

VHF 海洋短波レーダを用いた潮目予測への適用可能性の検討

村 嶋 陽 一* ・ 徳 田 正 幸** ・ 福 田 幸 司***
茂 崎 慎 治**** ・ 大 利 桂 子***** ・ 藤 良 太 郎*****

1. はじめに

海上のごみは船舶の航行、漁業活動の障害となっている。この海上のごみ回収の効率化には、浮遊物の集積域となる潮目が出現する海域の予測、すなわち、浮遊物が集積する表層の収束域と浮遊物の移動を予測することが必要である。従来、潮目の位置は、数値計算などにより予測が行われていたが、その精度向上が課題であった。これは、浮遊物の移動を支配する広域の表層流動を観測する手法がなく、浮遊物が集積する潮目の移動、形成を予測することが困難であったことが一因である。近年、広域の表層流動が観測できる海洋短波レーダが開発され、従来の数値計算とは異なる予測手法が可能となった。本研究の目的は、空間的に 500 m の分解能を持つ VHF 帯の電波を用いた海洋短波レーダの観測結果を用いて、播磨灘北東部海域の表層流の発散・収束解析および浮遊物の移動予測を行い、潮目の位置予測への有効性を検討することである。

2. VHF 海洋短波レーダ観測

2.1 観 測 方 法

VHF 海洋短波レーダによる観測は、鹿ノ瀬を中心とした約 400 km²の海域 (図-1) を対象として、2000 年 5 月～8 月の間に実施した。観測海域東側は、水深約 80 m と最も深く、観測海域中央付近に鹿ノ瀬があり、それを取り囲むように水深 20～30 m の海底が続いている。また、淡路島側には水深 10 m 程度の室津ノ瀬があり、この室津ノ瀬と鹿ノ瀬との間は、水深約 30 m の海域となっている。

これまでの研究成果 (徳田ら, 1999a, 2000a) をもとに、ブラッグ共鳴散乱による反射波から共鳴波の位相速度のドップラーシフトを抽出し、1 時間ピッチで得られ

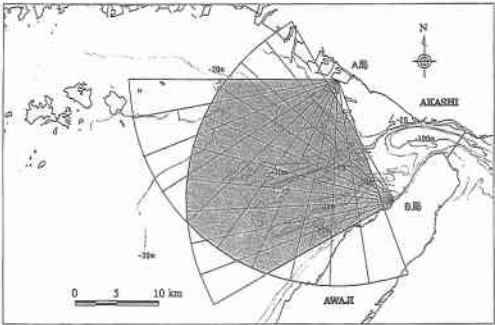


図-1 播磨灘の観測範囲
(A, B 局からのビームの交差範囲内が観測範囲となる)

た海面の表層流動について時空間補間を行い、500 m のメッシュ化を行った。VHF 海洋短波レーダの観測方法、解析手法に関してはこれらの文献を参考にされたい。

2.2 流況解析手法

海洋短波レーダにより観測される表層流は、ドップラースペクトルの一次散乱スペクトルピーク周波数から抽出されたものである。このピーク周波数は、+側、-側の周波数に対して、流れゼロ周波数から同じように表層流のドップラーシフト分ずれている。

対岸からの反射などのノイズが影響を及ぼす場合、正常なスペクトルピーク周波数を正確に抽出することに困難が生じる。その対策として、流れを決定する 2 つの一次散乱周波数のピーク値を重ねる方法を開発した。これにより正常なピーク周波数が強調され、より正確に流れを算定することが可能となった (徳田ら, 1999a, 2000a)。本調査ではこの手法を用い、4 ヶ月間にわたる観測を実施した。

2.3 表 層 流

大潮時にあたる 6 月 2 日の流況を図-2 に示す。調査範囲の表層流の流況パターンや調和解 (図-3) 等で得られた結果は、徳田ら (2000a) の結果と同様であり、主要 4 分潮の潮流楕円などに顕著な違いはみられない。調査範囲の表層流は、12 時間周期での東西方向の往復流が卓越し、東流に比べ西流が大きい。また、残差流により鹿ノ瀬北側から南側に時計回りの流れが形成される。

* 正会員	国際航業(株)	海洋エンジニアリング部
** 正会員 理博	国際航業(株)	技術センター
*** 正会員	国土交通省	近畿地方整備局 神戸港湾工事事務所
****	国土交通省	近畿地方整備局 神戸港湾工事事務所
*****	国際航業(株)	関西海洋部
***** 正会員	国際航業(株)	関西海洋部

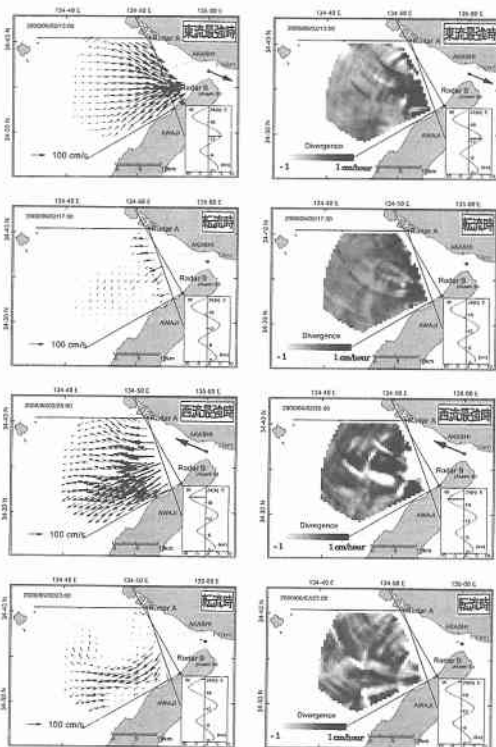


図-2 大潮時(6月2日)の流れ(左)と発散・収束分布(右)
(発散・収束は収束域を黒,発散域を白で表現している)

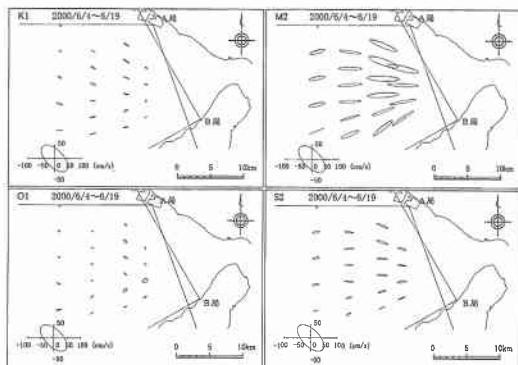


図-3 観測範囲の主要4分潮

3. 収束域の分布

潮目域の特性である表層水の収束に着目し, VHF 海洋短波レーダから得られた 500 m メッシュの流況を用いて発散・収束解析を行った。メッシュごとの収支計算を行い, 水平流出に比べ水平流入が大きいメッシュを収束域とした。この収束域の分布と国土交通省が実施しているゴミ回収船による潮目の確認記録とを比較した。

3.1 発散・収束解析

発散・収束の解析は徳田ら(1999a)の手法を用い, 本論文では1時間の水位変化(cm)で表現した。潮目ではその特性上, 表層において収束し, 沈降流が形成されている。この流れにより集まった海面の浮遊物は, 沈降できずに海表面に集積し, 潮目として認識されることになる。強い収束域では潮目が形成されている可能性が高いと考えられる。

3.2 発散・収束分布

1時間ごとの発散・収束解析の結果について統計解析を行い, 500 m メッシュでの収束が 1 cm/hour 以上の海域の出現頻度分布と国土交通省が実施しているゴミ回収船による潮目の確認海域を比較した(図-4)。観測範囲で収束域の発生頻度の高い海域は, 観測範囲の明石海峡側と, 鹿ノ瀬と津津ノ瀬の間に広く分布している。また, 鹿ノ瀬北側では潮目の発生域が水深 20 m の等深線に沿った海域で筋上に分布している。また, 収束域となる頻度の低い海域は, 鹿ノ瀬, 津津ノ瀬などの浅瀬や, 鹿ノ瀬の北側から北西側の海域である。

ゴミ回収船の潮目の確認域は明石海峡側で多く, 収束域の出現頻度分布とおおよそ一致する。しかし, 淡路島沿岸, 鹿ノ瀬北西側など, 収束域となる頻度が少ない海域でも潮目は確認されている。

ここで, 徳田ら(2000a)が行った位相区分を用い, 東

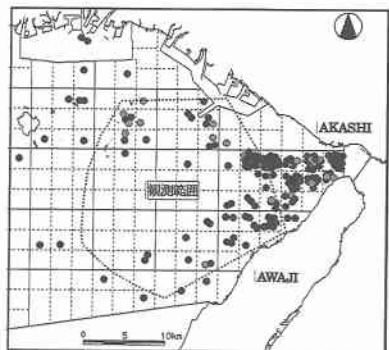
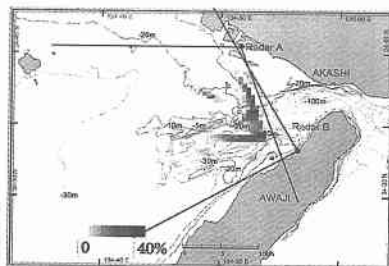


図-4 観測範囲の収束域の出現頻度分布(上)とゴミ回収船による潮目の確認海域(下)

流最強時から次の東流最強時までを1周期として8分割し、この位相ごとに発散・収束解析結果が1 cm/hour以上となる海域の頻度分布と、ごみ回収船による潮目の確認位置を比較することで、収束域が潮目の発生海域となっていることを検証した(図-5)。

徳田ら(1999a, 2000a)は9月~10月の15日間についてその平均値から概略的な発散・収束分布特性について述べている。本論文では、4ヶ月間の長期データを用い、収束域の発生海域に着目し、位相毎の時間帯に分け、メッシュ毎に収束域となる頻度を解析した。

東流時で明石海峡に向かう流れの集まる位相8、位相1(東流最強時)、位相2では、収束域は鹿ノ瀬と室津ノ瀬の間、鹿ノ瀬東側から東播磨港沖にかけてと、鹿ノ瀬北側の水深20 m線に沿った海域に広く分布する。位相2では、淡路島沿岸にも収束域が多く出現する。

東流からの転流時である位相3では、収束域は鹿ノ瀬の南東から東側に分布し、東流時同様、鹿ノ瀬東側から東播磨港沖の海域に多い。

西流時である位相4、位相5(西流最強時)、位相6では、収束域は鹿ノ瀬の南東側と、鹿ノ瀬北東側から東播磨港沖に多くなる。鹿ノ瀬南東海域の発生域は位相4の時間帯より位相5、6で淡路島沿岸域に移動する。また、

位相6では鹿ノ瀬南西側と鹿ノ瀬北側の水深20 m線に沿った海域に収束域が現れる。

西流からの転流時である位相7では、鹿ノ瀬北東側の高蔵瀬周辺と、鹿ノ瀬北方の水深20 m線に沿った海域、鹿ノ瀬南側の東西方向の線状に収束域が現れる。

このように、観測海域における収束域の出現には大きく以下の4パターンがみられた。

- ①東流時、明石海峡に流れが集中することにより形成される鹿ノ瀬南側から明石海峡の間の強い収束域。
- ②東流時、鹿ノ瀬北側の東流と、東播磨港沿岸に沿った南東流の境界に形成される鹿ノ瀬北側の収束域。
- ③西流時、鹿ノ瀬南側の南西流と、室津ノ瀬に形成される反時計回りの流れとの間に形成される収束域。
- ④西流時、明石海峡からの強流の先端部に形成される収束域。

これらの収束域の分布は、そのほとんどがその時間帯(位相)の潮目の確認位置と同様の分布を示しており、収束域において潮目が多く確認されていることが確かめられた。しかし、収束域とはならない海域でも潮目の確認記録がある。これらの海域については潮目の発生のみでなく、その後の移動を予測する必要がある。次にVHF海洋短波レーダの流況場を用いた潮目の追跡について検討

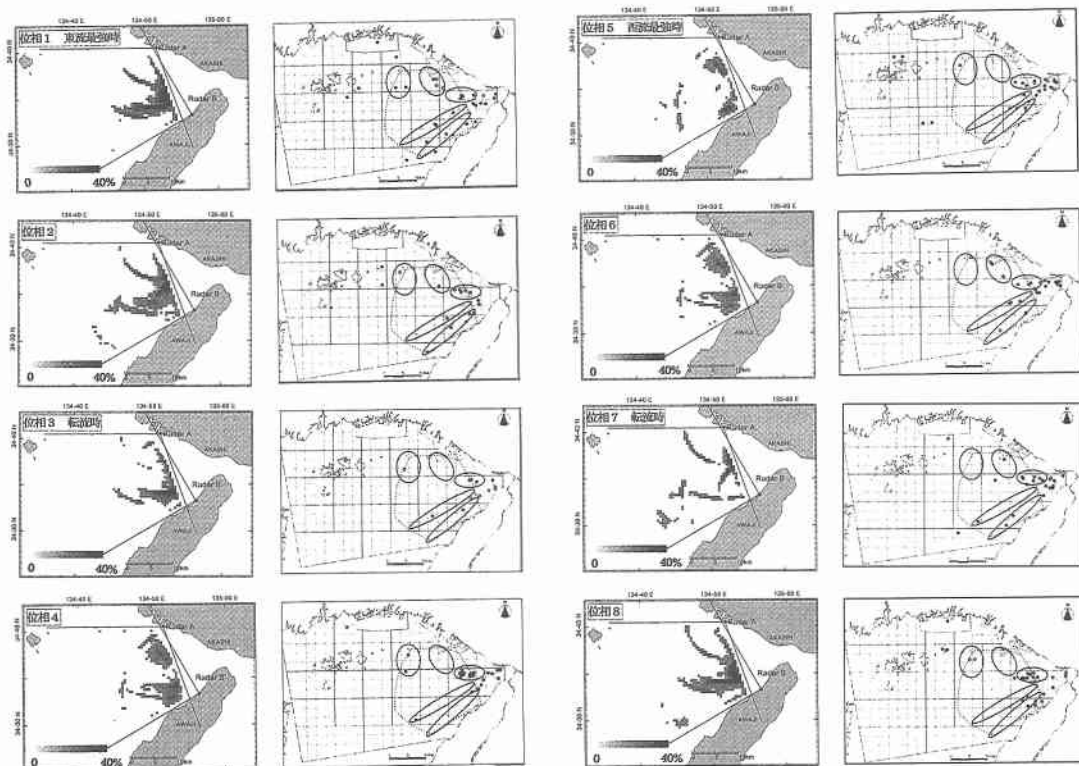


図-5 位相毎の収束域分布(1 cm/hour以上となる頻度)とゴミ回収船による潮目の確認位置

する。

4. 潮目の追跡

潮目の位置を予測するためには潮目の発生後の追跡を行う必要がある。この場合の潮目は、海上の浮遊物が集まってきている水域ではなく、潮目に集積した海上の浮遊物が徐々に拡散する過程で、海の流れにより運ばれている状態のものを含むことになるが、ここでは特に区別せず、潮目と表記する。

潮目の追跡に関しては、徳田ら (1999a) が海上で観測された潮目の移動について VHF 短波海洋レーダによる流況場で追跡できることを確認している。

ここでは、潮目の追跡におけるケーススタディを増やし、潮目の発生源からの追跡がどの程度可能であるかを確認するため、VHF 海洋短波レーダ観測期間中に船舶を用いて行った潮目の追跡調査結果や衛星写真を用い、VHF 海洋短波レーダによる表層流動場のメッシュデータをを用いた移動追跡結果との比較を試みた。

4.1 検証データ

VHF 海洋短波レーダの観測期間内の 6 月 2 日、7 月 3 日に、船舶を用いた現地潮目観測を行った。レーダ観測範囲内で潮目を探索し、潮目上にペニヤ板や漂流管を投入し、それらを追跡することで潮目の移動を観測した。

4.2 潮目の移動

6 月 2 日の観測では淡路島沿岸域で、7 月 4 日の観測では鹿ノ瀬北側、西側で潮目を確認し、それぞれ数時間の追跡を行った (図-6)。

6 月 2 日：潮目は弱まりながら (ごみ集積域が徐々に拡散しながら)、10:30 頃まで西南西に淡路島に沿って移動した。潮目は 10:30 頃を境に時計回りに転流し、東北東 (明石海峡側) に進路を変え、今度は強まりながら (ごみが潮目に収束しながら)、速度をあげつつ移動した。

7 月 3 日の播磨灘北側海域：10:00 頃潮目を発見し、追跡を行った。11:10 頃から潮目上のごみが徐々に拡散し、11:45 頃には消散した。この間、潮目は北方向に移動した。

7 月 3 日の播磨灘南側海域：10:30 頃ごみが大量に集積している潮目を発見し、追跡を行った。潮目は発見時には西に移動し、潮目上のごみは徐々に拡散しながら 12:00 頃反転した。その後東に移動するに伴い再び潮目に大量のごみが集積した。

図-6 に示したように、潮目の移動は、VHF 海洋短波レーダによる表層流をそのまま潮目の移動とした予測とおおよそ一致し、VHF 海洋短波レーダの流況場を使用することにより、潮目の移動については数時間であれば潮目探索の可能な誤差 (視界 2 km 程度) で予想できることが確かめられた。また、このことは確認された潮目が

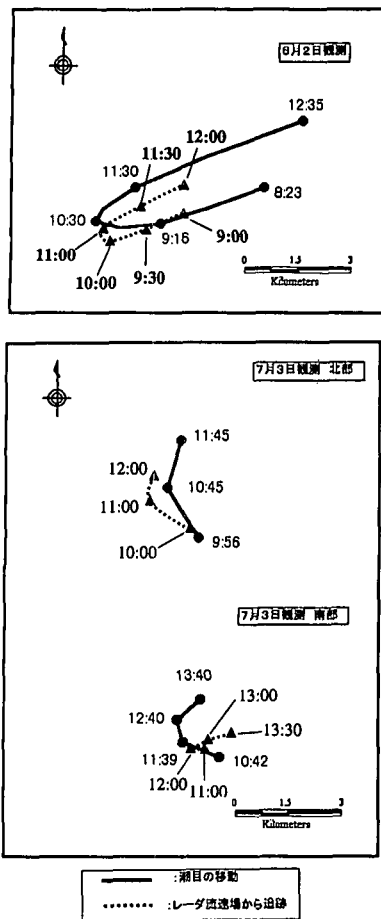


図-6 海上観測による潮目の移動と追跡予測の比較

移動してきた経路を推定できることを示している。一方、潮目はその移動過程において拡散、集積を繰り返していることが確かめられた。

4.3 衛星写真データによる検証

潮目の位置予測の一例として、観測期間中である 7 月 16 日 10:00 の LANDSAT 衛星写真で確認した潮目の出現個所について、収束域からの潮目移動を用いて予測した潮目位置と比較した結果を示す (図-7)。

衛星写真では潮目を面的に特定でき、その位置を線状に把握することができる。7 月 16 日の衛星写真では観測範囲内の鹿ノ瀬北方の明石沖と鹿ノ瀬南方の淡路島沿岸の 2ヶ所で潮目が確認できた (図-7 (下))。明石沖の潮目は南北に伸び、延長は 5 km 程度、淡路島沿岸の潮目は淡路島に沿って東西に伸び、延長は 3 km 程度である。

衛星写真撮影時 (10:00) には、潮目の出現している海域は収束域ではないが、6:00 時点の発散・収束分布では、東播磨港沖、鹿ノ瀬南東部に 1 cm/hour 以上の強い収束域が存在している (図-7 (上))。この収束域を潮目

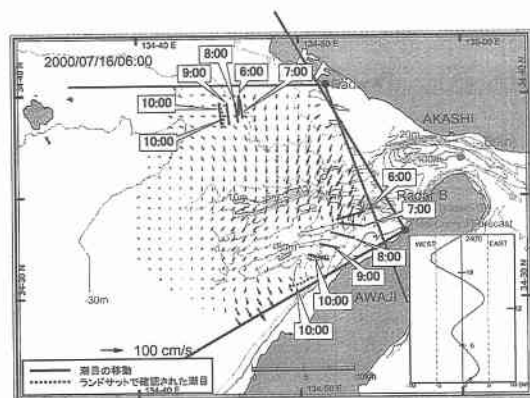
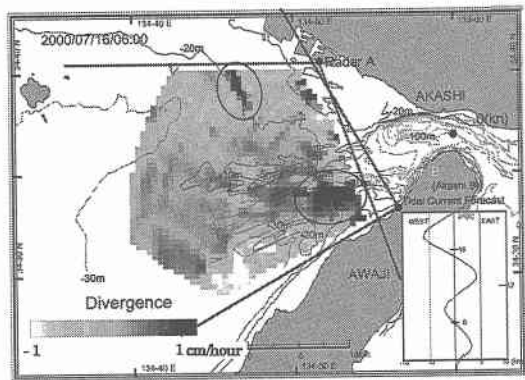


図-7 収束域分布による潮目発生源の推定(上)および潮目移動予測結果とLANDSAT衛星写真による潮目位置(下)

の発生源と仮定し、VHF 海洋短波レーダの流況を用いた1時間毎の潮目の移動予測を行った(図-7(下))。

この結果、鹿ノ瀬北側の潮目の位置は予測結果とよく一致した。衛星写真により確認された潮目は、6:00頃に発生したものが、その後表層流により移動したものであると考えられる。また、淡路島沿岸の潮目の予測結果は3 km 程ずれている。この潮目は観測範囲外から流入した可能性もあり、潮目の発生源の設定における課題である。

5. ま と め

本研究により、以下のことが確かめられた。①播磨灘北東部海域では、半日周潮の東西流が卓越し、鹿ノ瀬を

中心とした時計回りの残差流が形成されている。②潮目の出現海域と VHF 海洋短波レーダ観測結果から得られた収束域はおおむね一致する。③潮目の移動と VHF 海洋短波レーダの流れはほぼ1:1で対応する。以上から分解能 500 m の VHF 海洋短波レーダを使用し、アルゴリズムを改良させたことにより、内湾域の詳細な流況と流況から導かれる収束域分布が得られ、潮目が多く出現する海域、時間帯を予測でき、短時間の潮目の追跡予測も可能であることが示された。

さらに潮目予測の精度を向上させるためには、潮目の発生海域の絞り込み、発生した潮目とその移動過程においてどのように拡散し、消滅するかなど、今後明らかにしていく必要がある。これには渦度、風況などの情報の活用が有効であると考えられる。本論文では述べなかったが渦度については、徳田ら(1999a, 2000a)により、その平面分布と潮目の確認位置の関連が示されており、海域の渦が潮目の移動経路と関連していることが考えられる。

具体的なデータをもってこれらを検証し、潮目位置の予測手法を確立していくためには、現段階では潮目の分布・移動の情報が不足している。VHF 海洋短波レーダで得られた流況データを活用するとともに、現地の潮目情報を収集し、その発生、消滅条件を明らかにしていくことが望まれる。

謝辞：本研究において、東京工業大学八木助教授には適切な意見を頂き、また、国際航業株式会社金津伸好氏にご助力を頂きました。記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 徳田正幸・永松 宏 (1999): 短波海洋レーダの表層流の自動抽出法の開発, 海洋調査技術, 第11巻, 第1号, pp. 1-19.
- 徳田正幸・金津伸好・村嶋陽一 (2000): 短波海洋レーダの表層流の自動抽出法の開発-2, 海洋調査技術, 第12巻, 第1号, pp. 7-13.
- 徳田正幸・寺内 潔・村嶋定男・村嶋陽一・金津伸好 (1999): VHF 沿岸海洋レーダの表層流観測による潮目挙動の解析, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 1346-1350.
- 徳田正幸・福田幸司・茂崎慎治・村嶋陽一・金津伸好・八木 宏 (2000): VHF 海洋レーダ観測による播磨灘の表層流特性, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 1366-1370.