

海洋短波レーダーを利用した海上浮遊ゴミ回収の効率化について

川崎栄久*・松本英雄**・西守男雄***・宮島正悟****

* (財) 沿岸技術研究センター 調査部 研究員

** (財) 沿岸技術研究センター 研究主幹

*** 国土交通省港湾局 技術企画課 技術監理室

**** 前 国土交通省港湾局 技術企画課 技術監理室 課長補佐

国土交通省港湾局（以下、港湾局）では、船舶航行の障害、海洋汚染等の要因となる浮遊ゴミの回収を実施しており（海洋環境整備事業）、気象や海象状況及び管理者等の要請の他、浮遊ゴミが潮目に集積しやすい特性を利用して、海洋短波レーダーの流向・流速観測値から潮目の予測を行い、浮遊ゴミの回収を実施している。

平成 18 年度から 20 年度の間に（財）沿岸技術研究センターでは、港湾局で構築された海洋短波レーダーの観測値（流向・流速）を用いて、環境整備船漂流物移動予測システムの結果と回収された浮遊ゴミの実態を比較し、浮遊ゴミ回収の効率化に関する調査研究を行った。

キーワード：海洋短波レーダー，海洋環境整備船，潮目推定，浮遊ゴミ回収の効率化

1. はじめに

港湾局では、船舶航行の障害、海洋汚染等の要因となる浮遊ゴミの回収を実施している（海洋環境整備事業）。浮遊ゴミの回収にあたっては、気象、海象状況および管理者等の要請の他、浮遊ゴミが潮目に集積する特性を利用して、港湾局で実施されている海洋短波レーダーの観測値（流向・流速）から潮目の予測を行い浮遊ゴミの回収を実施している。

本稿は、（財）沿岸技術研究センターが平成 18 年より取り組んだ海洋短波レーダーを利用した浮遊ゴミ回収の効率化に関する調査結果について報告するものである。

なお、海洋短波レーダーの基本原理は沿岸技術研究センター論文集 No. 7, 8^{1),2)}に委ねることにし、ここでは海洋短波レーダーと環境整備船漂流物移動予測システム（以下、システムと表記）の構成について述べる。システムの模式図を図-1 に示す。海洋短波レーダーで取得された波向や流速等の流況データは海洋短波レーダーシステムのサーバーに集積し解析されて海洋環境整備船の端末で表示される。

システムの主な機能を以下に示す。

- 海洋短波レーダーが設置されている周辺エリアの流況・波浪観測及び海象観測結果（風向）の最新情報を閲覧できる。
- 船舶運行者・管理者が、浮遊ゴミ発生の通報情報をシステムへ入力しゴミの移動経路の追跡・予測及び移動後の座標を表示することができる
- 浮遊ゴミ回収情報の登録、および統計処理機能が備わっている

表-1 港湾局の海洋短波レーダーの設置状況
(平成 21 年 3 月時点)

国土交通省 地方整備局名	海洋短波レーダー 設置海域	整備 年度	海洋短波 レーダー 局数
関東地方整備局	東京湾 3局 (船橋、千葉、大野磯)	H16	3
中部地方整備局	伊勢湾 2局(錦田、津松坂) 三河湾 2局(御津、馬草)	H16	6
	伊勢湾 1局(大湊) 三河湾 1局(立馬崎)	H17	
近畿地方整備局	大阪湾 2局 (平磯、久留麻)	H17	4
	紀伊水道 2局 (湊、雑賀崎)	H18	
四国地方整備局	紀伊水道 2局 (徳島、阿南)	H18	2
九州地方整備局	有明海 4局 (長洲、多比良、河内、宇土)	H17	4
			合計 19

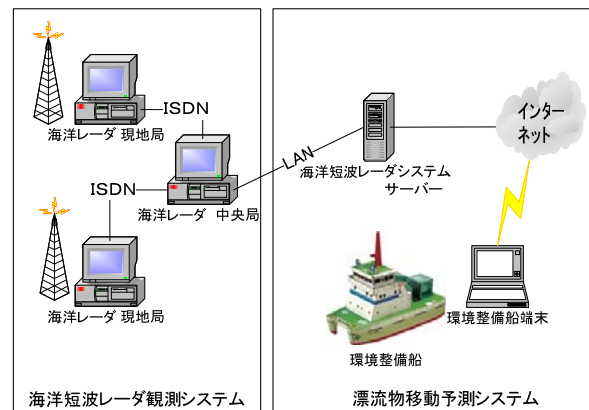


図-1 システムの模式図

2. 潮目予測及び浮遊物追跡に関する解析・検証

平成 18 年度から平成 19 年度に実施された調査結果を本章で紹介する。

2.1 潮目予測計算のモデル

海洋の表層には、まわりから流れが集まってきて下向きに流れる場所、すなわち海水の「水平収束域」(＝潮目)がある。海洋の表層を漂うゴミは「水平収束域」に集められて、もしゴミが海中に沈み込まなければ、水平収束域に沿ってゴミが集積しやすい(図-2)。従って海洋短波レーダーにより観測された二次元平面の流れデータから、この「水平収束域」を検出することができれば、ゴミが集まりやすい箇所を推定することができる。

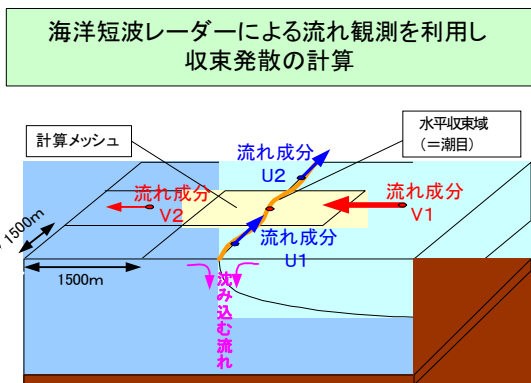


図-2 海洋短波レーダーで計測した流れから潮目位置を推定するイメージ図

海洋短波レーダーは1時間毎に二次元平面の表層流を観測し、その観測値を空間分解能 $\Delta s=1500\text{m}$ の格子点上(海洋短波レーダー24.5MHzの場合)に表すことができるため、1時間毎の収束発散を計算することができる。収束発散計算は、格子点 (i, j, k) のX軸方向とY軸方向の流速を $u_{i,j,k}$ と $v_{i,j,k}$ とすると(図-3)、式(1)に示すダイバージェンス $Div_{i,j,k}$ で表すことができる。

$$Div_{i,j,k} = -\frac{A}{2\Delta s}(-u_{i+1,j,k} + u_{i-1,j,k} - v_{i,j+1,k} + v_{i,j-1,k}) \dots (1)$$

ここで、

A: ベクトル場

i, j : 座標

k: 時刻

をあらわす。

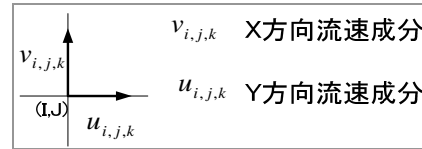
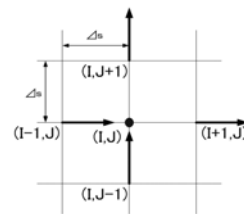


図-3 収束発散計算の格子座標系

2.2 潮目予測の検証

平成 18 年の調査では、システムの潮目予測精度の確認が行った。これは 2.1 (1) 式により推定された潮目位置と海洋環境整備船の船尾に取り付けられた計測器で計測された海水の温度と塩分濃度の急変箇所(潮目位置)との比較を行うものである¹⁾。図-4の平面図は潮目位置の推定結果を示す。青→緑→赤となるにつれて潮目の発生が顕著となることを示す。6月15日、15:00時点の潮目の予測位置(黄色)は4G, 5F, 6F, 7D, 7Eの海域であり、14:00~15:00の間にゴミ回収が4F, 5Fの海域で実施された。このときの航走水温・塩分(図-4 下図)データによれば、14:00~15:00付近で水温の急変(潮目の発生)が見られる。以上より、潮目の推定位置と実際の潮目の位置は比較的一致していたことがわかる。

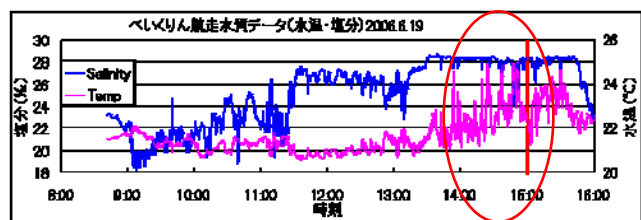
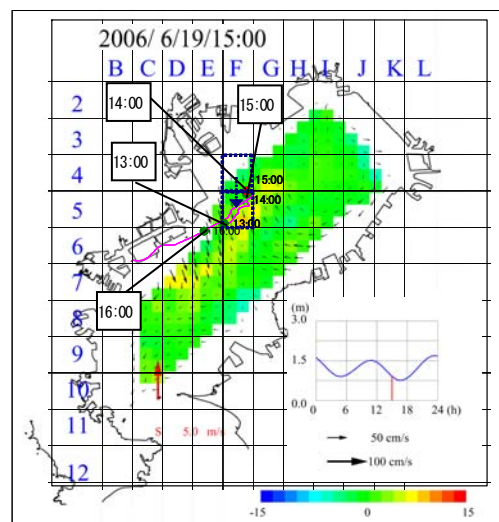


図-4 潮目発生図と航走水温・塩分データ時系列の比較¹⁾

2.3 流速分布とレーダーによる観測値との相関

潮汐や風により海上を浮遊するゴミの移動特性を確認するために、浮遊ゴミに見立てたブイに電磁流速計を取り付けて表層の流速データを観測した(図-5参照)。ブイの流速値とレーダーにより観測された流速値との比較を図-6に示す¹⁾。これより、レーダーによる流速値は表層付近における水深0.5mの流速と概ね一致していると言える。

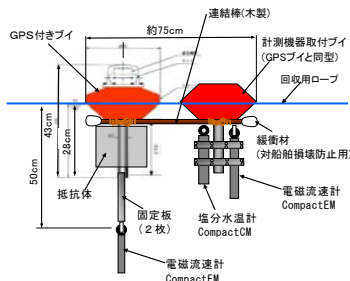


図-5 漂流ブイ一般図¹⁾

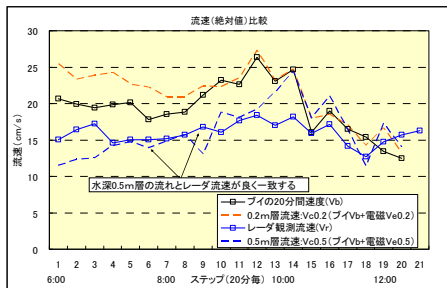


図-6 各層毎の流れの計測値と予測値の比較¹⁾

2.4 浮遊ゴミの移動・集積予測機能の検証

浮遊ゴミの移動予測機能を検証するために、浮遊ゴミに見立てた仮想粒子を図-7左図の通り配置し、29時間後の移動経路と集積箇所を予測した(図-7右図)。図-7右図の清掃船の航跡の黒丸はゴミの回収箇所を表している²⁾。これより、浮遊ゴミの移動・集積予測箇所と回収箇所は比較的一致しており、ゴミの移動・集積現象を完全ではないものの表現していたと考えられる。

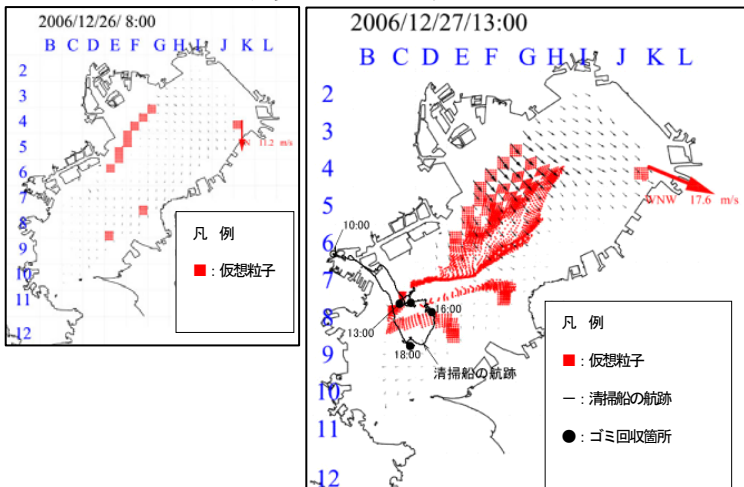


図-7 仮想粒子の移動計算結果²⁾

(左図は粒子配置直後、右図は粒子の移動と回収実績を表す)

3. ゴミ回収効率化の検証

3.1 調査の目的と手法

過年度の成果を受けて、平成20年度はシステムによるゴミ回収の効率化を検証するため、海洋環境船による回収実績とシステムによる潮目の発生箇所(ゴミの回収箇所)の推定結果の比較を行った³⁾。

海上を浮遊するゴミは一般的に潮目に集まりやすい性質を有するので、海洋環境整備船によるゴミの回収箇所は潮目が発生するところと想定した。ゴミ回収の効率化を確認するための調査実施フローを図-8に示す。

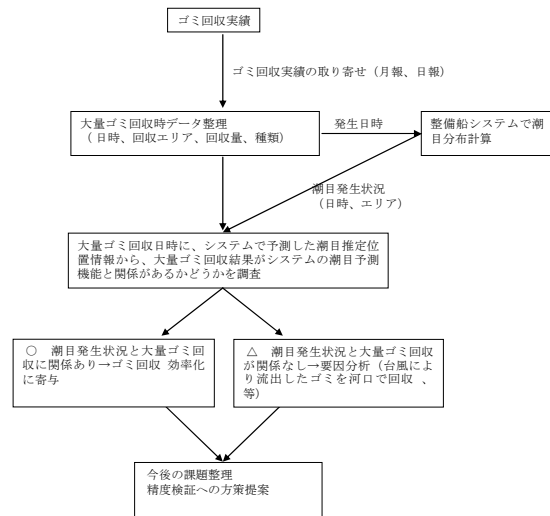


図-8 調査実施フロー図

東京湾、伊勢・三河湾、有明海の平成20年度のゴミ回収実績データを収集・整理し、ゴミ回収箇所を特定した。回収日当日の風速等のデータをシステムに入力して潮目の分布(収束域の分布状況)を計算し、ゴミ回収箇所との比較・検証を行った。

3.4 浮遊ゴミ回収実績と推定結果の比較

東京湾、伊勢・三河湾の平成20年度ゴミ回収実績を表-2に示す。表-2をもとにシステムによって推定した潮目の状況(収束域の分布状況)と二湾におけるゴミの回収箇所の比較を図9~12に示す(上図に回収箇所、下図に回収箇所と推定状況を表す)。

表-2 各地方整備局のゴミの回収実績

No.	場所	月日	回収量(m ³)	出向時の判断状況
①	東京湾	9/2	15.0	当日の天候を確認し出航
②	伊勢・三河湾	9/3	17.0	港湾管理者からの要請
③	伊勢・三河湾	9/4	64.0	港湾管理者からの要請
④	東京湾	11/7	7.6	通常業務

(※ 回収日順)

図-9 の No. ①の東京湾では、回収位置と同じ位置において潮目推定結果の収束は弱く (黄緑色や緑色), 比較が難しい. 一方, 図-10 の No. ②の伊勢湾については, ゴミの回収位置において潮目推定結果では, 強い収束 (橙色, 赤色) が見られるが, 青色の発散傾向も見られるためシステムの評価が難しい. ただし, 回収箇所と収束箇所 (橙色, 赤色) が一致している部分があるので, ゴミ回収の効率を図る上で有益なデータが得られたと考えられる. 図-11 の No. ③の伊勢湾の回収位置では, 計算結果が青色の発散傾向を示し, 回収実績との相関性は得られなかった. 図-12 の No. ④の東京湾については, 潮目推定箇所が強い収束 (橙色, 赤色) を示しており, 若干発散傾向 (水色) にあるものの, 回収位置と概ね一致していたと言える. 4 ケース中最も良い結果を示した.

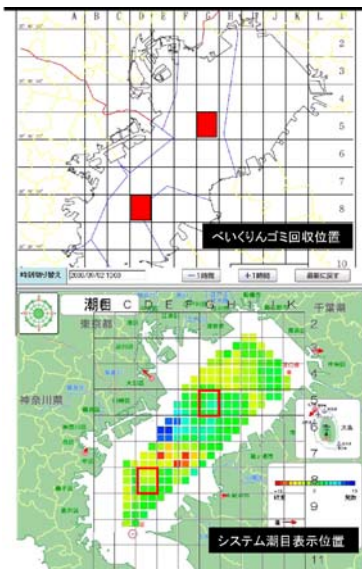


図-9 東京湾の回収箇所と潮目推定結果 ①

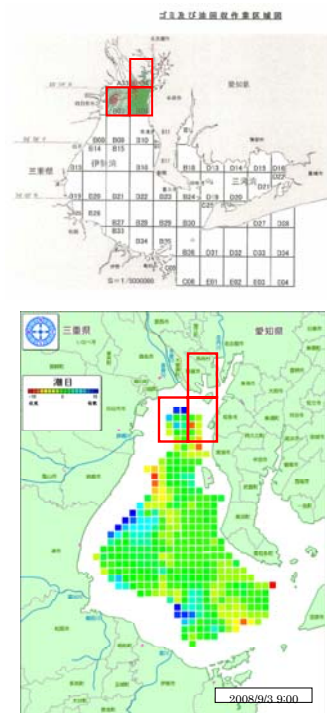


図-10 伊勢・三河湾の回収箇所と潮目推定結果 ②

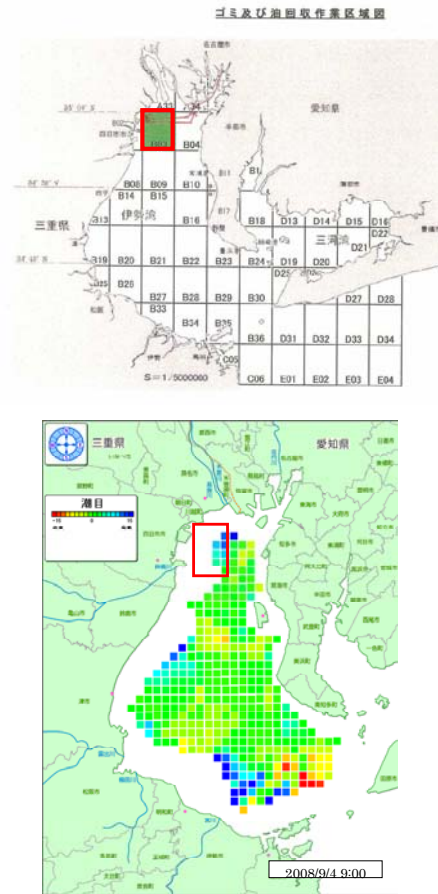


図-11 伊勢・三河湾の回収箇所と潮目推定結果 ③

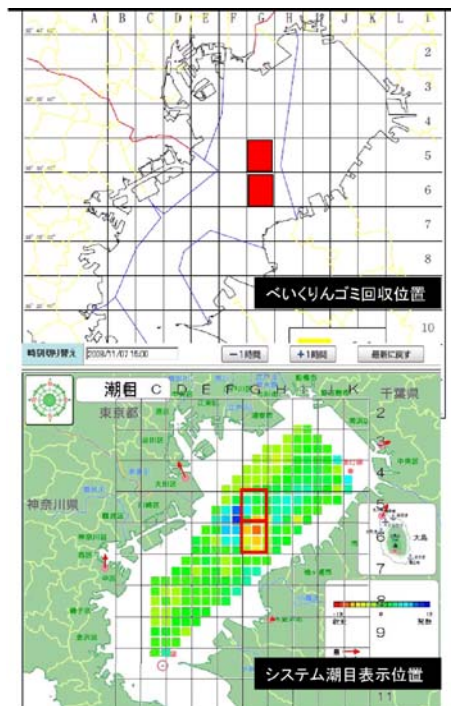


図-12 東京湾の回収箇所と潮目推定結果 ④

4. まとめ

過年度と今年度の成果は以下のとおりである。

- 1) 潮目推定位置は実測値（航送時の塩分と水温の急変箇所）と比較的一致していたが、完全とは言えないので継続して潮目予測の精度を確認していく必要がある。
- 2) 浮遊ゴミの移動・集積予測はゴミの回収箇所と比較的一致していたが、ゴミの移動・集積現象を完全には表現できていないので、継続して調査をしていくことが望ましい。
- 3) システムによる潮目の推定箇所は、回収箇所と概ね一致していた場合と一致していない場合があり予測精度の確認ができなかった。ただしシステムは出航判断を手助けする材料となり得るものと考えられるので、今後継続して予測精度を確認していく必要がある。

以上より、海洋短波レーダーは海洋環境整備事業に役立つものと考えられるが、海洋短波レーダーを利用して浮遊ゴミの回収効率の向上を図るためにも、調査を行いその有効性を更に検証する必要があると言えるだろう。

参考文献

- 1) 榊原雅人・根木貴史・小山内英雄（2007）：海洋短波レーダーを活用した浮遊ゴミ回収技術について、沿岸技術研究センター論文集 No. 7, pp. 55-58
- 2) 峰本健正・榊原雅人・根木貴史・小田幸信・鈴木信昭・近藤徹・中島謙二郎（2008）：海洋短波レーダの利用とその高度化に関する研究、沿岸技術研究センター論文集 No. 8, pp. 61-67
- 3) 国土交通省港湾局・（財）沿岸技術研究センター：平成20年度海洋短波レーダーを活用した漂流物予測システムの高度化検討調査 報告書 平成21年3月