

## 内湾域の流動・水質環境に及ぼす成層の影響に関する研究 (その3)

佐藤 敏, 吉 宣好: 海洋研究室

斎藤茂幸: 沿岸調査課

加藤弘紀, 和志武尚弥: 第四管区海上保安本部水路部

## Influence of the Density Stratification on the Mass Transport in Coastal Waters

Satoshi Sato, Nobuyoshi Yoshi: Ocean Research Laboratory

Shigeyuki Saito: Coastal Surveys and Cartography Division

Hiroyuki Kato, Hisaya Washitake: Hydro. Dept., 4th R. M. S. Hqs.

## 1. はじめに

伊勢湾においては環境基準達成を目指して水質改善の努力が行われてきているものの、依然として富栄養化に伴う赤潮、貧酸素水塊が発生し、生態系に対して大きな影響を及ぼし続けている。特に赤潮については、三重県水産技術センターのまとめによると、最近10年間の年間平均発生件数は20件を超えており、また、年間日数の3分の1を超える125日は伊勢湾内のどこかで赤潮が発生しているという状況にある。

本研究は、依然として赤潮が頻発しながらもその流況等物理環境について理解が未だ不足している伊勢湾を調査対象海域にして、長期間の連続観測等を平成4年度から4年計画で実施することにより、赤潮や貧酸素水塊の発生に重要な役割を果たす海況変動、特に成層の形成・発達・消滅に伴う海況変動過程が内湾の水質環境に与える影響について解明し、今後の水質改善対策等に資するものである。

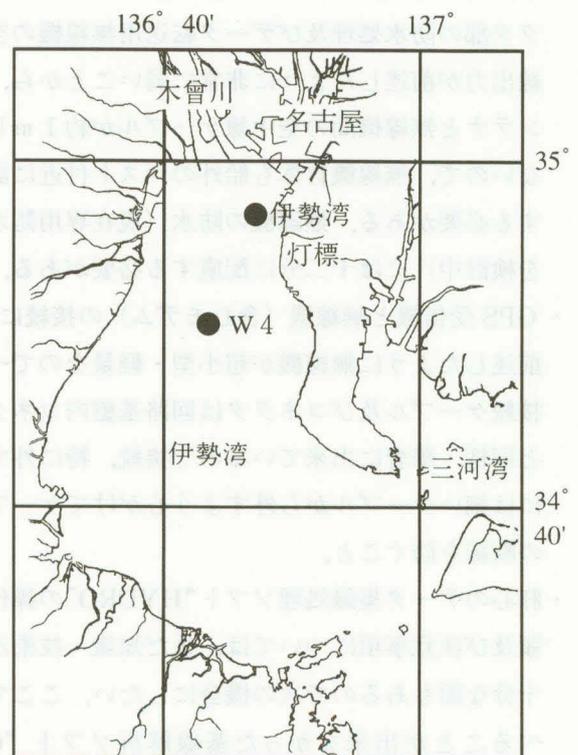
平成6年度は、本研究のテーマである成層について、その強い密度成層の時期から成層の弱まる時期まで、流れ等について長期間連続で観測を行い、成層の強弱に伴う海況の変化について調べるとともに、溶存酸素についても長期間の連続観測を実施し、成層との関係について検討した。さらに、伊勢湾及び三河湾を対象海域として、成層の状況に対応した内湾域の流れの変化についての予測を行うことを目的とした数値モデルの開発を行い、成層状況の変化

に伴う風に対する応答の変化等に関するシミュレーションを実行し、伊勢湾内の恒流等について検討を行った。

本稿では、平成6年度に実施した観測結果を紹介する。

## 2. 平成6年度観測概要

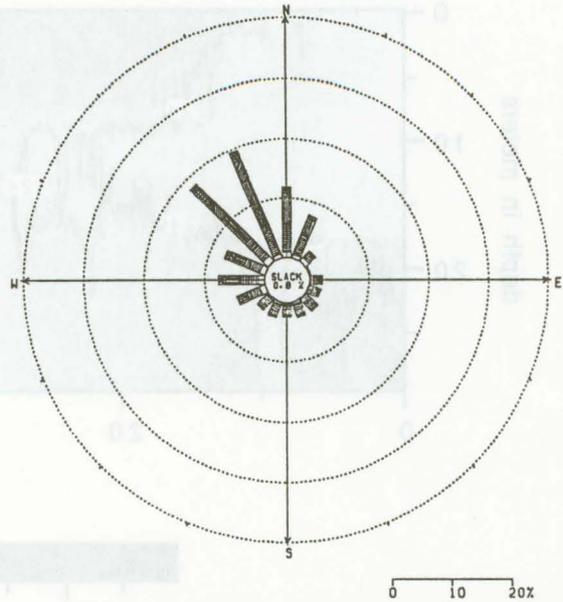
平成6年度の観測は成層構造が変遷していく過程を詳細に見ることを主眼として、第1図の観測点図



第1図 観測点

に示す伊勢湾灯標及びW4点において平成6年の9月下旬から12月はじめまでにかけて流向流速, 水温, 塩分(電気伝導度), 溶存酸素の長期間連続観測を実施した。伊勢湾灯標は伊勢湾奥部名古屋港の入り口の沖合い水深約10mの点に設置されている灯標である。この点において, 溶存酸素の変動を調べるため, 海面下3m層と海底上2m層に溶存酸素センサーを設置して, 1時間毎に溶存酸素の計測を行った。海面下3m層は順調に予定通りのデータを取得したものの, 残念なことに海底上2m層においては機器の不調により観測開始から10月初旬までの成層期のデータの取得はならなかった。一方, W4点は水深が約30mの場所であるが, ここでは, 海面下3m層, 10m層, 海底上2m層の3層での流向流速の観測をはじめとして, 全部で9層の観測を実施した。海面下12.5m層において一部期間欠測となったほかは, データを計画通りに長期間連続で取得することができた。なお, 両観測点における観測層別の観測項目は第1表に示した通りである。

第2図には, 観測期間中の四日市測候所における風向頻度を示した。最も出現頻度の高い風向は北北西(出現率19.6%)で, 次いで北西(出現率18.4%)



第2図 1994年9月20日～12月2日の四日市の風向頻度分布

が高く, 観測期間中は北から西よりの風が卓越しており, 夏季の南東の風の季節が終わってから観測を実施したことになる。

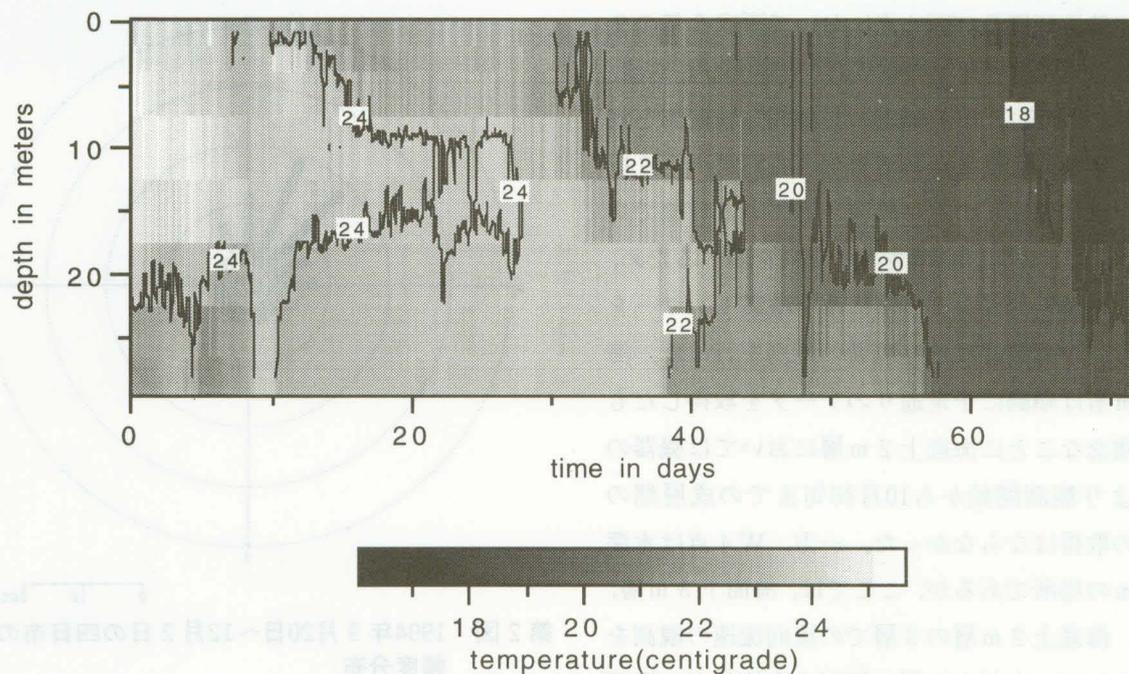
3. 平成6年度の観測結果

W4点における水温, 塩分及び密度の変化を第3図, 第4図及び第5図にそれぞれ示した。水温については, 観測を実施した9層のうち, 一部期間欠測となった12.5m層を除く8層のデータを用いて図を作成しており, 水温の低い部分を黒く表示し, 水温の高い部分を白く表示している。等値線については2℃間隔で示している。また, 塩分及び密度については, 電気伝導度について測定を実施した海面下1m, 3m, 10m及び海底上2mの4層のデータを用いて作成したものであり, 高塩分の部分と高密度の部分黒く表示している。

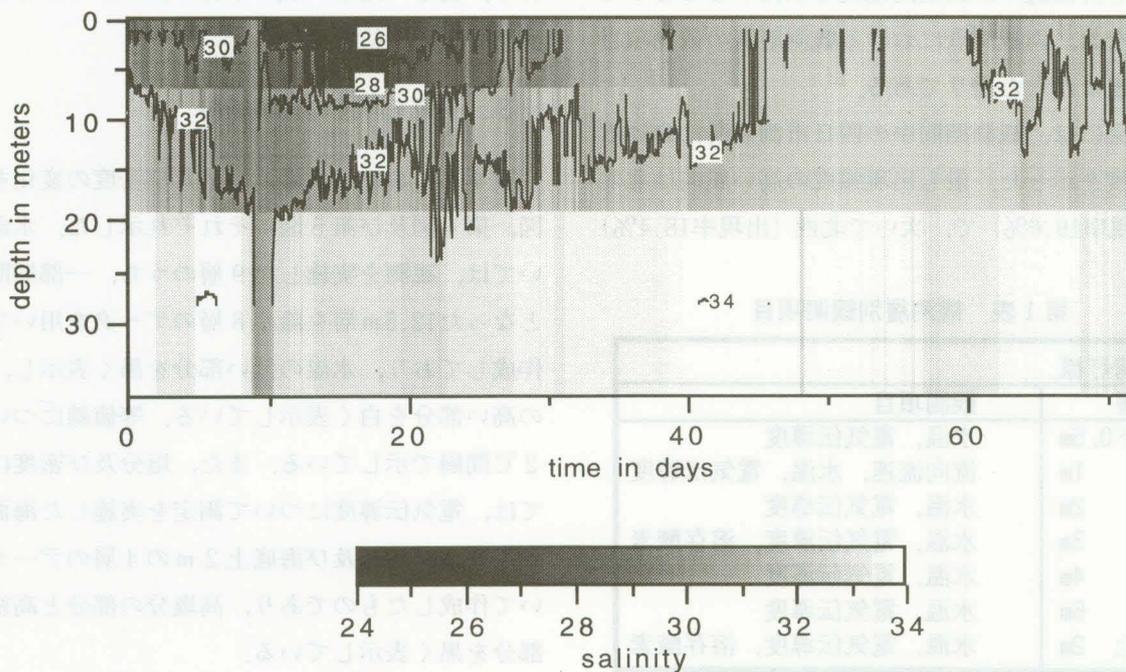
東京湾や伊勢湾等の日本南岸に位置する内湾域においては, 夏季に上層が高温低塩分, 下層が低温高塩分の密度成層をなし, 冬季には上層が低温低塩分, 下層が高温高塩分となって, 密度は鉛直にほぼ一樣になるという特徴があるが, その遷移期に実施した今回の観測は, 夏季から冬季にいたる遷移期間の特徴をとらえている。この期間, 水温は徐々に表面から冷やされていく。観測開始時には, 表面近くの水温が一番高いが, 10月初旬になると水温極大層が下

第1表 観測層別観測項目

伊勢湾灯標		観測項目
観測層		観測項目
海面下0.5m		水温, 電気伝導度
1m		流向流速, 水温, 電気伝導度
2m		水温, 電気伝導度
3m		水温, 電気伝導度, 溶存酸素
4m		水温, 電気伝導度
6m		水温, 電気伝導度
海底上2m		水温, 電気伝導度, 溶存酸素
W4点		観測項目
観測層		観測項目
海面下1m		水温, 電気伝導度
3m		流向流速, 水温, 電気伝導度
5m		水温
10m		流向流速, 水温, 電気伝導度
12.5m		水温
15m		水温
20m		水温
25m		水温
海底上2m		流向流速, 水温, 電気伝導度



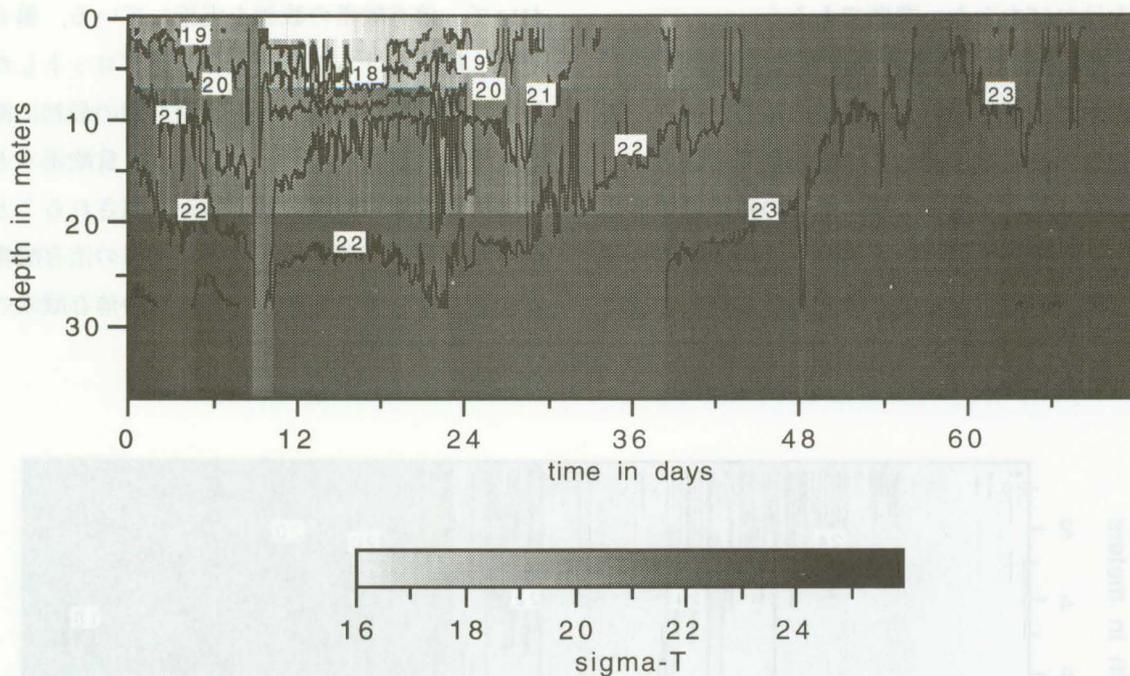
第3図 W4点における水温変化。単位：°C  
1994年9月21日～12月2日。



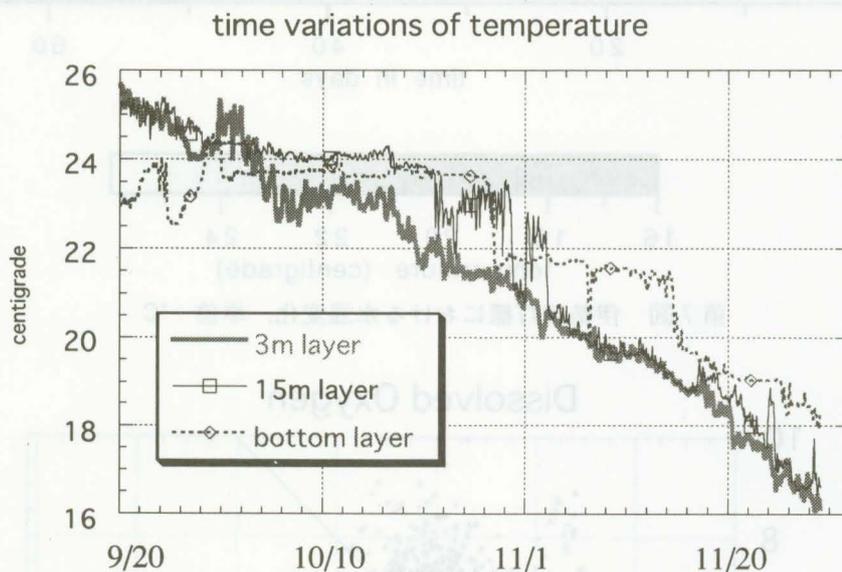
第4図 W4点における塩分変化。単位：psu。  
1994年9月21日～12月2日。

がり、海面下10m層付近の水温が一番高くなる。さらに10月末頃になると海面下20m層付近の水温が最も高くなり、最終的には底層の水温が高くなるというように水温極大層が徐々に下がっていくことが明瞭に観測されている。また、塩分については常に下

層の値が上層よりも高いが、上層と下層の塩分差は観測前半に大きく、観測後半になると前半に比べて上下での差が徐々に小さくなっていることがわかる。密度については、上層と下層の水温の差が小さくなるため、塩分の差によって上下層の差が形成さ



第5図 W 4点における密度変化. 単位:  $\sigma_t$   
1994年9月21日~12月2日.



第6図 W 4点, 海面下3m, 15m, 海底上2m層の水温変化.

れている。

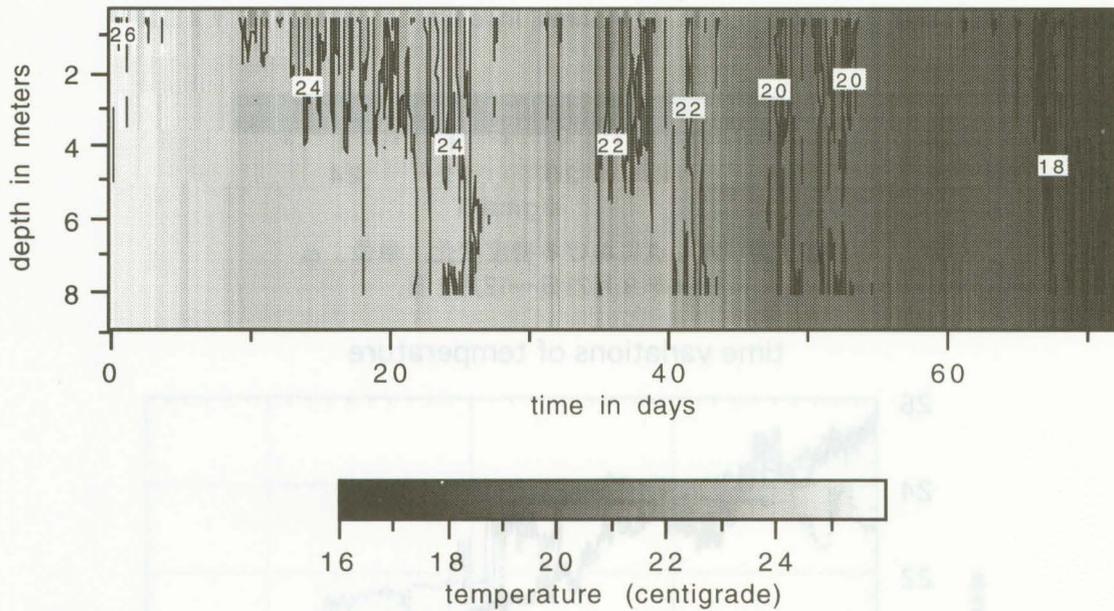
また、このW 4点の水温は非常に特徴的な変化を示している。第6図の海面下3m層、15m層、海底上3m層の3層の水温の時系列変化図にあるように、表層の3m層の水温はほぼ一定の割合で単調に下がっているのに対し、15m層と海底上2m層の水温はステップ状に変化する傾向がある。特に、海底上2m層の水温はほぼ一定で推移していく中、数時間の間におよそ2℃低下するという現象が10月下旬

と11月中旬の2回起こっている。この2回の水温低下は海面下25m層でも同じ時に数時間早めに起こっており、かなり大規模に変化しているものと考えられる。この時、流れには際だった変化は見られず、このような現象の原因は不明であるが、塩分もわずかながら変化しており、異なった性質を持つ水塊間の不連続面（フロント）の通過を観測したものと考えられる。このようなフロントの存在が内湾域の海況に与える影響については、その成因とともに今後

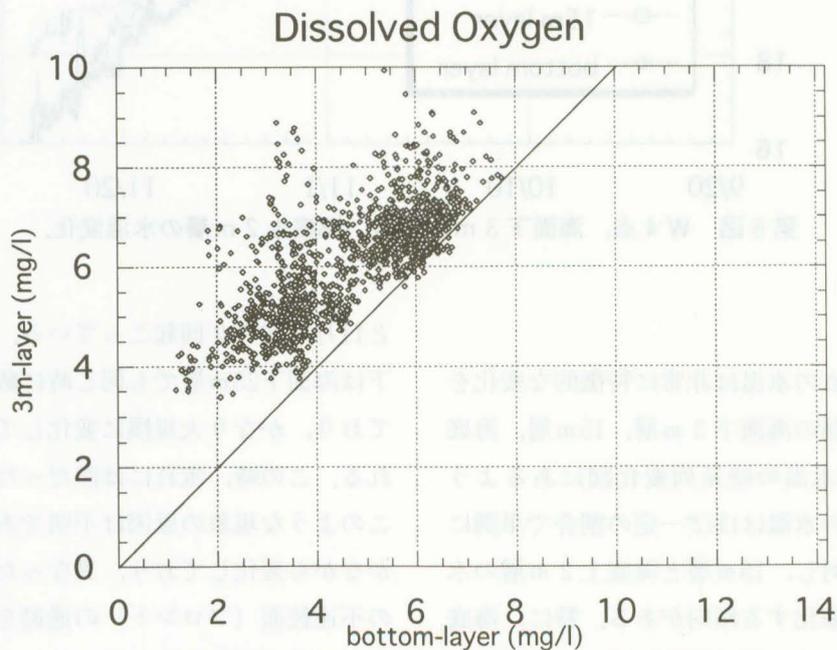
検討しなければならない課題であろう。

一方、伊勢湾灯標は水深約10mと浅い海域であり、第7図の水温のイソプレット図に示した通り、表層と底層との間に水温差はこの観測期間中ほとんどなく、密度成層は上層と下層の塩分の差のみで形成されている。先にも述べたとおり、この伊勢湾灯標においては、海面下3m層と海底上2m層の2層に

おいて、溶存酸素の観測を実施している。第8図にその2層における溶存酸素の値をプロットした。成層の比較的強い時期である観測期間の最初に海底上2m層が欠測となったこともあり、貧酸素水と呼ばれるような溶存酸素の低い値が観測されることはなかった。観測期間を通じて常に上層の溶存酸素の値が大きくなっているが、上下両層の溶存酸素の変動



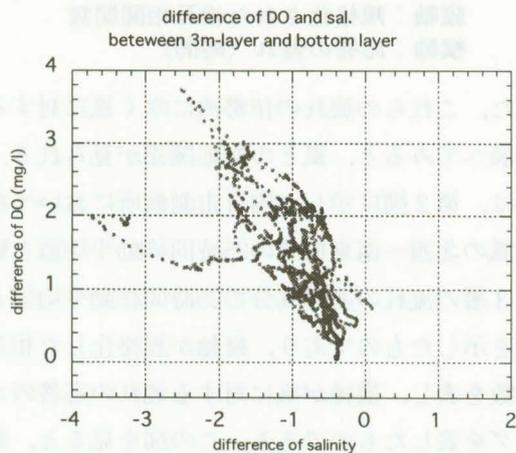
第7図 伊勢湾灯標における水温変化. 単位：℃



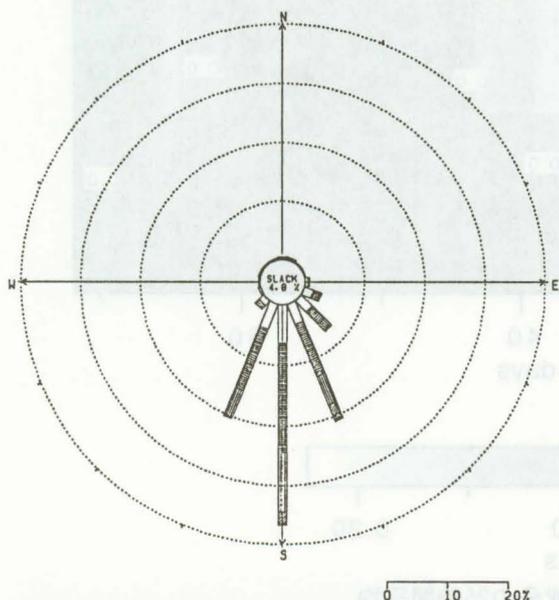
第8図 伊勢湾灯標海面下3m層と海底上2m層の溶存酸素の分布.  
縦軸：海面下3m層, 横軸：海底上2m層

はよく似て、正の相関を持ち、上層の値が大きくなると下層の値も大きくなっていることが示されている。第9図には、海面下3m層と海底上2m層の溶存酸素の差と塩分の差をそれぞれ縦軸と横軸にとり表したものであるが、塩分の差が小さくなると溶存酸素の差も小さくなっている。密度成層の強弱は塩分の差に支配されており、溶存酸素と成層の強弱との関係が見てとれるものである。

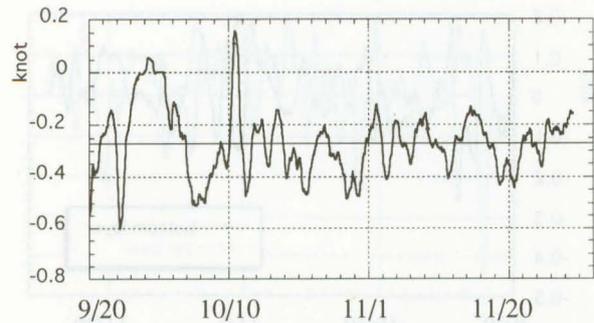
伊勢湾灯標の観測点においては、海面下1m層で流向流速の観測を実施した。第10図及び第11図に流向頻度分布図と流れの25時間移動平均値の北方成分の時系列変動図をそれぞれ示す。二つの図から明ら



第9図 伊勢湾灯標海面下3m層と海底上2m層との溶存酸素と塩分の差の分布。  
縦軸：溶存酸素の差 (mg/l)  
横軸：塩分の差 (psu)



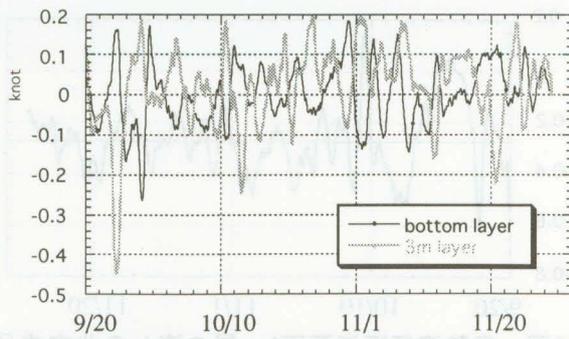
第10図 伊勢湾灯標海面下1m層の流向頻度分布



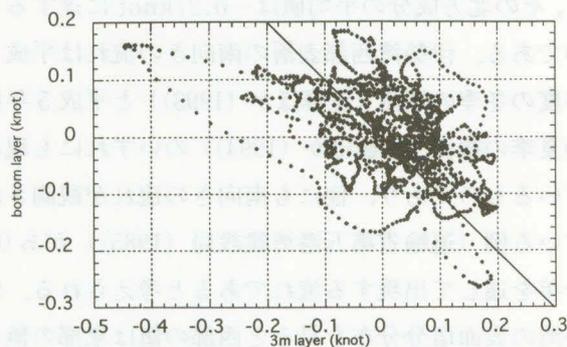
第11図 伊勢湾灯標海面下1m層の流れの北方成分の25時間移動平均値。単位：knot

かなように、この1m層の流れは南向きの流れに偏り、その北方成分の平均値は $-0.27\text{knot}$ に達するものである。伊勢湾西部表層の南向きの流れは平成4年度の冬季の観測(佐藤ほか(1993))と平成5年度の夏季の観測(佐藤ほか(1994))のいずれにも現れているものであり、他にも南向きの流れが観測されている例(運輸省第五港湾建設局(1985))があり、一年を通して出現する流れであると考えられる。伊勢湾の表面塩分分布を見ると西部の値は東部の値よりも常に高く(Sekine et al. (1992))、あたかも外洋の高塩分水が伊勢湾の西部を北上しているように見え、そこには北向きの流れが存在するように思わせるのであるが、実際に流速計を設置して流れの観測を実施すると南向きの流れが観測されるという不思議な流れである。伊勢湾の表層の恒流は、湾口部の反時計回りの環流が夏季にのみ現れるなど、季節によりやや異なった様相を示すのである(海上保安庁水路部(1995))が、この西部の表層の南向きの流れは季節によらず存在するものであり、伊勢湾の海況を特徴づけている重要な流れであると考えられ、流れの発生維持機構の解明とともにその流れが伊勢湾の海洋環境保全に果たす役割を明らかにしていかなければならないものである。

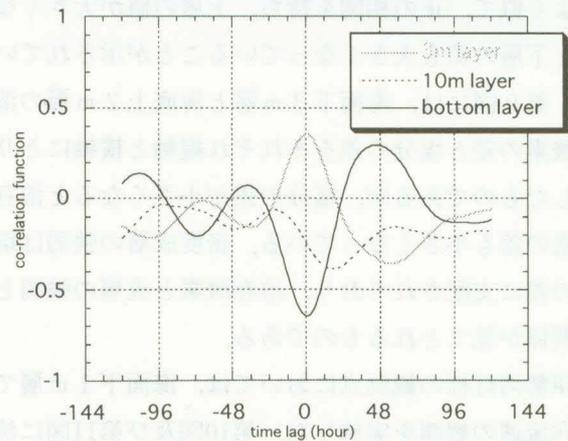
W4点では、海面下3m、10m及び海底上2mの3層の流向流速の観測を行った。第12図及び第13図に、そのうちの海面下3m層と海底上2m層の流れの北方成分の25時間移動平均値の時系列変動図と分布図をそれぞれ示す。これらの図から明らかなように、この点での表層と底層の流れは負の相関を示しており、その相関係数は約 $-0.5$ となっている。



第12図 W 4 点海面下 3 m 層と海底上 2 m 層の流  
れの北方成分の25時間移動平均値。  
単位：knot

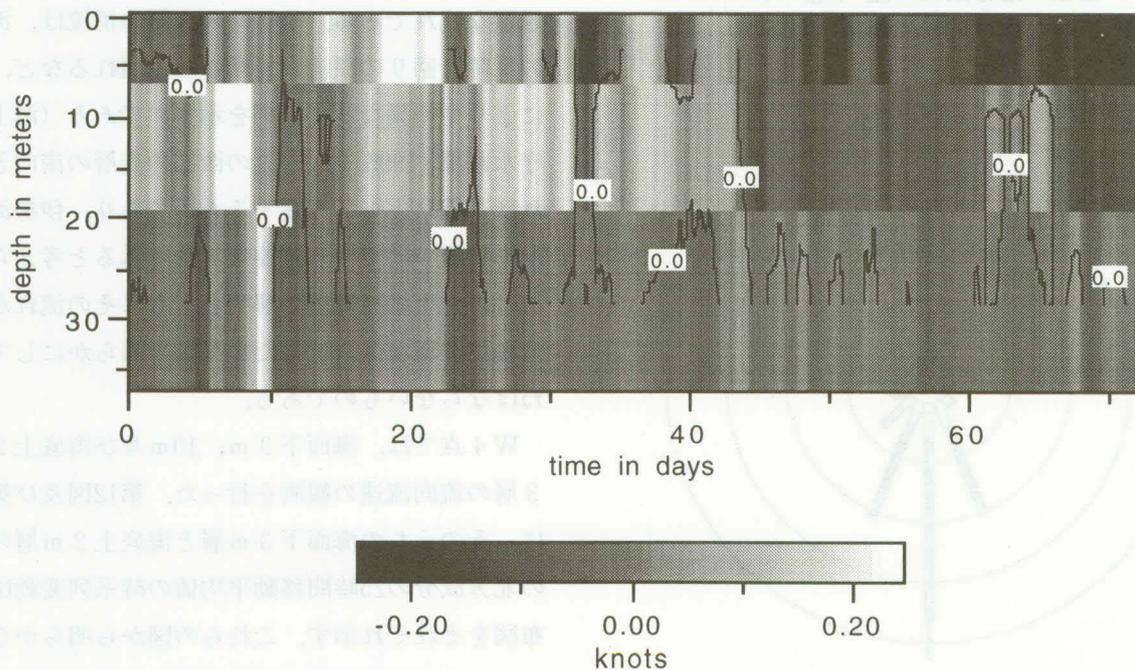


第13図 W 4 点海面下 3 m 層と海面上 2 m 層の流  
れの北方成分の25時間移動平均値の分布。  
縦軸：海底上 2 m 層、横軸：海面下 3 m 層



第14図 四日市の北西—南東方向の風とW 4 点の流  
れの北方成分の25時間移動平均値との相互  
相関。  
縦軸：規格化された相互相関関数  
横軸：応答の遅れ（時間）

また、これらの流れの伊勢湾に吹く風に対する応答を調べてみると、風との対応関係が見られる。第14図は、第2図に示した四日市測候所において卓越する風の北西—南東成分の25時間移動平均値とW 4 点の3層の流れの北方成分の25時間移動平均値との相関を示したものであり、縦軸が規格化した相互相関関数を表し、横軸が風に対する流れの応答のタイムラグを表したものである。この図を見ると、底層の流れの北方成分は明らかに伊勢湾の卓越風とタイ



第15図 W 4 点の流れの東方成分の25時間平均  
1994年 9 月 21 日～12 月 2 日

ムラグ無しで負の相関があり、表層の流れは値は低いものの正の相関が見られる。この相関は平成4年度及び平成5年度の観測でも見られたものであるが、この風に対する反応の違いが表層と底層の逆向きの流れを生じさせているものである。

また、このW4点の流れでは、東方成分についても興味深い変動が現れている。第15図は海面下3m、10m及び海底上2m層の流れの東方成分の25時間移動平均値を示したものであるが、観測の前半には正の値すなわち東向きであった海面下3m層と10m層の流れが、後半には西向きに変化しているものである。しかも、この東向きから西向きへの流れの変化は第4図及び第5図に見られる成層状況の変化の時期とほぼ同時期に見られるものである。したがって、このW4点の流れの東方成分の変化は成層の変化に伴う流況の変化を示しているものと考えられ、今後の伊勢湾の流れのモデル化にあたって、検討していかねばならない課題であると考えられる。

#### 参 考 文 献

- 三重県水産技術センター(1994)：平成5年三重県沿岸海域に発生した赤潮。
- 宇野木早苗(1985)：伊勢湾・三河湾 II物理，日本全国沿岸海洋誌，東海大学出版会。
- 佐藤敏，桑木野文章，宗田幸次，今西孚士，伊藤秀行(1994)：内湾域の流動・水質環境に及ぼす成層の影響に関する研究，水路部技報，12，26-43。
- 佐藤敏，吉宣好，万代康史，後藤礼介，加藤弘紀(1995)：内湾域の流動・水質環境に及ぼす成層の影響に関する研究(その2)，水路部技報，13，60-73。
- 運輸省第五港湾建設局(1985)：伊勢湾水理模型実験場報告 NO.22。
- Sekine et al.(1992)：Seasonal Variation in Temperature, Salinity and Density In-and off Ise Bay, Bull. Fac. Bio., Mie Univ., 8, 1-18。
- 海上保安庁水路部(1995)：伊勢湾潮流図。