

非成層期の東京湾における朔望周期の流れ場

日比野忠史*・細川 恭史**・鶴谷 広一***

1. はじめに

東京湾のように湾口部が狭くなった内湾域では、潮の干満による潮汐流が支配的であると言われていることから、主に 15 日間を基準とした流れの調査・シミュレーション等が行われている。これらの結果から、 M_2 潮成分が卓越すること、季節風によって冬季には時計廻りの恒流が卓越する傾向にあること、夏季には残差流の流向が不安定になることが明らかにされている（「東京湾—100 年の環境変遷—, 1993」）。内・外湾の境界にある第三海堡における 1946 年夏季の第二港湾建設局による 30 日間の測流では、上層では内湾から外湾へ流出、下層では外湾から内湾へ流入する残差流が観測されている。また、相模灘の大部分は黒潮系の海水によって占められているが、相模湾に親潮系の海水が流入してくる場合には急潮と呼ばれる非常に速い流れが東京湾に向かって流れ込むと考えられている。通常時には、黒潮の流れによって東京外湾では反時計廻りの緩やかな環流があるものと考えられており、全体として、房総半島側および下層から外海水が東京湾へ流入し、三浦半島側の表層から東京湾系水が流出していることがわかっている。また、一潮汐間の流れを対象にした場合には、内湾での海水の滞留時間は数ヶ月と見積もられている。

松本ら (1974) の内湾口における冬季の 15 日間の連続流速観測結果では観音崎から中央部にかけての表層から流出し、底層および富津側からの流入が観測されている。さらに、朔望周期の流速変化が現れており、小潮期に観音崎から中央部にかけての下層で流速が強くなっている。この観測結果から朔望周期での流れ場が存在し、東京湾の海水交換に与える影響が強いことが考えられる。

本研究では、東京湾における主に朔望周期の潮に伴った流れの構造を明らかにすることを目的としている。このため、天気（風や気圧）の変化に伴った 3～4 日程度の変化や急潮等の不規則な流れではなく、朔望周期と関連の強い 15 日程度の変化を中心として検討を行ってい

る。流れ場の解析においては、流れの実測値は限られていることから、主に水質分布より流れ場を推定することによって行われている。

2. 東京湾の地形特性と観測概要

東京湾は、房総半島と三浦半島に囲まれた袋状の内湾である。通常、房総半島先端の洲崎と三浦半島の剣崎以北が東京湾と定義され、富津岬と観音崎より北側が内湾、南側が外湾と呼ばれている。東京湾全体では面積約 1380 km^2 、平均水深は約 40 m である。東京内湾は面積約 960 km^2 、平均水深約 15 m で、京浜港（西側）沿いに、深くなっている。外湾に入ると急激に水深が深くなり、外湾口中央では水深約 300 m になっている。久里浜湾から数 km 沖では水深 200 m を越えている。

図-1 に水温・塩分・流速等の観測を行った地点を示す。水温・塩分の連続観測は 4 地点 (○)；久里浜湾湾口；水深 6.5 m、アシカ島；6.5 m、本牧沖；10 m と 22 m、中ノ瀬 2 m と 22 m)、集中観測では 30 地点 (図-1 の●) で水温・塩分・溶存酸素等の鉛直プロファイル計測し

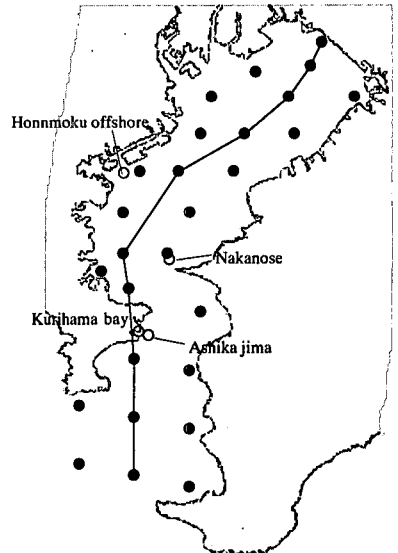


図-1 観測点 (○)：連続観測点, (●)：広域 (集中) 観測点

* 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所 海洋環境部 主任研究官
** 正会員 工修 運輸省港湾技術研究所 海洋環境部環境評価研究室 室長
*** フェロー 工博 運輸省港湾技術研究所 海洋環境部 部長

た。連続観測の計測間隔は10分、塩分・水温センサーは約2週間で取り替えている。アシカ島、本牧沖25m、中ノ瀬22mでは水温・塩分の観測水深、中ノ瀬22mではADPによる流速もあわせて計測されている。

3. 水温・塩分の変動

久里浜湾は東京湾内湾と外湾の境界付近（外湾側）に位置しており、以下で示すように内湾水は東京湾内湾および外湾の両方の影響を受けている。東京湾に流入する海水の長期的、短期的な変動特性を明らかにすることを目的として久里浜湾湾口において水温と塩分の連続観測を行った。

3.1 東京湾外湾（久里浜湾湾口）での水温・塩分変動特性

図-2(a)に1998年11月1日～99年4月21日の秋～春季に測定された久里浜湾口（水深約6.5m、海底上1m）での水温と塩分、図-2(b)には潮汐表から作成した横須賀港での潮位変化が示されている。図から水温・塩分とも季節および朔望周期（15日）の変化が卓越していることがわかる。水温は2月頃最小で約11°C、塩分は2～3月頃最大で34psuを超える値をとる。また、11月下旬からは水温・塩分とも大潮期に高く、小潮期に低くなっており、水温・塩分のピークは大潮・小潮から1～3

日遅れて現れている。冬季の朔望周期に伴った水温は11～14°C、塩分は32.5～34psuの幅で変動している。これに対して、半日周期の変動は水温：約0.5°C、塩分：約0.5psuであり、朔望周期に比較して半日周期の変化は小さいことがわかる。

3.2 東京湾外湾での水温・塩分プロファイル

図-3には1999年2月28日～3月1日（大潮）に観測されたアシカ島での水温・塩分計の設置深さ（潮汐）およびアシカ島と久里浜湾湾口での水温・塩分の経時変化、図-4には2月28、29日の天気図、図-5と6には3月1日(a)下げ潮時（図-3中の○）と(b)上げ潮時（図-3中の●）に観測された久里浜湾口からアシカ島方向に向かって観測された水深平均流速と塩分の断面分布が示されている。塩分分布は図-5中の破線に沿って観測されたものである。アシカ島では低気圧の通過（図-4）に伴って水温は約1°C上昇、塩分は約0.5psu低下しており、東京湾側からの低塩分・暖温の海水が流出していることがわかる（図-3）。これに対して、久里浜湾湾口では水温・塩分変化は小さく、東京湾内湾水の流入は観測されていない。ただし、太平洋高気圧の張り出し等の天気の変化によってアシカ島沖の深層水が久里浜湾下層に浸入する現象もある。図-2(a)で半日周期で水温・塩分値が朔望周期での増分よりも大きくなる現象があるが、

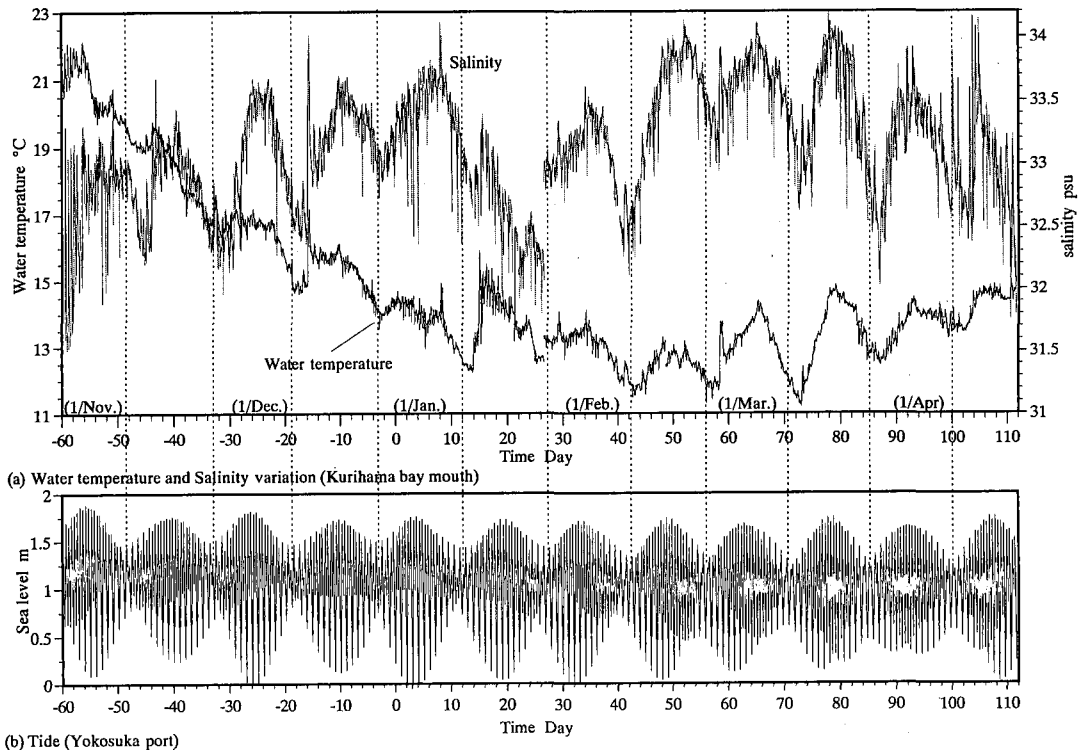


図-2 朔望周期の水温・塩分変化（1998. 11. 1～1999. 4. 21）

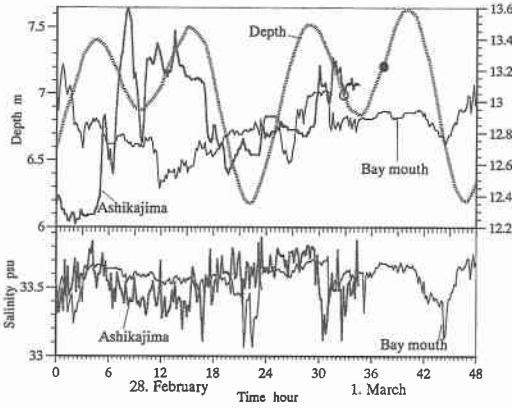


図-3 アシカ島および久里浜湾湾口での潮汐, 水温, 塩分変化 (○, ●は図-5と6の縦断観測を行った時間を表している)

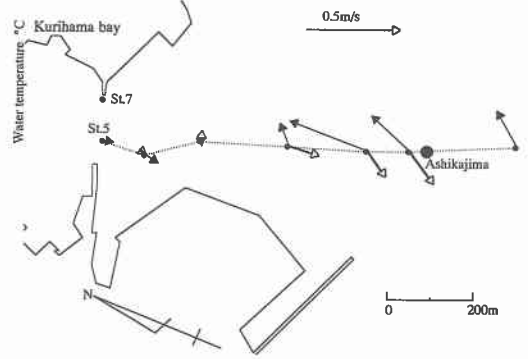
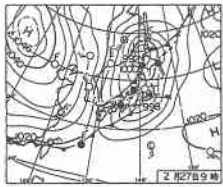
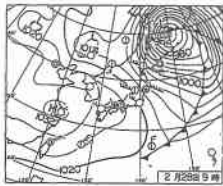


図-5 下げ潮時 (08:10-09:00 3.1; 太矢印, △) および上げ潮時 (13:10-14:10 3.1; 細矢印, ▲) の水深平均流速



(a) 09:00 27 Feb.



(b) 09:00 28 Feb.

図-4 天気図

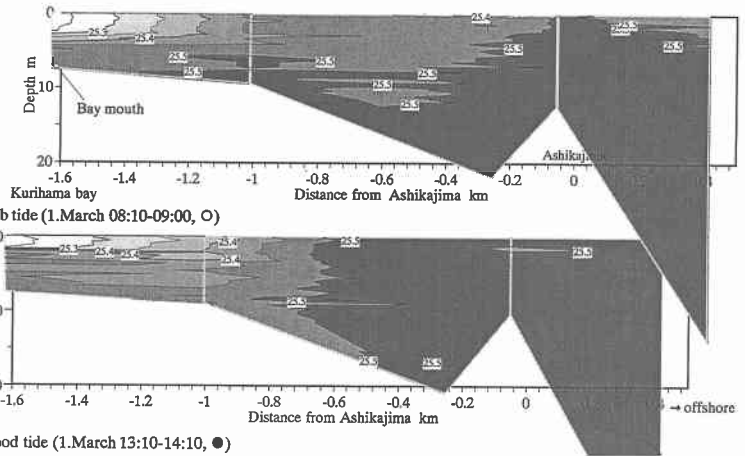


図-6 久里浜湾～アシカ島沖断面 (図-5の破線) の密度 (kg/m³) 分布

この時には (季節によって異なるが) 晩春頃であれば 6 m/s 程度の南西風に伴った東京湾外湾深層水の久里浜湾下層への流入が観測されている (日比野・細川・鶴谷, 1999)。図-5 からアシカ島周辺で潮の干満に伴った流れがあること, 図-6 からこの季節にはアシカ島周辺では密度成層がないことがわかる。ここでは示していないが, 潮の干満に伴った久里浜～アシカ島周辺の密度変化は成層層に比較して小さい (日比野ら, 1999)。

3.3 東京湾での水温・塩分変化

図-7 には 1998 年 11 月 26 日～12 月 30 日の (a) 潮位 (本牧), (b)～(e) 水温・塩分の経時変化 (b) 本牧沖; 水深 10 m と 22 m, (c) 中ノ瀬; 22 m, (d) 中ノ瀬; 2 m, (e) 久里浜湾湾口; 6.5 m), 図-8 と 9 には東京湾湾奥から湾外までの図-1 の実線に沿った鉛直断面の塩分分布が示されている (図-9 は第三管区海上保安本部による調査)。図-8 には連続する大潮期(a)1998 年 12 月 2 - 4

日～小潮期 (b) 12 月 9 - 11 日, 図-9 には時期の異なる大潮期 (a) 1997 年 12 月 15 - 17 日, 中潮期 (b) 1998 年 2 月 2 - 3 日, 小潮期 (c) 1997 年 4 月 15 - 16 日の断面分布が示されている。図中では本牧沖は約 25 km, 中ノ瀬は約 50 km, 久里浜湾は湾奥から約 60 km の地点に対応している。図-7 から①東京湾内 (本牧沖, 中ノ瀬) 中～下層 (水深 22 m) では水温・塩分は小潮期に高く (本牧沖では小潮から 2～3 日後にピークとなる), 大潮期に低く, 朔望周期の変化があること, ②中ノ瀬 2 m と久里浜湾 6.5 m においても朔望周期の変化があり, 東京湾内下層とは逆に大潮期に高く, 小潮期に低くなっていること, ③本牧沖では下げ潮時に水深 22 m 付近の水温・塩分が水深 10 m の海水と同程度の値となっており, 水深 20 m 付近が界面となっていること, ④この界面は干満に伴った上下運動が存在することがわかる。さらに, 図-8 に示した縦断分布からも大潮期と小潮期では塩分分布が異

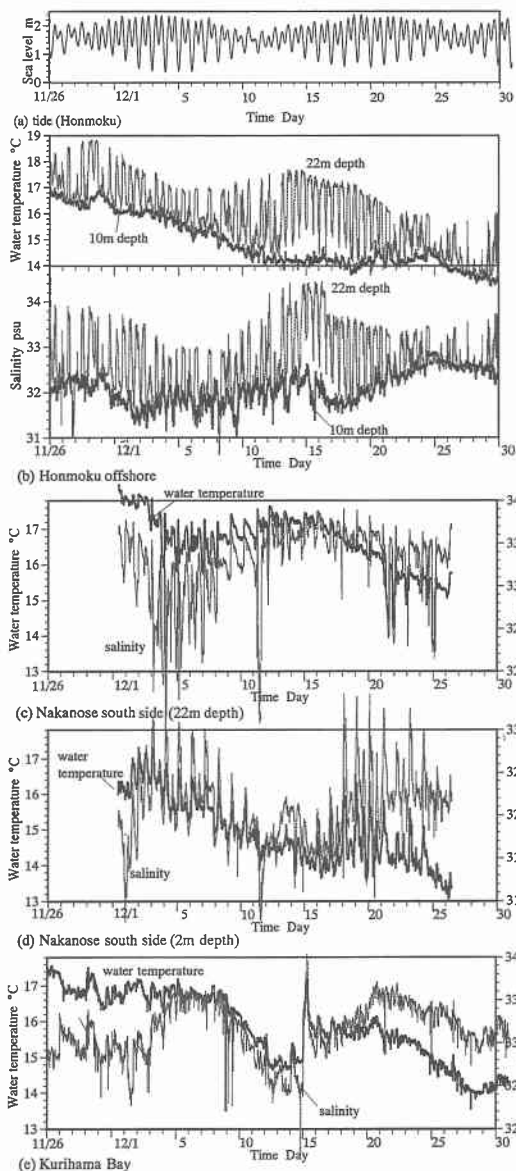


図-7 東京湾における塩分、水温、潮汐の経時変化(26. Nov. -30. Dec. 1998)

なっているのがわかる。大潮期、東京湾外湾では塩分成分層は形成されていないが、小潮に向かって塩分成分層が強くなり、34 psu の下層外湾水は約 2.5 km 内湾方向へ、33~34 psu の上層内湾水は約 2.5 km 湾外方向へ移動している。

図-9 では 12 月~4 月(非成層期)の任意の時期に観測された結果においても連続する大潮~小潮の変化(図-8)と同様の変化が観測されている。これらのことから非成層期の東京湾では大潮に高塩分の外湾水が東京湾外湾に流入し、流入した外湾水は中潮、小潮に向かって東

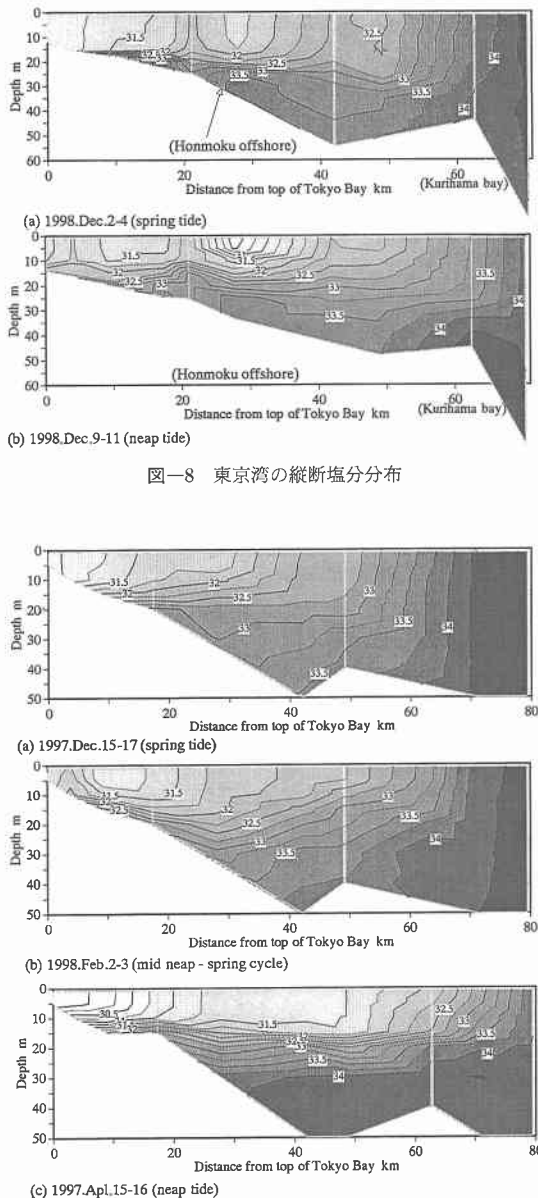


図-8 東京湾の縦断塩分分布

図-9 東京湾の縦断塩分分布(第3管区海上保安本部による観測結果)

京湾下層に流入、内湾水が外湾へ流出する海水交換機構があることがわかる。

4. 流速の変動

図-10~12には中ノ瀬(南東端、水深 22 m)において ADP によって計測された流速が示されている。図-10 と図-11には海底+2~20 m までの 1 m 毎の残差流の水平成分と鉛直成分の鉛直プロファイル、図-12には海底+2 m の水平流速(実線)と流向(○)が示されている。

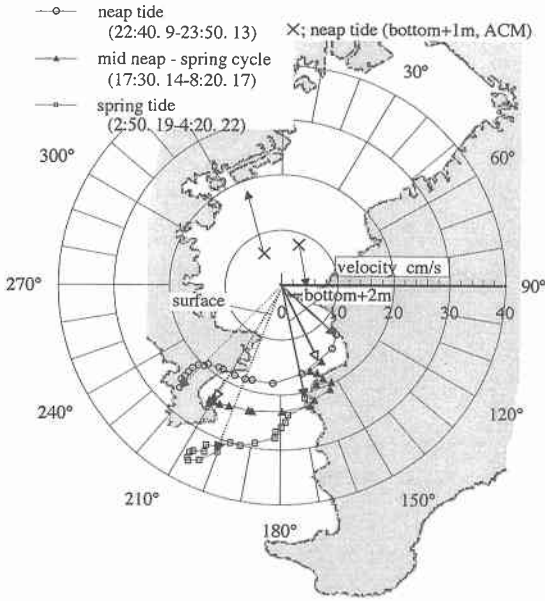


図-10 中ノ瀬 (水深 22 m) での大潮, 中潮, 小潮期の平均水平流速の鉛直分布 (1 m 毎)

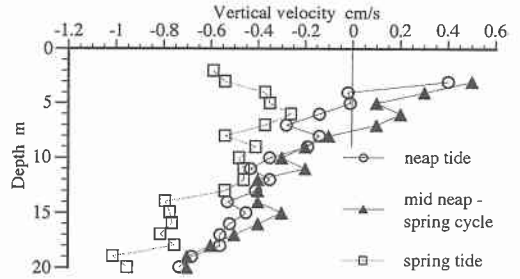


図-11 中ノ瀬における大潮, 中潮, 小潮期の平均鉛直流速の鉛直分布 (1 m 毎)

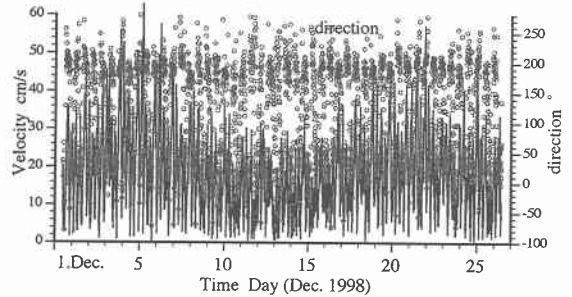


図-12 中ノ瀬における底層 (底+2 m) の流速変化

図-10 と 11 中の●は小潮期 (22 : 40 9 Dec. 1998~23 : 50 13), ▲は中潮期 (17 : 30 14~8 : 20 17), ■は大潮期 (2 : 50 19~4 : 20 22) の平均値, 実線矢印は底+2 m, 波線矢印は底+20 m の流速ベクトルが示されている。各潮の期間は平均海面を通過する時間 (始点は上げ, 終点は下げ潮) から決定されている。なお, 図-10 中に示されている細矢印は中ノ瀬の東端と西端 (×; 水深 20 m) での電磁流速計による小潮期の平均流速である。

図-10 から各期間とも中ノ瀬南東端では, 流出傾向にあること, 残差流は小潮期 (水深平均流速; 19.8 cm/s) ~大潮期 (29.8 cm/s) に向かって大きく, 流向の変化は小潮期の水深 2~5 m の範囲 (63.6°), 中潮期の水深 8~13 m の範囲 (39.0°) で大きくなっていることがわかる。残差流の鉛直成分は下層ほど下降成分が大きく, 小潮期と中潮期には上層で上昇成分が現れている (図-11)。潮の干満に伴って上げ潮時に湾奥 (約 25°) 方向, 下げ潮時に湾外 (約 190°) 方向の流れがあり, 大潮時には約 60 cm/s, 小潮時には約 25 cm/s の流速が観測されている (図-12)。

小潮期の残差流は上層で一様に横須賀港 (225°) 方向に流れ (特に水深約 10 m までが顕著), 中ノ瀬西端では本牧沖に向かう流れが観測されている。

5. おわりに

(1) 東京湾では朔望周期に伴って内湾下層へ大規模

な外海水の流入が見られる。この現象では大潮期に外海水が東京湾外湾に流入し, 流入した外海水が小潮に向かって東京湾内湾下層に浸入, 内湾上層水が外湾に流出している。

(2) 中ノ瀬南西端での小潮期の残差流は上層で一様に横須賀港 (225°) 方向に流れ (特に水深約 10 m までが顕著), 中ノ瀬西端では本牧沖に向かう流れが観測されており, 残差流によって朔望周期の海水交換が行われていることが示唆される。

謝辞: 本観測の実施に関しては運輸省第二港湾建設局京浜港工事事務所に多大なる御支援をいただいた。ここに, 記して謝意を表する。

参考文献

小倉紀雄編 (1993): 東京湾—100 年の環境変遷—, 恒星社厚生閣。
 日比野忠史, 豊田政史, 西守男雄, 細川恭史, 鶴谷広一 (1999): 久里浜湾の流れ場特性と生態系に関する研究, 港湾技術研究所報告, Vol. 39, No. 2。
 日比野忠史, 細川恭史, 鶴谷広一 (1999): 三浦半島沿岸での赤潮の発生と久里浜湾周辺での水塊移動, 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp. 1016-1020。
 松本輝寿, 金子安雄, 寺尾 健, 川島 毅 (1974): 海水交流に関する現地観測, 第 21 回海岸工学講演会論文集, pp. 291-296。