

大阪湾漂流計算プログラムの改良について

吉 宣好, 寄高博行, 橋間武彦: 海洋研究室

Improvement of the Program for Surface Drift in Osaka Bay

Nobuyoshi Yoshi, Hiroyuki Yoritaka, Takehiko Hashima : Ocean Research Laboratory

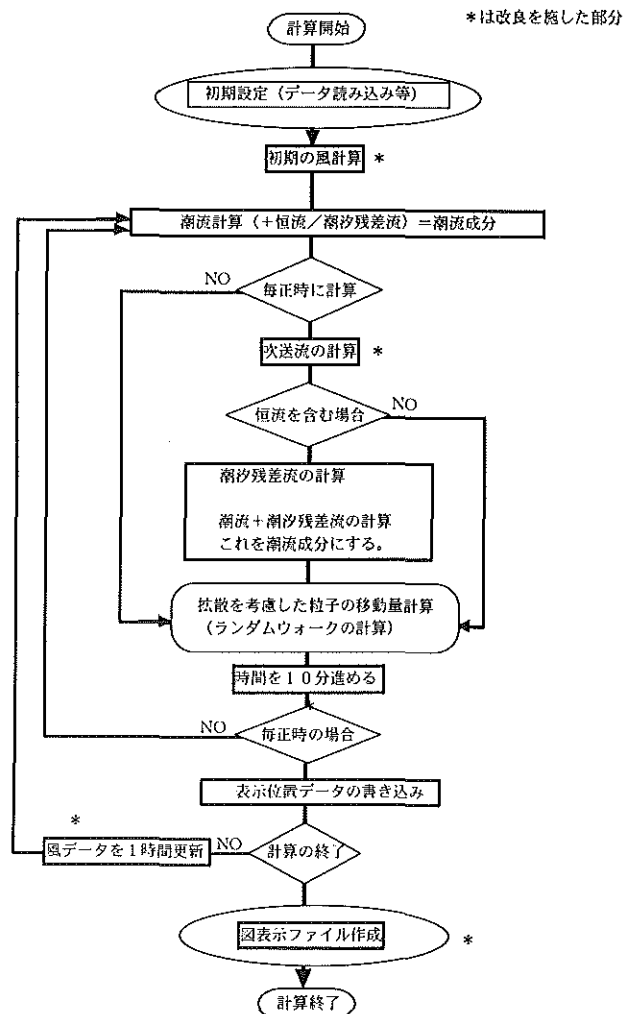
1. はじめに

現行の大阪湾漂流計算プログラム(日本水路協会, 1987)は, 東京湾漂流計算プログラム(日本水路協会, 1986)と同様に吹送流と潮汐残差流を, 回帰モデルを用いて推定する手法を採用している。吹送流については過去48時間の風に対する重回帰係数が30秒メッシュで用意されている。また, 潮汐残差流については主要4分潮による潮流の自乗和に25時間移動平均を施した値に対する回帰係数が30秒メッシュで用意されている。ここでは, これらの回帰モデルを用いて推定した吹送流と潮汐残差流を, 係留観測データと比較した結果を示す。また, 吹送流の推定精度向上を図るため, 平成10年度の「吹送流モデルの開発」で構築した大阪湾吹送流モデルを組み込むことにより現行プログラムの改良を図ったので, その概要を報告する。

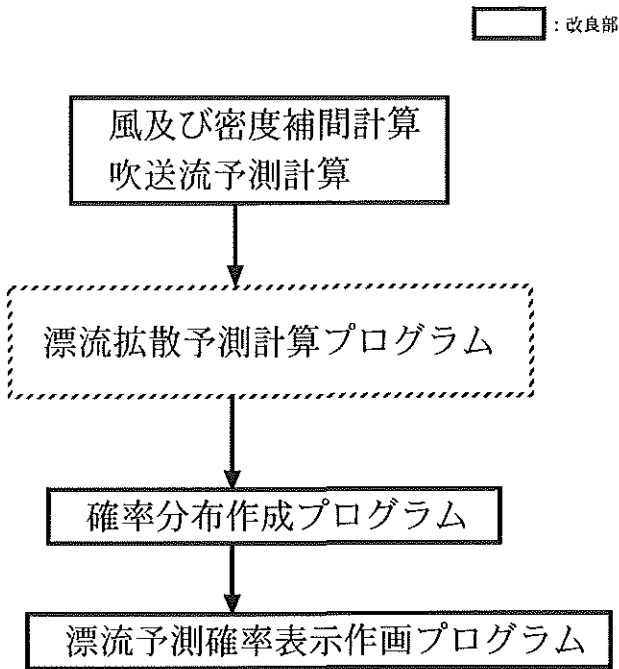
2. 改良点の概要

改良前の概要を第1図に示す。改良後の追加部分を実線枠で第2図に示す。今回の大きな改良点は, 2点ある。第1点としては, 前述のとおり平成10年に開発された大阪湾の吹送流モデルによるシミュレーションプログラムを大阪湾漂流計算プログラムに取り入れたことである。海上風メッシュデータを用い海面応力に応答する吹送流を計算するものである。現行の漂流計算プログラムの吹送流計算では, 大阪湾全体を一樣な風データで計算しており, また, シミュレーション実験と観測データによる風との重回帰係数を用いる方法を用いている。これに対し今回導入した方法は, 海上風メッシュデータを用いて, 時間変動する海面応力に応答する吹送流をシミュ

レーションにより計算する手法を用いて精度の向上を図ったものである。第2点は, 現行のプログラムでは時間毎の粒子拡散を表示していたが, さらに確率分布での表示を可能にした。具体的には, 時間固定と時系列の2種類の表示が出来るようにした。時間固定は, ある時間における各存在確率の分布



第1図 改良前のフローチャート
Figure 1 Flow chart before improvement.



第2図 改良後のフロー
Figure 2 Flow chart after improvement.

(80%, 70%等のコンタ)の表示をするようにしたもので、時系列は、ある存在確率例えば80%の存在確率の分布が1時間毎にどのように変化したかを一枚の画像の中に表示したものである。表示したい時間や確率を予めパラメータファイルで指定してから計算をするものである。軽微な改良としては、ランダムウォークの計算で用いていた乱数を一様乱数から正規分布乱数に変更した。

3. プログラムの概要

計算メッシュは30秒, 60秒, 90秒の3種類を選択できるようになっている。

今回は, 30秒メッシュの場合を例に示す。メッシュ数は, $170 \times 146 = 24820$ 個である。

a. 風及び密度補間計算プログラム (例として30秒メッシュで表示)

1) 風補間プログラム

3時間毎の測候所風データ(例えば, 神戸, 洲本, 大阪, 和歌山の4点)の観測値を基に30秒メッシュの風の補間データを作成する。補間手法は, 吹送流計算格子点を囲む4つの風データメッシュの格子点

を検索し, 風データメッシュの格子(以後風データ格子という)と吹送流計算格子が作る4つの矩形面積を用いて重み付けし, 吹送流計算格子点での値を計算する。

補間に用いた計算式は

$$f_u = w_{u1} \cdot (1-R)(1-S) + w_{u2} \cdot R \cdot (1-S) + w_{u3} \cdot R \cdot S + w_{u4} \cdot (1-R) \cdot S$$

である。

f_u : 補間された風速

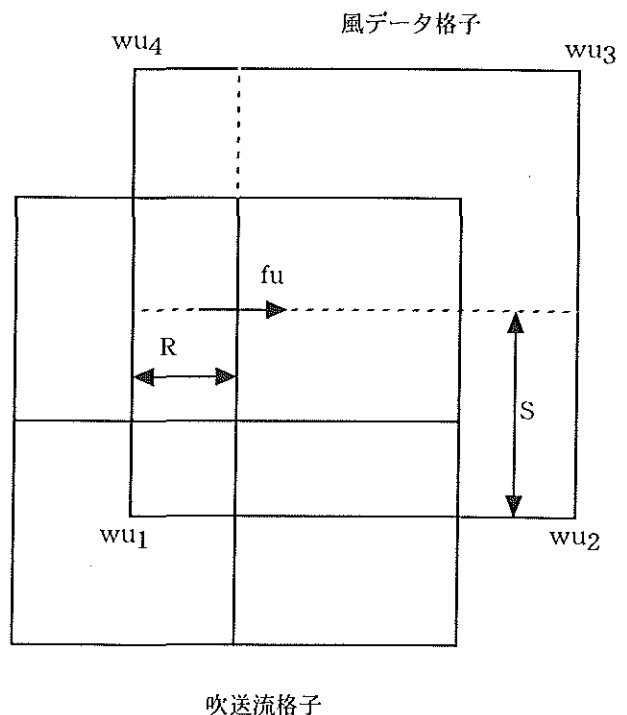
w_{ui} : 各格子点での風速値 ($i=1, 2, 3, 4$)

R : 風データ格子点から吹送流計算格子点までの緯度方向の距離を, 風データ格子間隔で除したも

S : 風データ格子点から吹送流格子点までの経度方向の距離を, 風データ格子間隔で除したも
また, 算出法の概念図を第3図に示す。

2) 密度補間プログラム

任意の密度観測値から指定層分の各メッシュデータを作る。密度補間では, 密度の測定点が, 離散的に分布したものを取り扱えるようにし, 各メッシュ点での値は, メッシュ点から一定範囲内の密度測定



第3図 算出法の概念図
Figure 3 Concept chart of calculation method.

値を、距離に応じた重み係数を用いて計算し、その全体の値を平均することにより求めた。

b. 吹送流予測計算

補間された風メッシュデータを用いて計算した風応力を入力とし、非圧縮性流体の運動方程式と連続の式及び密度の変化を予測する拡散方程式を基本方程式とする2層流体モデルを用いて、吹送流の計算を行った。与える地形については、閉境界による鉛直流の発生を防ぐため、南と西の境界を各々長く水路状に伸ばす処理を行った。計算結果の例を第4図に示す。

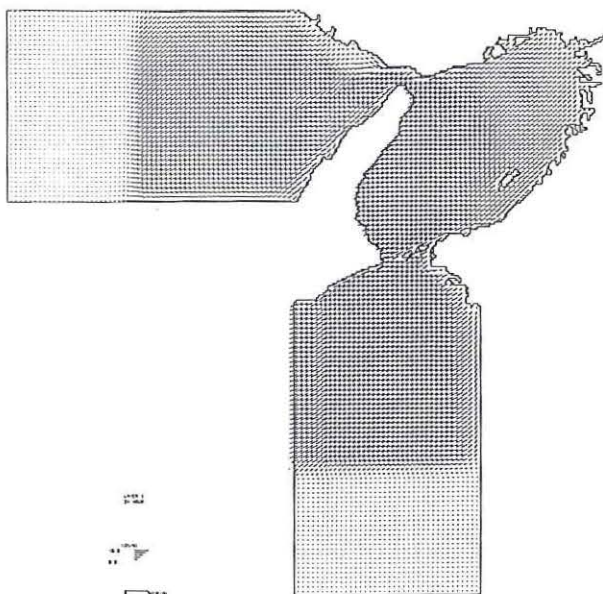
c. 漂流拡散予測計算

漂流計算では、乱数と分散係数の大きさによる漂流拡散（ランダムウォーク）を取り入れた漂流拡散予測を行う。

d. 存在確率分布作成

漂流予測の存在確率分布を計算する。

存在確率分布については、第5図に示すように、あるエリアでの存在確率の高い順に指定百分の分布を計算する。例えば、100個の粒子があるとする



第4図 吹送流水平流速分布（表層，開境界処理あり）
Figure 4 The horizontal velocity of drift currents (at upper layer).

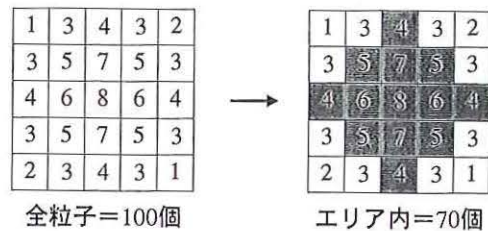
70%の存在確率分布を表示する方法としては、存在確率分布を計算する最小面積（以後セルという）の中で存在する粒子の数が多セル順に70個までを表示する手法を採用した。また、データがかなり、乱雑に分布しているため、確率分布が虫食い状態の不明瞭な図にならないようにスムージングを行うようにした。

つまり、第6図のように計算する格子（中心）を赤とすると、最大検索範囲を1と設定した場合に緑の格子まで、2と設定した場合は水色の格子までの粒子個数積分データを用いて、スムージングを行う

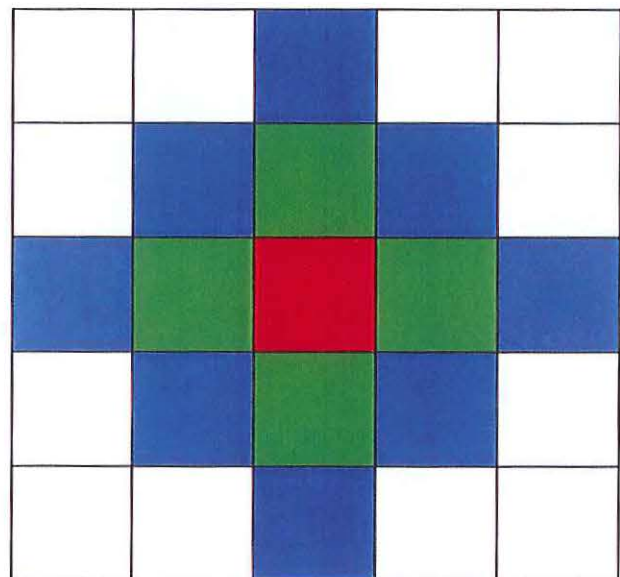
存在確率分布表示

あるエリアでの存在確率=エリア内の粒子数/全粒子数

最小面積による表示（例：70%）



第5図 存在確率分布表示の考え方
Figure 5 Idea of existence probability distribution display.



第6図 スムージング格子の例
Figure 6 Example of smoothing grid.

ようにした。ここで、最大検索範囲=RD, 中心の格子から採用する格子までの距離=RD2とすると荷重Wは、荷重モードによって3タイプ選択できるようにした。計算式を以下に示す。

$$W = \frac{(RD^2 - RD2^2)}{(RD^2 + RD2^2)} \quad \text{荷重モード：1}$$

$$W = \left(\frac{(RD^2 - RD2^2)}{(RD^2 + RD2^2)} \right)^2 \quad \text{荷重モード：2}$$

$$W = \left(\frac{(RD^2 - RD2^2)}{(RD^2 + RD2^2)} \right)^4 \quad \text{荷重モード：3}$$

$$\because RD2 > RD \rightarrow W = 0$$

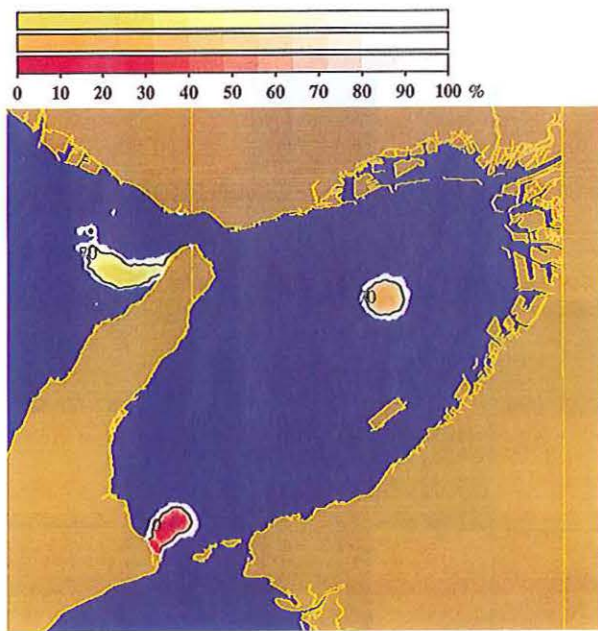
ただし、最大検索範囲 RD=0 とするとスムージングは行わない。

e. 漂流予測確率表示作成

時間固定と時系列表示の2種類の図を作成する。例を第7図、第8図に示す。

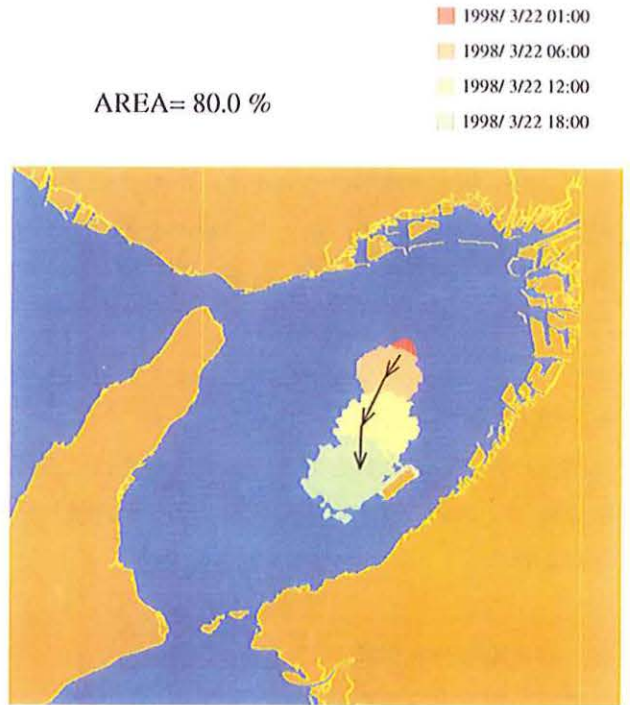
4. 回帰モデルによる推定値と係留観測データとの比較

現行の大阪湾漂流予測モデルにおいて用いられている潮汐残差流と吹送流の推定値を検証するため、

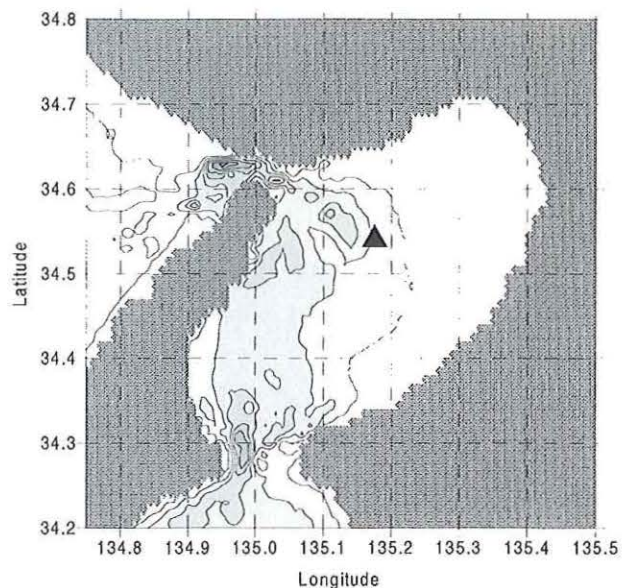


第7図 指定時間での存在確率分布表示 (時間固定表示)
Figure 7 Distribution of existence probability at specified time (Time fixed display).

1987年1月～3月に第五管区海上保安本部水路部によって大阪湾中央部で実施された係留観測データとの比較を行った。第9図に大阪湾の海底地形と係留点を示す。流速計は海面下5mと15mの2層に設置

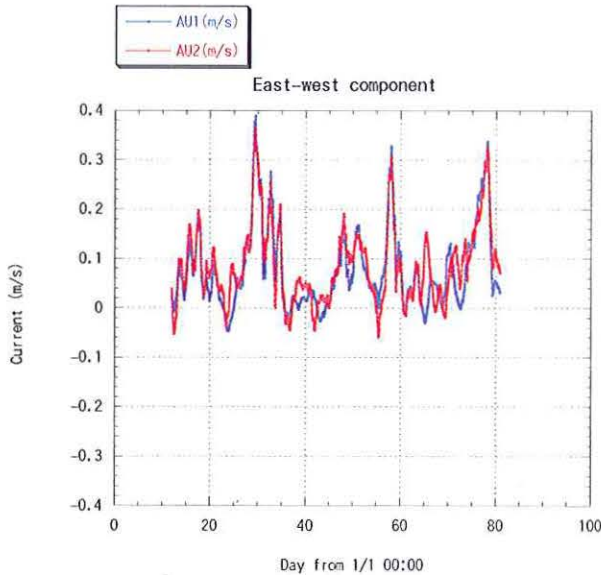


第8図 漂流経路での存在確率分布表示 (時系列表示)
Figure 8 Distribution of existence probability by drift route (Time series display).



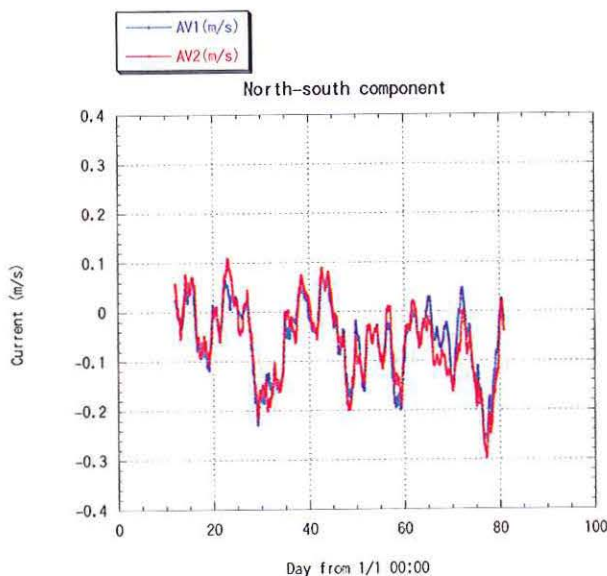
第9図 係留系の位置(▲). 水深コンターは20m毎.
Figure 9 Location of mooring system (▲). Depth is contoured with interval of 20m.

され、1月13日～3月22日の約70日間のデータが取得された。大阪湾漂流予測モデルに入力する海上風データとしては、4カ所の測候所（大阪、神戸、洲本、和歌山）のデータから平面近似で海上風分布を求め、係留点における海上風を代表値として計算領域全体に入力した。



第10図 25時間移動平均をかけた流速東西成分。青は上層を、赤は下層を示す。

Figure 10 East-west component of current velocity filtered with 25 hours running mean. Blue line denotes current at upper layer, red line denotes current at lower layer.



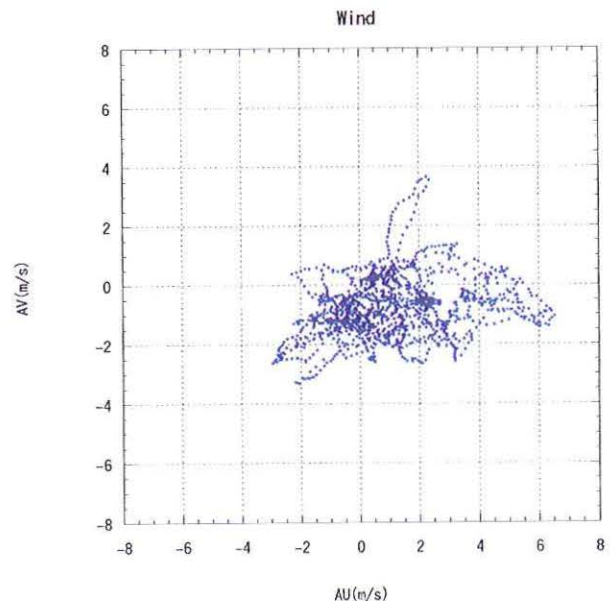
第11図 第10図と同じ。ただし南北成分。

Figure 11 Same as figure 10 except for north-south component.

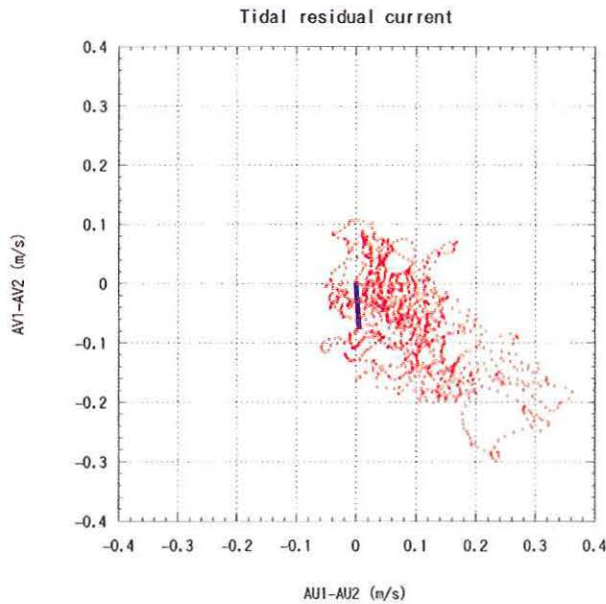
第10図、第11図に流速データの東方成分と北方成分の25時間移動平均値を示す。これまでの研究によると、潮汐残差流は順圧的であり、内湾における吹送流は傾圧的であることが報告されている (e.g. Yanagi and Takahashi, 1995; 長島, 1982)。この観測によると上層（海面下5 m）と下層（海面下15 m）の流速がほぼ一致することから係留点における残差流は大部分が潮汐残差流であることが推定される。25時間移動平均を施した海上風の分布（第12図）からも、係留観測期間の風速は小さく、吹送流は大きくはなかったことが予測される。

これまでに報告された吹送流の鉛直構造（長島, 1982）から、下層（海面下15 m）における吹送流は非常に小さく、下層の流れは全て潮汐残差流によるものであるとする。また、潮汐残差流は深度に依らないと仮定し、吹送流 = (上層流 - 下層流) とする。回帰モデルによる潮汐残差流と吹送流の推定値を係留観測データと比較した。

第13図に回帰モデルによる潮汐残差流推定値（以後、残差推定値という）と下層流（値は25時間移動平均値）の分布を示す。下層流の流向は一定に近く、ほぼ潮汐残差流とみなせるといふ仮定と矛盾しない。残差推定値が最大7 cm/s でほぼ南向きであるの



第12図 内挿された係留点上の海上風（風下方向）。
Figure 12 Wind (leeward) interpolated for mooring location.

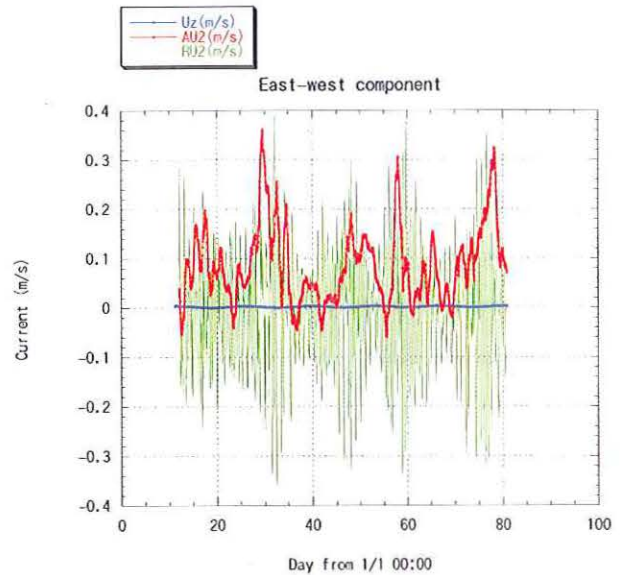


第13図 推定された潮汐残差流. 赤は下層の流向・流速を, 青は回帰モデルで計算された流向・流速を示す.

Figure 13 Estimated tidal residual current. Red circles denotes current direction and speed at lower layer, blue line denotes tidal residual current calculated with regression model.

に対し, 下層流はほぼ南東向きで最大値は40cm/sに達する. 残差推定値では, 回帰モデルによる潮汐残差流をかなり過小評価していると言える. 第14図, 第15図に残差推定値と上層流及び下層流の短期変動成分(観測値-25時間移動平均値)の時系列を示す. 回帰モデルによる潮汐残差流は主要4分潮の和から推定されているが, 実際の潮流の大きい時期とは一致しておらず, 位相がずれていることが示唆される. 一方下層流の変動は潮流の振幅の変化と傾向を同じくしており, 回帰モデルの原理自体は妥当であることを示している.

第16図, 第17図に海上風と回帰モデルによる吹送流推定値と「上層流-下層流」(以後実測値という.)の時系列を示す. 吹送流推定値と実測値が一致する期間は少ない. 潮汐残差流のわずかな鉛直構造や密度流などの影響が少ないと考えられる. 観測期間中最も強く同方向に風の吹いた2月24日0時~3月4日0時の応答を拡大して第18図に示す. 吹送流推定値, 実測値ともに0~12時間程度の遅れで風速に応答しており, そのピーク値は最初の風速6.5m/sに



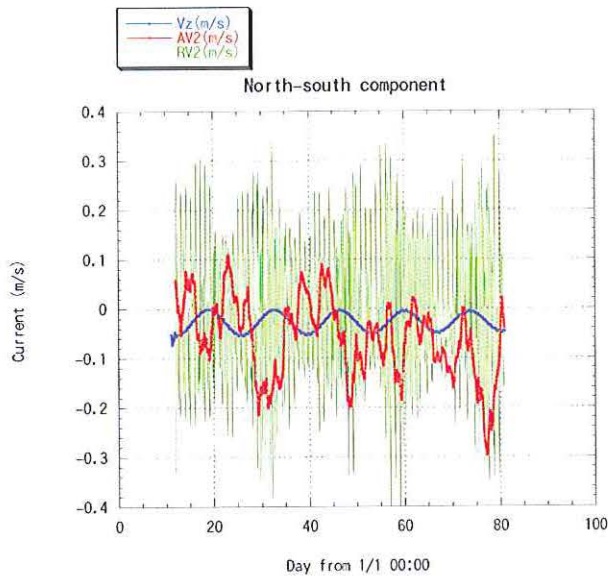
第14図 推定された潮汐残差流の東西成分の時系列. 赤は下層の流速の25時間移動平均値を, 青は回帰モデルで計算された流速を, 緑は下層の流速の「観測値-25時間移動平均値」を示す.

Figure 14 Time series of east-west component of estimated tidal residual current. Red line denotes 25 hours running mean velocity at lower layer, blue line denotes velocity calculated with regression model, and green line denotes velocity of (observed velocity - 25 hours running mean velocity) at lower layer.

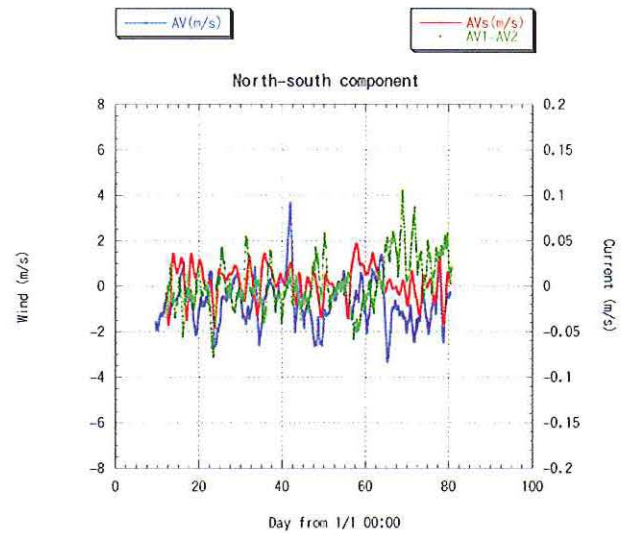
対して吹送流推定値 3 cm/s, 実測値 6 cm/s, 2 番目の風速 5 m/s に対して吹送流推定値 3 cm/s, 実測値 3 cm/s という値を示していた. 吹送流の減衰時間の推定及び海上風の直交成分の寄与の推定に改善の余地はあるが, 回帰モデルによる吹送流推定値は, 応答時間及び振幅について比較的良い対応を示していた.

5. おわりに

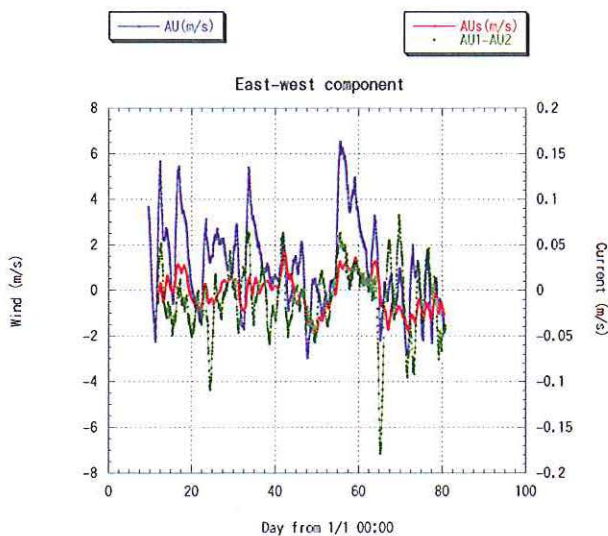
今回は, 漂流予測精度と捜索計画策定における利便性の向上を図るための改良を行った. 今後は, このモデルについて, 吹送流部分の計算データと観測データの比較検証及びプログラム全体の実際の漂流実験データを基にした比較検証を行う必要がある. 今回の改良は, 吹送流部分について実施したが, 回帰モデルと係留観測データの比較からは, 吹送流よ



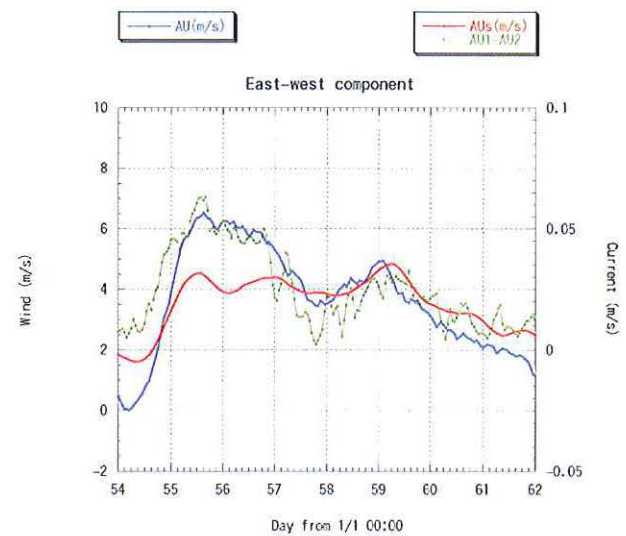
第15図 第14図と同じ。ただし南北成分。
Figure 15 Same as figure 14 except for north-south component.



第17図 第16図と同じ。ただし南北成分。
Figure 17 Same as figure 16 except for north-south component.



第16図 推定された吹送流の東西成分。緑は(上層-下層)の流速を、赤は回帰モデルで計算された流速を、青は風速を示す。
Figure 16 Estimated wind-induced current. Green line denotes velocity of (upper layer-lower layer), red line denotes velocity calculated with regression model, blue line denotes wind speed.



第18図 第16図と同じ。ただし2月24日0時~3月4日0時。
Figure 18 Same as figure 16 except for period from February 24th 00:00 to March 4th 00:00.

引用文献

長島秀樹：傾いた底を持つ水道の吹送流, 理研報告, 58, 23-27, (1982)
Yanagi, T. and S. Takahashi : Variability of the Residual Flow in Osaka Bay, Japan. *Memiors of the Faculty of Engineering, Ehime University*, 14, 377-391, (1995)
日本水路協会：大阪湾の流況予測用データテーブルの作成作業報告書, 18, (1986)

りも予測精度に大きく関与するのは潮汐残差流であることが推測される。従ってこの潮汐残差流で利用している係数の見直しを含めさらなる精度向上を図って行きたい。

日本水路協会：東京湾の流況及び漂流予測システム
報告書, 26, (1986)