

港湾技術資料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No.550 June 1986

東京湾における長周期流れの変動特性
— 現地データ (1983年9月) による検討 —

森 川 雅 行
村 上 和 男

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. はじめに	3
2. 内湾における長周期流れ	4
2.1 内湾における海洋構造	4
2.2 東京湾における長周期流れの観測例	4
3. 流動調査と測得データ	5
3.1 流動調査	5
3.2 気象・海象特性	7
3.3 流動特性	8
4. 長周期流れの変動特性	13
4.1 恒流の分布	13
4.2 25時間移動平均流の特性	14
4.3 25時間移動平均流に影響を及ぼす因子	15
5. 風による長周期流れへの影響	18
5.1 風と流れとの相関	18
5.2 数値モデルによる検討	21
5.3 海況変動	23
6. 結 論	26
7. おわりに	27
参 考 文 献	27
付 図 - A 平均流と平均風の相互相関	28
付 図 - B 風 24時間移動平均ベクトル	35
流れ 25時間移動平均ベクトル	
水温・塩分・密度曲線	

Fluctuation Characteristics of Long-period Currents in Tokyo Bay – Investigation by Field Observation Data in the Bay –

Masayuki MORIKAWA*
Kazuo MURAKAMI**

Synopsis

This paper describes the fluctuation characteristics of long-period components of current which are longer than diurnal period. Field measurements of current velocity were carried out at 10 stations for 1 to 2 months in Tokyo Bay.

It is said that the main causes to create the long-period components of current are density current, which is caused by salinity and water temperature distributions, wind induced current, tidal residual current, and a branch current of sea current.

In the paper, principal component analysis is adopted to examine the influence of several kinds of variables such as water temperature, salinity, wind velocity and wind direction, and water surface level difference on long-period components of current. Especially, in Tokyo Bay, the influence of wind effect is predominant to the fluctuation of the long-period current. Therefore the relationships between the fluctuation of averaged current and that of averaged wind are investigated.

As a result, it is found that the horizontal and vertical circulations in Tokyo Bay are caused mainly by wind action during the observations. Therefore, the mechanism of current in the bay deeply depends on the behavior of wind of each season.

* Ex-Senior Research Engineer, Marine Hydrodynamics Division

** Chief of Marine Diffusion Laboratory, Marine Hydrodynamics Division

東京湾における長周期流れの変動特性 — 現地データ (1983年9月) による検討 —

森川 雅行*

村上 和男**

要 旨

本資料は、東京湾内の10地点で実施された長期の流況観測のデータを用いて、日周期以上の長周期流れの変動特性について述べたものである。

汚染物質等の輸送に大きな役割を果たす長周期流れ、または恒流の生成要因としては、水温、塩分の分布より生じる密度流、風による吹送流、潮汐残差流、黒潮などの海流などがあげられる。ここでは、水温、塩分、風向・風速、水位差等を用いた主成分分析を実施し、長周期流れの変動に及ぼす他の成分の特性について検討した。特に、東京湾においては長周期流れの変動に風の及ぼす影響が強いことから、平均流と平均風の変動に関する相関を調べ、湾全体の水平循環流および鉛直循環流の特性を検討した。

これらの結果、東京湾における季節的な海洋構造と風との関連について考察し、かなり相関が強いことが判明した。

1. はじめに

海岸地域、特に内湾における水質の悪化が大きな社会問題となって以来、日本各地の沿岸では流れや水質の調査が数多く実施されている。また、関西国際空港の建設のような大規模プロジェクトに対しては、大がかりで精巧な流況・水質調査が実施され、環境アセスメントの一部を構成している。

得られた流況データは、主として調和解析やスペクトル解析等により、調和定数値や各周波数成分が求められ検討される。特に、潮流成分が卓越する東京湾や大阪湾、伊勢湾のような内湾では、調和解析が主として実施される。一方、こうした内湾における数値シミュレーションでは、開境界に調和定数値（多くの場合は、平均値として M_2 分潮）を与えて、非定常の潮流計算を数潮せき（汐）実施し、解が安定した1潮せき間の値を用いて、潮流楕円や潮せき残差流（1潮せき間の平均流）の現地データとの比較を行っている。

近年、内湾においても物質の移動に対して長周期流れ

が重要な役割を果たすことが明らかになり、潮流成分を対象とした解析に加えて、流れの長周期成分が検討されるようになってきた。現地観測データから長周期成分の変動特性が検討されたり^{1),2)}長周期流れを対象とする数値シミュレーションも実施されている。^{3),4)}

本資料では、東京湾内10地点で1983年9月を中心に15日間から60日間（測点により異なる）実施した流況調査データを用いて、日周期以上の長周期流れの変動特性を検討する。流況データ以外に、風向・風速、潮位や気圧、河川流量、降水量などのデータを収集し、長周期流れに影響を与える因子を詳しく検討するとともに、有限要素法（FEM）による2レベルの潮流計算を行い若干の検討を加える。以下に、本資料の構成を述べる。2. で内湾における長周期流れの特徴および東京湾での調査例について述べ、3. で実施した流動調査の概要と得られた気象、流動特性を述べ、4. で本資料の主眼である長周期流れの変動特性を、5. で風の長周期流れへの影響を述べる。そして、6. で結論、7. でまとめを述べる。

* 前海洋水理部 主任研究官（現第二港湾建設局 横浜調査設計事務所調査課長）

** 海洋水理部 海水汚染水理研究室長

2. 内湾における長周期流れ

2.1 内湾における海洋構造

内湾の海況は、広大な海洋のそれと比較して時間的、空間的変動が大きく、複雑である。宇野木が述べているように、⁵⁾内湾は大気と海底、陸地と外海に囲まれており、これらの境界を通して運動量、熱量、淡水、さらにその他の物質や物理量のやりとりを行うとともに、内部では循環、対流、混合拡散などの物理過程が行われている。このような内湾における海洋構造の形成要因を図-1⁶⁾に示す。内湾は容量が小さいため、外部の変化に敏感に

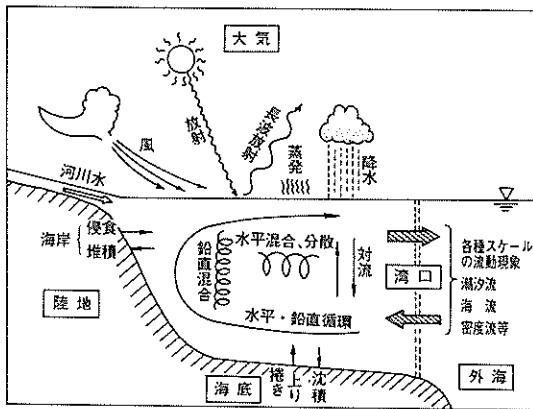


図-1 内湾域の海洋構造の模式図⁶⁾

対応するとともに、境界条件と内部構造とは必ずしも独立でないために両者は互いに作用し合っており、複雑な海況を示している。

内湾には、さまざまな時間と空間のスケールの物理現象が存在するが、一般に最も卓越する流れは半日周期と日周期の潮流である。ここでは、これらの潮流成分よりも周期の長い長周期流れ、あるいは恒流と呼ばれるものについての解析を行う。物質の輸送に果たす役割を考えると、周期的な潮流は流れは強くても1周期後には元の位置に戻る。また、長周期流れも数学的な表現では1周期後には元の位置に戻るが、周期が長いために行程が大きい。実際には、流れにはシアが存在し、流れと乱れの拡散作用が結びついて、物質の広がりに大きな効果を持ち、長周期流れは物質の輸送に重要な役割を果たす。

長周期成分の流れは恒流あるいは平均流ともしばしば呼ばれる。従来、恒流という用語は、流速データを調和分解した際に得られる定数項を指している。⁵⁾この場合、恒流はある観測期間中の平均流を表す。また、恒流は、ある期間の平均流の意味としてではなく長周期の非潮流

成分を指すことがある。潮流調査の多くは、従来は25時間の観測のものが多く、測得データの25時間平均値あるいは25時間移動平均流を恒流と呼ぶ場合もしばしばある。しかし、これらの恒流は、時間的に変動し、用語として適切でないと考えられる。

本資料では、長周期流れ、すなわち卓越する潮流周期より長い周期の流れの変動を検討する。東京湾では、日周潮および半日周潮が卓越しており、したがってここでは1日より長い周期の流れを対象とする。

内湾における長周期流れの成因としては、潮せき残差流、河川水の流入、海面の加熱・冷却による熱塩循環、卓越風による吹送流、外洋における海況変動の波及などが考えられ、これらの諸要素が非線形に重り合って長周期流れを形成していると考えられる。恒流の成因については、成書⁵⁾に詳しい。本資料での観測は、おもに9月に15日、30日、60日間実施しているが、期間がそれほど長期でないので、海面の加熱・冷却による熱塩循環、外洋における海況変動の波及は、観測データから見出すのは難しいと考えられる。

2.2 東京湾における長周期流れの観測例

東京湾は古くから、交通・運輸・通商などの要衝であり、多くの潮流調査が実施されており、長周期流れに関する報告も多い。しかし、系統立った観測が実施され長周期の流系が見出されるようになったのは最近のことである。

東京湾の長周期流れの分布については、遊沼⁷⁾や運輸省第二港湾建設局の報告書^{8),9),10)}に長周期流れの扱え方の変遷とともにその概要が述べられている。これらのものをまとめると、初期(1930年代)は、密度や塩分の分布から湾内には反時計回りの循環があるものと考えられていたが、測流が充実してくるとともに湾内には、時計回りの循環が存在し、この循環の外には湾の西岸沿いに河川系水が南下することが認められている。各種の測流結果をとりまとめて、10月中旬から4月中旬までの寒候期の表層恒流を示したものが図-2¹¹⁾である。湾内での時計回りの循環系の存在、神奈川県の本牧鼻から観音崎にかけての三浦半島沿いには南下流が認められるが、これらの流系と矛盾する流れもあり、流れは複雑である。

暖候期の恒流系については、建設省による調査¹²⁾では、羽田・盤州以北の湾奥部には顕著な時計まわりの循環ができるのに対して、湾南部では流況が複雑で系統的なパターンは得られなかったと報告されている。また、運輸省の報告書¹⁰⁾によれば、図-3に示すように暖候期における恒流は、南西季節風が湾内流動の主要因となって、大局的には反時計回りの環流を構成しているが、卓越風

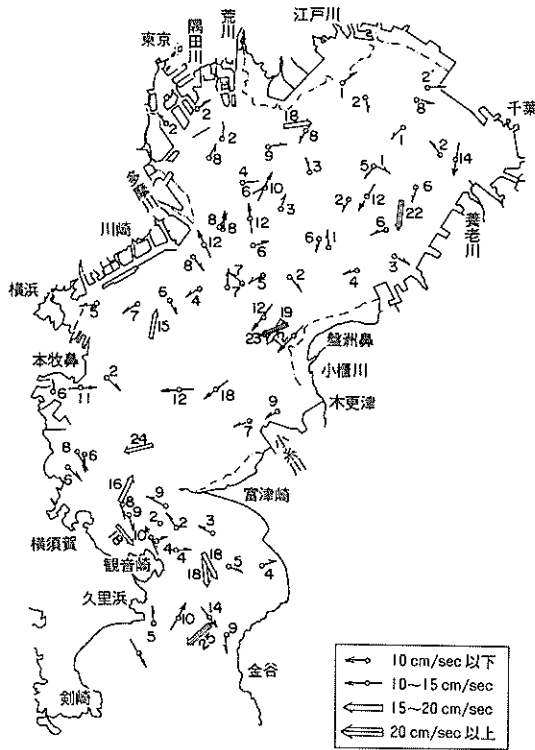


図-2 寒候期の表層恒流¹¹⁾

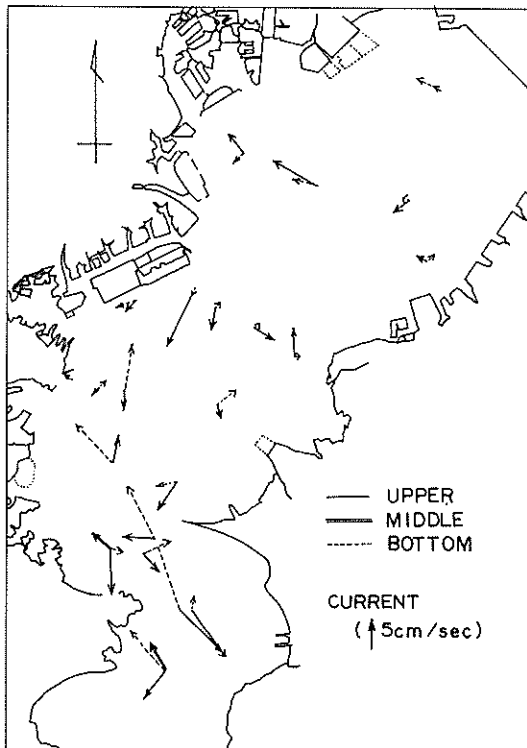


図-3 暖候期の恒流¹⁰⁾

が寒候期に比べて弱く環流は寒候期ほど顕著でないと述べられている。また、通常成層の強い夏季においては重力循環が卓越し、上層流出、下層流入の傾向が強いものと考えられてきたが、東京湾の暖候期においては、南西卓越風による鉛直循環のため、上層流入、下層流出の出現頻度が高く、逆に暖候期の数少ない北東風の時期には上層流出、下層流入の鉛直循環流が生じ、湾奥部で塩分の濃い下層の水が湧昇する背潮現象が出現すると報告されている。

長周期流れの成因としては先にも述べたように種々のものが考えられるが、東京湾においては潮せき残差流は一部の地域を除いて重要でなく、河川水の影響、外海の流動および特に風の影響が大きいたことが指摘されている。東京湾の風については、6月から8月にかけて南偏風が、9月から翌年5月にかけては北偏風が卓越する。今回の観測時期は、南偏風から北偏風への遷移時期にあたり、興味深い流動が得られた。

3. 流動調査と測得データ

3.1 流動調査

図-4に位置を示す10の調査地点で、2層(測点2, 7, 8, 9, 10)もしくは3層(測点1, 3, 4, 5, 6)で、1983年8月下旬から15日間(測点1, 2, 5, 9, 10), 30日間(測点3, 4, 6, 8), 60日間(測点7)の流動調査を実施した。観測の詳細を表-1に示す。観測開始日時に若干の差があるが、数日おきに点検、取り換えを実施し、ほぼ欠測がなく観測を実施することができた。

流速計の設置水深は、平均水面下3mと2層観測の場合は海底面上1/3水深、3層観測の場合は海底面上1/2水深と海底面上5mである。3層観測の場合についての係留系を図-5に示す。上層観測の流速計については、門型に表面ブイより係留し、中層、下層については底層から立ち上げている。したがって、中層、下層の流速計の設置位置は一定であるが、上層については潮位とともに変化する。

次に、用いた流速計について述べる。解析に用いたデータはすべてアンダーラ流速計RCM-4(別称ベルゲン流速計)で取得したものである。機器の構成を図-6に示す。ロープにつながるロッドに対し、ジンバル機構で本体が連結されている。この機器は鉛直な回転軸を有するローターで流速を測定し、流向はベーンで流れの方向をとらえ器械内のマグネティックコンパスにより測定する。流速値は、設定された観測時間の間のローターの全回転数から換算し、流向は設定時刻の瞬間値として測定

表-1 流動調査の詳細

測点	東経	北緯	水深 (m)	観測層 ^a (m)	観測期間
1	139°41'25"	35°20'01"	30	-3, +15, +5	8/28 ~ 9/11
2	139°47'06"	35°20'53"	12	-3, +4	8/27 ~ 9/10
3	139°44'52"	35°24'34"	26	-3, +13, +5	9/1 ~ 9/30
4	139°50'00"	35°28'10"	28	-3, +14, +5	8/30 ~ 9/28
5	139°54'49"	35°28'21"	19	-3, +9.5, +5	8/27 ~ 9/10
6	139°50'31"	35°31'35"	20	-3, +10, +5	8/26 ~ 9/24
7	139°55'47"	35°32'57"	18	-3, +6	8/26 ~ 10/23
8	140°02'34"	35°33'05"	12	-3, +4	8/26 ~ 9/24
9	139°51'55"	35°34'54"	12	-3, +4	8/26 ~ 9/9
10	139°58'29"	35°37'19"	9	-3, +3	8/26 ~ 9/9

^a - は表面からの距離, + は底面からの距離を示す。

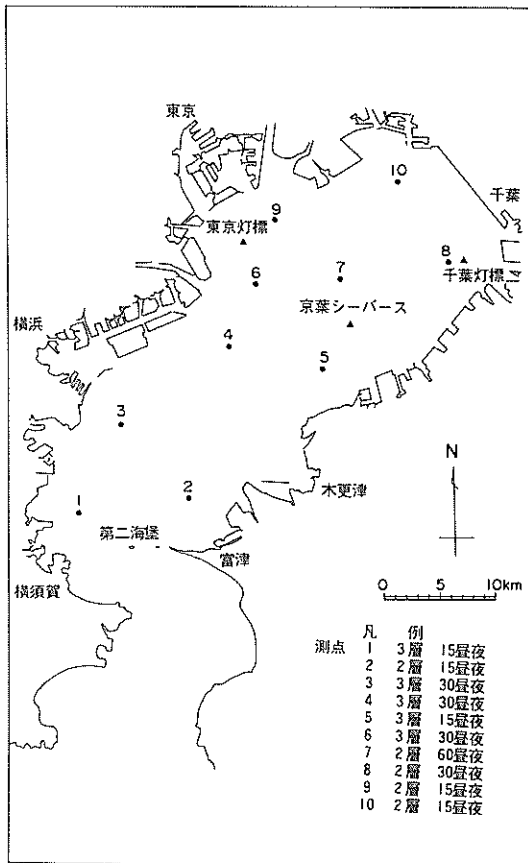


図-4 調査地点

する。流速の測定レンジは2.5 ~ 250 cm/s, 精度は±1 cm/sである。流向の分解能は0.35°, 精度は±5° (流

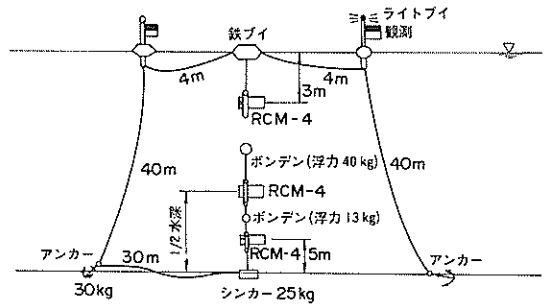


図-5 流速計の係留系

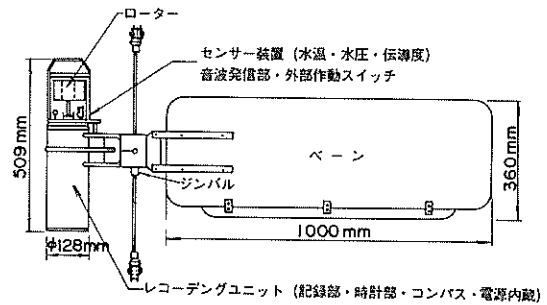


図-6 アンダー流速計の構成

速が5 ~ 100 cm/s)である。本調査では、観測時間間隔は10分間とした。また、今回用いた機器は水温および塩分のセンサーを搭載している。水温センサーはサーミスターで応答時間60秒の特性をもっており、精度は±0.1°Cである。塩分センサーは、海水の電気伝導度を電磁誘導コイルで測定し記録する。水温の記録と電気伝導度から換算式により塩分を算定する。水温、塩分ともに

観測設定時刻の瞬間値である。

流速、流向、水温、塩分などの記録は2進法10桁(0～1023)に変換されて、内蔵磁気テープに収録される。収録容量は約1万個であり、10分間隔で69日間の連続観測が可能である。

最近、ロータータイプの流速計は波による水粒子の往復運動の影響を受け、流速を過大に評価する傾向があると報告されている。¹³⁾そこで、今回の観測では、測点5の上層において、アンダー流速計以外にインペラー型(回転軸が水平)である自記式流速計(協和商工製MTC-II)とダクト付プロペラ式流速計(アンダー型改造型)を並べて設置し、観測を実施した。今回の観測期間においては、あまり大きな波がなかったためにこれらの記録についてはほとんど差はなく、したがって、波による影響は無視できるものと考えられる。

3.2 気象・海象特性

長周期流れに影響を及ぼす因子を検討するために気象、

海象データの収集を実施した。対象は風、潮位、気圧、河川流量、降水量であり、その一覧を表-2に、位置を図-7に示す。流況調査時期のデータに加えて、年間の特性を知るために、年間の統計値も収集した。

東京湾の長周期流れに大きな影響を与えるといわれている風は、第二海堡、東京燈標、京葉シーバース、横浜の4地点で観測されているものを収集した。図-8に、8月13日～23日の10日間の各測点での風のベクトル図を示す。横浜は陸上での観測で風速が他地点に比べて小さくなっている。海上風と考えられる第二海堡、東京燈標、京葉シーバースの風は若干の差異はあるが、ほとんど同じパターンをしているものとみなすことができる。

第二海堡で観測された風のデータを図-9に示す。8月は南風の日が多いが、9月の中旬以後北風が卓越してくることがわかる。また、8月の下旬から9月の中旬にかけては風が非常に弱い。

次に、東京湾内への淡水流入量のデータについて、東京

表-2 東京湾潮流観測資料収集一覧表

項目	観測地点	資料入手機関	収集資料及び期間
風	第二海堡 横浜 東京燈標 京葉シーバース	第二港湾建設局横須賀港工事々務所 横浜地方気象台 東京都港湾局建設部 京葉シーバース株式会社	毎時値 1983年8月11日～10月24日 統計値 1982年 四季, 年間頻度
潮位	第二海堡 横浜 東京燈標 千葉燈標 君津	第二港湾建設局横須賀港工事々務所 第二港湾建設局京浜港工事々務所 東京都港湾局建設部 海上保安庁水路部 新日本製鉄株式会社君津製鉄所	毎時値 1982年10月1日～1983年10月31日
気圧	横須賀 横浜 東京 千葉	海上自衛隊横須賀総監部 横浜地方気象台 東京管区気象台 千葉測候所	6時間毎の値 1982年11月1日～10月31日
降水量	横浜 東京 千葉	横浜地方気象台 東京管区気象台 千葉測候所	日降水量 1983年8月1日～10月31日 統計値 1977年～1981年月降水量
河川流量	鶴見川(亀の子橋) 多摩川(石原) 荒川(秋ヶ瀬) 江戸川(野田)	関東地方建設局京浜工事々務所 関東地方建設局京浜工事々務所 関東地方建設局荒川上流工事々務所 関東地方建設局江戸川工事々務所	毎時平均値 1983年8月1日～10月31日 統計値 1977年～1981年 月平均値

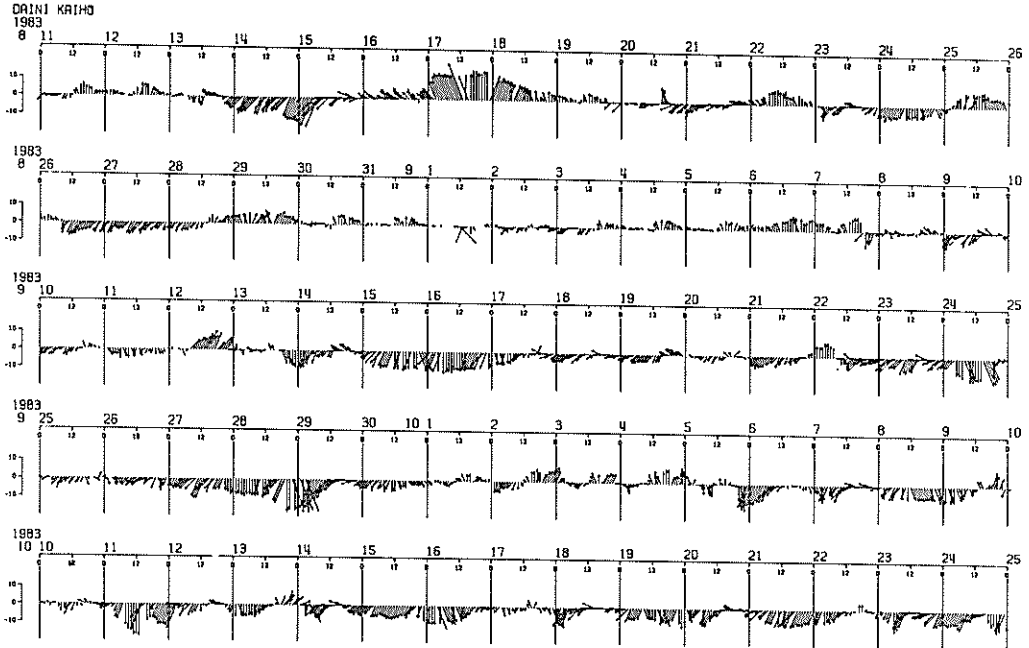


図-9 第二海堡での風の経時変化（8月11日～10月25日） 単位：m/sec

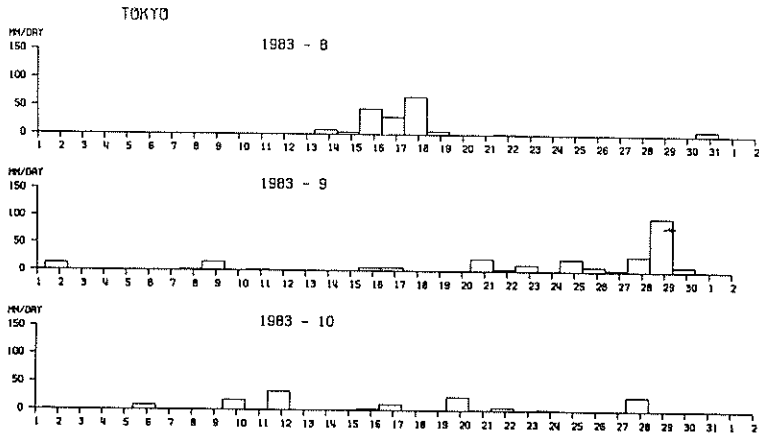


図-10 東京の降水量の日変化（1983年8月～10月）

の測点8, 9, 10および測点3を除いて、各層における長軸値はあまり変わらず、測点1, 4, 5, 6では下層がもっとも大きな長軸値を示す。

次に、図-17, 18に測点7の下層のデータ1024個から求めた回転スペクトルと回転係数¹⁴⁾を示す。半日周期にエネルギーのピークが存在し、長周期成分のエネルギーもかなり高いことがわかる。また、回転係数をみると、日周期から半日周期にかけて1に近い値になっており、時計まわりの運動が卓越していることがわかる。いま、流体に地球自転の効果（コリオリ力）のみ働いた

と仮定して得られる運動（北半球では時計まわり）の周期、すなわち慣性周期（緯度 34° で約20.6時間）で、測点7のデータから求めた回転係数はほぼ1となっており、地球自転の効果の影響が考えられる。同様な傾向は測点4, 5, 6でもみられた。こうした成層期に内湾の流動に対してコリオリ力の影響が大きく作用することは宇野木¹⁵⁾により指摘されている。

なお、本調査の詳しい気象、海象流動特性については文献¹⁶⁾を参照されたい。

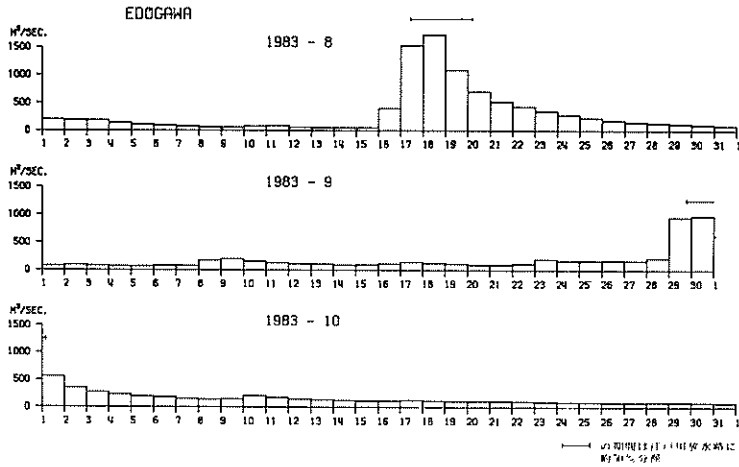


図-11 江戸川の河川流量の日変化（1983年8月～10月）

表-3 平均流速

	測点1	測点2	測点3	測点4	測点5	測点6	測点7	測点8	測点9	測点10
上層(cm/s)	23.9	26.1	24.0	22.5	20.7	21.7	21.5	17.7	20.7	16.9
中層(cm/s)	22.7		21.2	15.7	12.5	11.4				
下層(cm/s)	15.4	21.4	12.3	11.9	12.4	10.2	11.5	7.0	11.3	10.7

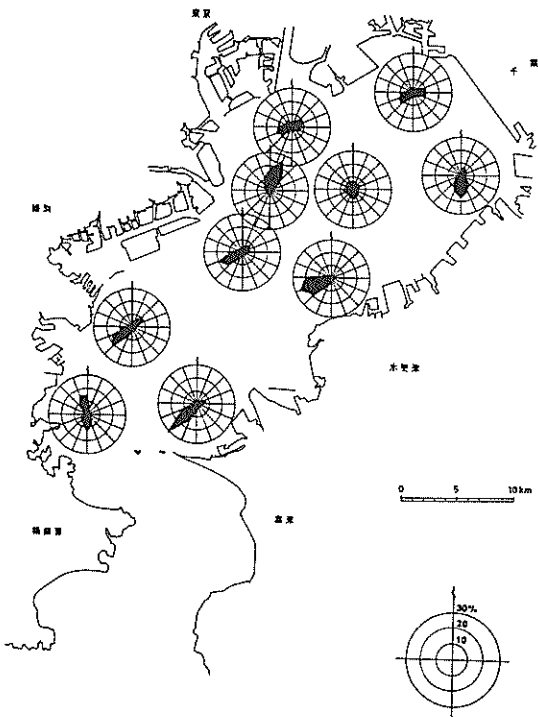


図-12 流向頻度図（上層）

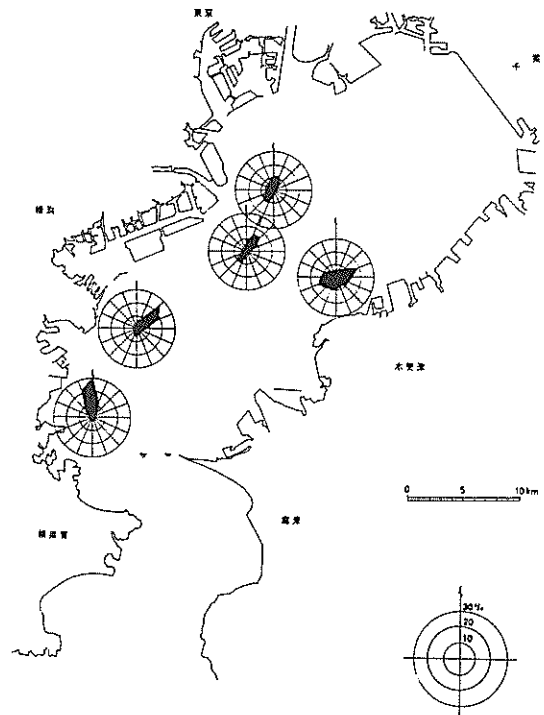


図-13 流向頻度図（中層）

表-4 潮流の調和分解結果 (測点4)

	上層 (海面下3m)				中層 (海底上14m)				下層 (海底上5m)			
	北方成分		東方成分		北方成分		東方成分		北方成分		東方成分	
	流速	遅角	流速	遅角	流速	遅角	流速	遅角	流速	遅角	流速	遅角
	m/s	°	m/s	°	m/s	°	m/s	°	m/s	°	m/s	°
K ₁	0.020	123.6	0.011	83.8	0.028	73.6	0.018	86.2	0.020	73.9	0.019	53.4
O ₁	0.025	88.4	0.020	105.2	0.030	45.2	0.017	84.0	0.017	41.2	0.016	42.3
P ₁	0.007	123.6	0.004	83.8	0.009	73.6	0.006	86.2	0.007	73.9	0.006	53.4
Q ₁	0.015	272.2	0.016	49.6	0.008	7.7	0.009	7.1	0.003	47.5	0.008	354.2
M ₂	0.092	72.9	0.076	104.3	0.098	63.6	0.101	73.1	0.086	58.2	0.104	66.7
S ₂	0.061	113.5	0.039	125.2	0.064	98.5	0.049	108.1	0.049	92.6	0.057	103.3
K ₂	0.017	113.5	0.011	125.2	0.017	98.5	0.013	108.1	0.013	92.6	0.015	103.3
N ₂	0.020	61.1	0.025	78.9	0.013	82.4	0.026	19.4	0.019	61.0	0.012	56.3
L ₂	0.009	130.5	0.013	324.1	0.015	49.3	0.015	162.3	0.009	13.5	0.007	92.7
ν ₂	0.004	61.1	0.005	78.9	0.003	82.4	0.005	19.4	0.004	61.0	0.002	56.3
# ₂	0.021	165.8	0.010	104.9	0.010	57.9	0.015	77.6	0.004	120.1	0.007	60.3
M ₄	0.013	161.9	0.003	198.1	0.002	111.9	0.005	159.4	0.008	181.9	0.005	144.0
MS ₄	0.009	220.6	0.008	318.4	0.006	301.9	0.005	156.5	0.005	221.6	0.007	194.1
V ₀	-0.032 m/s		-0.081 m/s		0.019 m/s		0.024 m/s		0.005 m/s		0.004 m/s	

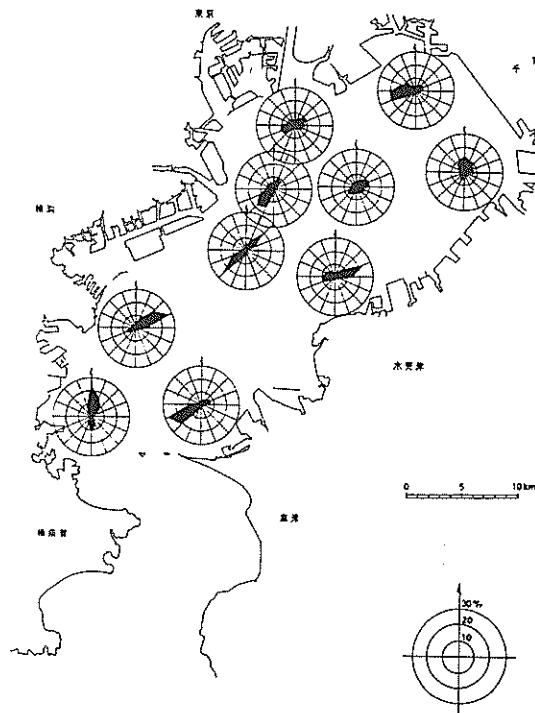


図-14 流向頻度図 (下層)

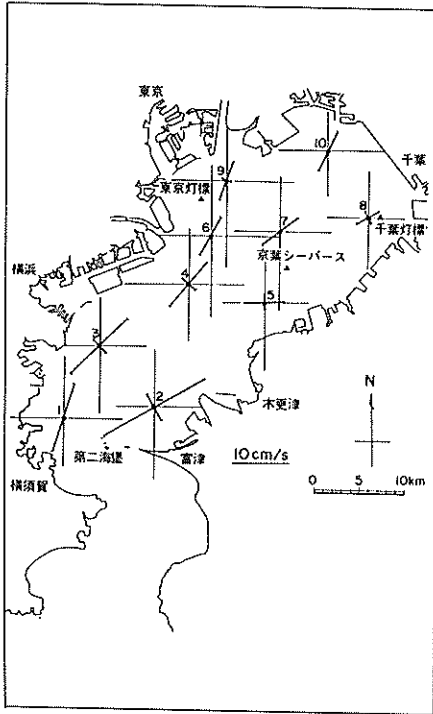


図-15 潮流の M_2 分潮の長軸と短軸 (上層)

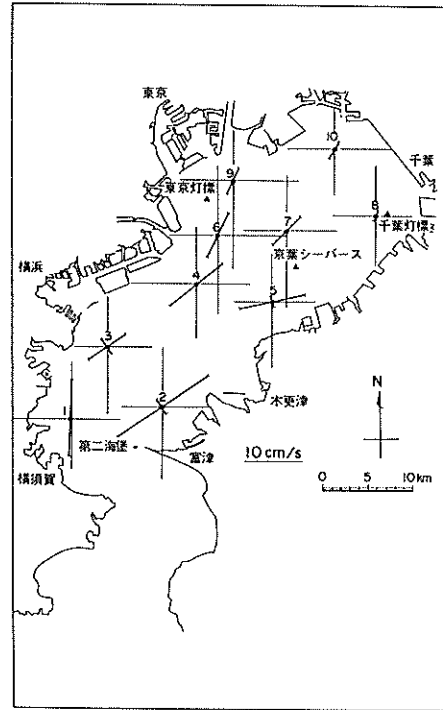


図-16 潮流の M_2 分潮の長軸と短軸 (下層)

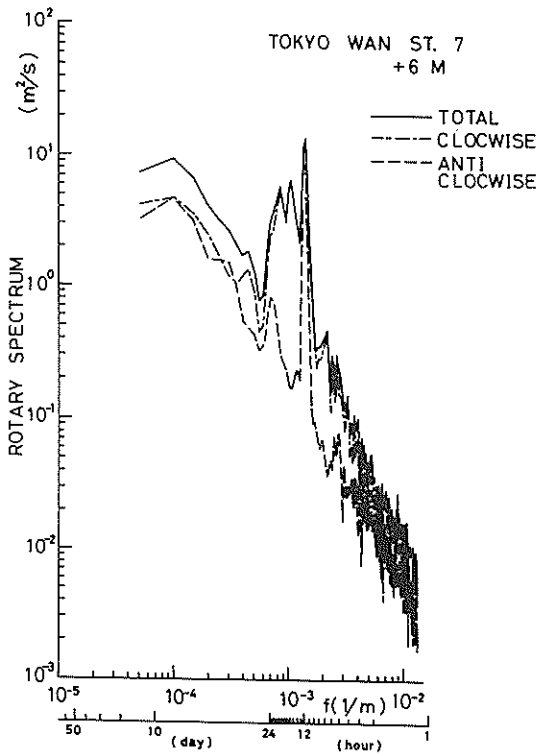


図-17 回転スペクトル (測点7, 下層)

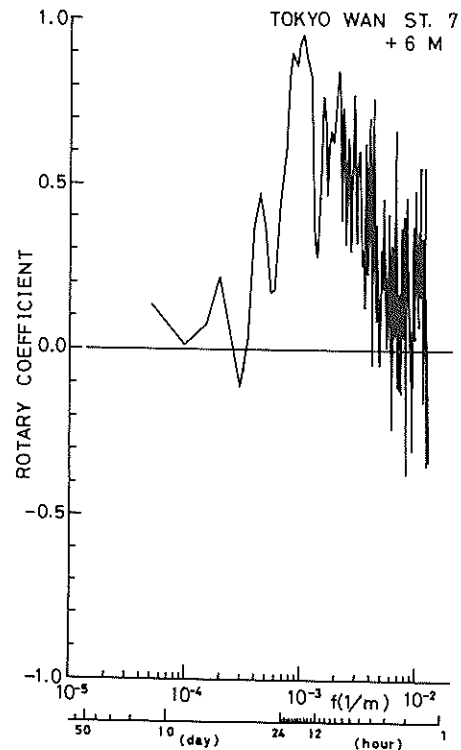


図-18 回転係数 (測点7, 下層)

4. 長周期流れの変動特性

4.1 恒流の分布

15日間ごとのデータを用いて調和分解を実施し、その定数項成分としての恒流を求めた。この恒流は観測期間中の平均流を表すものと考えられる。8月26日～9月9日（期間Ⅰ）、9月10日～24日（期間Ⅱ）のデータから求めた恒流を図-19、20に示す。測点7については、9月25日～10月9日（期間Ⅲ）、10月10日～24日（期間Ⅳ）のデータから求めた恒流についても図-20に示す。

期間Ⅰの恒流の分布から、上層においては湾口に近い測点2、3、4、5の恒流は湾外への流出傾向を示している。また、測点6～10の湾奥部の上層では時計まわりの循環系が存在することがわかる。また、下層では測点2を除いて、恒流は流入傾向を示す。流れが微弱で断定できないが、湾奥部で反時計まわりの循環系が存在するようである。中層の恒流については、下層のものとはほぼ同じ流向を示す。測点1、3では値が10cm/s以上と大き

くなっている。

期間Ⅱのデータから求めた恒流の分布は、期間Ⅰのものと同じ傾向を示していると考えられる。期間Ⅲ、Ⅳについては測点7の値しかないが、期間Ⅰ、Ⅱの恒流とは異なっているようである。上層の恒流の南流成分が増大している。これは、従来から指摘されているように卓越風の特性変化によるものと考えられる。表-5に、京葉シーバースで観測された風のデータの各期間別の平均を示す。この表から、期間が後になるほど風が強くなり、北東系の風が卓越することがわかる。この風の特性変化

表-5 風の期間別の平均（京葉シーバース）

	東方成分 (m/s)	北方成分 (m/s)
期間Ⅰ	-0.73	0.38
期間Ⅱ	-2.39	-1.66
期間Ⅲ	-1.45	-2.13
期間Ⅳ	-3.53	-2.92

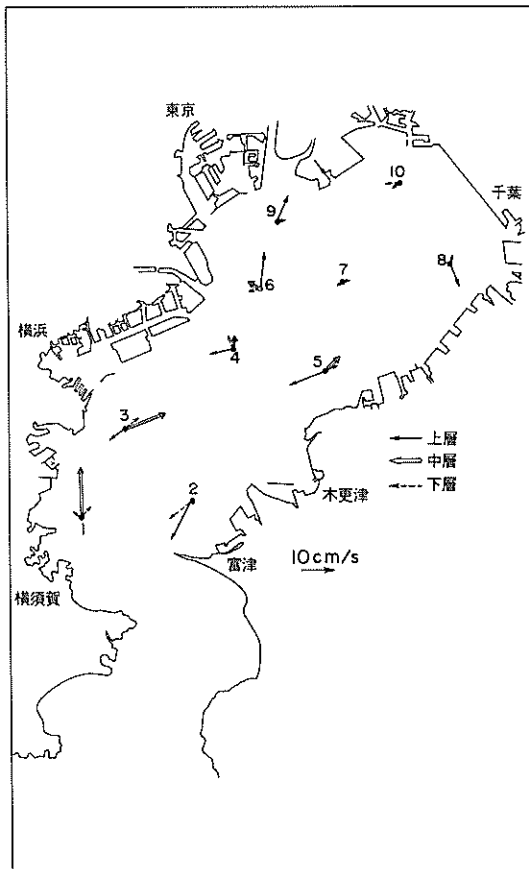


図-19 恒流（期間Ⅰ：8月26日～9月9日）

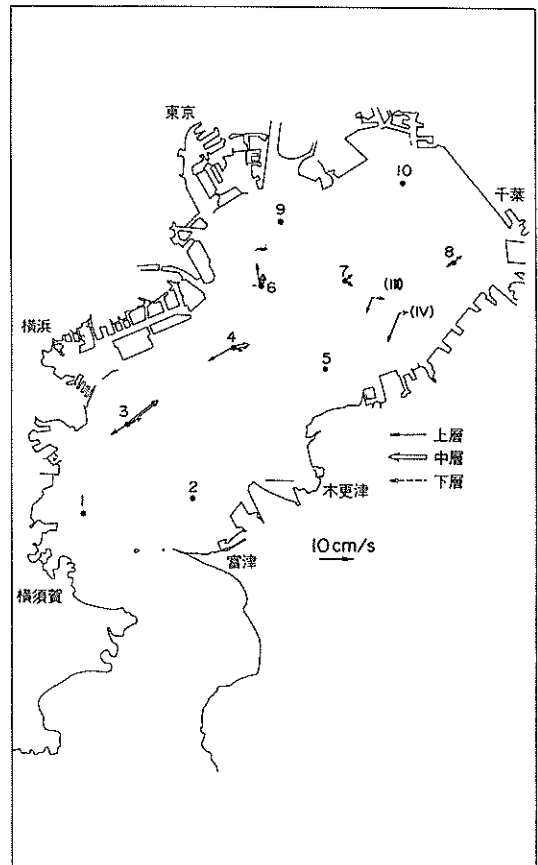


図-20 恒流（期間Ⅱ：9月10日～9月24日）

に応じて、恒流系が変化すると考えられる。風の影響を最も受けやすい表層についての恒流の変化をみると、期間Ⅱの方が南西方向に増加しており、北東風の増大による影響を示している。この傾向は、測点7での期間Ⅲ、Ⅳにおいても見られるが、測点が一点だけなので詳細は不明である。風が長周期流れに及ぼす影響については、次章で詳述する。

4.2 25時間移動平均流の特性

前節では、15日間の平均流の変動を検討した。得られた恒流は、観測時期によりかなりの変動を示す傾向があった。そこで、より短周期な流れの変動を調べるために、日周潮流以下の周期の潮流を近似的に除去した25時間移動平均流の変動について考察する。

25時間移動平均流の流向の頻度分布図（カレントローズ）を上層、中層、下層について図-21、22、23に示す。生データの流向頻度図と比べて、25時間移動平均流の場合は流向の頻度分布が狭くなり卓越方向が明りょうになってくる。また、多くの測点で上層と下層の頻度分

布が異なっており、水深方向に平均流の運動のモードが異なっていることが示唆される。そこで、Kunduら⁷⁾が陸棚波の解析に用いた経験的固有関数（EOF）展開を用いて、平均流の東方、北方成分のそれぞれを直交する統計モードに分解した。

3層観測点について得られた統計的1モードを表-6に示す。

測点1の東方成分を除いて、鉛直方向の固有関数は上層と下層とで符号が異なっており、このことは流れが水深方向に運動のモードが異なるバロクリニック的特性を有することを示している。この特性を示す割合は、平均流の全分散の47～87%である。湾口部の測点1、3では北方成分、他の測点では東方成分の方が大きい。

固有関数の符号が変わる深さは、測点1では中層と下層の間にあり、他の測点では表層と中層の間にある。鉛直方向の測点数が少ないので断定的なことは言えないが、これは地点によって混合層の深さが異なるためと考えられる。

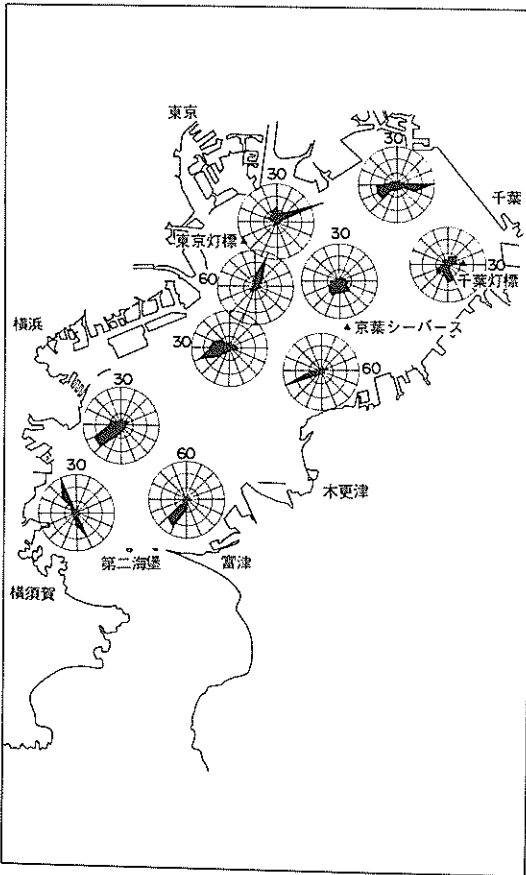


図-21 25時間移動平均流の流向頻度図（上層）

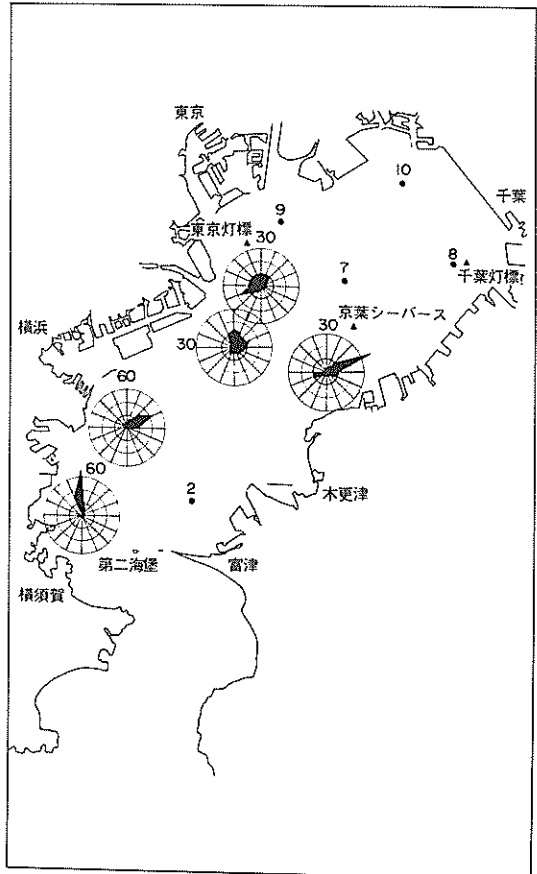


図-22 25時間移動平均流の流向頻度図（中層）

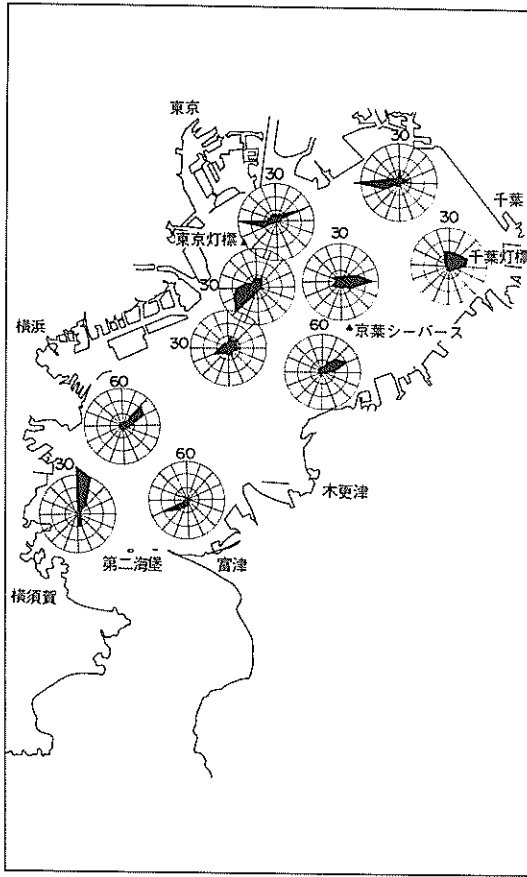


図-23 25時間移動平均流の流向頻度図（下層）

4.3 25時間移動平均流に影響を及ぼす因子

25時間移動平均流に影響を及ぼす因子を調べるために、気象、海象データを用いて主成分分析を測点別に実施した。用いた変数は各層の25時間移動平均流の東方、北方成分、水温、塩分、密度および流動調査地点に近い観測

点での気圧と風の東方、北方成分さらに適切な二つの検潮所の潮位から求めた東方、北方の水位差である。

水温、塩分、密度、水位差については25時間、風速については24時間の移動平均を施している。

得られた固有値と因子負荷量を第2主成分までについて表-7に示す。求められた主成分に対して、厳密に物理的意味を定義するのは難しいが、以下に測点別に特徴を述べる。

測点1の第1主成分は、各層の平均流と中層、下層の水温、塩分、密度および平均風の因子負荷量が高く、風による平均流の変動および中、下層の物理特性の変動を表す特性値と考えることができる。平均流の北方成分の因子負荷量は、上層、中層では平均風のそれと同符号、下層では異符号になっており、中層以浅では、風と順モード、下層では逆のモードとなっている。上層、中層の平均流の東方成分は、風とは逆のモードとなっている。また、測点1の第2主成分は、上層の塩分、密度および水位差の東方、北方成分と高い負の相関を示し、下層の水温、塩分、密度とも相関が高い。

測点2の第1主成分は平均流と正の相関、上層の水温、下層の塩分、密度、平均風と水位差と負の相関が高い。また、第2主成分は上層の塩分、密度の変動特性を示すものと考えられる。測点2では、平均流は常に流出傾向を示しており、他の測点と変動特性は異なっているようである。

測点3の第1主成分は上層の平均流と正、中、下層の平均流と負、平均風と水位差と正の相関を示す。この主成分は、平均風の変動とそれに伴う平均流の変動特性を表すものと考えられる。上層の流れは風と順モード、中、下層の流れは風と逆のモードになっている。第2主成分は、特に高い因子負荷量を示す項目はないが、各層の水温、塩分、密度と相関が比較的高く、これらの変動を表

表-6 平均流の経験的直交関数展開

	測点1		測点3		測点4		測点5		測点6		
	東方成分	北方成分	東方成分	北方成分	東方成分	北方成分	東方成分	北方成分	東方成分	北方成分	
固有値	1.41	2.32	1.70	1.81	2.09	1.66	2.33	1.83	2.22	1.96	
固有関数	表層	0.72	-0.60	-0.67	-0.66	-0.51	-0.59	-0.57	-0.43	-0.61	-0.44
	中層	0.66	-0.55	0.46	0.54	0.56	0.41	0.59	0.60	0.56	0.57
	底層	0.19	0.59	0.58	0.52	0.65	0.69	0.57	0.67	0.56	0.69
寄与率(%)	46.7	77.5	56.6	60.2	69.6	60.8	77.6	60.8	74.2	65.2	

表-7(1) 第1主成分と第2主成分の固有値と因子負荷量

		測点 1		測点 3		測点 4		測点 5		測点 6	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
上層	東方成分	-0.82	0.28	0.64	-0.44	0.45	-0.45	0.85	-0.04	0.60	0.58
	北方成分	0.81	-0.53	0.84	-0.23	0.05	-0.57	0.83	-0.05	0.73	0.23
中層	東方成分	-0.60	-0.14	0.09	0.30	-0.64	0.11	-0.81	0.29	-0.35	-0.77
	北方成分	0.83	0.19	-0.71	-0.07	-0.01	-0.04	-0.40	0.16	-0.07	-0.83
下層	東方成分	0.14	-0.10	-0.49	0.59	-0.67	0.25	-0.75	-0.28	-0.85	-0.31
	北方成分	-0.88	0.08	-0.37	0.66	-0.27	0.56	-0.57	0.10	-0.61	-0.71
上層	水温	-0.29	0.62	0.58	-0.09	0.75	-0.31	0.59	0.22	-0.35	0.46
	塩分	0.12	-0.96	0.61	0.44	-0.65	0.38	-0.83	0.02	0.42	0.31
	密度	0.16	-0.96	0.06	0.42	-0.74	0.37	-0.81	-0.06	0.47	0.02
中層	水温	-0.94	0.08	0.19	0.39	0.51	0.66	0.67	0.30	-0.76	0.35
	塩分	0.76	-0.30	0.07	-0.66	-0.78	-0.25	-0.88	0.07	0.74	-0.23
	密度	0.85	-0.26	-0.00	-0.76	-0.78	-0.44	-0.89	-0.02	0.76	-0.28
下層	水温	-0.59	-0.48	0.13	0.27	0.15	0.72	-0.19	0.74	-0.42	0.54
	塩分	0.75	0.62	-0.51	-0.37	-0.85	-0.29	0.15	-0.74	0.81	-0.43
	密度	0.71	0.58	-0.64	-0.63	-0.65	-0.59	0.22	-0.92	0.70	-0.53
平均風	東方成分	0.79	-0.01	0.37	-0.40	0.55	-0.13	0.93	0.09	-0.00	0.61
	北方成分	0.80	-0.32	0.86	-0.30	0.45	-0.79	0.88	0.16	0.39	0.72
水位差	東方	-0.03	-0.96	0.86	0.26	0.23	0.03	0.36	0.70	0.20	0.15
	北方	-0.43	-0.79	0.76	0.22	0.13	-0.24	0.16	-0.59	-0.26	0.31
気 圧		0.44	0.48	-0.10	-0.35	-0.40	-0.54	0.09	-0.31	0.49	-0.29
固 有 値		8.55	5.62	5.65	3.77	6.04	3.92	8.73	3.23	6.15	4.67
寄 与 率 (%)		42.7	28.1	28.2	18.9	30.2	19.6	43.7	16.2	30.7	23.3

すものと解釈できる。これらの因子負荷量の符号は、上層と中、下層で異なっており、水深方向に変動モードが異なることがわかる。

測点4の第1主成分は、各層の水温、塩分、密度と相関が高い。これらの因子負荷量の符号は各層で同じである。また、平均流の東方成分とも相関が高い。第2主成分は平均風の北方成分と相関が高く、これに伴う海況変動を表すものと考えられる。平均流の東方、北方成分ともに水深方向に異なる運動のモードを示す。また、平均流の東西運動に関連して各層の水温、塩分、密度の値が変動することは、これらの値の勾配が東西方向に急になっていることを示す。

測点5では、第1主成分は上層の平均流とは正、中、

下層の平均流とは負、平均風とは正の相関を示す。また、上、中層の水温は正、塩分、密度は負の相関を示す。これらの因子負荷量の値は大きく、これらの項目の相関が強いことを示している。この主成分は、風による平均流の変動およびそれに伴う水温、塩分、密度の変動を表すものと考えられる。次に、第2主成分は下層の水温、塩分、密度と相関が高く、これらの変動を表すものと考えられる。

測点6の第1主成分は上層の平均流と正、下層のものと負の相関を示す。また、中層、下層の水温、塩分、密度ともに強い相関を示す。第2主成分は平均風および中層の平均流と強い相関を示している。風と流れの運動は、逆のモードになっている。

表-7(2) 第1主成分と第2主成分の固有値と因子負荷量

		測点2		測点7		測点8		測点9		測点10	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
上層	東方成分	0.23	-0.48	-0.01	-0.88	0.53	-0.59	-0.32	-0.60	0.04	-0.86
	北方成分	0.66	0.19	0.68	-0.01	0.11	-0.72	0.63	-0.20	-0.26	-0.63
下層	東方成分	0.55	0.61	-0.13	0.85	-0.51	0.73	0.96	-0.10	0.58	-0.60
	北方成分	0.91	-0.17	-0.33	-0.48	-0.18	-0.06	0.71	-0.42	-0.11	-0.77
上層	水 温 塩 分 密 度	-0.79	-0.11	0.92	0.12	0.88	0.28	0.62	0.27	0.82	-0.10
		-0.23	0.96	-0.72	-0.13	-0.95	-0.20	-0.31	0.85	-0.88	0.14
		-0.03	0.98	-0.85	-0.13	-0.94	-0.22	-0.48	0.77	-0.91	0.13
下層	水 温 塩 分 密 度	-0.09	0.52	0.51	-0.09	0.90	0.25	0.70	0.54	0.93	0.11
		-0.78	0.23	-0.92	-0.14	-0.92	-0.22	-0.83	-0.42	-0.89	-0.18
		-0.75	0.01	-0.88	-0.08	-0.93	-0.23	-0.83	-0.48	-0.91	-0.17
平均風	東方成分	-0.59	-0.69	0.63	-0.60	0.80	-0.30	-0.78	0.52	0.07	0.75
	北方成分	-0.77	-0.45	0.47	-0.61	0.63	-0.60	-0.74	0.55	0.07	0.88
水位差	東方 北方	-0.79	0.41	-0.07	-0.49	0.11	-0.38	-0.60	-0.25	-0.07	0.49
		-0.74	0.30	0.55	0.27	0.93	0.08	0.39	0.67	0.39	-0.13
気 圧		-0.01	-0.63	-0.37	0.09	-0.25	-0.24	-0.24	-0.25	-0.49	-0.33
固 有 値		5.58	4.21	5.59	2.85	7.65	2.39	6.22	3.82	5.59	3.80
寄 与 率 (%)		37.2	28.1	37.2	19.0	51.0	15.6	41.5	25.5	37.3	25.3

測点7の第1主成分は、上層、下層の水温と正の相関、塩分、密度と負の相関を示す。また、上層の平均流の北方成分とも相関が高い。これらの変動を表す主成分と考えられる。第2主成分は、上層、下層における平均流の東方成分の変動を表す。平均風は第1主成分には正、第2主成分には負の相関を示し、その強さはほぼ等しい。

測点8の第1主成分は、上層、下層の水温、塩分、密度の変動を示す。平均風や北方の水位差との相関も高い。これに対して、第2主成分は平均流との相関が高くなっている。

測点9の第1主成分は、平均流と正の相関、上層、下層の水温とは正、塩分、密度とは負の相関を示し、平均風とは負の相関を示す。第2主成分は、上層の塩分、密度との相関が強い。

測点10は、上層、下層の水温と正、塩分、密度とは負の強い相関を示す。また、第2主成分は平均風と正の相関、平均流と負の強い相関を示す。この主成分は、平均風による平均流の変動特性を示す。湾口部の測点と異な

り、上層、下層の平均流ともに風の逆のモードの運動特性を示している。

以上、各測点で得られた各主成分について述べた。これらをまとめると、平均風および平均流の変動特性を示すものとして、測点1, 2, 3, 5, 9の第1主成分、測点6, 10の第2主成分が得られた。湾奥部の測点10および測点2では、上層、下層の平均流ともに風とは負の相関を示す。測点1, 3, 5, 9では、風による平均流の変動への影響は水深により異なるようである。その他の特性値として、各層の水温、塩分、密度の変動を表すものが、測点4, 6, 7, 8, 10の第1主成分、測点1, 2, 3の第2主成分として得られた。湾口部に近い測点の方が、風の変動に伴って平均流の変動が直接的に生じているが、湾奥部になると、水溫、塩分、密度の変動が大きく、平均流の変動は、平均風の影響を直接的に受けず、湾全体の水平循環および鉛直循環の影響を受けているようである。水位差に関しては、他との明確な関連は見出せなかった。

5. 風による長周期流れへの影響

5.1 風と流れとの相関

前章での検討で、東京湾における長周期流れの変動に対して、風が大きな役割を果たすことが確認されたので、ここでは、風と流れとの相互相関関数を求めることにより、両者の関係を検討した。風には24時間、流れには25時間の移動平均を実施している。

図-24に、測点1及び2での流れの25時間移動平均値のベクトル図を、また第二海堡での風の24時間移動平均値のベクトル図を示す。

測点1の各層の平均流と第二海堡の平均風、測点5の平均流と京葉シーバースでの平均風、測点10と東京燈標での平均風の相互相関を図25、26、27に示す。これらの図において、正の遅れは風に対する流れの遅れを示す。他の測点の平均流と平均風との相互相関は付図-Aに示す。測点1の平均流の北方成分は風の東方、北方成分とよく似た相互相関を示す。遅れ時間なしで、上層、中層の平均流の北方成分は強い正の相関、下層は負の相関を示す。一方、平均流の東方成分は、下層の流れと平均風はあまり相関はないが、上層、中層の平均流の東方成分は風と負の相関を示す。一方、測点5については、平均流と平均風の

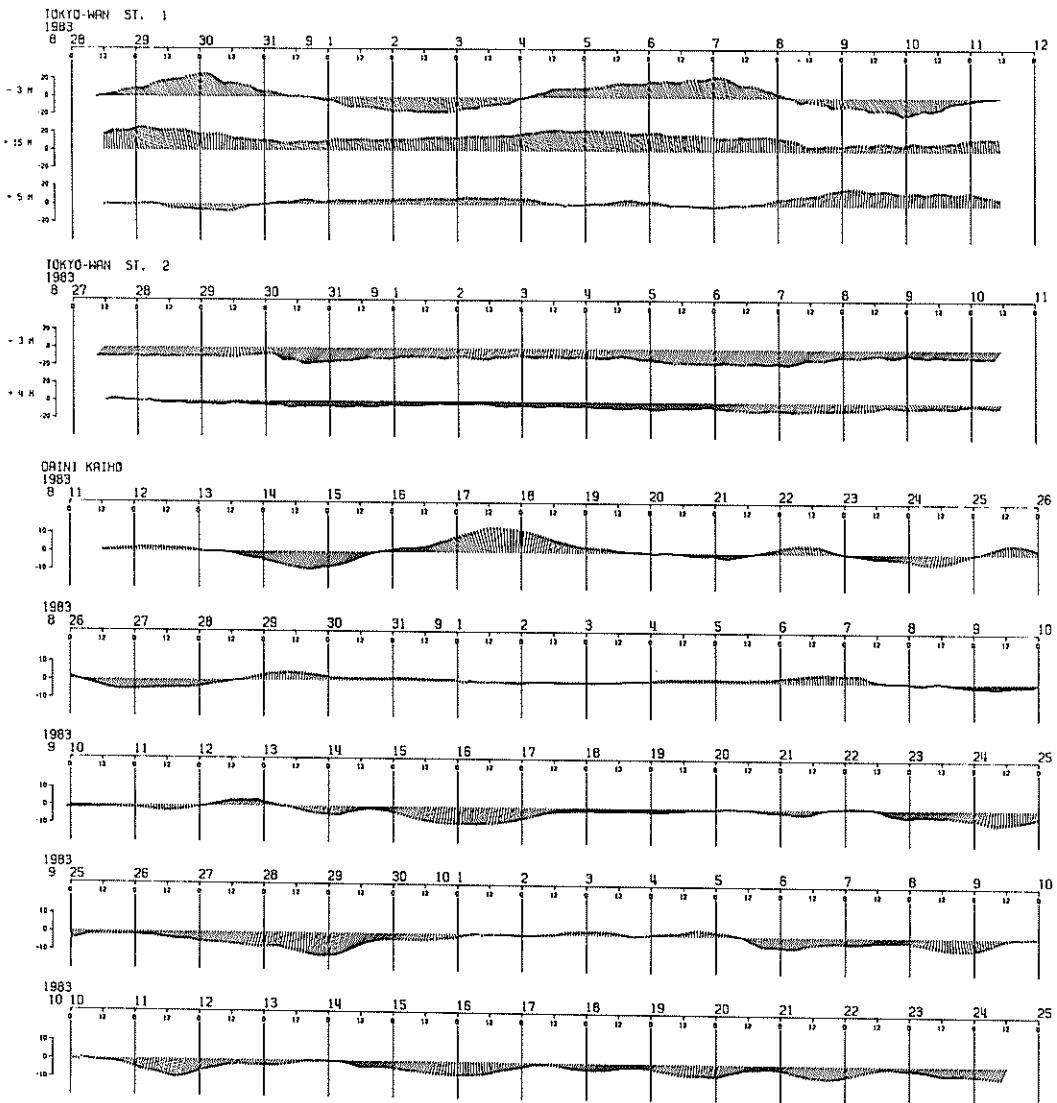


図-24 測点1及び2での25時間移動平均流と第二海堡での24時間移動平均風のベクトル 単位: m/sec

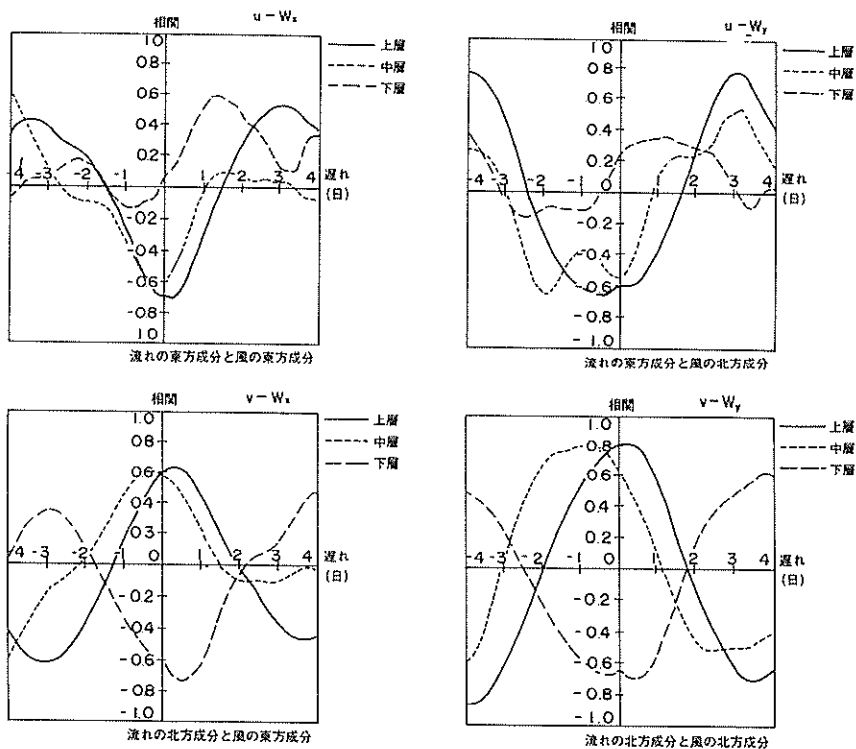


図-25 平均流と平均風の相互相関 (測点 1)

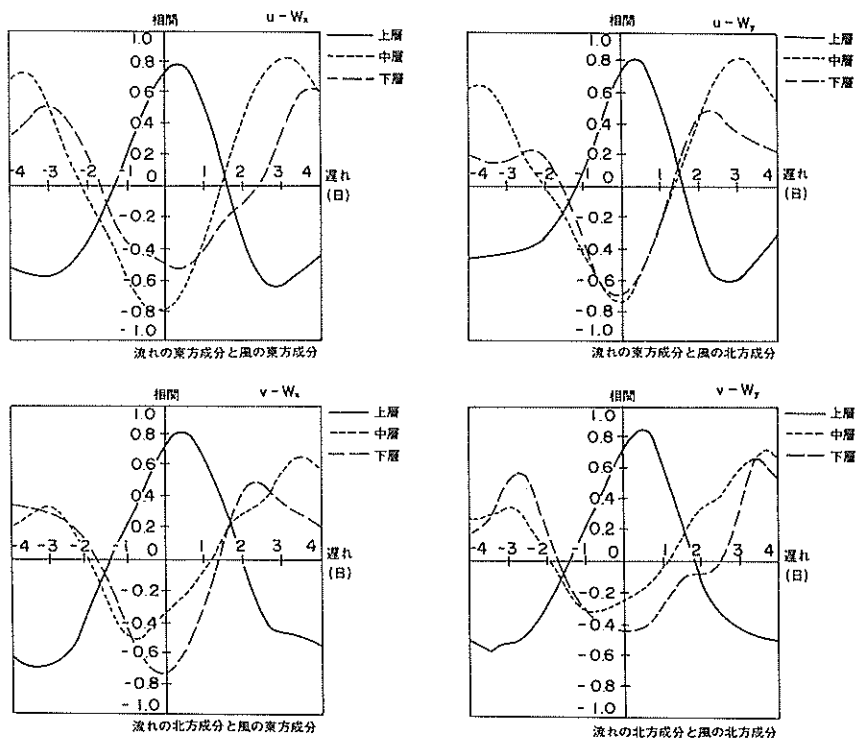


図-26 平均流と平均風の相互相関 (測点 5)

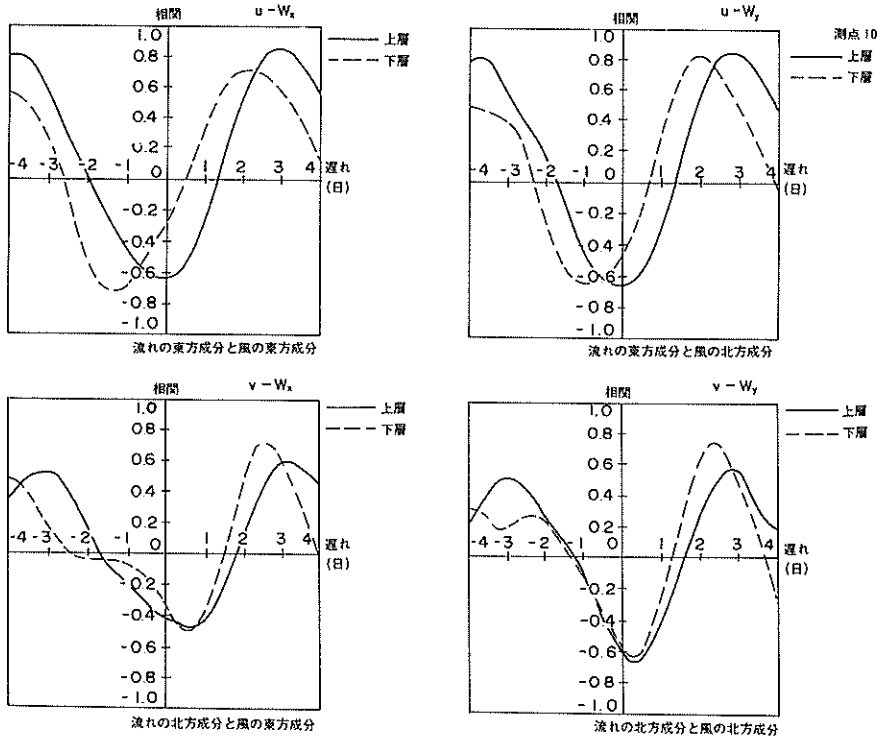


図-27 平均流と平均風の相互相関 (測点10)

各成分の組み合わせに対して、よく似た相互相関を示している。ほぼ遅れ時間なしで、上層の平均流は平均風と強い正の相関、中層、下層の流れは強い負の相関を示す。測点10においては、遅れ時間なしで平均風に対して各層の平均流は負の相関を示している。以上のことにより、測点により平均風に対して平均流が異なった変動を示すことがよくわかる。また、これらの相互相関曲線を見ても、6日～7日程度の周期性があるようである。このことは、図-24の流れと風の移動平均値からもみられ、この影響が相関曲線に表れたものと想定される。

次に、各測点で求めた相互相関の最大値と遅れ時間を表-8に示す。各測点で平均風と平均流のいずれかの成分が絶対値0.5以上の値を示している。風の東方成分と流れの北方成分あるいはその逆の相関が高い測点もかなりある。

表層では、風と正の相関、中層、下層では負の相関を示す測点が多いが、湾奥の測点9、10では上下層ともに負の値を示す。測点8、9では、下層の方が風と強い相関を示す。湾奥では、風によって形成される水平や鉛直循環の影響を受けやすいと考えられる。測点2では、常に湾口へ平均流は流出しており、変動特性が他と異なっている可能性がある。これは、測点2の領域が潮せき残

差流の影響を強く受ける領域に相当するためと思われる。

表-8 平均流と平均風の相互相関の最大値とその遅れ時間

測点	層	東方流速成分の相関		北方流速成分の相関	
		風の東方成分	風の北方成分	風の東方成分	風の北方成分
1	上層	-0.70 (4)	-0.59 (4)	0.63 (8)	0.82 (8)
	中層	-0.58	-0.56	0.57 (1)	0.61
	下層	0.60 (33)	0.36 (31)	-0.74 (12)	-0.70 (8)
2	上層	0.21 (8)	0.07	-0.50 (1)	-0.57 (2)
	下層	-0.70	-0.56	-0.46 (11)	-0.70 (14)
3	上層	0.60 (3)	0.69 (3)	0.40 (14)	0.82 (5)
	中層	-0.32 (14)	-0.09	-0.12	-0.63 (14)
	下層	-0.29 (2)	-0.51 (3)	-0.21 (1)	-0.40 (3)
4	上層	0.59	0.62 (5)	0.26 (14)	0.51 (6)
	中層	-0.33	-0.36	-0.05	0.10
	下層	-0.41	-0.56 (3)	-0.15	-0.54 (3)
5	上層	0.78 (3)	0.82 (8)	0.82 (10)	0.85 (11)
	中層	-0.78	-0.67	-0.33	-0.24
	下層	-0.74	-0.74	-0.53 (9)	-0.45 (3)
6	上層	0.19	0.71 (1)	-0.16	0.45
	中層	-0.33	-0.64 (3)	-0.53 (10)	-0.51 (10)
	下層	-0.24	-0.51	-0.40	-0.63
7	上層	0.61 (1)	0.63	0.74 (22)	0.57 (7)
	下層	-0.49	-0.61 (1)	0.09 (4)	-0.07 (3)
8	上層	0.59 (6)	0.64	0.28 (3)	0.39 (5)
	下層	-0.61	-0.80	-0.34 (29)	-0.21 (34)
9	上層	-0.75 (32)	-0.69 (27)	-0.56	-0.62
	下層	-0.83	-0.77	-0.73 (8)	-0.78 (4)
10	上層	-0.63	-0.67	-0.49 (15)	-0.67 (9)
	下層	-0.26	-0.48	-0.51 (13)	-0.64 (6)

() 内の数値は遅れ時間を表す

5.2 数値モデルによる検討

長周期流れに対する風の影響を調べるために、有限要素法による2レベルモデルの潮流計算を実施し、潮せき残差流(1潮汐間の平均流)を求めた。用いた数値モデルおよび東京湾の有限要素メッシュは文献¹⁸⁾と同一である。計算条件の一覧を表-9に、有限要素分割図を図-28に示す。

計算は、1.風速なし、2.風速3.51ノット・風向南東、3.風速5.82ノット・風向北東の3ケースに対して実施した。ケース2および3の風は、8/26~9/10、9/11~9/25に東京燈標で観測された風のベクトル平均である。また、河川流量は資料収集を実施した多摩川、荒川、江戸川、鶴見川については8/26~9/25の平均流量を、他

表-9 潮流の計算条件

節点数	172
要素数	272
最大要素面積	7.5 km ²
最小要素面積	1.6 km ²
タイムステップ	30 秒
海底摩擦係数	0.005
内部抵抗係数	0.0015
水平混合係数	$E_{hxx} = E_{hyy} = 500 \text{ m}^2/\text{s}$, $E_{hxy} = 250 \text{ m}^2/\text{s}$
上層厚さ	5 m
開境界条件	三浦半島の城ヶ島と房総半島の岩井袋に M_2 分潮
河川流量	表-10
抗力係数	$0.00091(w_{10} \leq 7\text{m/s})$
	$0.00091 + 0.00207(1 - \frac{7}{w_{10}})^2 (w_{10} > 7\text{m/s})$
密度	上層 1.015 下層 1.022
風	ケース 1 なし
	2 風速 3.51ノット 風向 南東
	3 風速 5.82ノット 風向 北東

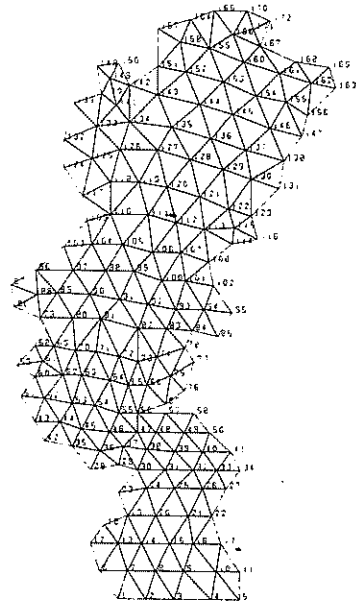
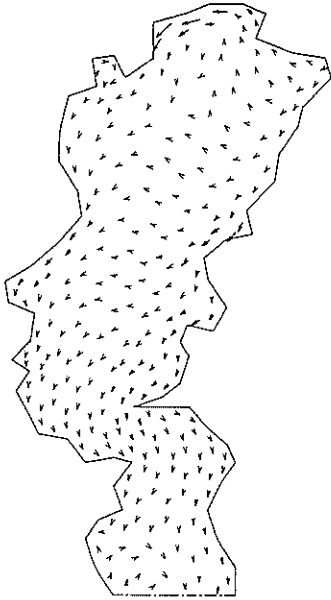


図-28 有限要素分割図

の河川については年平均流量を用いた。

各ケースについて求めた潮せき残差流を図-29, 30, 31, 32, 33, 34に示す。風の影響を考慮していない場合、本モデルでは潮せき残差流はあまり顕著でない。上層は、浦賀水道では流出傾向となっている。河川水の流




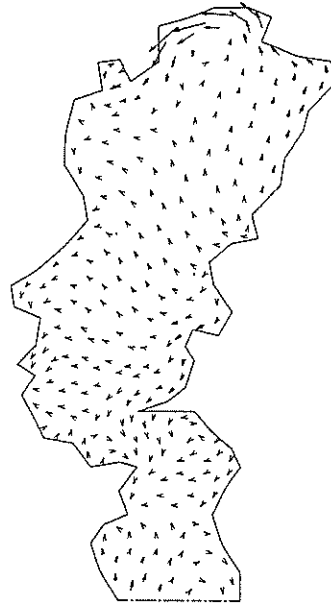
TIDAL RESIDUAL U, V 10CM/S 

図-29 潮せき残差流(上層:無風 0 knot)




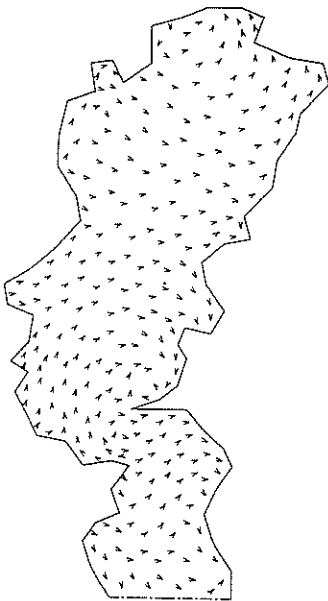
TIDAL RESIDUAL U, V 10CM/S 

図-31 潮せき残差流(上層:南東風 3.51 knot)




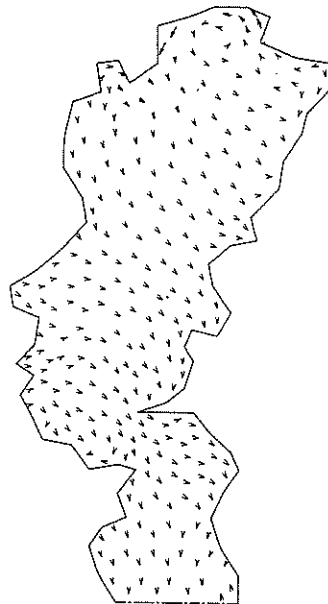
TIDAL RESIDUAL U, V 10CM/S 

図-30 潮せき残差流(下層:無風 0 knot)




TIDAL RESIDUAL U, V 10CM/S 

図-32 潮せき残差流(下層:南東風 3.51 knot)

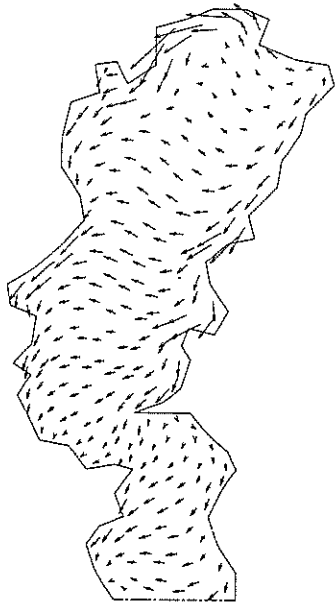


図-33 潮せき残差流（上層：北東風 5.82 knot）

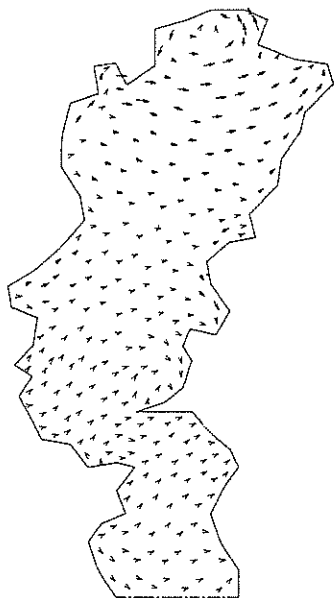


図-34 潮せき残差流（下層：北東風 5.82 knot）

入による流れが湾奥にみられる。また、明確な環流系は存在しないようである。下層は、流速は小さく、富津以北の湾中央部で時計まわりの環流系が存在する。また、上下層で運動のモードが逆になっていることがわかる。観測前半の風を対象とした計算でも、恒流はあまり発達していない。上層では、湾奥部で流入傾向があり、浦賀水道では複雑な流況を呈している。下層の恒流は非常に小さい。次に、後半の風を対象とした計算では、上層で最大10cm/s程度の恒流が存在する。全体として、流れは上層で流出傾向にあり、陸岸に沿って流出する流れが強い。特に、湾中央部で流出傾向の流れが強くなっている。下層の恒流は上層のものと逆のモードを示し、湾奥部で東向きの流れとなっており、かなり大きい。

以上の計算結果は観測された結果とかなり異なっている。これは、本モデルが上層、下層の密度差しか取り扱えず、水平方向の密度の分布を考慮できないこと、また、浮力効果を取り扱えないなどのモデルが実際の現象に比べて簡略すぎるために生じると考えられる。また、境界条件はM₂分潮のみを与えて計算を行ったが、実際は複雑であり、これらの影響もあるものと考えられる。しかし、これらの計算結果と前に述べた観測結果を比較すると、計算結果の方が風の影響を風の方向に、すなわち正の相関をもって受けているようである。以上のことから、風が流れの長周期成分に大きな影響を与えることが数値シミュレーションにより確認された。今後、更にモデルを改良して、風の流れに与える効果に対して検討するつもりである。

5.3 海況変動

一般に、夏期の内湾において内湾系の水は高温低塩分、外海系の水は低温高塩分となっている。東京湾においても、地点により水温、塩分、密度の値は異なっており、性質の異なる水塊が分布していると考えられる。流れの長周期変動に伴い、これらの水塊は互いに混合したり、移動したりする。したがって、ある地点での水温、塩分、密度の連続記録は水塊の移動および長周期流れの特性を理解する上で有効である。

観測の前期（8月26日～9月10日）における、代表的な測点での風の24時間移動平均の北方、東方成分の経時変化、各測点での25時間移動平均流の経時変化、および、水温、塩分、密度の経時変化を図-35に示す。なお実線は上層、破線は下層のデータであることを示す。風は8月28日～31日、9月6日～7日にかけて南風が強くなっている。測点1の上層の平均流はこれに対応して北方成分が大きくなっている。また、測点5、10は平均流の南方成分の変動が大きく、南風が強くなると、測

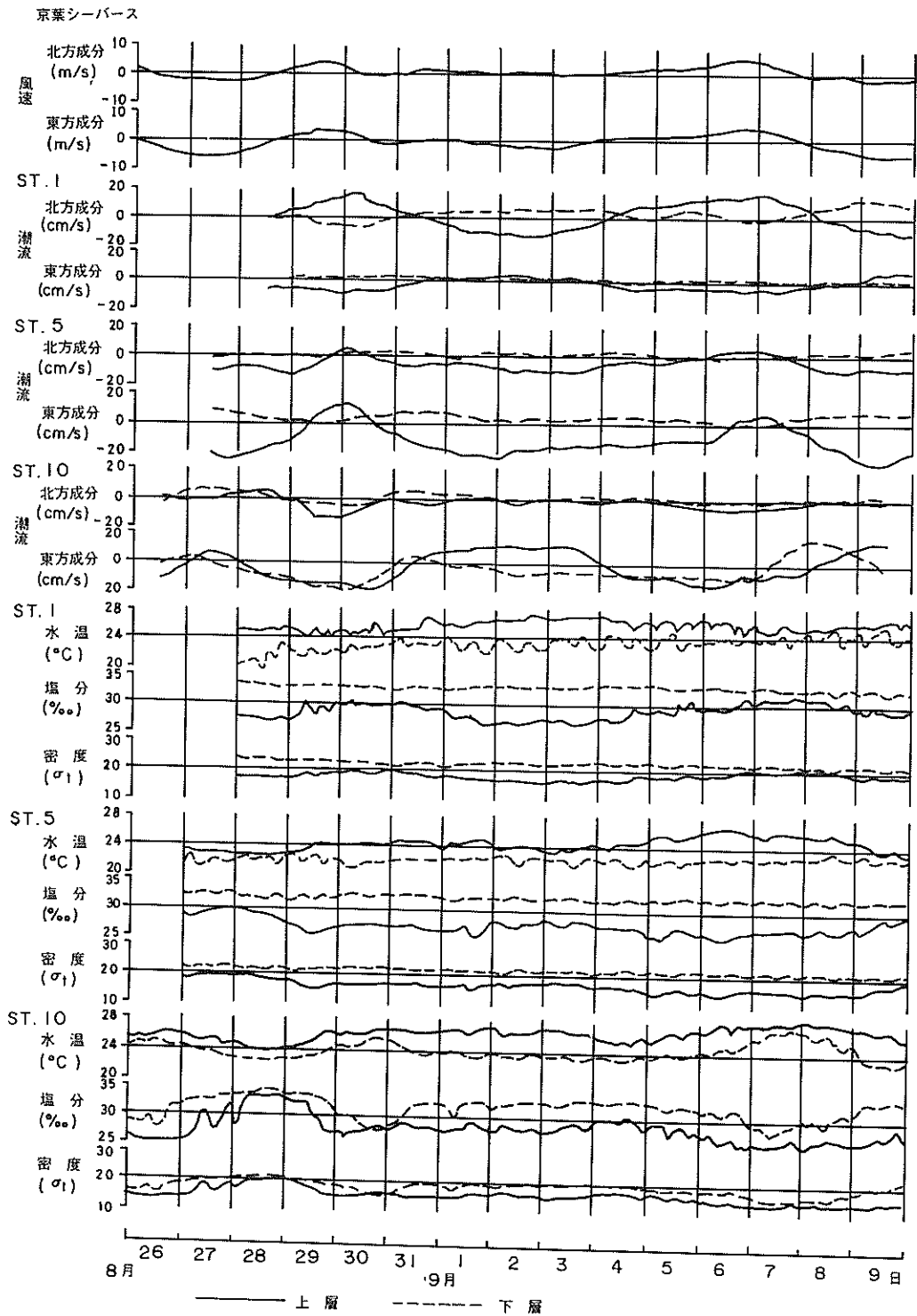


図-35 平均風, 平均流および水温・塩分・密度の経時変化
(8月26日~9月9日)

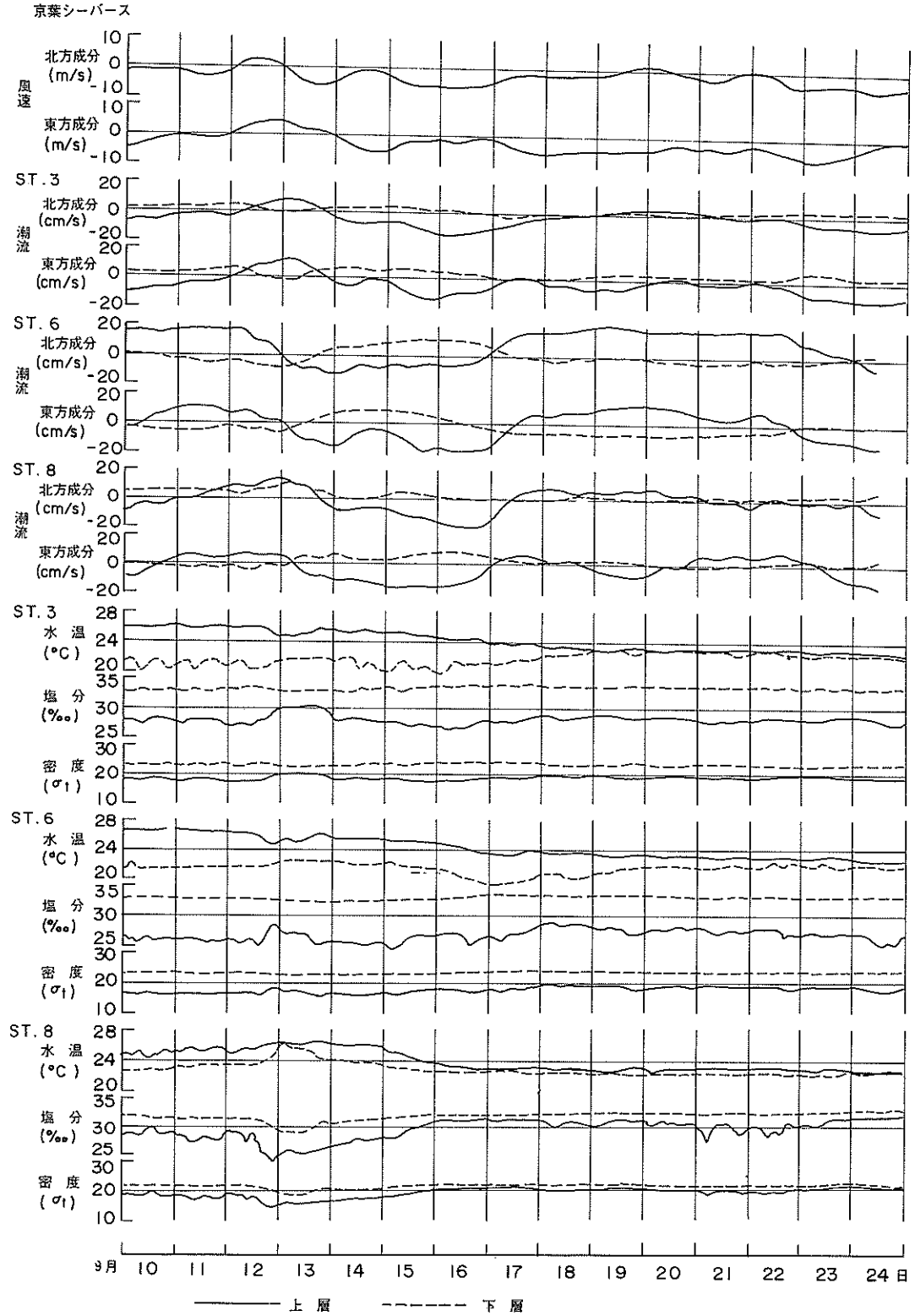


図-36 平均風, 平均流および水温・塩分・密度の経時変化
 (9月10日~9月24日)

点5では上層の東方成分が増え、10では逆に西方成分が増えている。これは湾奥で南風により反時計まわりの循環が形成されている可能性を示している。

水温、塩分、密度についての経時変化をみると、測点1の上層で、流入時に塩分が上昇していることがわかる。測点5の上層では流れの北東成分が増すと上層の塩分および密度が低下している。下層の値は上層の値ほど激しく変化しないが、測点10では9月7、8日に下層の東方成分流が増加し、それに伴い下層の水温の増加、塩分の減少がみられる。湾西部の高温、低塩分の水が移動してきたためと類推される。

次に後半(9月10日~25日)の観測について、図-36に風の変化、平均流の変化および水温、塩分、密度の変化を示す。記録が取得されているのは、五つの地点である。9月13日、15日~17日に北もしくは北北東の風が強く吹いており、南風は12日の午後のみみられるだけである。この風の変動に伴い、各測点の上層の平均流が強く影響されていることがわかる。12日~15日にかけての風の変化に対して、測点3、8の上層ではまず北東流となり、それから南西流に転じている。風が弱くなるにつれて、平均流も弱まっている。しかし、測点6の上層では北東成分の増加はみられない。また、各点で下層の平均流は上層のものと逆モードになっていることがわかる。

水温、塩分、密度については、12日午後に顕著な変動がみられる。湾口部寄りの測点3、湾奥西部の測点6では、上層で水温の下降、塩分の上昇がみられ密度が増加している。低温高塩分の外海系の水が進入してきたと考えられる。一方、湾奥東部の測点8の上下層では、逆に塩分の低下が認められ、密度も減少している。また、下層においては水温が約4℃上昇している。これは南西風により湾奥西側の高温、低塩分の水塊が移動してきたと推察される。9月初旬は、湾の東部に比べて西部は高温低塩分であった。

各点で表層の水温は14日すぎより急速に低下している。また、15日からの北風の卓越により、測点6、8では上層の塩分が増加し、上下の密度差が小さくなっている。特に、測点8では17日以後は上下層でほとんど密度差がないことがわかる。しかし、湾口に近い測点3では、上下層の密度差はあまり変化していない。

以上の検討から、9月10日~24日の海況は風により強い影響を受け、平均流の変化は水温、塩分などの海洋要素の変化をもたらすことがわかった。上層水温の低下に加えて、北風の卓越による上層塩分の増加のために、上下の密度差が減少し、成層が弱められる。これは、湾奥東部ほど顕著であった。そして、さらに気温の低下と北

風の卓越により東京湾は対流期になると考えられる。

なお、他の測点での平均風、平均流および水温・塩分・密度の経時変化図は、付図-1に示す。

6. 結論

1983年9月を主として、東京湾内の10地点において、2層もしくは3層の流況調査をアンデラー流速計を用いて15日間~60日間実施した。流向、流速の他に水温、塩分も測定した。

これらの記録を使用して、東京湾における長周期流れ(1日周期以上の流れ)の変動特性を検討した。得られた主要な結論を以下に列挙する。

- 1) 観測の前半(8月26日~9月9日)のデータから求めた期間の平均流は、上層については、湾口に近い測点では湾外への流出傾向を示し、湾奥部では時計まわりの循環系を構成していた。下層の平均流は富津沖の測点を除いて流入傾向を示す。中層の恒流は下層のものとはほぼ同じである。
- 2) 観測の後半(9月10日~9月25日)のデータから求めた平均流は前半のものとはほぼ同じであった。これは、両期間において、淡水流入や風の条件があまり変化していないためと考えられる。
- 3) 25時間移動平均流は上層と下層で運動のモードが異なるバロクリニック的特性を示す測点が多い。
- 4) 平均流の他に、平均風、水温、塩分、密度、水位差を変数とした主成分分析の結果から、平均風および平均流の変動特性を示す主成分および水温、塩分、密度の変動を示すものが得られた。湾口に近い測点では前者が、湾奥の測点では後者が第1主成分として得られる傾向が大きい。
- 5) 湾口部に近い測点の方が風の変動に伴って平均流の変動が直接的に生じているが、湾奥部になると水温、塩分、密度の変動が大きく、平均流の変動は平均風の影響を直接的に受けず、湾全体の水平循環、鉛直循環の影響を強く受けている。
- 6) 各測点で、25時間移動平均流と24時間移動平均風は高い相関を示す。表層では、風と正の相関、中層、下層では負の相関を示す測点が多いが、湾奥部の測点では上下層ともに負の相関を示し、下層の方が風と強い相関を示す測点がある。
- 7) 有限要素法による2レベルモデルの潮流計算を、観測期間の平均風を用いて行い、潮せき残差流を求めた。得られた平均流は観測結果とはよく一致しなかったが、風が長周期成分の流れに強い影響を与えることがわかった。

- 8) 平均流の変動に伴い、水塊が移動し、水温、塩分、密度の値も変化する。南風が吹くと、湾口部で低温高塩分の外海系の水の進入がみられる。北風の卓越により、湾奥では上層の塩分が増加し、上下の密度差がなくなっている。

7. おわりに

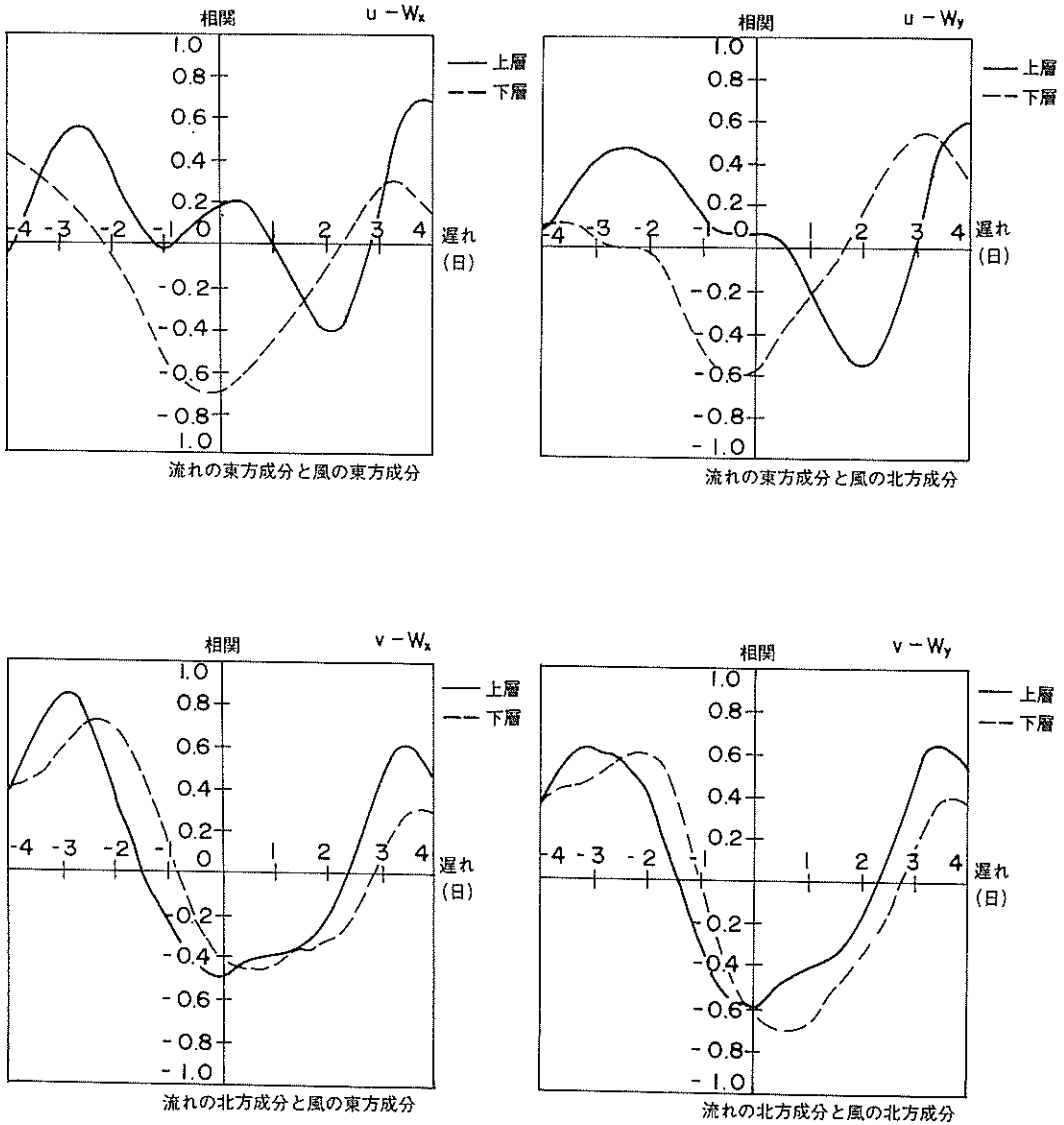
東京湾における流速データを用いて、長周期流れの変動特性を検討した。内湾における長周期の流れは、物質の移動を考える時にきわめて重要な問題である。今回の充実した観測結果を基にして、長周期成分を対象とした数値モデルを開発する予定である。

最後に、観測にあたり御協力をいただいた運輸省第二港湾建設局の関係者の皆様、特に測量船みさきの乗員の方々に深く感謝いたします。

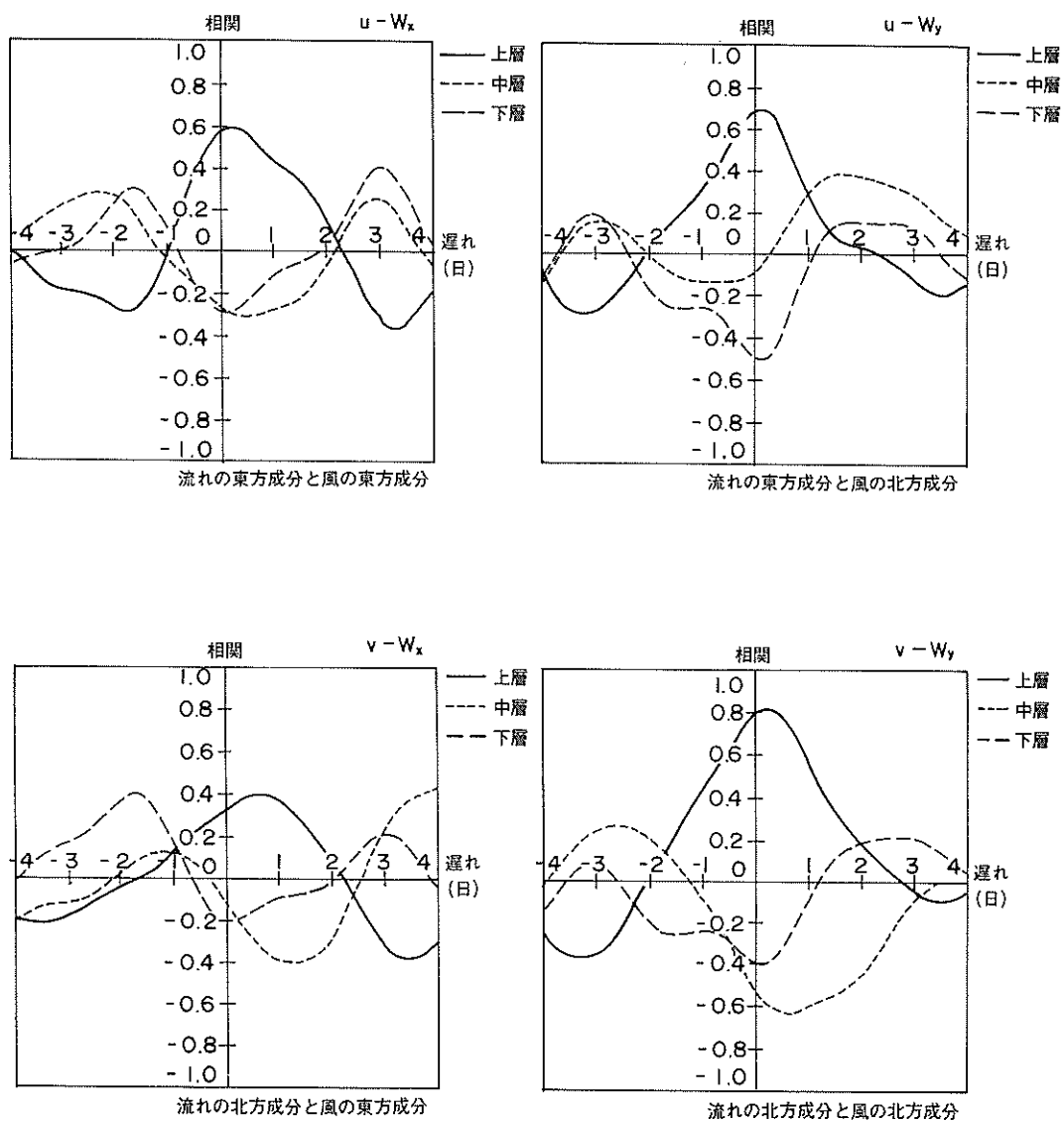
(1986年3月31日受付)

参考文献

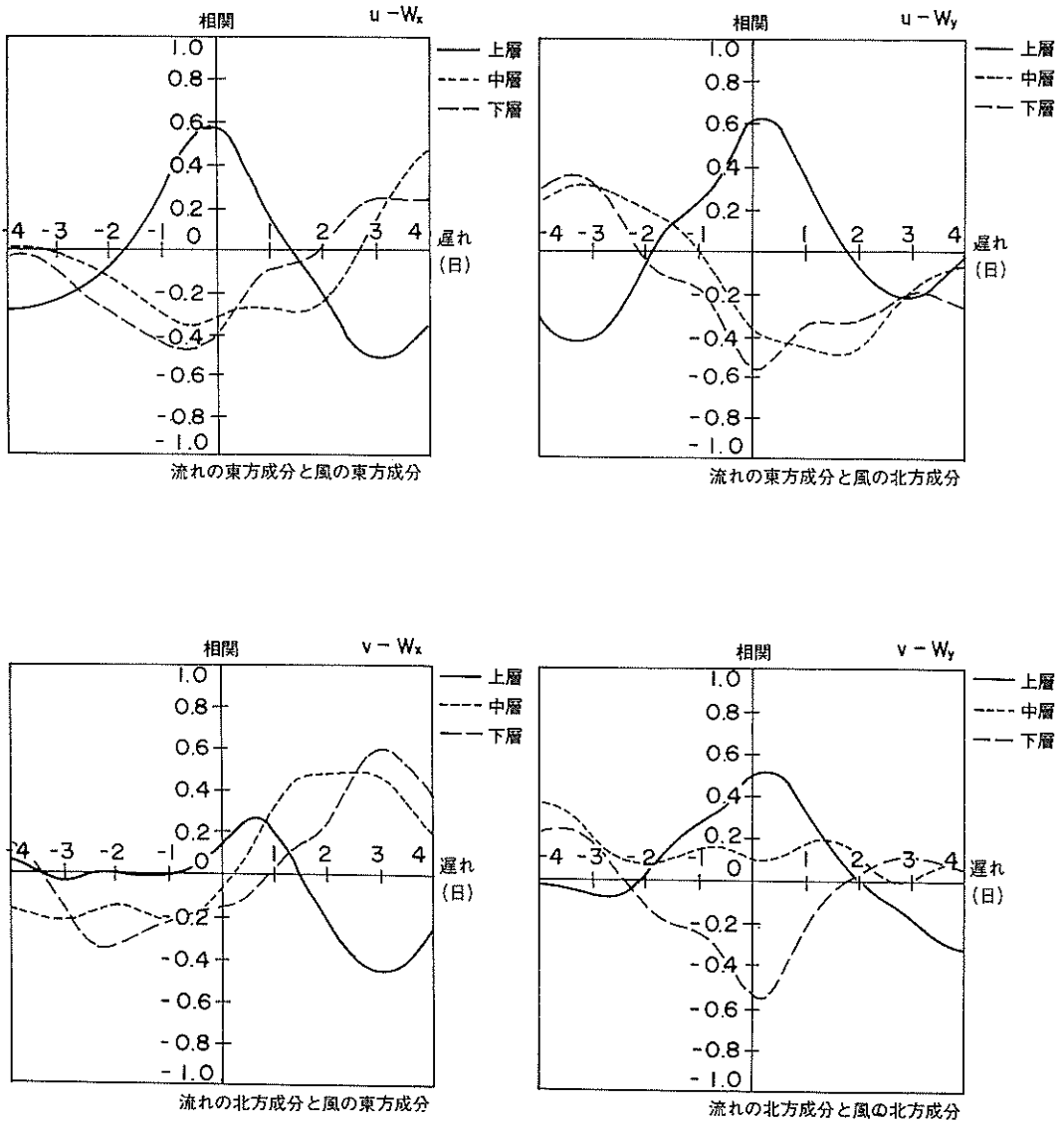
- 1) 村上和男・森川雅行・坂口達也：恒流に及ぼす風と淡水流入量の影響——泉南沖データ（1978～1981）による検討——，港湾技術研究所報告，第21巻第4号，1982. 12, pp.3～39.
- 2) 辻 正明：東京湾口における海況の低周波変動成分，公害資源研究所彙報，第9巻，第4号，1980, pp.9～18.
- 3) Heaps, N.S. : Linearized Vertically-Integrated Equations for Residual Circulation in Coastal Seas, *Deutsche Hydrographische Zeitschrift*, 31, pp.147～169. 1978.
- 4) Walters, R.A., R.T. Cheng : Calculations of Estuarine Residual Currents Using the Finite Element Method, *Proc. of the Third Int'l Conf. on Finite Elements in Flow Problems*, Vol. 2, pp.60～69, 1980.
- 5) 西條八束編：内湾の環境科学上巻，培風館，pp.63～162, 1984.
- 6) 宇野木早苗・岸野元彰・岡見 登：伊勢湾の平均的海況と交流要因，p.2,
- 7) 蓮沼啓一：東京湾における流動の特徴，沿岸海洋研究ノート，第16巻2号，pp.67～75, 1979.
- 8) 運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所：東京湾海洋構造調査報告書（第三報）——東京湾における長期係留観測——，114p., 1978年3月.
- 9) 運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所：東京湾海洋構造調査報告書（第四報）——東京湾における長期係留観測——，80p., 1979年3月.
- 10) 運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所：東京湾海洋構造調査報告書（第五報）——東京湾における長期係留観測——，262p. 1980年3月.
- 11) 東京電力株式会社・新日本気象海洋株式会社：東京湾流動調査報告書，268p., 1972年.
- 12) 建設省関東地方建設局・土木研究所：昭和46年度東京湾汚濁調査，268p., 1972年.
- 13) 市川雅史・吉岡 洋・森田行司：超音波流速計とロータ，インペラー式流速計の現地比較観測，1982年度日本海洋学会春季大会講演要旨集，pp.181～182, 1982.
- 14) 日野幹雄：スペクトル解析，朝倉書店，pp.254～264, 1977.
- 15) 宇野木早苗：内湾における湧昇現象，1983年度日本海洋学会春季大会要旨集，pp.10～11, 1983.
- 16) 運輸省港湾技術研究所：昭和58年度東京湾潮流調査報告書，53p., 1983.
- 17) Kundu, P.K., J.S. Allen and R.L. Smith : Modal Decomposition of the Velocity Field near the Oregon Coast, *Journal of Physical Oceanography*, Vol.5, pp.683～704, 1975.
- 18) 村上和男・森川雅行：有限要素法による二層の潮流及び拡散計算，港湾技研資料，No.495, 45p., 1984. 9.



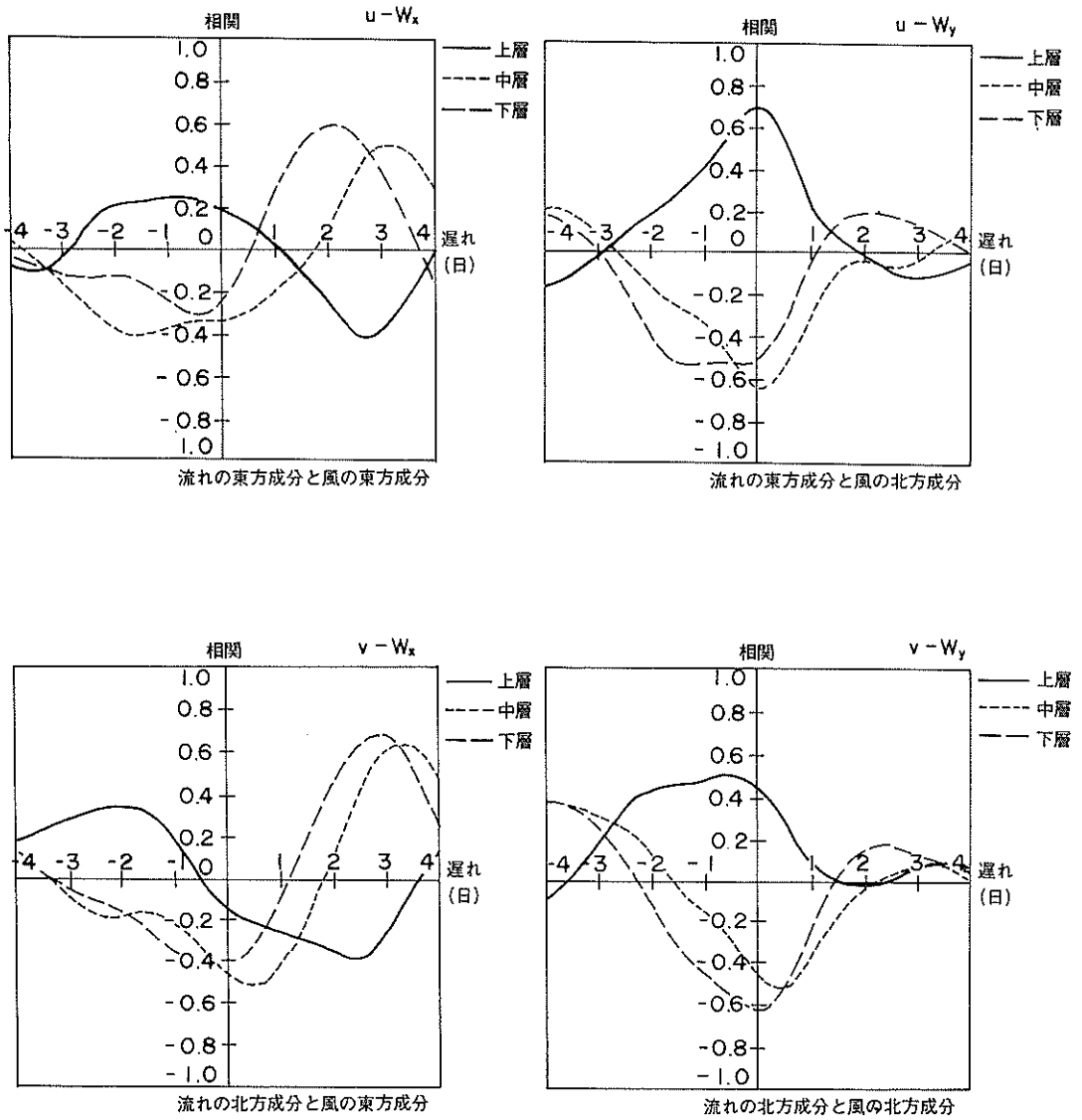
付図-A.1 平均流と平均風の相互相関 (測点 2)



付図-A.2 平均流と平均風の相互相関 (測点 3)

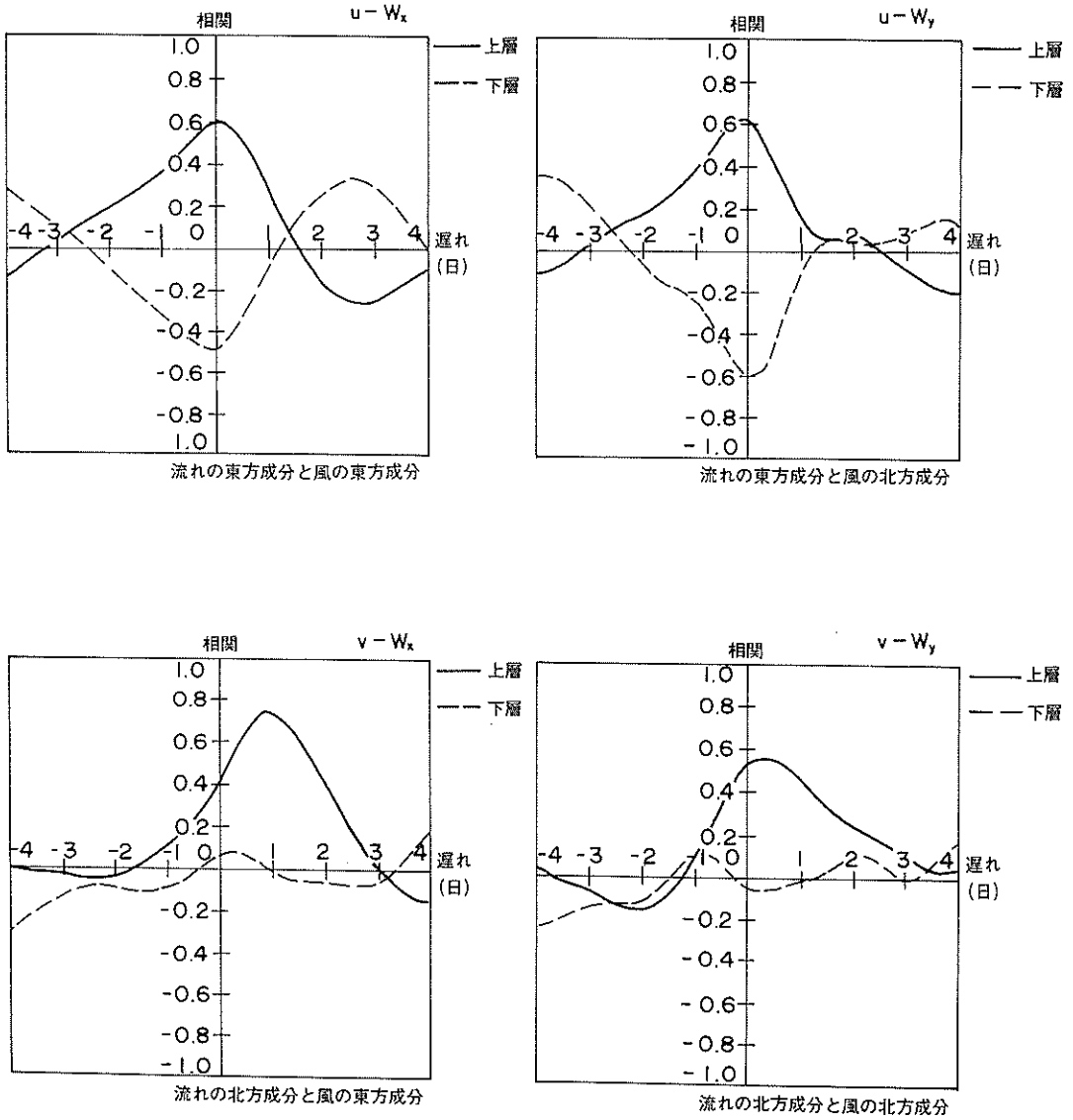


付図-A.3 平均流と平均風の相互相関 (測点4)

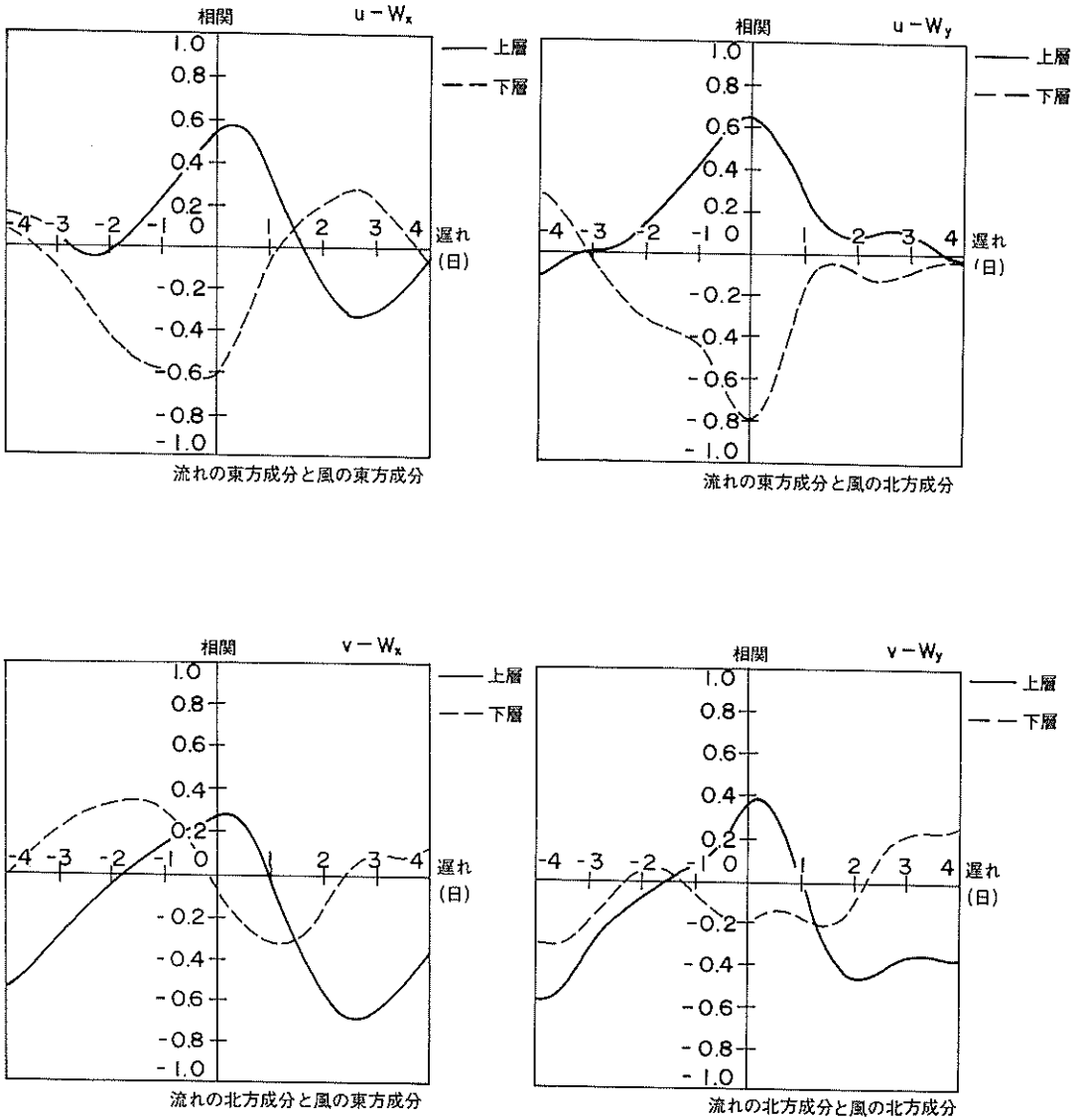


付図-A.4 平均流と平均風の相互相関 (測点 6)

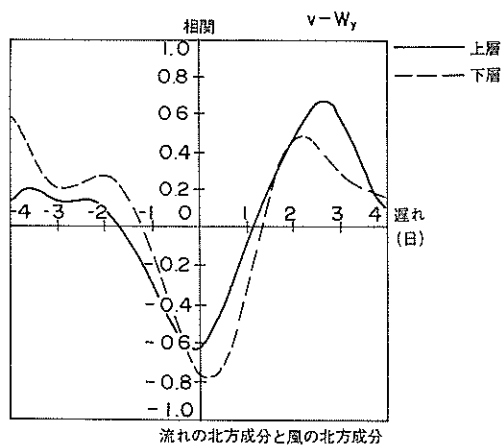
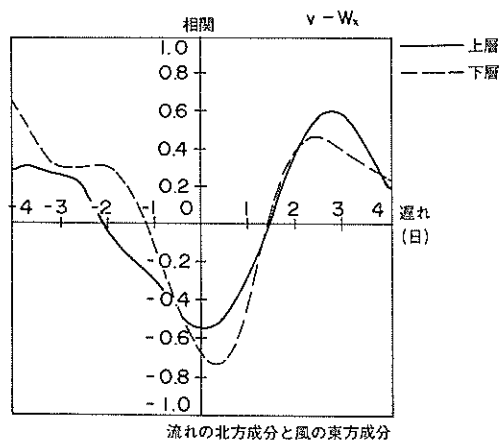
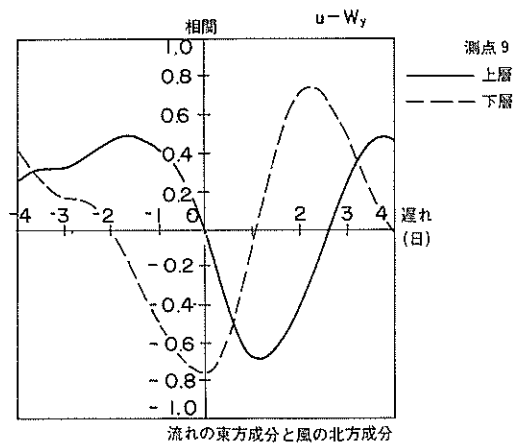
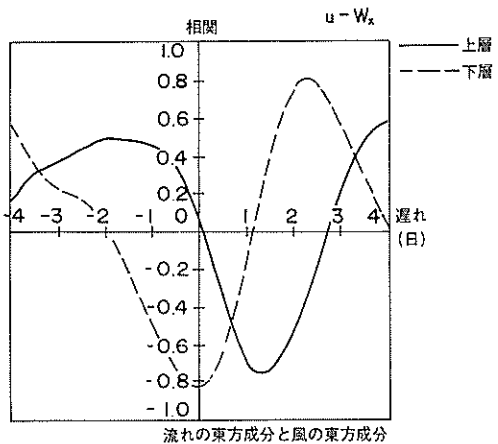
測点 7



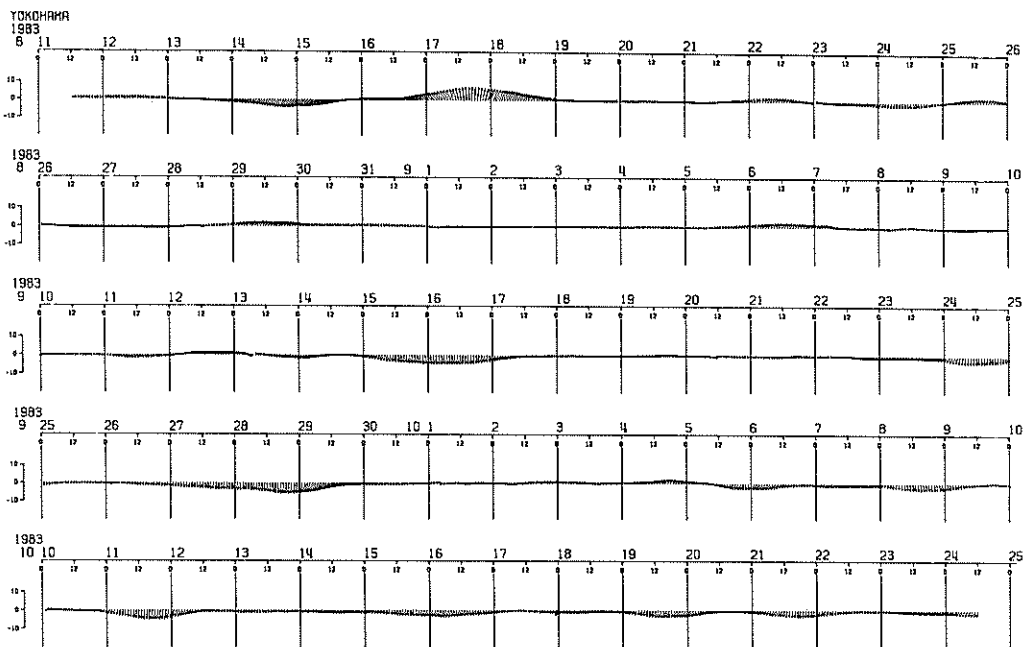
付図-A.5 平均流と平均風の相互相関 (測点 7.)



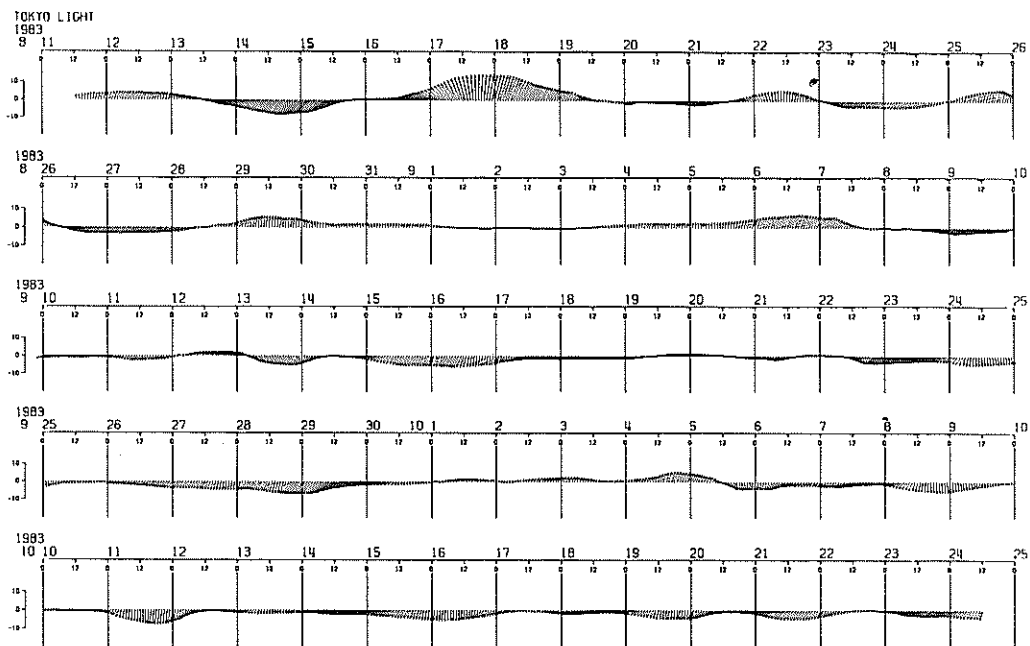
付図-A.6 平均流と平均風の相互相関 (測点 8)



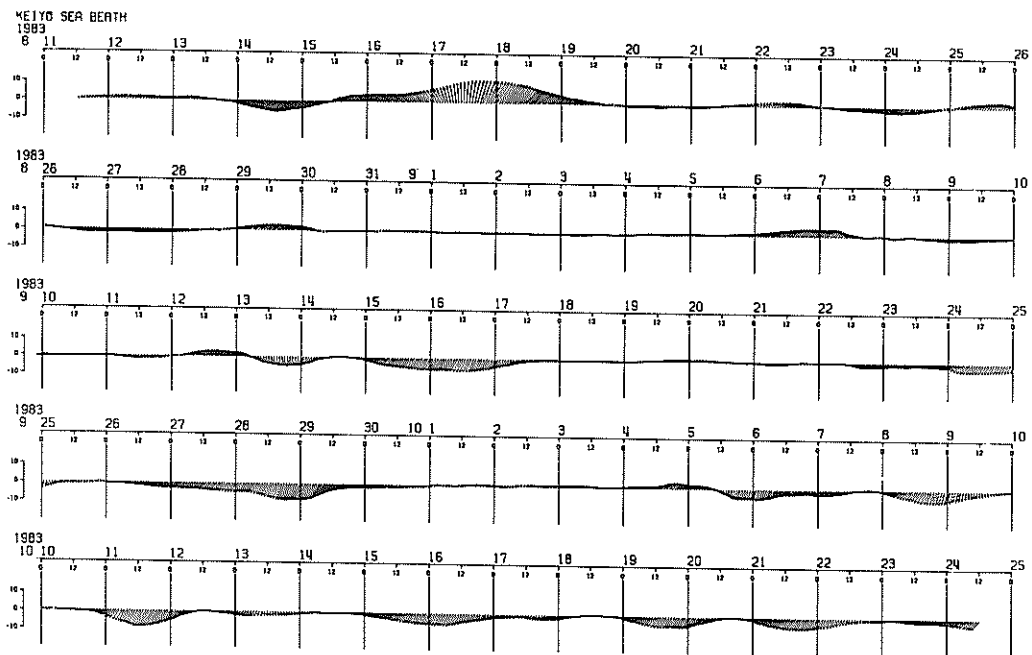
付図-A.7 平均流と平均風の相互相関 (測点 9)



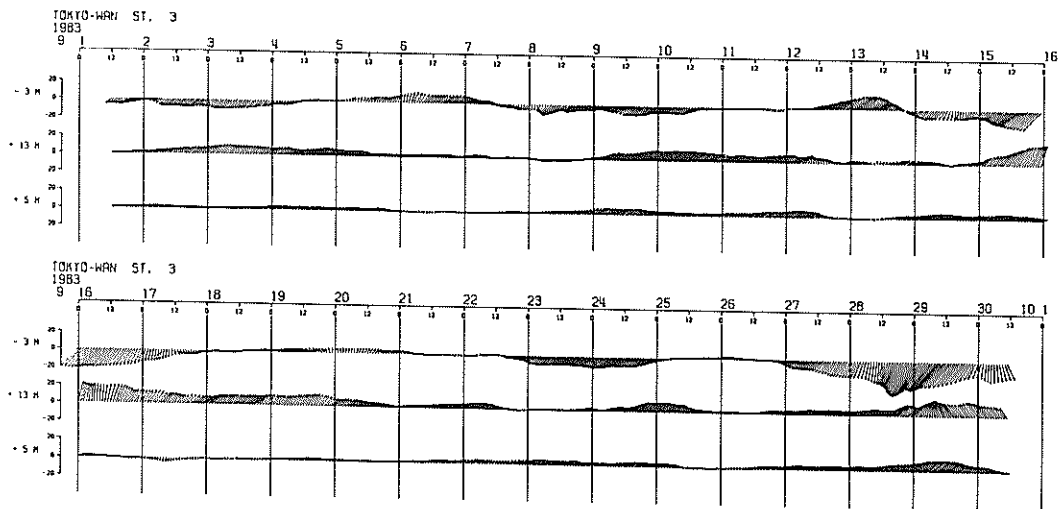
付図-B.1 風 24時間移動平均ベクトル (横浜, 単位 m/s)



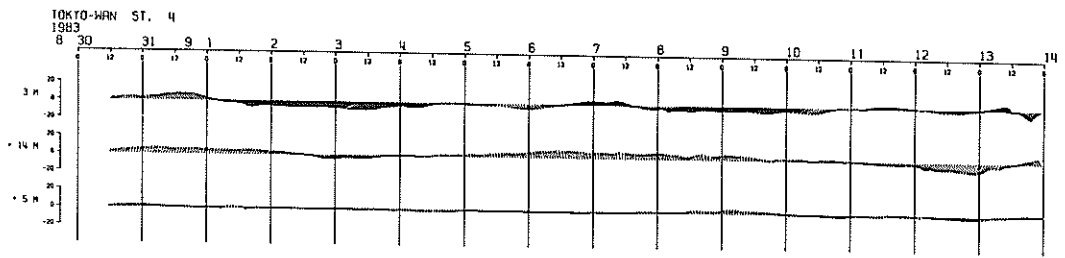
付図-B.2 風 24時間移動平均ベクトル (東京燈標, 単位 m/s)



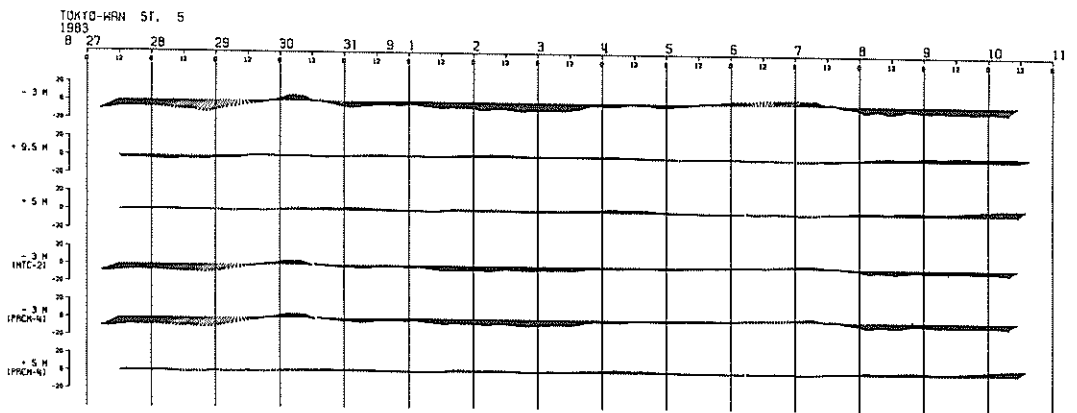
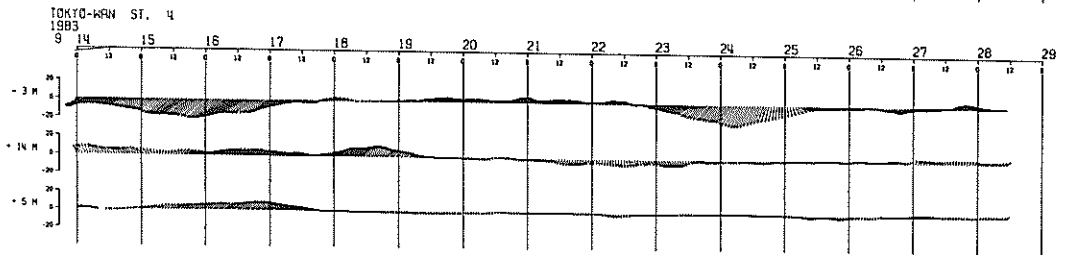
付図-B.3 風 24時間移動平均ベクトル (京葉シーバース, 単位 m/s)



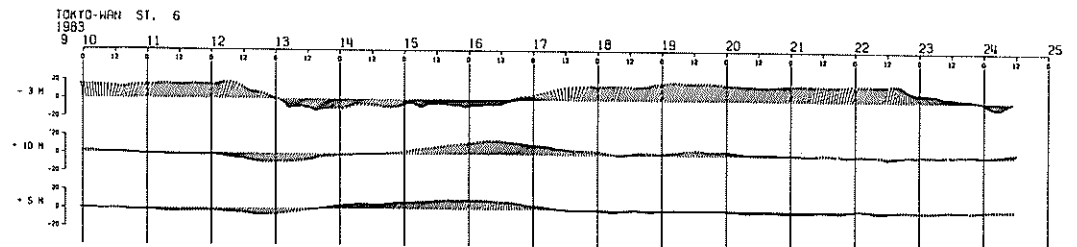
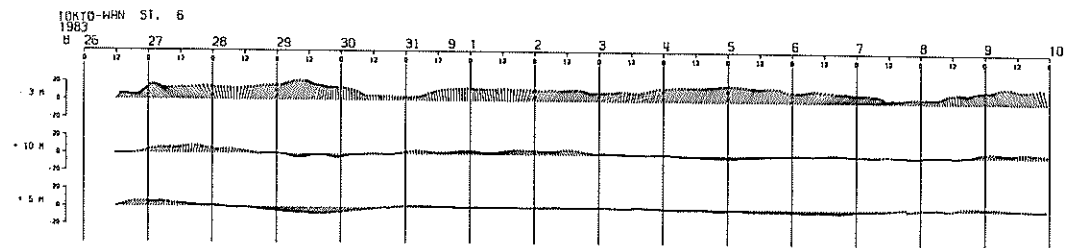
付図-B.4 流れ 25時間移動平均ベクトル (測点3, 単位 cm/s)



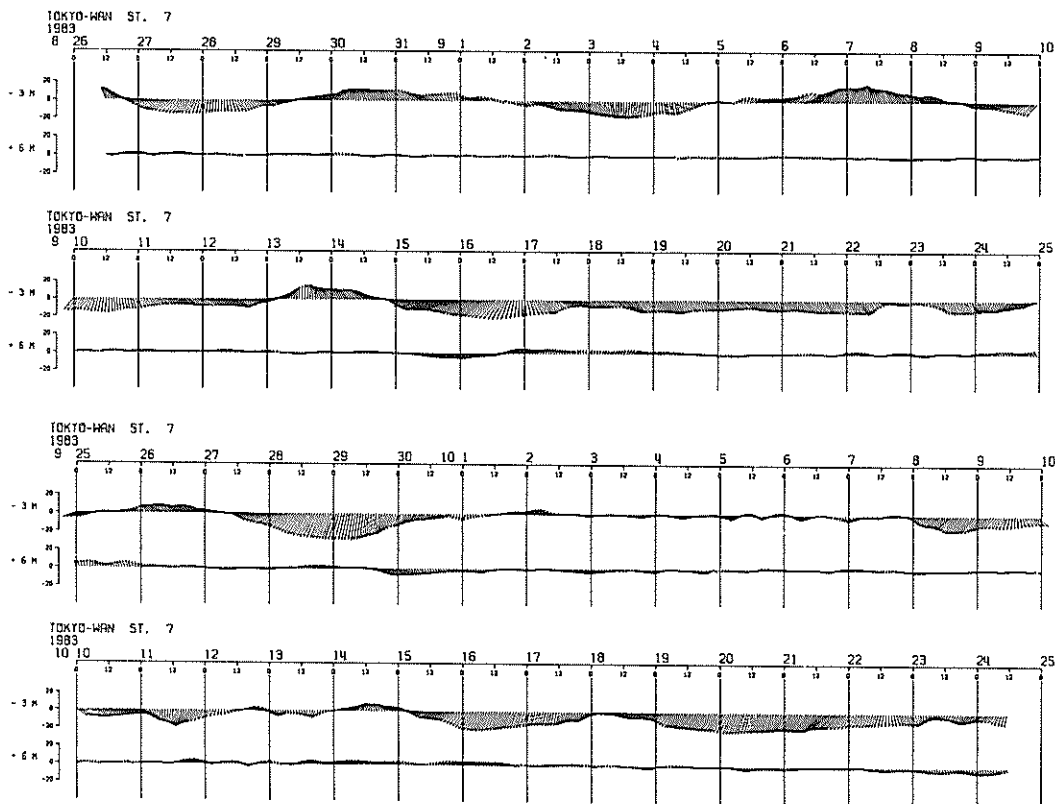
付図-B.5 流れ 25時間移動平均ベクトル (測点4, 単位 cm/s)



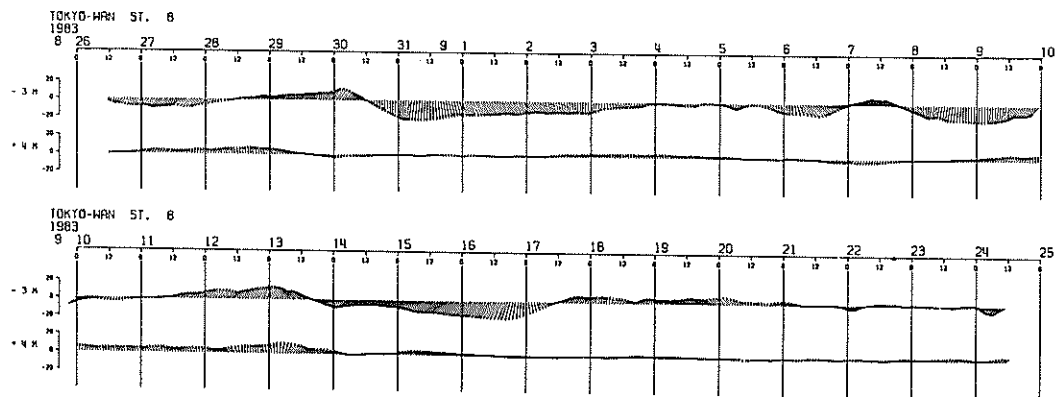
付図-B.6 流れ 25時間移動平均ベクトル (測点5, 単位 cm/s)



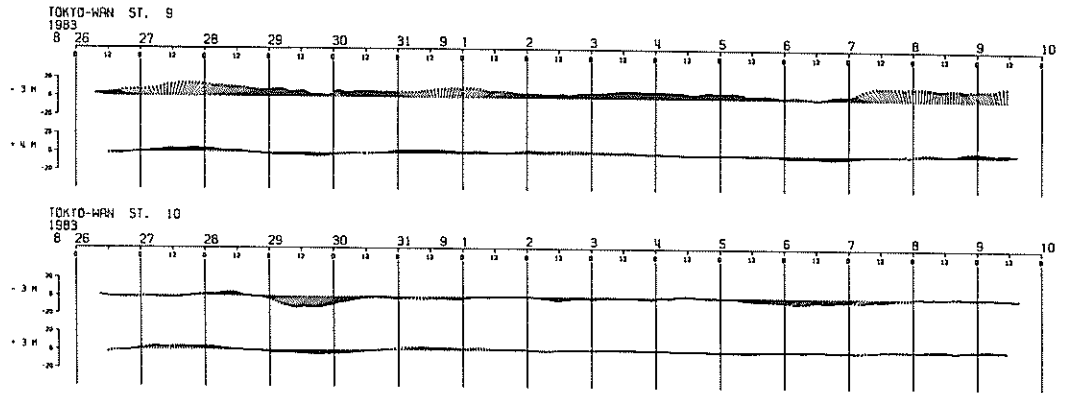
付図-B.7 流れ 25時間移動平均ベクトル (測点6, 単位 cm/s)



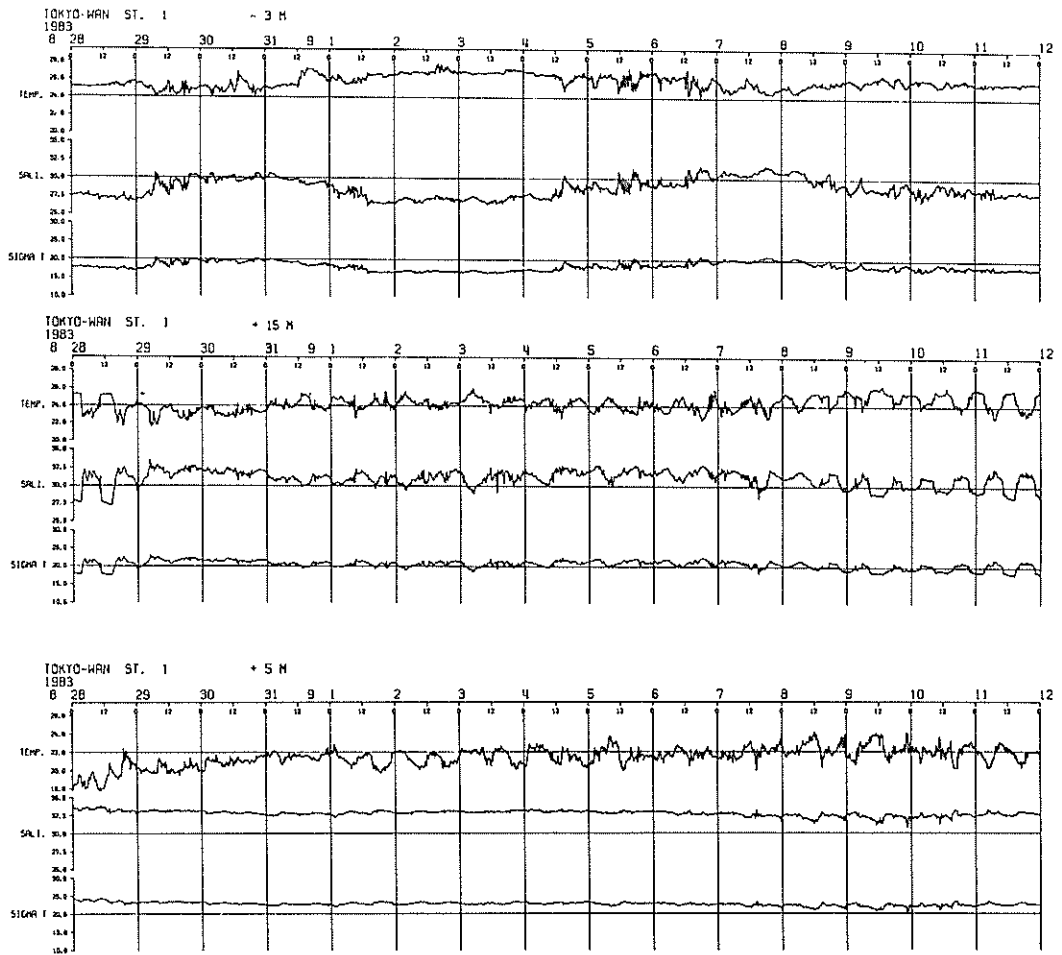
付図-B. 8 流れ 25時間移動平均ベクトル (測点7, 単位 cm/s)



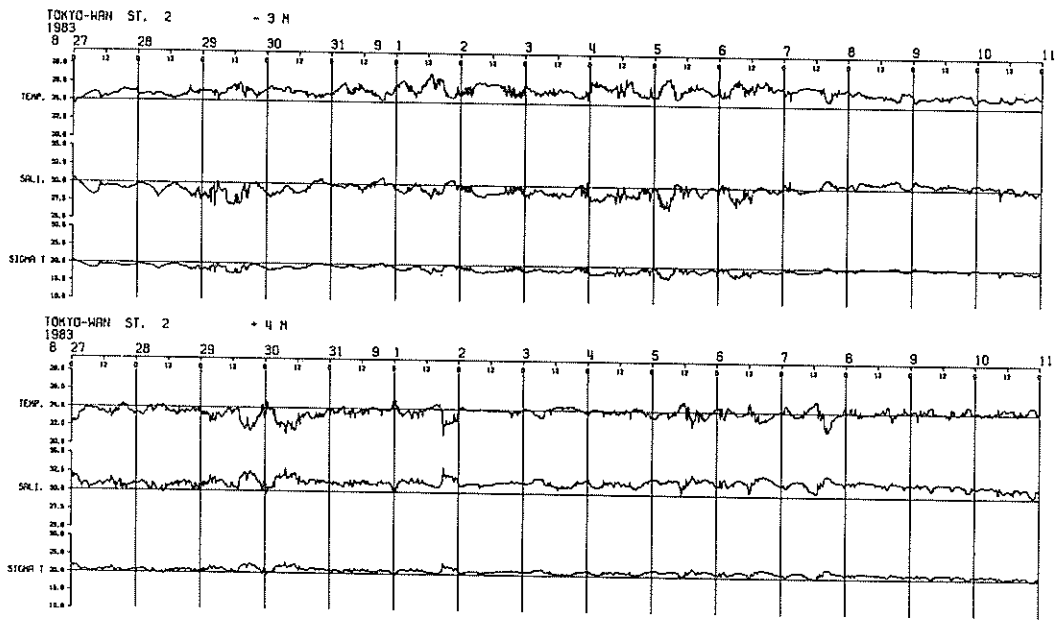
付図-B. 9 流れ 25時間移動平均ベクトル (測点8, 単位 cm/s)



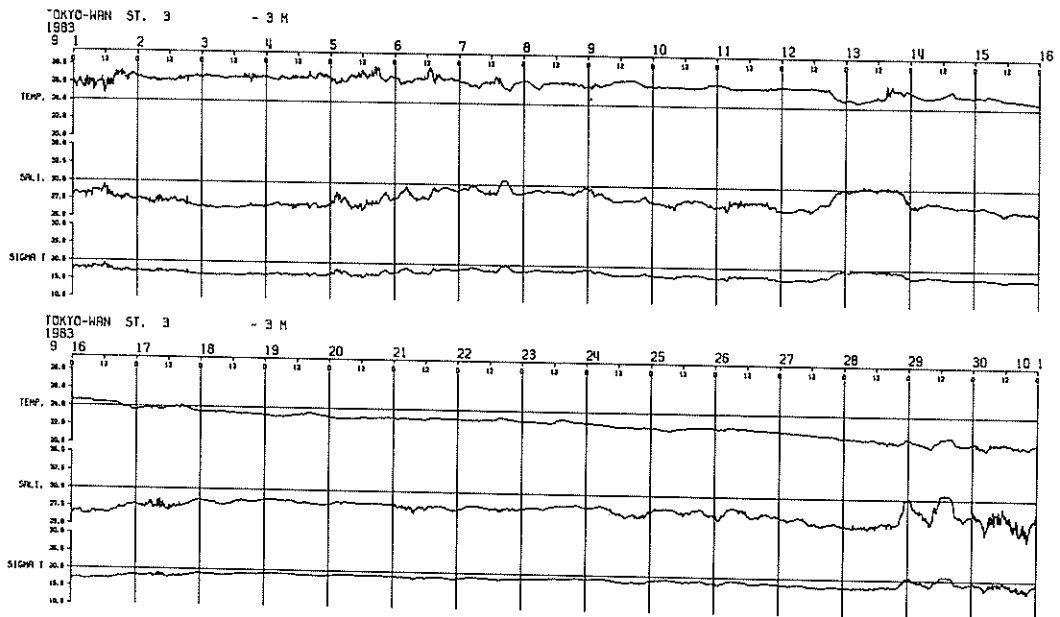
付図-B.10 流れ 25時間移動平均ベクトル (測点9, 測点10. 単位: cm/s)



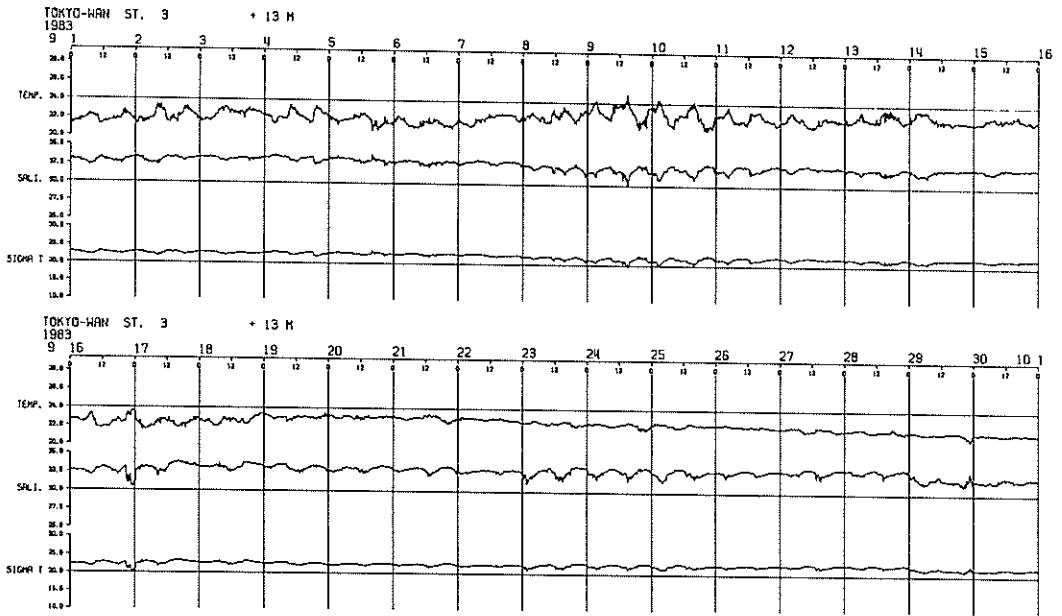
付図-B.11 水温・塩分・密度曲線 (測点1, 単位: 水温 $^{\circ}\text{C}$, 塩分%)



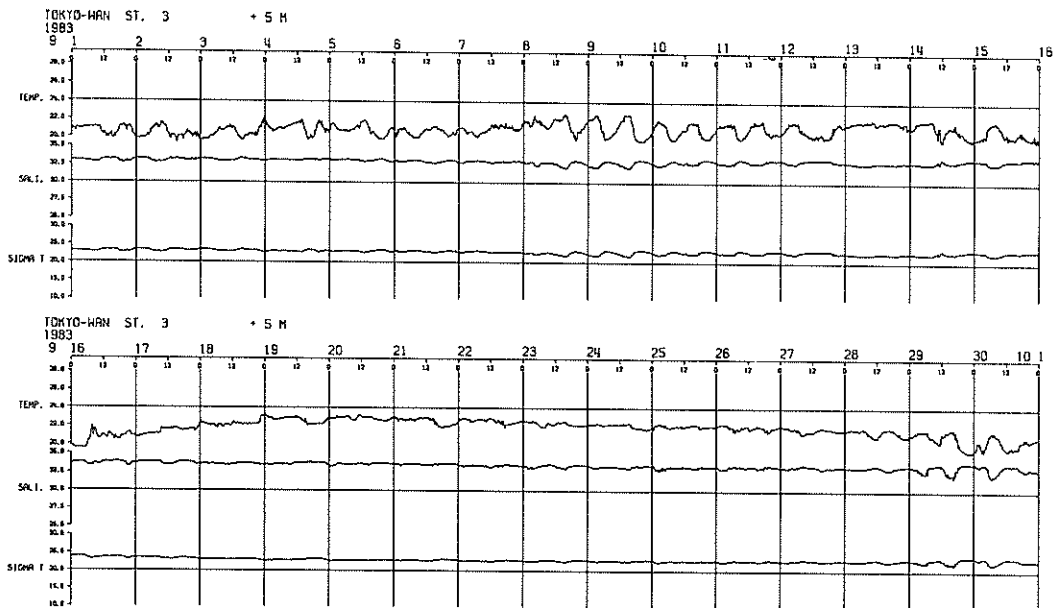
付図-B. 12 水温・塩分・密度曲線 (測点2, 単位: 水温 $^{\circ}\text{C}$, 塩分 $\%$)



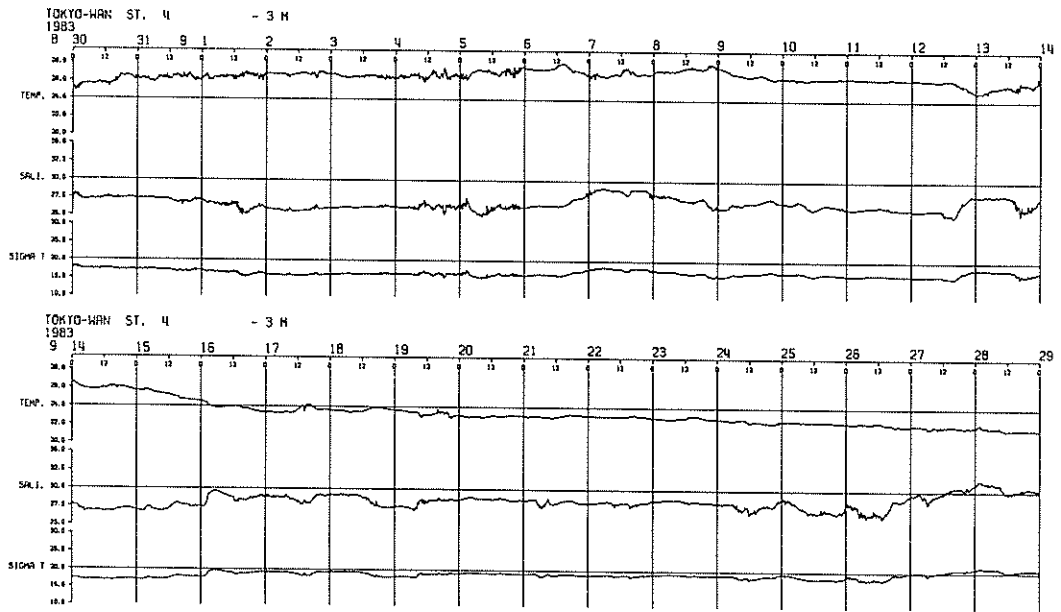
付図-B. 13(1) 水温・塩分・密度曲線 (測点3, 単位: 水温 $^{\circ}\text{C}$, 塩分 $\%$)



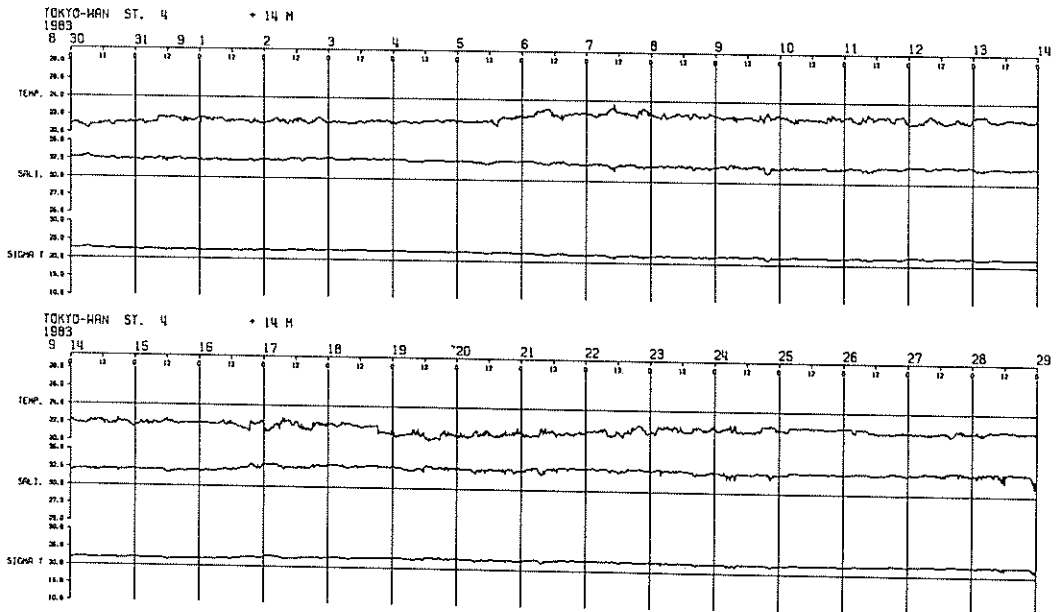
付圖-B.13(2) 水温・塩分・密度曲線 (測点3, 単位: 水温°C, 塩分‰)



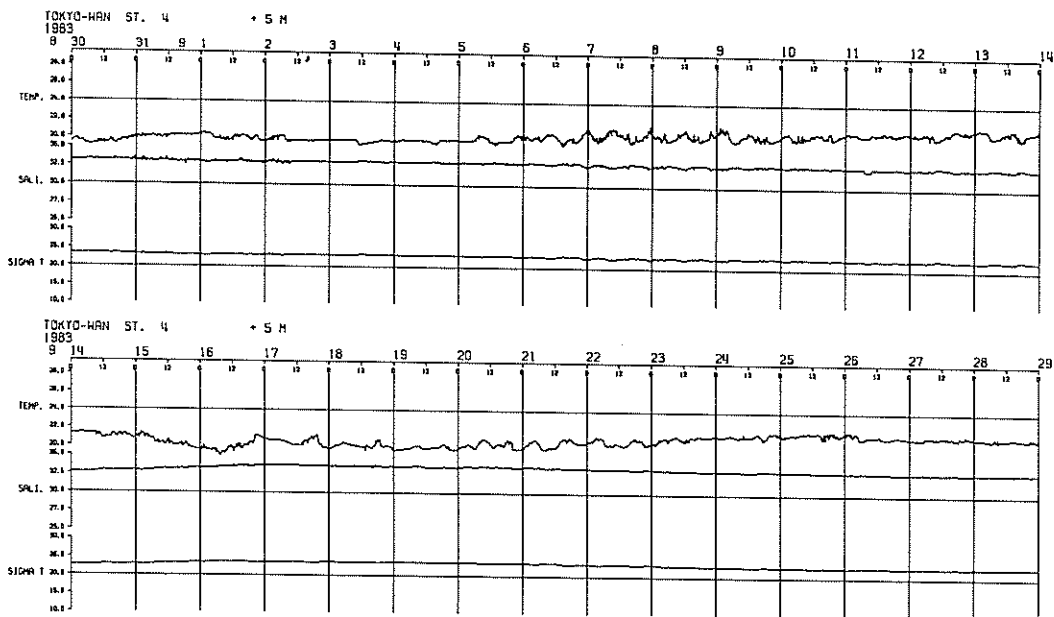
付圖-B.13(3) 水温・塩分・密度曲線 (測点3, 単位: 水温°C, 塩分‰)



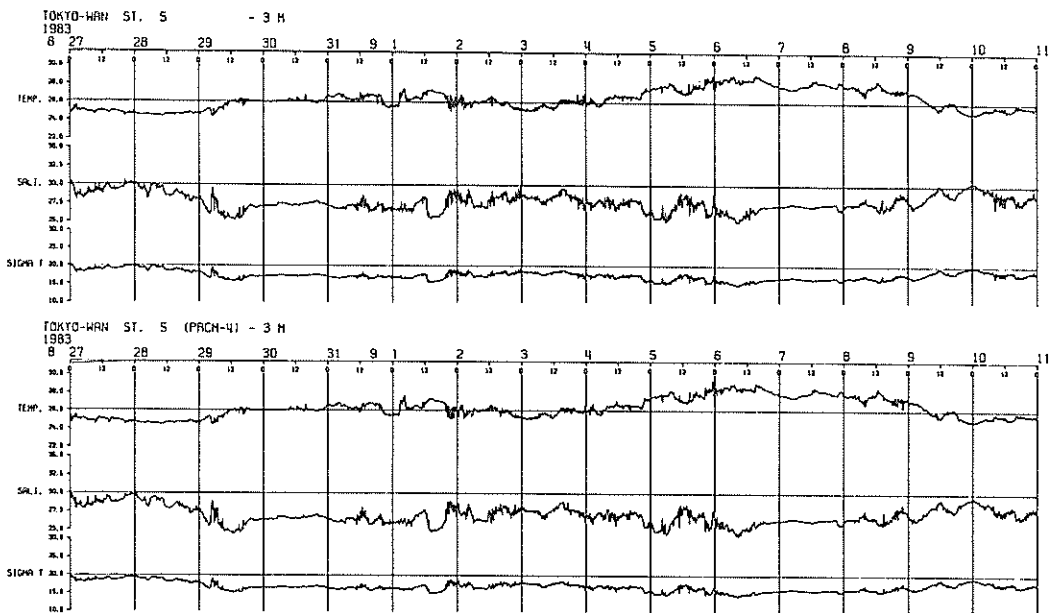
付図-B.14(1) 水温・塩分・密度曲線 (測点4, 単位: 水温℃, 塩分‰)



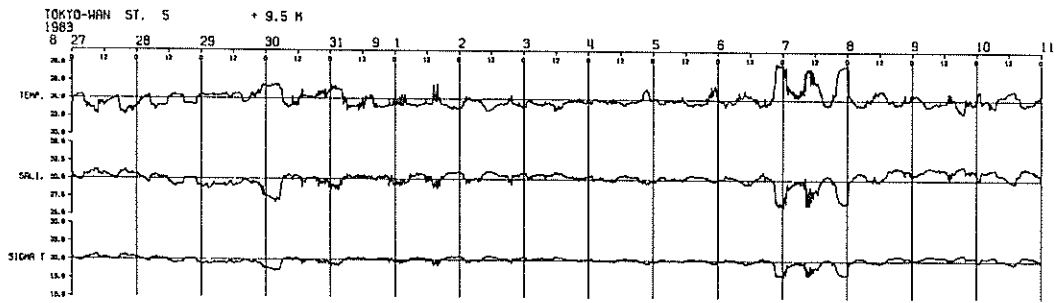
付図-B.14(2) 水温・塩分・密度曲線 (測点4, 単位: 水温℃, 塩分‰)



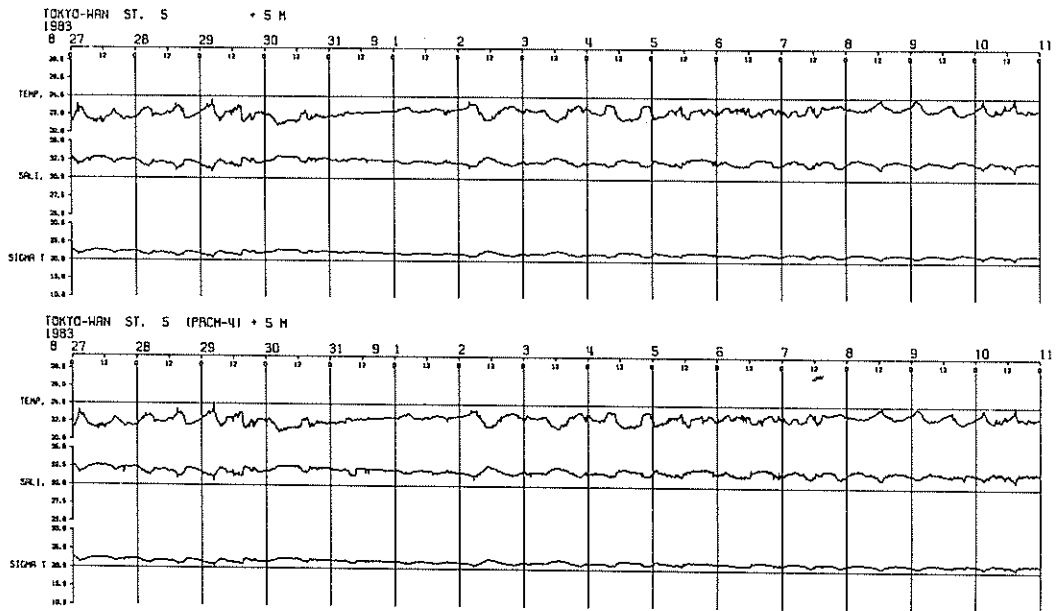
付図-B.14(3) 水温・塩分・密度曲線 (測点4, 単位: 水温℃, 塩分‰)



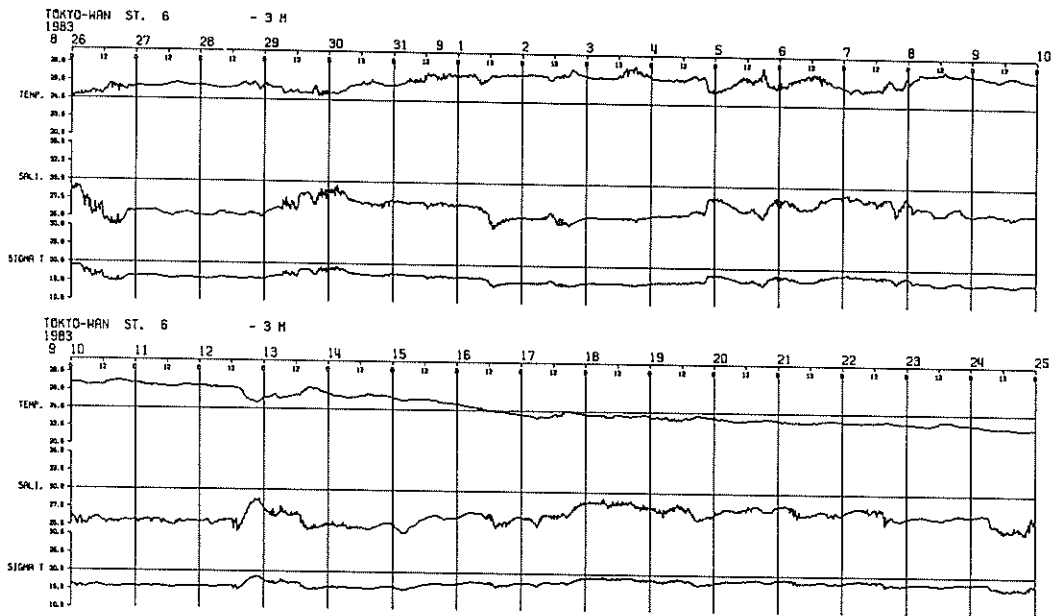
付図-B.15(1) 水温・塩分・密度曲線 (測点5, 単位: 水温℃, 塩分‰)



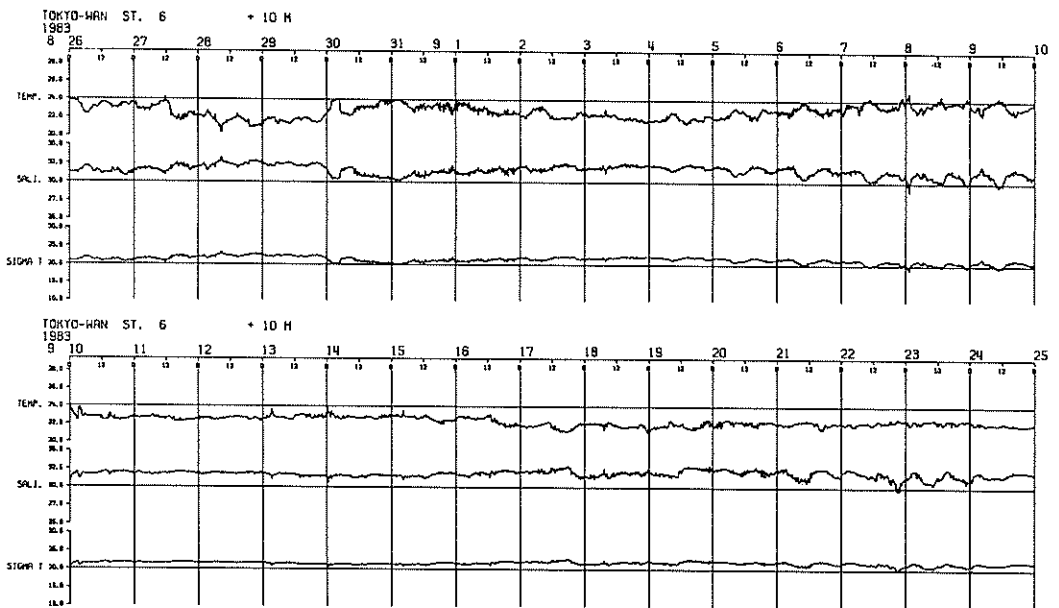
付図-B. 15(2) 水温・塩分・密度曲線 (測点5, 単位: 水温°C, 塩分‰)



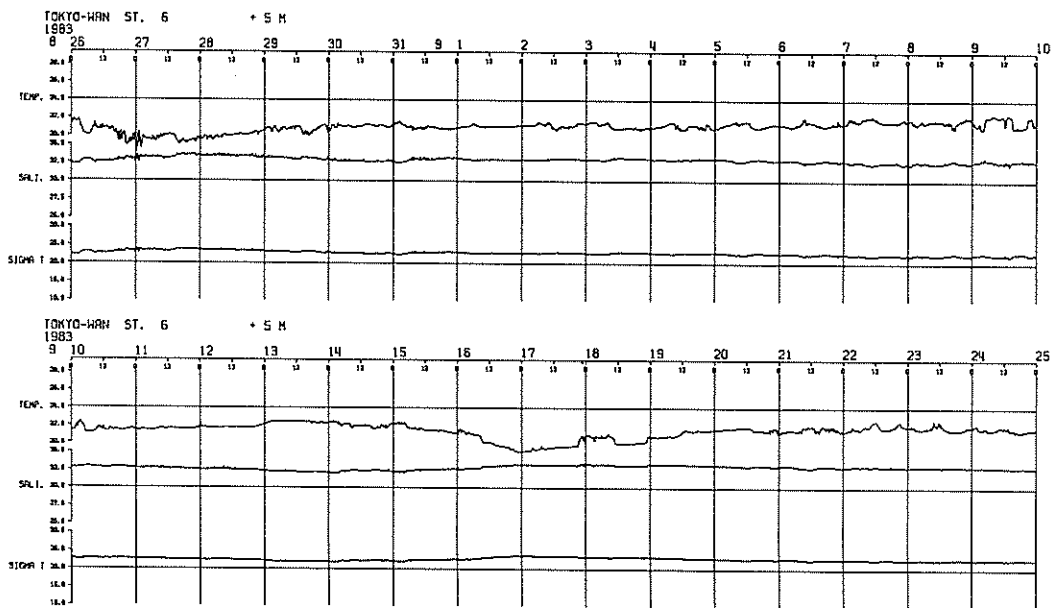
付図-B. 15(3) 水温・塩分・密度曲線 (測点5, 単位: 水温°C, 塩分‰)



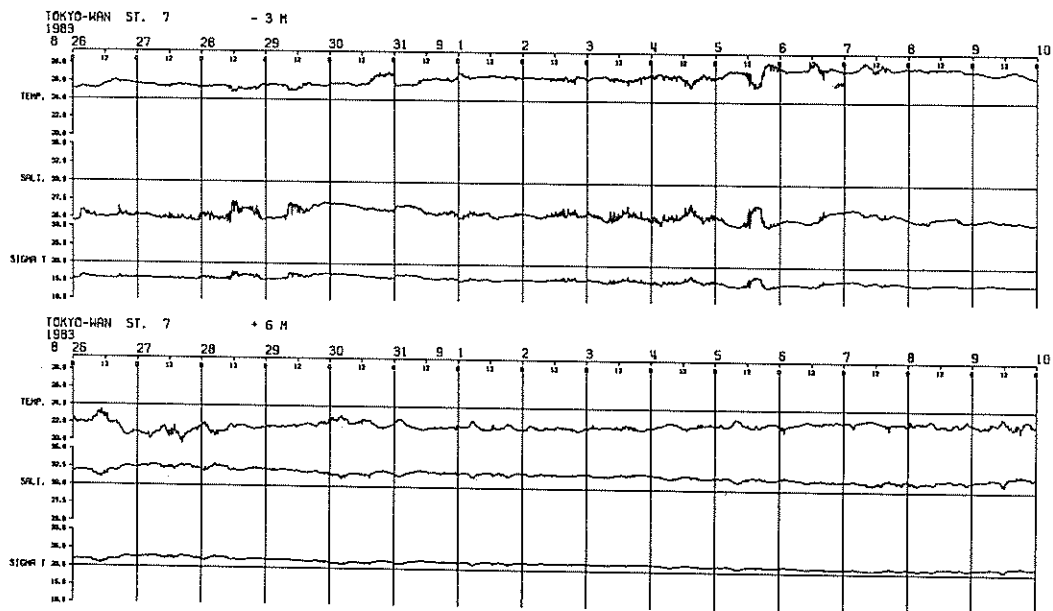
付図-B. 16(1) 水温・塩分・密度曲線 (測点6, 単位: 水温°C, 塩分‰)



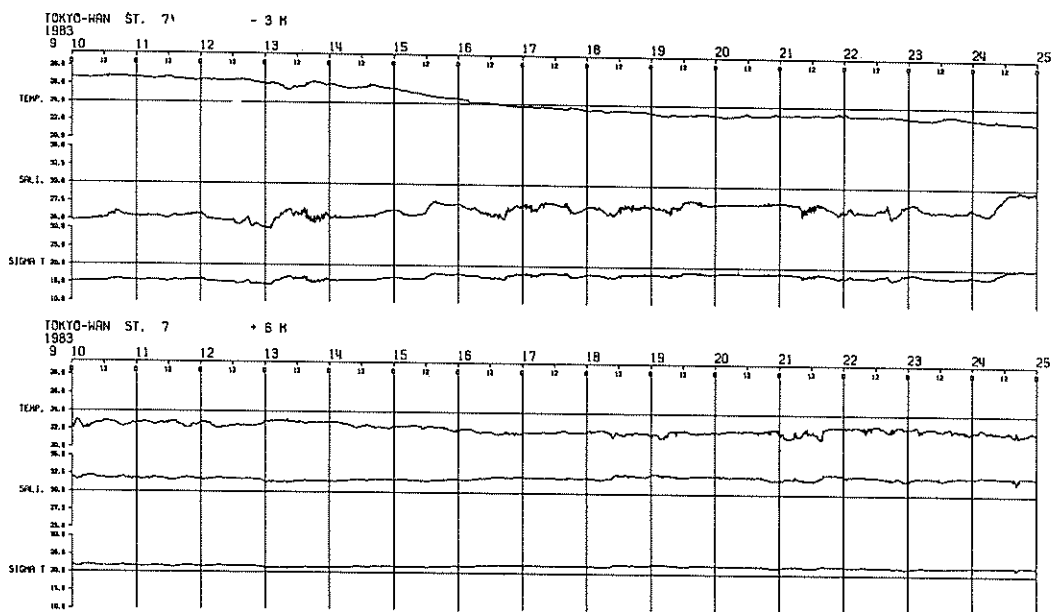
付図-B. 16(2) 水温・塩分・密度曲線 (測点6, 単位: 水温°C, 塩分‰)



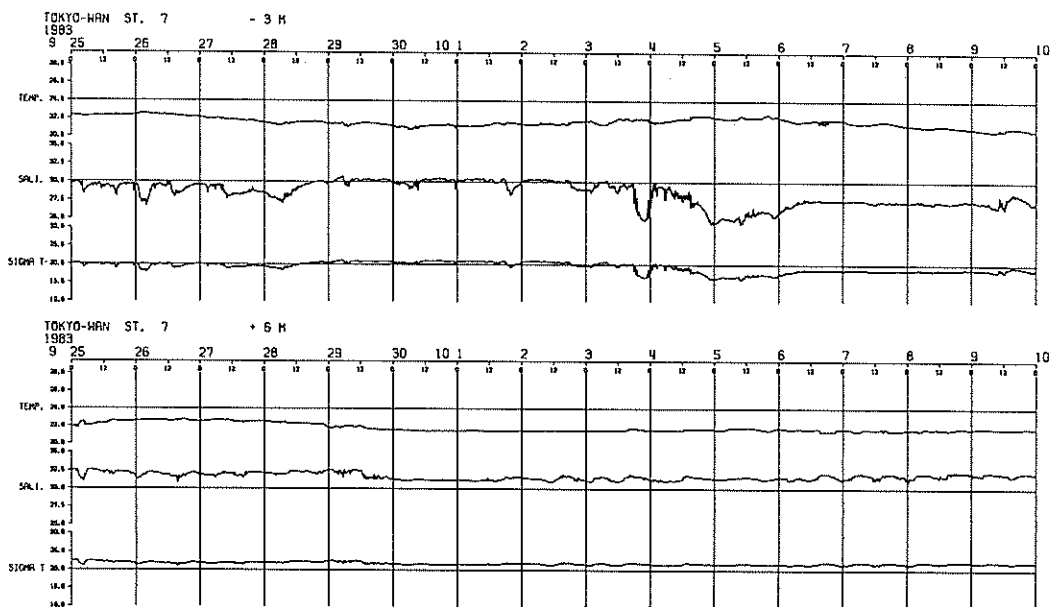
付図-B. 16(3) 水温・塩分・密度曲線 (測点6, 単位: 水温°C, 塩分‰)



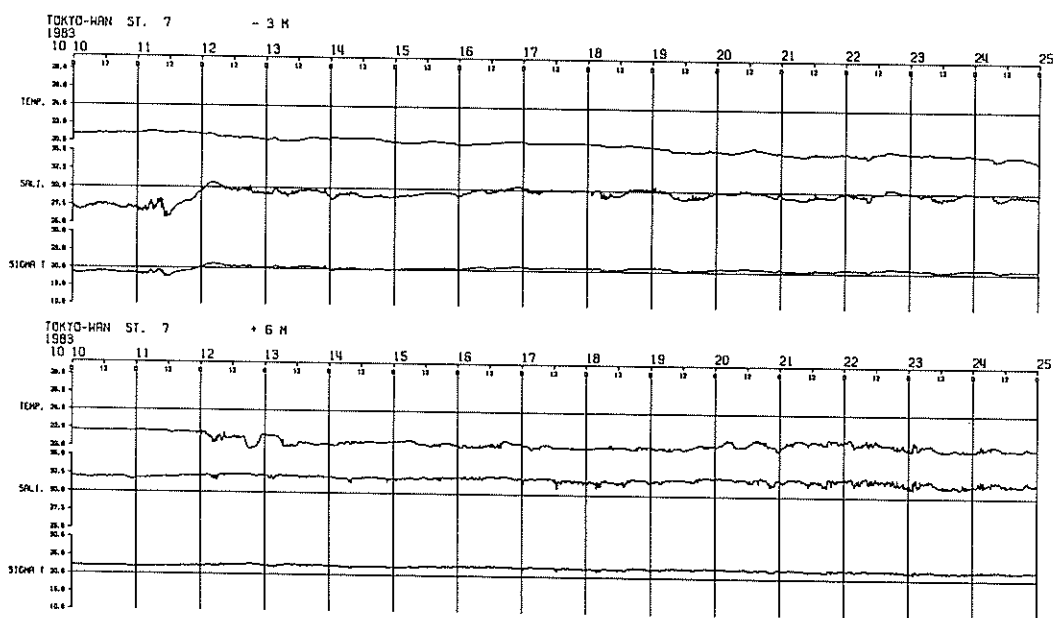
付図-B. 17(1) 水温・塩分・密度曲線 (測点7, 単位: 水温°C, 塩分‰)



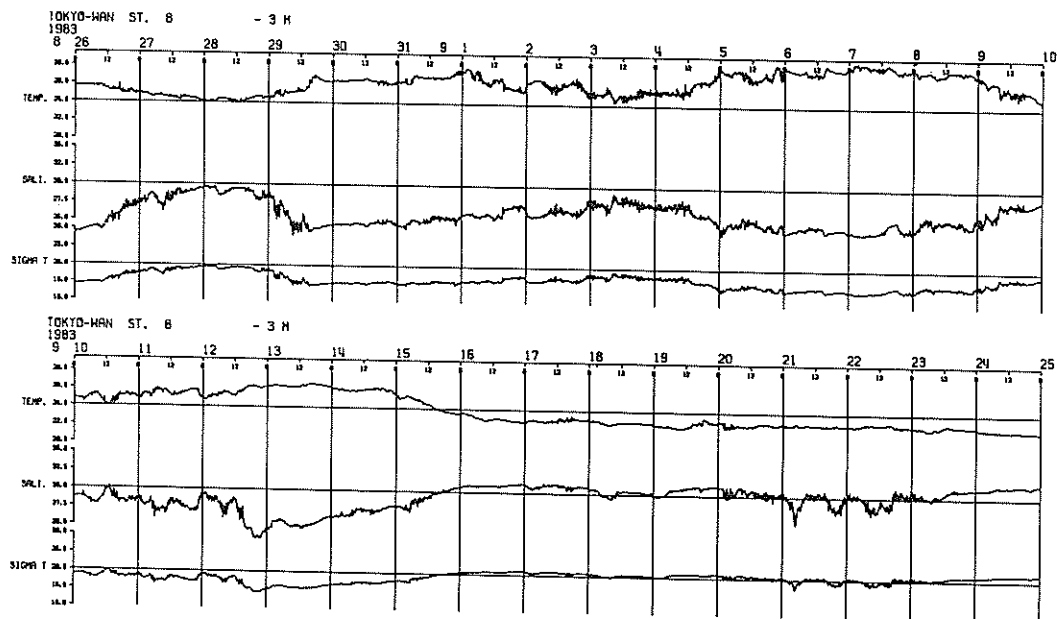
付図-B. 17(2) 水温・塩分・密度曲線 (測点 7, 単位: 水温℃, 塩分‰)



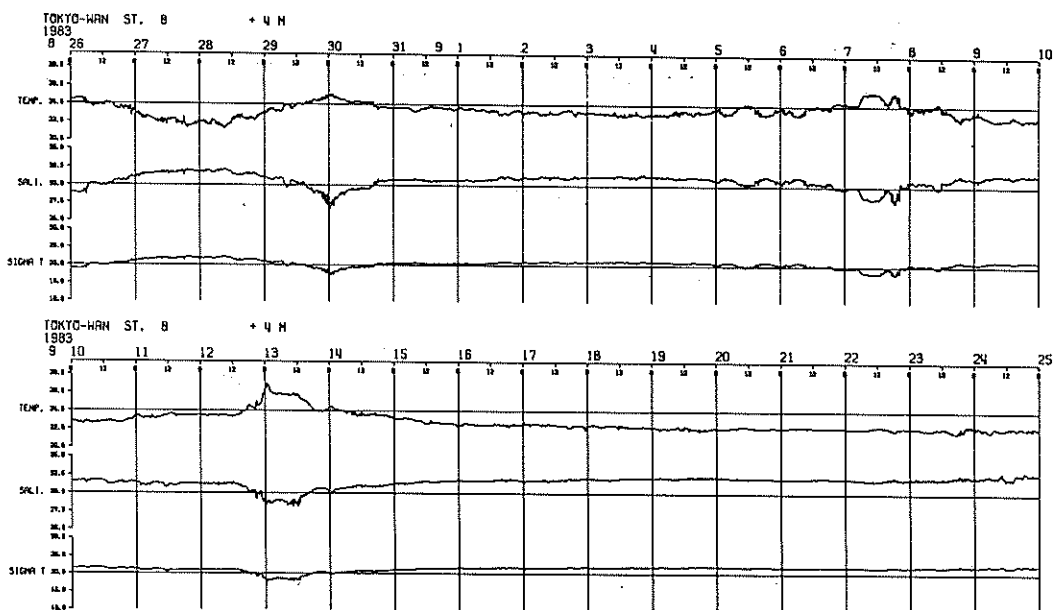
付図-B. 17(3) 水温・塩分・密度曲線 (測点 7, 単位: 水温℃, 塩分‰)



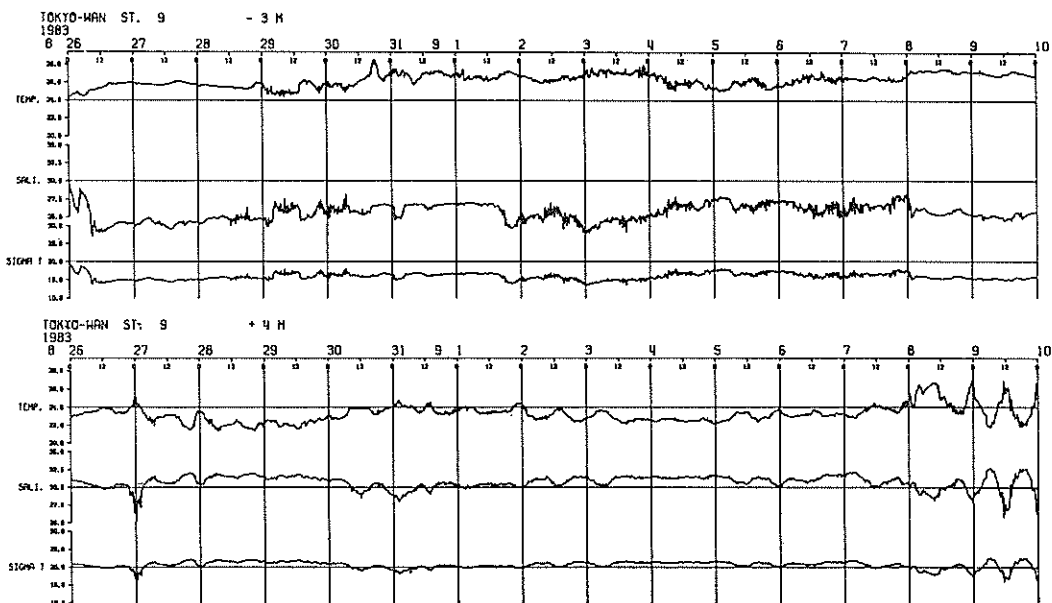
付図-B. 17(4) 水温・塩分・密度曲線 (測点7, 単位: 水温℃, 塩分‰)



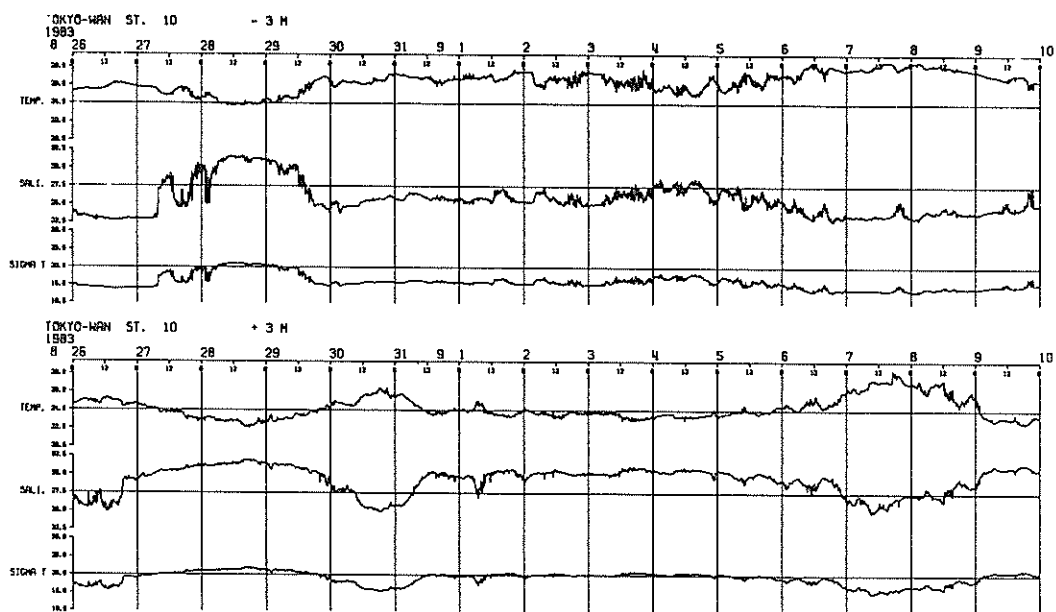
付図-B. 18(1) 水温・塩分・密度曲線 (測点8, 単位: 水温℃, 塩分‰)



付図-B. 18(2) 水温・塩分・密度曲線 (測点8, 単位: 水温°C, 塩分‰)



付図-B. 19 水温・塩分・密度曲線 (測点9, 単位: 水温°C, 塩分‰)



付図-B. 20 水温・塩分・密度曲線 (測点10, 単位: 水温℃, 塩分‰)

港湾技研資料 No.550

1986・6

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 株式会社 つばさ印刷技研

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.