

## 沿岸海洋の変動—Ⅲ

鷺尾圭司・坂野安正・加藤安雄・柏井 誠

### Fluctuation in Coastal Marine Conditions—Ⅲ

Keiji WASHIO\*<sup>1</sup>, Yasumasa SAKANO\*<sup>2</sup> Yasuo KATO\*<sup>2</sup>  
and Makoto KASHIWAI\*<sup>1</sup>

前二報<sup>1)2)</sup>では若狭湾西部海域(通称丹後海)の固定点における常時水温連続記録によって、夏季の25 m層にみられる昇温現象と、25 m以深に達する厚みのある暖水が出現することを確認した。その変動は、若狭湾西部海域規模の水温構造の変化に伴うもので、沖合暖水の挙動と深い関係にある現象として捉えられた。しかし、設定した観測点は若狭湾西部海域に限られていたため、現象の拡がりや沖合海況との因果関係を検討するまでには至らなかった。そこで今回は若狭湾西部海域外にも水温の固定観測点を設けるとともに、水温分布観測海域を広げ、GEKによる測流も加え調査したところ、固定点における水温変動と若狭湾における夏季の暖水化プロセスを理解する上で興味深い知見が得られたので報告する。

#### 観測方法及び資料

固定点観測 海水温度自動記録器の設置方法などは前報<sup>1)</sup>のとおりであるが、設置点は、図1に示すように、従来の新井崎沖と田井沖の他に、中浜沖と泊沖を加え、4地点とした。観測は7月下旬から9月上旬まで行い、測器不調の田井沖のものを除いて、各地点とも1, 5, 10, 15, 25 mの5層で30分毎の水温記録を得た。また、田井沖のデータを補うため、京都府立海洋センター設置の田井沖定置網流況観測用 MTCM-5A(10 m層)の記録を資料として採用した。

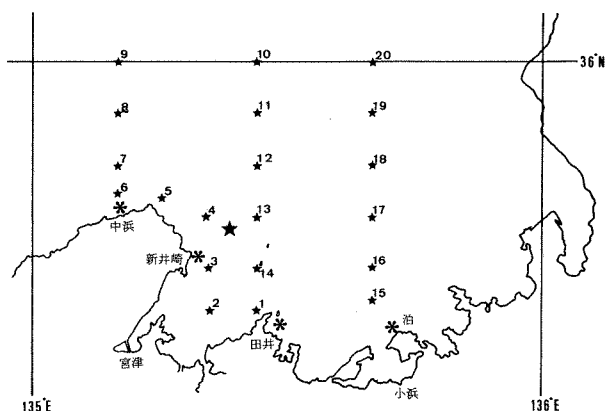


図1 観測地点及び水温計設置位置

観測は7月下旬から9月上旬まで行い、測器不調の田井沖のものを除いて、各地点とも1, 5, 10, 15, 25 mの5層で30分毎の水温記録を得た。また、田井沖のデータを補うため、京都府立海洋センター設置の田井沖定置網流況観測用 MTCM-5A(10 m層)の記録を資料として採用した。

水温分布観測 観測点は図

\*1 Faculty of Agriculture, Kyoto University, Kyoto, Japan

\*2 Kyoto Institute of Oceanic and Fishery Science,  
Miyazu, Kyoto, Japan

1に示す20定点で観測船平安丸(229トン)を使用し、8月6日から9日の夜間に3回反復観測を実施した。第1回目は0, 10, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225 m及び海底上5 mを転倒温度計による各層観測を実施した。第2回目 第3回目はDBTを海底付近まで垂下して水温のみの測定を実施した。また3回ともGEKによる表層流の測定を実施した。1回の観測時間は15~20時間である。また発達した暖水層の水平的広がりなどを検討するため、図2に示す定点で実施している若狭湾観測の1978年7月、8月の観測データを資料として採用した。

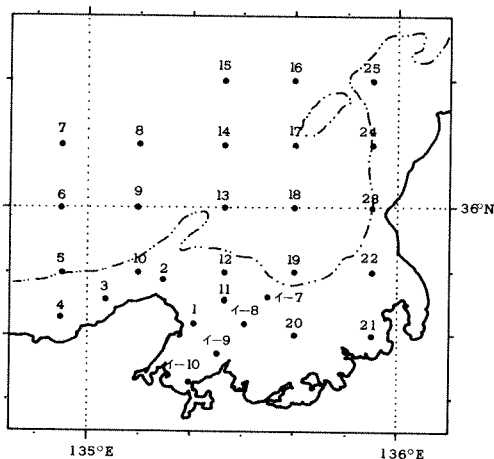


図2 若狭湾観測定点

### 結果及び考察

**固定点の水温変化** 図3は、中浜・新井崎・泊の各固定点における1 m層と25 m層の30分毎の水温記録である。この時期は夏の最高水温期にあたり、各固定点とも1 m層では8月中旬に、25 m層では8月下旬に最高水温に達している。そして、各時系列には、様々な周期の振動、スパイク状や矩形状の変化、一方的変移(国司ら<sup>3)</sup>)などが重なり合っている。すなわち、泊の1 m層における8月1~5日にみられる1.5℃以上の振幅をもつ日周期振動や、同

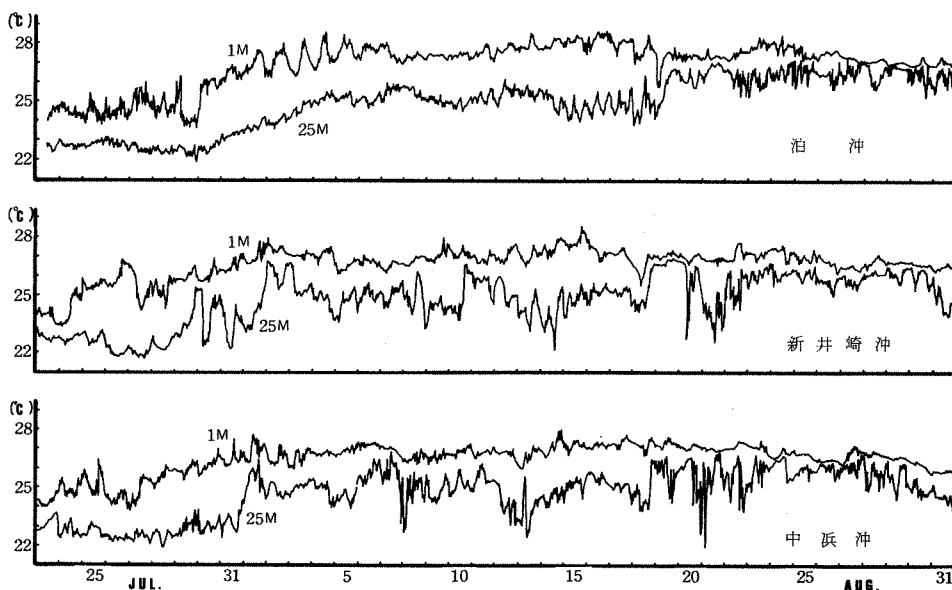


図3 1979年夏の3個定点の水温変化

25 m層における 8月14～18日にみられる1℃以上の振幅をもつ半日周期振動、新井崎の25 m層における7月29日～8月3日にみられる2～3℃の温度差をもつ日周期的な矩形状の変動、中浜の25 m層における7月31日や各固定点の25 m層における8月18・19日にみられる2℃以上の温度差をもつ一方的変移などが特徴的な変動として拾い出せる。

前報<sup>1)2)</sup>で報告した新井崎などの25 m層の昇温現象は、数時間以内に2～4℃もの急激な昇温をみせ、表層水温との温度差がほとんどなくなる現象として捉えられた。図3にみられる様々な変動の中から、この昇温現象に相当するものを拾うと、先に挙げた一方的変移の例や新井崎での矩形状の変動がこれにあてはまる。また、中浜の8月7日にみられるように急激な温度上昇こそないが、1 m層との水温差が無くなる変動も昇温現象に加えられるだろう。このように、25 m層の昇温現象は若狭湾西部海域に限られるものではなく、周辺海域でも起こることが確認できた。

### 1. 1日以下の規模の変動

泊でみられる日周期や半日周期の振動は、その周期から内部潮汐を連想させられる。図4-a, bは、各々の振動のみられた期間における5層の水温記録を3時間の移動平均にかけて示したものである。

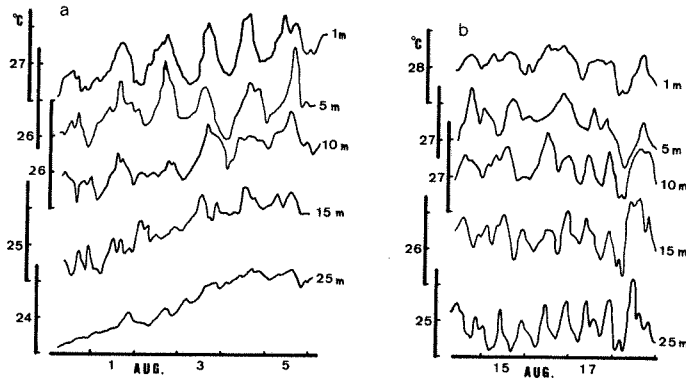


図4 泊における移動平均後の水温変化

て示したものである。

図4-aに示した1 m層の日周期振動は5 m層と10 m層にも認められるが、15 m層では極めて弱くなり、25 m層ではほとんど見出せない。各層の水温差からみて、水温躍層が15 m以深にあることから、この水温振

動は表層混合層の中での変動だといえる。一方図4-bに示した25 m層の半日周期振動は、15 m層にも認められるが、10 m層や5 m層では一部だけが対応し、1 m層ではかえって日周期性が強く現れている。この時期でも水温躍層が15 m以深にあることから、半日周期の水温振動は水温躍層の中での変動であるといえる。このため、水温躍層の中での変動である半日周期振動は、Arthur<sup>4)</sup>の指摘した内部波に結びついた等温層の鉛直運動に起因するものと理解できる。しかし、表層混合層の中での変動である日周期振動では、観測層の上下に十分な水温差がなく、内部波による鉛直的な変動とは考え難い。むしろ、一種の沿岸境界もしくは沿岸流といった水平的な水温勾配を生じる現象が何らかの要因で、日周期的に揺らぐものとするか、日照による加熱の影響が著しく現れたと考える方が妥当と思われる。

新井崎でみられた25 m層の矩形状の変動をよくみると、降温時がいずれも昼間にあることが知れる。前報<sup>1)</sup>で述べた1977年の第1回目の昇温の際にみられた降温も昼間であり、

前報<sup>2)</sup>で述べた1978年の昇温現象期間中の24時間周期の振動においても昼間に降温している。更に今回の場合、7月25～28日には温度差は1℃未満だが、はっきりと昼間の降温傾向がみられる。しかし、この現象は他の固定点では新井崎ほど顕著には見出せない。

このことから、この変動は昇温現象期間中に特に顕著に現れる性質があり、新井崎に局所的に起る現象と推定される。すなわち、新井崎には昼間に等温層が浅くなる日周期の内部波が存在する事と、7月下旬に25m以浅にあった水温躍層が昇温現象の際に降下し、25m層付近の水温鉛直勾配が大きくなる事が重なり、こうした水温変動が顕著に現れるようになると思われる。

図5は、この時の舞鶴海洋気象台における風向と風速の記録である。これから明らかなように、風は日周期変化を見せ、昼間の北風つまり海風が強く発達している。しかし、この事

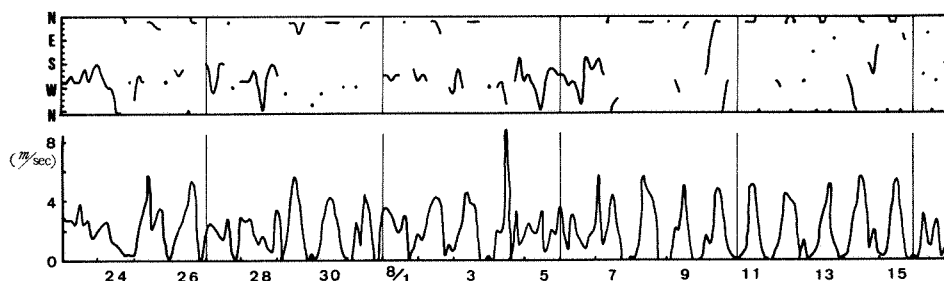


図5 舞鶴海洋気象台における風向・風速

から風による吹送流が直接に水温躍層の昇降に関与していると判断するのは早計かもしれない。新井崎付近では、岸沿いにしばしば1～2ノットの強い流れが生じることが観測されており、複雑な地形的特徴に加えて流況の複雑さも伺える。このような岸近くの海況変動を捉えるには、風、流況、潮汐、そして密度場の相互関連を無視できない。泊でみられた半日周期振動も含めた、こうした内部波の成因や、表層の日周期振動の原因に関する吟味は、現象が各固定点毎に別個に現れる、比較的小さな空間スケールの問題だと推測されることから、より固定点近傍の観測密度を高める必要があるだろう。ここでは、25m層に及ぶ躍層の昇降現象に、風が影響している可能性を指摘するにとどめ、これ以上の推論はひかえておく。

## 2. 数日以上規模の変動

1日以下の変動を除き、もう少し長い周期の変動をみるために、日平均水温を求め、図6に示した。各固定点で、高水温側の時系列が1m層で、低水温側の時系列が25m層である。

これらの時系列の振動の周期をみると、3～4日位のものが目立ち、25m層では各固定点とも顕著に現れている。これは、国司ら<sup>3)</sup>の「日平均水温の変動と気温変動との位相の一致がよいことから、3～4日という周期が気象現象でよく知られている6～7日という周期の倍振動に相当する。」という言葉を借りれば、気象現象と対応する形での変動の可能性を指摘できるだろう。

更に、3～4日位の周期を除いてみると、1m層が比較的なだらかな推移をみせるのに対して、25m層は7月下旬の23℃台が7月28、29日から8月2、3日の期間に上昇し、

8月半ばまで25℃前後を保つ。そして、8月18日～20日の期間に更に上昇して26℃台に達し、8月29日から下降するといった水温レベルの段階的変化がみられる。

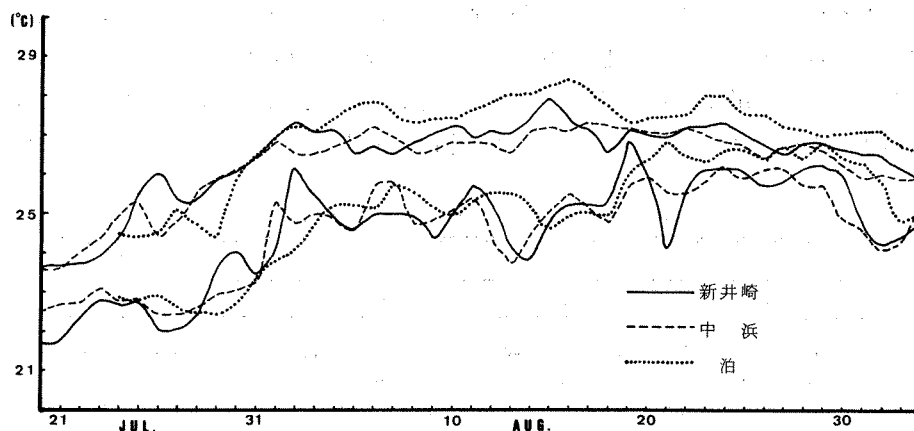


図6 3固定点における日平均水温の変化

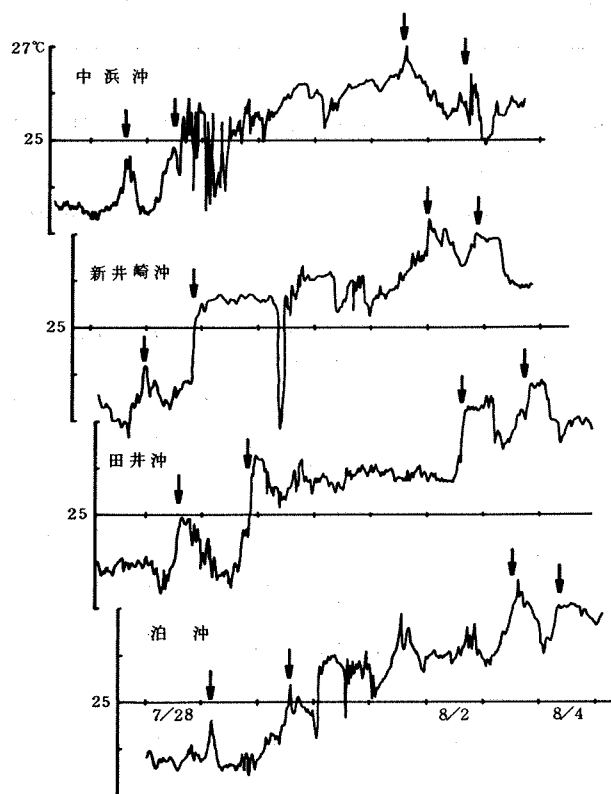


図7 10m層の水温変化

この25m層の2回の水温レベルの上昇は、各固定点ともほぼ同時期に起っている。2回目の水温レベルの上昇は、図3で示した25m層の昇温現象に対応するものである。しかし、1回目の水温レベルの上昇は、図3に示した25m層の水温変化では固定点毎に変動パターンが異なり、対応は認め難い。

図7は、田井沖のMTCM-5Aにより観測した水温記録も用い、各固定点の10m層の水温変化を1回目の水温レベルの上昇期間示したものである。ここには、25m層ではあまり顕著でなかった固定点間の変動パターンの相似性が強

く伺える。すなわち、7月27日までの23℃台の水温が28日以後25℃台に、更に8月1日以後27℃前後へと推移し、各固定点の位相が西から東へ順次遅れていることがわかる。こうした水温の一方向の変移が水平的に伝っていく現象は、暖水がサーマルフロント(La Fond<sup>5)</sup>)を形成して各々の固定点を通していったものと推測される。

図7の中で、相似性の高い変化を示す局面に(↓)印を付し、各々の時刻をまとめたものが表1である。固定点間の距離と4回の(↓)印の各固定点での通過時刻のズレから概算す

表1 各固定点10m層の昇温日時とズレ時間

	中 浜	新井崎	田 井	泊
距離(Km)	17	20	20	
①	27日14時	28日0時	28日16時	29日6時
ズレ時間	10	16	14	
②	28日8時	28日20時	29日20時	30日15時
ズレ時間	12	24	19	
③	1日12時	1日22時	2日14時	3日12時
ズレ時間	10	16	22	
④	2日18時	3日0時	3日20時	4日10時
ズレ時間	6	20	14	

ると、フロントの通過速度は0.6~1.0ノットと推定される。前報<sup>2)</sup>の新井崎・冠島・田井の固定点間で推定した0.4~0.6ノットに比べると、少し速いようである。

一方、2回目の水温レベルの上昇を、図3の8月18、19日にみられる急激な昇温に着目して、フロントの通過時刻をまとめると、表2のようなになる。1回目の水温レベルの上昇ではフロントが

西から東、つまり若狭湾外から湾内へ向けて、ほぼ等速度で移動した。それに対して、2回目の水温レベルの

表2 各固定点1m層と25m層の昇温日時とズレ時間

	中 浜	新井崎	泊
距離(Km)	17		37
1m層	18日14時	18日8時	19日2時
ズレ時間		-6	18
25m層	18日19時	18日16時	19日7時
ズレ時間		-3	15

上昇では新井崎、中浜、泊の順になっており、伝達速度は2ノット以上と速いものになっている。このことから、2回目の水温レベルの上昇は、沖側に暖水が分布し、岸に並行したフロントが、接岸する形で移動してきたもの(もしくは暖水帯が岸に張りついたもの)と考えられる。

1回目と2回目の水温レベルの上昇で、このような相違がみられることは、若狭湾内での水温上昇が、沖合暖水の若狭湾内への流入という過程だけでは説明できない事を示し、若狭湾内での暖水もしくは等温層の挙動にも関わるものと考えられる。

水温と潮位偏差 図8は前報<sup>2)</sup>で検討した水温・潮位・気圧の変化に1979年分を加えたものである。1977年では、各事象の偏差の変動曲線は位相がよく対応し、特に水温と潮位

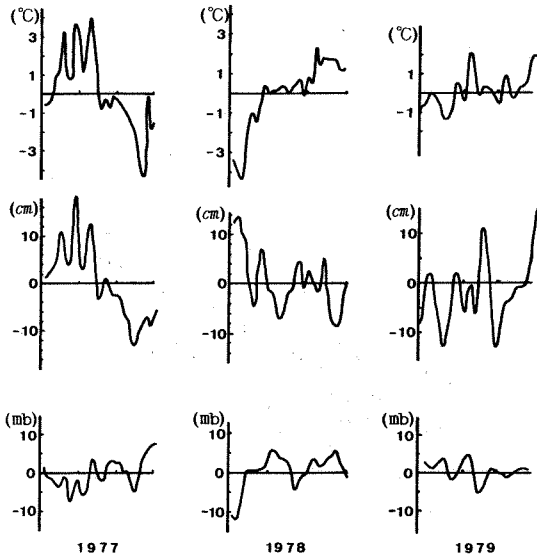


図8 水温・潮位・気圧の変化

に高い相関があり、8月上旬の気圧偏差は前二者と逆相関がみられた。このことから、気象変化が引き金となって少なくとも若狭湾西部海域一帯に間接的暖水の移流があったため、固定点の水温上昇にそれが現れたと考えた。しかし、1978年ではこのような対応関係はみられず、8月初めの台風の通過が以後の持続的昇温の引き金になったと推察されるだけであった。1979年の場合は、水温と潮位には強い相関がみられるが、気圧との対応は弱い逆相関がうかがえるぐらいである。松山ら<sup>6)</sup>は、相模湾における異常高潮位と温度場の関係をみる中で、潮位変化

と水温変化の関係は大半の場合、潮位が上昇したのに対して水温躍層が下降する、すなわち固定点の水温は上昇するというバロクリニック・モードを伴う現象であるとした。1977年と1979年の新井崎における現象は、この関係に相当し、気象条件が水温変動に大きな影響を与えていたことを反映していると言える。

図9は、この3年の各8月上旬の100 m層水温水平分布を示したものである。1977年と1978年には若狭湾沖に冷水がみられるが、1979年には遠く沖合に離れている。若狭湾への暖水の流入を考えると、1977年と1978年には対馬暖流が接岸している。その指向する方向は、1977年の場合東北東であった。1978年には南東で若狭湾口に向いていたのが大きな違いと言える。1979年には若狭湾付近には強い流れの場はみられず、暖水の流入は弱かったと思われる。こうした各年の沖合海況の相違が、大きな意味での若狭湾への暖水の供給量の差として影響し、固定点での水温変動の中心的役割を果しているのではなかろうか。

水温の水平分布及びその変動 50 m層と100 m層の水温水平分布を図10に示す。第1回目両層とも若狭湾の沖合に低温域があり、経ヶ岬沖及び若狭湾内はともに高温域になっている。若狭湾沖の低温域は第2回目、第3回目ともほぼ同様に存在するが、その中心はやや湾内に入っている。一方若狭湾内の暖水域は第2回目、第3回目と次第に弱まりながら、経ヶ岬沖だけに認められる。この様に3日間の間でも水温分布の変化がみられた。なおこの間の全観測点の水温変化は、表面で少なくむしろ図10にみられるように50 m層、100 m層の水温が回を重ねる毎に低下する傾向にあり、最終的には両層とも約1°C降温している。

水温の鉛直分布 各観測点の水温鉛直分布を図11に示す。1978年に丹後海で(今回の観

測点1~4及び13・14付近)観測した高温等温層は60m付近まで達していたが今回は第1回目新井崎沖のst.4で一番深く30m付近まで達した程度でだいたい15~20mであり、躍層も1978年の様に顕著ではなかった。

連続3回の観測における鉛直水温変化から観測点は4つのグループに区分される。第1のグループはst.7, 8, 9,

10, 11, 12, 19, 20

などの比較的沖側の定点である。この定点での躍層の深さの変化をみると、3回の観測時間での変化は少く、躍層も浅いかあまり顕著でない。第2のグループは沿岸寄りの

st.1, 2, 3, 4, 5, 6

などの定点で、躍層が比較的

深くに現れることと、3回の観測中にその変化が大きい所

である。たとえばst.3, 4

では第1回目30m付近にあった躍層が2回目、3回目と浅くなっており、それと対

应的にst.5, 6では第1回目は躍層が浅く、第2・第3回目と深くなっている。第3の

グループはst.15, 16で

沿岸ではあるが沖合と同様3回の観測中にあまり変化を

していない。第4のグループは

前3グループの中間的な所である。これ等の各グループは

水温水平分布の変化と対応している。すなわち第1のグループは若狭湾沖の低温域に

対応し、あまり変化がなく、第2のグループは若狭湾の西部

及び経ヶ岬沖合の高温域に

対応し、高温域が比較的变化し

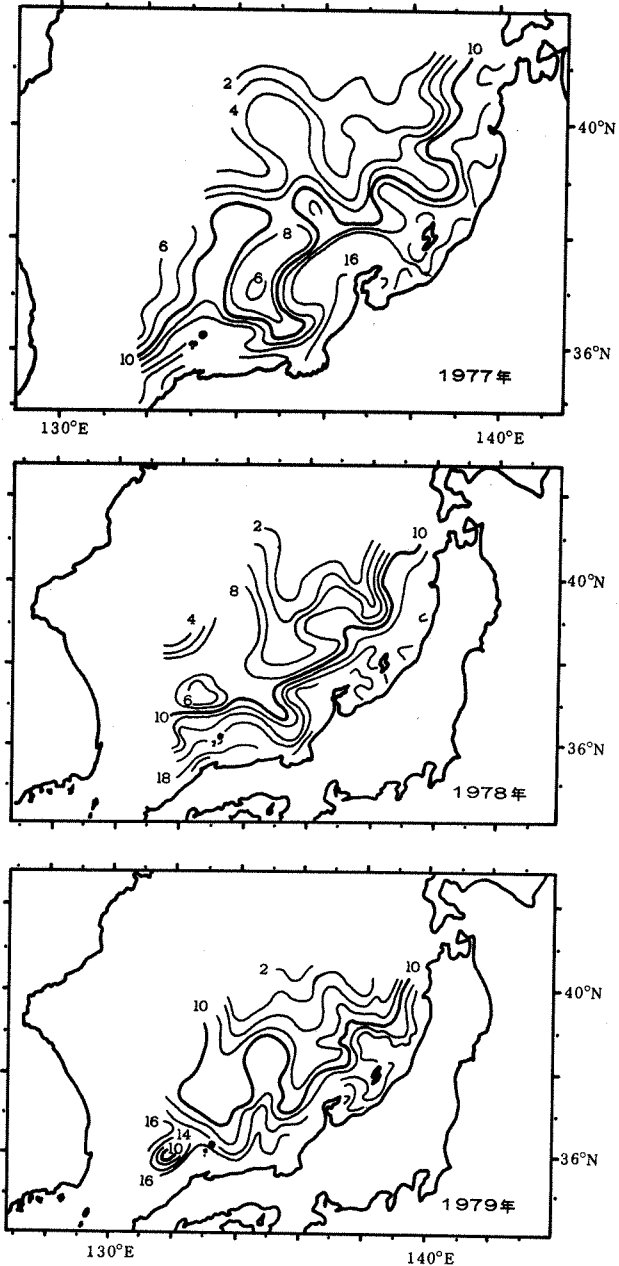


図9 8月上旬の100m層水温水平分布



ていた所で、第3のグループは若狭湾中央部沿岸で泊沖固定点の沖合にあたり、固定点の水温変動を見ても比較的变化の少ない地点である。

**GEK測定結果** 3回のGEK測定結果を図12に示す。第1回目沖側は若狭湾沖合の低温域の囲りを周る様に北西から南東へ向う流れが強く、沿岸寄りには経ヶ岬から沿岸沿いに若狭湾内へ向う最高1.1ノットの流れがみられた。第2回目中央及び東側の観測線の流向は第1回目

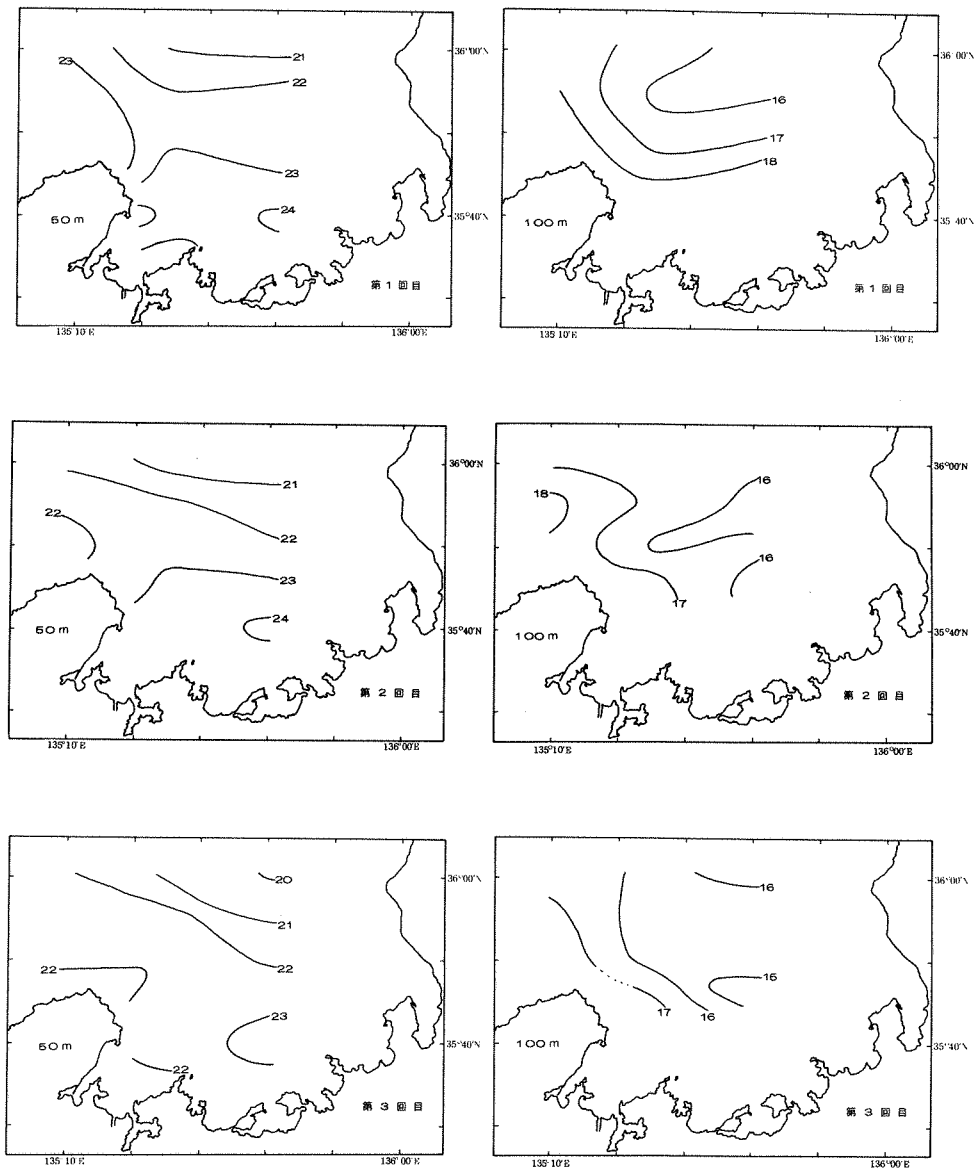


図10 50m層・100m層水温水平分布

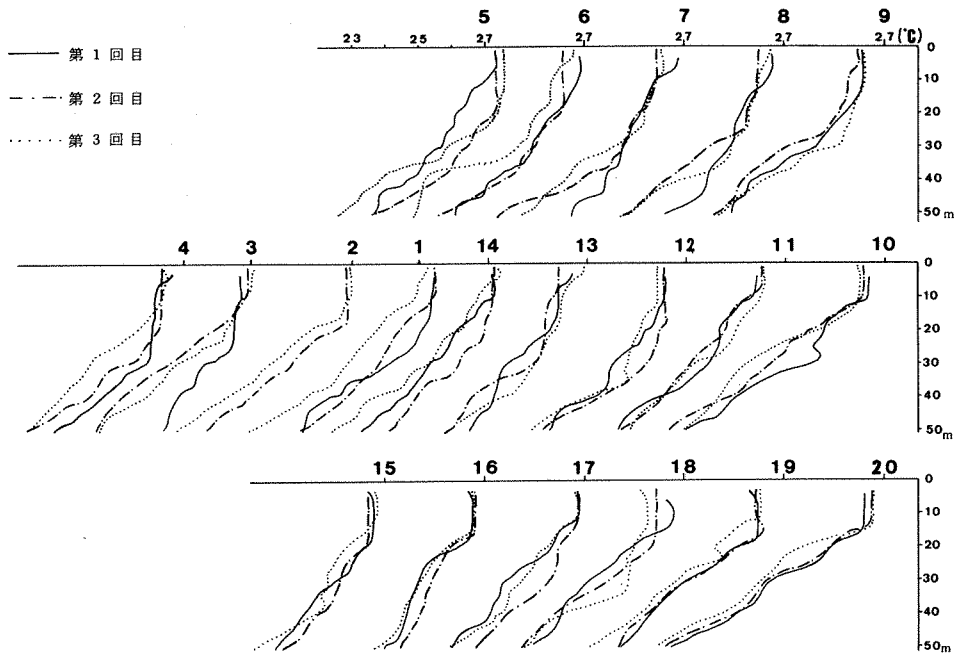


図 11 各観測点の水溫鉛直分布

とはほぼ同じであるが全体に流速は弱まっていた。一方西側の観測線は沿岸寄りで南～南西流が卓越し、流速も 0.9～1.0 ノット（前回 0.3～0.6 ノット）と大きくなっていた。更に第 3 回目は第 2 回目とはほぼ同様の流れであるが、西側の観測線の流れは沖側も南下流になっている。また新井崎沖の流れは前 2 回の湾内へ向う流れから、湾外へ向う弱い流れに変化していた。これらの流れの変化は、若狭湾沖の低温域が停滞し、暖水域が若狭湾内で弱まり、経ヶ岬周辺及び経ヶ岬沖に高温域が残る水温変動に比較的良く対応していた。

**表層混合層の発達した海域の広がり** 今回の水温分布観測は、表層混合層の発達した海域の水平的広がりをは握る目的をもってなされたものである。今回は 1978 年（昨年）と異なり、表層混合層の顕著な発達は見られなかったが、一応混合層の広がりを目安として 26℃ 水温が 25 m より深い海域、25℃ 水温が 35 m より深い海域、第 1 躍層が 20 m より深い海域及び 25 m 層と 10 m 層の水温差が 0.5℃ 以下の観測点を指標として、混合層の発達した海域を図 13 に示す。

第 1 回目表層混合層の発達した海域は、経ヶ岬の東側にその中心があり、その影響が経ヶ岬沖から小浜沖にかけて若干あると思われた。第 2 回目はその広がり度が若狭湾の中央付近まで達しているが、第 3 回目になると、表層混合層の発達した海域は経ヶ岬沖にのみみられる。

次に 1978 年は 25 m 層の昇温現象が 8 月 4 日から下旬まで続き、表層混合層の発達が持続していた年である。その持続していた期間内の 8 月 21～23 日に図 2 の定点で若狭湾観測を実施しているので、その観測結果に今回と同様の指標をあてはめると図 14 のようになり、

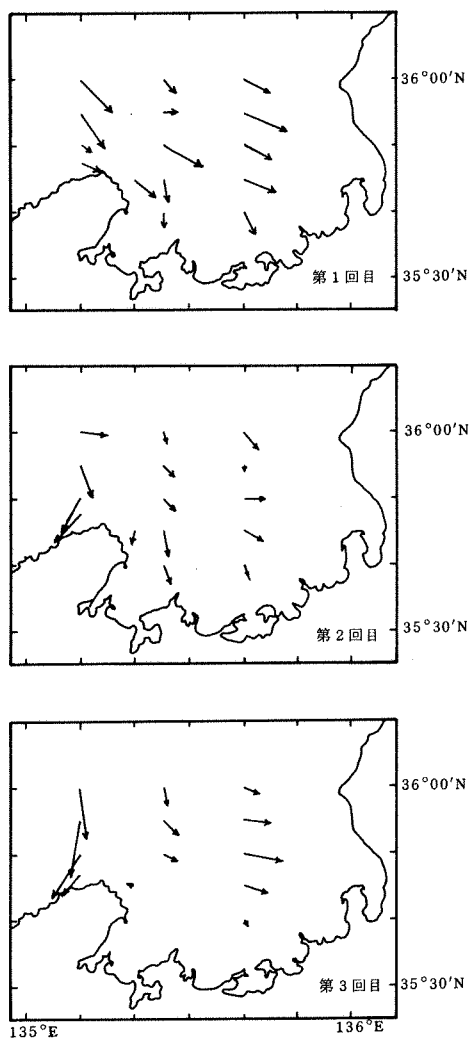


図12 GEK測定結果

表層混合層の発達した海域は若狭湾西部及び経ヶ岬以西の丹後半島周辺と、若狭湾中央から越前岬から三国沖にかけてを中心にして沿岸ぞいに本年より広く分布している。

以上2ケ年の結果から表層混合層の発達した海域の広がりについては、特定の場所、大きさ等を規定することはできず、若狭湾内及び周辺の沿岸部では夏季にこのような現象は出現しやすいのではないかと推定される。

図15に1978年の7月17～19日及び8月21～23日に実施した若狭湾観測の、観測点別水温鉛直分布を示す。これによると、7月の観測時顕著な躍層はみられないが、8月には特に沖合に顕著な躍層が出現している。一般に京都府沖においては通常7月頃から表層で低塩分化が進み、8月及び9月上旬には高温・低塩分の水が表層を覆うことが知られている。この高温低塩分水が下層の低温（表層と比較して）高塩分水との間に大きな比重差をもたらせ、この顕著な躍層が形成されると考えられる。

まとめ 以上の検討の結果を、前報<sup>2)</sup>で整理した時間スケールに沿ってまとめてみると、

1. 1ヶ月規模の変動 若狭湾西部付近

の海域での夏季の暖水化には二つの段階が考えられる。

一つは7月下旬から8月上旬頃の沖合暖水の流入である。これは、若狭湾沖冷水の位置や対馬暖流の勢力により大きく変動するが、流入する暖水の前面では顕著なサーマルフロントが形成されるのが一般的なようである。

二つ目は、8月中旬以降の25 mより厚い層をなす暖水の居坐りである。これは、1977年にはみられなかったが、1978年と1979年にみられる。前報<sup>2)</sup>で指摘した若狭湾の環流タイプにより、若狭湾内に暖水が滞留するか否か、その持続性はどうか、などといったことが要因となっているのではないかと推察される。

2. 3～4日規模の変動 この時間スケールの変動は、観測したほとんどの時系列で卓越した周期として現れている。本文中にも述べたように、気象現象の倍振動として考えるのが妥

当なようである。気圧変動や風の影響が、暖水の流入にきっかけを与えている事は、1977年の3回の間けつの昇温や1978年の台風通過直後の昇温などの例から、かなり確実なものであろう。

3. 1日以下の変動 この時間スケールの変動には、局所的な条件が多分に作用している。内部波水平的・鉛直的水温勾配流況、気象条件などが、この時間スケールの変動に作用する因子として挙げられる。しかし、いずれの要因も地形的特徴によって変わるものであり、一般的な因果関係は語り難い。これは局所的な問題として、空間スケールを小さくした別のアプローチをする必要があろう。

4. また表層混合層の広がり水温分布観測及び若狭湾観測から推定することができ、その広がり度合は、年により異なっているばかりでなく、連続観測の結果でみられるようにわずか3日間の観測でもかなり変化することがわかった。この連続観測での変化は3~4日規模の変動に対応する現象

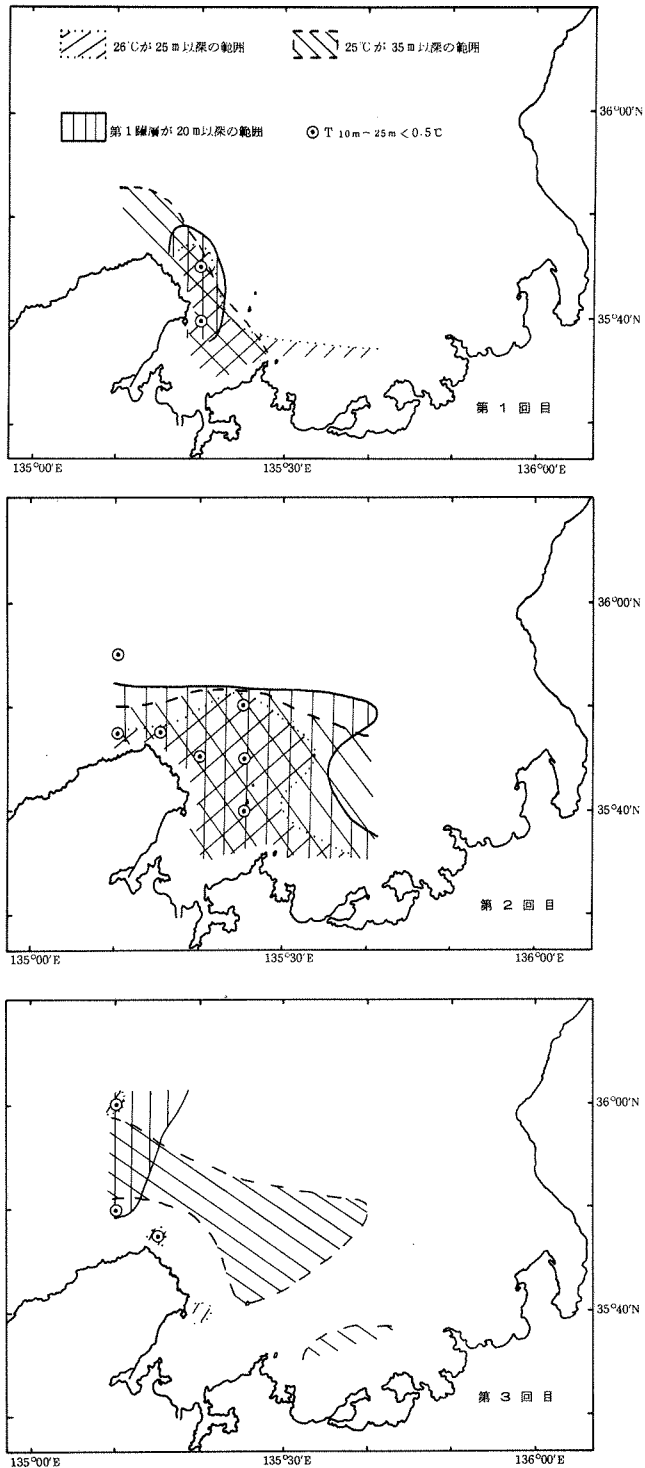


図13 表層混合層の発達した海域(1979年)

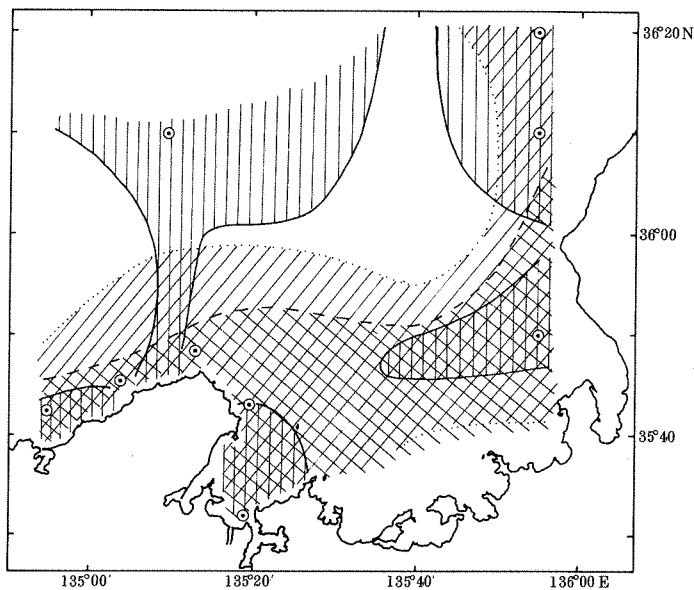


図14 表層混合層の発達した海域(1978年)

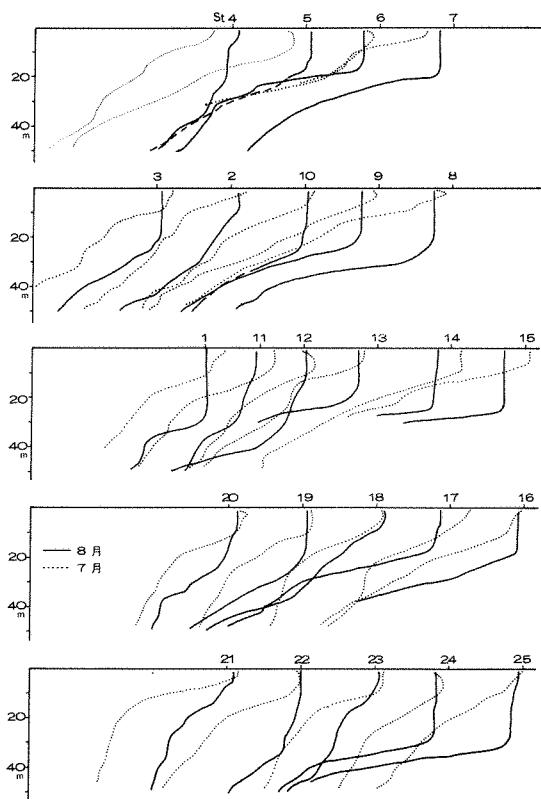


図15 各観測点の水温鉛直分布

と思われる。

このように、いくつかの現象スケールの変動を整理したが、魚群との関係としては大きく分けて二つの方向が考えられる。一つはS~3週間で起る水温レベルの変動であり魚類の若狭湾への補給・逸散という問題を検討する上で重要な現象スケールと思われる。今一つは、3~4日位、並びに1日以下の変動で、定置網漁業での魚群の入網機構などを問題とする際に重要な現象スケールと思われる。

前者は漁期を通じての漁獲量を論議する上で、後者は漁獲の日変動を論議する上でそれぞれ考慮しなければならない問題である。

最後に、この調査と結果のまとめに当って有益な助言と協力をいただいた京都府立海洋センター塩川所長、京都大学川合教授、坂本助教授に厚く御礼申し上げます。また調査に協力いただいた京都府立海洋センター調査課久米課長、平安丸・みさき丸乗組員諸氏並びに京都大学水産理学研究室の諸氏に心から感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) 加藤安雄・坂野安正：沿岸海洋の変動，本報，1，181-186（1977）。
- 2) 加藤安雄・鷺尾圭司・坂野安正・柏井 誠：沿岸海洋の変動，本報，2，1-13（1978）。
- 3) 国司秀明・西 勝也・由佐悠紀：白浜海洋観測塔における水温変動について，京大防災研年報，8，479-493（1965）。
- 4) Arthur, R. S. : Oscillations in sea temperature at Scripps and Oceanside Piers, Deep-Sea Res., 2, 107-121（1955）。
- 5) La Fond, E. C. : Three-dimensional measurements of sea temperature structure, Studies on Oceanography 日高教授還暦記念海洋学論文集，314-320（1964）。
- 6) 松山優治・寺本俊彦・前田明夫：相模湾沿岸における異常高潮位と湾の温度場及び塩分場との関係，La mer, 12（2），86-94（1974）。