離岸期で現われることは湖岬周辺海域でも報告されている (杉村, 1979)。しかるに第2極小の出現は、房総沿岸では黒潮の離接岸に関係しないとの報告もあり (宮沢, 1979)、また黒潮の流動パターンがN型A型と異なっても見られるとの報告も存在する (伊藤, 1979)。

本報告ではこのような状況を考慮して、東海・関東全海域を対象にして先ず水温第2極小の出現状況を取りまとめる。次に黒潮の流動パターン、距岸距離、移動方向などに注目して、この現象と黒潮との関係を調べる。さらに出現時期から見て風による沿岸湧昇の可能性も考えられ、卓越風との関係を検討する。これらの結果、広範囲に出現する水温低下は黒潮が岸に向かって接近しつつあるときに多く現われ、また西寄りの卓越風とも一部関係があることが示唆される。

沿岸海域における海洋構造の形成と変動の機構を理解する上に、これを取り巻く境界、すなわち外洋、陸岸、大気、海底からの影響や、それらとの相互作用を明らかにすることは極めて重要である。この低温化現象は沿岸海域に対する黒潮や気象の影響を考える上に、興味ある問題を提供しているように思われる。

2. 解析の方法

解析の対象として、熊野灘から房総近海に至る東海・関東南岸域の1965年から1976年まで12年間の暖候期の水温変動に注目する。水温資料は各府県水試の毎月の観測結果が集録されている水産庁海洋観測資料から求めた。対象海域には数多くの測点が存在するが、ここではFig. 3に示す測点を択んだ。ただし図に示すように1965年から1970年までの前半と、1971年から1976年までの後半では、測点の配置が異なっているため、全期間を通しての比較には多少具合が悪いが、大よその傾向を見ることは可能と考えられる。海域の特徴を見る場合には、対象海

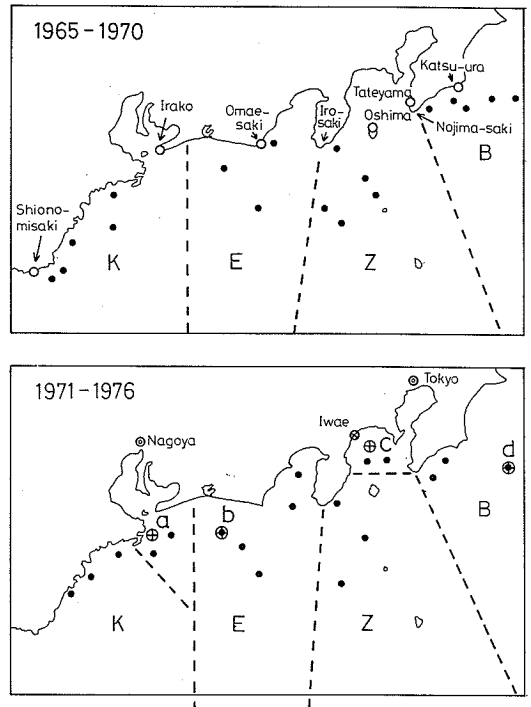


Fig. 3. Distribution of the stations at which the data to be used were obtained. The coastal sea under consideration is divided into four regions as K, E, Z and B which represent Kumano-nada, Enshu-nada, Zunan sea area and Boso sea area respectively. At the stations marked with a, b, c and d in the lower figure the annual variations of water temperature are shown in Fig. 2.

域を熊野灘、遠州灘、豆南海域、房総海域の4海域に分けた。

水温の変化を見るため Fig. 4 に例示するように、各測点各層における毎年の水温の年変化曲線を描いた。曲線はしばしば暖候期に水温の低下を示すが、その形態はさまざまであり、また深さによって低下の大きさも異なる。そこで水温第2極小の出現の有無およびその強さをなるべく客観的に定めるため次の方式を用いた。先ず水温低下が現われ易い 50m, 75m, 100m 層のそれぞれについて、極小の現われた月の前後の月の平均水温と、極小水温との差を求める (実際には前後の月の水温値を結ぶ直線を考え、極小値との偏差を考える)。そして少なくともその中の2つの層において、 1°C 以上の水温低下が見出される場合を、水温第2極小が出現したと判断する。またその強さとして3層の中で最も大きい水温低

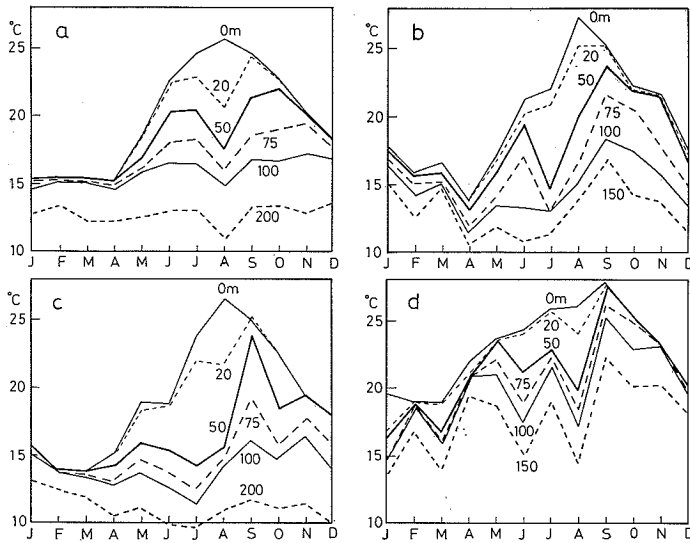


Fig. 4. Various types of the annual variation of water temperature. The cases of a and b show that SMWT appeared within a month, the case of c that it extended over two months and the case of d that it occurred twice in a warm season. The location and the year, a: $34^{\circ}35.8'N$, $138^{\circ}31.0'E$, 1976, b: $34^{\circ}51.2'N$, $140^{\circ}3.5'E$, 1971, c: $34^{\circ}15.0'N$, $137^{\circ}59.5'E$, 1971, d: $33^{\circ}57.5'N$, $139^{\circ}9.5'E$, 1972.

下量を用いる。なお水温低下量として、前月水温と極小水温の差をとることも行われているが、ここでは水温の年変化のトレンドを考慮して、上記の方式を用いた。

Fig. 4 の a と b は水温低下が1つの月に留まっている場合であるが、c 図のように水温低下が2カ月以上にわたる場合もある。このときにも、低下期間の前の月と後の月の水温を結ぶ線を考え、それからの偏差を各月の水温低下量と見なした。また Fig. 4 の d のように暖候期に2つの低下がある場合には——このときは水温第2極小という総称は適切でないが——それぞれ別々にとりあげる。

このようにして求めた水温第2極小の水平分布の例を Fig. 5 に示す。これは出現率が極めて高かった場合の例で、広範囲に水温低下が見られる。これらのデータを基礎にして、低温化現象の出現率、季節変化、地域的特徴を調べる。季節的には暖候期を考えているので、5月から9月までを考える。この季節以外に見られることもあるが、回数は非常に少ない (Fig. 6 の10月を参照)。

次に黒潮との関係を見る場合には、海上保安庁水路部発行の海洋速報を用いて、各月の黒潮の流動パターンを分類し、また各海域ごとに代表地点から黒潮流軸までの最短距離を求め、これらの要素と水温第2極小との関係を調べる。一方では気象庁発行の気象月報から、本海域

に面する6つの代表的沿岸測候所の月間最多風向を拾い、水温第2極小との関係を考察する。

3. 低温化現象の出現状況

1965年から1976年までの12年間において、Fig. 3 に示す4海域のいずれにおいても、毎年海域内のどこかの測点では必ず水温低下が暖候期に現われている。次にもう少し詳しく知るために、まず海域ごとに毎年水温低下が生じた測点数を数え、これの12年間の総和を求める。これと、対象海域内の12年間の延べ測点数との比を求めれば、低温化現象の出現率は熊野灘 91%、遠州灘 88%、豆南海域 91%、房総海域 93% となる。全海域では 91% である。この頻度は暖候期の極小が2つある場合にも、年1回と数えたものである。以上のことから、低温化現象は各海域ともかなり頻繁に見られるものであり、出現の確率は海域によって余り変わらないと言える。

ここで低温状態が1カ月で終わる場合 (Fig. 4 の a, b, d) と、2~3カ月にわたる場合 (Fig. 4 の c) の頻度を比較すると、Table 1 が得られる。水温低下が $1^{\circ}C$ 以上の場合には、いずれの海域でも1カ月以内で終わる場合の頻度が高い。ただし遠州灘では長期にわたる場合の比率が他に比べて大きい傾向にある。水温低下量が $3^{\circ}C$ 以上の顕著なものに限ると、遠州灘では1カ月以

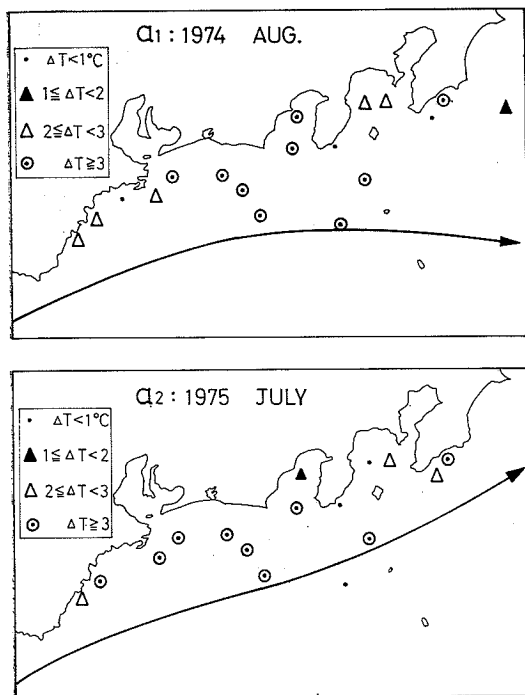


Fig. 5. Two examples when SMWT appeared at almost all of the stations in the whole sea area. ΔT means the magnitude of the fall of water temperature, and the thick curves with the arrow show the path of the Kuroshio.

Table 1. Frequency of the duration of the secondary minimum of water temperature (SMWT). ΔT means the magnitude of the fall of water temperature.

ΔT	Duration	Sea area			
		Kumano	Enshu	Zunan	Boso
$\geq 3^\circ\text{C}$	<a month	73%	32%	78%	71%
	>a month	27	68	22	29
$\geq 1^\circ\text{C}$	<a month	77	60	86	80
	>a month	23	40	14	20

内が 30% 余り, それ以上続くものが約 70% となり, 長期間の比率が逆に大きくなっている。他の 3 海域では顕著な場合も, すべてを含む場合も大きな差は無い。遠州灘で長期間の水溫低下が発生し易いことは, この海域の 1 つの特徴である。

しかるに平均水溫の年変化を描いた Fig. 2 では, 遠州灘のみでなく他の海域でも 2 カ月以上継続する水溫低

下が目につく。これは長年月の平均の結果である。単独の月に起っていても, いろいろな月に現われているものを平均すると, 見掛け上 Fig. 2 のように期間の長い水溫低下が現われることになる。

次に月ごとの低温化現象の出現率を比較する。Fig. 6 では 5 月から 10 月までが比較してあるが, この出現率は各月に海域内で 1°C 以上の水溫低下が生じた測点数を, その域内の全測点数で割ったものである。水溫低下が 2 カ月以上にわたるときは, そのいずれの月も数え上げられている。なお水溫低下の大きさが, 1°C 刻みの階級に分けて示してある。

2 節に述べたように, ここでは水溫低下が 1°C 以上の場合を水溫第 2 極小と定義しているが, この出現率は全海域 (W) で見ると, 8 月は約 50% と最も高く, 10 月は極端に低い。そして水溫第 2 極小の中で各月とも 3°C 以上の大きい水溫低下が, 出現数の半分程度かそれ以上の割合を占めていることが多い。しかし各海域を比較すると, 季節的推移はかなり異なる。熊野灘と豆南海域は平均的变化を示しているが, 遠州灘では 7 月,

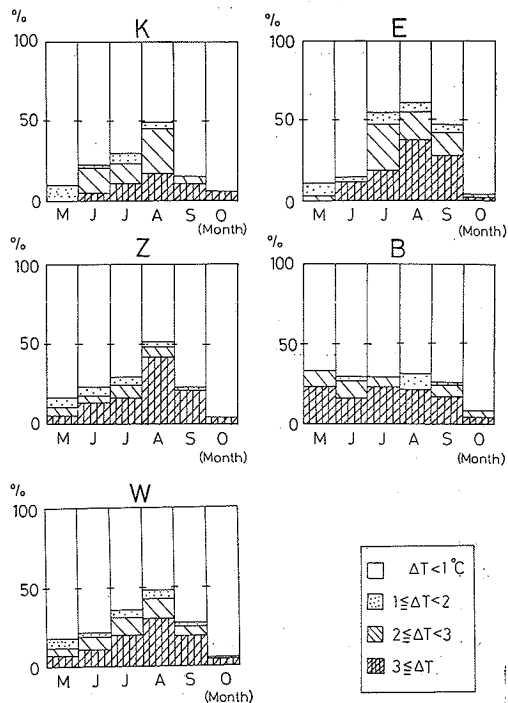


Fig. 6. Frequency distribution of SMWT from May to October. Sea areas K, E, Z and B are given in Fig. 3 and W means the whole sea area.

8月、9月とピークが続いている。一方房総近海では特に目立つ山が無く、5月から9月まで同程度の出現率が並んでいる。遠州灘でピークが続くのは、前に述べたように長期間継続する水温低下が多いことに関係している。また熊野灘では 3°C 以上の強さの水温低下の出現率が、他に比べて小さい。

これまでは12年間を一まとめにして考えてきたが、中村(1977)も指摘しているように、出現の状況は年により大きく異なる。毎月の水温低下の出現率をもとにして、全海域を対象に各年における出現率の季節変化を比較したものを Fig. 7 に示す。変化の形態は年によってさまざまであり、また年間の出現回数も大きく変動して

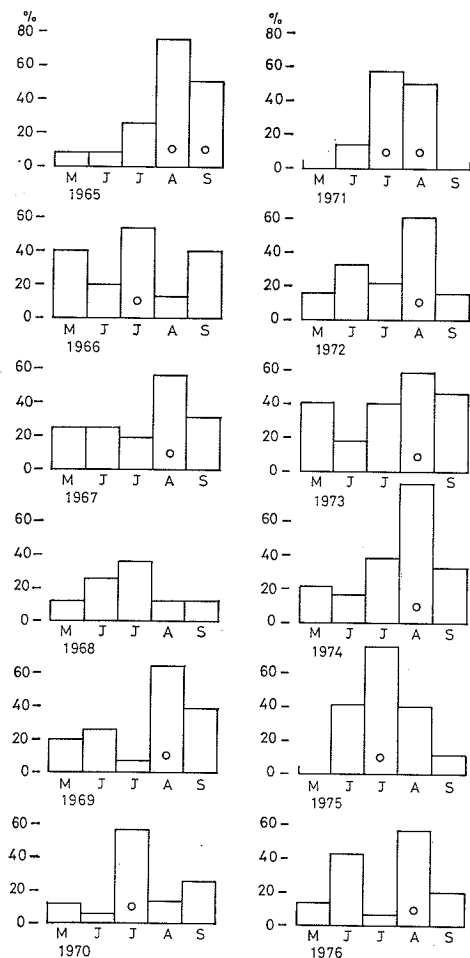


Fig. 7. Frequency distribution of SMWT for the whole sea area in warm seasons from 1965 to 1976. Small white circles show the month when the frequency exceeds 50% (see Fig. 11 and Fig. 13).

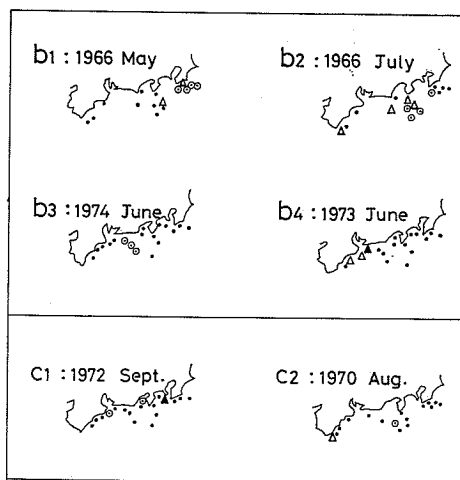


Fig. 8. Upper figure shows that SMWT is concentrated in a local sea area, and lower figure that it is isolated or scattered. The symbols are shown in Fig. 5.

いる。最も出現頻度が低いのは1968年、最も高いのは1973年であり、前者の約2倍になっている。月単位で見ると、海域全体の半数以上の測点で水温低下が生じたのは、Fig. 7 で白丸を付した13回であり、そのうち75%以上の出現率をもつものは、1965年8月、1974年8月、1975年7月の3回である。最後の2例における出現の様子は Fig. 5 に描かれている。

Fig. 5 は水温低下の測点の分布例であるが、低温化現象の空間的広がりには、大まかに次の3つに分けられる。

- 熊野灘から房総海域に至る全海域で広範囲に出現する場合で、Fig. 5 に示すものはその好例である。
- 特定の海域に固まって現われる場合で、Fig. 8 の b₁ ~ b₄ がこれに該当する。b₁ は房総海域、b₂ は豆南海域、b₃ は遠州灘、b₄ は熊野灘に出現した場合である。
- 水温低下が現われた測点が少なく、孤立している場合である。Fig. 8 の c₁、c₂ がその例である。

このような空間スケールの差異に応じて、恐らく現象の性格も異なるものと思われる。

以上のように水温データに基づいて、低温化現象の出現状況を大まかに取りまとめて来たが、次にこの現象の発生に関係すると思われる要因をさがすことにする。

4. 低温化現象と黒潮

低温化現象と黒潮の関係については、まえがきに述べたようにこれまでいくつかの報告がなされているが、明確でなくお互いに矛盾も存在する。この点をもう少し詳

Table 2. Frequency of the distance from the prominent cape facing each sea area to the axis of the Kuroshio. Two cases are compared: one is the case when SMWT appeared and the other implies all the cases.

Distance to the Kuroshio	Cases of SMWT	Whole cases
Kumano-nada		
0-25 sea mile	67%	68%
25-50	23	16
50-	10	16
Enshu-nada		
0-50	17	12
50-100	62	61
100-	21	27
Zunan sea area		
0-50	32	44
50-100	45	32
100-	23	24
Boso sea area		
0-50	59	59
50-100	33	33
100-	8	8

しく調べて見る。

まず各海域の代表地点から黒潮流軸までの距離を求め、低温化現象との関係を調べる。距岸距離としては熊野灘では潮岬、遠州灘では御前崎、豆南海域では石廊崎、房総海域では野島崎を選び、それぞれの地点から黒潮流軸までの最短距離を測った。その結果を Table 2 に示す。

表の中には12年間の暖候期に水温低下が生じたときの黒潮の距岸距離の頻度と共に、水温低下に関係なく同期間における黒潮の距岸距離の頻度とが示されている。2つの頻度には多少の差は見られるが、4海域とも両者はほぼ同程度と見なされる。このことは黒潮の位置と水温低下との間には密接な関係が乏しいことを示している。これは房総海域で水温第2極小は黒潮の離接岸に関係しないと宮沢 (1979) が述べていることと一致する。

次に黒潮全体を眺めて、黒潮の流動パターンと水温低下との関係を調べる。わが国の南方海域における黒潮の流動パターンは、吉田 (1961) および二谷 (1969) らによって、模式的に Fig. 9 に示す5つの型、すなわち N, A, B, C, D の型に分類されているので、これに従うことにする。ただし個々の分類に際しては、多少の任意

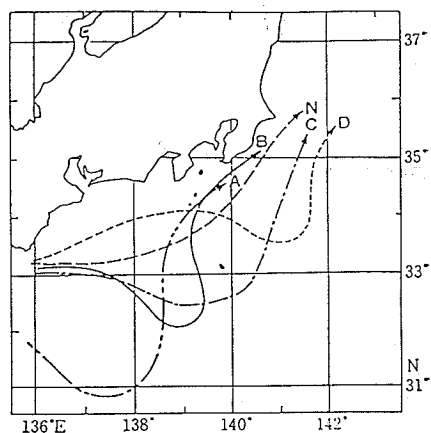


Fig. 9. Five typical paths of the Kuroshio after YOSHIDA (1961) and NITANI (1969).

Table 3. Frequency of the type of the Kuroshio path shown in Fig. 9. The second column shows the frequency in the whole cases for twelve years, and the others are the cases when SMWT appeared in each sea area.

Type of the Kuroshio path	Whole cases	Sea area			
		Kumano	Enshu	Zunan	Boso
N	46%	55%	51%	44%	63%
A	10	3	8	5	5
B	10	6	3	5	12
C	26	30	29	36	20
D	8	6	9	10	0
Total	100	100	100	100	100

性があるのは避け難い。分類した結果を Table 3 に示す。

この表にも水温低下時における各型の出現頻度と共に、全期間における黒潮の型の頻度とが並べてある。表によれば、黒潮の各型の出現頻度と、水温低下時の各型の出現頻度とは、どの海域でも似かよっていて、特定の黒潮の型のときに特に低温化現象が現われ易いということは認め難い。

これをもう少し詳しく見るために、黒潮の流路として出現頻度の高い N 型と C 型とをとりあげる。Fig. 10 には両者の場合における水温低下の出現率が、水温低下の強さの区分を入れて比較してある。N 型は直進型、C 型は蛇行型と黒潮の流路が異なっているにもかかわらず、Fig. 10 によれば各海域でもまた全海域でも、水温低下の出現率は両者において顕著な差は無い。ただ房総

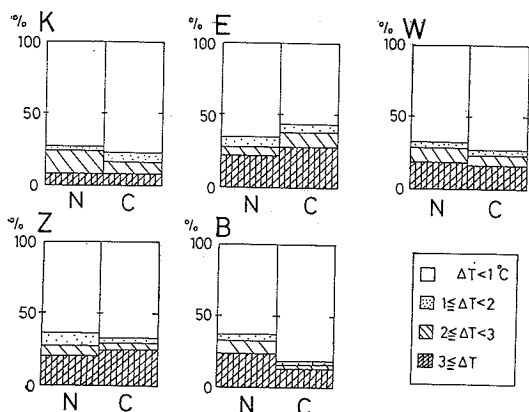


Fig. 10. Comparison of the frequencies of SMWT in each sea area when the Kuroshio takes two different courses N and C shown in Fig. 9.

海域において、C型よりもN型の方が水温低下の出現率がやや高い傾向が見られる程度である。以上のことから、水温の低下にその時の黒潮の位置やパターンが直接深く関係しているようには思えない。そこで場の変動に注目する。

全海域の半数以上の測点で水温低下が現われた13例について、当月の黒潮流路と前月の黒潮流路を比較して Fig. 11 に示す。当月は実線、前月は破線で描かれ、黒潮が本海域に接近してきた場合には岸に向けて黒い矢印が、離れる場合には沖に向けて白い矢印が加えてある。移動が小さい場合には星印の記号となっている。13例中接近の場合が10例、離れる場合が1例、定常の場合が2例である。この離岸接岸の判定には多少のあいまいさは残るものの、Fig. 11 の結果は、広範囲に水温低下が現われる場合には、黒潮が中央海域の海岸に向かって接近する 경우가圧倒的に多いことを教えている。

今は水温低下の出現率が高い場合のみを考えたが、全ての場合を含めた結果を Fig. 12 に示す。この図は黒潮の流軸が前月に比べて本海域に接岸した場合(A)、定常な場合(B)、離岸した場合(C)のそれぞれについて、水温低下の出現率(当月の全測点の中で水温低下が生じた測点の占める割合)の頻度を描いたものである。この中にはいろいろな流動パターンが混じっているが、ともあれ黒潮流軸が前月に比べ離岸しつつある時は低い出現率が多く、移動が小さい場合も同様である。そして水温低下の出現率が高いのは、既に述べたように、黒潮が接近しつつある時に生じている。ただし接近しつつある時にも、水温低下の出現率が低い場合がかなりあることに留

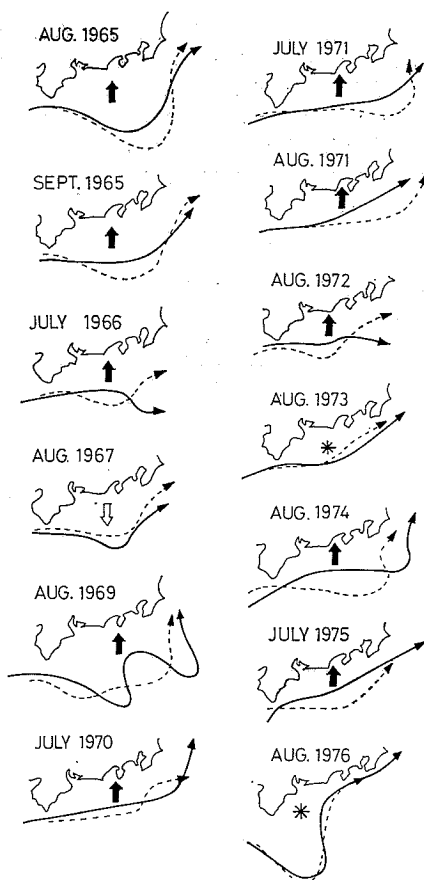


Fig. 11. Solid curves show the paths of the Kuroshio in the months when SMWT appeared at more than 50% of all the stations, and broken ones the paths in the previous month. Black arrows indicate that the Kuroshio came nearer to the coast compared with the previous month, white arrows that it went away from the coast and asterisks that it was stationary.

意すべきである。

5. 低温化現象と風

次に風との関係を調べる。水温低下の出現率が50%を越える13例について、この海域に面する6つの沿岸測候所、すなわち潮岬、伊良湖、御前崎、大島、館山(1968年6月から)、勝浦における月間最多風向を描いたものを Fig. 13 に示す。水温低下が広範囲に生じた時は、本海域において南西ないし西寄りの風が卓越していることに気が付く。この岸を左手に見て吹く風は、北半球では沿岸湧昇を起し易い風向である(吉田, 1974)。

そこで風と水温低下との関係を調べるため、Fig. 14

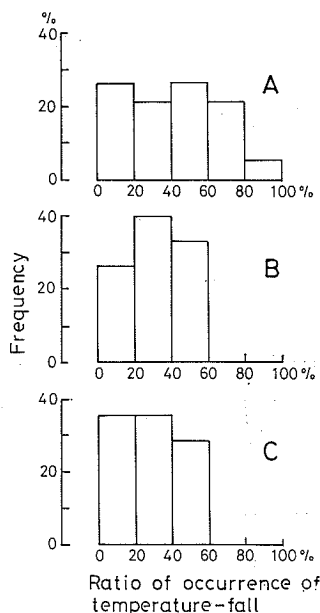


Fig. 12. Frequency distribution of the ratio of occurrence of SMWT in a month for three cases: A is the case when the Kuroshio approaches the coast, B the case when it is stationary and C the case when it recedes from the coast.

を作成した。この図はそれぞれの海域において水温低下の出現の程度が、風向によってどのように違うかを、12年間の暖候期60カ月にわたって統計し、ウインドローズ(風配図)の要領で描いたものである。海域の風としては熊野灘は潮岬、遠州灘は御前崎、豆南海域は大島、そして房総海域は勝浦における月間最多風向を用いている。水温低下の方は、各月において対象海域で全く出現していない、1つ以上の測点で出現している、半数以上の測点で出現しているの3クラスに分けてある。また東～北(第1象限)の風の場合と西～南(第3象限)の風の場合に分けて、水温低下の出現率を求め、各図の両サイドの白丸の中にその値を%で示しておいた。

熊野灘では東北東の風の回数は多いが、その中で水温低下が生じた比率は34%と低い。逆に西の風は回数は少ないが、水温低下の比率は64%となって前者の倍も大きくなっている。遠州灘では西南西の風の場合が、北東の風の場合に比して、吹く回数も多く、また水温低下が現われる比率も高く、後者の1倍半近くの値となっている。しかるに豆南海域では、第3象限の風のときに風の頻度も水温低下の回数も、第1象限の風の場合より多いが、水温低下の比率は60%余で両象限で変わらない。

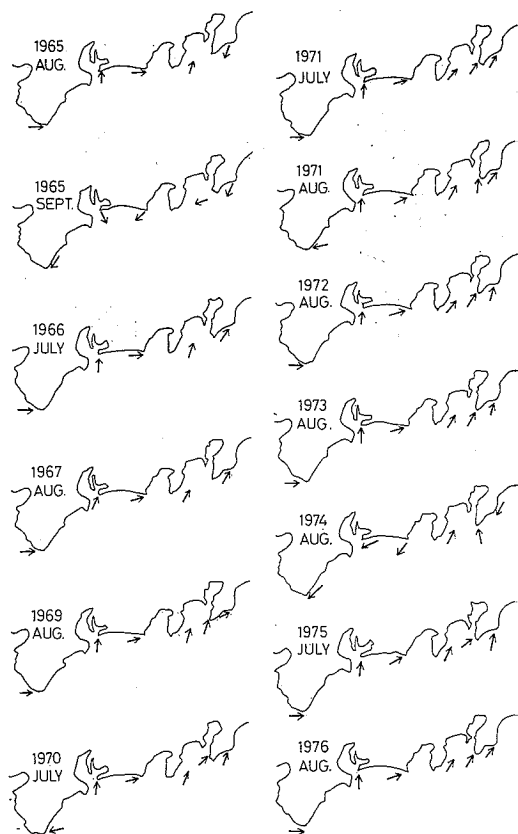


Fig. 13. Monthly most frequent wind direction at each coastal weather station when the ratio of the occurrence of SMWT exceeds fifty percents in the whole area.

い。房総海域においては、両象限の風の場合に風の吹く回数も、その中で水温低下が生ずる割合もほぼ均衡している。

以上のことから熊野灘と遠州灘においては、岸を左手に見る西寄りの風の場合が、岸を右手に見る場合に比べ、水温低下が現われる割合がやや高いと言える。すなわち水温低下が一部風による沿岸湧昇と関係していることが示唆される。しかし豆南海域と房総海域では明確でない。

6. 考 察

(1) 時間と空間のスケール

これまでの議論はすべて月1回の海洋観測の結果に基づいている。しかしこの低温化現象の時間スケールが、1カ月に比べずっと短かいものであれば観測から洩れるものが多く、上記の結果は意味が乏しいことになる。こ

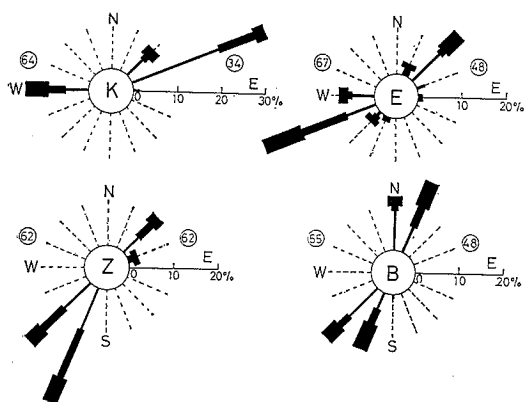


Fig. 14. Frequency distribution of the monthly most frequent wind direction for sixty months belonging to the warm seasons in each sea area shown in Fig. 3. The length of the sticks shows the frequency of the wind direction in per cent and their thickness represents the rate of the occurrence of SMWT classified under three groups. The thickest one indicates that SMWT occurred at more than a half of all the stations in the respective areas, the next one that it occurred at least at one station and the thinnest one that it did not appear anywhere.

れを調べるには深さ方向の情報を含む長期間の連続観測が必要である。幸いに相模湾の岩江漁場 (Fig. 3 の下図) において、漁業関係者によって 0m, 25m, 50m の層において、毎日 1 回水温の測定が長期にわたり継続されている (神奈川県定置漁業研究会・神奈川県水試相模湾支所, 1972, 1973)。岸に近いことや一般性に欠けるうらみはあるが、これを用いて上記の点を検討する。

観測の 1 例を Fig. 15 に示す。1972 年の 6 月半ばから 7 月末までと、8 月始めから 9 月上旬までの 2 回、それぞれ約 1 カ月半の長期にわたって顕著な水温低下が認められる。水温低下は表層で弱く下層で強い。このような例はその他の年でもしばしば見られる。すなわち Fig. 16 は岩江における 8 年間のインプレットを示したもので、白い矢印を付した 5 カ所で暖候期の低冷水が認められる。この図は月平均水温を用いて描いてあるにもかかわらず、このように水温低下を明白に示している。したがって月 1 回の観測でも十分認知できる低温化現象は存在すると言える。同様な長期間の水温低下の記録は、駿河湾内の係留観測でも得られている (稲葉, 1982)。

なお Fig. 15 ではもっと短期間の水温変動も少なからず見出される。これらは月 1 回の観測で見のがされる場合もあるであろうし、逆にたまたま観測にかかり 1 カ月

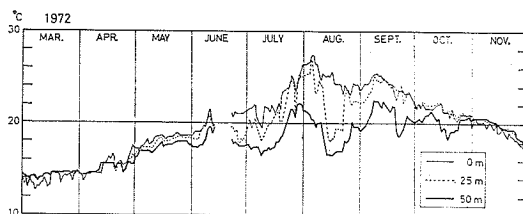


Fig. 15. Variation of water temperature at three depths of 0, 25 and 50 m at Iwae in Sagami Bay from March to November in 1972.

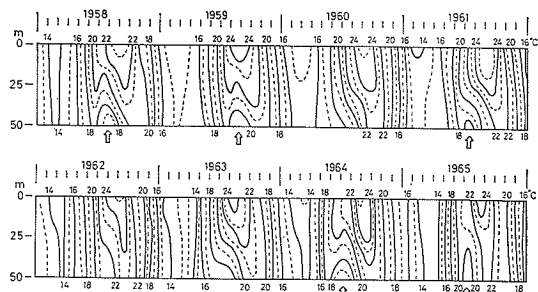


Fig. 16. Isoleth of monthly mean water temperature ($^{\circ}\text{C}$) at Iwae for eight years from 1958 to 1965. Appearance of SMWT is indicated by the white arrows.

間の水温低下を代表させられることもあるであろう。

一方水平的に見れば、Fig. 5 や 8 に示したように、水温低下が広範囲にわたるもの、特定の海域に集中するもの、孤立的なものなどが存在することが分った。ただし全海域の同時観測でないため、分布の把握に問題は残されている。

かくして、低温化現象にはさまざまな時間スケールと水平スケールをもつものがあり、月 1 回の観測で捉え難いものもあるが、月 1 回でもはっきりと捉え得るものも存在することが分った。時間スケールの大きいものは一般に顕著であり、また水平スケールも大きいことが期待される。それ故広範囲に共通して現象が現われる場合には、月 1 回のデータで議論しても、大きな特徴はある程度の確からしきで押さえられると思われる。

次に鉛直的に見ると、水温第 2 極小は 50~100m 付近に顕著であり、水温の低下が表面に現われることは少なく、現われても微弱である (Fig. 1, 2, 4, 15, 16 など参照)。岩江の場合、5 日間以上水温低下が継続したときに、 1°C 以上の水温低下が表面に現われたのは、全事例の約 1/4 に過ぎない。本現象のように傾圧性が強い場合には、水粒子の鉛直方向の動きは躍層付近で最も大きく、表面に向けて小さくなり、鉛直温度勾配も躍層付

近が大きいので、固定した深さにおける水温変動は、表面で小さく内部で大きいことになる。それ故、例えば飛翔体からのリモートセンシングなどによる表面のみの観測で、この現象を捉えることはかなりの制限を受ける。

今の場合鉛直移流を考えているので、水温第2極小を挟んで前後3カ月間のTSダイアグラムを作り、極小層の水塊を鉛直方向に追跡を行った。その結果3カ月にわたり同じ水塊の上下の移動とほぼ見なし得たのは、サンプルの8例中2例に過ぎなかった。長期間には海水は流され、同じ場所に留まっていることは困難であろう。それ故、鉛直方向の移流と共に、水平方向の広がり移流も同時に考慮する必要がある。

(2) 発生要因

Fig. 11に明瞭に示されるように、第2極小が広範囲に出現する場合には、黒潮が岸に接近しつつある場合が、その他の場合より著しく多い。黒潮が岸に近づいてくると、陸との間に挟まれた下層の低冷水が強制的に上昇することはありそうに思われる。しかし黒潮の動きはパターンの動きで水自身の動きとは別であること、また大冷水塊は黒潮の蛇行による離岸に伴っていることなどを考えると、水温低下と黒潮の関係はそう単純ではなく、その力学機構について今後の検討が必要である。なおFig. 11によれば、広範囲の水温低下はさまざまな黒潮の流路の場合に現われているので、大冷水塊との直接的な関係は考え難い。

発生要因に関するもう一つの結果は、熊野灘と遠州灘では陸地を左手に見る西寄りの風の場合が、東寄りの風の場合よりも水温低下が生ずる割合が大きいことであって、この現象が風による沿岸湧昇と関係あることが推測されたことである。

房総沿岸や伊豆半島東岸に風による沿岸湧昇が発生する例は、岸(1976, 1977)によって資料解析や観測に基づき既に報告がなされている。湧昇域の沖向き幅はロスビーの内部変形半径のオーダーと考えられる(吉田, 1974)。これは海水を水平方向に広げようとする重力の作用と、鉛直方向に閉じこめようとする回転力(コリオリの力)の作用が拮抗するときの水平スケールを表わし、これより短い水平スケールの水柱は周囲より大きい密度であっても、湧昇域のように鉛直方向の水柱として存立し得ることになる。

密度差 $\Delta\rho$ の2層の海を考え、下層の厚さが上層の厚さ h よりかなり大きいとき、ロスビーの内部変形半径は

$$R = \frac{1}{f} \sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho} gh}$$

で与えられる。 ρ は平均密度、 g は重力加速度、 f はコリオリの係数である。いま $f = 8.3 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$ 、 $\Delta\rho/\rho = 2 \times 10^{-3}$ 、 $h = 100 \text{ m}$ とすれば、 $R = 17 \text{ km}$ となる。考えられる条件のもとでは、変形半径の大きさは約10kmから20数kmの程度と考えられる。

水温低下の場所が海岸からこの距離内にあるものもあるが、もっと沖のものもある。全般的には変形半径よりかなり大きい範囲にまで水温の低下が現われている。ただ、熊野灘で西寄りの風との対応が良かったのは、Fig. 3に示すように岸に近い測点が多いことに一因があるのかも知れない。また、別に報告する予定であるが、Fig. 15や16に示したような岸近くの岩江における長期間の水温低下も、かなりの部分は風による沿岸湧昇の可能性が強い。

以上のことから海域は制限されるものの、水温低下の中には風による沿岸湧昇に帰せられるものも確かに存在するように思われる。変形半径を大きく超えた場所での水温低下が、風と関係があるかどうかは不明であり今後検討を必要とする。なお豆南海域と房総海域では、Fig. 14では水温低下と風との明瞭な関係は見出されなかったが、これは風による湧昇がこれらの海域で起きないことを意味しているのではない。すなわちFig. 14において、豆南海域と房総海域で、SSW~SWの風の場合に第2極小がかなりの数生じているが、この中には風に伴うものも当然含まれているであろう。事実既に述べたように、伊豆や房総の沿岸、相模湾の岩江などに湧昇が認められる。

これまで風の作用と黒潮の影響を別々に考えてきたが、両者が組合わさった場合はどのようなになっているだろうか。黒潮が接近する場合を K_+ 、そうで無い場合を K_- とし、沿岸卓越風が岸を左手に見て吹く場合を W_+ 、そうで無い場合を W_- とする。そしてFig. 11とFig. 13を比較して両者の組合せを作ると、広範囲に水温低下が現われた13例中、 K_+W_+ が8例、 K_+W_- が2例、 K_-W_+ が3例、 K_-W_- が0である。すなわち両要因がプラスのセンスで重なっているときが最も多く、逆の場合は起きていない。

ただ両要因が水温低下に対して、独立な要因と見なせるか否かが問題になる。グローバルな規模で大気大循環と海洋大循環が密接な関係にあることはよく知られているが、このような局所的な部分では両者の関係は明確でない。黒潮に対する台風の影響などの議論もあるが、一般には沿岸卓越風と黒潮の移動との間に一義的な関係は考え難く、水温低下に対して両要因は一応独立と考えて

も大きな誤りはないように思われる。独立とすれば、両者の寄与の程度をはっきりさせることが大切であるが、本報告では限られた資料ゆえにそこまでには至らなかった。

一方稲葉 (1982) は、駿河湾口 75m 層の水溫記録に現われた 1~2 カ月間の顕著な水溫降下を、鉛直一次元の熱輸送で説明しようとした。すなわち、躍層が発達すると海面が受けた熱が躍層を通して下方へ伝わり難くなり、その下層で下方へ逃げる熱を補なうことができず次第に低温になるというのである。しかし変動の激しい沿岸海域で海水が長期間にわたりしかも広範囲に一様に静的であるとは考え難く、この理由付けは検討を要するであろう。

7. むすび

東海・関東沿岸海域における暖候期の低温化現象を、主に関係水試の月 1 回の海洋観測資料、水路部の海洋速報、沿岸測候所の月間最多風向を用いて、その出現状況を取りまとめ、また黒潮や風との関係を吟味した。現象の大きな特徴の把握にとどまり、現象の詳細な実態の把握と出現の機構の解明は今後の課題であるが、これまでに得られた結果を要約すると次のようになる。

1. 東海・関東沿岸海域では、暖候期に低温化現象がしばしば見られ、年間の平均出現頻度は熊野灘、遠州灘、豆南海域、房総海域であり変らない。しかし出現時期については、各海域で特徴が見られる。
2. 水溫低下の出現範囲は、全域に及ぶ場合、特定の海域に集中する場合、孤立的あるいは散発的な場合とさまざまであり、いろいろな空間スケールのものが存在する。
3. 深さ方向には、50m~100m 付近に顕著であり、表面に水溫低下が現われることは少なく、現われても微弱である。よって表面の観測で認めるには制限がある。
4. 時間スケールもさまざまなものが考えられるが、月 1 回の観測で十分認知できるものも少なくない。特に遠州灘では 1 月以上長期間継続するものが、他の海域に比べて多い。
5. 水溫低下の出現率と、黒潮までの距岸距離や黒潮の流動パターンとの間には、どの海域においても明瞭な関係は認められなかった。
6. 広範囲に水溫低下が出現する場合は、黒潮が岸に向かって接近しつつあるときの方が、停滞中や離岸しつつあるときよりも、発生の回数は著しく多い。
7. 熊野灘や遠州灘では、岸を左手に見る西寄りの風の

場合が、東寄りの風の場合よりも水溫低下が現われ易い。これは低温化現象の一部に、風による沿岸湧昇が含まれていることを示唆している。

8. 黒潮と風を組合せた場合、出現率の高い水溫第 2 極小は、やはり黒潮が岸に接近中で風が西寄りの場合が多く、逆の組合せの場合はほとんどない。ただし出現率の低いものは、いろいろな黒潮や風の条件のもとに生じている。

終りに本研究を進める際に有益な助言をいただいた理化学研究所の長島秀樹博士、資料の解析を手伝っていただいた元東海大学海洋学部研究生の丸田宏幸氏、および原稿作成に協力をお願いした今田由美子氏に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 船越茂雄・柳橋茂昭・岩瀬重元 (1979) 三河湾ならびに瀨美外海の平均的潮況. 水産海洋研究会報, **34**, 115-127.
- 稲葉栄生 (1982) 駿河湾海況と黒潮流軸位置との関係. 沿岸海洋研究ノート, **19**, 94-102.
- 伊藤宣毅 (1979) 熊野灘の潮況について. 水産海洋研究会報, **34**, 111-115.
- 岩田静夫 (1979) 相模湾の潮況について—鉛直構造の季節変化と水系—. 水産海洋研究会報, **34**, 134-137.
- 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 (1972, 1973) 相模湾ぶり漁海況調査表. 昭和 46 年度, 1-54; 昭和 47 年度, 1-54.
- KISHI, J. M. (1976) Upwelling along the east coast of the Izu Peninsula (I). Umi to Sora (海と空), **51**, 105-113.
- KISHI, J. M. (1977) Upwelling along the east coast of the Izu Peninsula (II). Umi to Sora (海と空), **52**, 59-66.
- 久保治良 (1979) 鹿島・常磐南部海域の潮況について. 水産海洋研究会報, **34**, 145-150.
- 宮沢公雄 (1979) 房総沿岸域の潮況(水溫)について. 水産海洋研究会報, **34**, 140-145.
- 中村保昭 (1977) 駿河湾ならびに隣接海域の潮況変動. 水産海洋研究会報, **30**, 8-38.
- 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**, 13-38.
- 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.
- 杉村允三 (1979) 潮岬周辺海域の潮況について. 水産海洋研究会報, **34**, 106-111.
- 宇野木早苗 (1978) 伊勢湾・三河湾の物理環境. 沿岸海洋研究ノート, **15**, 143-154.
- 吉田耕造 (1974) 湧昇. 海洋物理学 I (寺本俊彦編), 東大出版会, 131-160.
- 吉田昭三 (1961) 遠州灘沖冷水塊と黒潮の変動について(その 1). 水路要報, **67**, 54-57.