

1992年6月に相模湾内で観測された水温逆転現象について

清水顕太郎・山田佳昭・岩田静夫・伊藤和紀

On the inversion of water temperature was observed at June 1992 in Sagami Bay

Kentarou SHIMIZU#, Yoshiaki YAMADA##, Shizuo IWATA# and Kazunori ITOU###

ABSTRACT

Monthly observations on fixed line in Sagami bay and Tokyo bay were conducted by Fisheries Research Institute of Kanagawa Prefecture since 1964. Inversion of water temperature which was not observed by observations on fixed line at stratified period was observed in Sgami Bay at June 1992.

Oceanic conditions at inversion of water temperature was coastal water with high temperature and low salinity distributed from the mouth of Tokyo bay to around of Miura peninsula and off shore water high temperature and high salinity flow into Sagami bay from Oshima east channel.

It was considered that the inversion of water temperature was brought about off shore water which accompany flow into Sagami bay with close the land for Kuroshio current intruded under coastal water.

はしがき

神奈川県では1964年以来相模湾内に定点を設け、毎月1回の海洋観測を実施している。1991年4月にCTDを装備した新調査船「うしお」が建造された。CTDが整備されたことにより、従来の観測機器では観測できなかった水温、塩分、溶存酸素量などの鉛直連続測定が可能となり、海洋の微細構造を捉えることができるようになった。

成層期の1992年6月1～3日に相模湾でCTD観測により水温の逆転現象が捉えられた。この現象は約2週間後の1992年6月16～19日に相模湾内で東京水産大学が実施した調査船「青鷹丸」によるCTD観測でも捉えられた。成層期に相模湾内において、海洋観測により水温逆転現象が捉えられたのは1964年以来初めてのことである。

本報ではこの水温逆転現象の物理的な特徴と発生要因について検討した。

観測及び資料

海洋観測は1992年6月1～3日と16～19日に図1の測点で水産総合研究所調査船「うしお」と東京水産大学調査船「青鷹丸」によるCTD観測を行った。前者のCTD観測は6月1日にSta.13、27、29、32、136を、2日にSta.14、15、22～26を、3日にSta.16～21を、後者の

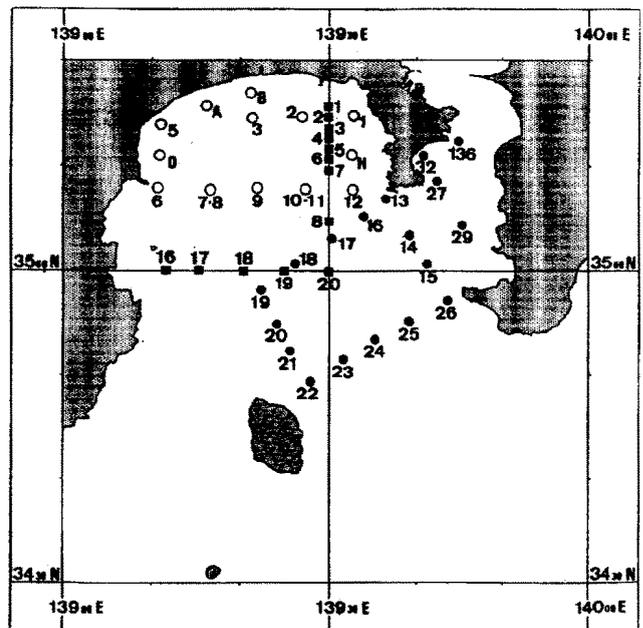


図1 相模湾内の観測点
(水産総合研究所の観測点、同相模湾試験場、東京水産大学)

C T D観測は6月17日にSta.16~20を、19日にSta.1~9をそれぞれ行った。

観測水深はSta.32が30m深、Sta.13、26、27が50m深、Sta.136が75m深、Sta.19、22が600m深、残りの測点が250m深であり、青鷹丸による観測水深は500m深(水深が500m未満のときは海底上10mまで)である。

観測項目は水深、水温、塩分、溶存酸素量、pH等である。得られたデータから水産総合研究所は1m毎、東京水産大学は0.1m毎のデータセットを作成し、水温、塩分、密度について解析した。

また、C T D観測前後における水温、塩分の水平分布を検討するため、水産総合研究所の水温、塩分資料に1992年6月に水産総合研究所相模湾試験場が観測した相模湾の水温、塩分資料、東京都水産試験場大島分場が観測した伊豆諸島北部海域の水温、塩分資料、静岡県水産試験場伊東分場が観測した相模灘西部から大島西水道の水温、塩分資料を加え、広域の水温、塩分の水平分布について検討した。さらに、黒潮流軸変動について八丈島と三宅島で得られた潮位記録に気圧補正(1hPaの気圧変化1cmの水位変化を起こす)を施した日平均潮位から検討した。

結 果

1. 水温、塩分の鉛直変化

水産総合研究所の相模湾内の測点の200m以浅の水温と塩分の鉛直分布を図2に示す。Sta.13、16、18、25に

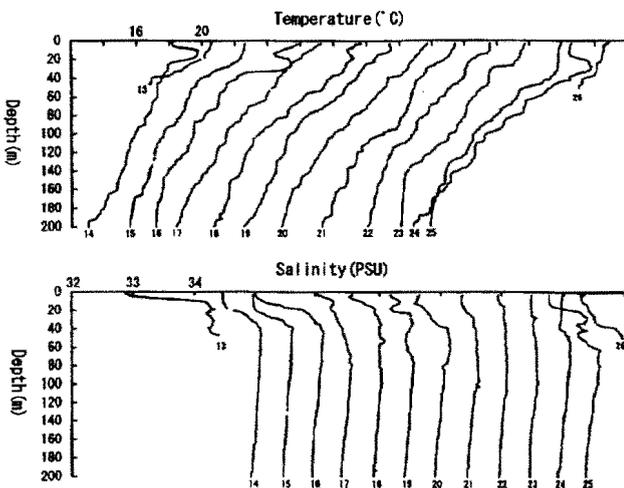


図2 6月2-3日の各観測点の水温、塩分の鉛直変化水温は2、塩分は0.5PSUずつずらしてポットしたもの、下の数字は測点名を表す

おける表層水温は10~30m深よりも低く、水温の逆転現象がみられる。特にSta.13、16、25では表層よりも約1.5~2高く、顕著な水温逆転が認められる。Sta.18では表層との差は約0.7と小さかったものの、弱い水

温逆転現象がみられる。水温逆転現象は、Sta.13で約13m深、Sta.16で約25m深、Sta.18で約20m深、Sta.25で約30m深が中心になっている。Sta.13、16、25の水温逆転層の直下では水温が急激に低下し、顕著な水温躍層が形成されている。特にSta.16では顕著である。

塩分の鉛直変化をみると、Sta.13、14、15、16、17、18、19、25、26では概ね50m以浅に顕著な塩分躍層が形成されている。特にSta.13、16、25、26の表面塩分は34.0PSU以下で、陸系水の影響が強い水塊が表層に分布している。これらの測点のうちSta.26を除くSta.13、16、25では顕著な水温逆転がみられる。Sta.18でも水温逆転がみられるが、塩分は他の3測点に比べ高い。

いずれの測点でも概ね50~100m深に34.5PSU台の塩分極大がみられ、それ以深では塩分は徐々に低下する。Sta.21~24では表面塩分は他の測点より高く、表面~200m深の鉛直変化は極めて小さい。一方、水温逆転現象がみられたSta.13、16、25では50m以浅で複雑な塩分変化を示している。Sta.25をみると(図3)表面に約33.8PSUの低い値がみられるが、水温逆転がみられた約30m深での水温上昇に対応して塩分も34.4PSUに急上昇している。30~50m深では塩分はスパイク状に変化し、低塩分水と高塩分水が複雑に接していることが伺われる。50~60m深にかけて塩分はさらに上昇し、約60m深で塩分約34.6PSUの極大値を示し、それ以深になると塩分は

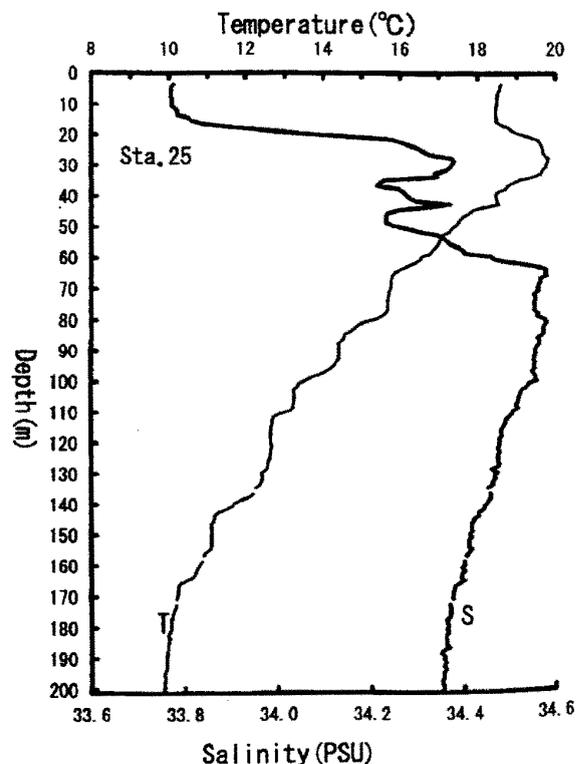


図3 Sta.25の水温、塩分の鉛直変化

徐々に低下している。

2. 水温逆転現象の特徴

(1) 水温、塩分、 σ_t の鉛直分布

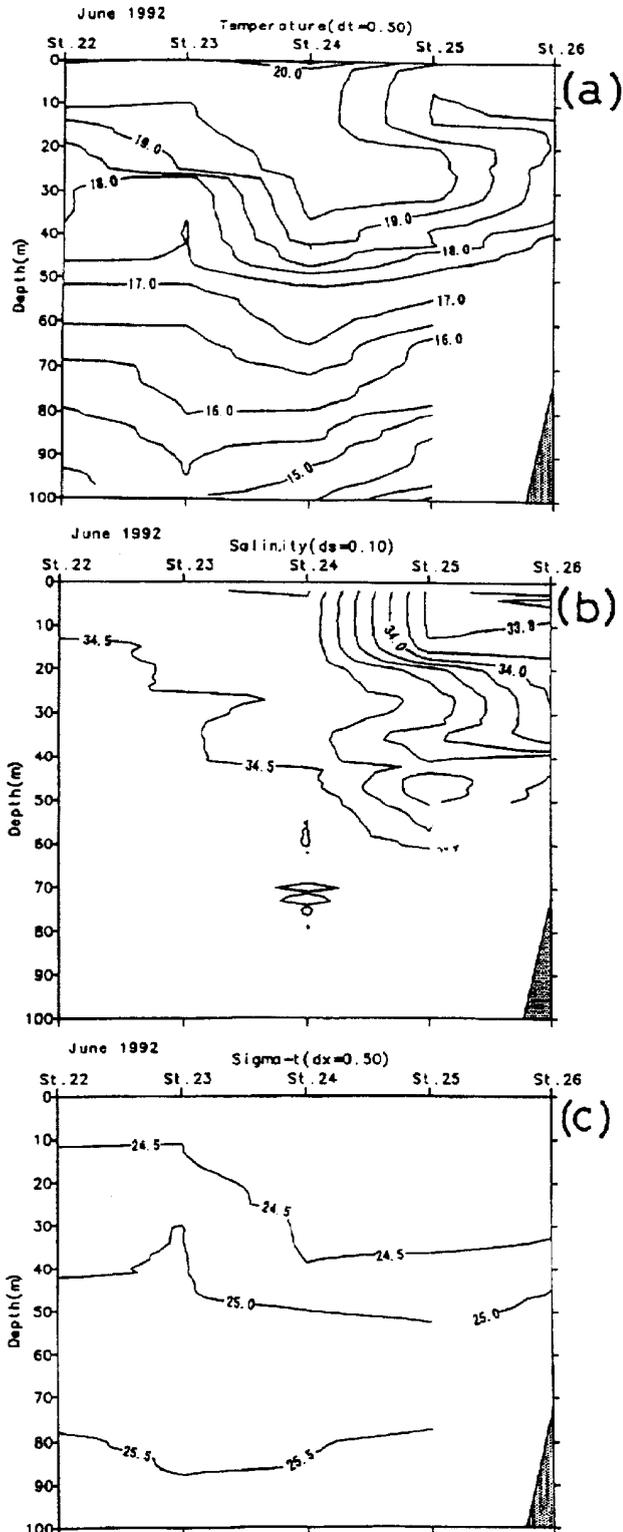


図4 6月2日のSta.22-26の水温(a)、塩分(b)、密度(c)の鉛直断面図

6月2日に観測された大島東水道のSta.22-26の100m以浅の水温、塩分、密度(σ_t)の鉛直分布を図4に示す。水温は概ね45mを境にその上層では複雑な分布を示すが、下層では水温の水平方向の変化は小さく比較的単調な分布を示す。

上層に注目すると、19.0以上の高温水は大島付近のSta.22では約15m深以浅に分布するが、Sta.24に向かって深くなり、約40m深まで達している。この高温水はSta.25では約20m深から約35m深に楔状に分布し、その上層にSta.25-26に分布する19以下のやや低温な水が重なり、顕著な水温逆転を形成している。

一方、塩分はSta.22-24では表面から100m深まで34.4~34.6PSUの高塩分の沖合系水が分布しているが、房総半島側のSta.25-26では塩分34.4PSU以下の低塩分の沿岸系水が約60m深まで分布している。この低塩分水の水温は19以下であり、水温・塩分からみて陸水の影響を強く受けた沿岸水であろう。Sta.25の約20~30m深には塩分34.0~34.3PSUの塩分がやや低い水が楔状に貫入している。水温は高く19台である。

密度分布をみると、 $\sigma_t 24.5\text{kg/m}^3$ 以下の軽い水はSta.22-24で浅く約10m以浅に分布するが、Sta.24-26では35m深付近まで達している。 $\sigma_t 24.5\text{kg/m}^3$ の等値線はSta.22-25では水温19.0の等値線に概ね対応している。

17日後の6月19日に観測されたSta.1-9の100m以浅の水温、塩分、密度(σ_t)の鉛直分布を図5に示す。

水温は6月2日の観測よりも深い60m以深では、水温の水平方向の変化は小さい。沖合側のSta.9では、21以上の高温水は約15m以浅に分布しているが、湾奥側のSta.3~7では約10m以浅に分布する20台の低温水の下層から約35m深に貫入し、顕著な水温逆転を形成している。

塩分は約40m以深では概ね34.4~34.5PSUであり、水平方向、鉛直方向とも塩分変化は小さい。40m以浅になると、Sta.1-4と8-9では表面~約20m深まで34.0PSU以下の低塩分水が分布しているが、Sta.5-8では浅く、約10m以浅に分布している。沿岸側のSta.1-2とSta.3-7の表層付近の塩分は低く、33.6PSU以下である。Sta.5-7では約10m深で等値線が密になり、顕著な塩分躍層を形成している。Sta.6-7の約10~30m深に34.4PSU以上の高塩分水(水温は21台)が分布している。この水塊は水温、塩分からみて黒潮系沖合水であると考えられる。

密度の分布をみると、 $\sigma_t 24.0\text{kg/m}^3$ 以下の軽い水はSta.7-9では約20m深まで分布しているが、Sta.6-7では浅く約10m深である。陸岸側のSta.1-8の10m以浅に $\sigma_t 23.6\text{kg/m}^3$ 以下の軽い水が分布している。この水塊は水温、塩分からみて陸水の影響を強く受けた水で

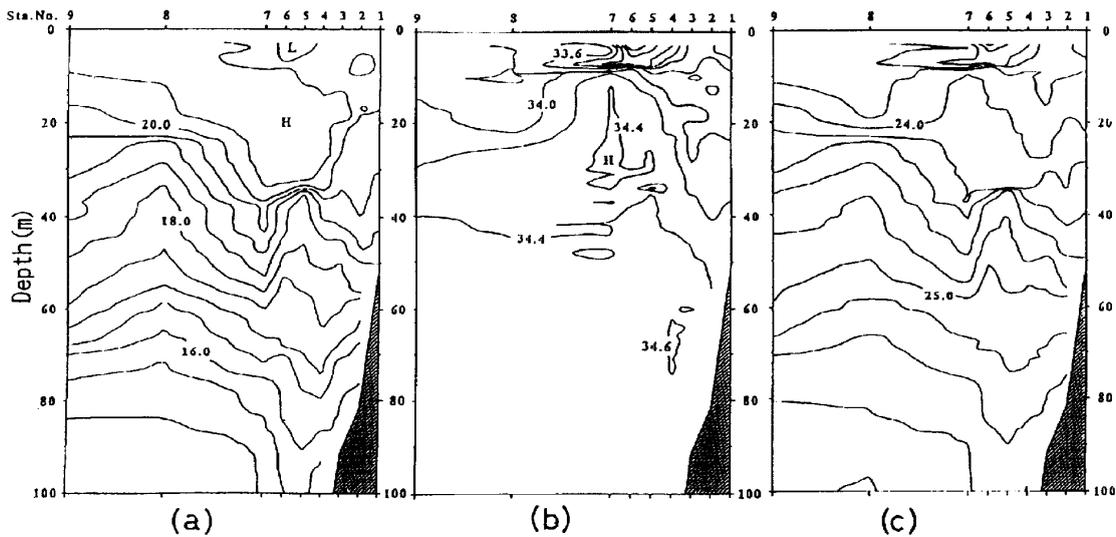


図5 6月19日のSta. 1-9の水温 (a) 塩分 (b)、密度 (c) の鉛直断面図

ある。Sta. 6 - 7 では約 10 ~ 35m 深に $t24.0 \sim 24.2 \text{ kg/m}^3$ の水がみられ、水温 21 台、塩分 34.4PSU に対応し、ほぼ等質の水であることがわかる。

(2) 水塊について

6月2、3日に観測したSta.13、16、25では水温逆転がみられた20~30m深付近に高温、高塩分水が分布していた。これら水塊の特性についてT-Sダイアグラムから調べた。図6-a、b、cに示すように各測点の水塊特性は3パターンに分類される。3パターンとも $t25.0 \text{ kg/m}^3$ 以上 (水温 17 以下、塩分 34.3PSU 以上、約60m以深) になるとほとんど同じ水温と塩分の関係にある。

陸岸に近いSta.14、15のT-S曲線は弧を描くようなパターンを示している (図6-a)。このことは表層に塩分の低い沿岸水が分布していることを示している。これに対し、沖合のSta.22、23では水温は 20 以下で、表面~100m深まで 34.5~34.6 PSU の高塩分水が分布し、直線的なパターンを示す (図6-b)。

図6-cに水温逆転がみられたSta.16、25のT-Sダイアグラムを示す。Sta.16、25では水温逆転層にあたる $t24.3 \sim 24.4 \text{ kg/m}^3$ 付近の水塊 (水温 19 台、塩分 34.0~34.2PSU) が沖合系の表層水の水塊特性に近く、これを除くと表面塩分は図6-aより低いものの、図6-aと同じようなパターンを示す。

6月19日の相模湾内で観測された水温・塩分から6月2、3日の解析と同様に、T-Sダイアグラムを作成し、水塊特性について検討した。その結果、6月2、3日のときと同様に3パターンに分類された。陸岸に近い観測点では、表層に塩分が低い沿岸系水の影響を受けた水が分布するために、海面付近でばらつきがあるものの弧を描くようなパターンを示した (図7-a)。沖合に位置す

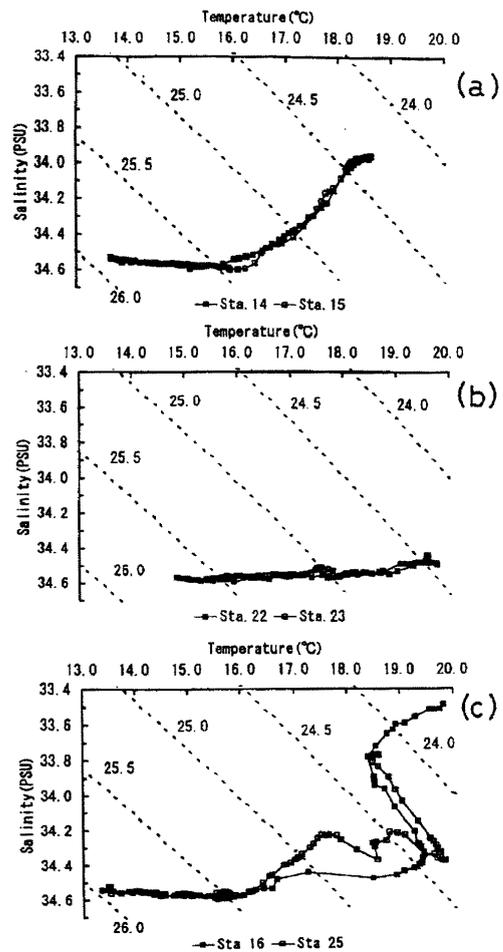


図6 6月2 - 3日の沿岸側の測点 (a)、沖合側の測点 (b)、水温逆転が見られた測点 (c) の T-S ダイアグラム

る Sta.20 では、水温は 20 以下であり、表層から下層にかけて塩分 34.0~34.5PSU の高塩分水が分布し、直線的なパターンを示す(図 7 -b)。水温逆転がみられた Sta. 4-7 では、水温逆転層にあたる $t24.0\text{kg}/\text{m}^3$ 付近の水塊(水温 20 台、塩分 34.2~34.5PSU)だけが沖合側の測点の表層水に近い水塊特性を示し、それ以外は図 7 -

a に示した陸岸側の測点と同じようなパターンを示す。また 6 月 2、3 日の観測同様、表面塩分は図 7 - a よりも低い。

これらのことから、6 月 2、3 日の Sta.16、25 の 30 m 深付近及び 6 月 19 日の Sta. 4 - 7 の 20m 深付近に水温逆転を引き起こした水塊は沖合系の水であり、水温逆転は沿岸水と沖合水の境界域で起こっていることがわかる。

6 月 2、3 日と 19 日に観測された水温逆転層の水塊を比較すると、前者は水温 19 台、塩分 34.0~34.2PSU、 $t24.3\sim 24.4\text{kg}/\text{m}^3$ に対し後者は水温 20 台、塩分 34.2~34.5PSU、 $t24.0\sim 24.2\text{kg}/\text{m}^3$ であり、特性値に差がみられる。

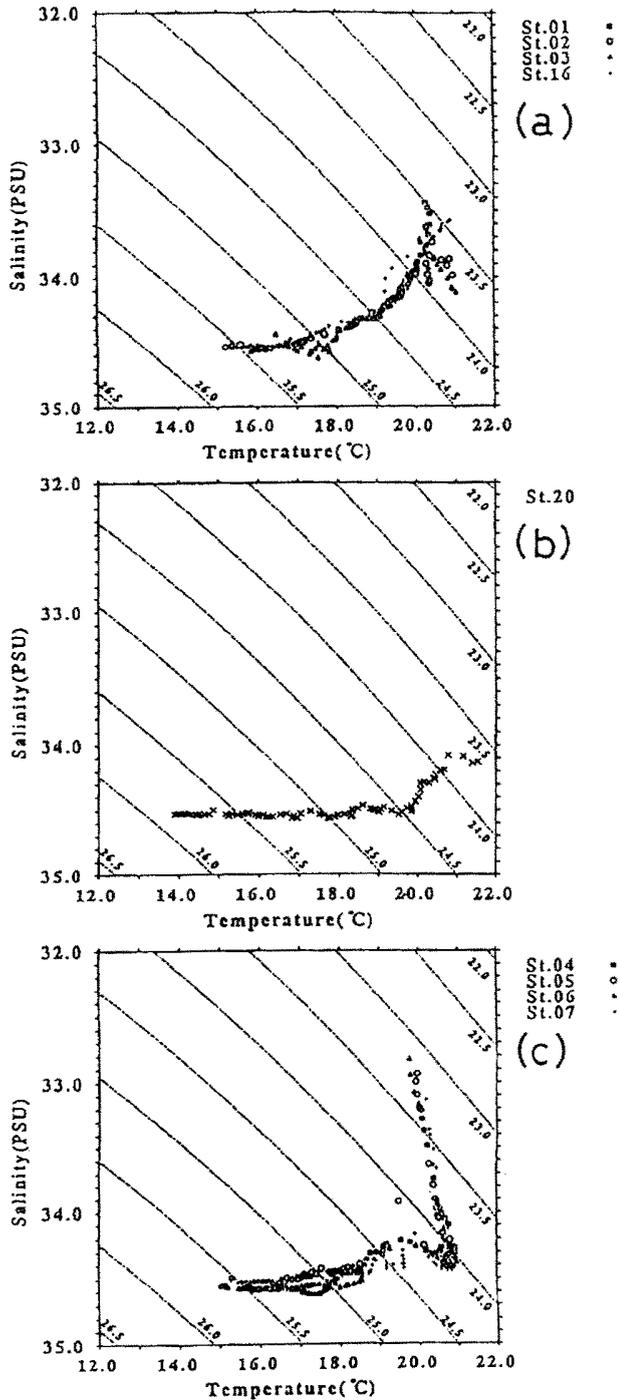


図7 6月19日の沿岸側の測点 (a) 沖合側の測点 (b)、水温逆転が見られた測点 (c) のT-Sダイアグラム

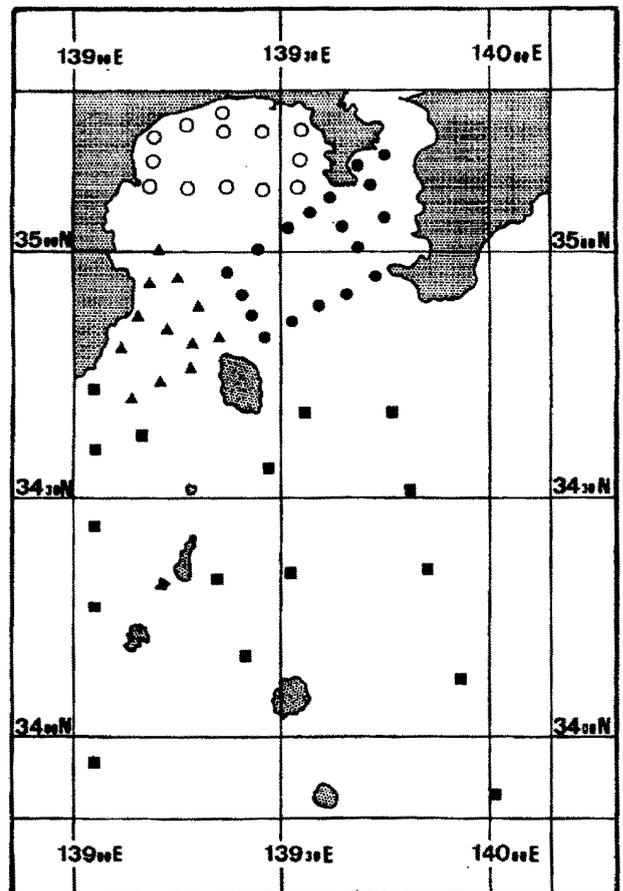


図8 神奈川県水産総合研究所、同相模湾試験場、東京都水産試験場大島分場、静岡県水産試験場伊東分場の観測点

- 神奈川県水産総合研究所
- 相模湾試験場
- 東京都水産試験場 大島分場
- 静岡県水産試験場 伊東分場

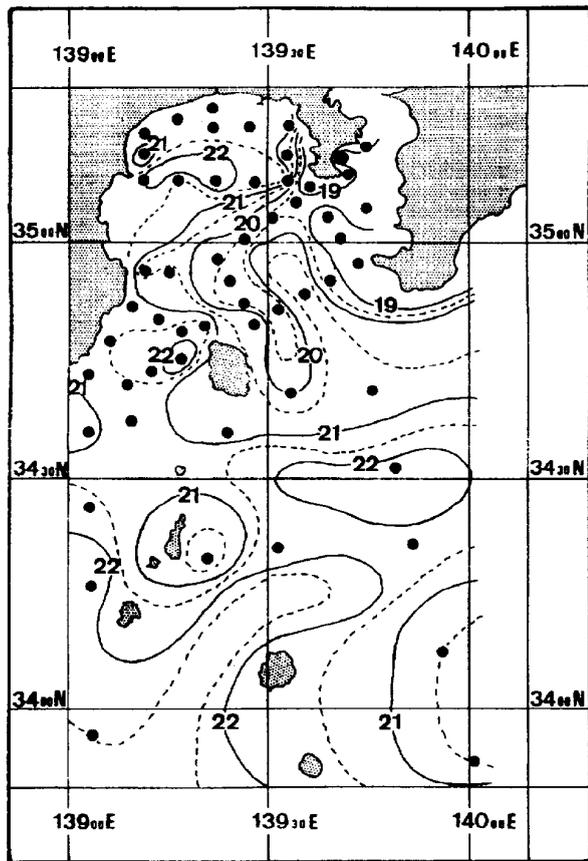


図9 (a) 6月1 - 5日の水温水平分布図(0m)

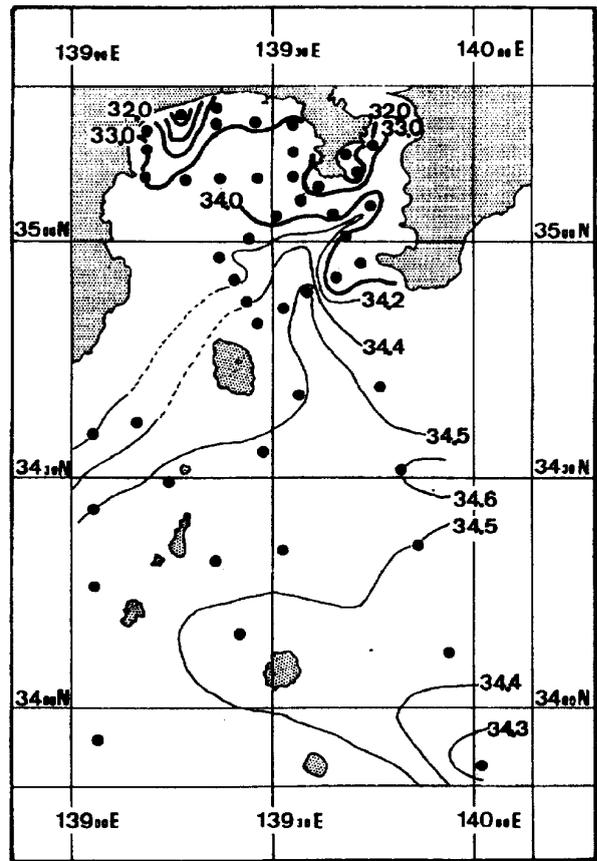


図9 (b) 6月1 - 5日の塩分水平分布図(0m)

3. 水温逆転現象時の海況

(1) 水温及び塩分の水平分布

神奈川県水産総合研究所及び同相模湾試験場、東京都水産試験場大島分場、静岡県水産試験場伊東分場が1992年6月に行った沿岸定線観測の観測点図を図8に示す。

神奈川県水産総合研究所は1～3日、同相模湾試験場は4日、東京都水産試験場大島分場は2～4日、静岡県水産試験場伊東分場は5日にそれぞれ海洋観測を実施した。この期間の海況変化は小さいと仮定し、水温、塩分データを扱った。

表面の水温と塩分の水平分布を図9-a、bに示す。21台の高温水は三浦半島以西から伊豆半島東岸にかけての海域と、大島西水道から大島南沖を経て房総半島南沖を結ぶ海域以南にかけて分布している。一方、20以下の低温水は三浦半島沿岸から大島東側にかけて舌状に分布している。大島東水道から相模灘東部にかけて20台のやや水温が低い水が舌状にみられる、州ノ崎から房総半島南端の沿岸には19以下の低温水が分布している。

塩分分布をみると、三浦半島周辺に分布する18台の水に対応し、33.0PSU以下の低塩分水が三浦半島東部沿岸域から西部沿岸域にかけて分布している。水温、塩分からみてこの水塊は東京湾系水と考えられる。洲ノ崎か

ら房総半島南端周辺に分布する18台の水に概ね対応して34.0PSU以下の水が分布している。相模湾奥から湾西部海域に33.0PSU以下の低塩分水が広い範囲に分布し、一部では30.0PSU以下の値を示す。この低塩分水は塩分分布からみて河川系水と考えられる。

大島東水道から相模灘中央にかけて34.5PSU以上の高塩分水が舌状に分布している。この高塩分水は20.5以上の高温水に対応していることから、黒潮系沖合水と考えられる。利島付近から房総半島沖合を結ぶ線以南に34.5PSU台の黒潮系水が広く分布しているが、三宅島の東側には34.3PSU以下の低塩分域がみられる。

以上により水温逆転がみられた時期に三浦半島周辺域に低温、低塩分な東京湾系水が分布していた。また大島東水道から相模灘に高温、高塩分の黒潮系沖合水が舌状に進入し、両水塊の中間的な特性を持った沿岸系水が複雑に分布していたことが伺える。

(2) 水温逆転現象時の黒潮変動

黒潮は地衡流と考えることができる。したがって、潮位変化から黒潮の離接岸を推定することが可能である。実測潮位から推算潮位を差し引き、さらに気圧補正(1hPaの気圧変化1cmの潮位変化を起こす)を施した三宅島と八丈島の日平均潮位変化を図10に示す。

1992年5月上旬～中旬には八丈島の潮位はわずかに正偏差しているが、5月中旬から急上昇し、6月10日頃ピークとなった。その後下降しはじめたものの、6月中は正偏差が大きい。一方、5月中の三宅島の潮位は負偏差しているが、6月3日頃から急上昇し、6月6日頃には負偏差は小さくなった。その後、6月16日頃一時的に負

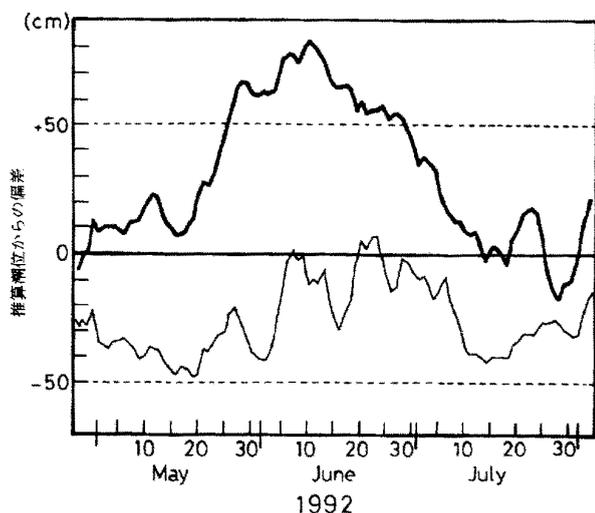


図 10 八丈島と三宅島の潮位の推算潮位からの偏差
(太線：八丈島、細線：三宅島)

偏差が大きくなったものの、概ね偏差は小さかった。

このことから5月中旬頃までは八丈島の近くを流れていた黒潮は、その後北上し、6月上旬中頃に三宅島に接近したとみられる。5月28日から6月4日までの一都三県漁海況速報(1992)¹⁾をみると(図11)、5月29日から6月1日にかけて黒潮が房総半島に接近し、この変化に伴い沖合系水が大島東水道から相模湾内に流入したことが判る。

考 察

6月2日のSta.24～25の10～35m深付近と6月19日のSta.4～7の10～35m深付近に高温、高塩分の密度一様な水が分布し、その上層に分布する低温、低塩分の沿岸水との間に水温逆転現象が観測された。この10～35m深付近の水は海水特性から考えると黒潮系水が湾内に進入したものと推察される。なぜこのような現象が起こったかを考えてみる。

6月2日前後の一都二県定線観測結果、一都三県漁海況速報(1992)¹⁾および潮位変化からみると(図9-a、b、10、11)黒潮が三宅島付近を通り、房総半島に接近して北東に流れていた。その時に大島東水道から21台の黒潮系水が相模灘に流入し、沿岸水との間に水温逆転が発生したものとみられる。6月19日に相模湾東部で水

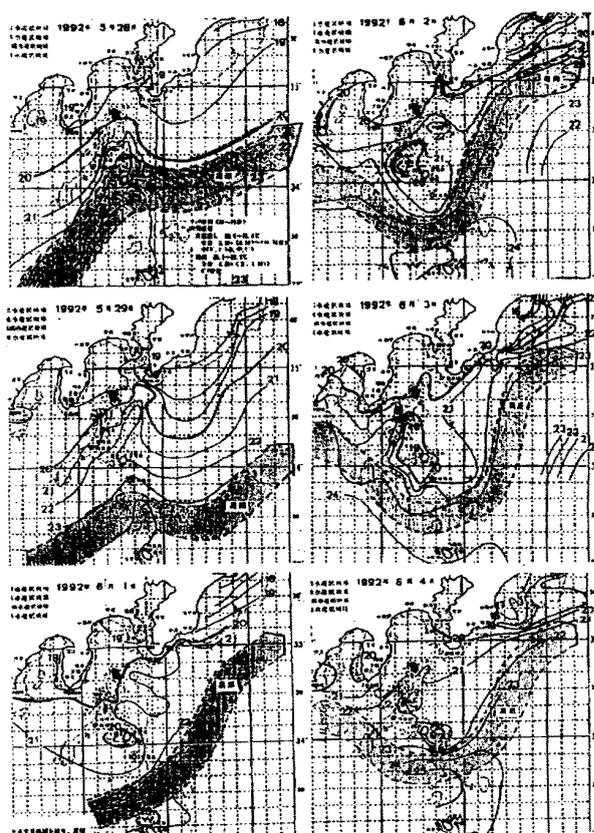


図 11 6月2-3日の前後の一都三県漁海況速報

温逆転現象が観測されたときの海況は同日の一都三県漁海況速報(1992)¹⁾をみると(図12)、6月2日と同様に黒潮は三宅島付近を通り、房総半島に接近するパターンを示す。21の等温線は6月2日前後よりもさらに北上し、湾東部に深く入り込んでいる様子が伺える。6月2、3日と6月19日に観測された水温逆転現象は、5月下旬からの黒潮が三宅島付近に接近し、さらに房総に接岸して流れたため、大島東水道から黒潮系水が流入して形成されたと考えられる。6月2日と6月19日の表層の海洋構造はほぼ同一パターンを示すが、水温逆転層の水塊特性に差がみられた。この差はこの間に大島東水道から流入する黒潮系水の特性値が変化したためか、あるいは黒潮系水が沿岸水と混合したため変質したのかは連続したデータがないためよくわからない。

今回報告した水温逆転現象は黒潮の接岸に伴う相模湾内への沖合系水の波及により発生したものと見られるが、このような沖合系水の波及は相模湾内の海水交換や、沿岸系水の形成、生物や物質の分布及び拡散等に大きな影響を及ぼすと考えられる。一般に今回のような水温、塩分が異なる水塊同士が接したとき、熱と塩分との拡散係数の違い(熱の拡散係数は塩分の100倍)から二重拡散

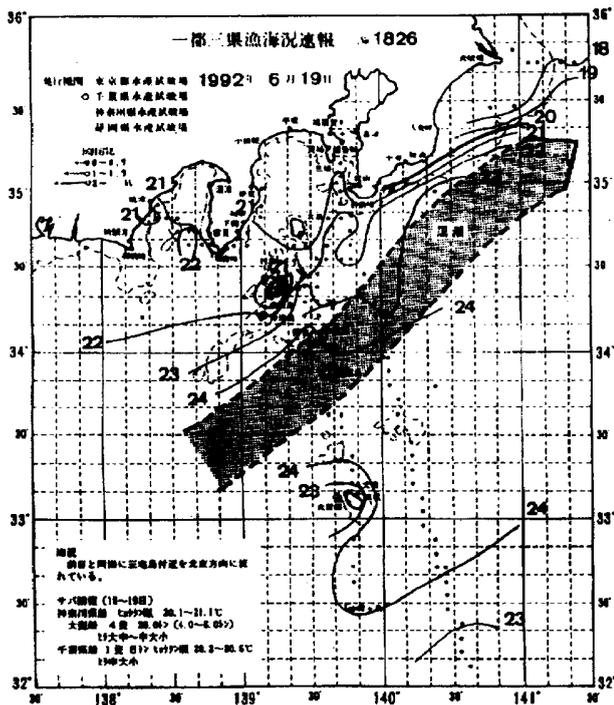


図12 6月19日の一都三県漁海況速報

対流 (double diffusive convection) と呼ばれる現象が起こることが言われている。(柳(1989)²⁾、宇野木(1993)³⁾ 二重拡散対流はソルトフィンガー (salt finger) と呼ばれる対流形式と安定過剰 (over stabilizing) または拡散型対流 (diffusive type convection) と呼ばれる対流形式の2種類に分類されるが、ともに現象が進むと海洋は多重成層構造を呈する。今回の観測でも二重拡散対流によるとみられる多重成層構造が水温逆転層の下層で観測されている (図13)。水温は3~5mの水深変化でほとんど水温が変化しない部分と、1mで水温が約0.5 変化する部分が交互に現れる階段状の構造がみられる。一方、塩分は水温が急変する部分でスパイク状の変化がみられるが、ほぼ一定の値を示している。他の測点でも二重拡散対流の発達に適した海洋構造がみられたが、このような成層構造はSta. 7でみられたのみである。二重拡散対流については成層作用がどのような条件下で発現するか、流速のシアや擾乱との相互作用、また海洋の微細構造や沿岸水の形成に対してどの程度影響するかなど未解明の部分が多く、今後観測の機会を設け解明したいと考えている。

摘 要

1. 1992年6月1~3日に行われた沿岸定線観測において成層期の相模湾では初めて水温の逆転現象が観測された。また、約2週間後の6月16~19日に東京水産大

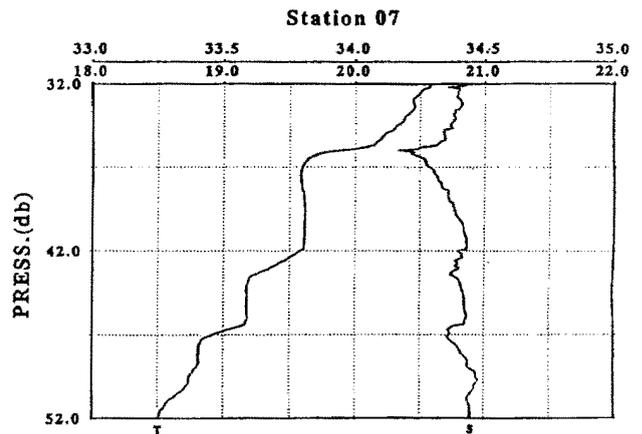


図13 6月19日のSta. 7の水温逆転の下部の水温、塩分の鉛直変化

学が相模湾内で行った海洋観測でも同様の水温逆転現象が観測された。

2. 水温逆転現象は黒潮の房総半島への接近に伴い、大島東水道から相模湾内に流入した沖合系水が、三浦半島周辺に分布していた沿岸系水の下に潜入することによって引き起こされたものであろう。

謝辞：本論文の作成にあたって有益な助言をいただいた東京水産大学の松山優治教授に心より感謝いたします。また海洋観測にご協力いただいた神奈川県水産試験場調査船「うしお」の乗組員の方々、東京水産大学研究調査船「青鷹丸」の乗組員の方々に深謝いたします。

引用文献

- 1) 東京都水産試験場、千葉県水産試験場、神奈川県水産総合研究所、静岡県水産試験場 (1992): 一都三県漁海況速報 1992年版
- 2) 柳 哲雄 (1989): 沿岸海洋学, 恒星社厚生閣, 109-111
- 3) 宇野木早苗 (1993): 沿岸の海洋物理学, 東海大学出版会, 491-495