

大阪湾における循環流・潮汐フロントの変動構造

湯浅一郎*・高橋 暁**・宝田盛康***・灘井章嗣****

1. はじめに

大阪湾では成層期、非成層期にかかわらず、20 m 等深線付近を中心に潮汐フロントが存在し（上嶋ら, 1987; Yanagi ら, 1988; Yuasa ら, 1992; 中辻ら, 1995), このフロントを挟んで湾中央側に沖の瀬環流が、湾奥側に時計回りの循環流が存在し（藤原ら, 1989; 湯浅, 1994; Yanagi ら, 1995), 塩分や栄養塩などの物質輸送を考える上できわめて重要な素過程であることが知られている。しかし観測は、定点での潮流調査や、せいぜい ADCP による断面観測がほとんどで、大潮から小潮にかけての面的な変動構造はほとんど解っていない。そこで、循環流と潮汐フロントの大潮から小潮にかけての変動構造を明らかにすることを目的として、従来の方法によるシートルースを行うとともに、短波海洋レーダーによる観測を併用し、総合的な検討を加えた。

2. 観測方法

大阪湾の循環流域の規模と物質輸送能力の大潮から小潮における変動を明らかにするため、1995 年 9 月 26 日から 12 月 12 日にかけて現地観測を行った。観測項目は、

① ADCP などを用いた循環流域規模の変動実態調査

(9 月 27 日, 10 月 3 日)

② 短波海洋レーダー観測

(9 月 25 日から 12 月 12 日)

③ 水塊分布変動調査 (9 月 27 日, 10 月 3 日)

④ 航路ブイを利用しての定点潮流調査

(9 月 26 日から 10 月 11 日)

である。今回データを使用する①, ②の測点図を図-1 に示す。短波海洋レーダー局の設置には、関西電力の大阪南港及び多奈川第二の両発電所の構内を使用した。大阪南港のレーダー局の不調により、9 月 25 日から 11 月 10 日の観測が欠測となった。が、11 月 11 日から 12 月 12 日までの期間については、短波海洋レーダーによる流況観測を行うことができた。

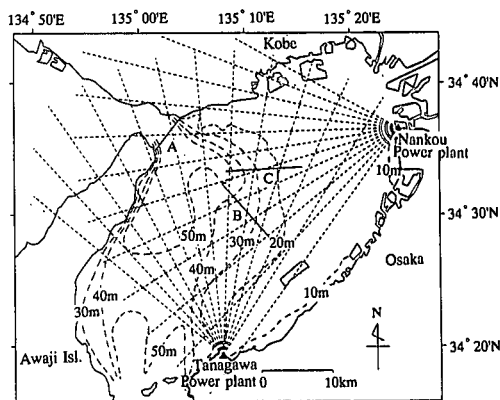


図-1 大阪湾における測点図

3. 短波海洋レーダー観測

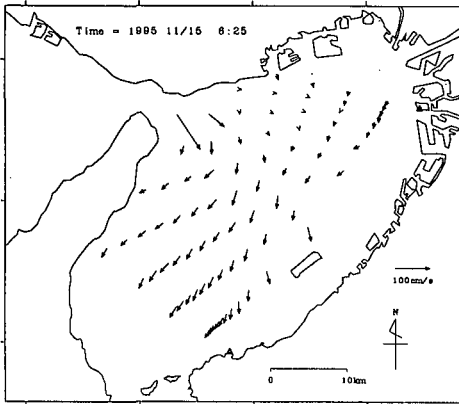
短波海洋レーダーによる観測は、これまでに種子島沖（秋山ら, 1992）などで行われており、表層流速場の測定技術として有効であることがほぼ確立されてきている。今回の観測は、1995 年 11 月 11 日～12 月 12 日の一ヶ月間、大阪湾では初めて行われた。データは図-1 に示すレーダービーム上 1.5 km 間隔で 1 時間毎に得られている。しかし、得られたデータはビーム上の視線方向流速のため、線形補間によりビームの交点における値を求め、流速ベクトルとした。

3.1 潮流の大潮一潮変動

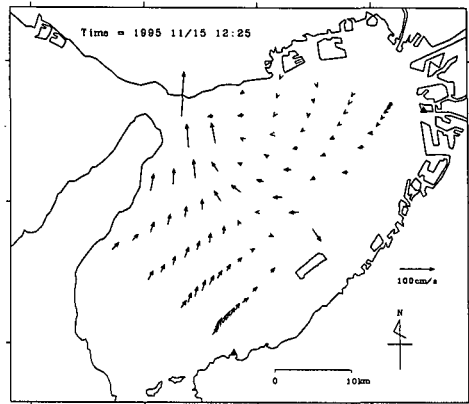
レーダーの 1 ビーム方向の観測は 5 分間を要し、かつ、1 ビーム毎の観測しか行えないため、データ取得時刻に最大で 30 分のずれが生じる。そこで、各時刻の流速ベクトル分布を見る際、線形補間によって毎時 25 分（中央のビームのデータ取得時刻）の値とした。

図-2 に 11 月 15 日の小潮における流速ベクトルを、図-3 に 11 月 23 日の大潮における流速ベクトルを、明石海峡の流況ごと示す。明石海峡東流最強時、大潮時においては海峡から関西空港の沖合まで南東に向けて強いジェット状の流れが大阪湾へ流入している様子（Fujiiwara ら, 1994）が伺える。しかし、小潮時にはこのような強いジェット状の流れは見られない。

* 理博 通産省中国工業技術研究所
 ** 工博 通産省中国工業技術研究所
 *** 正会員 工修 通産省中国工業技術研究所
 **** 理修 郵政省通信総合研究所 沖縄電波観測所

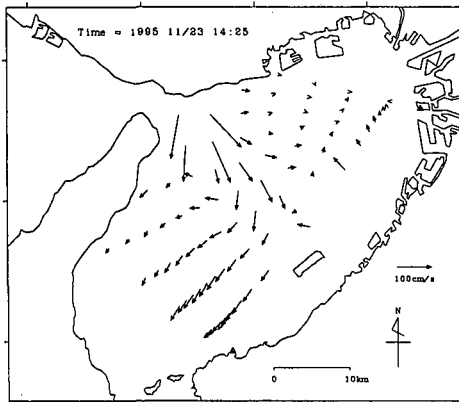


(a) 明石海峡東流最強時

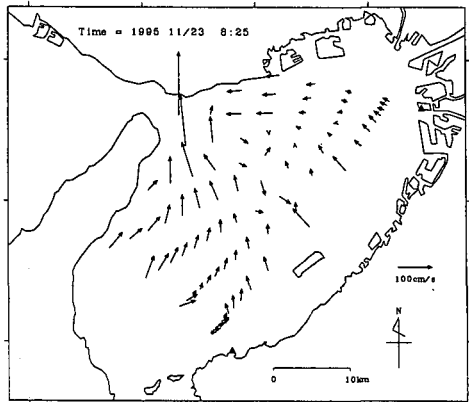


(b) 明石海峡西流最強時

図-2 小潮時における流速ベクトル図



(a) 明石海峡東流最強時



(b) 明石海峡西流最強時

図-3 大潮時における流速ベクトル図

また、西流最強時、大潮時においては、従来から言われているように、上げ潮にもかかわらず南下する流れを大阪湾の中央部に見ることができる(藤原ら, 1989)。しかし、小潮時の明石海峡西流最強時には、全域で海峡に向かう流れとなり、従来言われている「潮時を問わず一日中時計まわりの流れがある」という説とは若干異なる。これは、従来の観測のほとんどが大潮期に行われており、小潮期の観測例がほとんど無いためではないかと考えられる。つまり、小潮期においては、明石海峡西流最強時においても南下する大阪湾中央部の流れは存在しない可能性がある。

3.2 循環流の大潮一小潮変動

得られたデータには欠測値が含まれている。そこで、小潮時については11月14日～16日の、大潮時については11月22日～24日のそれぞれ3日間のうち、25時間以上連続してデータの得られている期間を選び、25時間平均を行った。ここでは、この25時間平均流を残差流とす

る。

図-4に大潮時と小潮時における残差流を示す。大潮時、小潮時共に湾中央部に時計回りの循環流が卓越している。しかし、循環流の残差流速は、藤原ら(1989)が指摘しているように、小潮時に比べ大潮時には3～4倍程度大きい。さらに、循環流の水平規模も小潮時より大潮時の方が大きいことが解る。

従来 ADCP 等による観測により、残差循環流速が大潮一小潮で変動することが示されてきたが、今回、海洋レーダーを使用することで、残差流速だけでなく、循環流の水平規模も大潮一小潮で変動することが明らかになった。

4. ADCP 観測

ADCP による観測は1995年9月27日の大潮と10月3日の小潮に、図-1に示したA, B, C測線において、12時間かけて(午前7時から午後7時まで)6往復行われ

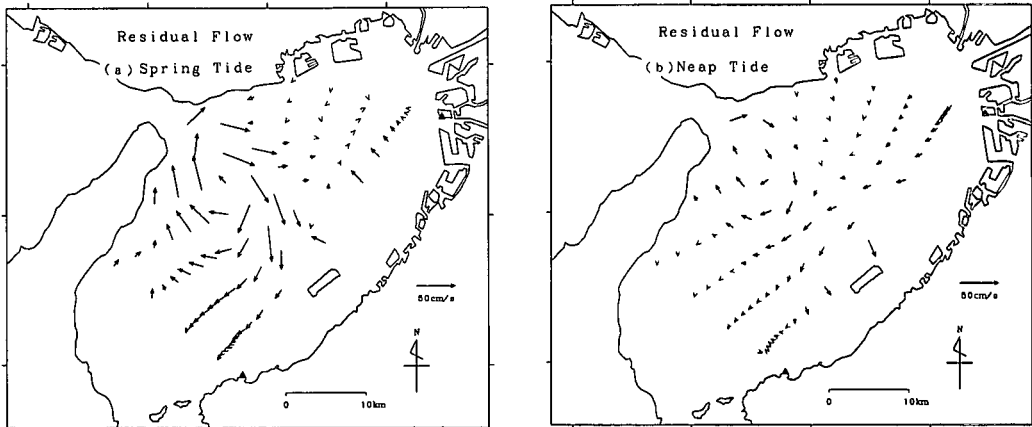


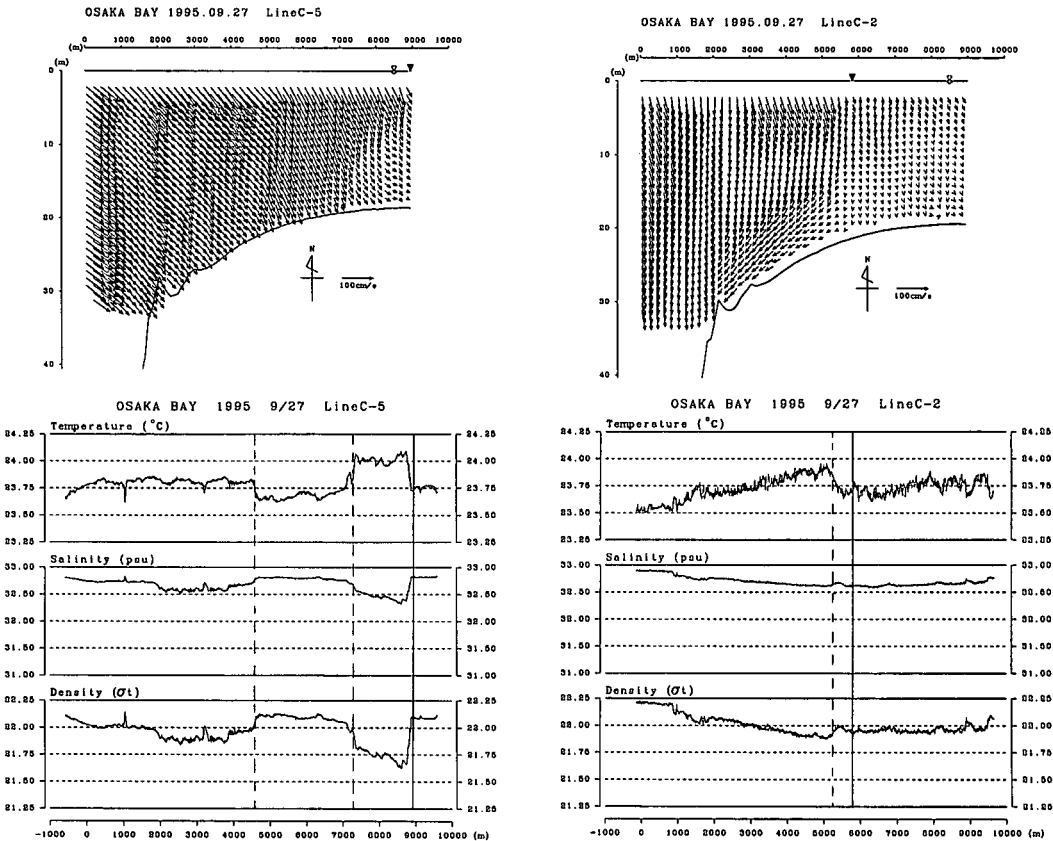
図-4 残差流ベクトル図 (a) 大潮時, (b) 小潮時

た。また、表層(−1 m)の水温・塩分も同時に測定された。ここでは、潮汐フロントが最も顕著に捉えられていたC測線の結果について述べる。

4.1 潮汐フロント近傍の流況

図-5, 6にC測線における大潮期, 小潮期の明石海峡

西流最強時と東流最強時の流速ベクトルの鉛直断面、表層の水温・塩分・密度(σ_t)分布をそれぞれ示す。流速ベクトル図の黒三角と水温・塩分・密度図の縦の実線は目視観測された潮汐フロントの位置を、また、縦の破線は水温・塩分・密度分布から存在が予測されるフロントの



(a) 明石海峡東流最強時 (14 : 57-16 : 30)

(b) 明石海峡西流最強時 (9 : 04-10 : 15)

図-5 C測線における大潮時の流速ベクトル断面図と表層水温・塩分・密度分布図

位置を示す。

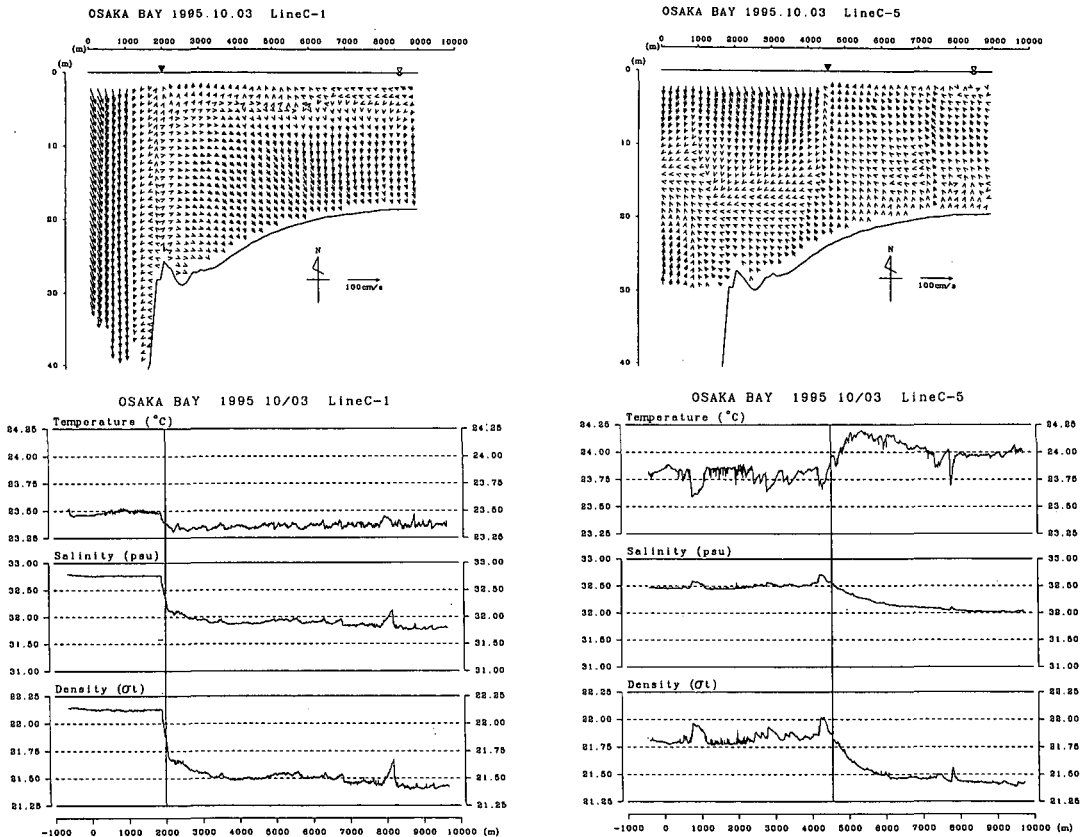
水温・塩分・密度分布を見ると、小潮期は非常にシャープなフロント構造が見られるが、大潮期は非常に複雑な分布を示している。特に、大潮期の西流最強時には、フロントをはさんで西側の混合域の密度が、東側の成層域よりも小さくなっており、フロントから遠ざかるにつれ重くなっている。このことは、フロント近傍の少なくとも表層で、潮汐フロントの構造と矛盾していることを示している。ここで、図-3(b)の日にちには異なるが、同じ潮時の海洋レーダーによる観測結果を見ると、西流最強時に神戸沖からC測線の混合域側へ流れ込む流れの存在が伺える。つまり、神戸沖の軽い海水が混合域側の表層に流れ込み、複雑な密度分布を作り出していることを示唆している。中辻ら(1995)は数値実験から淀川河口から放流した粒子群を追跡し、時計まわり環流に乗った後、神戸・須磨沖から西部へ抜ける道筋を示しているが、ここで得られた分布はそれと符合している。

流速分布を見ると、大潮期、小潮期共に潮汐フロントをはさんで東西で明らかに流況が異なっており、特に小

潮期の表層では流向が逆になっている。このことは、海洋レーダーによる観測からもフロントの位置を特定できる可能性を示唆しているが、このためには、得られている視線方向流速を全て、何らかの手法でベクトルに変換し、より詳細な流速ベクトル分布図を作成する必要がある。このことは今後の課題としたい。

4.2 潮汐フロントの位置の大潮-小潮変動

図-7はC測線において目視観測によって確認された、あるいは密度分布から存在が予測されるフロントの位置を潮時ごとに示したものである。図でフロントの位置に付けた番号は、観測の回数を示す。大潮期には、フロントが測線外に位置していた場合もあるので正確にはわからないが、20 m等深線を中心として少なくとも約4.8 km、潮時により東西にフロントは移動している。一方、小潮期にも東西に約2.8 km移動する。ここで、それぞれの移動範囲の中心点間の距離をとると小潮の方が約3.8 km西にずれて位置している。つまり、これが大潮-小潮におけるフロントの位置の変動距離と考えられる。



(a) 明石海峡東流最強時 (6:59-8:21)

(b) 明石海峡西流最強時 (14:55-16:20)

図-6 C測線における小潮時の流速ベクトル断面図と表層水温・塩分・密度分布図

Position of Tidal Front (Line-C)

○ : Spring Tide
● : Neap Tide

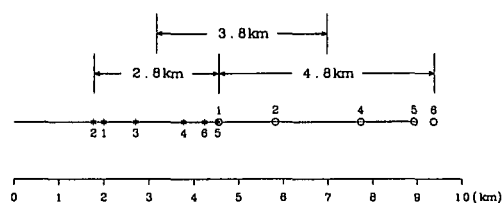


図-7 C測線における潮汐フロントの位置変動

潮汐フロントは、鉛直混合域と成層域の境界に位置するから、沖合側の流速が小潮にはかなり弱まるので、フロントの位置が小潮には、大潮より沖合に移動することは理論と一致する。しかし、フロントの位置を支配するパラメーターは、河川流量、海面熱収支なども関係している (Yanagi ら, 1988) ので、フロントの位置の変動とパラメーターとの関係については今後の課題としたい。

5. ま と め

1995 年秋に大阪湾で行われた短波海洋レーダー、ADCP 等による観測により、沖の瀬循環流などを含んだ海域において、同時性を持って表層流速場を面的に捉えることができ、以下のことが明らかになった。

大阪湾中央部の時計回りの残差循環流は大潮一小潮により残差流速だけでなく水平規模も変動する。

潮汐フロントは潮時により大潮期には東西に約 4.8 km、小潮期には約 2.8 km の位置変動が見られた。それぞれの移動範囲の中心点は、大潮では 20 m 等深線に近いが、小潮では大潮の位置より西に約 3.8 km 移動することが示された。

また、海洋レーダーによる観測結果から、従来より言われている上げ潮時にも南下する大阪湾中央部の流れは、11 月 15 日の小潮時には存在しなかった。しかし、図-6(b) に示した ADCP による 10 月 3 日の小潮時の観

測結果を見ると、明石海峡西流最強時に C 測線の西半分で南下流が観測されている。

ここで、潮汐表から両小潮時の大阪の干満差を見ると、10 月 3 日の一回目 (観測時) は 93 cm で、11 月 15 日は 65 cm となっており、30 cm 近い差があることがわかる。このことは、同じ小潮でも、その規模によって、上記の南下流が卓越する場合としない場合があることを示唆している。今後は、この南下流が卓越する場合、しない場合の小潮の規模について調べていく予定である。

謝辞：短波海洋レーダー局設置のために快く発電所サイトを提供いただき、ご協力いただいた関西電力大阪南支店に心より謝意を表します。

参 考 文 献

- 秋山秀樹・大野裕一・斉藤誠一 (1992): トカラ海峡周辺を通過する黒潮暖水舌、海と空、第 68 巻, pp. 99-112.
 上嶋英機・他 5 名 (1987): 大阪湾沿岸性水域の流動と水塊構造、海岸工学講演会論文集, 第 34 巻, pp. 661-665.
 中辻啓二・末吉寿明・藤原建紀 (1994): 大阪湾奥で観察される高気圧性渦 (西宮沖環流) の生成機構と淀川ブルームに及ぼす影響、海岸工学論文集, 第 41 巻, pp. 331-335.
 中辻啓二・藤原建紀 (1995): 大阪湾におけるエスチュアリー循環、海岸工学論文集, 第 42 巻, pp. 396-400.
 藤原建紀・肥後竹彦・高杉由夫 (1989): 大阪湾の恒流と潮流・渦、海岸工学論文集, 第 36 巻, pp. 209-213.
 湯浅一郎 (1994): 内海における循環流・フロントと炭糞塩類の挙動に関する研究、中国工業技術研究所研究報告, 第 12 号.
 Fujiwara, T., H. Nakata and K. Nakatsuji (1994): Tidal-jet and vortex-pair driving of the residual circulation in a tidal estuary. *Conti. Shelf Res.*, Vol. 14, No. 9, pp. 1025-1038.
 Yanagi, T. and S. Takahashi (1988): A tidal front influenced by river discharge, *Dyna. Atmos. Ocean*, Vol. 12, pp. 191-206.
 Yanagi, T. and S. Takahashi (1995): Variability of the residual flow in Osaka Bay, Japan. *Memoris of the Faculty of Engin., Ehime Uni.* Vol. 16, pp. 377-391.
 Yuasa, I. and H. Ueshima (1992): A tidal front in winter influenced by river discharge, *Jour. Oceanogr.* Vol. 48, pp. 239-255.