

冬季東京湾多摩川河口沖海域への湾外系水波及と河口域への影響について

Influence of oceanic water intrusion on the coastal environment off Tama River Estuary of Tokyo bay in winter

八木 宏¹・Tanuspong POKAVANICH²・井瀬 肇³・灘岡和夫⁴
・有路隆一⁵・古土井健⁶・下司弘之⁷・古殿太郎⁸・大野幸正⁹

Hiroshi YAGI, Tanuspong POKAVANICH, Hajime ISE, Kazuo NADAOKA,
Ryuichi ARIJI, Ken FURUDOI, Hiroyuki GESHI, Taro FURUDONO and Yukimasa OONO

Characteristics of velocity field and variations of coastal water properties off Tama River estuary in Tokyo Bay were investigated based on intensive field surveys coupled with numerical simulation in winter of 2006. Measurement and simulation results showed that residual currents off the estuary were strongly affected by winds. Stable north wind intensified intrusion of offshore oceanic water along the bottom layer and abruptly increasing the bottom temperature offshore of the estuary occurred. Furthermore, strong south wind forced the oceanic water to return to the bay mouth and induced the coastal upwelling to occur at the west coast of the bay. The combination of north wind and South wind has shown to be important forcing factor influencing the intrusion of the offshore oceanic water into the Tama River estuary.

1. はじめに

東京湾最大の河口干潟を有する多摩川河口域では、東京国際空港再拡張事業が2007年3月に着工され、河口部に建設される大規模構造物が豊かな生態系を有する河口干潟や周辺水域へ与える影響を正確に把握していくことが望まれている。『羽田周辺水域環境調査研究委員会』では、再拡張事業実施前の周辺水域の実態を把握するために、2006年冬季、夏季に現地調査を実施しているが(有路ら, 2007)、本研究では、このうち冬季を対象として多摩川河口沖海域の流れ及び水温・塩分の基本的な変動特性とその仕組み、さらにそれが多摩川河口域へ与える影響について実態を把握することを目的としている。

冬季東京湾の流動・環境構造については、季節風によって湾内に形成される環流系の存在(宇野木ら, 1980; 長島, 1982)、湾口部海域に形成される熱塩フロントの構造、黒潮流路変動に伴う暖水波及の影響などが調べられているものの(Yanagiら, 1989; 日向ら, 2000)、外海影響がどの

ように内湾域、特に湾奥部に影響を与えているかについては十分に明らかにされていない。湾奥部に位置する多摩川河口部で実施される再拡張事業の影響を把握するためには、湾外水が湾奥部に与える影響やその振る舞いも含めて周辺水域の環境構造を明らかにしていくことが必要と考えられる。そこで本研究では、冬季多摩川河口周辺水域における基本的な環境構造(残差流や水温・塩分の変動特性等)を現地観測と数値シミュレーションによって明らかにした上で多摩川河口周辺水域への湾外系水影響を把握することを試みた。

2. 現地観測及び数値シミュレーションの概要

(1) 現地観測概要

本研究では、再拡張事業が行われる多摩川河口部を中心とした周辺水域の冬季における流れと水質の時空間変動特性を把握するために、定点連続観測及び空間構造計測の2種類の調査を実施した。このうち定点連続観測については、多摩川河口部を中心とした対象水域内8箇所の観測点(M1~M8: 図-1)に流速計、波高計等を設置し、流速、水温、塩分、濁度、クロロフィルa量、DOの連続観測を2006年2月22~3月26日の期間に実施した。一方、空間構造計測は、多摩川流軸に沿った河口域(河川内)から河口沖を結ぶ観測ライン(図-1)に17箇所の調査点を設定し、調査船を用いた流速及び水質等(水温、塩分、濁度、クロロフィルa量、DO)の1潮汐間の断面分布計測(1潮汐間に3~4回往復)を定点観測期間中の大潮期(3/8)、小潮期(3/16)の2回実施した。

(2) 数値シミュレーション概要

現地観測によって得られた多摩川河口周辺水域の流れや水質の時空間変動特性やその仕組みを把握するために、3

-
- | | | | |
|---|------|--------|------------------------------------|
| 1 | 正会員 | 博(工) | (独法)水産総合研究センター水産工学研究所水産土木工学部水理研究室長 |
| 2 | | M. Eng | 東京工業大学大学院博士過程情報理工学研究科情報環境学専攻 |
| 3 | | 修(工) | 五洋建設(株) |
| 4 | フェロー | 工博 | 東京工業大学大学院教授情報理工学研究科情報環境学専攻 |
| 5 | 正会員 | | (独法)港湾空港技術研究所海洋・水工部沿岸環境研究領域研究官 |
| 6 | 正会員 | 修(工) | 国土交通省港湾局計画課課長補佐 |
| 7 | 正会員 | 工修 | 国土交通省港湾局計画課企画室長 |
| 8 | | 修(農) | いであ(株) 国土環境研究所 |
| 9 | | 理修 | いであ(株) 国土環境研究所 |

次元流動モデルとして Delft3D (Delft Hydraulics, 1999) を用いた流動シミュレーションを行った。計算モデルの概要及び計算条件は表-1 に示すとおりである。このうち外海境界条件は、神奈川県水産技術センターによって毎月実施されている東京湾口沖観測点の塩分水温鉛直分布を時間的に補間して与えた。また淡水流入量は、東京湾への主要流入河川(多摩川等)については流量観測値、その他中小河川は流出計算から算出した日平均流量、下水流入量は下水処理場からの年間総流出量観測値から年平均値及び降水量を与えた。また、気象条件については、海上風は

気象庁の観測値(羽田)、気温等は東京地方気象台の観測値を東京湾上で空間的に一様に与えた。

3. 結果と考察

(1) 現地観測

図-2 に、多摩川河口沖観測点 M2 における残差流時空間コンター(南北成分)と塩分・水温の時系列、河口部及び河口域観測点(M4, M7)の水温時系列を風速ベクトル(気象庁:羽田)と併せて示す。観測期間中の多摩川河口沖の残差流(25時間移動平均流速)は、表層で概ね南向き(湾口方向)、中層以深で北向き(湾奥方向)となっており、期間中何回か短期間の上下構造の反転が生じていた。(図中矢印①②③)。このような残差流の鉛直構造や時間的な変化の傾向は風速によく対応しており、観測期間中に卓越していた北風に対応して表層で南向き、中層以深で北向きの残差流が形成され、観測期間中に発生した春一番などの短期間で強い南風時に上下構造の反転が生じていた(図中矢印①②③)。図-3 には、残差流(南北成分)に対して EOF 解析を行い、得られた第 1 モードの鉛直分布形

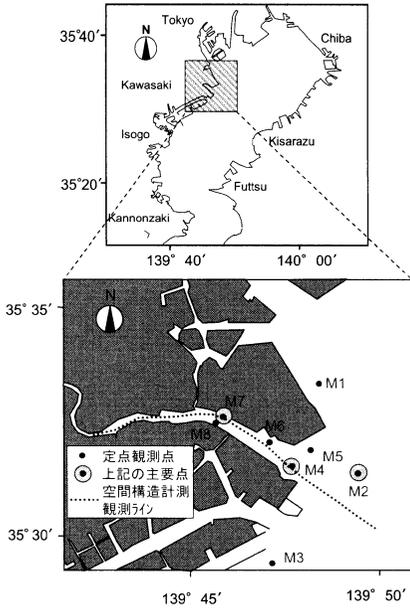


図-1 対象海域と観測点位置

表-1 計算条件

計算期間	2006年1月1日～3月31日
初期条件	水温: 10°C, 塩分: 34.5
格子数&層数	132×44 (水平格子数), 25 (鉛直層数)
外海境界条件	水位: 布良観測値(気象庁) 水温・塩分: 湾外観測点の水温・塩分鉛直分布(神奈川県水産技術センターによる月1回の観測)を時間補間。
陸水流入条件	流量: 多摩川, 荒川, 江戸川, 隅田川, 鶴見川は毎時の観測値, その他中小河川は流出解析から算出した日平均値, 下水量は年平均観測値。 水温: 多摩川の観測値を全河川に一様に与える。 塩分: 0
気象条件	風向・風速: アメダス(羽田)の観測値を空間的に一様に与える 気温・雲量・湿度: 東京地方気象台&アメダス(羽田)観測値
水平渦動粘性・拡散係数	Smagorinskyモデル
鉛直渦動粘性・拡散係数	k-εモデル
底面摩擦係数	シェージー係数 150

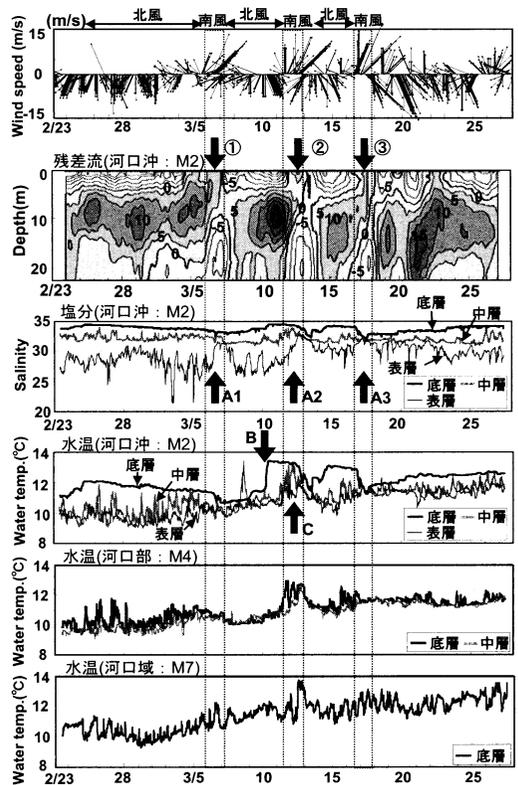


図-2 観測期間中の風速, 残差流南北成分の時空間コンター(観測点 M2), 塩分(観測点 M2)・水温(観測点 M2, M4, M7)の時系列(残差流のコンター間隔は 5cm/s, 正流速: 北向き流速のみグレースケール表示)

(上図)とその固有値の時系列を風速(南北成分)の25時間移動平均値と比較したものを示す(下図)。これを見ると、第1モードの時系列と移動平均風速は良く一致しており、このことから対象海域の残差流に海上風の影響が大きいことがわかる。このような風速の影響は塩分・水温の変動にも現れており、例えば、残差流の上下分布の反転が生じた強い南風時には、河口沖観測点 M2 において表層塩分が上昇することで表層から底層まで塩分がほぼ等しくなっている(図中矢印A1, A2, A3)。地球自転の効果(コリオリ力)を考えれば、東京湾は南風によって多摩川河口を含む湾西岸域で湧昇が発生する地形構造となっていることから、強い南風時に生じた表層塩分上昇に伴う塩分の鉛直方向の一様化は南風による湧昇が原因と考えられる。

一方、河口沖観測点 M2 の底層水温の変化に着目すると、先述の南風による変化(矢印 A1, A2, A3)とは別に、ステップ的な水温上昇現象が3/10~11に観測された(図-2 矢印B)。図-4には、この水温上昇現象の発生前(3/5)と発生後(3/16)における多摩川河口域と沖合を結ぶ観測線(図-1参照)の水温断面分布を示しているが、水温急変現象発生後は多摩川河口沖底層に相対的に水温が高い水塊が分布しており、高温水が底層に進入したことがうかがえる。さらに図-5は、図-2に示した観測点 M2 底層の水温、塩分の時系列から水温急変現象前後の水塊特性の変化をTS図上に表示したものであり、これを見ると水塊は等密度線に沿うように高温・高塩分化していることがわかる。以上の結果は、多摩川河口沖で発生した水温の急上昇現象(図-2 矢印 B)は、多摩川河口沖底層に湾外系水と考えられる高温・高塩分の水塊がフロント状に進入することで発生したことを示している。

さらに先述のように、強い南風時には湧昇が原因と考えられる表層塩分の上昇が発生しているが、これに対応するように河口沖中層では水温上昇の傾向が見られる。水温上昇量は3/12(図-2 矢印 C)で大きく、この時には河口部(観測点 M4)、河口域(観測点 M7)でも水温上昇が生じている。これは、3/10~11に河口沖底層の水温上昇現象(湾外系水進入)が発生していることから、多摩川沖底層に進入した高温・高塩分水(湾外系水)が強い南風によって湧昇し、河口沖中層(M2)、河口部(M4)、河口域(M7)の水温上昇につながったことが考えられ、湾外系水の影響が湧昇を介して河口部や河口域に波及した可能性が示唆される。

(2) 数値シミュレーション

図-6に、数値シミュレーションによって得られた多摩川河口沖観測点 M2 の位置における残差流時空間カウンター(南北成分)を風速ベクトルと共に示す。図-2の観測結果と比較すると、多少の差異はあるものの、表層と中層以深で流向が逆になる傾向や、それが海上風変動によって変化

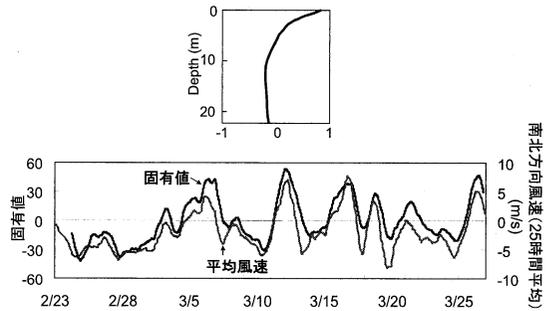


図-3 残差流南北成分に対する EOF 解析結果(第1モード鉛直分布(上図)及び固有値の時系列(下図))と25時間移動平均した南北風速成分(下図)

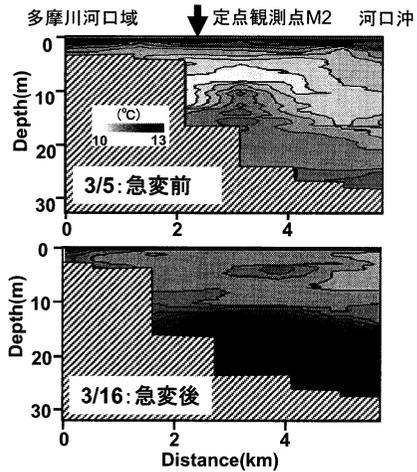


図-4 水温急変現象前後の多摩川河口部~河口沖海域の水温断面分布

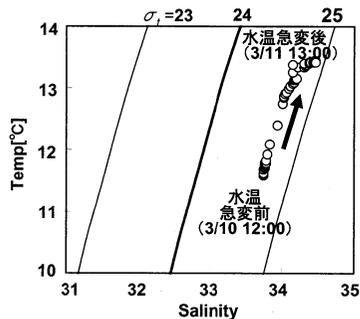


図-5 水温急変現象発生時の T-S 特性

する様子など計算結果は観測結果を概ね良好に再現している。図中には、参考として海上風を与えない仮想条件の計算結果を示しているが、残差流の大きさや流向の変化などが観測とは大きく異なっており、対象海域の流動構造に海上風が大きな影響を与えていることを改めて示している。

次に、現地観測によって多摩川河口沖の底層水温上昇(図-2 矢印B)が発生した3/11前後の水塊の挙動を数値シミュレーション結果に基づいて検討した。図-7は、水温上昇現象発生前後の底層水温平面分布を示している。これを見ると、水温上昇現象発生前の3/9には湾口側(横浜沖)に位置していた高温水が、3/11には羽田沖に到達、その後湾口側へと後退している様子がわかる。図-8は、その時の湾軸断面及び多摩川河口沖横断面の水温分布であり、上図が高温水が湾奥部まで進入した時(3/11)、下図がその後湾口側へと後退した時(3/12)をそれぞれ示している。風速との関係調べてみると、前者は北風連吹直後、後者はその後の強い南風作用時に対応しており、このことは北風の連吹によって湾外系水が湾奥に向かって底層に進入、その

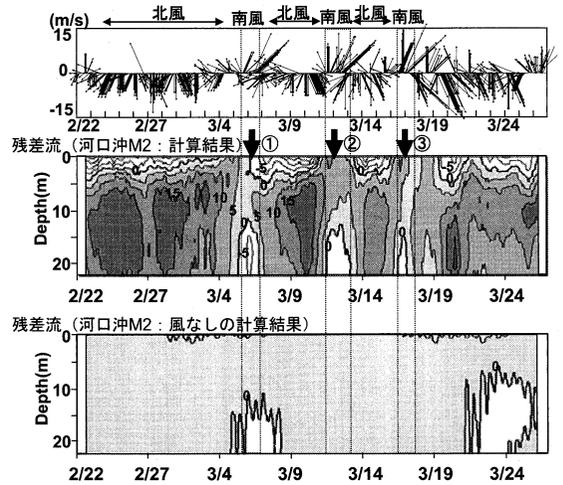


図-6 観測点 M2 における残差流(南北成分)時空間コンター(上段:海上風ベクトル,中段:計算結果,下段:海上風を考慮しない仮想条件の計算結果,残差流のコンター間隔は5cm/s,北向き流速のみグレースケール表示)

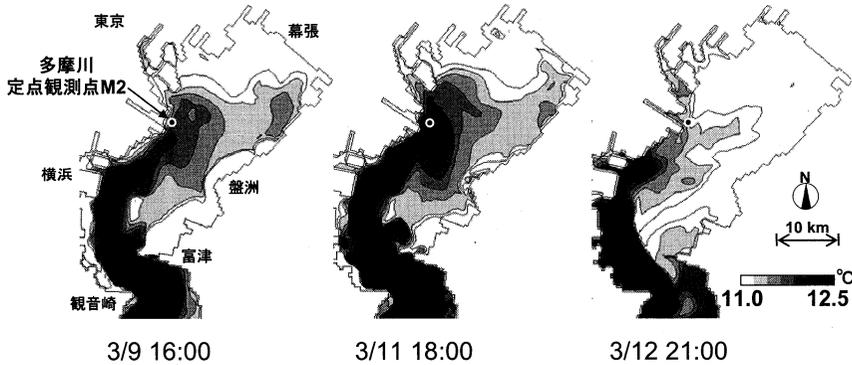


図-7 水温急変現象前後の底層水温の平面分布(計算結果)

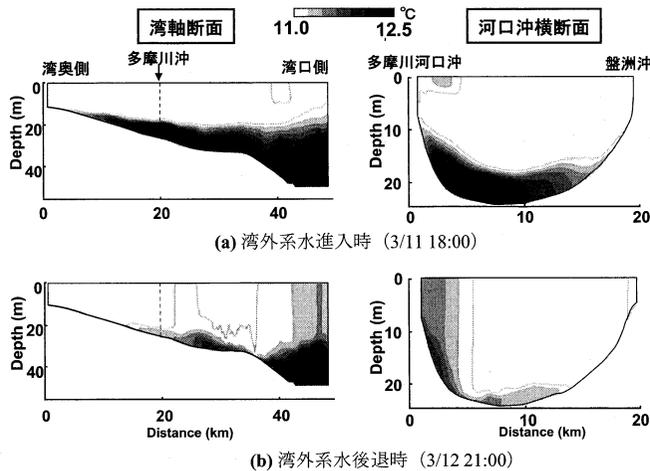


図-8 湾外系水進入時(上図)及び後退時(下図)の水温湾軸断面分布(左図)及び多摩川河口沖湾横断面分布(右図)の計算結果

後強い南風が作用することで湾外系水が短期間に湾口側以後退したことを示しており、多摩川河口沖の底層水温上昇現象も海上風の影響（北風連吹）であることを計算結果は示している。さらに、水温の横断面分布を見ると北風連吹時に湾外系水は多摩川河口沖の最深部付近に進入するものの、南風によって後退する時には、高温水が多摩川河口側の東京湾西岸斜面に沿って上層まで分布していることがわかる。このことは、北風連吹によって多摩川河口沖底層に進入した湾外系水が南風による後退時に同時に湧昇を生じることによって、多摩川河口部へ影響が波及することを示しており（図-9参照）、これは湾外系水進入後の強い南風時に河口部や河口域まで水温上昇が波及するという先述の観測結果と対応している。図-10には、参考までに本観測期間中（3/16：図-2 湧昇現象矢印 A2 の後）に行われたプランクトン調査から動物プランクトン（カイアシ類）*Calanus sinicus* の個体数分布を示している。*Calanus sinicus* は、通常は東京湾外に生息している湾外種であるが、観測結果は多摩川河口沖のみならず河口域（河川内）にも分布していることを示しており、先述のような海上風変動による湾外水影響の河口域への波及を支持する結果となっている。

4. まとめ

2006年冬季に実施された羽田周辺水域の現地調査結果及び数値シミュレーションに基づいて、冬季東京湾及び羽田沖海域の流れ及び水温・塩分等の基本的な変動特性及び湾外水の影響について検討した。その結果、羽田沖合海域の流動（残差流）には海上風の影響が大きいこと、北風の連吹及び短期間の強い南風によって湾内底層へ差し込んでいる湾外水が進入・後退し、そのフロント部が通過することで羽田沖海域では水温急変現象が発生すること、北風連吹後に強い南風が連続的に作用することで、北風によって進入した湾外水が後退しながら多摩川河口部を含む東京湾西岸海域に湧昇し、多摩川河口域に湾外水影響が波及する可能性があることを示した。

謝辞：現地調査を行う上で協力頂いた『羽田周辺水域環境調査研究委員会』の関係各位、動物プランクトンについてご教示頂いた東京海洋大学石丸 隆教授、(株)水土舎伊東 宏氏、東京湾湾口沖の貴重な観測データを提供して頂いた神奈川県水産技術センター資源情報部樋田史郎氏に対してここに記して謝意を表します。

参考文献

有路隆一・諸星一信・風呂田利夫・灘岡和夫・八木 宏 (2007) :

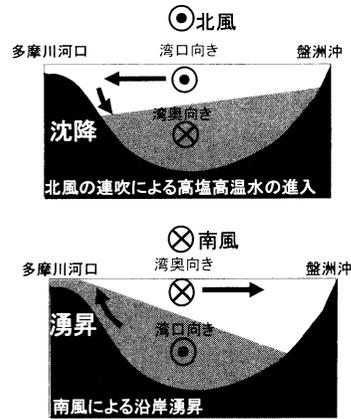


図-9 海上風変動（北風→南風）による湾外系水の進水後退と多摩川河口域への影響波及メカニズム

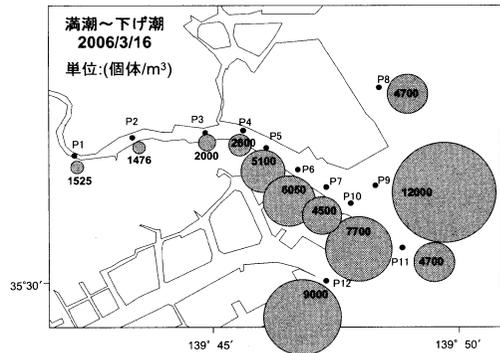


図-10 多摩川河口周辺の動物プランクトン（カイアシ類）*Calanus sinicus* の個体数分布（国交省，2006）

東京国際空港再拡張事業に伴う羽田周辺水域における水環境調査研究の取り組み、第62回土木学会年次学術講演会講演概要集、2-247。

宇野木早苗・岡崎守良・長島秀樹(1980)：東京湾の循環流と海流、Tech. Rep. No.4, 理研海洋物理研, 262p.

国土交通省関東地方整備局横浜港湾空港技術調査事務所(2006)：平成17年度羽田周辺水域生物環境調査業務報告書、pp.4-1～4-31。

長島秀樹(1980)：理研報告, 58, pp.23-27.

日向博文・八木 宏・吉岡 健・灘岡和夫(2000)：黒潮系暖水波及時における冬季東京湾湾口部の流動構造と熱・物質フラックス, 土木学会論文集, No.656, pp221-238.

Delft Hydraulics (1999)：DELFT 3D-FLOW, A simulation program for hydrodynamic flows and transport in 2 and 3 dimensions; release 3.05.

Yanagi,T.,Isobe,A.,Saino,T. and Ishimaru,T. (1989)：Thermohaline front at the mouth of Tokyo Bay in winter, Continental Shelf Research, No.9, pp.77-91.