

# 東京湾多摩川河口部の流動構造について

## Temporal and spatial variations of residual currents around the Tama River mouth in Tokyo Bay

八木 宏<sup>1</sup>・Tanuspong POKAVANICH<sup>2</sup>・灘岡和夫<sup>3</sup>・有路隆一<sup>4</sup>  
古土井 健<sup>5</sup>・諸星一信<sup>6</sup>・森重輝政<sup>7</sup>・小林 聡<sup>8</sup>

Hiroshi YAGI, Tanuspong POKAVANICH, Kazuo NADAOKA, Ryuichi ARIJI  
Ken FURUDOI, Kazunobu MOROHOSHI, Terumasa MORISHIGE and Satoshi KOBAYASHI

Temporal and spatial variations of a velocity field around Tama River mouth in Tokyo Bay were investigated based on intensive field surveys and numerical simulation in summer 2006. Measurement results showed that the residual currents off Tama River mouth were strongly affected by wind, and which had negative correlation with the residual current around the river mouth area. The integrated analysis of the observation and numerical simulation results suggested that these negative correlations of the residual currents between offshore and river mouth region was induced by geometry dependent horizontal circulation (clockwise or anticlockwise) depending on the offshore southward (south wind period) or northward residual currents (north wind period).

### 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、現在、羽田空港の新滑走路建設が進められており、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・河口浅場など周辺環境へ与える影響が懸念されている。このような状況を踏まえ、『羽田周辺水域環境調査研究委員会』では、新滑走路建設に伴う環境影響を把握するための多角的な調査を現在進めており、そのうち多摩川河口周辺及びそれに関連した東京湾の流動・水質の環境構造については、貧酸素水塊の動態（八木ら, 2007, 2008a）や河口沖海域の流動特性（八木ら, 2008b; Pokavanichら, 2008）について検討を行い既に報告している。これに対し、新滑走路が建設されその影響を最も直接的に受けると考えられる多摩川河口部の流動構造については、潮流や密度流等の影響が重なり合う場が考えられるものの（例えば、笠井, 2003）、現時点ではその基本的な特徴を示すのに止まっている（八木ら, 2008c）。

そこで本研究では、多摩川河口部を中心とした現地計

測及び数値シミュレーションによって多摩川河口部周辺の流動特性とその仕組みを把握することを試みた。

### 2. 現地観測

#### (1) 現地観測概要

本研究で解析対象としたのは、『羽田周辺水域環境調査研究委員会』によって新滑走路建設前の羽田周辺水域の環境構造を把握するために2006年夏季に実施された現地調査結果である。本調査では、羽田周辺水域に合計13カ所の定点連続観測点が設置されたが、ここでは多摩川河口部に位置する2カ所（M4：河口部南：水深12m, M5：河口部北：水深11m）とその沖合（M2：河口沖：水深22m）の合計3箇所の観測点を解析対象とし（図-1）、個々の流速の特徴や相互の関係から多摩川河口沖～河口部の基本的な流動特性の把握を試みた。計測項目は、流速（ADCP）、波高・波向、DO、濁度、蛍光高度、塩分・水温であり、観測期間は2006年7月30日から9月30日までの2ヵ月間である。

#### (2) 現地観測結果

ここでは河口部周辺の流動特性として残差流（25時間平均流速）に着目し、河口沖及び河口部の3カ所の観測点の特徴を調べた。はじめに、河口沖観測点M2の残差流南北成分の時空間コンターを図-2(a)に示す。図中には、流速ベクトル（気象庁、羽田）も併せて示しているが、これを見ると河口沖の残差流は概ね風速と対応して変動しており、表層を除くと風向きとは逆方向（南偏風時に南向き：湾口方向、北偏風時に北向き：湾奥方向）の残差流が発達することが多く、底層でさらに風向き方向に変化する場合があることがわかる。一方、図-2(b)には、河口部観測点のうちM4（河口部南）における残差流の南北

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 水産土木工学部水産基盤グループ環境水理チーム長
2		M.Eng	東京工業大学大学院博士課程 情報理工学研究科情報環境学専攻
3	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
4	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
5	正会員		国土交通省港湾局計画課課長補佐
6	正会員	博(工)	(財)港湾空間高度化環境研究センター研究主幹
7			(株)東京久栄環境科学部
8		博(学)	(株)東京久栄環境科学部

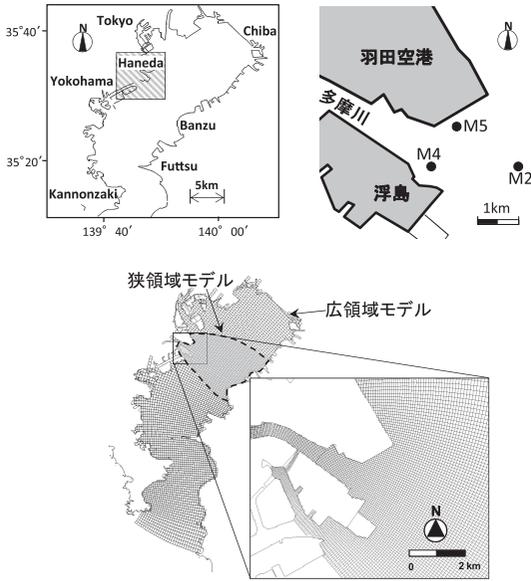
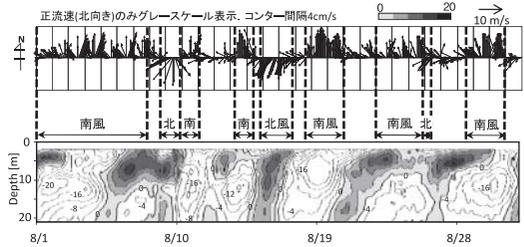


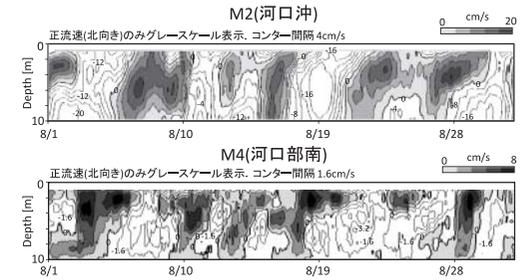
図-1 対象海域と観測点 (上図) 及び計算領域 (下図)

成分時空間コンターを示す (比較のためにM4と同じ水深10mまでのM2の時空間コンターを併せて表示). これを見ると, 河口沖 (M2) と河口部 (M4) では残差流の大きさだけでなく流向にも違いがあることがわかる. 図-2(c)に, M2, M4, M5, 3カ所の観測点の水深5mにおける残差流を時系列で比較したものを示す. ここではそれぞれの観測点の流速変動の主方向を考慮し, M2, M4は南北成分, M5は東西成分を示している. これを見ると, 河口部の2地点は比較的似た変動パターンを示し, 河口沖 (M2) が正の残差流ピークを示す時に河口部 (M4,5) では負のピークを, 河口沖 (M2) が負のピークを示す時に河口部 (M4,5) では正のピークと残差流変動の方向が河口沖と河口部で逆になっている. 図-3は, そのことを確認するために河口沖観測点 (M2) と河口部南 (M4), 河口部北 (M5) 観測点それぞれとの残差流 (M2, M4: 南北成分, M5: 東西成分) の相関係数を算出し, その鉛直分布を示したものである. いずれも相関係数は-0.5~-0.7程度の値を示しており, このことは河口沖と河口部では相互に関係を持って変動しながらその方向は逆であることを示している. 図-4には, 例として河口沖残差流が南向き時の3地点の残差流ベクトル (水面下5m) を表示しているが, 河口沖と河口部で残差流の変動方向が異なることで河口部を中心とした水平循環流の存在が示唆される.

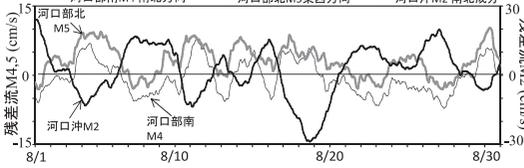
以上の結果から, 多摩川河口部周辺の残差流の特徴として, ①河口沖の残差流には海上風の影響が大きく, 表層を除くと風向きとは逆方向 (南偏風時に南向き: 湾口方向, 北偏風時に北向き: 湾奥方向) の残差流が発生しやすいこと, ②河口部の残差流は河口沖残差流と連動し



(a)河口沖(M2)の残差流時空間コンター (南北成分)と風速ベクトル



(b)河口部南 (M4)と河口沖上層 (M2)の残差流の時空間コンターの比較



(c)河口沖 (M2)・河口部南 (M4)・河口部北 (M5) の残差流時系列 (水深5m) の比較



(d)河口沖 (M2)の残差流時空間コンター (南北成分)の計算結果

図-2 多摩川河口部周辺における流動特性

ながらも変動の方向が逆の傾向があり, 河口部を中心とした水平循環流の存在が示唆された.

3. 数値シミュレーション

(1) 数値シミュレーション概要

現地観測結果から示された多摩川河口部周辺の残差流特性について, その詳細な性質や仕組みを理解するために3次元流動モデルとしてDelft3D-FLOW (Delft Hydraulics, 2007) を用いた流況シミュレーションを行った. 計算期間は, 2006年7月1日~9月30日までの3ヶ月間であり (但し, 7月についてはスピニングのために繰り返して2回計算を実施), 計算条件及び計算領域は表-1, 図-1下図に示す通りである. なお, 本計算では, 多摩川河口部周辺の詳細な流況を再現するために, 東京湾全体を対

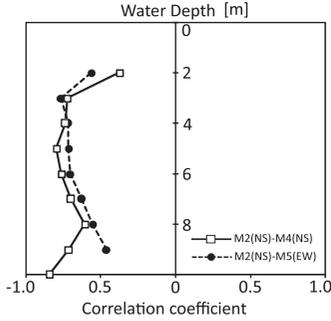


図-3 河口沖 (M2:南北成分)と河口部 (M4:南北成分, M5:東西成分)の残差流の相関係数の鉛直分布

象とした広領域モデル (低解像度) と多摩川河口部を中心とした狭領域モデル (高解像度) の1way ネスティング計算を行っている。

(2) 数値シミュレーション結果と考察

図-2(d)に、計算結果から河口沖観測点M2における残差流南北成分の時空間コンターを示す。観測結果図-2(a)と比較すると多少の差異はあるものの、海上風によって変化する残差流の変動の特徴を概ね表現しており、本数値シミュレーションの妥当性が確認される。そこで、本計算結果に基づいて、a)河口沖残差流の性質、b)河口沖と河口部の残差流の関係について検討を行った。

a) 河口沖海域の残差流特性

図-5上図は、計算結果から南偏風時 (8/4)、北偏風時 (8/17) における多摩川河口沖の東京湾横断面の残差流南北成分を示したものである。計算結果は、南偏風時には東岸側 (千葉県銚子沖) で北向き、西岸側 (多摩川河口沖) で南向きの、また北偏風時には東岸側で南向き、西岸側で北向きの残差流横断面構造になることを表しており、結果として多摩川河口沖 (図中に河口沖観測点M2の位置を表示) では南偏風時に南向き、北偏風時に北向きの残差流になり、これは先に示した観測点M2の残差流観測結果の傾向と一致している。図-5下図には、それぞれに対する中層 (広領域モデル第12層) の残差流ベクトルを表示しているが、横断面分布に対応して東京湾西岸側では南偏風時に湾口向き、北偏風時に湾奥方向となる循環流構造が現れている。成層期東京湾湾奥部における海上風と残差流の関係を調べた著者らの検討によれば、南風及び北風への風系変化に対して、風の吹き始めの鉛直循環的な構造 (成層と地形構造が主体) からコリオリ力の影響も重畳した水平循環的な構造に至るまで、東京湾西岸側では南偏風時には湾口向き、北偏風時には湾奥方向の残差流が生じやすい構造であり、このような海上風に対する湾奥部の残差流特性が、現地観測で捉えた海上風に対する多摩川河口沖の残差流の応答を与えていたものと考えられる。

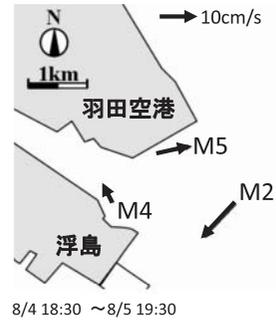


図-4 多摩川河口部周辺の中層残差流ベクトル (水深5m) の観測結果の例

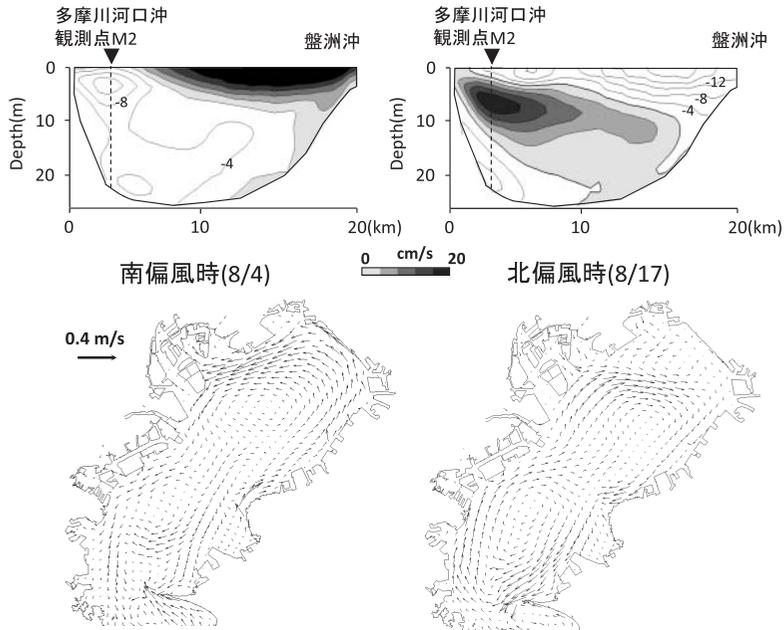
表-1 計算条件

計算期間	2006年7月1日~9月30日
初期条件	水温:25°, 塩分:34.5
格子数&層数	広領域:132×44 (水平格子数), 25 (鉛直層数) 狭領域:202×91 ( / ), 11 ( / )
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 (神奈川県水産技術センター, Sta.29) の水温・塩分鉛直分布 (月1回)
陸水流入条件	流量:多摩川, 荒川, 江戸川, 鶴見川は観測値, 隅田川は推定値, 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:気温と同値に設定, 塩分:0
気象条件	風向・風速, 気温:アメダス (羽田) 観測値 気温・雲量・湿度:東京地方気象台観測値
水平渦動粘性・拡散係数	HLESモデル (Vossen, 2000)
鉛直渦動粘性・拡散係数	k-ε モデル
底面摩擦係数	シェジャー係数150

b) 河口部の残差流特性

残差流の河口沖と河口部の関係を調べるために、先に示した南偏風時 (8/4:河口沖南向き残差流)、北偏風時 (8/17:河口沖北向き残差流) における多摩川河口部の中層残差流ベクトル (狭領域モデル第5層) を図-6に示す。それぞれ南偏風時には時計回りの北偏風時には反時計回りの水平循環流が河口部に発生しており、これは先に現地観測結果から示唆された河口部を中心とした水平循環流の存在 (図-4) を支持する結果となっている。

さらに、図-7は、南偏風時に河口部で時計回りの残差流が形成されるときの一潮汐間の流速変動 (中層流速ベクトル) と温度の空間分布を示したものである。これを見ると、羽田空港南東端隅角部周辺 (図中矢印部) で生成された負の渦度が、一潮汐間を通じて河口部に分布しており、これが時計回りの残差流につながっていると考えられ、このことは河口部に形成される時計回り残差流が地形性の循環流であることを示している。計算結果に基づいて、計算期間全体を通じた河口部周辺の流況を調



※横断面図は正流速(北向き)のみグレースケール表示. コンター間隔4cm/s

図-5 南偏風時(左)及び北偏風時(右)における残差流南北成分の多摩川河口沖東京湾横断面分布(上図)と中層残差流ベクトルの計算結果

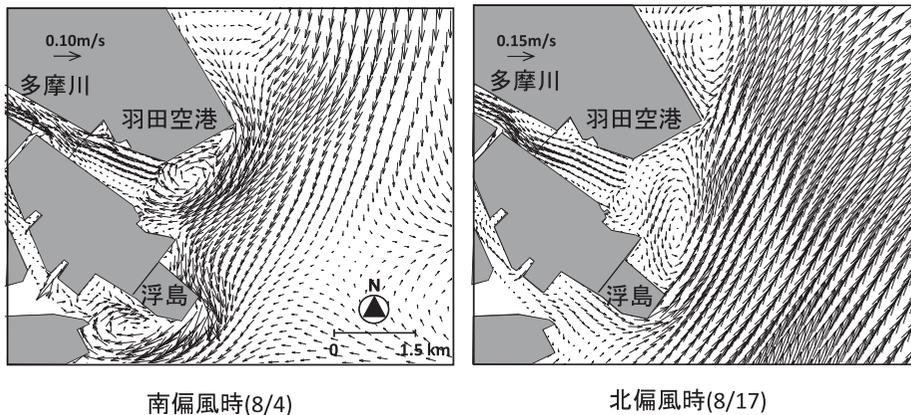


図-6 南偏風時(左図), 北偏風時(右図)の河口部周辺における中層残差流ベクトル(計算結果)

べると、多摩川河口部は基本的な特徴として、下げ潮時には羽田空港側に時計回り、また上げ潮時には対岸の浮島側に反時計回りの地形性循環流が生成される構造となっていることがわかり、南偏風時には河口沖で生じた南向き残差流が下げ潮潮流（南向き：湾口向き）を強化することで時計回り循環が強化され河口部には時計回り残差流が形成（図-6左図）、また北偏風時にはこの逆の過程で反時計回りの循環が生じる（図-6右図）と考えられる。

以上のことから、多摩川河口部では海上風の影響を強

く受けた河口沖の残差流に対応して、時計回り、反時計回りの地形性循環流が残差流として形成される構造となっていると考えられる（図-8）。

#### 4. まとめ

河口部を中心とした現地観測と数値シミュレーションの結果に基づいて東京湾多摩川河口部の流動特性の把握を試みた。その結果、①多摩川河口沖の残差流には海上風の影響が大きいこと、②河口部の残差流構造には、海上風の影響が大きい河口沖残差流に対応して地形性水平

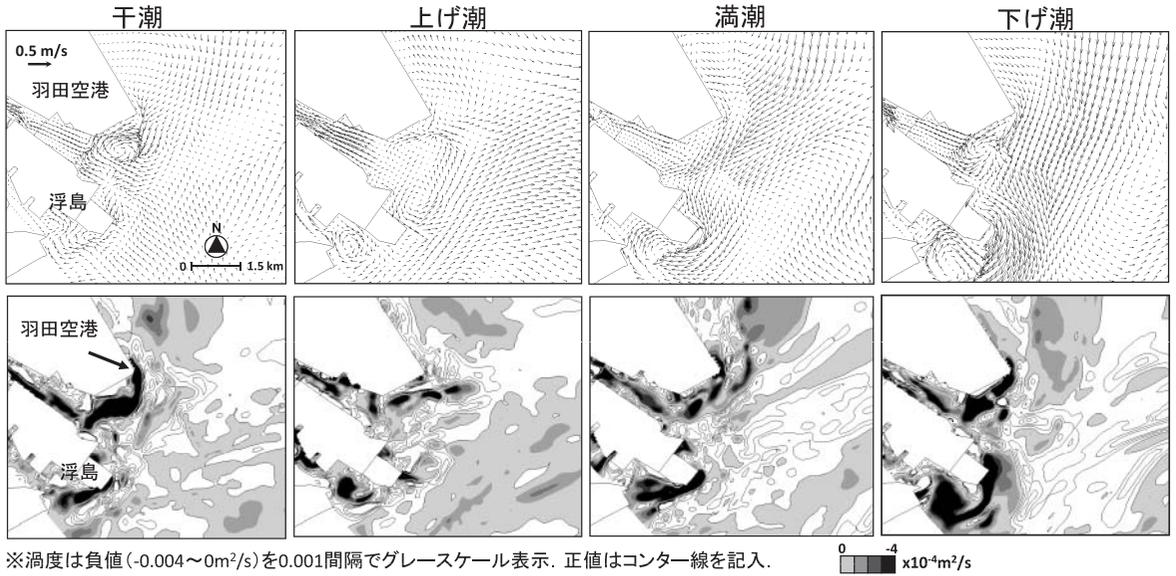


図-7 南偏風時(8/5)の一潮汐間の河口部周辺における中層の流速ベクトル(上图)と渦度平面分布(下图)の計算結果

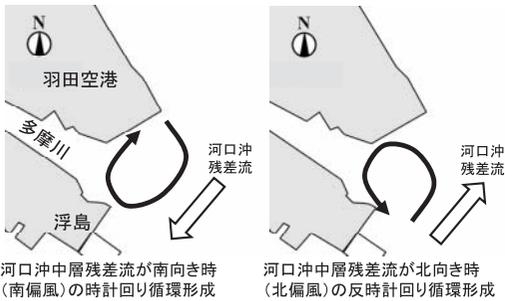


図-8 多摩川河口部における残差流形成の概念図

循環流(南偏風時:時計回り,北偏風時:反時計回り)が発生することをその形成機構とともに明らかにした。一般に,河口部の流れは潮流や密度流(塩水楔,エスチュアリ循環流)を中心にその構造が理解されることが多いが,今回の結果は,多摩川河口部ではこれらに加え沖合残差流(吹送流)の影響を受けた地形性水平循環流が重要な役割を果たしていることを示しており,今後はこのような地形性循環流が河口部を介した物質輸送や生物過程に与える影響や河口密度流(エスチュアリ循環)等との関係,さらには羽田空港の新滑走路建設によってこれらがどのように変化していくかを明らかにする必要があると考えている。

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,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,陸水流入量データを提供して頂

いた東京理科大学工学部二瓶泰雄准教授,また現地調査及びデータ解析に協力してくれた東京工業大学大学院情報理工学研究科大学生(当時),大橋 暁君,平綿雄一郎君に対してここに記して謝意を表します。

参考文献

笠井亮秀(2003):河川水と海水の接合点,沿岸海洋研究,第40巻,pp.1036-1040.  
 八木 宏・江連伸明・井瀬 肇・Tanuspong POKAVANICH・灘岡和夫・諸星一信・古土井 健・有路隆一・森重輝政・小林 聡(2007):東京湾羽田周辺水域における貧酸素水塊と懸濁物質の時空間変動特性,海岸工学論文集,第54巻,pp.1036-1040.  
 八木 宏・Tanuspong POKAVANICH・安井 進・灘岡和夫・有路隆一・松坂省一・鈴木信昭・諸星一信・小田遼子・二瓶泰雄(2008a):東京湾湾口部の湧昇現象に伴う湾内貧酸素水塊の中層化とその解消過程,海岸工学論文集,第55巻,pp.1081-1085.  
 八木 宏・Tanuspong POKAVANICH・井瀬 肇・灘岡和夫・有路隆一・古土井 健・下司弘之・古殿太郎・大野幸正(2008b):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,海岸工学論文集,第55巻,pp.1086-1090.  
 八木 宏・大橋 暁・Tanuspong POKAVANICH・灘岡和夫・諸星一信・鈴木信昭・松坂省一・有路隆一・森重輝政・小林 聡(2008c):多摩川河口部周辺の流動特性について,2008年度日本海洋学会春季大会講演要旨集,p.67.  
 Tanuspong POKAVANICH・八木 宏・出口朋子・灘岡和夫・中川康之・有路隆一・松坂省一・鈴木信昭・諸星一信・小田遼子・二瓶泰雄(2008):成層期東京湾・多摩川河口沖の流動特性について,海岸工学論文集,第55巻,pp.1091-1095.  
 Delft Hydraulics(2007):DELFT 3D-FLOW, user manual, release 3.14.  
 Vossen, B. van(2000):Horizontal Large Eddy simulations; evaluation of flow computations with Delft3DFLOW, Report MEAH-197, Delft University of Technology, 181p.