

芝浦運河 海の顔・川の顔調査

PUBLIC PARTICIPATION ON FIELD OBSERVATIONS OF “UMI-NO-KAO” AND “KAWA-NO-KAO” IN SHIBAURA CANAL

佐藤千鶴¹・古川恵太²・中山恵介³

Chizuru SATOH, Keita FURUKAWA and Keisuke NAKAYAMA

¹正会員 水修 株式会社東京久栄 (〒333-0866 川口市芝6906-10)

²正会員 工博 国土技術政策総合研究所 沿岸海洋研究部 海洋環境研究室長 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

³正会員 工博 北見工業大学 教授 (〒090-8507 北見市公園町165番地)

Shibaura canal connects with the ocean through two sluices and receives major inflows of sewage disposal water. Therefore, it is a typical urban brackish water area with a presumably complex flow pattern. In addition, Shibaura canal is among those regions where the local residents are environmentally conscious. In order to clarify the water flow characteristic in Shibaura canal and to develop an observation method of public participation, in this study, field observations were made using a simple float with a drag board on the flood tide on 28 May 2006 “Umi-no-kao (color of sea)” and on the ebb tide on 16 July 2006 “Kawa-no-kao (color of river)”. To verify these results, we performed three-dimensional model calculations. The field observations and numerical computations show public participation using a simple float is useful and easy way to determine the flow pattern in urban brackish water area.

Key Words : Shibaura canal, public participation, float, three-dimensional model

1. はじめに

沿岸域において自然再生を試みる場合、多くの関係者の意見を盛り込んだ計画の立案と、計画実行後の管理技術の開発が必要である。これらを実行するために、対象領域における環境影響の伝播について把握すること、再生メニューを構築すること、そして多くの関係者との協働体制を作ることが不可欠であると考えられる。

芝浦運河は、周辺に住む人々をはじめ、多くの関係者が運河部の環境改善に強い関心を寄せる地域の一つである。その周辺は分岐・合流部を有し、日の出、高浜水門を介して東京港に通じ、かつ、下水処理場から淡水が流入する典型的な都市型汽水域の水路である(図-1)。このような海水、淡水が混在する水路における流れの挙動、及び、環境影響の伝播は複雑であると推測される。そこで、こうした水域を活用した沿岸域の自然再生のための計画立案と管理技術の開発に関する取り組みの一つとして、芝浦運河ルネサンス協議会、東京都港湾局、国土技術政策総合研究所の3者協働による芝浦運河周辺の影響伝播機構の解明と周辺に住む人々との協働調査の試行を目的として調査を行った。

過去の調査・研究では、芝浦運河や高浜運河には年間を通じて主として塩分濃度に支配された安定的な密度躍層が存在すると報告されている^{1), 2), 3)}。牧ら⁴⁾は京浜運河(高浜運河から海老取運河にかけて)の栄養塩分布から運河内における水塊の移動は潮汐の影響を受けると報告している。松尾⁵⁾は芝浦運河同様、海水、淡水が流入する名古屋港中川運河における流れの数値解析の結果、流れは密度分布、流出流入水の影響により複雑であり、特に海水流入の有無が運河内の流れを大きく変化させると報告している。そこで本研究では、基礎的な検討として、芝浦運河内の環境影響の伝播を把握するため、水質・流速・流向の分布を調べた。

2. 調査体制

本調査における3者(芝浦運河ルネサンス協議会、東京都港湾局、国土技術政策総合研究所)の役割を以下に示す。国土技術政策総合研究所は調査計画の取りまとめ、各種調査申請、観測機器の準備、結果の解析と取りまとめを担当した。東京都港湾局は調査の計画立案への参画、調査関連の便宜供与を、芝

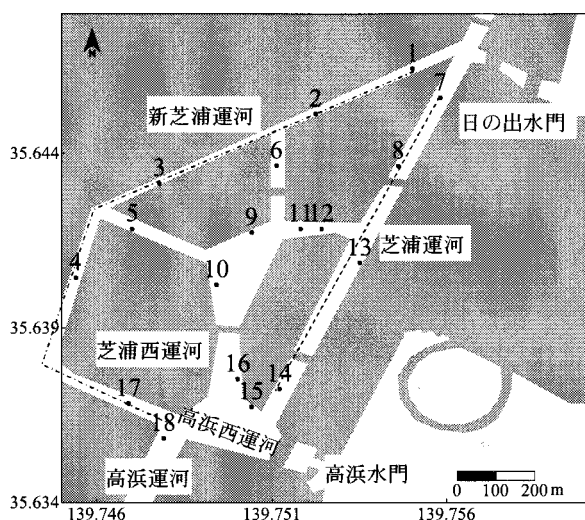


図-1 調査対象領域。図中の数字は調査点を示し、一点差線 (Line1), 点線 (Line2) は図-5 (a), (b) の断面図の場所に対応する。

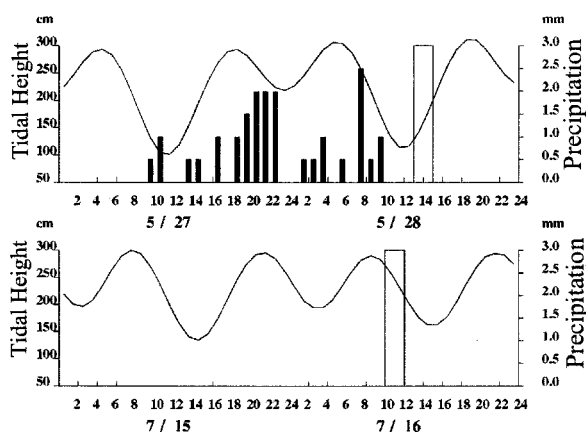


図-2 調査時刻 (四角領域), 調査前日と当日の降雨量 (mm, AMeDAS 地点東京), 及び, 芝浦験潮所の潮位 (cm)

浦運河ルネサンス協議会は調査の計画立案への参画, 市民協働 (調査協力者の募集・安全管理) の取りまとめを担当した。

3. 調査領域と調査期間

芝浦運河周辺は水門を介して潮汐の影響を受ける感潮域 (図-1) であり, 潮位変化に伴う水門からの流入流出は運河内の流れに影響を与える要因の一つと考えられる。そこで, 海の顔調査時 (上げ潮時), 川の顔調査時 (下げ潮時) に, 流向・流速, 水温・塩分の調査を行った (図-2の線枠の期間)。

図-1 の調査点において上げ潮時 (2006 年 5 月 28 日, 13:00 ~ 15:00), 下げ潮時 (2006 年 7 月 16 日, 10:00 ~ 12:00), それぞれ 1 回ずつ流向・流速及び, 水温・塩分の鉛直分布を調べた。

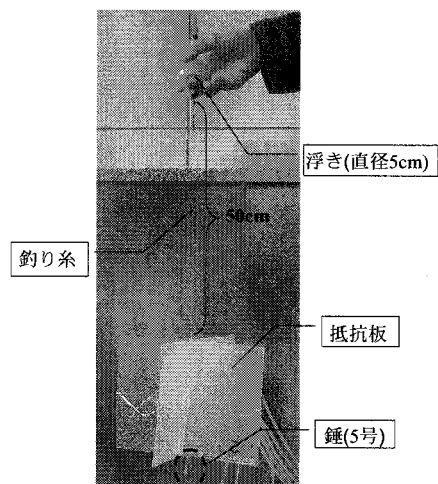


図-3 流速・流向調査に用いたフロート

海の顔調査 (上げ潮時) 前日から当日にかけて合計 18.5mm の降雨があった (図-2)。

4. 調査方法

流向・流速調査に用いたフロートは, 浮き (直径 5cm) の浮力で水面に浮かび, 海面下において十字に組まれた抵抗板が一定の深さを保つよう錘 (5号) を取り付けた (図-3)。フロートは抵抗板に受ける流体力を駆動力として移動するものとする。上層の流向・流速を測定する場合は浮きと抵抗板を繋ぐ釣り糸の長さを 50cm, 下層の場合は 150cm とした。フロートが固定したカヌー長 (約 400cm) を通過に要する時間を 3 回測定した。カヌーの操舵者が記録した流向, 及び, 3 回の通過時間の平均値から流速を求めた。通過時間の測定には秒単位まで測定可能な時計を用いた。予想される測定誤差は 1 秒の単位である。カヌーの長さに関する測定誤差は 100cm 単位であると予想される。フロート調査結果から求めた流速値には測定誤差が含まれる。例えば流速 10cm/s の場合, 誤差は -2.7cm/s から +2.8cm/s, 流速 0.1cm/s の場合, 誤差は -0.025cm/s から +0.025cm/s の大きさである。これらは流速値の 25% から 28% に相当する。以上のような測定誤差を有していることを考慮し, 以下の議論においては上下層の流向の測定結果にのみ着目する。

水温・塩分は多項目水質計 AAQ 及びアレックメモリ STD (アレック電子株式会社製) を用いて計測した。

5. 調査結果

(1) 流向・流速水平分布

a) 海の顔調査 (2006/5/28) 上げ潮時

上層 (海面下 50cm, 図-4 (a)) は新芝浦運河, 芝

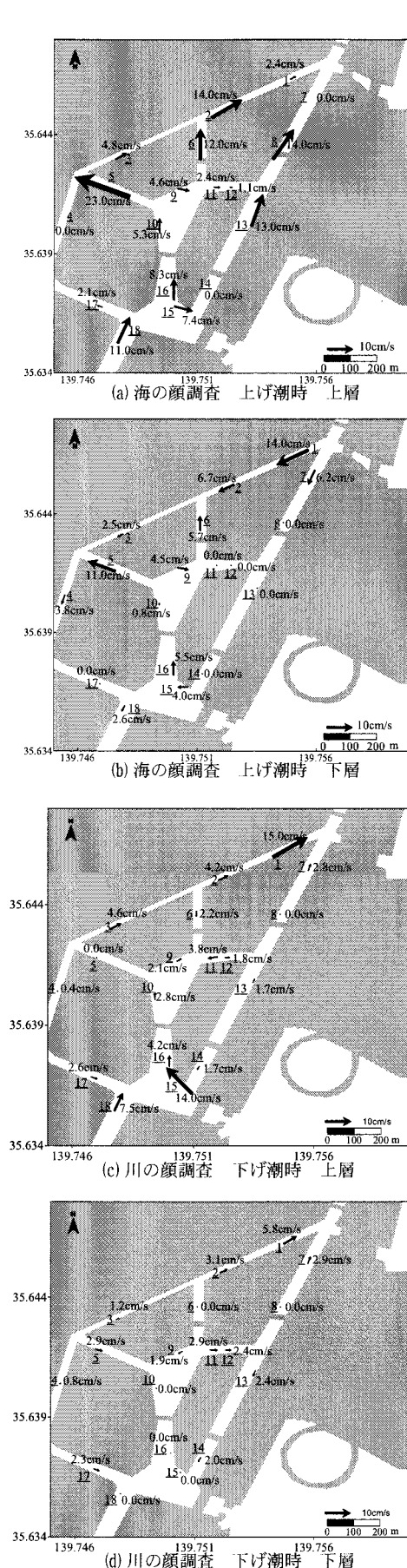


図-4 流速・流向の水平分布. 図中の下線数字は調査点, 数字は流速値 (cm/s) を示す.

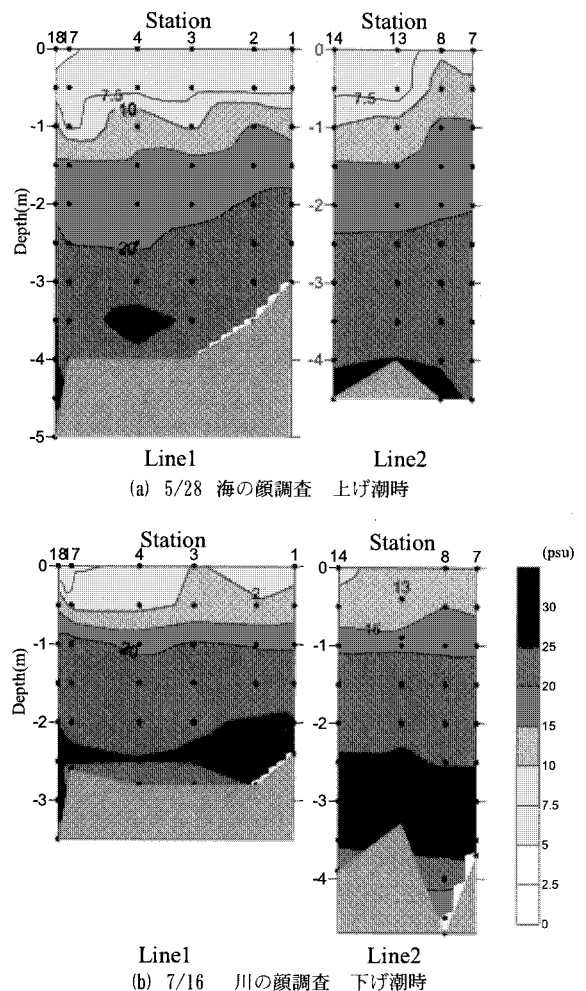


図-5 塩分の鉛直断面図

浦運河において日の出水門から運河内から東京港へ流出し, 下層 (海面下 150cm, 図-4 (b)) は上層とは逆に日の出水門を通して東京港から運河内へ流入していた. 一方, 調査点 5, 6, 16 (図-1 参照) では上下層において同一方向に流れていた (図 4 (a), (b)).

b) 川の顔調査 (2006/7/16) 下げ潮時

新芝浦運河, 芝浦運河の上下層において同一方向に流れており, 日の出水門を通して運河内から東京港へ流出する流向であった (図-4 (c), (d)). 芝浦運河下層において日の出水門を通して東京港へ流出する流向は調査点 7 のみであり, 調査点 8 において流速 0m/s, そして調査点 13, 14 は調査点 7 とは逆向きの流向を示した (図-4 (d)).

(2) 塩分断面

海の顔調査 (2006/5/28) の結果, Line1 (新芝浦運河), Line2 (芝浦運河) の海面下 1.0m 以浅には塩分 10psu 以下の低塩分な水塊がみられた. Line2 (芝浦運河) において高浜運河側に低塩分な水塊がみられ, 高浜水門側と日の出水門側に顕著な塩分の水平勾配が存在していた. Line1 (新芝浦運河) においても海

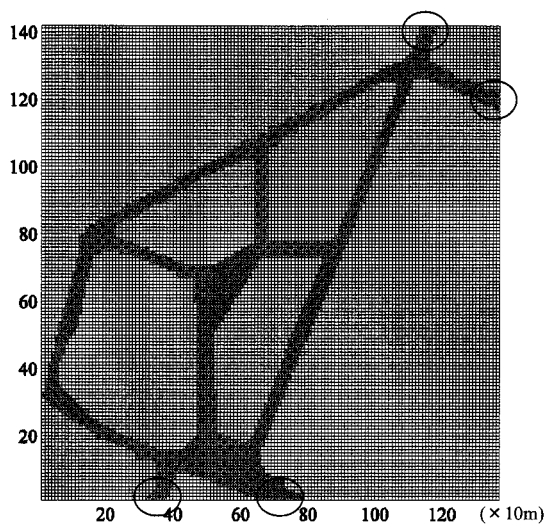


図-6 計算領域

面下 2m 付近において塩分の水平勾配がみられた(図-5(a)). 川の顔調査(2006/7/16)時には海面下 1.0m 以浅に塩分 10psu 以下の水塊はみられなかった. また海の顔調査時(図-5(a))の芝浦運河の塩分の水平勾配はみられず, 調査点 18, 17(Line1), 調査点 14(Line2)において局所的に低塩分な水塊がみられた(図-5(b)).

6. 計算結果

(1) 3次元モデル

芝浦運河周辺の流れのメカニズムを理解するために3次元モデルを用いて芝浦運河周辺の流れの計算を行った. フロート調査の結果をモデル計算により検証した. 3次元モデルはCWR-ELCOM(The Centre for Water Research Estuary and Lake Computer Model)を用いた. CWR-ELCOMは, 静水圧近似された3次元NS方程式の利用, 時間ステップを大きく取るために用いられている水表面に対する陰解法, 滑らかな海底地形を考慮するための境界条件の取り込み, 移流項に対するUltimate Schemeの使用, 1次元の乱流クロージャモデルによる鉛直方向の混合の表現, デカルト座標に対応したレベルモデルの適用による数値拡散の抑制等の特徴とする⁶⁾⁷⁾.

(2) 計算領域と境界条件

計算領域を図-6に示す. 水平方向メッシュ間隔 10m, 鉛直メッシュ間隔 0.5m とした. メッシュ数は, 144×139×10(鉛直)であり, 1.4km×1.39km に対応する.

フロート調査によって観測された芝浦運河周辺の各運河の流れを, 順圧成分と傾圧成分のバランスによって説明することを試みた. はじめに境界条件として 4 つの開境界(図-6の丸印)から観測時の潮位振幅と開境界近くの鉛直分布を持った水温・塩分観測値を与え, 初期条件として図-1の 14 測点にお

いて観測された水温・塩分を水平, 鉛直的に補間し, 流れ場を計算した. 潮位振幅と密度差の両方を流れの駆動力とし, フロート調査結果の再現を試みた. 次に 4 つの開境界から与えた潮位振幅による順圧成分のみを駆動力とする流れ場を計算した. 最後に再現計算に用いた水温・塩分の観測値を初期条件・境界条件として与えた密度差による傾圧成分のみを駆動力とする流れ場を計算した. いずれの計算ケースにおいても海面の風応力は考慮していない.

(3) 計算結果

a) 再現計算(潮位振幅と密度差)

再現計算結果として, 海面下 25cm(以下上層)と海底面上 25cm(以下下層)を示す. 流速の水平分布の下部に境界条件の潮位振幅時系列を示し, 星印に対応する時刻の計算結果をスナップショット的に取り出し流速の水平分布図を作成した.

海の顔調査時(上げ潮時)にみられた新芝浦運河, 芝浦運河の上下層の流向(上層は日の出水門を通じて運河内から東京港へ流出, 下層は流入)の違いや高浜運河における上下層同一の流向を概ね再現した. しかし, 調査点 5, 6(図-1参照)の上下層の同じ流向(芝浦西運河から新芝浦運河への流れ)は再現されなかった(図-7(a), (b)). 川の顔調査時(下げ潮時)にみられた日の出水門近くにおいて上下層ともに日の出水門を通じて運河内から東京港へ流出する流れや, 芝浦運河下層における流向の反転(日の出水門, 高浜水門の間で流向が反転する)も概ね再現した(図-7(c), (d)).

b) 順圧成分の流れ(潮位振幅)

海の顔調査, 川の顔調査時の潮位振幅のみを 4 つの開境界から与え, 順圧成分の流れ場を計算した. その結果, 海の顔調査時(上げ潮時)の新芝浦運河, 芝浦運河の流れは日の出水門を通じて東京港から運河内に流入し, 高浜運河においても高浜水門を通じて東京港から運河内に流入した. 一方, 川の顔調査時(下げ潮時)は海の顔調査時の流向とは逆に, 日の出, 高浜両水門を通じて運河内の水は東京港へ流出していた(図-7(e), (f)). 図-7(e), (f)は 10 層平均した流れ場を示す.)

c) 傾圧成分の流れ(密度差)

海の顔調査時の傾圧成分の流れは新芝浦運河, 芝浦運河において上層は運河内から東京港へ流出, 下層は上層とは逆向きに東京港から運河内へ流入していた. 高浜水門付近の流速は新芝浦運河, 芝浦運河と比較して弱かった(図-7(g), (h)).

川の顔調査時の傾圧成分の流れにおいても海の顔調査時同様, 新芝浦運河, 芝浦運河の上下層の流れは逆向きであり, 上層流出, 下層流入の傾向を示した. しかし流速値の分布は海の顔調査時とは異なり上層の流速値は下層と比較して弱かった. 下層の新芝浦運河, 芝浦運河における東京港から運河内に流入す

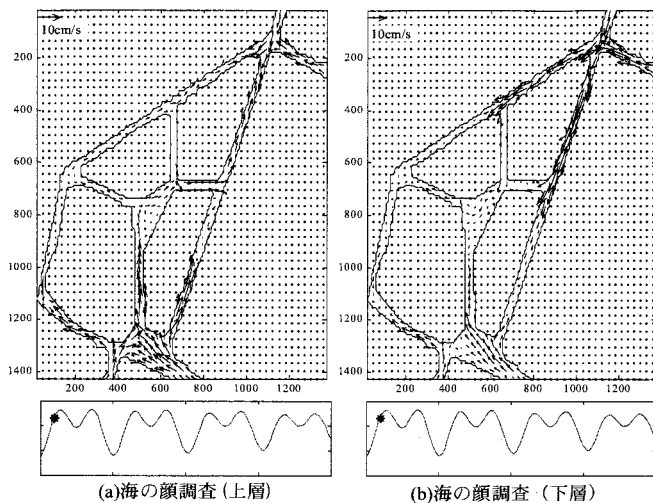


図-7 (a) (b) 海の顔調査 (上げ潮時) 流速分布 (左:海面下 25cm, 右:海底面上 25cm)

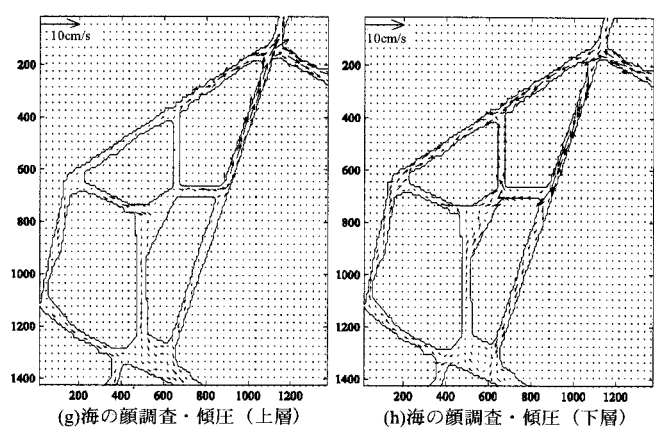


図-7 (g) (h) 海の顔調査時の密度分布に起因した傾圧流速分布 (左:海面下 25cm, 右:海底面上 25cm)

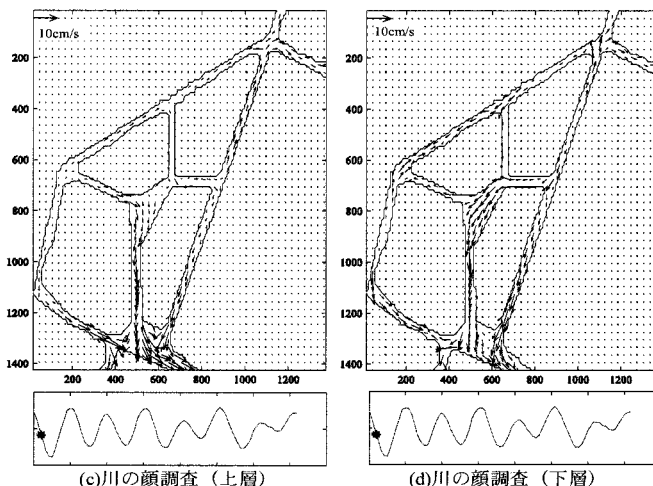


図-7 (c) (d) 川の顔調査 (下げ潮時) 流速分布 (左:海面下 25cm, 右:海底面上 25cm)

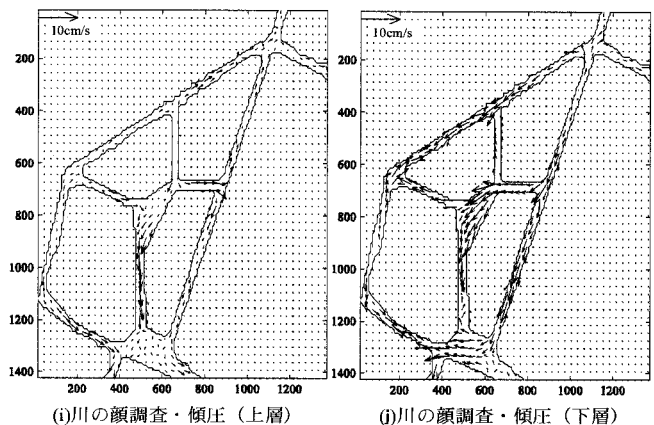


図-7 (i) (j) 川の顔調査時の密度分布に起因した傾圧流速分布 (左:海面下 25cm, 右:海底面上 25cm)

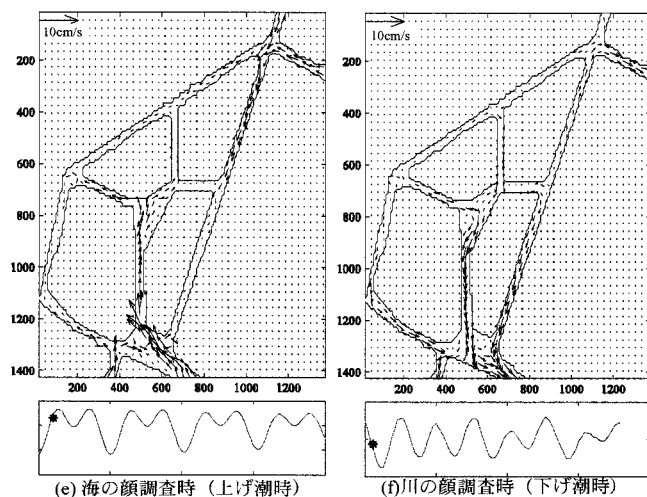


図-7 (e) (f) 傾圧流速分布 (左:海の顔調査時 (上げ潮時), 右:川の顔調査時 (下げ潮時))

る流速値は、日の出水門付近よりも高浜水門側において大きい値を示した (図-7 (i), (j))。

7. まとめと考察

上下層の流速・流向の分布から、芝浦運河周辺には以下の3つの流れが確認された。①一つは、海の顔調査時 (上げ潮時)、日の出水門から新芝運河と芝浦運河北部の上層の水塊が運河内から東京港へ流出し、下層から高塩分・低温の水塊が流入する流れであり、②二つ目は上下層ともに高浜水門を通して東京港から運河内に流入し芝浦西運河を通る流れである (図-4 (a), (b))。③三つ目は川の顔調査時 (下げ潮時)、日の出水門から上下層ともに運河内から東京港へ流出する流れである (図-4 (c), (d))。海の顔調査時 (上げ潮時) の芝浦運河の海面下

1m以浅には、高浜水門側に低塩分な水塊（10psu以下）が分布し、日の出、高浜水門間において塩分勾配が形成されていた（図-5(a)）。一方、川の顔調査時（下げ潮時）の海面下1m以浅は塩分10psu以上を示し、芝浦運河における塩分の水平勾配は海の顔調査時と比較して弱かった（図-5(b)）。これは、図-2の調査時前後の降雨量時系列から、調査時前の降雨の有無から生じた違いであると考えられる。

海の顔調査時（上げ潮時）、川の顔調査時（下げ潮時）の水温・塩分調査結果及び潮位データを境界条件として3次元モデル計算を行った結果、新芝浦運河、芝浦運河において概ね流向を再現した（図-7(a), (b), (c), (d)）。順圧成分、傾圧成分のみを考慮した流れ場の計算結果から、海の顔調査時（上げ潮時）、新芝浦運河と芝浦運河にみられた①の流れは、軽い上層の水塊が流出し、それを補うように下層から高塩分な水塊が流入する、密度差から生じる傾圧的な流れであり、②の流れは潮汐により順圧的な流れである可能性が高い（図-7(e), (g), (h)）。川の顔調査時（下げ潮時）にみられた上下層の同一方向の③の流れは潮汐による順圧的な流れが支配的であり、芝浦運河下層の流向の反転する場所（図-1の調査点7, 8, 13）は順圧成分と傾圧成分のバランスにより決まっていると考えられる（図-7(f), (i), (j)）。日の出水門を通る上下層の流れは芝浦運河に形成される塩分の水平勾配の強さに依存していると考えられる。

芝浦運河周辺の流れを調べることでより潮位振幅に支配された順圧的な流れが卓越している場所であるか、あるいは、密度差に起因した傾圧的な流れが支配的な場所であるかを把握することは、典型的な都市型汽水域における運河内の流れ管理を試みる上で重要な情報になりうる。例えば、順圧的な流れが支配的な場所においては水門による流れの調節方法が考えられ、傾圧的な流れが支配的な場所では淡水供給場所や流量の変更等が有効であろう。2回の調査において日の出水門付近の新芝浦運河や芝浦運河の流れは傾圧的な流れが支配的な場合と順圧的な流れが支配的な場合の両方があった。両者のバランスは塩分の水平勾配に大きく左右されると推察され、連続的な調査によりそれらの比率を明らかにすることが可能である。

同時刻に複数点において流向の調査が可能な今回の手法は芝浦運河周辺のような分岐・合流部を有する複雑な水路網の流れを把握するうえで特に有効であると考えられる。ただし、調査点の水平的な配置に留意しなければならない。水路網の分岐・合流部ではなく、それらの前後にある直線水路部分に調査点を設定することにより、精度よく流向を測定できると

考える。さらに、事前に3次元モデル計算を行い、流れの反転する場所等を把握した上で、調査点の配置を決めることにより効果的な調査が実施できると考える。

3者協働の環境調査は、環境改善の主体となる地域の人々が直接流向・流速調査を体験し、運河の流れを知ることを通して芝浦運河周辺の環境改善に向けた行動を起こす契機となりうる。

本研究を通して、芝浦運河周辺において、フロートを用いた流向測定により流れの構造を推定し、ひいては、水路網の影響伝播の評価を行うことの可能性が3次元モデルの計算結果との検証からも示された。このことは今回用いた方法は、環境改善に関心を寄せる多くの関係者が協働し、水路網の水塊の移動を把握する手法として有効であることを示唆している。

謝辞：本調査にご協力いただいたNP0法人「海塾」代表の榎本茂様はじめフロートを用いた流れの調査にご協力いただいた皆様、芝浦運河ルネサンス協議会の榎本和輝様はじめ協議会の皆様、東京都港湾局港湾整備部計画課の皆様に厚く御礼申し上げます。また、工事区域をカヌーの乗り降りの場、集合場所として提供いただいた東京港防災事務所ならびに、鹿島・みらい建設共同企業体 芝浦工事事務所の皆様に心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 東京都環境局：公共用水域水質測定結果。
<http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/kansi/mizu/sokutei/sokuteikekka/kokyou.htm>, 1998~2004.
- 2) 佐藤千鶴, 古川恵太, 岡田知也：京浜運河における底生生物からみた自然再生の可能性, 海洋開発論文集, 2006, Vol.22, p211-216.
- 3) 梅川瑞穂, 石丸隆, 中村宏：都市の人工的な水環境の再生に向けて-高浜運河(東京都港区)における酸素の挙動とその要因-, 日本水環境学会年会講演集, 2004, Vol. 38th, 161.
- 4) 東京湾シンポジウム事務局：東京湾再生に向けた行政・研究者・市民の取り組み。第7回東京湾シンポジウム報告書, 2006, p43-49.
- 5) 松尾直規：中川運河における熱塩成層流の数値解析, 水理講演会論文集, 1988, Vol. 32 p191-196.
- 6) Hodges, B. R.: Estuary, lake and coastal ocean model (ELCOM): user manual, *University of Western Australia, Centre for Water Research Reference WP 1386 BH*, 2000.
- 7) Hodges, B.R., J. Imberger, A. Saggio and K. B. Winters: Modeling basin-scale internal waves in a stratified lake, *Limnology and Oceanography*, 45(7), pp.1603-1620, 2000.