

都市に近接する自然干潟 (和歌川河口干潟) の流動特性 に関する現地調査

重松孝昌* ・井川 巧** ・田代孝行***・和田安彦****
藤原俊介*****・小池敏也*****・矢持 進*****

大阪湾近隣では希少な和歌川河口干潟を対象として, その環境構造を把握するための基礎的な調査を行った。調査は, 航空測量の技術を用いた地形測量と, 栄養塩などの物質の動態を把握するための基礎データとなる流況調査とからなる。地形データとして 176,695 地点のデータが得られ, GIS の基礎データとして整備された。ADCP や電磁流速計を用いた流況調査によれば, 和歌川河口干潟は, その上流に建設された排水機場の影響を極めて強く受けた河口干潟であることが明らかになった。

1. はじめに

和歌川河口干潟は, 大阪湾近隣では数少ない広大な面積を有する自然干潟の一例として位置づけられよう。歴史的にも著名なこの干潟には, 比較的密集した住宅街が近接している。その周囲は護岸が整備されており, 和歌川河口干潟の環境に及ぼす人為的インパクトは小さいとは言いがたいと考えられる。しかし, ゴールデンウィークには数千人が潮干狩りを楽しむなど, 自然とのふれあいの場としてのアメニティ機能を有し続けている。その一方で, アオサなどの海藻を人為的に除去するような活動はほとんど行われていない。当該海域に飛来する鳥は比較的数量が少なく, 鳥類による系外除去もほとんどないと報告もある。

このような環境下にある和歌川河口干潟の機能や構造を調査・把握することは, 自然再生事業の計画・立案段階において極めて重要な意義を持つと思われる。都市域における人間活動の利便性を損なうことなく, それと調和の取れた自然『都市型自然』(遠藤ら, 2003) の一形態,あるいはその環境構造を考えるうえで貴重な知見が得られるのではないかと期待されるからである。

このような観点から, 本研究は和歌川河口干潟の環境構造を把握することを目的とするものであり, 本論文は, 詳細な地形測量を実施した成果と, 外海域と干潟域における海水交換量および干潟域の流動特性調査を行った結果について報告するものである。

2. 干潟の地形および地盤高の詳細把握

和歌川河口干潟の環境構造を把握するためには, 干潟上の水塊の流動特性や水中の栄養塩の動態, 干潟上に生息する生物の分布状況などを調査し, それらと干潟域の地形との関係を理解することが重要である。しかし, 当

該海域の地形情報はほとんど無いのが実情である。和歌川河口干潟のような広大な地形の詳細を, 水準測量やレッド法などを用いて得ることは極めて困難である。そこで, 本調査では, 最も水面が低下した時間に低高度で飛行する飛行機に搭載したカメラで干潟域を撮影し, 得られた写真画像を基にデジタル処理を施し, 和歌川河口干潟の地形データを取得することとした。

2.1 撮影日時および撮影場所

写真撮影は, 後述の流動調査や, 別途行われた水質・生物生息調査の日程(矢持ら, 2004), および夏季の最も潮が引く時間を勘案して, 2003 年 8 月 1 日 14 時 35 分とした。撮影時の天候は晴れであった。和歌川河口域を図 1 中の白丸で示す 11 カ所で, 高度 610 m から写真撮影を行った。一方, 陸上では図 1 中の黒丸で示す 23 点の標定点を設け, それぞれの標定点の座標および高さを, 別途, 8 月 6 日に測定した。これらの標定点のデータは, 各地点の高さ(z 座標)の計測値を TP 換算すること, およ



図-1 航空写真の撮影位置と標定点の位置

* 正会員 博(工) 大阪市立大学助教授 大学院工学研究科
** スカイマップ(株) 関西営業所所長
*** 修(水) 総合科学(株) 海域環境部
**** 工 博 関西大学教授 大学院・工学部
***** 大阪市立大学大学院前期博士課程都市系専攻
***** 大阪市立大学事務局学術交流課
***** 正会員 農 博 大阪市立大学教授 大学院工学研究科

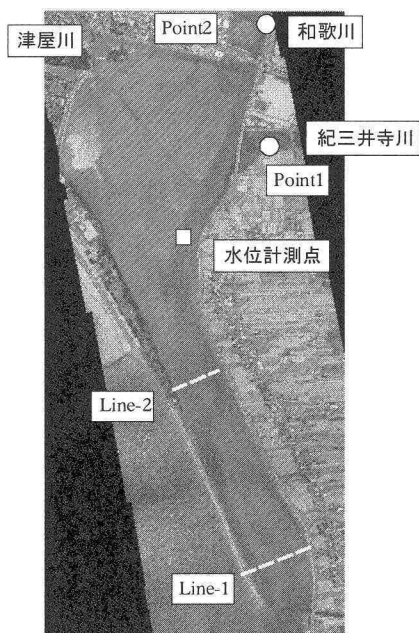


図-2 和歌川河口干潟のオルソ写真

び、測定精度を検証するために用いた。

2.2 測定結果

一般に撮影された写真は、レンズと被写体との距離によって歪んで撮影される。したがって、連続して撮影された写真を単につなぎ合わせて1枚の写真とするには無理がある。オルソモザイク写真は、それぞれの写真の有する歪みを修正して、隣接する写真と著しい地物の食い違いが生じない部分のみを抽出・結合して1枚の写真として作成されるものである。

図-2は、本調査で得られた和歌川河口干潟のオルソ写真を示したものである。同図より、満潮時には全て冠水してしまう干潟域には自然にできたと思われる滞筋だけでなく、作滞跡が存在することが明瞭に見え、一見、自然干潟と思われる和歌川河口干潟の地形には人間の営みの影響が現れていることが認識できる。

得られたオルソ画像を基に、干潟域を2m間隔の格子に分割し、それぞれの格子点(合計176,695点)における高さ(z座標)を、隣り合う2枚の撮影画像を用いた写真測量から求めた。撮影縮尺が1/4000であったこと、撮影フィルムのデジタル入力分解能が20 μ mであることから、地上解像度は8cmである。オルソ画像を基に得られた各標定点におけるz座標と実測値を比較すると、その標準偏差は ± 5.7 cmであった。すなわち、かなりの高精度で水準測量ができたと言える。図-3は、本計測で得られた河口干潟全域における等高線を示したものである。

本調査によって、これまでほとんど未解明であった和

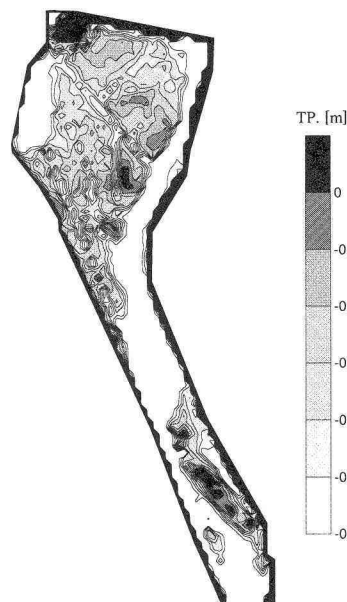


図-3 和歌川河口干潟域等高線図

歌川河口干潟域の最大干出域の詳細な地形データが得られた。これらの計測データは世界測地計座標を用いた地理情報データとして整理されており、GISを介して当該海域の物理・生物情報を総合的に管理できるシステムの基礎が構築されたと言える。

3. 干潟域における流動調査

ここでは、和歌川河口干潟における物質の輸送過程を明らかにするための基礎データとして、干潟域への河川流入量を把握するとともに、干潟域における流動特性を調査した結果を報告する。調査は、2003年7月30日6時20分から2003年7月31日8時30分(連続26時間)に行われた。

3.1 調査項目および計測器

外海域との物質収支を推定するための河口断面流況調査は、干潟域の2横断測線(図-2中のLine-1およびLine-2)において、曳航式超音波ドップラー流速計(以下、曳航式ADCP)を用いて3次元流速を測定することによって行った。調査船の舷側に曳航式ADCPを取り付け、最低船速(1m/s程度)で、水深方向に0.1m毎に流速を測定した。潮位の低下に伴って曳航式ADCPによる測定が不可能になった場合には、直読式2次元電磁流速計を用いて2次元流速を測定した。

また、和歌川の干潟域上流部と紀三井寺川合流部にはそれぞれ固定計測地点を1カ所ずつ設け(以後、紀三井寺川における計測地点をPoint 1、和歌川におけるそれをPoint 2と称す。図-2参照)、自記式2次元電磁流速計

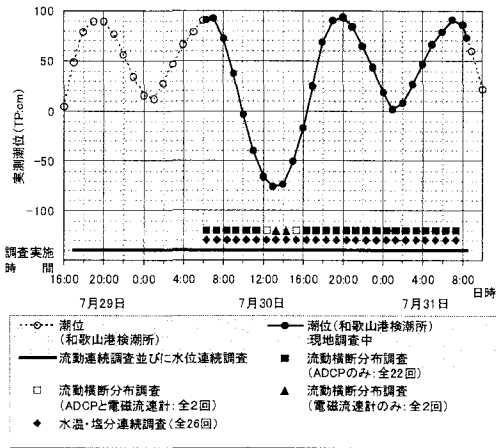


図-4 調査行程および潮位変動

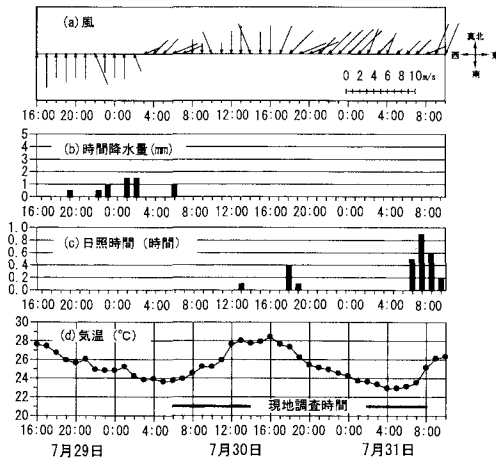


図-5 調査期間の気象

による水平流速を1分間隔で連続的に測定した。Point 1では底上0.5 mの1層で、Point 2では水面下0.5 m(上層)、水底上0.5 m(下層)の2層で測定した。

また、両地点では、河川水・海水の混合過程を把握するため、メモリ式水温・塩分計を用いて、水温および塩分の鉛直分布を0.5 m間隔で1時間毎に測定した。

現地調査工程および潮位変動を図-4に示す。なお、図-4に示した潮位変動は紀ノ川河口に設置された和歌山検潮所(気象庁)における実測潮位である。

3.2 調査期間の気象

現地調査期間の気象は、図-5に示すとおりである。図-5のデータは和歌山地方気象台で観測されたものである。同図によれば、調査期間の風速は1.1~5.0 m/sで、北から東寄りの風が吹いていた。降水量は、調査前の7月29日19時から30日3時にかけて1.5 mm/h以

下、総雨量も6 mm以下であった。また、調査前日から調査期間にかけての日照時間は短く、7月30日には13時、18時、19時に時間当たり0.4時間以下の日照時間が観測されているが、その他の時間は0時間であった。気温は、22.9~28.4°Cの範囲で変動していた。

3.3 調査結果

(1) 河口部断面流速分布

図-3のオルソ写真から明らかなように、和歌川河口干潟は、河口部の幅が狭い水路のような領域と比較的幅の広い領域とから成っており、さらにその上流河川部(和歌川)は再び急激に川幅が狭くなっている。上流河川部と干潟河口部とはその流軸が変化していること、また、干潟河口部は滞りがあるなど複雑な地形をしている。したがって、潮汐変動に伴う干潟河口部の流動は複雑であろうと推測される。図-6は、上げ潮最強時および下げ潮最強時のLine-1およびLine-2で計測された断面流速分布を示したものである。同図はそれぞれの測線に対して垂直な方向の速度成分を示したもので、干潟域から外海へと流れる方向を負とし、外海から干潟域に流入する方向を正としている。図-6によれば、下げ潮時の流速の横断分布は、Line-2では断面全体にわたってほぼ一様で、Line-1では右岸側で流速が大きく左岸側で小さい傾向を示している。また、上げ潮時の流速は、Line-1では左岸側で大きく、Line-2では右岸側で大きくなる傾向を示している。なお、下げ潮時の最大流速は、Line-1の表層

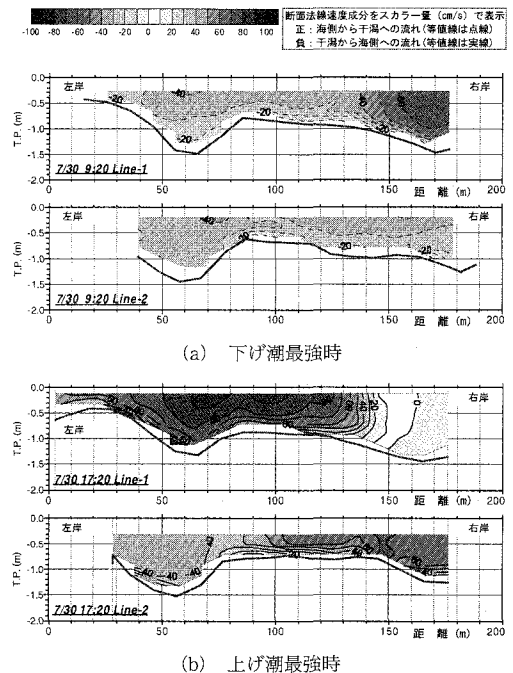


図-6 断面流速分布

で約0.8 m/s, Line-2で約0.5 m/sであり, 上げ潮時のそれは, Line-1の表層で約1.0 m/s, Line-2の表層で0.7 m/sであった。

(2) 海水交換量

干潟域と外海との海水交換量を把握するために, 各測線別に断面通過流量を算出した。断面通過流量は, ADCP による測定値が得られている場合には, 各測線上の横断面を横断方向に10 m, 鉛直方向に0.1 mの微小断面に区分し, 断面に垂直な方向成分流速(断面法線速度成分)を断面毎に算出し, それを断面全体にわたって積分することによって推定した。また, 直読式2次元電磁流速計の計測値しかない場合には, 予めそれぞれの測線上に設けておいた定点における流速値を基に, 同様な手法によって求めた。ただし, 直読式2次元電磁流速計による測定は, 横断面方向におよそ30 m間隔で行われた。

それぞれの断面における通過流量の経時変化を, 潮位変動と併せて図-7に示す。断面通過流量は, Line-1では $-50.78 \sim 96.94 \text{ m}^3/\text{s}$, Line-2では $-45.08 \sim 65.91 \text{ m}^3/\text{s}$ の範囲で変動していた。図-7の潮位記録によれば, 観測期間は, 7月30日6時頃～7月30日20時頃の第1潮汐期間と, 7月30日20時頃～7月31日7時頃の第2潮汐期間とに大別することができる。第1潮汐期間および第2潮汐期間におけるLine-1およびLine-2の流入量を算定したものが, 表-1である。同表の算定結果によれば, 第1潮汐期間においては $11.3 \times 10^4 \text{ m}^3$ の水量が外海から和歌川河口干潟へ, また, 第2潮汐期間においては $13.1 \times 10^4 \sim 14.1 \times 10^4 \text{ m}^3$ の水量が同じく外海から和歌川河口干潟へと流入している。すなわち, 観測期間中に

は, 合計 $24.5 \times 10^4 \sim 25.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ の外海水が和歌川河口干潟域に流入していることを示している。

(3) 和歌川・紀三井寺川流動調査

図-8は, Point 1(紀三井寺川)およびPoint 2(和歌川)に設置された自記式2次元流速計で計測された流速の連続調査結果を示したものである。流速は, 東方成分と北方成分とに分解して示しており, それぞれの計測地点の地理的条件により, Point 1では東方成分が, Point 2では北方成分が卓越流速成分となる。前述のように, Point 1に設置された流速計は水底上0.5 mに設置したので, 潮が引いて水深が0.5 m以下になった時間帯にはデータが取得できていない。Point 1では, 流速は0～0.25 m/sの範囲で潮位に応じて変動し, 下げ潮時には流下方向に, 上げ潮時には上流方向への流れが観測された。一方, Point 2では, 上げ潮時には上・下層ともに上流方向への流速成分が計測されているが, 下げ潮時には有意な下流方向の流速は計測されていない。これは, 後述するように, Point 2よりも上流に位置する排水機場の影響であると考えられる。

4. 河川他からの流入量調査

和歌川河口干潟の流動に影響を及ぼす河川は, 干潟域に直接流入する紀三井寺川と津屋川, 干潟上流部の和歌川に流入する和田川の三河川である。いずれの河川も感潮河川であり, 潮位の影響を受けている。

津屋川に関しては津屋中橋で, 紀三井寺川に関しては紀三井寺ポンプ場前で, 和田川に関しては新橋で, それぞれ河床横断地形を計測するとともに, それぞれの地点で, プロベラ式あるいは電磁流速計を用いて流速を求めた。流速は, 横断方向に4カ所, 鉛直方向には水面から15 cmおよび45 cmの2カ所で計測し, 得られたデータを基に各河川から干潟域への流入量を推定した。このようにして求められた観測期間中の各河川からの流入量は, 紀三井寺川から $14.3 \times 10^4 \text{ m}^3$, 和田川から $31.1 \times 10^4 \text{ m}^3$ 流入し, 津屋川から $-0.1 \times 10^4 \text{ m}^3$ であった。

和田川と和歌川の合流地点よりもやや上流には和歌川排水機場があり, 下流側の水をポンプアップして上流側へと排出し, 市堀川を経て紀ノ川へと排出している。観測期間中の排水機場ポンプの稼働状況を調査した結果, 排水機場の下流側から上流側へと排出された流量は $82.4 \times 10^4 \text{ m}^3$ であった。

すなわち, 調査を行った和歌川河口干潟においては, 和田川と紀三井寺川の二河川から河川水が, また, 河口からは外海水が流入し, 和歌川排水機場から上流側へとこれらの流入量にほぼ相当する水が排出されるという構造になっていることが明らかになった(図-9参照)。Point 2は和田川と和歌川の合流地点よりも下流側(干潟

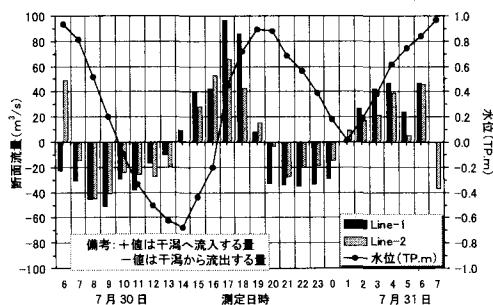
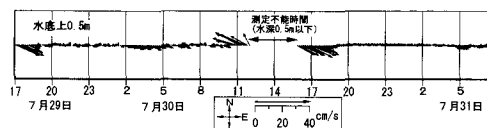


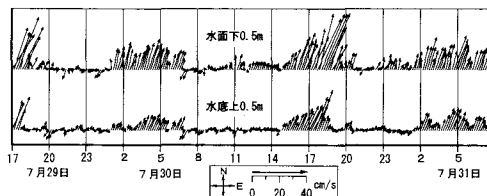
図-7 流量の経時変化

表-1 1 潮汐あたりの断面通過流量

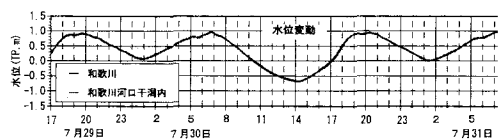
	Line-1	Line-2
第1潮汐期間	$11.3 \times 10^4 [\text{m}^3]$	$11.3 \times 10^4 [\text{m}^3]$
第2潮汐期間	$14.3 \times 10^4 [\text{m}^3]$	$13.1 \times 10^4 [\text{m}^3]$
合計	$25.5 \times 10^4 [\text{m}^3]$	$24.5 \times 10^4 [\text{m}^3]$



(a) Point 1



(b) Point 2



(c) 計測水位

図-8 流速ベクトルの時系列変化

側)に位置している。Point 1 に設置された塩分計の記録によれば、潮位が低下するとともに塩分が低下するという記録が得られているが、Point 2 に設置された塩分計の記録では、潮位が低下しても塩分はほとんど低下していない。すなわち、和田川から和歌川に流入してくる河川水の多くは、干潟上を流下して外海へと流出するのではなく、上流に建設されている排水機場ポンプによって上流の市堀川を経て紀ノ川へと流出していると推測できる。一見、自然干潟の様相を呈している和歌川河口干潟は、排水機施設による人為的影響を強く受けた干潟であることが示された。

5. 結 論

本研究によって得られた知見を要約すると以下のとおりである。

(1) 低高度で撮影した写真を基に、干潮時に干出する干潟地形の計測を行い、2 m 間隔で合計 176,695 地点の地盤高を求めた。干潟周囲に設けた 23 の標定点のデータから精度を求めたところ、その標準偏差は ± 5.7 cm であり、かなりの高精度で地形データを取得できたことがわかった。得られたデータを地理情報データ GIS として整

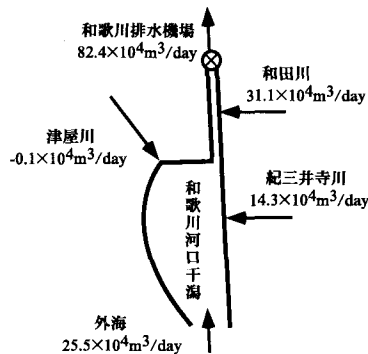


図-9 干潟への日間流入量

理することにより、GIS を介して当該干潟域に関わる物理・生物情報を総合的に管理できるシステムの基礎が構築された。

(2) ADCP を用いて干潟域の二断面において流況調査を行った結果、干潟域における潮汐変動に伴う流動特性が明らかになった。また、得られたデータを基に海水交換量を算定したところ、約 $25 \times 10^4 \text{ m}^3$ の水塊が外海から干潟域へと流入していることが明らかになった。

(3) 干潟域に流入する主要河川の流量を測定した結果、これらの河川からの流入淡水量と河口部からの流入外海水量の和が、和歌川に建設されている和歌川排水機場から上流の市堀川方面へとポンプによって排出される流量とほぼ等しいことがわかった。すなわち、自然干潟の様相を呈する和歌川河口干潟は、上流に建設されている排水機場を介して流動制御された干潟であることが明らかになった。

謝辞：本研究は、わかやま海域環境研究機構の委託研究として実施した成果の一部である。また、和歌山県建設部和歌川排水機場には、貴重なデータを提供していただいた。ここに、記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 遠藤 徹・重松孝昌 (2003): 内湾性沿岸域の水環境再生のための設定目標の提案, 環境システム研究論文発表会講演集, pp. 199-204.
- 矢持 進・藤原俊介・和田安彦・平井 研・濱田のどか・大塚正純・杉野伸義・重松孝昌・小池敏也 (2004): 都市に近接する自然干潟 (和歌川河口干潟) の生物生産と窒素収支, 海岸工学論文集, 第 51 巻, pp. 1021-1025.