

沿岸海洋の変動

加藤 安雄・鷺尾 圭司・坂野 安正・柏井 誠

Fluctuations in Coastal Marine Conditions

Yasuo KATO^{*1} Keiji WASHIO^{*2} Yasumasa SAKANO^{*1}
and Makoto KASHIWAI^{*1}

若狭湾へ対馬暖流の一部が分岐し湾内で環流がみられることは、古くから知られている。最近の報告では、環流は3つのタイプに分けられ、それは若狭湾沖冷水と深い関係があると指摘されている。しかし、この若狭湾の環流そのものの水塊構造及びその環流の発生から消滅に至る機構についてはまだ十分わかっていない。このようなことを明らかにしていくことは、沿岸海洋学的にも興味あることであるが若狭湾への魚類の補給逸散及び沿岸漁業の操業実態を考察するうえからも極めて実用的な調査である。更に調査結果は、将来沿岸漁業が指向する諸施策に対して有効な情報を提供するものと考えられる。

前報¹⁾のとおりその後の固定点の連続観測を続けたが、伊根の水温記録器を冠島南西に移設し6月から観測を行った。昨年の昇温現象の経験から8月7日、冠島の固定点にMTCM-5Aを3台吊り下げ鉛直水温観測の充実を図ると共に8月7~10日まで京都府海洋センター所属平安丸及びみさき丸を運航し、DBTによる水温観測並びに平安丸のレーダーによる表層流の追跡を試みた。

以上のような一連の海洋観測から若狭湾西部海域の暖水構造について若干の知見を得たので報告する。

観測方法

固定点観測 海水温度記録器の設置方法などは前報¹⁾のとおりであるが、本年6月~8月まで伊根に設置していたものを冠島南西1.2 Km 水深71 mに移設して観測を続けた。この固定点に8月7日12時~8月10日13時まで、2・25・50 mの各深度にMTCM-5A3台を設置し、流向流速水温を5分間隔で観測した。但し2 m層は測器不調で資料が得られなかった。

分布観測 図1に示す7定点で8月8~10日に計5回DBTを海底まで垂下し水温鉛直分布を測定した。航走中はサーモサリノグラフにより表層水温の連続記録を得た。観測船平安丸が投錨し、レーダーによる表層流の追跡をする間(定点7で8月8・9・10日 昼間2~3時

*1 Kyoto Institute of Oceanic and Fishery Science,
Miyazu, Kyoto, Japan

**2 Faculty of Agriculture, Kyoto University, Kyoto, Japan

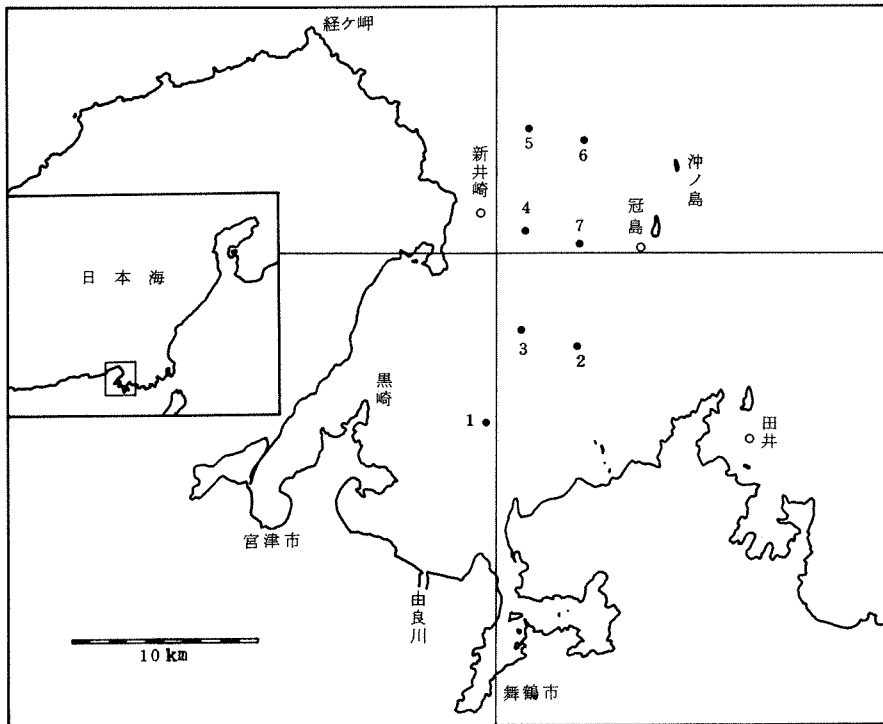


図 1 観 測 定 点 図

間) 30 分間隔で DBT を海底まで垂下し水温鉛直プロファイルの 時間変化を測定した。表層流の観測は平安丸のレーダー (JMA-158GB 12 インチ 120 海里) を使用し、漂流体にはレーダー反射体 (レンズレフ DL-8A 形) に海面下 1 m から抵抗布 (長さ 2 m 幅 1 m) を垂下した漂流ブイを用いた。

観測船は下記のとおりである。

記

平安丸 (鋼)	228.62 トン	1200 ps	乗組員 14 名
みさき丸 (木)	15.83 トン	65 ps	乗組員 4 名

結 果 及 び 考 察

固定点の水温変化 図 2 は新井崎の 2 層の日平均水温変化である。図にみられるように 1 m 層水温は、7 月上旬から大きく変化しながら 7 月下旬には 28 °C に達している。25 m 層水温は、1 m 層程大きく変せず 7 月を通じ 22 ~ 23.5 °C である。このような成層状態が 8 月になるとくずれる。即ち図 3 に示すとおり、どの固定点も 25 m 層水温は 26 °C 以上となり、1 m 層との温度較差は 1 ~ 2 °C と小さくなるが、新井崎では日によりわずかながら水温逆転がみられる。各固定点の両層に共通していることは、昇温前に一旦降温がみられることである。この

降温は 25 m 層より 1 m 層の方がより著しい水温下降を示している。

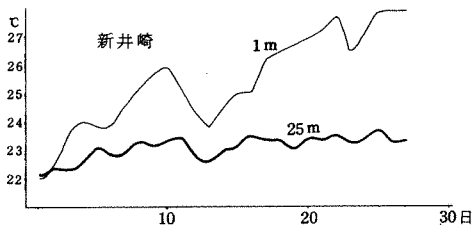


図2 2層の日平均平均水温変化
(53年7月)
(28日以降センサー取換え)

このような 25 m 層の昇温は、昨年もみられたが本年の場合は昨年のように間欠的でなく 8 月 4 日から 8 月下旬まで昇温が持続的であったことに兩年の現象に差異がある。しかし昇温後は急速に降温する。昨年は 8 月 15 日、本年は 8 月 31 日以後この現象が認められた。

以上述べた固定点の水温変化の資料から昇温現象は、少くとも若狭湾西部海域が暖水に占有されまた降温現象は、暖水と底層水との入れ替りがあったものと推定される。

図4は各固定点を一括して表わした 1 m 層と 25 m 層の日平均水温変化である。各固定点の両層の水温とも前述のとおり昇温前に降温がみられるが新井崎の 1 m 層の水温は他の固定点に比べ 1 日早く降温している。同層の各固定点別温度差は 1 m 層より 25 m 層の方が大きい。また 25 m 層の水温は 8 月 20 日以後再び昇温している。しかし 1 m 層の水温は昇温後滑らかでこれが見られない。図4の中で降温から昇温を始める期間、即ち 8 月 2 日 12 時から 8 月 9 日 12 時まで 30 分間毎に水温をプロットすると図5・6のとおりである。1 m 層水温が約 1.5℃以上急激に昇温した日時を各固定点別に表1に掲げた。このほかにも

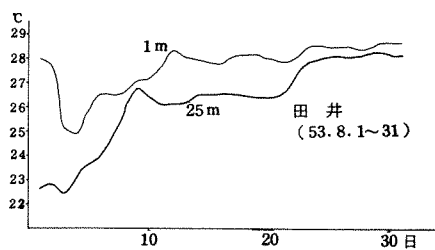
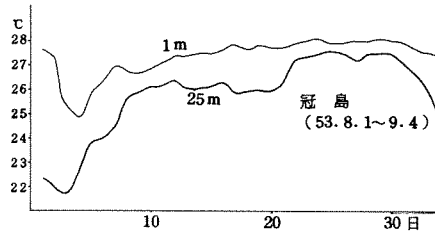
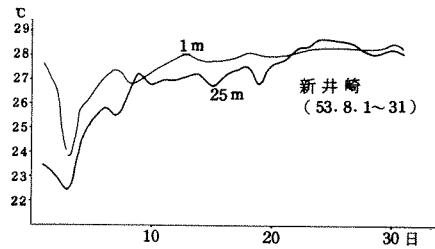


図3 各固定点別2層の日平均水温変化

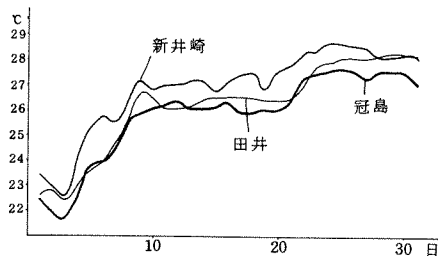
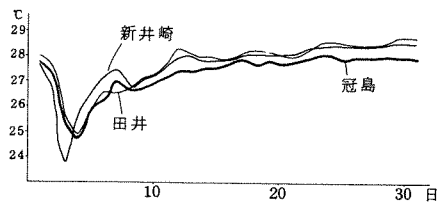


図4 各固定点の 1 m・25 m 層の平均水温変化 (53・8・1~31日)

小さな昇温がみられるが、1.5℃以上に及ぶ昇温に着目するとこれは暖水がフロントを形成してそれぞれの固定点を通じたものと考えられる。表1の第1回目は新井崎、冠島及び田井の昇温時間差からフロントの速度は、0.4～0.6ノットと推定できるが、第2回目は冠島が新井崎より早く田井は冠島の昇温時間から27時間も遅れている。第3回目になると田井の昇温が早く、それから7時間後新井崎と冠島が同時に昇温しているなどこれらの生の資料ではフロントの移り変りは説明しがたい。なお、田井の昇温日時には20～24時間の固有の周期が認められる。

図6は各固定点の25m層の水温時間変化である。1m層と異なり第1回目の急激な昇温は8月3日20時から8月4日01時の間に各固定点ともほぼ一斉に昇温している。昇温の度合は新井崎・田井・冠島の順に小さくなっている。25m層の昇温の場合、1m層と異なり各固定点の昇温時間差が余りなく1回の昇温時間が24時間にも及ぶことがある。図にみられるように新井崎だけは他の固定点に比べ水温が大きく振動し長くて24時間の周期が認められる。

田井でみられた1m層の昇温は、昇温前の水温レベルに戻ることなく昇温していくこと、また新井崎の25m層の昇温でも同様な傾向が伺われることは共通している。しかし25m層の1回の昇温は3～4℃にも達し振幅が大きい。特に8月6日11時の降温現象は極端である。このように1m層と25m層との昇温規模を比較すると25m層の方がはるかに大きい。なお、

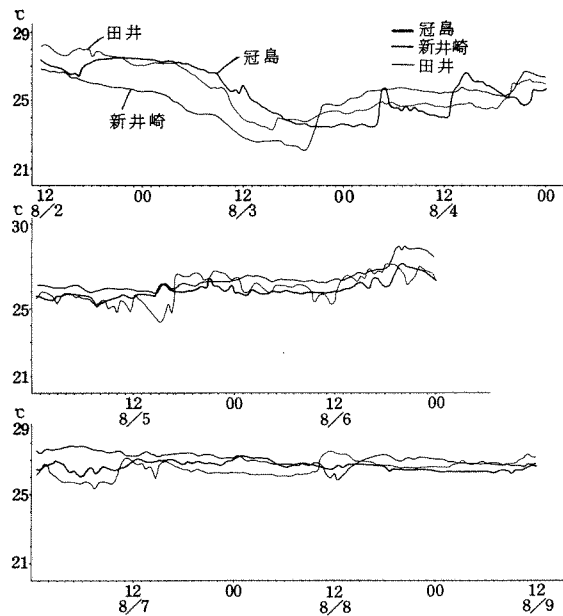


図5 各固定点の1m層水温時間変化
(53・8・2～9日)

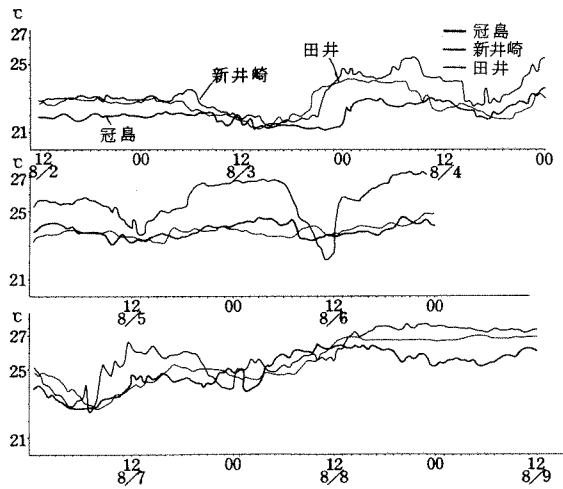


図6 各固定点の25m層水温時間変化
(53・8・2～9日)

表 1 各観測固定点別 1 m 層昇温日時

固定点 順番号	新 井 崎	冠 島	田 井
1	8月3日 21.0時	8月4日 5.5時	8月4日 20.0時
2	8月4日 21.5時	8月4日 14.0時	8月5日 17.0時
3	8月6日 20.0時	8月6日 20.0時	8月6日 18.0時
4	—	—	8月7日 11.0時
5	—	—	8月8日 11.0時
6	—	—	8月9日 11.0時

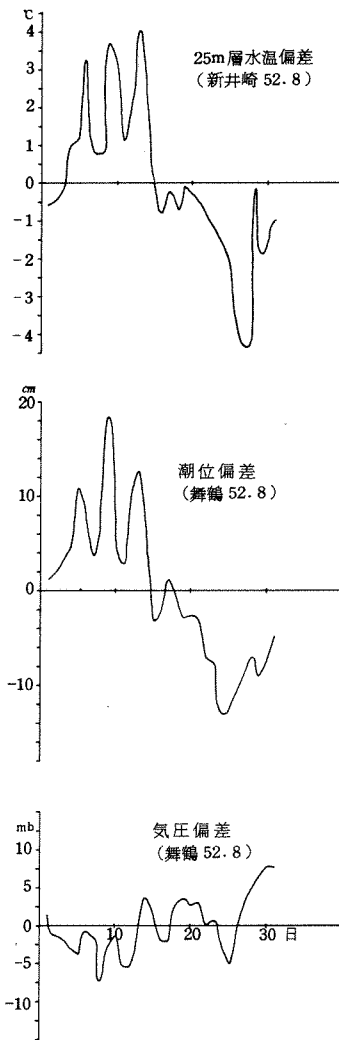


図 7 水温・潮位・気圧の変化
(52.8.1 ~ 31日)

田井及び新井崎の固有の周期的昇温が何故起きるかわからないが新井崎の場合は、降温から昇温初期に暖水の侵入と底層冷水の差し込みが交互に現われやすい地形的海域だろうと推定される。

舞鶴海洋気象台海洋課²⁾は、若狭湾の流動は、湾口付近の対馬暖流の強弱と関係しその変動は、若狭沖冷水域の離・接岸に影響されるとして湾内の流動を三つに大別した。即ち環流型、二環流型及び無環流型である。この場合の流動規模は若狭湾全体に及ぶとしているわけであるが、固定点で得られた水温変化が上記と同規模で果して起りうるだろうか興味深いところである。

以上のように本年の固定点の水温変化も基本的には昨年と同様な昇温現象を把握したが各固定点の水温変化の相互関係についてはまだ不明な点が多い。なお、各固定の他の各層についてもこんど整理し検討したい。

水温と潮位偏差 先にも述べたように 25 m 層の昇温は 52 年が間けつ型、53 年が持続型に分けられる。図 7・8 は 52 年 8 月及び 53 年 8 月の新井崎での日平均水温の平均偏差、舞鶴湾の推算潮位に対する潮位偏差及び舞鶴の現地気圧の偏差の変化をそれぞれ示したものである。図 7 にみられるように 52 年の各現象の偏差の変動曲線は位相が良く対応し、特に水温と潮位に高い相関があることを示している。また 8 月上旬の気圧偏差は前二者と逆の相関がみられる。

8 月前半の毎 18 時の天気図をみると、日本海を通過した低気圧は 3 個ある。即ち 8 月 4 日 996 mb、8

月8日994 mb及び8月11日の996 mbの低気圧である。舞鶴気象台の地上気象観測日原簿からこれらの低気圧によって起った風向をみるとほぼ南東で風力は8日が最大である。その日の日最大瞬間風速は10.4 m/SEC. 平均風速は5.2 m/SEC に達している。

谷岡³⁾は、台風が対馬海峡から北東へ日本海を進み南西風が連吹する時、舞鶴湾の潮位上昇が最も大きいと報告している。台風と低気圧の勢力は異なるが52年8月の潮位上昇の原因は、これらの3個の低気圧の影響が大きかったものと思われる。宮津湾の場合谷岡は宮津湾の潮位の上昇時は日本海を通過する低気圧の若狭湾沖の最低気圧時と一致せず潮位に20時間の遅れがあることを指摘している。前報¹⁾でも紹介したように対馬暖流の接岸と潮位の上昇とは一定の関係がみられている。

昨年8月の図7に示した現象の一連の関係は、気象変化を引き金とし少なくとも若狭湾西部海域一帯に間けつる暖水の移流があり固定点の水温上昇にそれが現われ、8月中旬以後降温と同時にこの海域で大きく水塊の入れ替りがあったものと推定される。

図8をみると水温・潮位・気圧の間に見て昨年のような対応がみられない。8月上旬の毎18時の天気図によれば、8月1日関東沿岸を980 mbの台風7号が北上し、九州西岸には970 mbに発達した台風が東進しているのがみられる。8月3日台風7号は北海道沖に去り、8月4日には台風8号は990 mbの低気圧となって日本海を北上している。その後日本列島は優勢な太平洋高気圧におおわれ記録的な高い気温が続いている。

図9・10に昭和52・53年の8月上旬の日本海の100 m層水温水平分布図を示す。若狭湾沖には兩年とも冷水がみられる。これらの冷水の位置及び等温線の形から推察して53年8月の場合には対馬暖流が隠岐諸島を回り直接若狭湾内に侵入したと思われる。また隠岐海峡にも強い流れが8月にみられたことは、53年12月舞鶴市で開催された第33回日本海洋調査技術連絡会議⁴⁾でも確認されている。更に若狭湾協同調査で実施した53年7月下旬の第八管区海上保安本部⁵⁾の観測結果によると若狭湾沖及び湾口付近における流れが例年に比較して対馬暖流が強く接岸していることを指摘している。

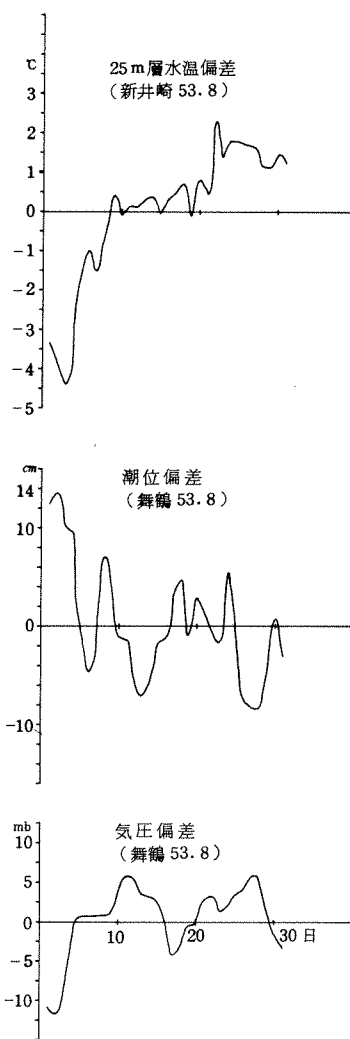


図8 水温・潮位・気圧の変化 (53.8.1～31日)

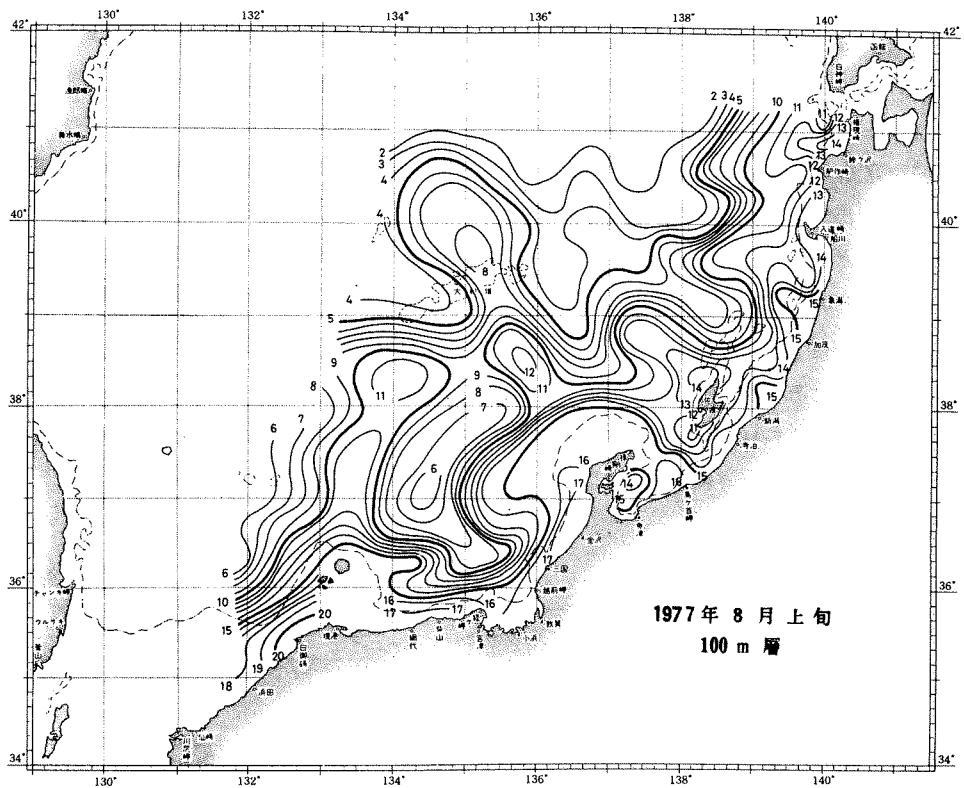


图9 100m層水温水平分布图

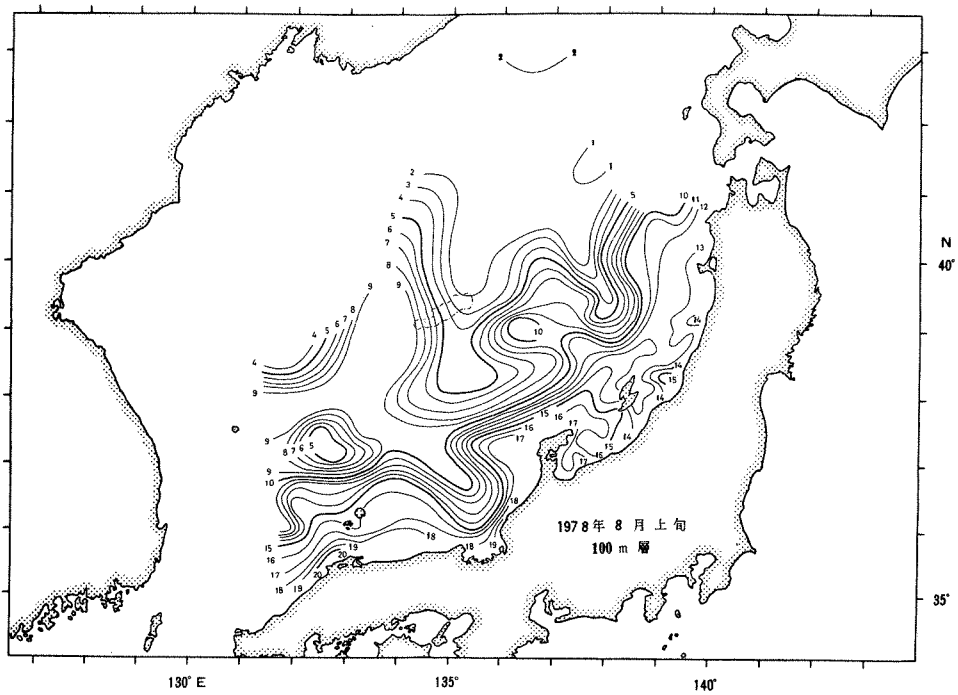


图10 100m層水温水平分布图

本年8月の持続的昇温現象は、以上述べたように優勢な高気圧と対馬暖流の強さと接岸に基因していると考えられるが、対馬暖流が例年になく強くしかも流れは若狭湾口へ指向しているにもかかわらず昨年のように潮位偏差に現われていない。また25 m層の降温時期は、昨年より15日程遅く8月31日から急速に降温がみられるがやはりこの時に若狭湾西部海域で水塊の入れ替わりが大きくあったものと考えられる。

水温変動と流況 8月7日から10日にかけて観測したMTOM-5 Aによる水温流速連続記録を図11に示した。水温についてみると、25 m層では7日に25.0℃前後の値であったものが、8日昼には26.5℃以上にまで昇温し、同日夜には一時降温したものの翌9日昼には再び26.5℃以上に昇温し、そのまま10日昼の観測終了時に至る。また、50 m層でも8日昼と9日昼に昇温がみられ、大局的には同じ変動を示している。この時期は、上述の日平均水温変化でみた昇温現象が頂点に達する時期であり、この時点で昇温現象が50 m層にまで及んでいる事が知れる。

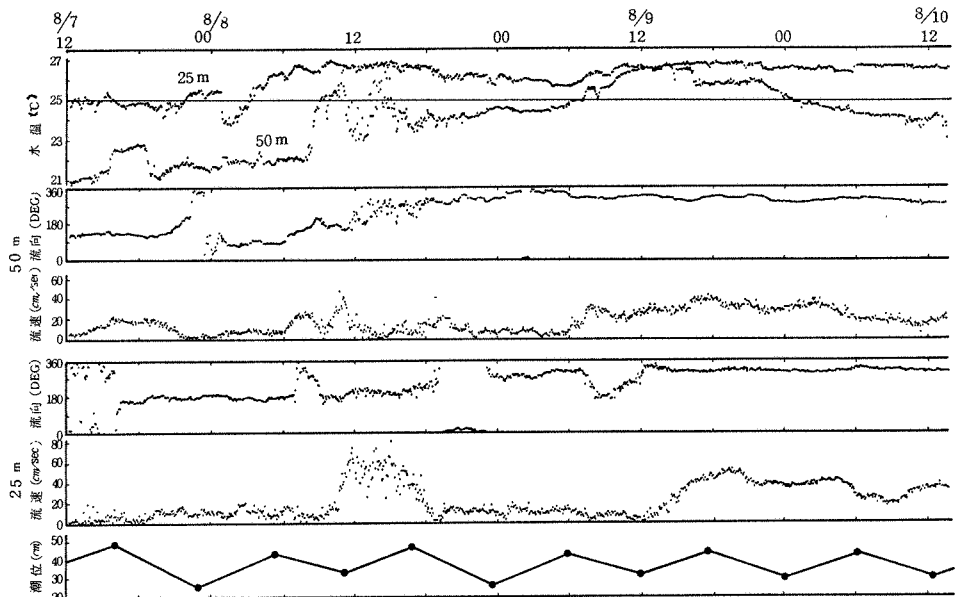


図11 冠島定点における水温・流向・流速の連続記録および舞鶴港の潮位（潮汐表）

流況についてみると、25 m層の流向は8日午後までは南流が卓越し、9日以降は北西流が卓越する。また、流速では8日昼と9日午後以降に速い流れがみられる。50 m層の流向は8日午前まで南東流が卓越し、同日午後には南西流から北西流へと向きを変え、同日夜以降は北西流が続く。また、流速では7日午後と8日朝に少し速い流れがあり、9日朝から10日朝まで速い流れがみられる。つまり、25 m層と50 m層とは多少ずれはあるが、大局的にはよく似た流況を示していると言える。

水温変動と流況を大まかにみると、流速の速い期間は高水温期間と重なる。また、水温の第

一の山は流向が変化する時期であり、第二の山は一定方向の流れの中で現われている。この変動を詳細に検討すると次のようになる。

25 m層の水温変動は先に述べた滑らかな変動以外には、8日1時から3時半の約1.5℃の降温とその回復が唯一の急変化である。一方、流向は先に述べた大きな変化の間に2～5時間の転流とその回復が4回みられる。そのうちの3回は落潮時に当り、潮汐と関連している可能性がある。流速は8日11時から18時が50～80 cm/sec、9日15時以降が30～50 cm/secの速い流れで、他は20 cm/sec以下である。また、流速は潮汐周期との対応がみられず、全体としての流況の中で潮流の関与は小さいと言える。こうした水温和流況の変動には急激なものも幾つかあるが、相互に同時変化は見られず、大局的相似がみられるにもかかわらず、短期的な関連は示していない。

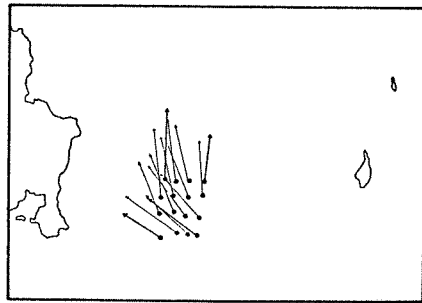
50 m層ではこの期間の変動を3つの特徴の異なる変動として扱えられる。第1は、7日から8日6時の時期で、水温は7日15時半から18時半の約1.5℃の矩形波的昇温と、7日22時、8日1時、同4時の3時間間隔での0.5℃のスパイク状昇温をみせながら、基調として21℃から22℃に昇温している。流況は南東流が卓越しているが、流速が弱く、7日22時から24時にみられる転流とその回復時期にはほとんど流れが無くなっている。水温変動と流況とは関連が乏しく、しいて挙げれば7日午後の矩形波的昇温期の流速が比較的速かった点がある。第2は、8日6時から20時の時期で、水温は11時と14時半にピークをもつ2つの山が見られ、その昇温は4.5℃に達している。また、2つの山が形成される間に5分間隔の観測値で1.5～2.0℃の激しい振動が付随している。そして振動が終った時点で、この時期の初めの22℃から24℃に昇温している。流向は南東流から徐々に南西流そして北西流へと変化しているが、特に南西流付近では流向の乱れがみられ、観測点の北東に位置する冠島の地形的影響を受けていると考えられる。流速は7時から11時までで20～40 cm/secを示すが、以後は20 cm/sec以下と弱くなる。この結果は、激しい水温変動が流向変化と同時に起っており、特に南流時に著しい昇温を示した点が特徴と言える。第3は、8日20時から観測終了に至る時期で、水温は24℃から滑らかに上昇し、9日11時から16時まで25 m層水温と同じ26.5℃を記録し、16時半に約0.5℃の急な降温をみせた後は徐々に降温し、観測終了時には24.0℃に復している。この間、流向は安定した北西流を示し、流速は9日7時から10日6時までで20～40 cm/secのやや速い流れが比較的安定してみられる。以上の3つの期間を通して、水温変動にも流況にも潮汐周期と対応する変化はみられない。

この50 m層で顕著に見られた変動特徴の時間的変化は、50 m層と25 m層の変動の大局的な一致から、25 m層にも弱いながら当てはまると考えられる。このことは、ここでの昇温現象が、主に流向の南から北西への変化を背景として、水温分布の構造的変化が生じたためと考えられる。

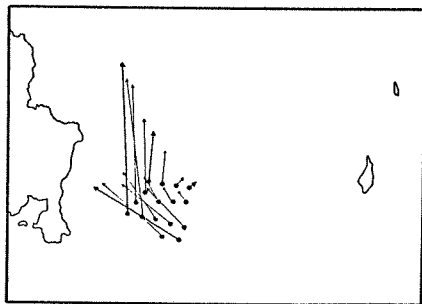
また、図12には8月8・9・10日に行なった漂流ブイの流跡を示した。この図から明らかなように、ブイは北もしくは北西に流れており、しかも時計回りに流れる性格をみせている。これを冠島定点での流況と合わせ考えると、8日に冠島西方に中心をもつ時計回りの渦流が東

に移動し、9日以降には渦流の中心が冠島東方になり、その過程で冠島定点での流向が南から南西そして北西へと変化したと言える。

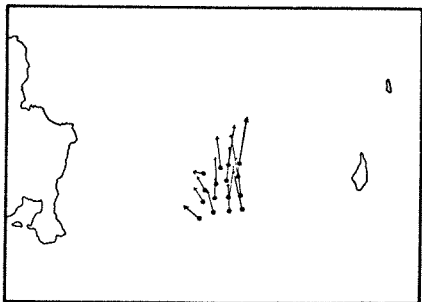
水温分布構造の変化 計5回のDBTによる水温分布観測のうち、8日午前水温深度曲線を図13に示した。定点1, 2, 3では



8月8日 1220 → 1420



8月9日 1130 → 1430



8月10日 1147 → 1415

図12 漂流ブイの流跡

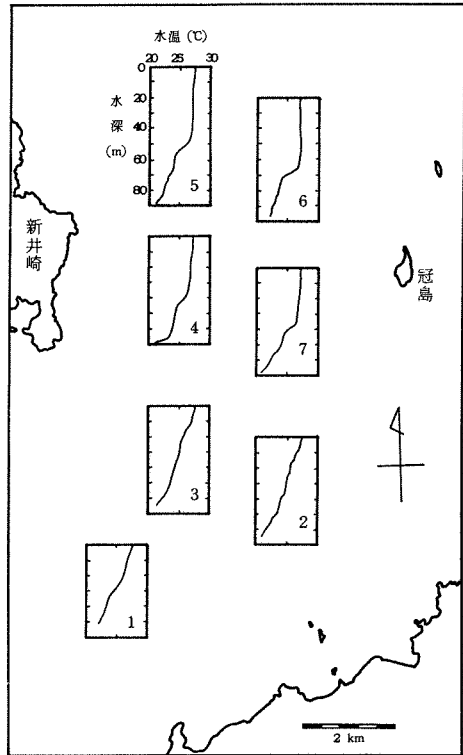


図13 8月9日午前の観測点別水温深度曲線

成層期によく見られるプロフィールを示しているが、北側4定点では表層混合層が著しく

発達し、特に定点5, 6では50m層までが表層と同水温になっている。水温連続記録でみられた50m層の昇温現象は、この水温鉛直分布と同一現象と言える。このような発達した表層混合層は、第一水温躍層の深さとして表現できるので、以後の水温分布観測結果を第一水温躍層の深さで図14に示した。8日午前では、図13でみたように、北に向かうにつれて第一躍層が深くなり、50m層に達している。8日午後では、定点4(新井崎沖)で浅くなっているが、東側3点では40m以深に達している。9日午前では、定点1を除き全定点で深くなり、定点4と7が50m以深に達している。9日午後には、定点7が深さを維持しているものの、他の定点では全体に浅くなり、定点2と3で特に浅くなった。10日午前では、西側4定点は

全て浅くなり、東側も定点6がやや浅く、南東部の定点2と7のみが深くなっている。以上のことから、発達した表層混合層をもつ水温構造が、この海域を北西から南東へ移動したと考えられる。

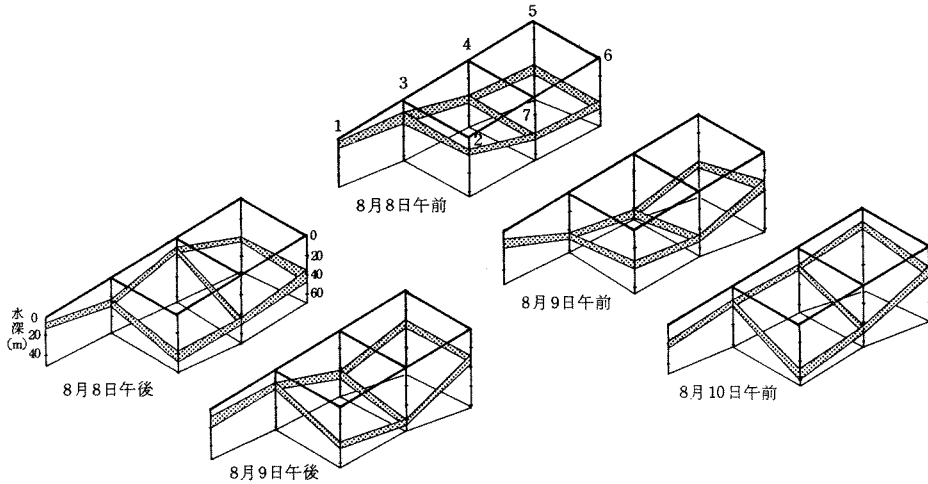


図14 観測時別の第一水温躍層の分布

但し、定点2と4では全体の動き以外の変動が加わっており、局所的な地形の影響が水温構造に反映している可能性がある。

図15には定点7での連続観測結果を示した。観測時間が昼間の2, 3時間に限られるが、3日間の定点7での水温構造の変動の特徴を示している。即ち、8日には第一水温躍層が急激

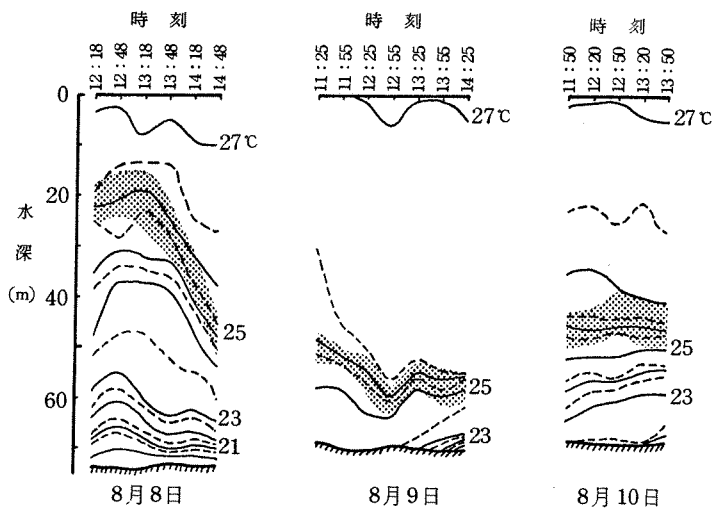


図15 定点7における水温および第一水温躍層の変動

に沈降する局面を見せている。9日は表層混合層が50m以深にまで発達した局面を示し、しかも後半には底層への冷水の侵入が見えている。そして、10日は第一水温躍層以深の冷水が発達し、第一水温躍層が再び押し上げられた局面と考えられる。このように、水温鉛直分布の時間的経過をみると、深

層での昇温現象がこうした水温構造の急激な変化に起因すると理解できる。

この海域の水温分布構造に影響する要因としては、気象条件と沖合海流が挙げられるが、調査時期の天候は穏やかで、第33回日本海海洋調査技術連絡会資料によると、この時期の経ヶ岬沖には1.2ノットの東流があったことから、50 m層に及ぶ昇温現象を引き起した水温分布構造の変化は、丹後海に流入した暖水が時計回りの渦流となり、その成長に伴って層を厚くし、徐々に南東に移動したものと推察される。

まとめ 昭和52年4月から開始した固定点における常時水温連続観測によって夏季における25 m層の昇温現象、並びに25 m層以深の厚みのある暖水の出現が確認された。この現象についてこれまで得られた事実と現象のスケールに応じて整理してみる。

1. 1か月にわたる昇温の持続 これは優勢な太平洋高気圧と対馬暖流にみられる気象海象の安定さに関連しているものと思われる。若狭湾の環流のタイプ及びその持続性と昇温現象の対応関係の有無が今後の課題であり、過去のデータの見直しと今後のデータの集積によって明らかにされねばならない。
2. 3～4日規模の変動 これは昨年25 m層でみられた昇温現象であるが、今年MTCM-5Aで観測した50 m層の水温変動にもこの規模のものがみられる。問題は、この時間スケールの水温変動と今回の水温分布観測などから推測される渦流としての暖水の形成・成長・移動が同一か否かである。この渦流の存在はこんど観測によって確認されねばならない。

なお、この現象が対馬暖流及び若狭湾環流系の単なるユラギであるのか、それとも若狭湾環流系及び暖水の形成・維持の素過程としての環流への運動エネルギーと熱量を補給する機構であるのか、それとも若狭湾環流の形成もしくは環流パターンの変遷過程そのものであるのか興味のあるところである。

3. 1日弱の変動 これは新井崎の水温変動に顕著にみられるものであって、内部波フロントの移動、岸近くの局所的流況の変動などが想定され、今後いろいろ作業仮説がたてられるところである。この規模の変動は、一定水深における水温変動としてでなく、昇温層の下面、即ち第1躍層の深さの変動としてみれば、前記の3～4日規模の変動と同じ性格のものである可能性も考えられる。

若狭湾の環流パターンは若狭沖冷水域の離・接岸と関連していることが報告されている。今回の観測結果も昇温層の厚さの変動と底層(60～70 m)での底層水との対応がみられる。この底層水の挙動との関連も今後の課題である。

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、調査課久米課長、京大川合教授、同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平安丸・みさき丸乗組員諸氏並びに京大水産物理学研究室の諸氏に心から感謝の意を表します。なお、本研究の一部は、文部省科学研究費によった。

文 献

- 1) 加藤安雄・坂野安正：沿岸海洋の変動，京都府立海洋センター，1，181—186 (1977)。

- 2) 舞鶴海洋気象台海洋課：若狭湾(Ⅲ)，沿岸海洋研究ノート，12(2)，145-149(1975)。
- 3) 谷岡克己：山陰地方の高潮，舞鶴海洋気象台研究時報，14(8)，(1962)。
- 4) 日本海海洋調査技術連絡会：昭和53年日本海の海況について，第33回日本海海洋調査技術連絡会会議資料，(1978)。
- 5) 第八管区海上保安本部：昭和53年度における若狭湾共同観測結果について，若狭湾共同調査連絡会会議資料，(1978)。