

9. 東京湾湾口部水域における海況の季節変化

中島 敏光^{*1} 豊田 孝義^{*1} 佐々木 保徳^{*1} 宗山 敬^{*1}

1976年6月から翌年7月にかけて東京湾湾口部水域の横断線上に観測点を設け、水温、塩分およびクロロフィル等の海況諸要素の季節変化を調査した。

この調査海域では、周年、神奈川県側水域には東京湾奥の影響を受けた“東京湾水”、千葉県側水域には黒潮系外洋水の影響を受けた“外洋性水”が存在している。これらの両水系は湾中央部水域で接触しているが、特に夏季では、“外洋性水”が接触水域から下層に潜り込み、神奈川県側水域の中、底層に達し、上層には内湾度の強い“東京湾水”が存在している。

Study on the Seasonal Variations of the Characteristics of Sea Water at the Entrance of the Tokyo Bay

Toshimitsu Nakashima^{*2}, Takayoshi Toyota^{*2}, Yasunori Sasaki^{*2}, Kei Muneyama^{*2}

In order to know the seasonal variations of sea water characteristics at the entrance of the Tokyo Bay, general observations were carried out from June, 1976 to July, 1977.

The results observed are summarized as follows:

In the northern part of the Uraga Strait, two water masses were observed to exist through the year, namely, the lower salinity water in the west side and the higher salinity water in the east side of the Strait. The former is the coastal water influenced by water originated at the inner part of the Tokyo Bay, and the latter is oceanic water originated at some branches of the “Kuroshio”. The two masses of water come into contact at the center of the Strait. During the summer, however, oceanic water intrudes below the coastal water in the contact region, and extends to deep layers into the west side of the Strait.

1. ま え が き

湾口部水域は湾内と湾外との海水の交換の場であり、その水域の海況変動およびこれに対応する化学的变化、生物的变化や現象を把握することは、湾内利用や管理の上で重要である。しかし、潮流による短時間の内の水の複雑な動き、あるいは船舶航路筋であるなどのため、湾口部水域の調査が困難となっている。

この研究は昭和51(1976)年度に引続き、周年にわたる海況、水質の性状ならびに変動のデータの少ない東京湾湾口部水域を対象海域として、基礎

データを得ること、ならびに湾口部水域の調査手法を検討することを課題とした。

2. 調 査 方 法

東京湾湾口部水域を横断する線上に5点の観測定点を設定した(図1参照)。調査期間は1976年6月から翌年7月の間で、St.1(Station 1)は月に2回、その他の観測点は月に1回の頻度で調査を実施した。調査水深はst.1およびst.5は表層0.5 mから5 m間隔で海底まで、その他の観測

^{*1} 海洋保全技術部

^{*2} Marine Conservation Technology Department

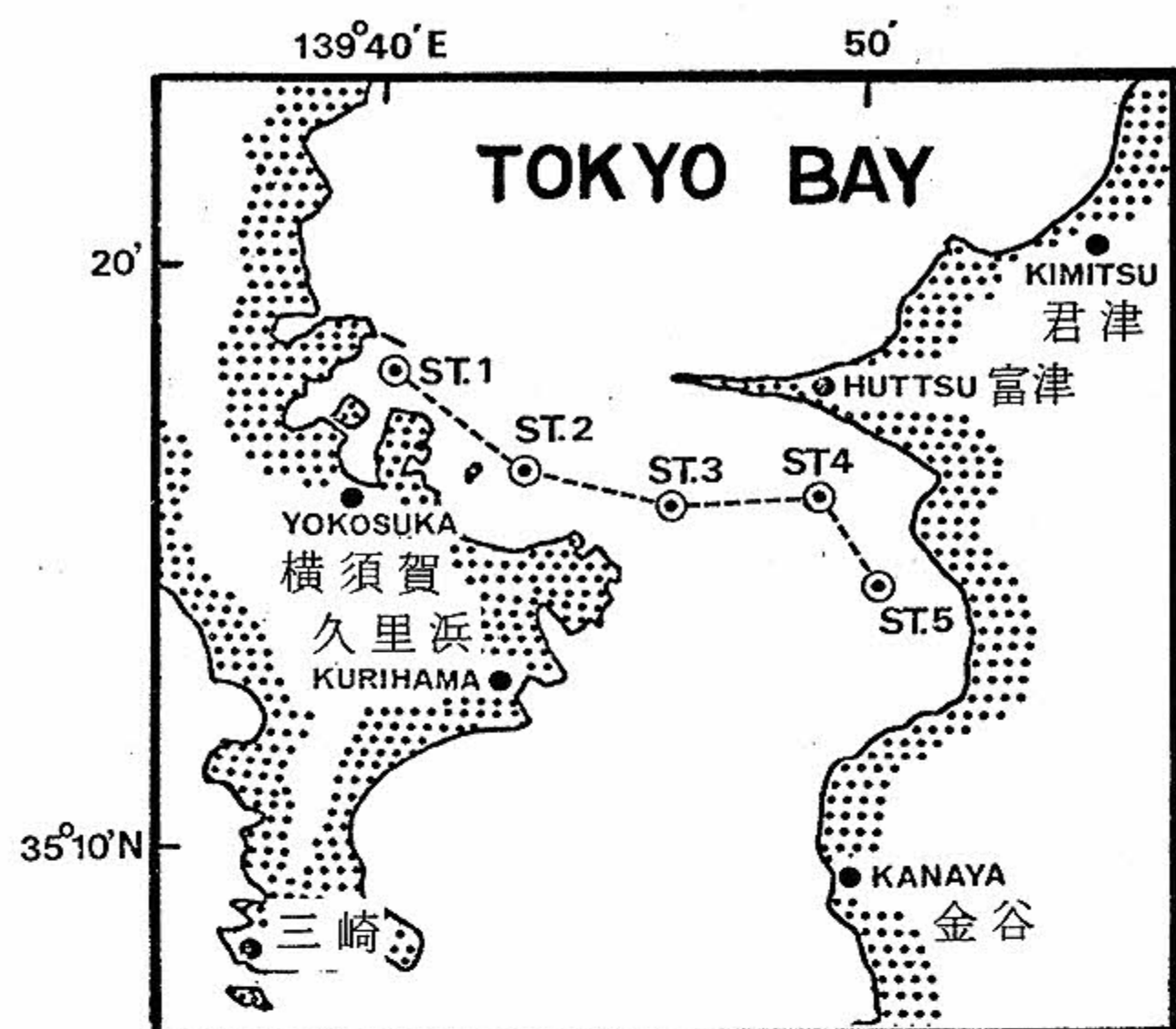


図1 東京湾口部水域の測点位置図

Location of sampling stations in the entrance of Tokyo Bay

点は表層のみを行った。また、夏季および冬季の湾口部水域横断面の海洋構造をみるため、水温と塩分は、各定点で5 m間隔で鉛直観測を行った。

調査は水色、透明度、水温、塩分、懸濁物量、溶存酸素量およびクロロフィル-a量を、下記の方法で行った。また、水温と塩素量からクヌーッセン公式を用い、海水密度 σ_t を、水温と溶存酸素量からフォックスの公式を用い、酸素飽和度を算出した。

水色；ウォーレル・ウーレ水色標準液使用

透明度；直径30cmの白色板（セッキ板）使用

水温および塩分；バンドーン採水器で採水した水試料は棒状温度計で水温を、また、採水試料の一部はポリエチレン容器に保存して実験室に持ち帰り、TSサリノメーターで塩分を測定した。さらに、インターオーシャン社製CSTD計でも同時測定した。

懸濁物量；ミリポアフィルター（H. A. Type, 洗浄処理）でろ過し、所定時間（デシケーター中で1週間）乾燥後、フィルター上の残査の重量を求め、懸濁物量とした。

溶存酸素量；採水試料を塩化マンガン溶液、ヨウ化カリウム-水酸化ナトリウム混液にて固定し、

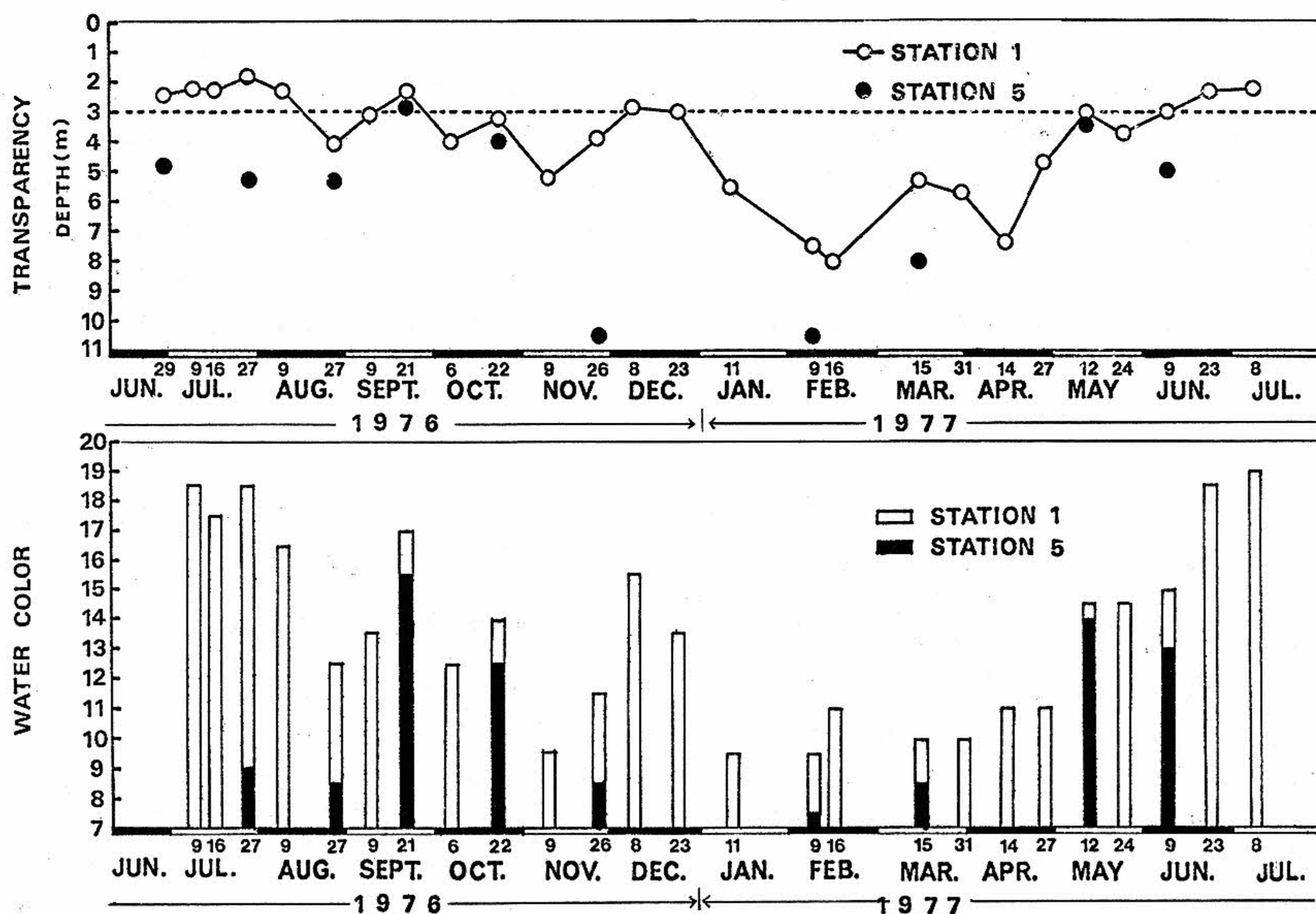


図2 東京湾口部水域の透明度および水色の季節変化

Fluctuations of transparency (upper) and water color (lower) in the entrance of Tokyo Bay

ウィンクラー常法に基づいて定量した。

クロロフィル-a量；西條（1975）の方法に基づき吸光光度法で定量した。

湾口部水域は海水の流動変化が大きく、さらに船舶航路筋であるため、上記の船上調査法のみでは、湾口部水域の海況特性を短時間で、かつ面的

に把握することは困難である。このため、リモートセンシング手法によって得られるデータの有効性および海況把握の可能性について検討した。

3. 調査結果

3.1. 船舶による測定

3.1.1. 水色および透明度

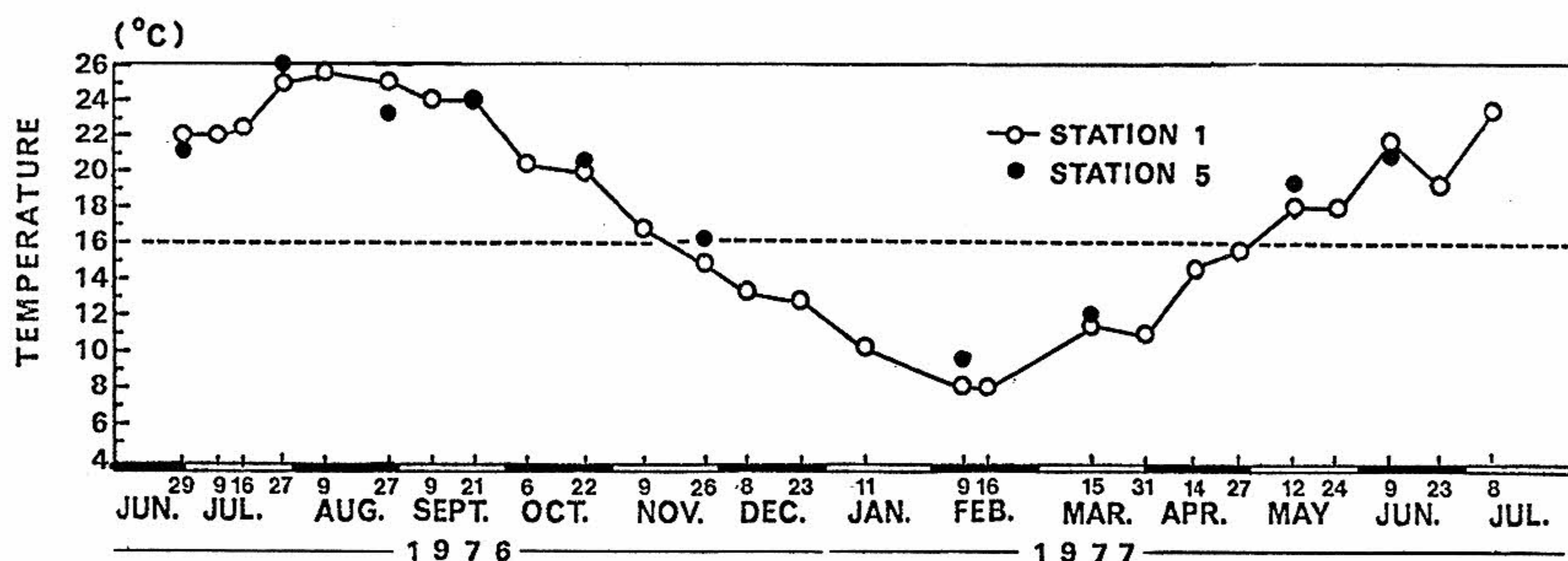


図3 St.1 および St. 5 における表層水温の季節変化

Fluctuation of temperature in the surface water at St. 1 and St. 5 in the entrance of Tokyo Bay

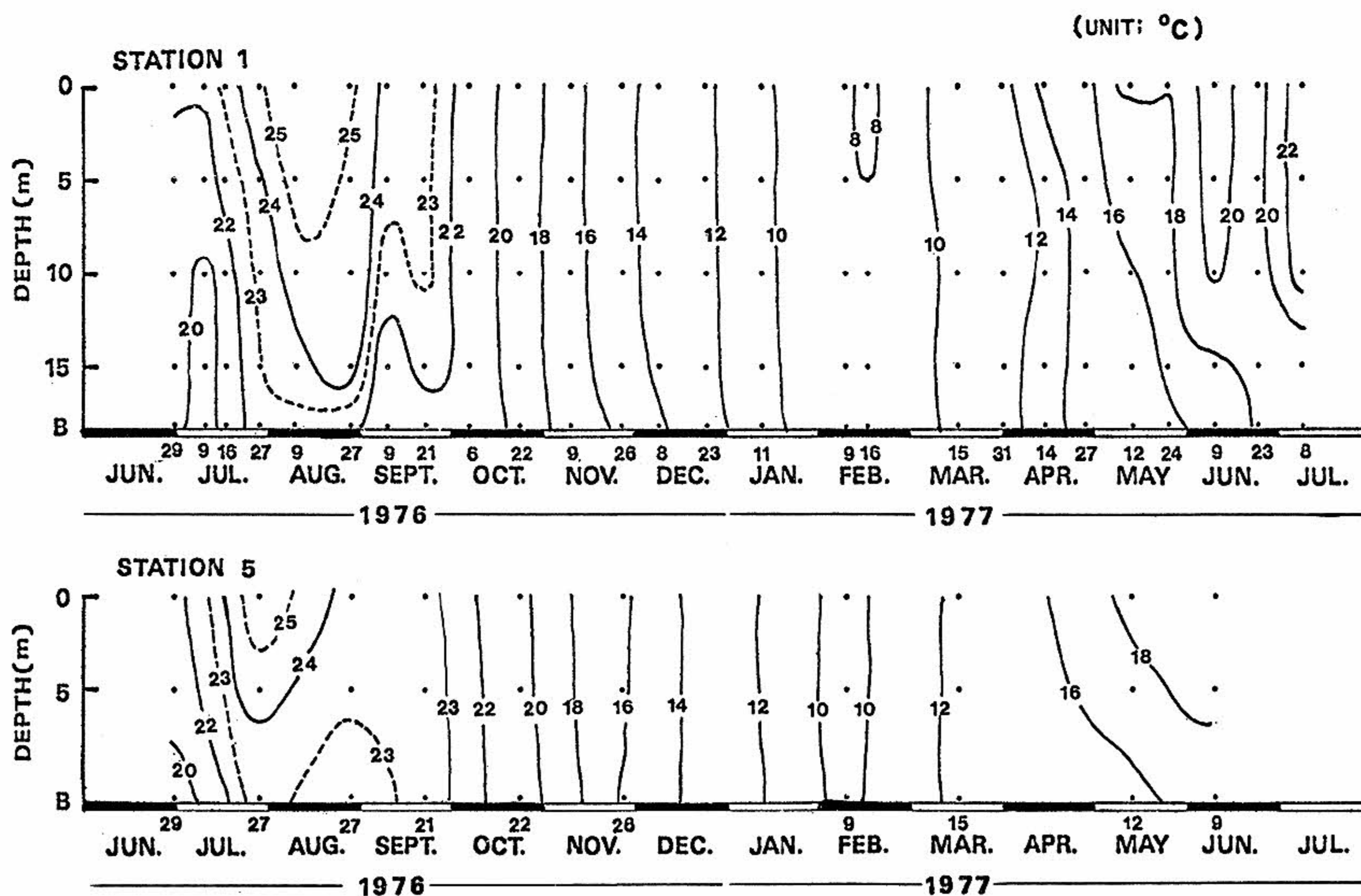


図4 St. 1 および St. 5 における鉛直水温分布の季節変化 (°C)

Vertical profiles of temperature at St. 1 and St. 5 in the entrance of Tokyo Bay

神奈川県側水域 (St. 1, St. 2) と千葉県側水域 (St. 4, St. 5) では水色, 透明度は周年を通して顕著な変化を示す。

図2には St. 1 および St. 5 における水色と透明度の季節的变化を示した。

水色は夏季 (7月~9月), St. 1 では16以上の茶褐色, 秋季から冬季に向かって緑色を帯びるようになり, 冬季 (1月~2月) には緑色を呈した。St.5では夏季には8~14で緑色から淡褐色, 冬季には4~8で青

色から緑青色を呈し, また St. 1 に対して水色階級レベルは周年を通して小さい。

透明度は St. 1 では夏季に最も小さく, 1.5 m前後, 冬季には6 m前後となり, 周年を通して St. 5 (千葉県側水域) に対し St.1(神奈川県側水域) の透明度は小さかった。

3.1.2. 水 温

水温は3月頃から上昇しはじめて8月頃に最高となり, 9月からは下降期にはいり, 2月に最低となった(図3参照)。鉛直的には, 6月から8月に温度成層が形成され, 9月中旬頃から温度成層は上層から消失し, 9月下旬以降は全層均一水温分布を示した(図4参照)。水平的には, 夏季 (7月~9月), 神奈川県側水域 (St. 1, St. 2) と千葉県側水域 (St. 4, St. 5) とは湾中部水域 (St. 3) に対して高水温であった(図5参照)。

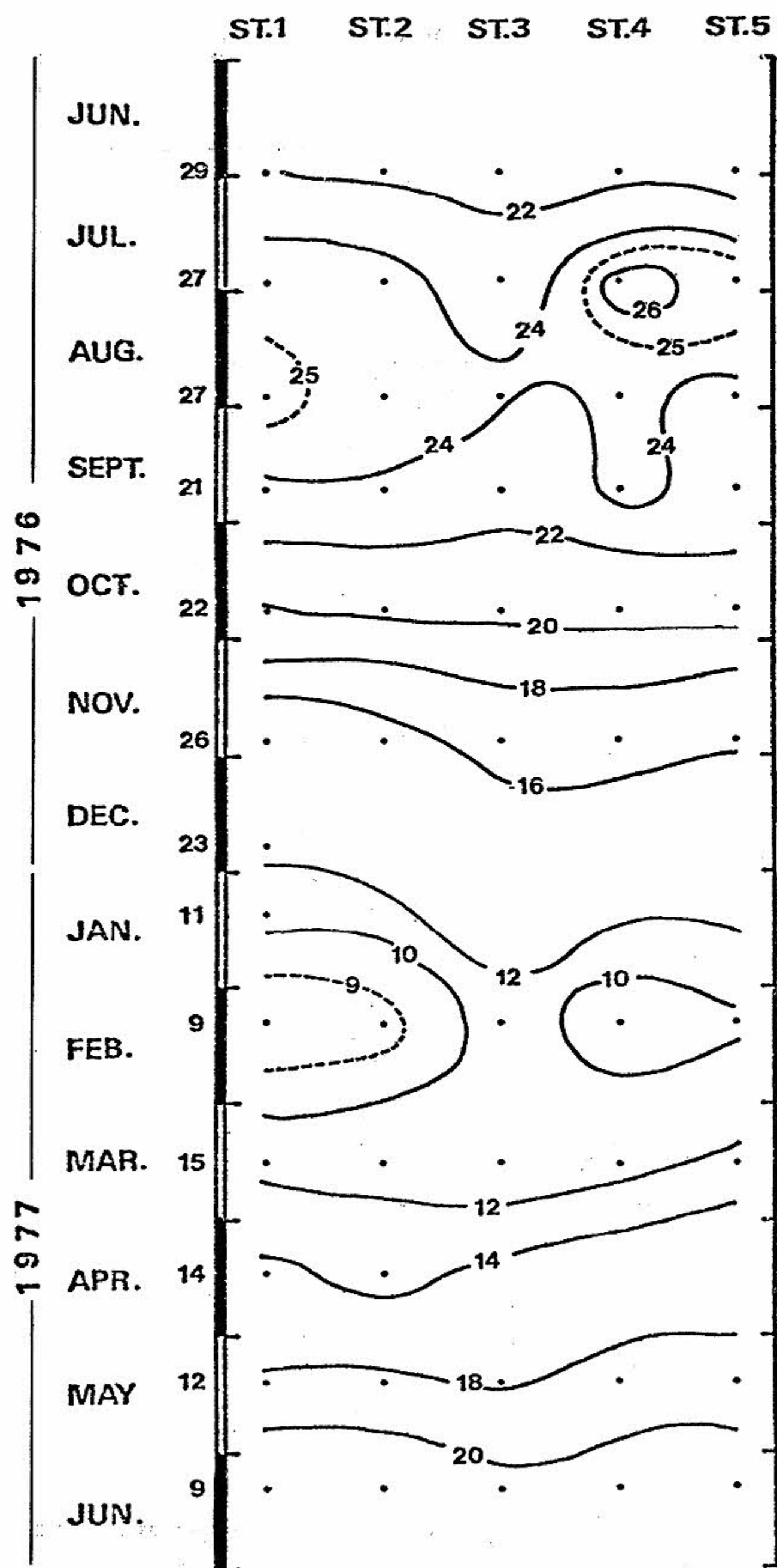


図5 東京湾口部水域の表層における水平水温分布の季節変化 (°C)

Distribution of temperature in the entrance of Tokyo Bay

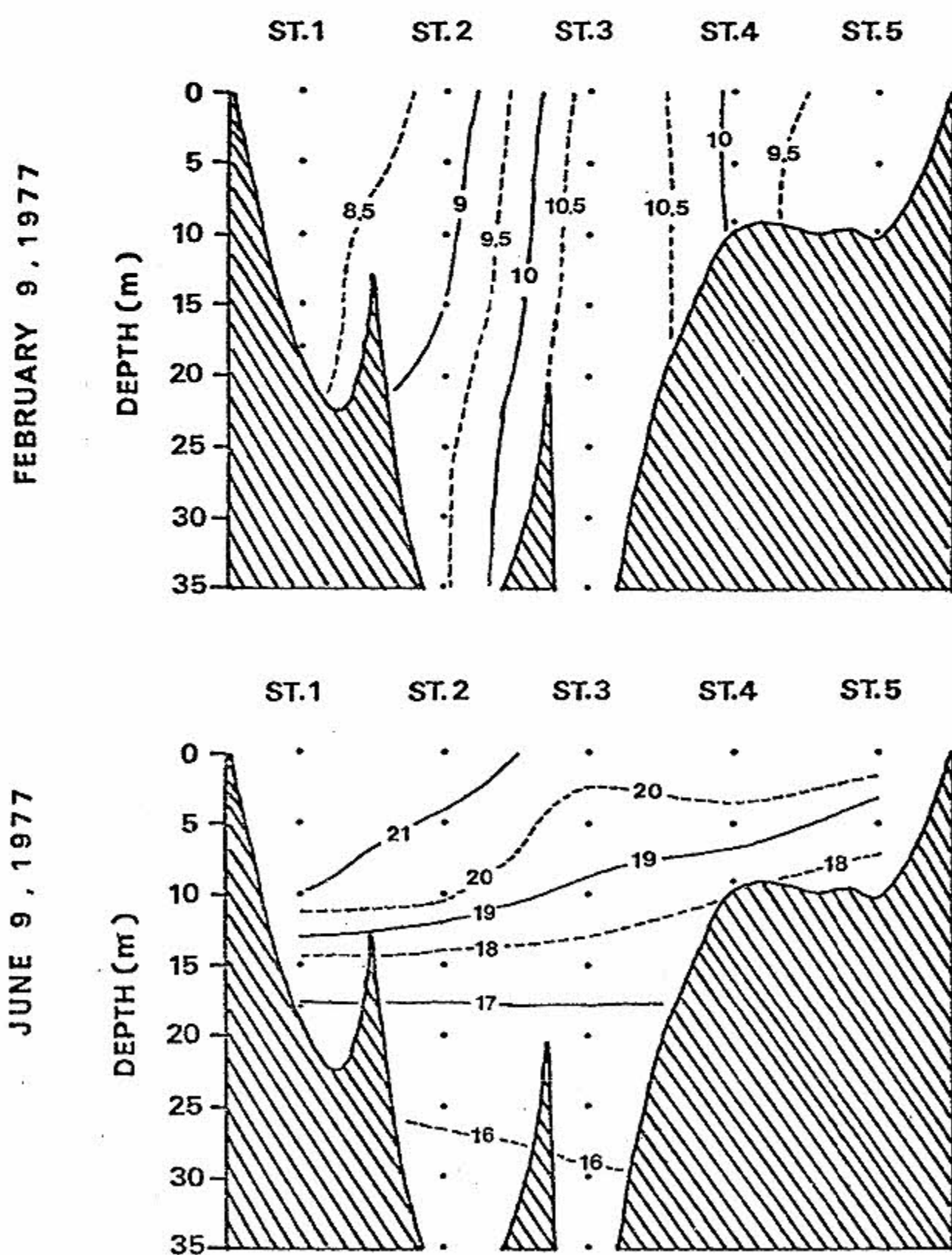


図6 初夏および冬季における東京湾口部横断面水温分布 (°C)

Temperature profiles in the vertical section along the course for fixed stations in early Summer, 1976 and Winter, 1977

また、一般に夏季では神奈川県側水域は千葉県側水域に対して高温で、冬季には低温である。

図6には調査線上の断面の水温分布を示す。

冬季(2月)には水温は鉛直的に等温分布を示した。しかし、湾中央部水域(St. 3)は鉛直的に等温分布を示しながらも神奈川県側水域および千葉県側水域よりも高温であった。

夏季(6月)には温度成層が形成され、千葉県側の表層にある20℃等温線は湾中央部から下層に下

がり、神奈川県側の底層に続き 神奈川県側水域の中層(約10m水深)以浅に高水温水が出現している。

St. 1の表層最高水温は8月の27.0℃で最低水温は2月の8.0℃であり、St. 3の表層最高水温は8月の24.1℃で、最低水温は2月の10.6℃であり、St. 5の表層最高水温は7月の26.0℃で、最低水温は2月の9.6℃であった。

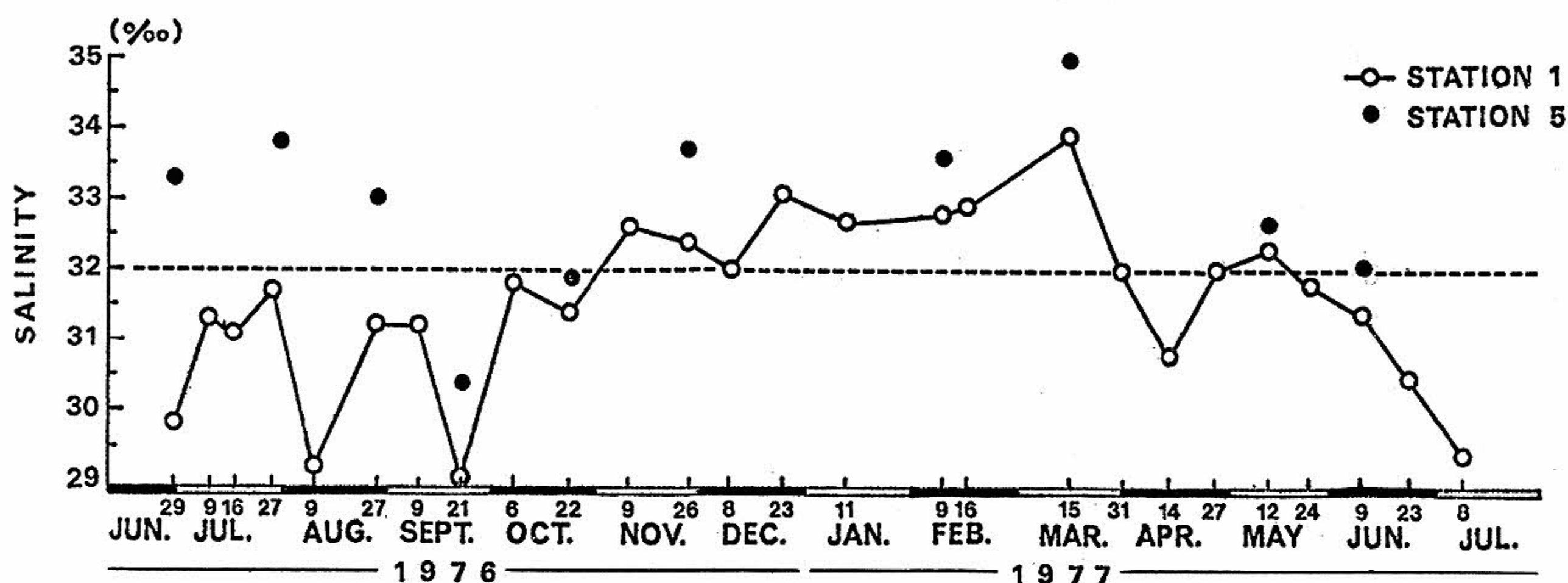


図7 St.1 およびSt. 5における表層塩分の季節変化

Fluctuation of salinity in the surface water at St. 1 and St. 5 in the entrance of Tokyo Bay

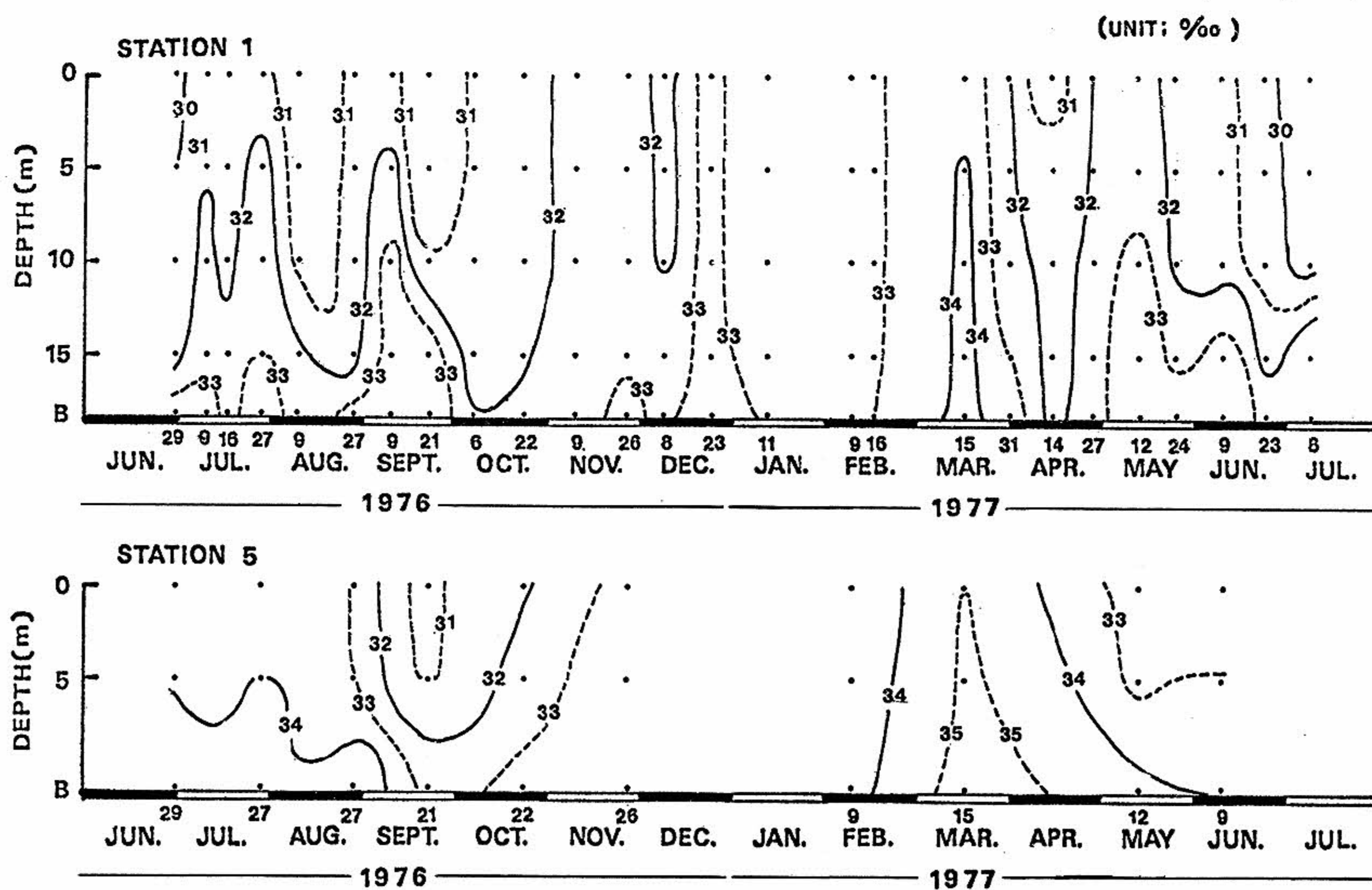


図8 St. 1 およびSt. 5における鉛直塩分分布の季節変化

Vertical profiles of salinity at St. 1 and St. 5 in the entrance of Tokyo Bay

3.1.3. 塩 分

一般に夏季に低塩分、冬季に高塩分である。周年にわたる塩分量変化は神奈川県側水域が千葉県側水域より大きい(図7参照)。鉛直的にみると、夏季(6月~9月)にはSt. 1およびSt. 5とも表層が低塩分、底層が高塩分であり、塩分の勾配がみられ、冬季にはほぼ全層等塩分量分布を示す(図8参照)。

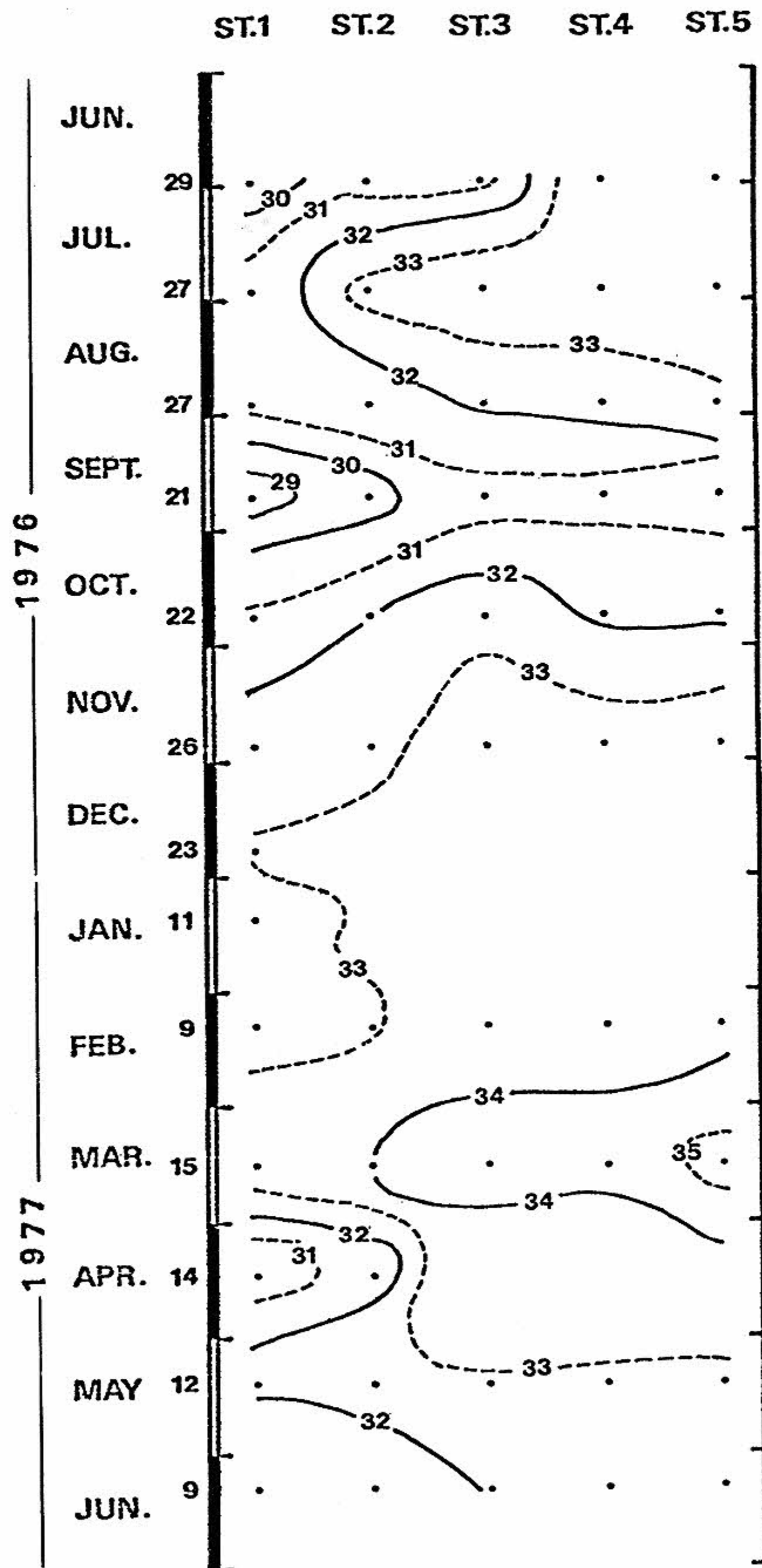


図9 東京湾口部水域の表層における水平塩分分布の季節変化(‰)

Distribution of salinity in the entrance of Tokyo Bay

水平的にみると、千葉県側水域が神奈川県側水域よりも、周年、塩分量は大きく、特に両水域の塩分量の差は降雨量の多い夏季に著しい(図9参照)。

図10には湾口部水域断面の塩分分布を示した。

冬季、2月には鉛直的に等塩分分布を示しながら千葉県側に近づくにつれて高塩分となり、特に湾中央部水域では高塩分である。夏季、6月には神奈川県側水域の中層以浅に低塩分水が発達し、千葉県側水域の表層付近の等塩分線は湾中央部水域を境界にして神奈川県側水域の底層に達している。

St. 1の表層の最大塩分量は3月の33.93‰で、最小量は9月の28.94‰であり、St. 3の最大量は3月の34.39‰で、最小量は9月の30.36‰であり、St. 5の最大量は3月の35.19‰で、最小量は9月の30.44‰であった。

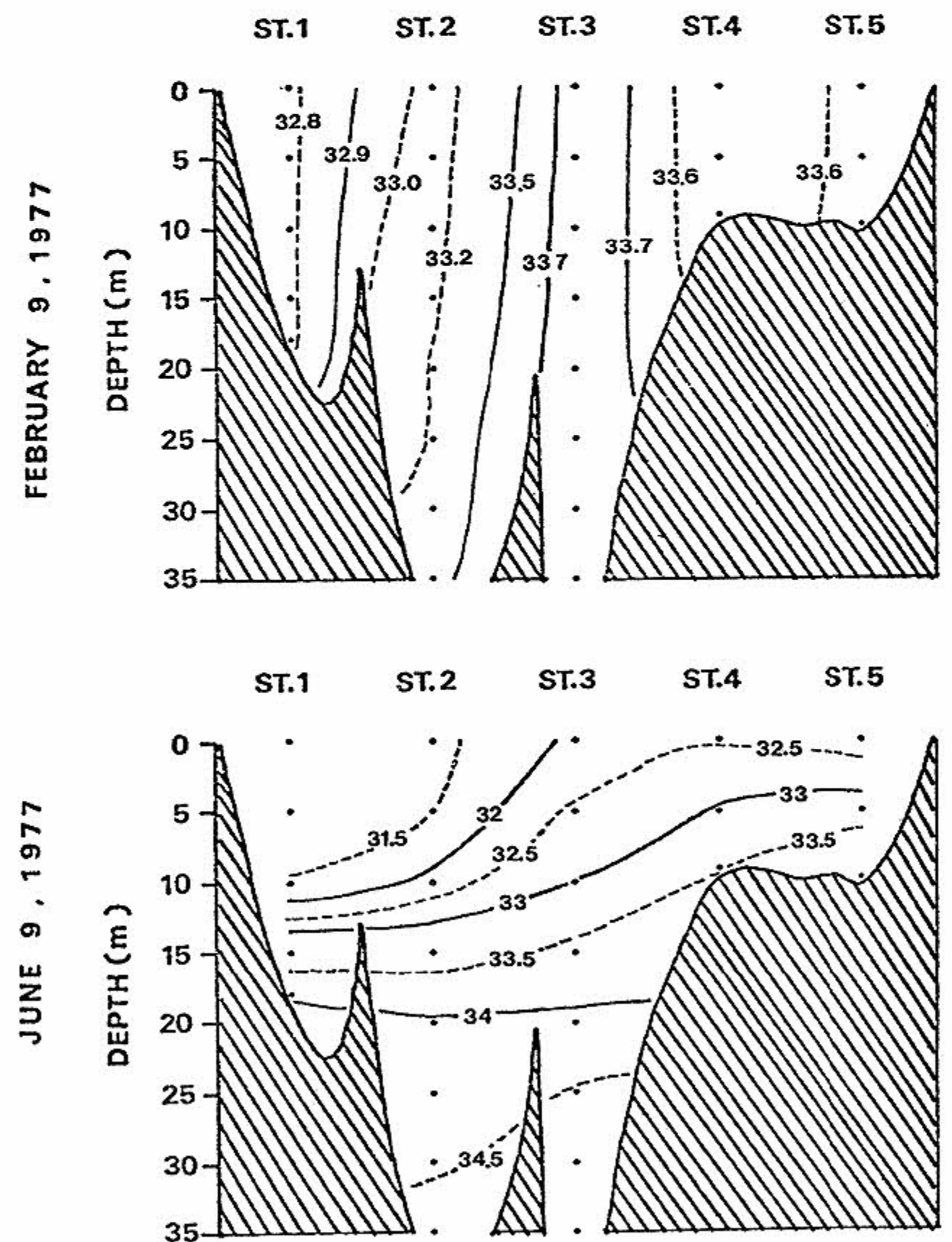


図10 初夏および冬季における東京湾口部横断面塩分分布(‰)

Salinity profiles in the vertical section along the course for fixed stations in early Summer, 1976 and Winter, 1977

3.1.4. 海水の密度〔 σ_t 〕

鉛直の σ_t 値はSt. 1, St. 5ともに夏季には表層で小さく、底層で大きく、顕著な密度成層がみられ、9月中旬頃、表層から密度成層がくずれはじめ、10月以降、値は垂直的にはほぼ等しくなるが、底層ではやや大きい値を示すこともある。このような状態は冬季、2月頃まで続き、3月頃から再び密度成層が形成されはじめる(図11参照)。

水平的には、周年、神奈川県側水域が千葉県側水域よりも密度が小さいが、時々、神奈川県側水域や千葉県側水域よりも湾中央部水域(St. 3)が大きいこともある。また、神奈川県側と千葉県側の水域との間の水平的密度勾配は夏季、7月~8月で最も大きく、秋季や冬季には小さい(図12参照)。

St. 1の表層の最小密度値は8月の18.8, 最大値は2月の25.7であり、底層の最小値は8月の22.3, 最大値は3月の26.6であった。St. 3の表層の最小値は9月の20.3, 最大値は3月の26.3であり、St. 5の表層の最小値は9月の20.3, 最大値は2月の26.5, 底層の最小値は9月の20.0, 最大値は3月の26.8であった。

3.1.5. 懸濁物量

表層の懸濁物量は一般に夏季に多く、冬季に少ない。また、千葉県側水域に比べて神奈川県側水域は季節的变化量大きい(図13参照)。水平的には神奈川県側水域が千葉県側水域よりも周年を通し、懸濁物量が多い(図14参照)。

St. 1の表層の最高懸濁物量は7月の10.3 mg/l, 最低量は2月の1.3 mg/lであり、St. 3の表層の最大量は5月の6.8 mg/l, 最低量は6月の1.2 mg/lであり、St. 5の表層の最大量は5月の5.2 mg/l, 最低量は11月の0.7 mg/lであった。

3.1.6. 溶存酸素量および酸素飽和度

溶存酸素量は夏季に多く、冬季は少ない傾向を示すが、秋季および冬季にも多い場合がある。鉛直的には表層に多く、底層では少ない。水平的には夏季、神奈川県側水域が湾中央部水域および千葉県側水域よりも多いが、冬季には湾口部全水域について顕著な差は認められない。

St. 1の表層の最大溶存酸素量は7月の10.8 ml/l, 最小量が1月の5.4 ml/lであり、底層

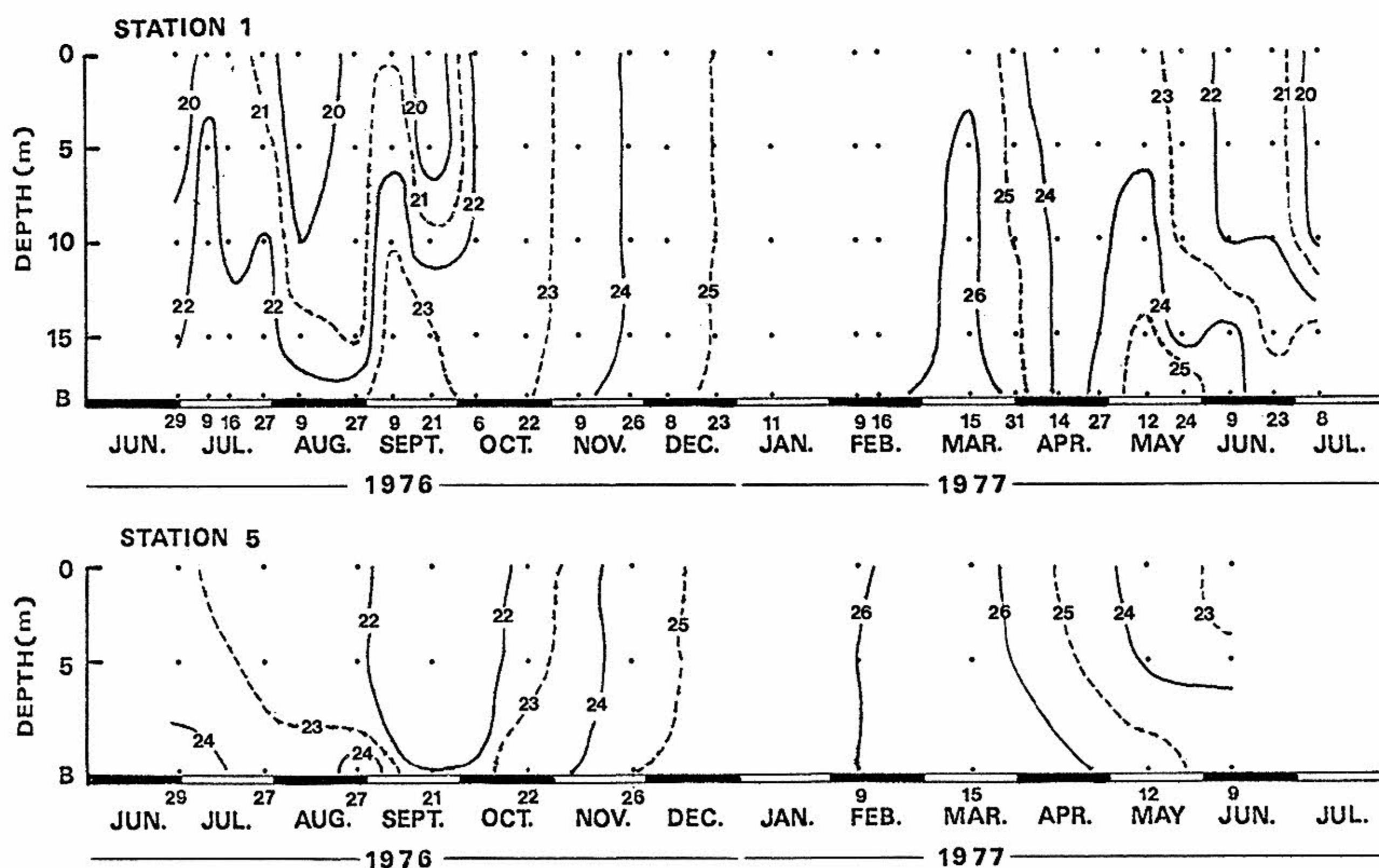


図11 St. 1およびSt. 5における鉛直方向の海水密度 σ_t 分布の季節変化

Vertical profiles of density (σ_t) at St. 1 and St. 5 in the entrance of Tokyo Bay

の最大量は4月の6.1 ml / ℓ，最小量は8月の2.4 ml / ℓであり，St. 3の表層の最大量は6月の6.7 ml / ℓ，最小量は10月の4.5 ml / ℓであり，St. 5の表層の最大量は9月の7.2 ml / ℓ，最小量は8月の4.4 ml / ℓであった。

酸素飽和度は，神奈川県側水域では，3月から10月頃まで表層は100%以上の過飽和状態であり，特に7月には顕著な過飽和状態であった。1月～2月には未飽和状態である。しかし，12月頃でも過飽和水

が出現し，植物プランクトンの増殖に依存する複雑な季節変化を示す。また，底層では神奈川県側水域で60%以下の未飽和状態が7月～9月にみられた。

千葉県側水域では，3月から10月に表層で過飽和状態を示すが，神奈川県側水域ほど顕著ではなく，11月から2月頃は未飽和状態を示した。また，底層では周年を通し，90%前後の未飽和状態であった（図15参照）。水平的（表層）には夏季，神奈

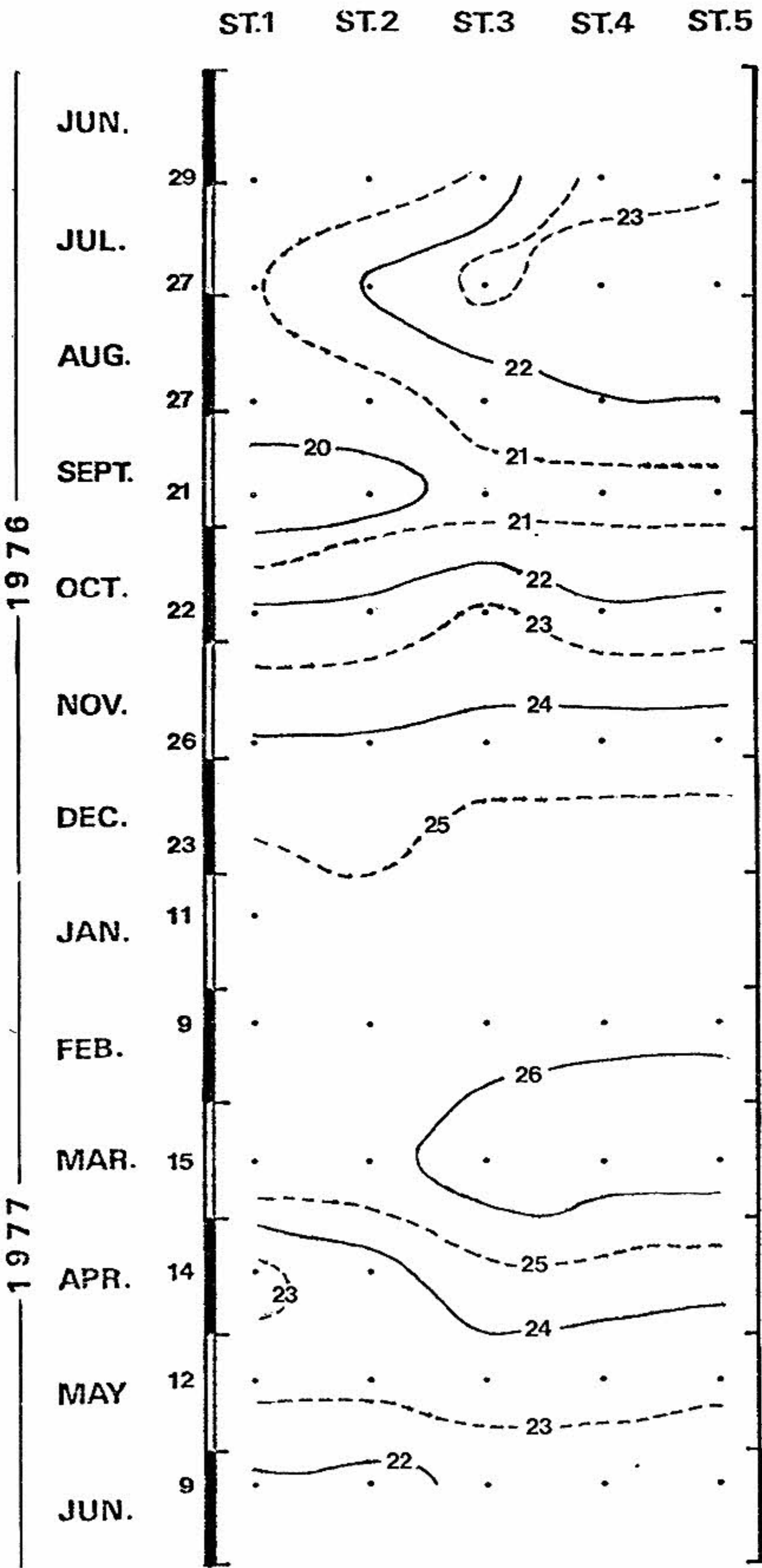


図12 東京湾口部水域の表層における水平方向の海水密度 σ_t 分布の季節変化
Distribution of density (σ_t) in the entrance of Tokyo Bay

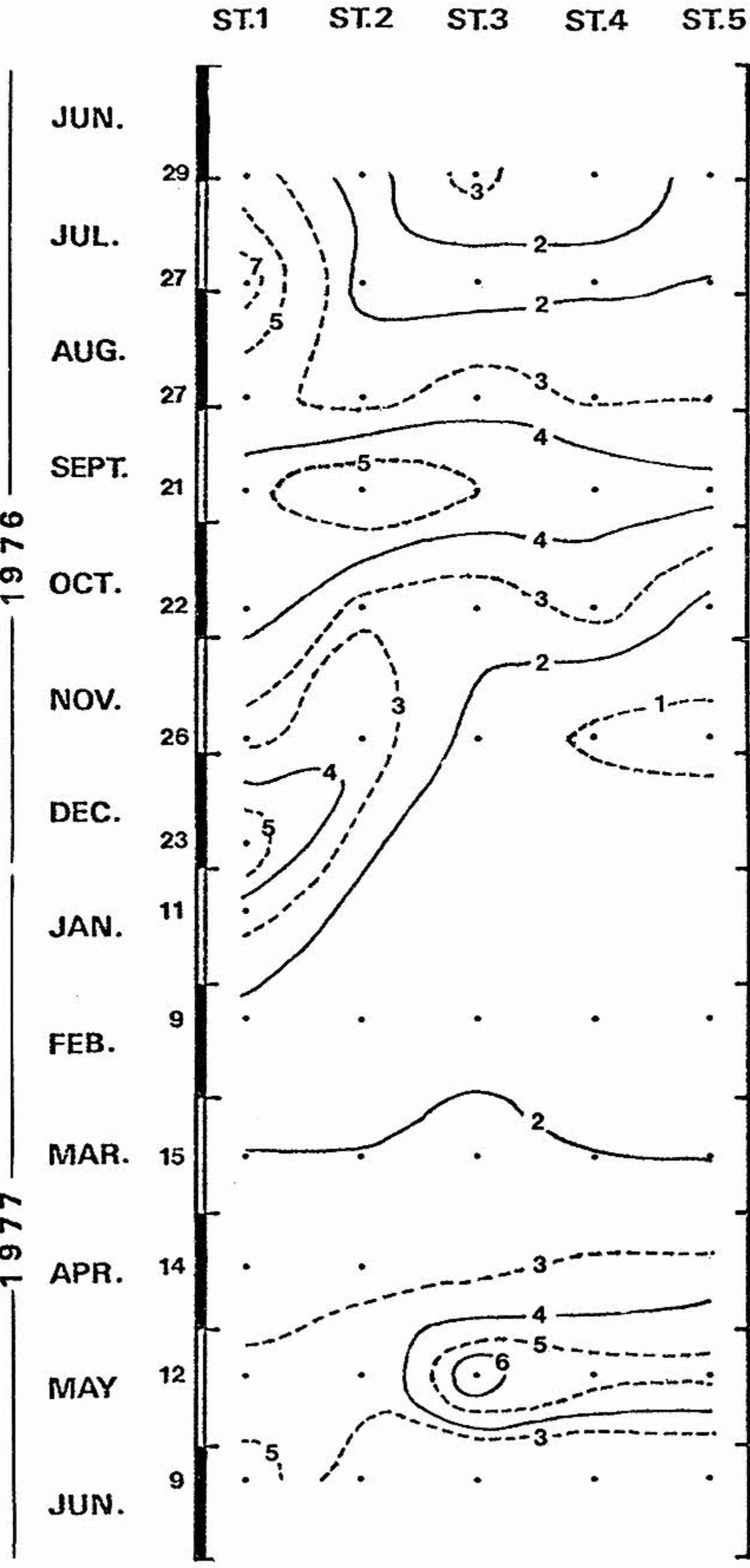


図14 東京湾口部水域の表層の水平懸濁物分布の季節変化 (mg / ℓ)
Distribution of suspended solid in the entrance of Tokyo Bay

川県側水域が湾央部水域および千葉県側水域よりも過飽和状態が著しく、冬季には全水域とも未飽

和状態となり、その差は顕著ではない（図16参照）。
St 1の表層の最大酸素飽和度は7月の204%，

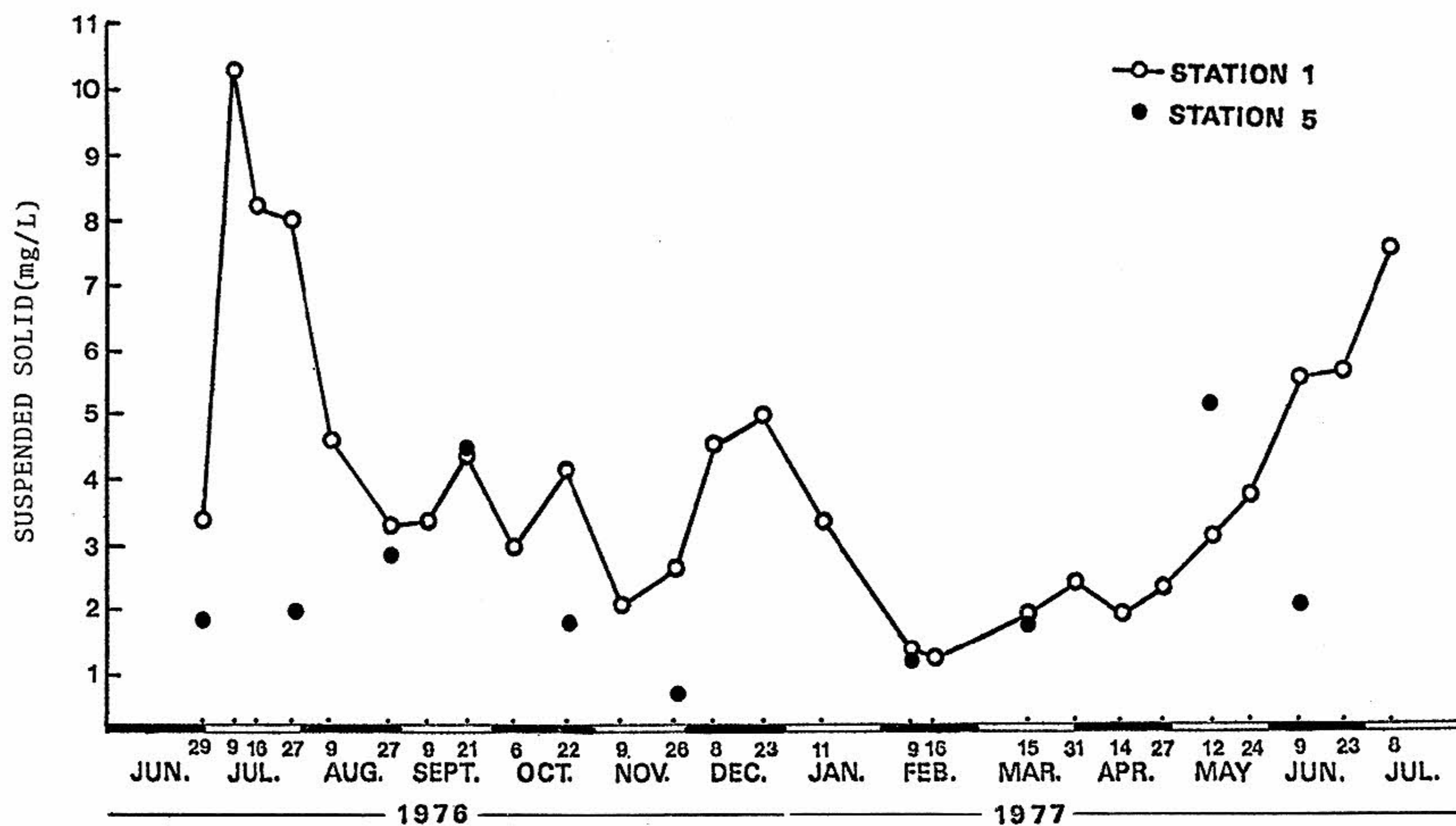


図13 St. 1 およびSt.5 における表層の懸濁物量の季節変化
Fluctuation of suspended solid in the surface water at St. 1 and St. 5 in the entrance of Tokyo Bay

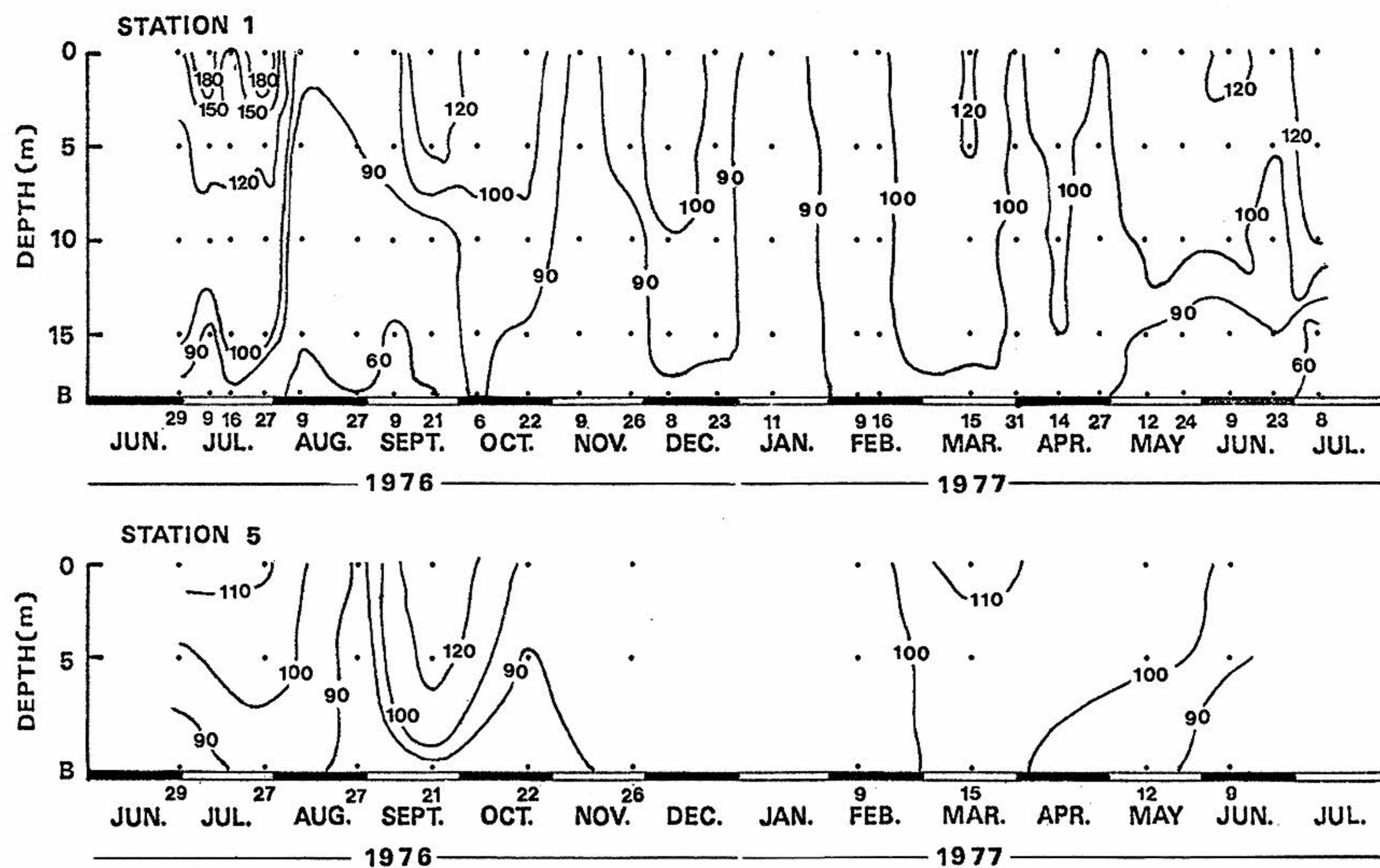


図15 St. 1 およびSt.5 における鉛直方向の酸素飽和度分布の季節変化 (%)
Vertical profiles of oxygen saturation (%) at St. 1 and St. 5 in the entrance of Tokyo Bay

最小量は1月の84%であり、底層の最大値は4月の98%、最小値は8月の46%であり、St 3の表層の最大値は6月の100%、最小値は10月の84%、St. 5の表層の最大値は9月の140%、最小値が8月の86%であり、底層の最大値は9月の140%、最小値は6月の77%であった。

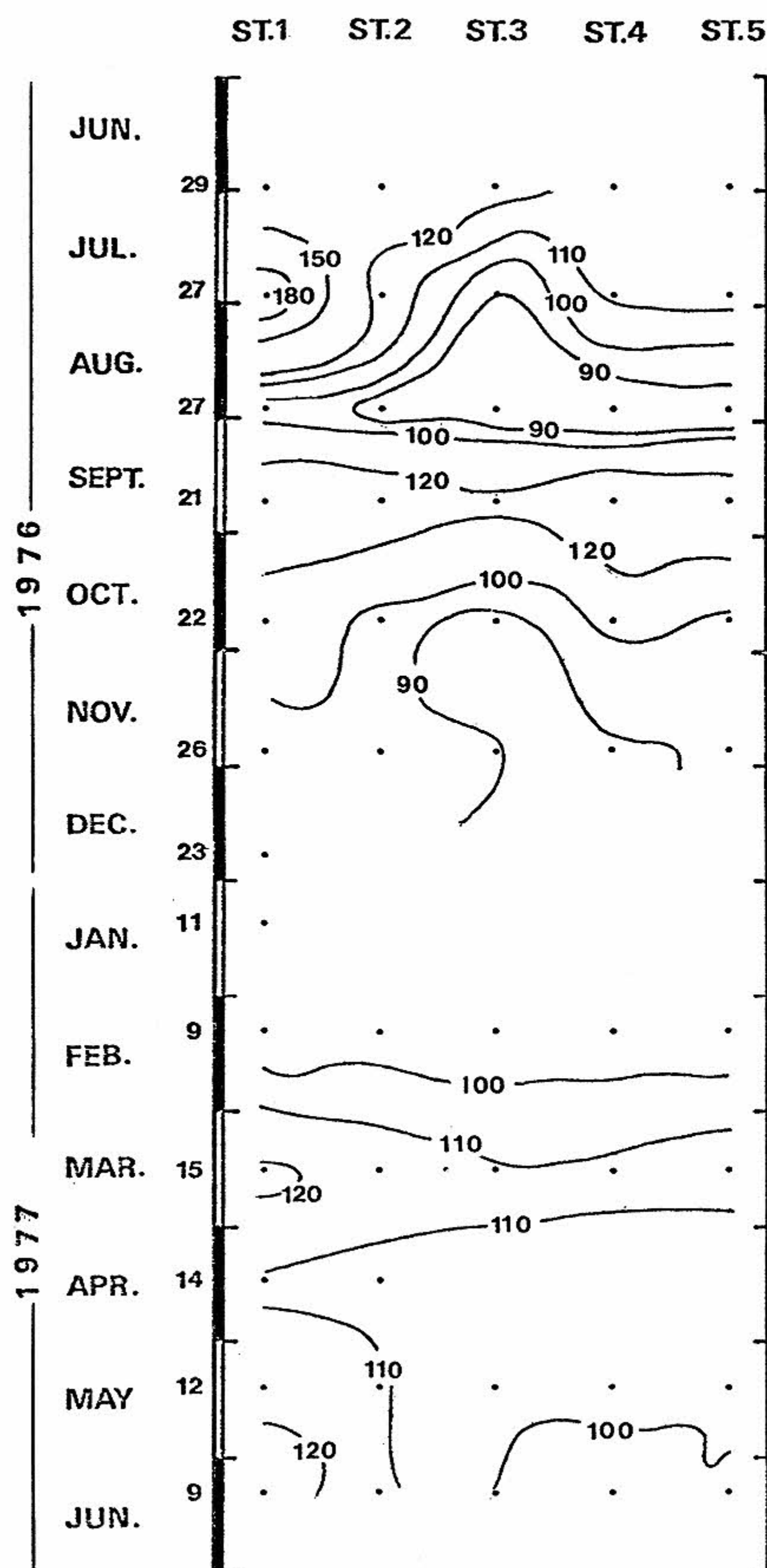


図16 東京湾口部水域の表層の水平方向の酸素飽和度分布の季節変化 (%)
Distribution of oxygen saturation (%) in the entrance of Tokyo Bay

3.1.7. クロロフィル - a 量
神奈川県側表層水 (St. 1) では5月~12月の間、クロロフィル - a 量が 10 mg/m^3 以上で、特に9月が多く、1月~4月は少ない。千葉県側表層水 (St. 5) では周年を通して少ない (図17参照)。鉛直的には神奈川県側水域では水深約10m以浅に

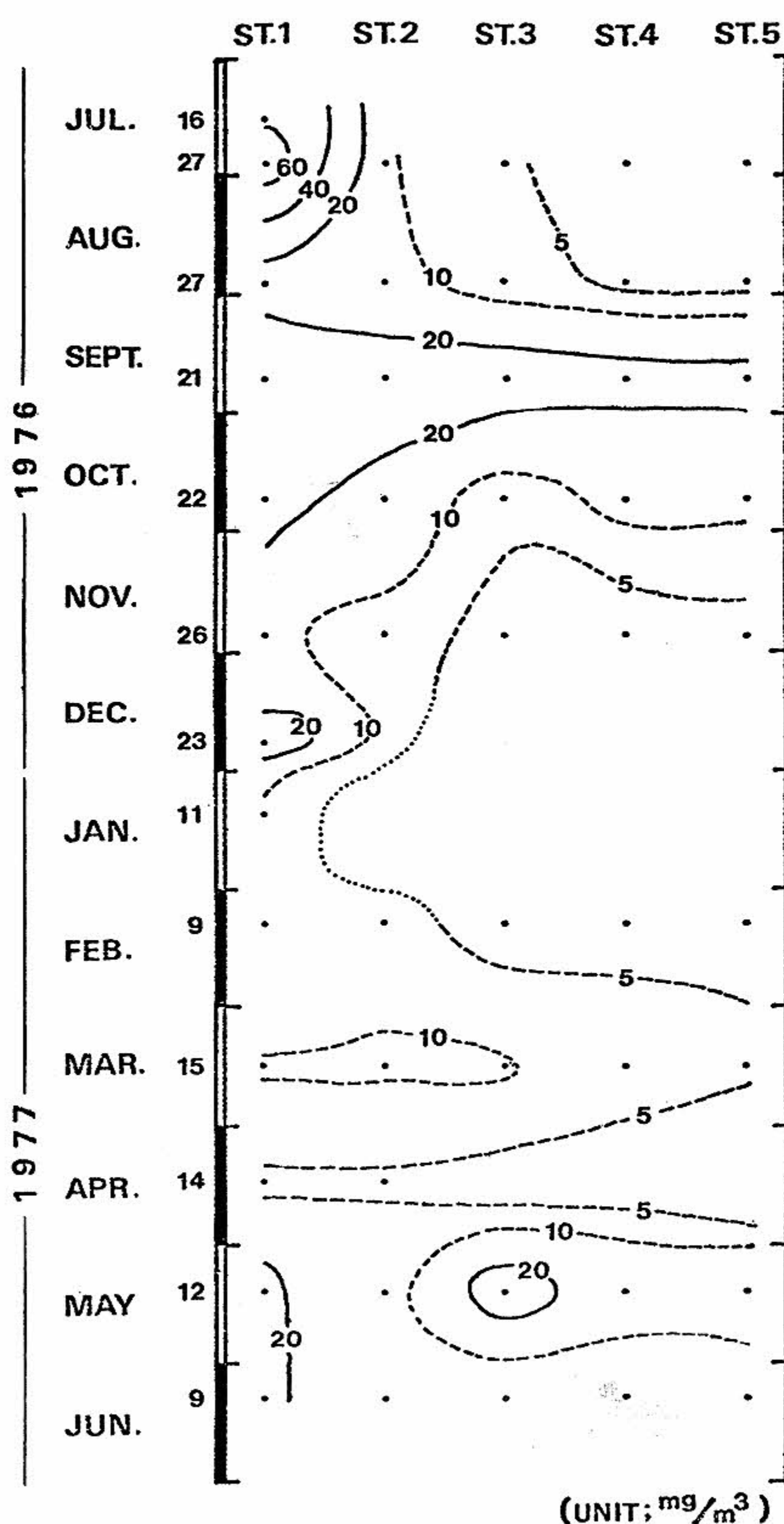


図19 東京湾口部水域の表層の水平方向のクロロフィル - a 量の分布の季節変化 (mg/m^3)
Distribution of chlorophyll a in the entrance of Tokyo Bay

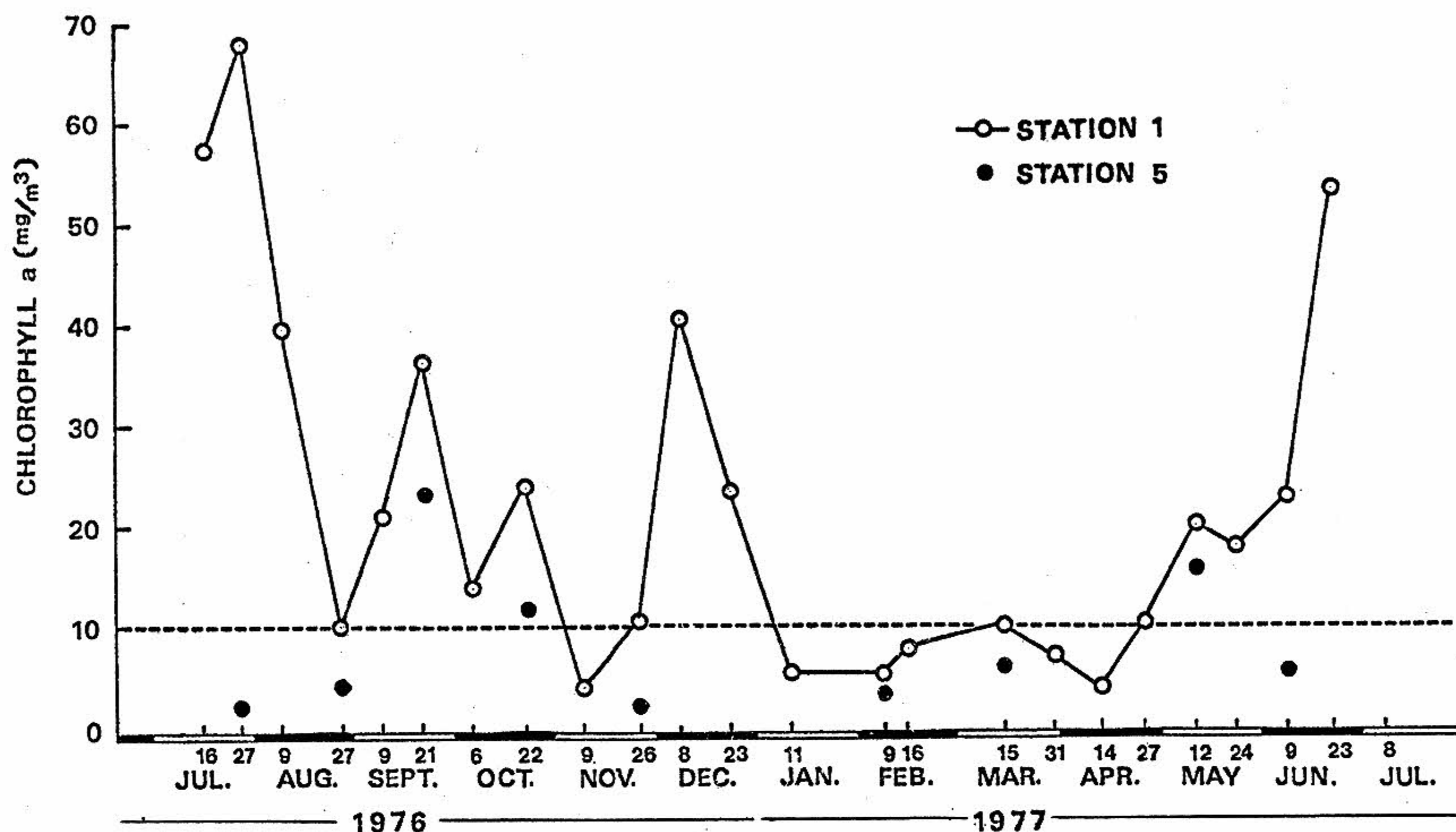


図17 St. 1 および St. 5 の表層におけるクロロフィル a 量の季節変化

Fluctuation of chlorophyll a in the surface water at St. 1 and St. 5 in the entrance of Tokyo Bay

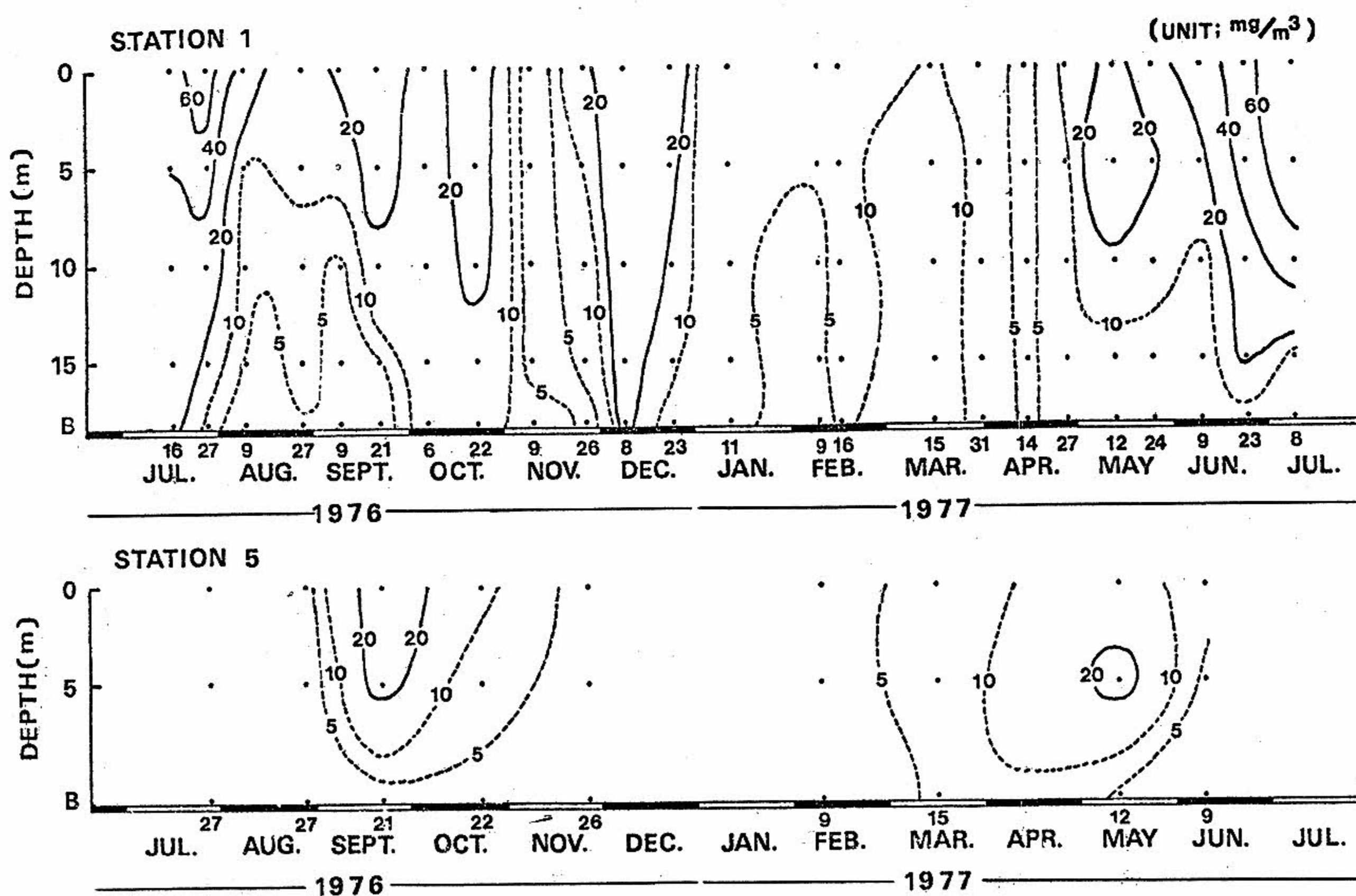


図18 St. 1 および St. 5 における鉛直方向のクロロフィル - a 量分布の季節変化

Vertical profiles of chlorophyll a at St. 1 and St. 5 in the entrance of Tokyo Bay

クロロフィル-aが多い(図18参照)。また水平的には神奈川県側水域が千葉県側水域に比べ、周年を通してクロロフィル-aが多い(図19参照)。

St. 1の表層のクロロフィル-a 最大値は7月の 68.0 mg/m^3 、最小値は4月の 4.5 mg/m^3 、St. 3の最大値は9月の 27.0 mg/m^3 、最小値は2月の 2.3 mg/m^3 、St. 5の最大値は9月の 23.0 mg/m^3 、最小値は11月の 2.1 mg/m^3 であった。

3.2. リモートセンシングによる海況測定

チャンネル1~11の各波長帯ごとにMSS (マルチスペクトルスキャナー) で高度3000~5000 mから前述の調査水域を秋季(9月下旬)および冬季(2月)に撮影した。

各チャンネルの内、チャンネル11では水温情報が得られた。しかし、チャンネル11の画像は秋季の場合には大気中のスモッグ等の影響を受け、冬季に比べて鮮明な情報が得られなかった。

写真1にはチャンネル11のMSS写真を示す。

秋季、冬季両方とも富津岬先端付近から南方に向い、神奈川県側の黒色部分、すなわち低水温域と千葉県側の白色部分、すなわち高水温域がみられ、これらの境界が水温のフロントであることがわかる。

微細な水温分布はこのようなMSS写真のみからは判断できない。しかし、前述の調査結果と照合して考えると、秋季および冬季の富津岬先端以南の千葉県側水域は高温、高塩分の外洋性水系、また神奈川県側水域では低温、低塩分の湾内性水系であることが考えられる。

リモートセンシングによる海況情報収集で、チャンネル11による水温情報についてのみ検討したが、広範な水域の水温分布情報を同時に収集できる点で有効であると考えられる。今後、さらに画像解析技術を検討することによって、さらに詳細な水温分布情報が得られると考えられる。

4. おわりに

冬季には海面が冷やされ、また降雨量が少ないため、河川水等からの淡水供給も少なく、上下層の混合がよく行なわれ、水温、塩分の等値線は立っている(図4、図6、図8および図10参照)。しかし、神奈川県側水域(St. 1)では、水温は外洋の影響を受けやすい底層が表層より若干高く、温度逆転がみられることもある(図4参照)。ただし、塩分による補償があるため(図8参照)、

密度の逆転はみられない(図11参照)。水平的には千葉県側水域が神奈川県側水域に比べ、高水温であり(図3、図4、図5および図6参照)、塩分も多く(図7、図8、図9および図10参照)、湾中央部水域(St. 3)付近では水温、塩分の等値線が混み合い(図6および図10参照)、フロントの存在がうかがわれる。

夏季には強い密度成層が形成され、神奈川県側(St. 1)では中層付近に躍層がみられる(図11参照)。水平的には神奈川県側水域は低塩分、千葉県側水域は高塩分である(図7、図8、図9および図10参照)。千葉県側水域の表層付近にある水温および塩分の等値線は湾中央部水域(St. 3)付近で下層に潜り込み(図6および図10参照)、神奈川県側水域の中、深層に達している。

小金井ら(1962)は東京湾口部の水について相模湾内の中層水にあたる“海谷水”、黒潮分派流に由来する高塩分の“黒潮系外洋水”および河川からの流入や気候の影響を強く受けた“東京湾水”の3水系に区別し、夏季には高温・低塩分の東京湾水は湾外に流出し、この補流として黒潮系外洋水が下層から流入し、冬季には東京湾水の流出が少なく、これらの二つの水系は浦賀水道北部で接触すると報告している。また、東京湾口部の水の流動は、恒流として千葉県側を外洋水が北上し、神奈川県側を湾内水が南下する流れがみられ、湾内から湾口にかけて上層には低塩分の軽い水が湾外に向い、下層には高塩分の重たい水が湾奥に向う流れがあることが知られている(門田ほか: 1967, 坪田ほか: 1975)。

以上のような点から考えると、本調査水域では千葉県側水域は黒潮系の影響を受けた外洋水、神奈川県側水域では東京湾内水ということができ、これらの2水系は周年を通して存在し、冬季には浦賀水道に沿った形で水道中央部付近で接触し、夏季には千葉県側の黒潮系外洋水は湾口中央部付近で接触し、ここで下層に潜り込み、神奈川県側水域下層に続き、湾奥部に達し、神奈川県側水域上層には東京湾水が発達していると思われる。

宇野木ら(1976, 1977)は冬季、湾口部における両水系の境界域、いわゆるフロントの挙動について調査し、上潮時には西方向、下潮時には東方向に移動することを報告している。本調査中、潮時によるフロントの東西移動について船上観察することができ、これら両水系は潮汐流などの流動により複雑な構

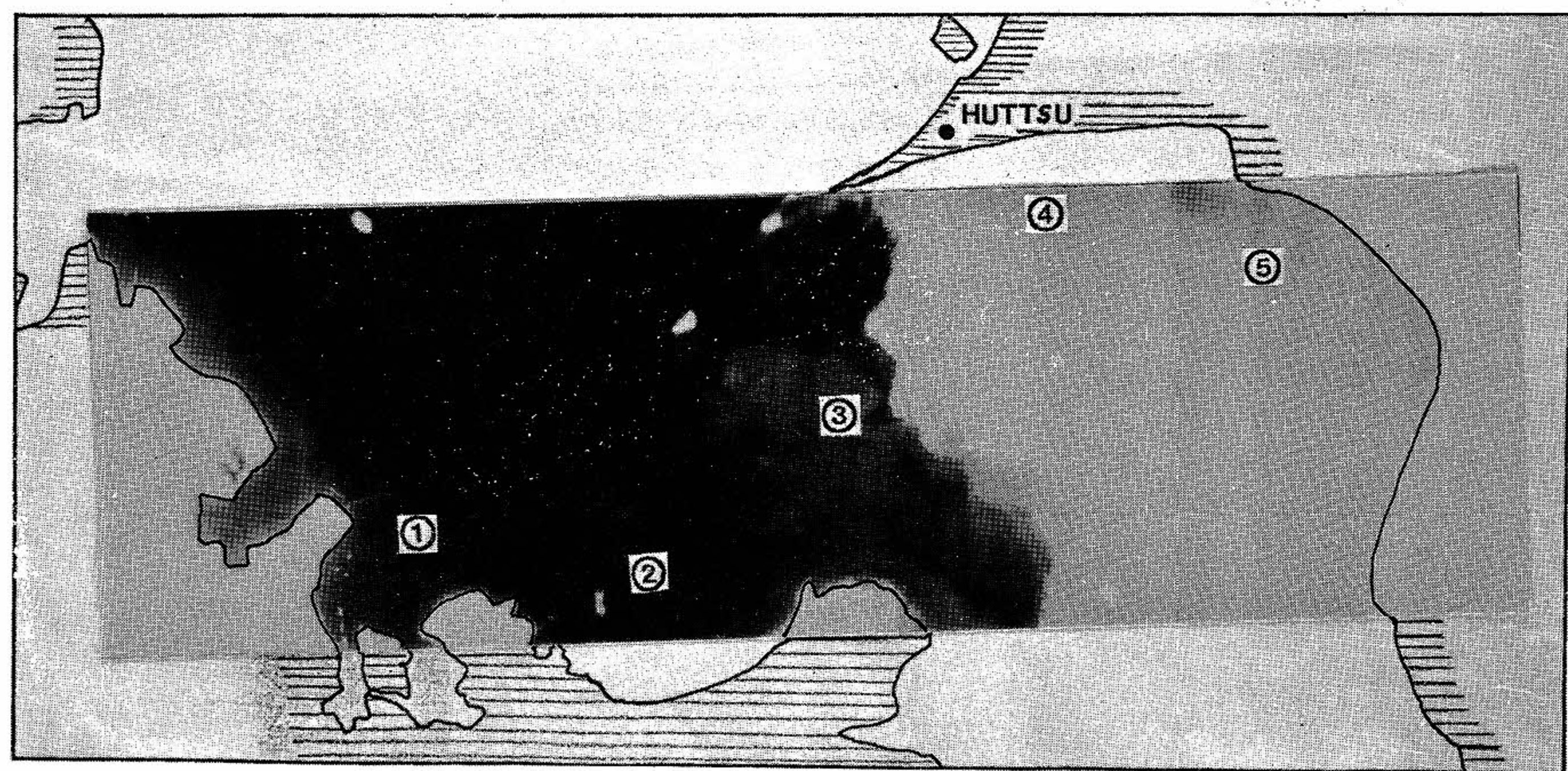
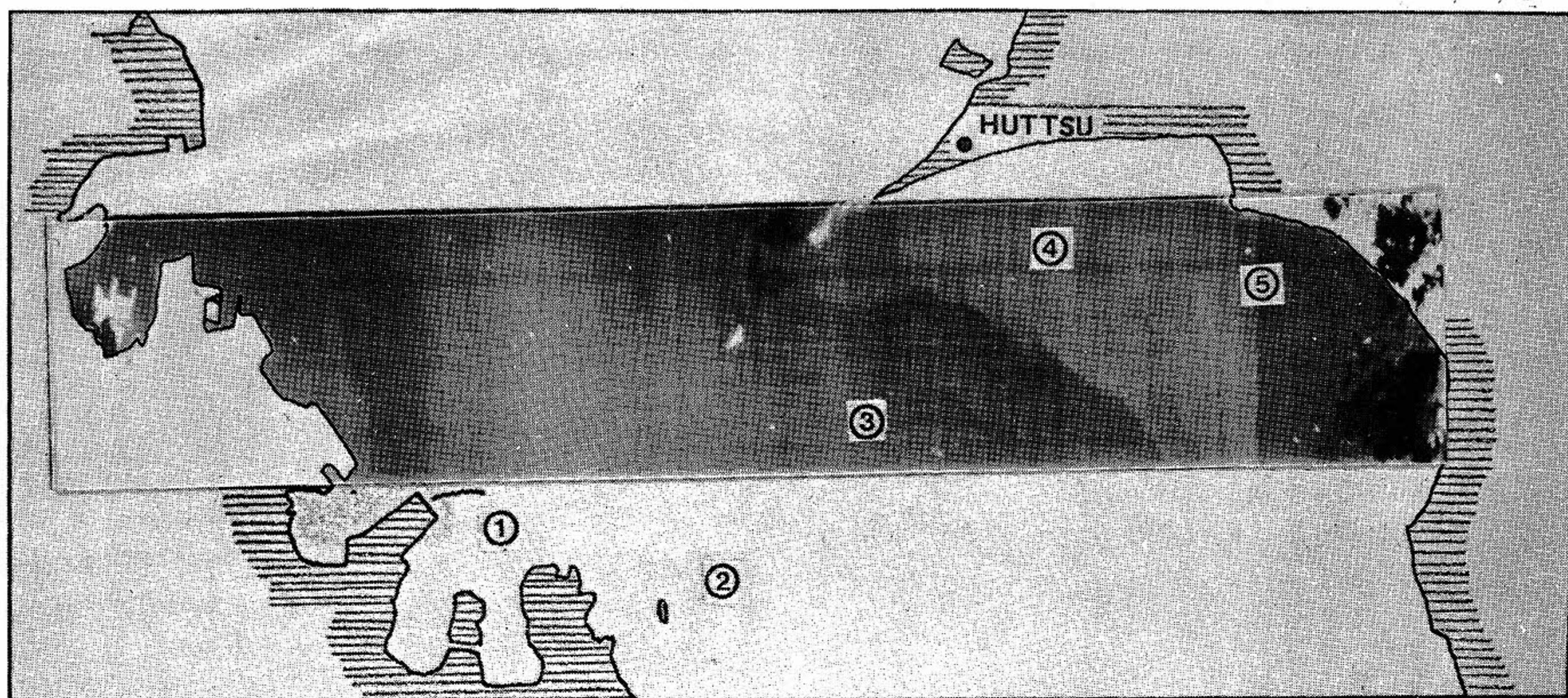


写真1 東京湾湾口部水域のマルチ・スペクトル・スキャナー（MSS）による熱分布

MSS thermal imagery at the entrance of Tokyo Bay. Upper; Sept., 1977, altitude 3,000 m:
lower; Feb., 1977, altitude 5,000 m

造パターンを呈していることが考えられる。このフロントは、富津岬周辺から南東方向に続いているのが、本調査でもリモートセンシング手法によって水温フロントの情報を得ることができた（写真1参照）。潮汐流などの影響を受け、短時間の内に変化するような本水域では、リモートセ

ンシング手法の導入による調査方法と船上調査とを合せて行うことは、海況把握を行う上できわめて有効であることを付記したい。

神奈川県側の東京湾水および千葉県側の黒潮系外洋水の水質特性についてみると、東京湾水については前報(中島ほか, 1977)と同様、冬季には透明度が高く、プ

ランクトン量は少なく、水色は緑青色を呈し、夏季には透明度は著しく低く、プランクトン、特に植物プランクトンが増殖し、慢性的赤潮状態となり、水色は茶褐色を呈する。しかし、黒潮系外洋水では東京湾水に比べ、周年、透明度は高く、植物プランクトン量も少なく、年変化量も小さい。

今回は紙面の都合上、植物プランクトンの詳細な検討についての評価は省略するが、詳細は前報のデータを参照されたい。

今後は東京湾口部水域および湾内に影響を及ぼす黒潮系外洋水の挙動および特性について調査水域をさらに湾口部から相模灘に広げ、調査をすすめたい。

文 献

- 1) 門田定美, 広瀬一美, “東京湾口(浦賀一金谷)のプランクトン性状と海況に関する研究,
1. 初夏の珪藻類”, 日本プランクトン研究連絡会報, 松江吉行博士還暦記念号, 1967,
p. 47—57.
- 2) 小金井正一, 堀越増興, “東京湾口の海況—東京湾口の研究(昭和34年)—その3”, 日本

海洋学会創立記念論文集, 1962, p. 90—97.

- 3) 中島敏光, ほか, “横須賀港における植物プランクトンと海況の季節的変動について”, 海洋科学技術センター試験研究報No. 1, 1977, p. 61—67.

- 4) 西條八束, “クロロフィルムの測定法”, Jap. J. Limnol., 36 (3), 1975, P. 103—109.

- 5) 坪田博行, ほか, “海洋環境汚染に関連する地域別調査研究の現状と問題点, 東京湾・相模湾”, 日本海洋学会誌, 特集号, 1975, P. 91—104.

- 6) 宇野木早苗, ほか, “冬季における東京湾口部の海況について(第2報)”, 日本海洋学会春季大会講演要旨集, 1976, p. 222—223
- 7) 宇野木早苗, ほか, “冬季における東京湾口部の海況について(第3報)”, 日本海洋学会春季大会講演要旨集, 1977, p. 109—110.