

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

佐藤敏・桑木野文章・宗田幸次 : 沿岸調査課

今西孚士・伊藤秀行 : 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, Fumiaki Kuwakino and Kouji Muneda : Coastal Surveys and Cartography Division
Takanori Imanishi and Hideyuki Ito : Hydro. Dept., 4 th R.M.S. Hqs.

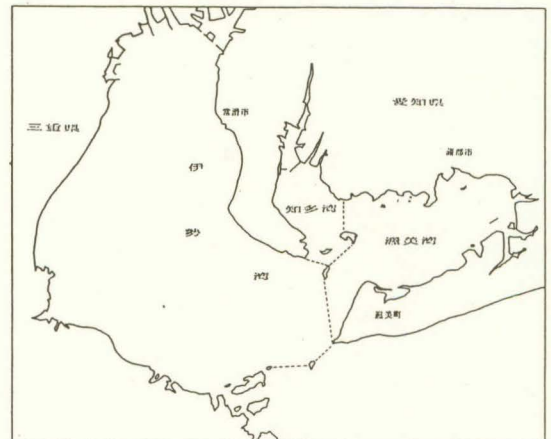
1. はじめに

東京湾等と同様に後背地に大規模な人口を抱える内湾域である伊勢湾・三河湾においては、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。愛知県水産試験場（1993）及び三重県水

産技術センター（1993）のまとめによると、第1表に示すとおり1992年の赤潮の発生件数は伊勢湾において18件、知多湾12件、渥美湾21件となっている（各湾の区域については第1図のとおり）。また、同じく1992年の赤潮の発生延べ日数及び発生日数は、伊勢湾が110日及び107日、知多湾59日及び58日、渥美湾において171日及び160日（なお、知多湾と渥美湾を合わせた三河湾全体での赤潮発生日数は173日であ

第1表 伊勢湾・三河湾の赤潮発生件数の推移。資料は愛知県水産試験場（1993）及び三重県水産技術センター（1993）による。

年	伊勢湾	知多湾	渥美湾
1983	25	20	25
1984	20	27	41
1985	31	15	42
1986	15	24	49
1987	30	18	25
1988	23	26	28
1989	17	14	25
1990	25	23	38
1991	20	15	26
1992	18	12	21
平均	22.4	19.4	32.1



第1図 伊勢湾、知多湾、渥美湾の区域。愛知県水産試験場（1993）より転載。

る)となっており、季節を問わず赤潮が発生する状況になっている。

これら赤潮、貧酸素水塊の発生・変遷については湧昇の発生や海洋前線・循環流の形成等の物理的な海況変動が重要な役割を果たしているが、伊勢湾・三河湾のうち、三河湾については富栄養化の進行の度合いが大きいためモデル海域として数多くの調査・研究の対象とされ、その実態が把握されて来ているのに対し、伊勢湾においては流れの長期間の連続観測資料が乏しいことなどの理由により、赤潮等の発生に影響を与えている海況変動の実態についての理解が不足しているのが現状となっている(宇野木, 1985)。

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。

2. 伊勢湾の海域特性

伊勢湾は平均水深が19.5m、面積が1,738km²、容積

が33.9km³の内湾であり、その横腹にくっつく形となっている三河湾に比べて、平均水深で約2倍、面積で約3倍、容積で約6倍となっている(西條, 1984)。また伊勢湾は30数mを最大水深として水深30mを超える区域が湾中央部に広がっており、ほぼ全域が20mよりも浅い三河湾に比べて水深が深くなっている。この水深や容積の大きいことが伊勢湾の受ける負荷が三河湾に比べて遥かに大きいにも拘らず富栄養化の度合いが比較的低い要因となっている。

上のような地形条件の伊勢湾の海況を大きく特徴づけているものは、流域面積13.411km²を持つ木曾三川等の流入河川である。この木曾三川及びその他の中小河川を合わせた伊勢湾への河川流入量は年間21.6km³と見積もられており(加藤他, 1984)、年間の河川流入量は伊勢湾の全海水量の6割を超えるものとなっている。

第2表は伊勢湾周辺の地点における月別の最多風向を表したものであるが、それによると伊勢湾を吹く風は南よりの風が吹く5月から8月の時期以外は、常に北西よりの風が卓越していることがわかる。また、その風速は一般に夏季に比べて冬季に強くなる。気温については、4月から8月の昇温期には表面水温とあまり変わらないが、それ以外の時期には水温よりも低くなり、風速が増大することとあわせ

第2表 伊勢湾周辺の月別最多風向。資料は気象庁(1982)による。

地点	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
名古屋	NW	NW	NW	NNW	SSE	SSE	SSE	SSE	N	N	N	N
四日市	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW	SE	SE	SE	NNW	NNW	NNW	NNW
津	WNW	WNW	WNW	WNW	W	ESE	ESE	ESE	W	WNW	WNW	W
伊良湖	NNW	NW	NW	NW	NW	S	S	S	NNW	NNW	NNW	NNW

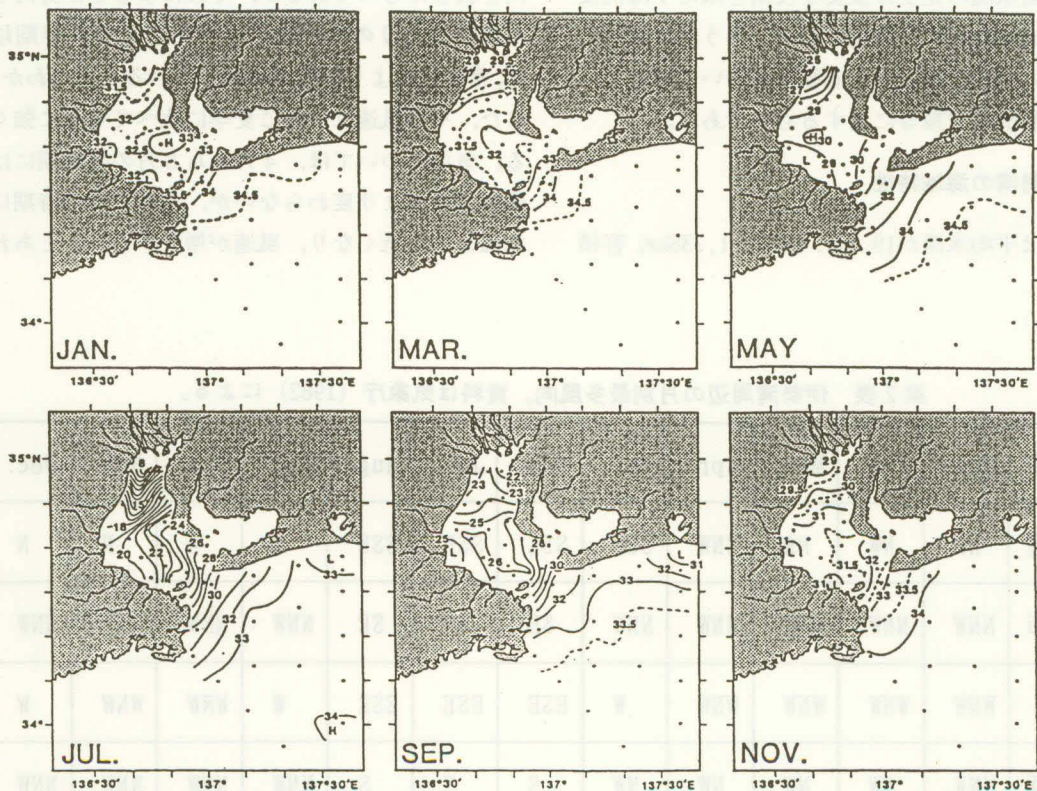
て蒸発を大きくする方向に働いている（宇野木、1978）。

東京湾をはじめとする太平洋南岸の内湾域の海洋構造は、冬季においては海面の冷却や北よりの季節風の連吹により海水の鉛直混合が進み、密度は上下ではほぼ一様となる。底層については外洋水の影響を受けるため水温は上層よりもやや高めとなり温度逆転を生じることとなるが、塩分は密度について補償する形で下層で高塩分となる。夏季には逆に海面から加熱されるため、上層の水温が上昇し、上層が高温低塩分、下層が低温高塩分となって、鉛直の密度構造が安定となり成層が形成される。このため、鉛直混合が不活発となり下層への酸素の供給が押さえられ、さらに底層では有機物の分解により酸素の消費が進むため、底層に貧酸素水塊が形成されるとされている。また、成層の形成によって気象擾乱に対

する内湾域の流れの応答特性も異なってくるため、鉛直混合の冬季と成層のある夏季とを比較すると、湾内循環流等の流れについても変化が生じることとなる。

伊勢湾の海洋構造も太平洋南岸の他の内湾域と同様な季節変化を行うが、先に述べたとおり他の内湾域に比べて多量の河川水が木曾三川等から流入するため、河川水量の多い夏季には表層に非常に塩分の低い海水が現れる（第2図）。このため、特に湾奥部において表層の低塩分水と伊良湖水道から流入する外洋起源の底層の海水との間に他の海域よりも著しい成層が形成され、その結果として成層に伴う海況変動の特徴が顕著に現れることが予想される。

貧酸素水塊については春から秋にかけて成層が形成される季節に水深が30mを超える湾中央部を中心として底層に広く存在することが報告されている



第2図 伊勢湾の表面塩分月別平均値（平均期間は1985年～1989年）。Sekine 他（1992）より転載。

(第3図)。この底層の貧酸素水塊は非常に栄養塩に富む海水となっているため、気象条件等の何らかの原因により湧昇することによって渦鞭毛藻赤潮が発生する引き金になると考えられている(加藤他, 1989)。

3. 平成4年度の観測概要

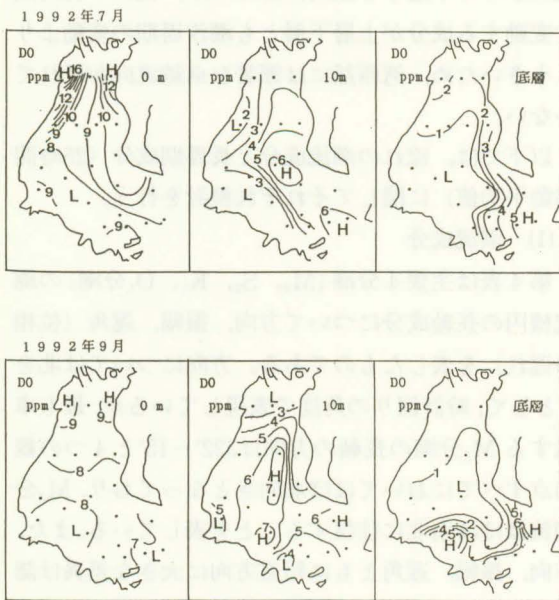
平成4年度は本研究の初年度として、成層の形成・発達に伴う海況変動を把握するための比較対照データの収集を行った。海洋構造が鉛直にほぼ一様で成層が形成されない冬季を観測時期に選び、伊勢湾の北部海域を観測海域として流れの把握等を目的として観測を実施した。1993年1月から2月にかけて、第4図に示すW1, W2, W3, W4の4つの観測点において、それぞれ海面下1 m, 3 m, 7 m, 15 mの4層の流向流速、水温、塩分(電気伝導度)の32日間の連続観測を行った。ただし、W1点においては流失事故のため最初の10日間が欠測となった。また、その流向流速等の連続観測の期間中にW1~W4の

4点に木曾三川の河口に近いW5点を加えた5つの観測点において水温、塩分(電気伝導度)及び溶存酸素の表面から海底までの観測を実施することにより、その鉛直分布の変化についても調べた。

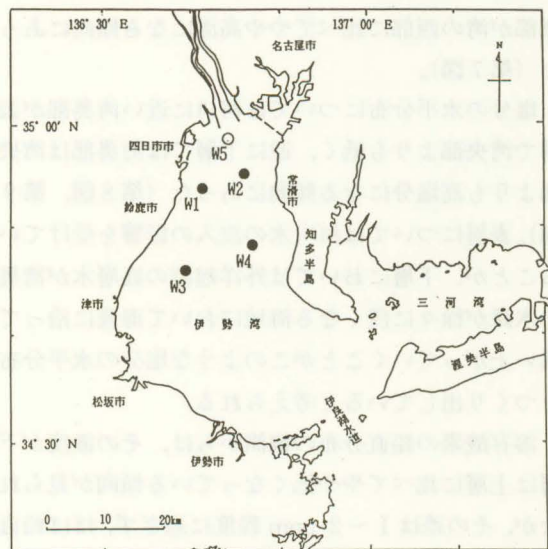
なお、各観測点の位置(経緯度)及び水深は第3表のとおり。

4. 海洋構造

第5図及び第6図はそれぞれ今回の観測における観測点W2及びW3における水温、塩分及び密度の鉛直分布の時系列変化を表したものである。木曾三川の河口に近いW2点においては観測の前半期に表層付近に実用塩分30以下の低塩分水が現れている。これはその時期に日本南岸に停滞していた前線がもたらした降雨が河川水として流入したものと考えられる。このため前半期には表層と15 m層との間に $3 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ 以上の密度差が生じていたが、後半期にはその密度差も $1 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ 程度になり、鉛直にほぼ一様になっていた。湾中央部に位置するW3



第3図 1992年7月及び9月の伊勢湾の溶存酸素濃度。三重県水産技術センター(1992)より転載。



第4図 観測点の位置。

第3表 観測点の経緯度及び水深。

観測点	緯度	経度	水深
W1	34° 53.7' N	136° 42.3' E	22m
W2	34° 55.4' N	136° 46.2' E	23m
W3	34° 46.0' N	136° 39.1' E	24m
W4	34° 48.4' N	136° 47.0' E	25m
W5	34° 58.6' N	136° 44.0' E	19m

点では、水温、塩分の連続観測を行った1m層から15m層までは水温、塩分、密度とも鉛直に一樣になっている。ただし、ほぼ5日間隔で実施した鉛直分布観測において15m以下の層に高温高塩分の海水が存在していることが観測されている。したがって、今回の観測期間中の伊勢湾の海洋構造は上層が低温低塩分、下層が高温高塩分で、密度は鉛直的にはほぼ一樣であるという太平洋南岸の内湾域の冬季の特徴的な海洋構造となっていたと言える。

また、水平分布に関しては、表面付近の水温は湾東部が湾の西部に比べてやや高温になる傾向にあった(第7図)。

塩分の水平分布については河口に近い湾奥部が表層で湾中央部よりも低く、逆に下層では湾奥部は湾中央部よりも高塩分になる傾向にあった(第8図、第9図)。表層については河川水の流入の影響を受けていることが、下層においては外洋起源の底層水が湾奥の水深が徐々に浅くなる海域において海底に沿って這い上がっていくことがこのような塩分の水平分布をつくり出していると考えられる。

溶存酸素の鉛直分布の観測からは、その濃度が下層は上層に比べてやや低くなっている傾向が見られたが、その差は1~2ppm程度に過ぎず、ほぼ鉛直に一樣であると言え、観測期間中の海底近傍の溶存酸素濃度は5ppmを下回ることもなく、底層に貧酸素水塊が出現することはなかった。

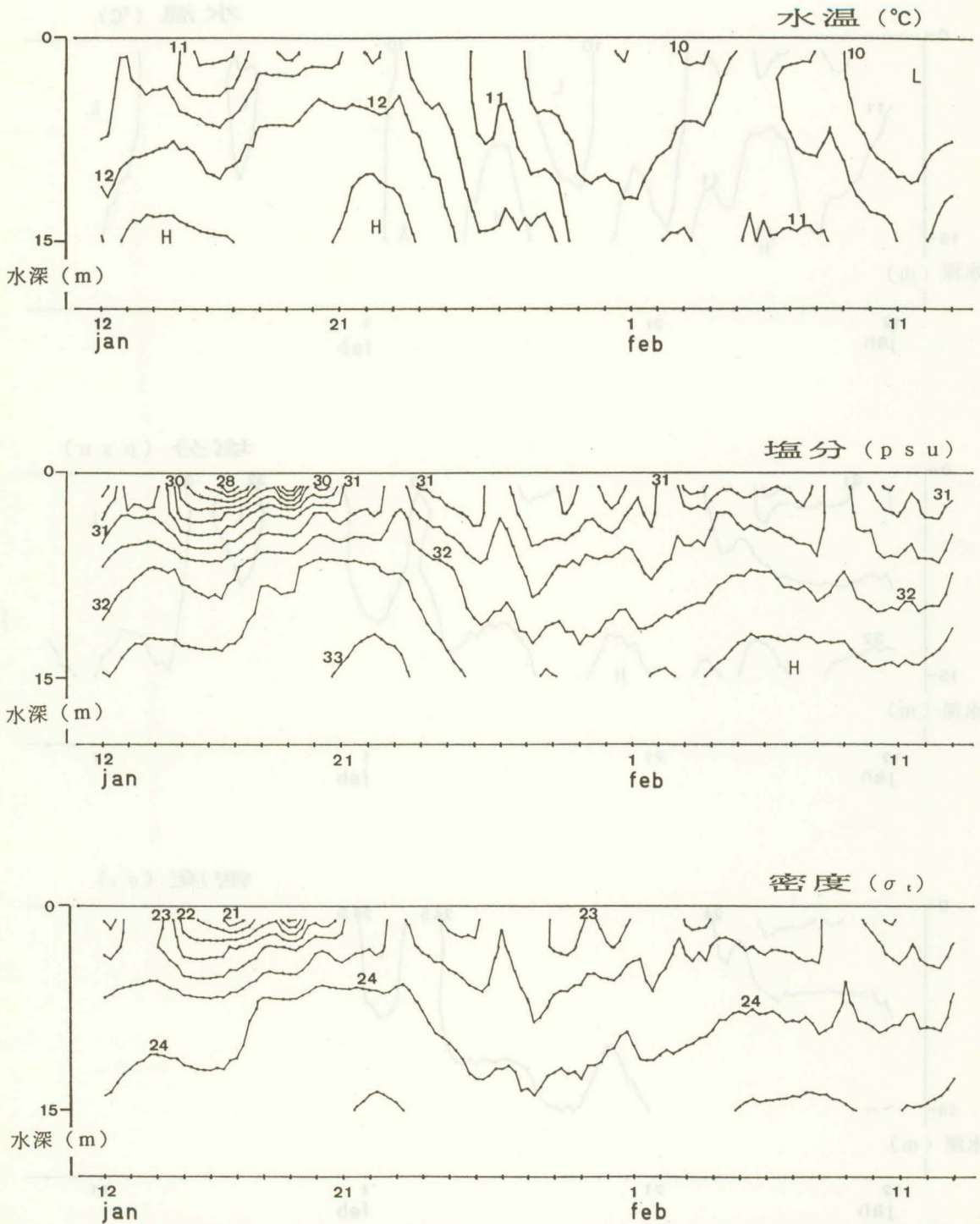
5. 流れ

第10図、第11図にそれぞれ3m層、15m層の流向頻度分布を示す。湾の東部に位置するW2点とW4点の上層において観測された流れでは南向きの流れが卓越していることが特徴的である。逆にW2点の下層においては北向きの流れが卓越している。一方、湾の西部では湾東部のような顕著な卓越流向は見られない。第12図は湾東部のW2点における各層の流れのスティックダイアグラムであり、第13図は同じくW2点の流れの25時間移動平均値のスティックダイアグラムである。W2点の上層の流れは長周期で変動する南向きの流れに半日程度の周期で変動する潮流が重なるようなかたちになっているが、潮流の大きさが長周期で変動する南向きの流れに比べて小さいため、南向きの流れが卓越することになる。第14図と第15図はそれぞれ湾西部のW1点における3m層及び15m層の流れのスティックダイアグラムと25時間移動平均値のスティックダイアグラムである。上層において南向きの流れが、下層で北向きの流れがやや卓越する傾向にあったが、流れの長周期で変動する成分が上層下層とも潮汐周期の変動よりも小さいため、湾西部には顕著な卓越流向が現れていない。

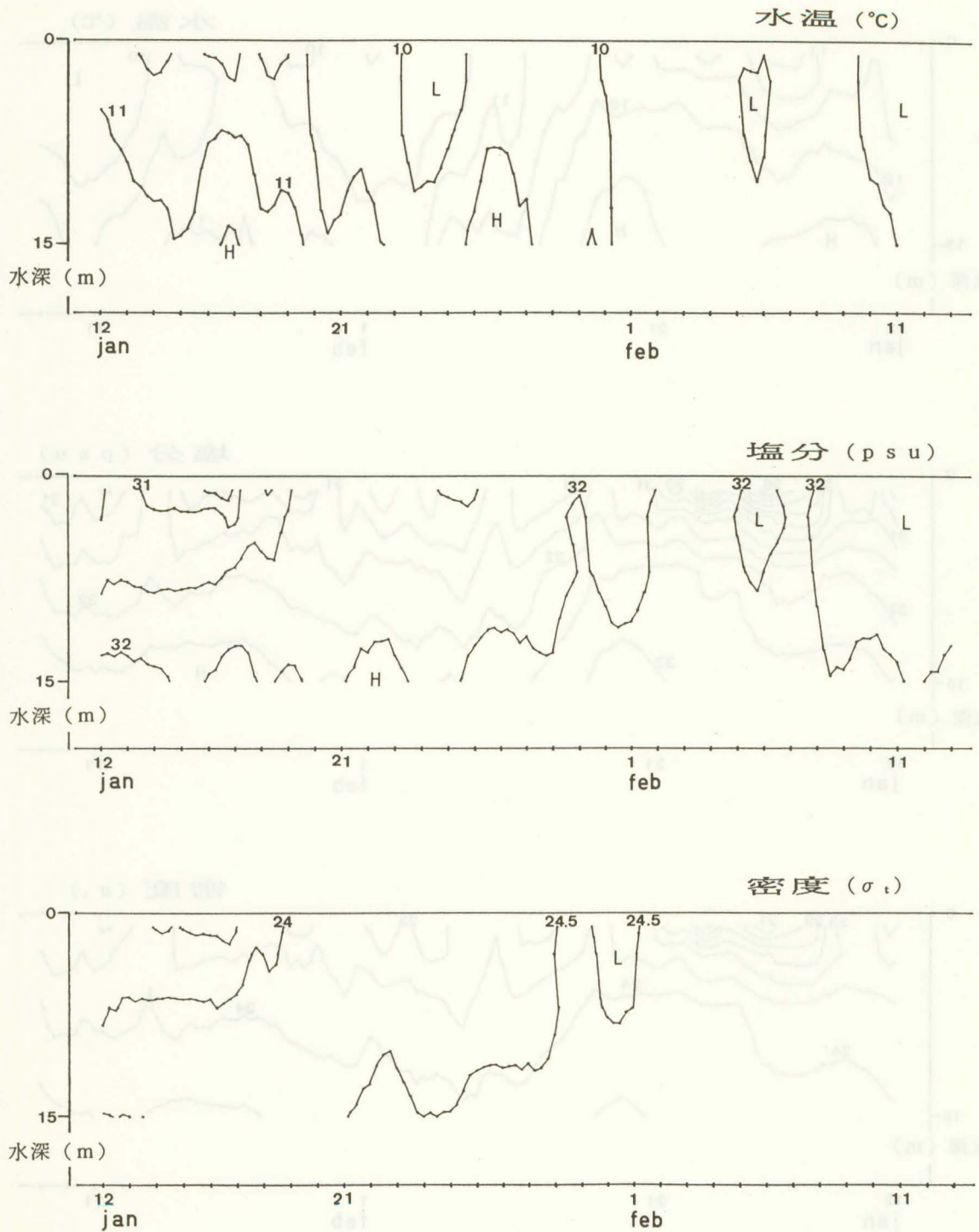
以下では、流れの潮流成分と長周期成分(25時間移動平均値)に関してそれぞれ検討を行う。

(1) 潮流成分

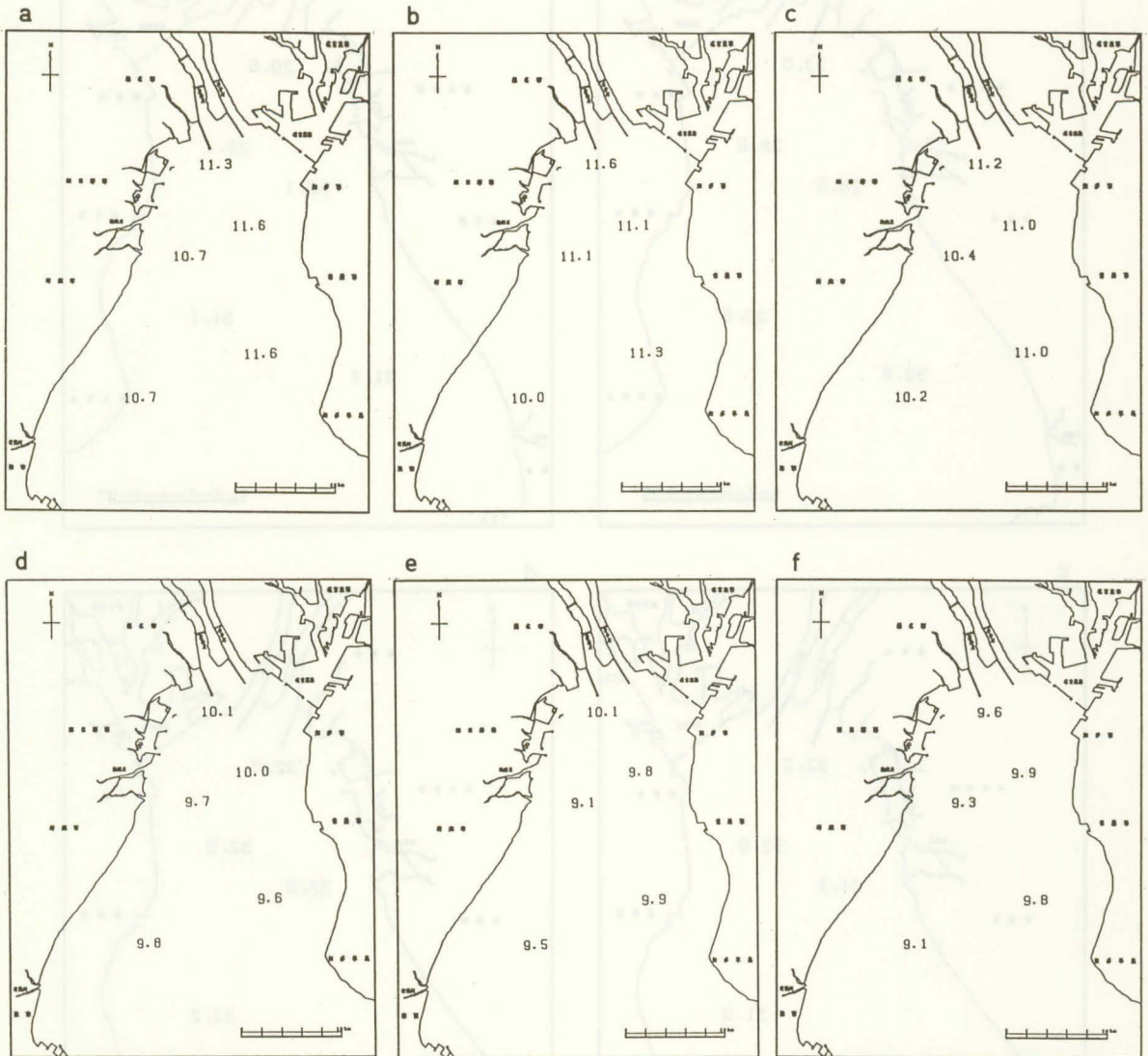
第4表は主要4分潮(M_2 , S_2 , K_1 , O_1 分潮)の潮流楕円の長軸成分について方向、振幅、遅角(位相の遅れ)を表したものである。方向については北を0°として、時計回りの角度で表現しているが、最も卓越する M_2 分潮の長軸の方向は $322^\circ \sim 15^\circ$ と4つの観測点すべてにおいてほぼ北向きとなっており、 M_2 分潮流はほぼ南北に往復することを表している。また、方向、振幅、遅角ともに鉛直方向に大きな差異は認められない。同じ半日周期の S_2 分潮も振幅は M_2 分潮の約1/2であるが、 M_2 分潮と同様に上層と下層とを比較するとほぼ同じ潮流楕円となっており、半



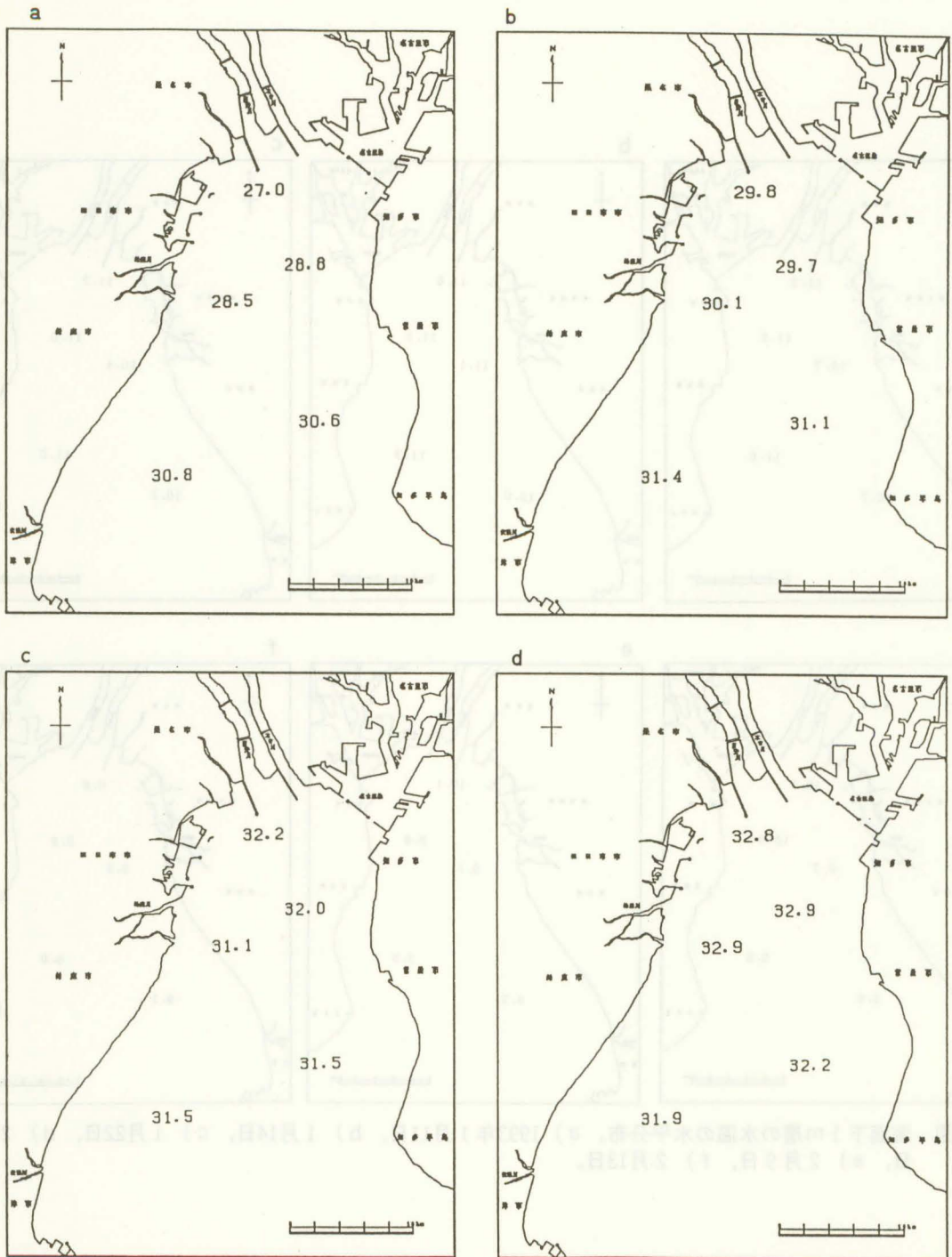
第5図 W2点における観測期間の水温, 塩分, 密度のイソプレット図。



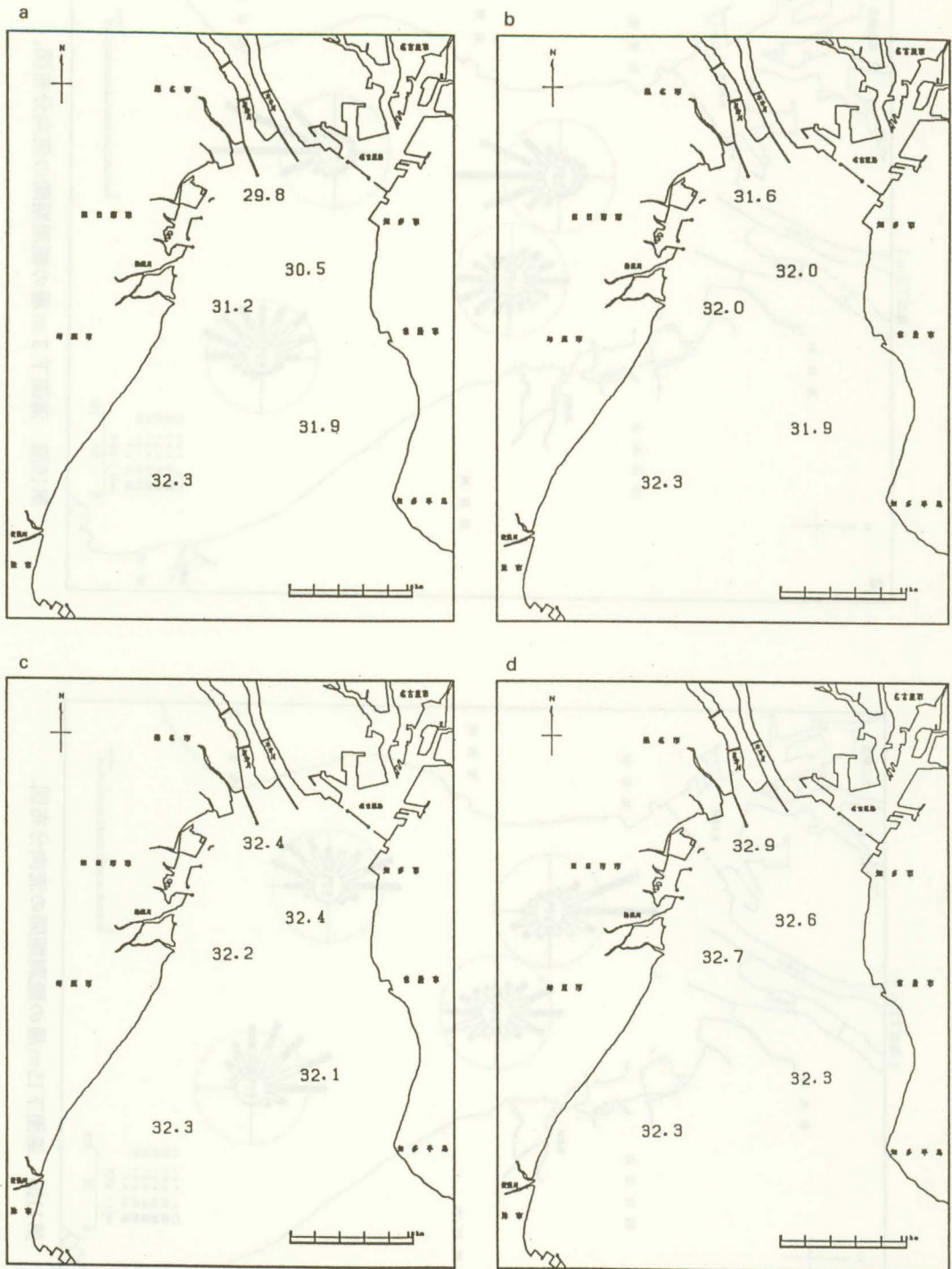
第6図 W3点における観測期間の水温, 塩分, 密度のイソプレット図。



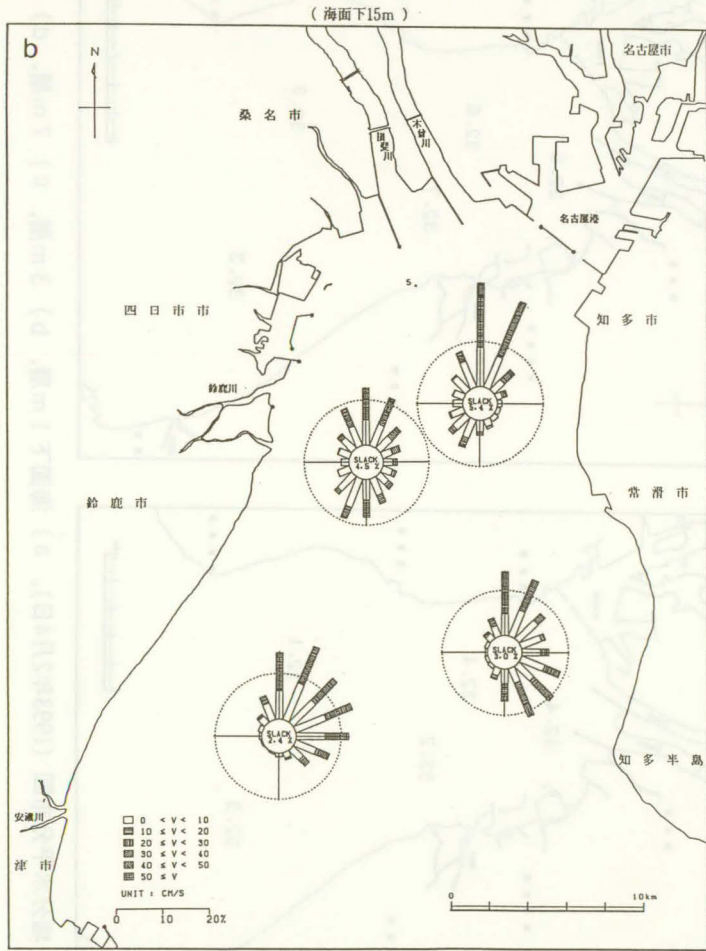
第7図 海面下1m層の水温の水平分布。a) 1993年1月11日, b) 1月14日, c) 1月22日, d) 2月4日, e) 2月9日, f) 2月13日。



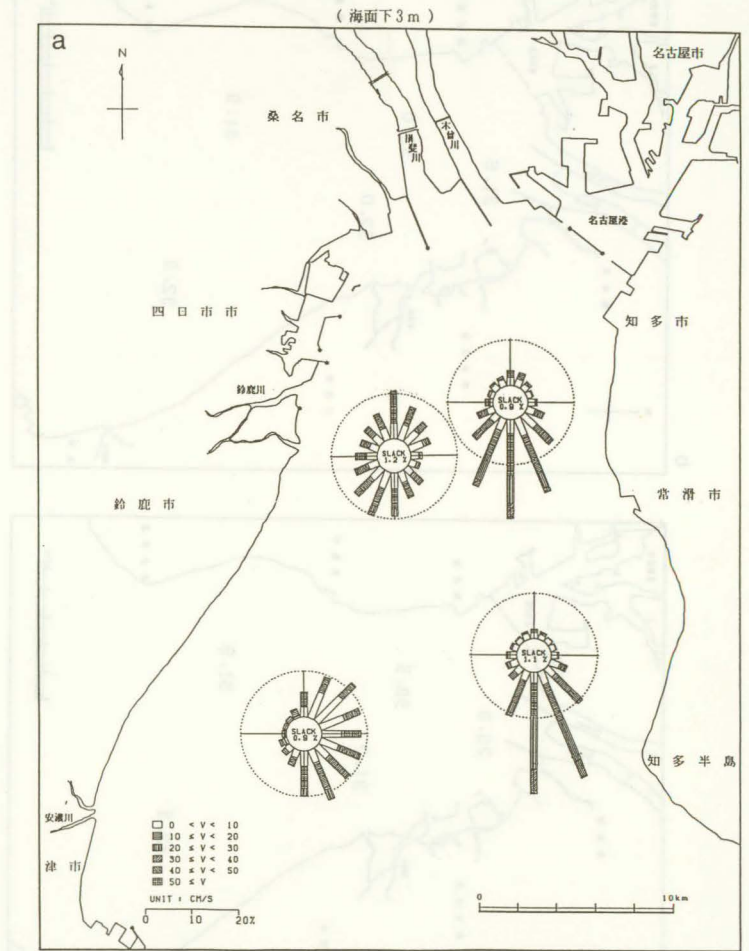
第8図 塩分水平分布図 (1993年1月14日)。a) 海面下1m層, b) 3m層, c) 7m層, d) 15m層。



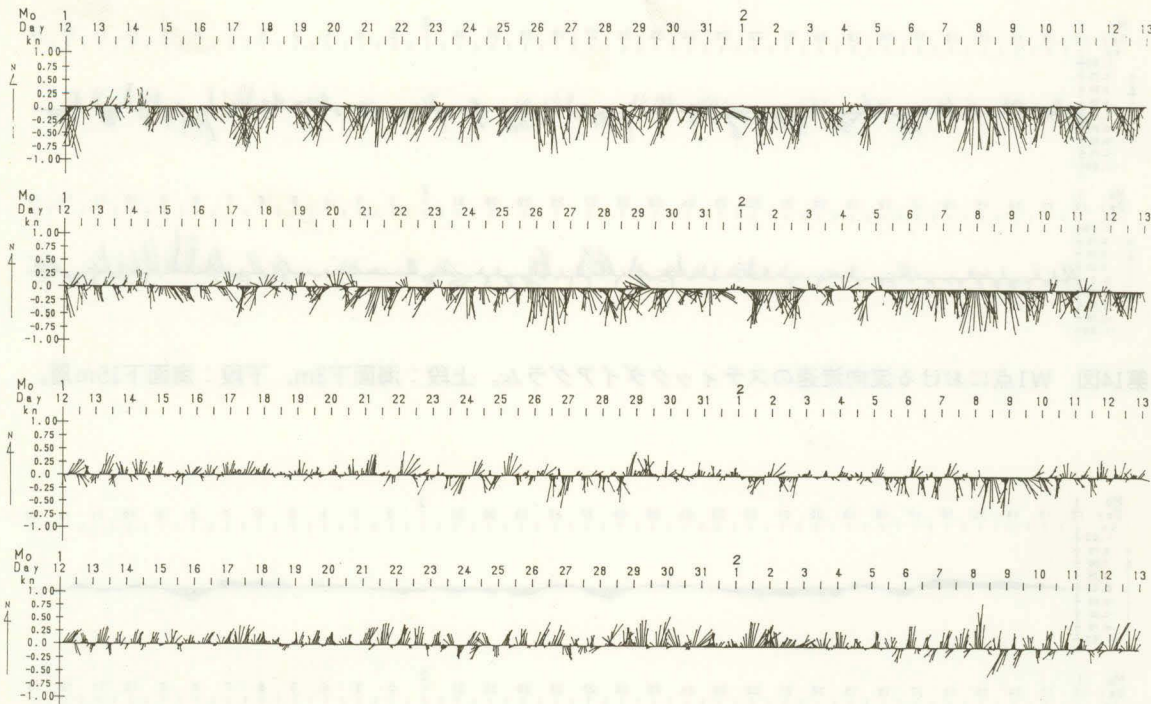
第9図 塩分水平分布図 (1993年2月4日)。a) 海面下1m層, b) 3m層, c) 7m層, d) 15m層。



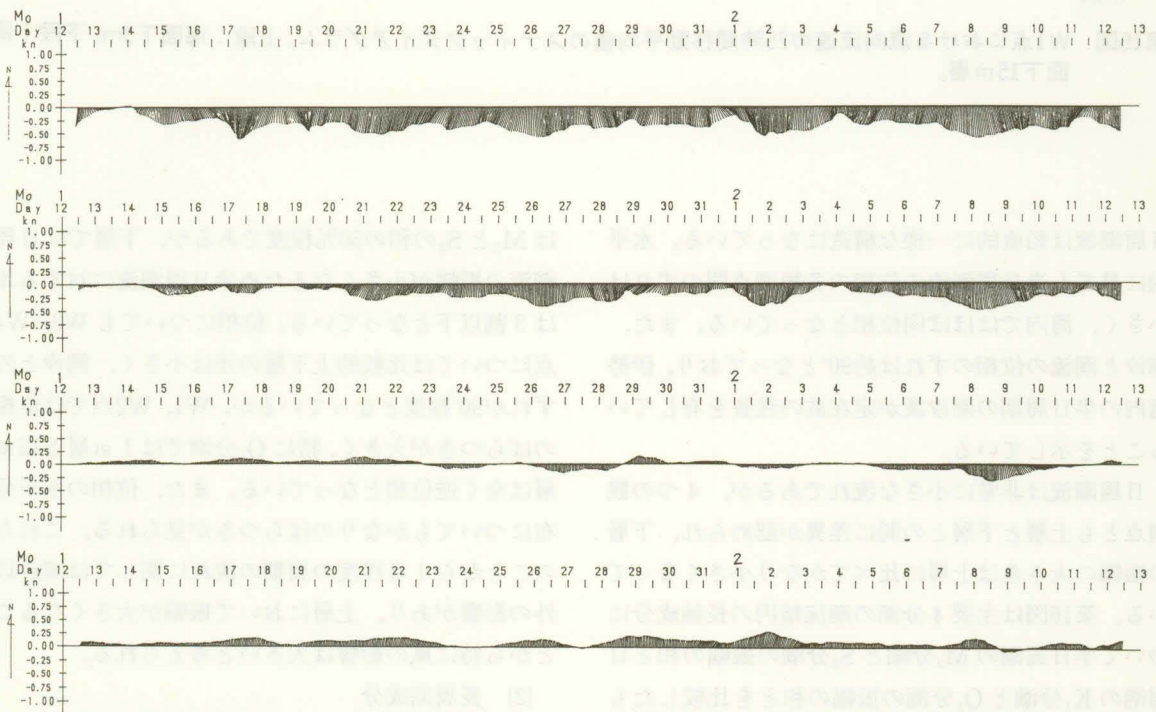
第11図 海面下15m層の観測期間の流向分布図。



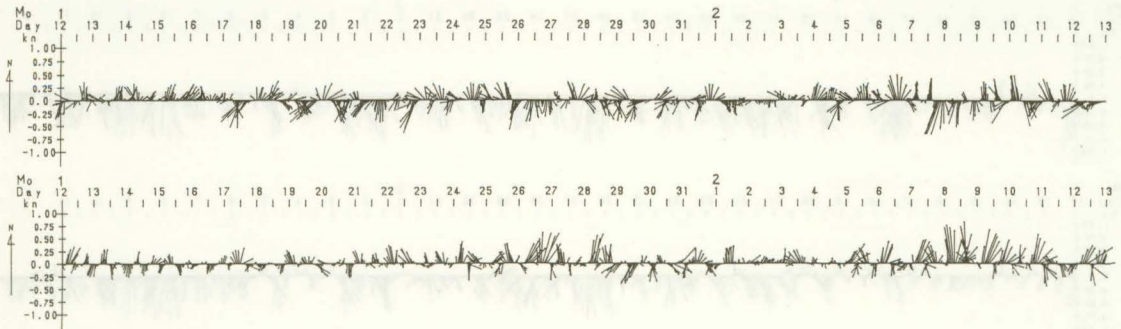
第10図 海面下3m層の観測期間の流向分布図。



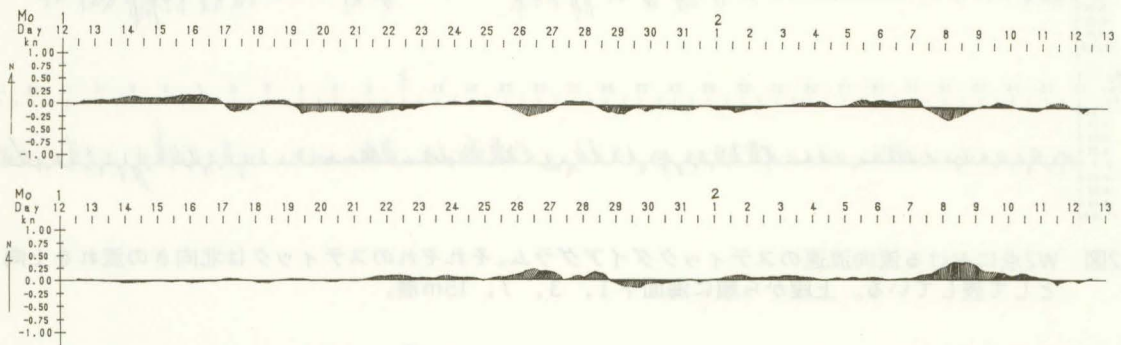
第12図 W2点における流向流速のスティックダイアグラム。それぞれのスティックは北向きの流れを上向きとして表している。上段から順に海面下1, 3, 7, 15m層。



第13図 W2点における流向流速の25時間移動平均値のスティックダイアグラム。上段から順に海面下1, 3, 7, 15m層。



第14図 W1点における流向流速のスティックダイアグラム。上段：海面下3m，下段：海面下15m層。



第15図 W1点における流向流速の25時間移動平均値のスティックダイアグラム。上段：海面下3m，下段：海面下15m層。

日周潮流は鉛直的に一様な構造になっている。水平的に見ても半日周潮流の位相の各観測点間のずれは小さく、湾内ではほぼ同位相となっている。また、潮汐と潮流の位相のずれは約90°となっており、伊勢湾内の半日周期の潮汐波が定在波の性質を有していることを示している。

日周潮流は非常に小さな流れであるが、4つの観測点とも上層と下層との間に差異が認められ、下層の振幅の大きさは上層に比べてかなり小さくなっている。第16図はは主要4分潮の潮流楕円の長軸成分について半日周潮の M_2 分潮と S_2 分潮の振幅の和と日周潮の K_1 分潮と O_1 分潮の振幅の和とを比較したものである。上層では K_1 と O_1 の長軸成分の振幅の和

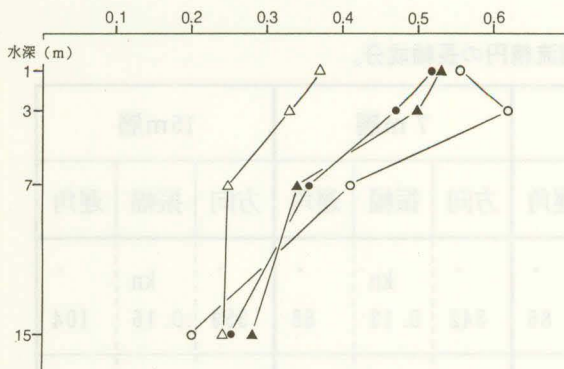
は M_2 と S_2 の和の50%程度であるが、下層では日周潮流の振幅が小さくなるため半日周潮流に対する比は3割以下となっている。位相についても $W3$, $W4$ 点については比較的上下層の差は小さく、潮汐とのずれが90°程度となっているが、 $W1$, $W2$ 点では位相のばらつきが大きく、特に O_1 分潮では1m層と15m層は全く逆位相となっている。また、位相の水平分布についてもかなりのばらつきが見られる。これらのことから1日程度の周期の流れに関しては潮汐以外の影響があり、上層において振幅が大きくなることから特に風の影響は大きいと考えられる。

(2) 長周期成分

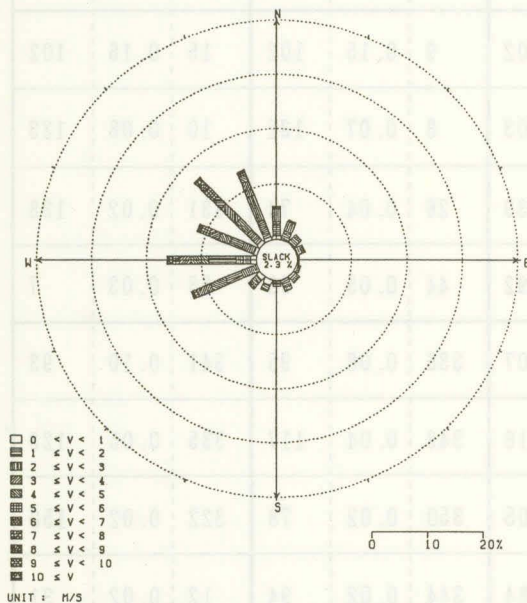
第17図は観測期間中の四日市の風向頻度分布図で

第4表 主要4分潮の潮流精円の長軸成分。

観測層		1 m層			3 m層			7 m層			15m層		
測点	分潮	方向	振幅	遅角	方向	振幅	遅角	方向	振幅	遅角	方向	振幅	遅角
W 1	M ₂	353	0.18	89	357	0.16	86	342	0.13	88	359	0.16	104
	S ₂	8	0.08	136	11	0.08	108	354	0.08	116	357	0.09	141
	K ₁	292	0.04	203	20	0.05	107	335	0.05	91	353	0.03	154
	O ₁	74	0.09	220	7	0.06	104	356	0.03	21	88	0.04	15
W 2	M ₂	8	0.14	95	2	0.16	102	9	0.15	102	15	0.16	102
	S ₂	29	0.08	104	36	0.08	103	8	0.07	132	10	0.08	133
	K ₁	42	0.05	149	61	0.07	139	26	0.04	74	331	0.02	138
	O ₁	62	0.07	189	18	0.08	92	44	0.05	58	58	0.03	7
W 3	M ₂	325	0.11	106	322	0.10	107	336	0.08	95	341	0.10	93
	S ₂	352	0.03	126	354	0.03	116	349	0.04	117	335	0.05	123
	K ₁	9	0.03	92	13	0.03	105	350	0.02	78	322	0.02	150
	O ₁	323	0.04	78	312	0.04	84	344	0.02	94	12	0.02	31
W 4	M ₂	346	0.20	98	342	0.20	96	343	0.21	94	350	0.20	93
	S ₂	343	0.10	119	342	0.10	121	350	0.09	119	346	0.10	121
	K ₁	22	0.07	94	20	0.06	97	4	0.03	88	345	0.06	102
	O ₁	340	0.04	96	349	0.05	86	347	0.04	70	344	0.02	58



第16図 日周潮と半日周潮の潮流楕円の長軸成分の振幅の比 $[(K1+O1)/(M2+S2)]$ 。
● : W1点, ○ : W2点, ▲ : W3点, △ : W4点。



第17図 観測期間の四日市の風向頻度分布図。

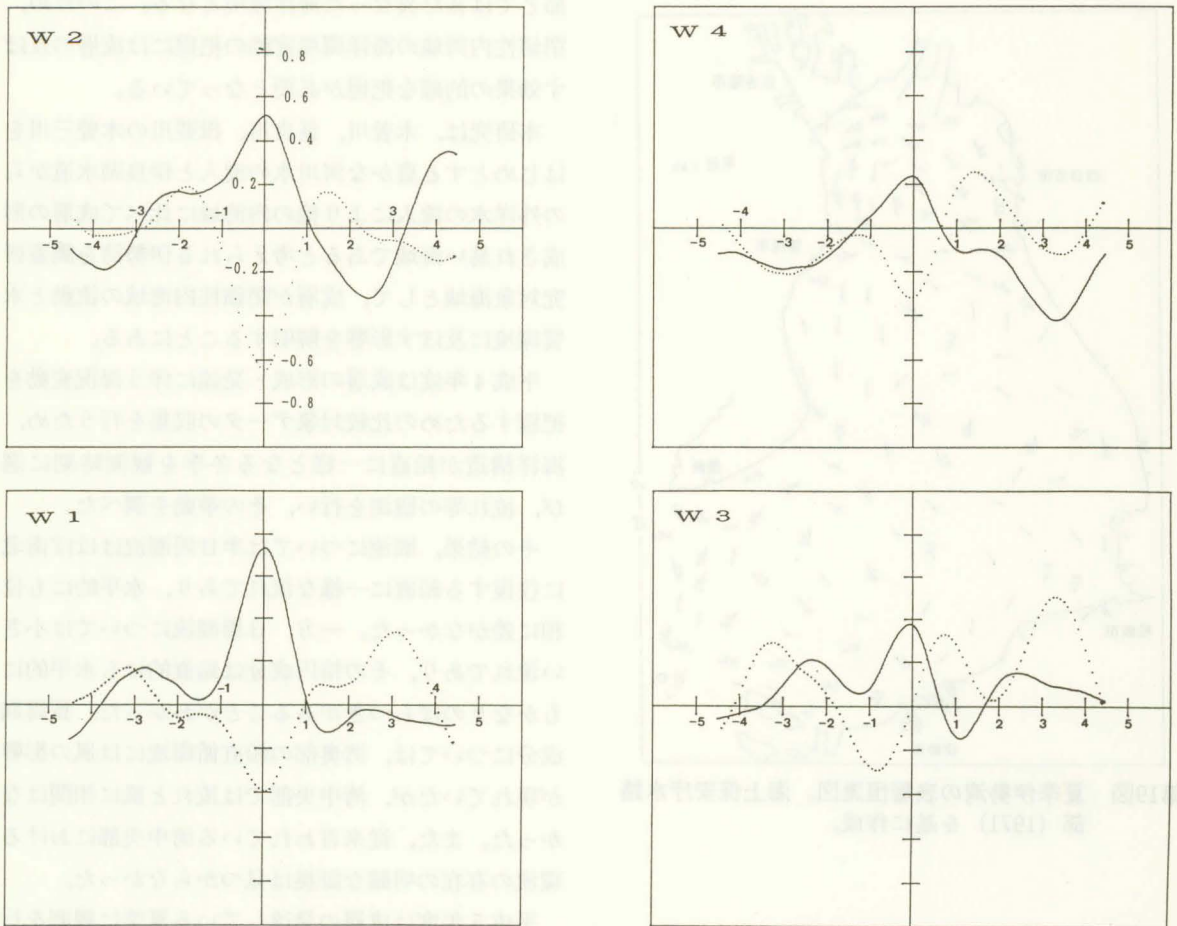
ある。最多風向は北西であり、その出現率は16.9%となっている。この北西風の卓越する四日市の風の北西-南東の成分の25時間移動平均値と北向きの流れの長周期成分（流れの25時間移動平均値）との相関を表したものが第18図である。風と流れの方向を合わせるため、風は北西向きの風（南東風）を正に、

流れは北向きを正にしている。図の縦軸は規格化した相互相関関数を表し、横軸は風に対する流れの長周期成分の応答のラグ（遅れ）を表している。ラグが1日（横軸の右に1目盛り）で正の相関を持っている場合は、北西風（南東向きの風）が強まって1日後に南向きの流れが強まるといったような変化が現れることを意味する。

第18図には各観測点とも3m層及び15m層の風と流れの長周期成分の相関を示しているが、湾奥部のW1点の3m層において短いラグで正の高い相関、W2点の15m層において短いラグで負の高い相関が見られる。また、W2点の3m層でも正の相関、W1点の15m層でも負の相関が見られることから、湾奥部における鉛直循環流の形成に対する風の寄与は大きいと言える。一方、湾中央部のW3点とW4点とでは風と流れの長周期成分との間に相関は見られない。

伊勢湾においては、3つから4つの環流が存在するといわれている。第19図は夏季（6～9月）の観測結果を集約した表層の恒流図であるが、この図では湾奥部に時計回りの環流、湾中央部に時計回りの環流、湾南部に反時計回りの環流がみられる。このうち、湾奥部の環流と湾南部の環流は比較的安定した恒流であると考えられており（宇野木, 1985）、前者については河川水の流入とコリオリ力の影響が大きく（岡田他, 1982）、後者は潮汐に起因すると考えられている（宇野木, 1985）が、先にも述べたとおり伊勢湾では連続観測等の資料に乏しいため海況変動の実態については明らかになっていないのが現状である。

今回の観測点のうち、W1点及びW2点は従来言われている環流のうちの湾奥部の環流の区域に、W3点及びW4点は湾中央部の環流の区域に存在する。同じ環流の区域に存在する観測点の流れの長周期成分同士の相互相関関数を調べたが、その結果高い相関を認めることはできず、今回の観測結果は従来から言われている環流の存在を支持するような観測結果とは必ずしもなっていないようである。特に湾中央



第18図 風と流れの長周期成分の相互相関関数。縦軸：規格化された相互相関関数，横軸：応答の遅れ（1日盛りが1日）。
 実線：海面下3m層，破線：15m層。
 左上：W2点，左下：W1点，右上：W4点，右下：W3点。

部の環流については，数値実験の結果から風の影響が大きいという報告もされている（岡田他，1982）が，今回の観測では湾中央部のW3点とW4点の流れの長周期成分に対する風の影響は認められず（第18図），数値実験の結果とは全く反対の結果となった。

ところで，表層において湾東部の水温が湾の西部よりも高温になるという水温の水平分布（第7図）等を見ると，湾東部においては表層においても外洋を起源とする海水があたかも北向きの流れに乗って

運ばれているような印象をあたえるが，今回の観測において湾東部の上層に顕著に現れた流れは北向きではなく，南向きの流れであった（W2点の海面下1m層の観測期間の流れの平均は南向きに0.37kn，同じくW4点の1m層は0.33knとなっている）。この南向きの流れについては夏季においても観測されていることから（運輸省第五港湾建設局，1985），一年間を通じて存在している流れであると想像され，伊勢湾における物質の循環等に関して大きな影響を及ぼしているものであると考えられる。今回の観測で



第19図 夏季伊勢湾の表層恒流図。海上保安庁水路部 (1971) を基に作成。

はこの南向きの流れについて湾奥部の W2点においては風との間にやや相関は見られたが、湾中央部の W4点ではほとんど相関がなく、また、卓越風向が冬季とは全く逆の南東風になる夏季にもこの南向きの流れが存在するという観測事実もあることから、今後、湾東部の表層の南向きの流れの形成について河川水の流入の影響をはじめとして海上風以外の影響について検討していく必要があると考えられる。

6. まとめ

わが国の閉鎖性内湾域における海洋構造は冬季には鉛直に混合するが、夏季には一般に成層が形成され下層水の停滞が起こり易い状況になる。成層の形成によって流れも上層と下層で著しい違いが生じる場合もあり、鉛直に混合している冬季と成層する季

節とでは甚だ異なった海洋環境となる。このため、閉鎖性内湾域の海洋環境変動の把握には成層の及ぼす効果の的確な把握が必要となっている。

本研究は、木曾川、長良川、揖斐川の木曾三川をはじめとする豊かな河川水の流入と伊良湖水道からの外洋水の流入により他の内湾域に比べて成層の形成され易い海域であると考えられる伊勢湾を調査研究対象海域として、成層が閉鎖性内湾域の流動と水質環境に及ぼす影響を解明することにある。

平成4年度は成層の形成・発達に伴う海況変動を把握するための比較対象データの収集を行うため、海洋構造が鉛直に一樣となる冬季を観測時期に選び、流れ等の観測を行い、その挙動を調べた。

その結果、潮流については半日周潮流はほぼ南北に往復する鉛直に一樣な流れであり、水平的にも位相に差がなかった。一方、日周潮流については小さい流れであり、その楕円成分は鉛直的にも水平的にもかなりのばらつきがあることがわかった。長周期成分については、湾奥部の鉛直循環流には風の影響が現れていたが、湾中央部では流れと風に相関はなかった。また、従来言われている湾中央部における環流の存在の明確な証拠は見つからなかった。

平成5年度は成層の発達している夏季に観測を行い、4年度に観測した冬季データと合わせて解析し、成層の海況変動に及ぼす効果を明らかにするとともに、淡水フラックスの流入等湾内の環流を形成する要因について検討を行い、環流の実態について明らかにすることを予定している。

最後に資料を提供していただいた三重県水産技術センター、伊勢湾シーバース(株)、現場作業を受託された三洋テクノマリン(株)など、本研究に協力いただいた関係者の皆様に感謝いたします。

参 考 文 献

愛知県水産試験場：平成4年伊勢湾・三河湾の赤潮発生状況。(1993)
 三重県水産技術センター：平成4年三重県沿岸海域に発生した赤潮。(1993)

宇野木早苗：伊勢湾・三河湾 II物理，日本全国沿岸海洋誌，pp.513-527，(1985)

西條八束：内湾の富栄養化，内湾の環境科学，培風館，1-37，(1984)

加藤進・大熊和行・広部宏・清水千秋・前川徳昭：
伊勢湾における赤潮に関する研究（その1），
三重県環境科学センター研究報告第5号，1-10，(1984)

気象庁：日本気候表その2（1982）

宇野木早苗：伊勢湾・三河湾の物理環境，沿岸海洋研究ノート，15，143-154，(1978)

Sekine et al. (1992)：Seasonal Variation in Temperature, Salinity and Density In and off Ise Bay, Bull. Fac. Bio., Mie Univ.,8,1-18, (1992)

三重県水産技術センター：浅海定線観測結果，(1992)

加藤進・中川喜明・和田一人・市岡孝生・松本正：
伊勢湾の貧酸素水塊について，三重県環境科学センター研究報告第9号，47-52，(1989)

海上保安庁水路部：伊勢湾潮流図（1971）

岡田喜裕・杉森康宏：回転水槽による伊勢湾の恒流模型実験，沿岸海洋研究ノート，19，165-174，(1982)

運輸省第五港湾建設局：伊勢湾水理模型実験場報告 No.22，(1985)

