

図-3 成層状態の変化 (千葉県観測塔)

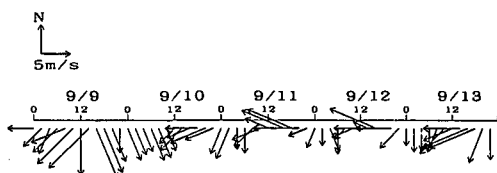


図-4 観測日までの風向と風速

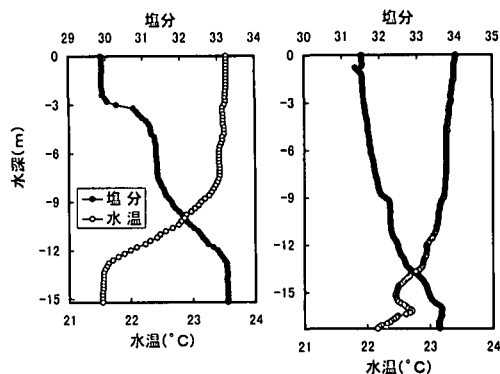
(3) 観測日前後の成層状態と気象状況

図-3は東京湾奥部に位置する千葉県観測塔において連続計測された水深1m, 6mおよび8mでの水温のデータのうち, 8月下旬から9月下旬までの結果を示したものである(詳しくは八木ら(1997)参照)。9月上旬より下旬に向けて, 水温の上下層での差は減少していく水温成層解消期にあたるが, 観測当日にはまだ1.5度前後の差があり, 成層状態にあることがわかる。一方, 湾内水の運動に大きな影響を及ぼすとされている風の状況について, 図-4に東京湾横断面人工島にて計測された観測日以前5日間の風向・風速を示す。頻度としては北あるいは東寄りの風が多く, また風速は平均して4m/s程度であった。なお, 観測期間中については北東あるいは東から風速5m/s前後の風が継続して吹いていた。さらに, 河川の影響については多摩川調布堰下流量データによると, 観測日3日前に降雨の影響による出水があったものの50m³/s程度の流入であり, また観測当日の流入もほとんどなかった。

3. 観測結果

(1) 水温・塩分の鉛直分布

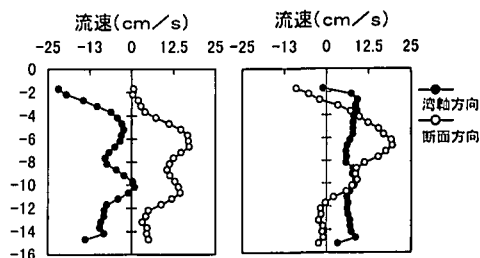
観測当日の水温・塩分の計測結果を示す。図-5は湾奥および湾横断面それぞれのほぼ中央に位置するSt. 3とSt. 8で得られたSTD計測の結果である。まず湾奥についてみると, 水温・塩分ともに成層が発達している。特に密度に支配的となる塩分の分布について着目すると, 表層3m以内に塩分30‰程度の河川水の影響と思われる低塩分水が存在する。その下には塩分31~33‰へと変化する躍層部分, さらに塩分33‰以上の底層水とは



(a) St. 3 (湾奥)

(b) St. 8 (湾央)

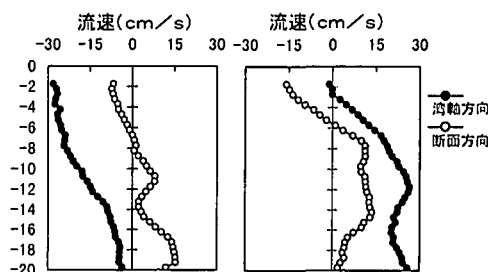
図-5 水温・塩分の鉛直分布



Run3(下げ潮時)

Run5(上げ潮時)

(a) St. 3



Run3(下げ潮時)

Run5(上げ潮時)

(b) St. 8

図-6 水平流速の鉛直構造

ば3層構造を形成していることがわかる。なお, 表層水の塩分濃度は浦安側に近づくほど(St. 1, St. 2)低下している。また, この密度構造については観測期間を通じて, 各層厚の時間的な変化がわずかにみられるものの3層構造という形態は, 湾奥断面の各測点で共通してみられた。一方, 湾央断面については比較的上下層間での混合が進み顕著な躍層はこの地点ではみられない。河口に近いSt. 6および7付近では湾奥部同様, 表層に河川プリュームと思われる低塩分域が存在する。ただし, 湾央断面においては測器の制約上, 計測器センサーが海底面

上まで達していないため図中に示した水深以深のデータは欠測となっている。

(2) 流速分布

ADCPにより得られた測流結果について示す。ADCP測定では、先に述べたように各測定地点にて毎回3分から5分間の計測を実施しており、ここでは各回毎の平均値を示すことにする。まず、St. 3およびSt. 8において計測されたRun 3(下げ潮時)とRun 5(上げ潮時)の流速の鉛直分布を図-6に示す。ただし、ここでは水平流速の方向成分として、測定断面に平行な断面方向成分とそれに直交する湾軸方向成分により示してある。湾軸方向成分は湾奥に向かう流れを正とし、断面方向は湾東岸側に向かう流れを正としている。また、湾中央断面での測定

においては、計測器の制約から水深約20 m前後までの流速しか計れないため、部分的に底層付近の流速は欠測となっている。先にも述べたように、観測期間中は北あるいは北東よりの5 m/s前後の風が継続して吹いていた。したがって図-6をみるとわかるように、表層付近では吹送流の影響が顕著に現れている。下げ潮時には潮流による湾口への流出と表層での吹送流の向きが一致し、湾中央層では約30 cm/sもの強い流れが生じている。吹送流の影響は上げ潮時にもみられ、上げ潮であるにもかかわらず表層近傍の湾軸方向成分の流れはきわめて小さい。

一方、これらの計測時期(Run 3およびRun 5)における水平流速の空間的な分布を図-7に示す。図は水深1.75 mの表層付近と水深5.75 mの中層部、さらに水深12.75 mのものについて示してある。ここで特筆すべきは、下げ潮時(太矢印)において、表層では吹送流によりほぼ全域にわたって湾口に向かう流れが生じているのに対し、水深5.75 mの中層部では湾奥部に時計回りの循環流が発達していることである。またこの循環流は上げ潮時の結果からもわかるように、今回の観測期間中常にみられた。一方、下層の12.75 mでは比較的、潮汐に対応した流れの向きになっている。

4. 残差流の計算

本観測により得られた流速データから、杉山ら(1995)の方法を用いて残差流を計算した。この計算方法では、まず潮位データから概算される観測断面での断面平均流速により各測定点で得られた鉛直平均流速を説明するための回帰式を求め、それにより算定される各観測地点毎の潮流成分の流速を観測値から差し引いて残差流を求める。この方法で得られた残差流の平面分布図を図-8に示す。まず表層付近についてみるとSt. 1を除いては湾口方向への吹送流の影響による流出が顕著である。一方、水深5.75 mでは湾奥断面では時計回りの循環流が現れており、湾中央断面では神奈川県寄り流入、千葉県側で流出となっている。さらに下層の水深12.75 mでは、湾奥部では時計回りの循環流はみられなくなっているが、湾中央測線上に時計回りの環が現れている。

一方、図-9は断面観測時に行なわれた塩分観測値及び広域多点水質観測結果より、塩分濃度の鉛直勾配を指標にして表層低塩分層の厚さを求めたものである。これを見ると、低塩分の河川水が時計回り循環流に対応して湾奥に向けて張り出している様子がわかる。このように、東京湾湾奥部の時計まわり循環流は湾北西部に集中している河川からの流入物質を湾奥部に輸送する作用をもっていると考えられ、湾奥部の水質環境を考える上で非常に重要な役割を果たしていることがこの結果からもわか

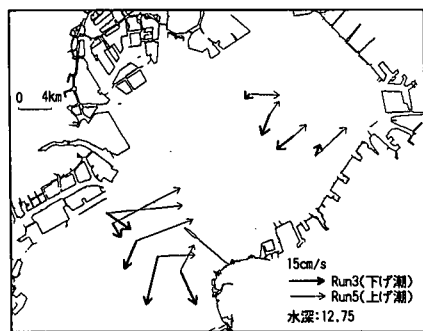
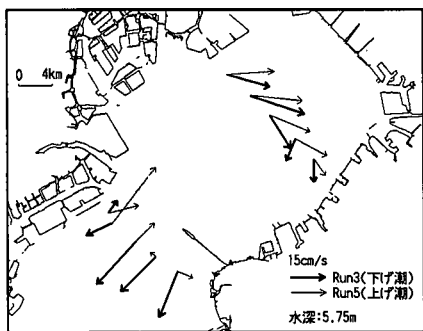
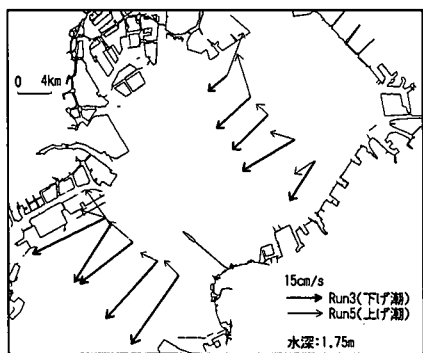


図-7 上潮・下潮時の流況図

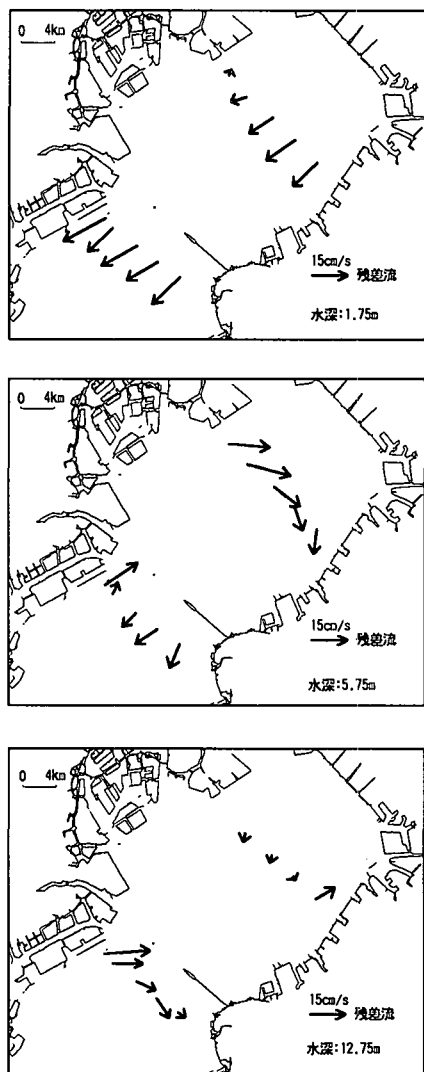


図-8 残差流の水平分布

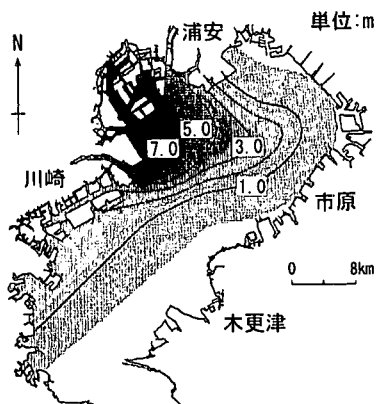


図-9 低塩分層厚の分布

る。

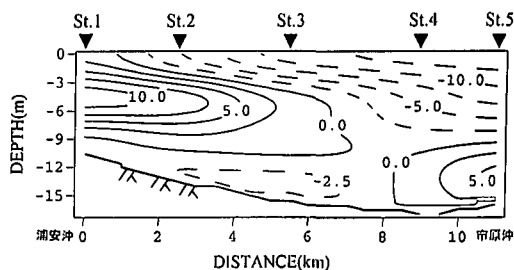
5. 考 察

(1) 残差流の構造と密度分布との関係

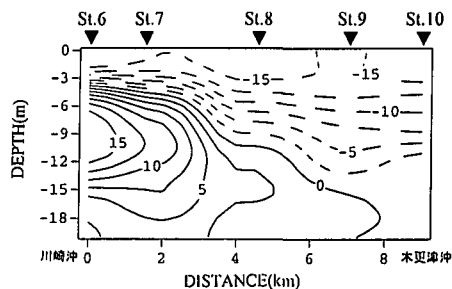
残差流パターンの水深方向の変化を詳しく検討するため、各観測断面を直行する流速成分の断面コンターを図-10に示す。ここでは、湾奥方向に向かう流れを正の値で表している。まず湾奥断面の結果についてみると、表層部の湾口へ向かう流れの層は水深1.5mよりも浅い領域に存在することがわかる。そこから水深12m付近までは浦安側(St.1)で流入、市原側(St.5)で流出の傾向を示しており、時計回りの循環流はこの部分で発生している。さらに深い水深では、市原側で流入、断面中央部で流出の傾向がみられる。この残差流の3層構造を図-11の塩分断面分布と比較してみると、吹送流の影響が顕著な上層部は塩分が高々30程度の低塩分水が分布し、時計回りの循環流がみられる中層部は塩分が30から32前後まで変化する躍層部分に相当する。また、下層部の流れは塩分33以上の高塩分水の領域に対応していることがわかる。一方、湾央断面では湾奥に比べ流出傾向にある上層の厚さが増しており流速値も大きくなっている。また、それ以下の水深では川崎側で流入、木更津側で流出の傾向がみられ、時計回りの環流は塩分31~33の中層域にあたる。

(2) 環流の強さの鉛直分布

さらに、中層域に存在する循環流の強さの水深方向における変化について検討した。ここでは循環流の強さを

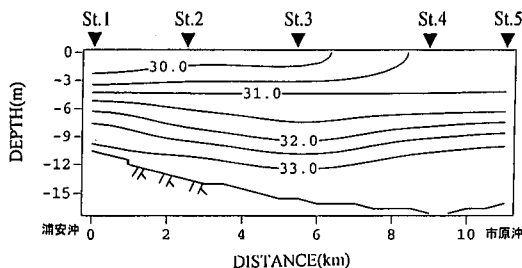


(a) 湾奥断面

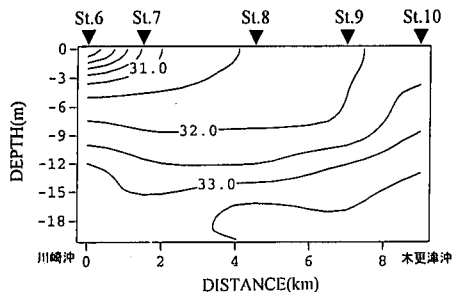


(b) 湾央断面

図-10 残差流湾軸成分の断面分布

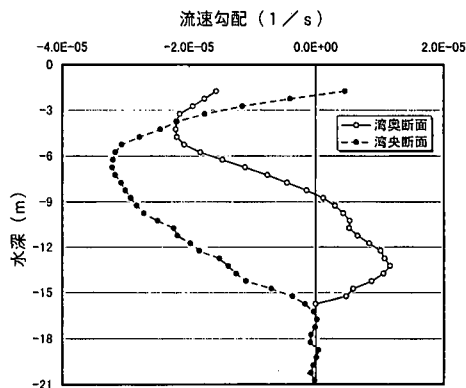


(a) 湾奥断面



(b) 湾央断面

図一11 塩分の断面分布 (Run 4)



図一12 循環流の強度の水深方向の変化

評価するために、観測データから直接渦度を算定することは困難であることから、各測線において隣り合う測点間の湾軸方向成分の流速差から断面軸方向の流速勾配を計算した。これらの値を各水深毎に平均し、断面毎の鉛直分布としたものが図一12である。これをみると、湾奥断面では水深3~5m付近、湾央断面では水深6m付近で流速勾配が負の極大となっており、これらの水深にて循環流が強くなっているものと思われる。

ところで藤原ら(1994)は、このような湾奥上層部での時計回りの循環流は、河口循環流により湾奥で上昇する水塊の水平発散に基づく高気圧性渦として説明している。また、中辻ら(1995)は成層期の東京湾を対象とした数値計算により、東京湾湾奥部での時計回りの循環流が高気圧性渦によるものであることを指摘し、また北東風の影響により循環流が強まる結果も得ている。一方、本観測の結果は、図一12に示す解析結果からわかるように循環流が強まる水深が表層低塩分層の下側にあたることから、東京湾湾奥部での循環流の生成要因が高気圧性渦であるとする説明を支持する結果となった。

5. おわりに

成層期の東京湾湾奥部を対象として、流速(ADCP)、水温・塩分(STD)の断面観測を12時間実施した。その結果、対象海域での流れの鉛直構造は、風の影響を受けやすい表層部、時計回り環流を形成する中層部、残差流

成分が比較的小さい底層部から構成され、それが主に河川水が形成する塩分の鉛直構造に支配されていることを現地観測の結果を通じて示した。また、残差流の空間構造を把握するための観測データの解析から、中層部に発達する時計回り循環流が、エスチャリー循環に起因した高気圧性渦によるものである可能性を指摘した。

謝辞: 本観測は、鹿島(株)技術研究所、東京工業大学土木工学科、千葉県水質保全研究所、港湾技術研究所の共同観測として行われたものであり、観測に協力頂いた関係機関各位に対し謝意を表します。また、湾央断面観測では運輸省第二港湾建設局川崎事務所(高木幸夫所長)に、湾奥断面観測ではNTTデータ通信(株)情報科学研究所・宮崎早苗研究員にそれぞれ協力頂きましたので謝意を表します。なお、東京湾横断道路(株)より川崎人工島の風速データを、日本海洋データセンターより検潮記録を提供していただいたことを付記致します。

参考文献

- 運輸省第二港湾建設局(1975-1980): 東京湾海洋構造調査報告書, 第1報~第5報.
- 杉山陽一・藤原建紀・中辻啓二・福井真吾(1995): ADCPによる伊勢湾の流動構造調査, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 1096-1100.
- 中辻啓二・尹 鍾星・白井正典・村岡浩爾(1995): 東京湾における残差流系に関する三次元数値実験, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 386-390.
- 藤原建紀・沢田好史・中辻啓二・倉本茂樹(1994): 大阪湾東部上層水の交換時間と流動特性, 沿岸海洋研究ノート, 第31巻, 第2号, pp. 227-238.
- 森川雅行・村上和男(1986): 東京湾における長周期流れの変動特性, 港湾技研資料 No. 550, 50 p.
- 八木 宏・内山雄介・鯉淵幸生・日向博文・宮崎早苗・灘岡和夫(1997): 東京湾湾奥部における成層形成期の水環境特性に関する現地観測, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 1076-1080.