

海洋短波レーダの利用とその高度化に関する研究

峰本健正*・榊原雅人**・根木貴史***・小田幸伸****・鈴木信昭*****・近藤徹*****・中島謙二郎*****

* 前 (財) 沿岸技術研究センター 企画部 主任研究員

** (財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

*** 前 (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 専門官

***** 前 国土交通省 関東地方整備局 横浜港湾空港技術調査事務所 調査課 課長

***** 国土交通省 四国地方整備局 高松港湾空港技術調査事務所 技術開発課 課長

***** 国土交通省 九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所 環境課 課長

広域的な水域の流速や波浪に関する情報を面的に観測できる海洋短波レーダは、水面の流れをリアルタイムかつ広域に観測することができ、環境モニタリングに活用可能なシステムとして、近年多くの海域において使用されている。

昨年度、(財)沿岸技術研究センターでは、海洋短波レーダで取得されるデータの海洋環境整備船への適用、及び観測技術の高度化について調査研究を行った。

キーワード：海洋短波レーダ，国際電気通信連合 (ITU)，世界無線通信会議 (WRC)，海洋環境整備船，浮遊物，高度化，潮目予測，ゴミ回収

1. はじめに

沿岸域の流況や波浪の観測において、海上での直接的な観測を行う場合、海域の広さや時間帯に見合った観測地点の設置、観測回数が必要となり、結果的にその実施には、詳細な観測を展開するほど、多くの労力やコストがかかることになる。これに対し、海洋短波レーダは、陸上に設置される機器により観測を行うものであることから、荒天時においても運用可能であるとともに機器の保守・維持管理についても比較的容易に行える利点がある (図-1)。また、広域な海域の表層流況・波浪情報を面的にかつ準リアルタイムに観測できる特徴を有しており、近年、各方面で研究開発が進められているところである。

本稿では、(財)沿岸技術研究センターにおいて平成 19 年度に取り組んだ海洋短波レーダに関する調査研究について報告する。



図-1 海洋短波レーダ局アンテナ (有明海・宇土局)

2. 海洋短波レーダの原理

海洋短波レーダの原理は、陸上機器のアンテナから海上に向けて電波を照射し、海面で反射された電波信号を周波数解析することで得られるドップラスペクトルを、

さらに成分毎に解析することによって、流速及び波浪 (波高、周期、波向き) を求めるというものである。図-2 に HF レーダで観測したドップラスペクトルの一例を示す。陸上のアンテナから海面に向けて短波帯 24.5MHz の電波 (波長約 12m) を照射した場合、海面の波浪 (波長約 6m) に共鳴散乱し、横軸に示した周波数 +0.505Hz と -0.505Hz 付近に赤色で塗られた大きなピークが発生する。これは 1 次散乱ピークと呼ばれ、レーダ波と共鳴散乱を起こす海面波によるものである。この 1 次散乱ピークの位置からは、レーダビーム視線方向の表層流速を知ることができる。加えて、1 次散乱のまわりには、小さいピークが多数現れる。これは、海洋表面におけるあらゆる周期及び波向きの成分に関係する 2 次散乱と呼ばれるものであり、これを解析することによって波浪情報を得ることができる。

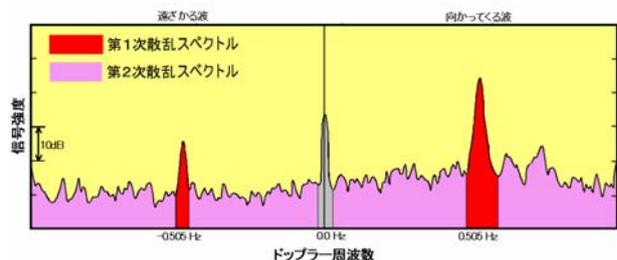


図-2 海洋短波レーダによるドップラスペクトルの例

3. 国内の位置付けと国際化への対応

3.1 国内での位置付け

現在、日本国内では、研究機関が設置したものも含め、約 50 基の海洋短波レーダが稼働している (図-3)。中でも

国土交通省港湾局では、全国6つの閉鎖性海域に「海洋短波レーダ」を設置し、海洋環境のモニタリングや効率的な環境整備船の運航などに活用している。

一方、日本国内の電波利用を監理している総務省は、当該レーダの電波割当てに関し、国際的なルールがないことから、このレーダを「実験局」と位置付けており、その電波利用に関しては、暫定・時限的としている。

今後、同レーダを恒久的に活用するためには、「実用局」として運用するための正式な電波免許の取得が必要になった。

電波免許の取得には、電波帯の新たな利用に関して、一般に、国際分配の決定後、国内分配が決定されるというプロセスを踏む必要がある。現在、国際的にも同種レーダへの電波割当ては正式なルールになっていないことから、日本だけが勝手に正式利用を認めることもできないため、国際ルール化が必要になった。



図-3 国内における海洋短波レーダの稼働状況

3.2 国際化対応

一般的な無線システムが利用する周波数の割り当ては、国内では総務省が管轄している。国際的には、国際電気通信連合 (ITU) が制定する国際無線通信規則 (RR: Radio Regulation) によって規制されている。

無線通信網が使用する新たな周波数の利用に当たっては、他国の無線通信網に対し有害な干渉を与え（又は受け）ないよう、その使用に先立ち、当該無線通信網を計画する主管庁が ITU で定める RR の規定に基づき、国際的な技術的調整を行うことが必要となっている。

そこで、2007年10～11月にスイスジュネーブで開催された世界無線通信会議 (WRC: World Radiocommunication Conference) WRC07 に日本代表団の一員として参加し、海洋短波レーダが利用する電波帯を世界標準にすることを次回会議 (2011年の WRC11) において正式に審議するよう日本から提案した。

その結果、「HF Oceanographic Radar」(海洋短波レーダ)への周波数割り当てが、正式な議題として、次回2011年開催の WRC11 において議論されることになった。

今回の議題に決定されたことにより、ITU-R の SG (Study Group) さらには傘下の WP (Working Party) において、無線

システムの技術仕様の国際標準化や対象電波帯における既存利用者との共用条件等の技術的な問題点等について、今後4年間かけて継続して検討していくこととなった。

また、国内では、海洋短波レーダの国内技術検討委員会が組織され、総務省を中心とした「WRC2011への対応」と連携するため、ITU-R Study Group5, Working Party5B (以下、SG5, WP5B)への寄与文書等の作成や各国寄与文書の評価、これらに必要な技術検討等も行っていくことになった。

4. 東京湾における海洋環境整備船への活用

4.1 取組みの概要

関東地方整備局では、東京湾の海洋環境整備のために運航している清掃兼油回収船「べいくりん」による作業の高度化を目的とし、海洋短波レーダで取得される流況データを活用した、浮遊ゴミ回収情報システムの開発および高度化の検討を、平成17年度より行っている^{1),2)}。

昨年度は、平成18年度に構築されたシステムの試験運用結果や、新たな潮目予測機能の検証等を行った。

4.2 新たな潮目予測機能の検証

これまでのレーダで観測した流れを利用する収束発散分布図による潮目位置の捕捉機能は、東京湾全域で流れが弱い場合には僅かな収束しか示さず、明瞭な潮目位置の予測が難しいと考えられた。

一方、浮遊ゴミは、流れが弱くとも、流れとともに移動しているため、やはり弱い流れの収束域に集まる傾向にあるはずである。

そこで、この“弱い流れに乗っている浮遊ゴミの集積状況”を把握するため、レーダの観測範囲一帯に浮遊物に見立てた“粒子”が、レーダで観測された流れの方向に移動するという、粒子1個1個の追跡を行うことで、実際の浮遊ゴミや潮目のように筋上に分布するかどうか、衛星画像や浮遊ゴミ回収場所との検証を行った。

(1) 粒子移動分布の計算方法

東京湾内のレーダの観測範囲一帯または一部に浮遊物に見立てた“粒子”を多数浮かべ、その粒子がレーダで観測された流れの方向に移動するという、追跡を行った。

追跡シミュレーションは、浮遊物の移流・拡散の運動方程式を用い、以下の仮定の下に計算を行った。

- ・単体で漂流する粒子(浮遊するゴミ)を追跡する目的であるため、ゴミの海面への分布(拡がり方)を計算する必要はない。従って、シミュレーション上は拡散しない粒子群であるとする。つまり拡散係数をゼロとする。
- ・追跡計算において、流れ場は過去に観測されたレーダによる流れの観測値を使用する。必要な時刻と場所は、流れの観測データから補間法で内挿して与えるものとする。

(2) 粒子の配置方法

東京湾内のレーダ観測範囲内に、図-4 に示すように、浮遊ゴミが流入する河口域前面の一定の領域に、粒子を1km 四方単位(250m 間隔)に配置した。また、河川から次々に流入してくる浮遊物を再現するため、1時間毎に粒子を追加した。

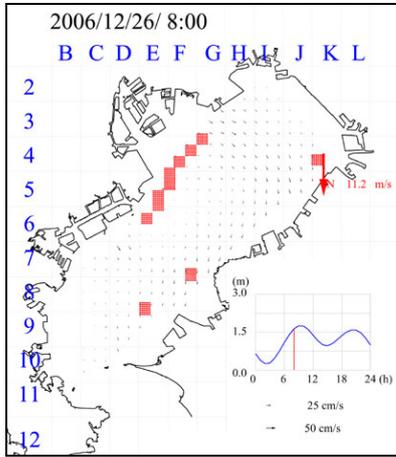


図-4 仮想粒子の配置(2006年12月26日8:00)

(3) 検証対象日時と検証条件

検証の対象日時は、Terra/Aster 衛星画像が入手できたことから、また、その日は、べいくりんは南本牧ふ頭沖を中心に、萱草、木材類等のゴミを約 30m³回収していることから、12月27日13:00とした。

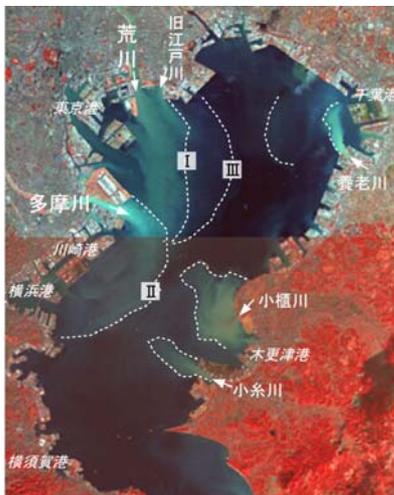


図-5 Terra/Aster 衛星画像(2006年12月27日13:32)

図-5は、2006年12月27日13:32に、Terra/Asterで撮影された可視・近赤外画像である。画像が撮影された前日は、南海から低気圧が発達しながら北東に進み、太平洋側で大雨と強風をもたらし、八王子測候所で日降水量168mm、多摩川の石原水位観測所の水位は27日2:00に3.4mを記録した。(低水敷きの高さは3~3.5m程度)

衛星写真では、東京港沖から横浜沖にかけて、荒川・旧江戸川および多摩川からの淡水流入による潮目(I,

II)が形成されており、さらにその外側にも明瞭ではないが潮目(III)が形成されていることから、26日から27日にかけて湾内へ大量の淡水が流入していたと推定される。

(4) 粒子の配置開始時刻

多摩川流域の田園調布雨量観測所と石原水位観測所(河口より27.7k)の2006年12月26日0:00~27日24:00までの雨量、多摩川水位の経時変化を図-6に示す。

川から浮遊ゴミが発生する状況を再現することから、多摩川の出水が始まった頃から配置するものとし、12月26日8:00と設定した。

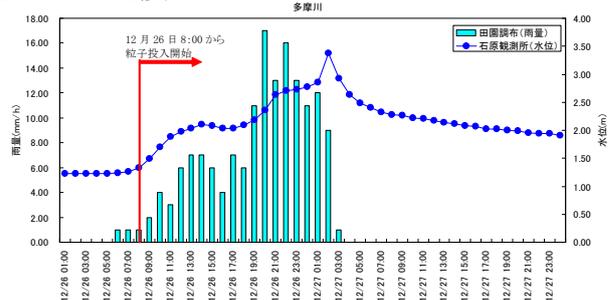


図-6 多摩川流域雨量・河川水位(2006.12.26~27, 国土交通省 水文水質データベース)

(5) 計算・検証結果

粒子の移動計算後29時間後(衛星画像の撮影時刻と同時刻)の12月27日13:00の仮想粒子の移動計算結果を図-7に示す。仮想粒子は荒川・旧江戸川から多摩川河口部にかけて筋状に集積する部分と、その外側に高密度かつ筋状に集積した分布がみられる。衛星画像と比較すると、高密度に筋状に集積した分布した位置が図-5の潮目(III)の位置に良く対応している。

また、図-7には27日の清掃船の浮遊ゴミ回収時の航跡も示している。当日は約30m³の浮遊ゴミを回収しており、仮想粒子の集積位置と浮遊ゴミ回収位置は良く一致していた。

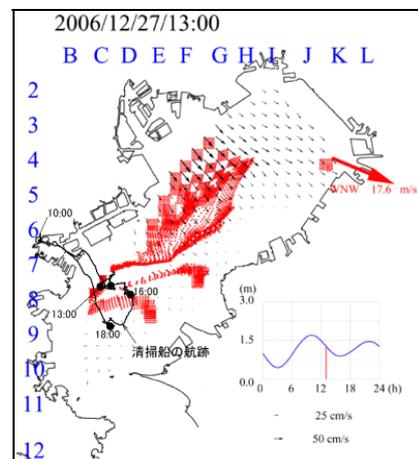


図-7 仮想粒子の移動計算結果(2006年12月27日13:00)

5. 紀伊水道西部海域におけるレーダ観測

5.1 取組みの概要

四国地方整備局においても、紀伊水道西部海域にて、東京湾と同様、海面清掃船の作業効率化・高度化を図ることを目的として、海洋短波レーダの観測情報を利用した「海洋環境整備船高度情報システム」の導入を予定している。

昨年度は、海洋短波レーダの特性や観測データ処理特性及び高度情報システムの機能検証を行うとともに、システム導入時に必要な事項について整理・検討した。

5.2 海洋短波レーダ観測処理特性

現在、国内及び海外で運用されている海洋短波レーダ機器は、コンパクトアンテナを用いた方向探知型レーダと、フェーズドアレイアンテナを用いたビームフォーミング型の2つに大別することができる。

紀伊水道西部海域に設置された海洋短波レーダは、垂直モノポール型のコンパクトタイプアンテナであり、他地整で採用されているフェーズドアレイアンテナとは表-1に示す通りの差がある。

今回初めてモノポール型アンテナにより観測されたデータを海洋環境整備船高度情報システムに適用するため、レーダが取得しているデータの有効範囲の確認および精度の検証を行った。

表-1 海洋短波レーダタイプの比較

	方向探知型 コンパクトアンテナ	ビームフォーミング型 フェーズドアレイアンテナ
機器例	SeaSonde (CODAR 社) など	NJRC (長野日本無線株) など
観測時間	通常長いデータ収集時間が必要。そのため更新間隔は通常 60 分程度	リアルタイムデータが得られ、受信 DBF (デジタルビームフォーミング) 方式により通常 10 分間隔で更新される。
流れと波浪測定	流れ測定の有効性は広く認められているが、波浪については数例のみである。	流れと波浪測定の有効性が広く認められている。
アンテナ設置面積	コンパクトなアンテナシステムにより容易な設置が可能。	十分な方向精度を得るため、長いアンテナ列を必要とする。設置場所が限定される。
流れ測定	高波浪時の流れ測定ではより低い HF 周波数を用いる必要がある。流れと波浪の信号分離ができないためである。アンテナパターンの測定が不可欠である。	流れ測定は海象に影響されない (高波浪時に高周波を使用する際は除く)。

5.3 流況観測と海洋レーダの精度検証

(1) 有効観測範囲の確認

海洋短波レーダの観測範囲は、レーダの仕様や設置場所の状況に応じて変化するが、紀伊水道西部海域に設置しているレーダの仕様では、目安として、ビーム交差角度 20° 以上、観測距離約 30 km 以内の海域であれば妥当な結果が得られる。

図-8 に計算による紀伊水道西部海域の誤差分布図を示す。青色から水色が誤差分布解析における有効計測範囲であり、赤メッシュは計測誤差が大きい範囲である。

鳴門海峡部分、レーダ局間の陸地側、紀淡海峡付近で計測誤差が大きくなっている。また、レーダ局から 25km 程度離れたエリアでも計測誤差が大きくなっている。

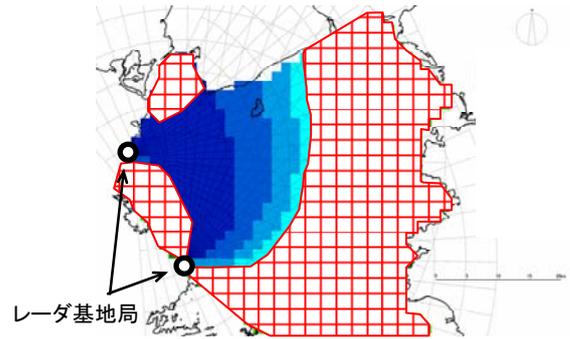


図-8 レーダの有効観測範囲

(2) 流況観測

海洋短波レーダの精度検証のため、電磁流速計にて流況観測調査を実施し、海洋短波レーダの観測結果との比較検証を行った。

流速計による現地観測は、海洋短波レーダのビームの交差角が 90° 度により近く、鳴門海峡付近でゴミ回収量が比較的多い場所にて行った。図-9 に示すように、流速計 4 本 (観測水深は 0.3m, 0.5m, 1.0m, 2.0m) を取り付けたいブイを海上に浮かべ、3 時期 (表-2) において、日の出から日の入りまで、10 分間隔で流速を観測した。

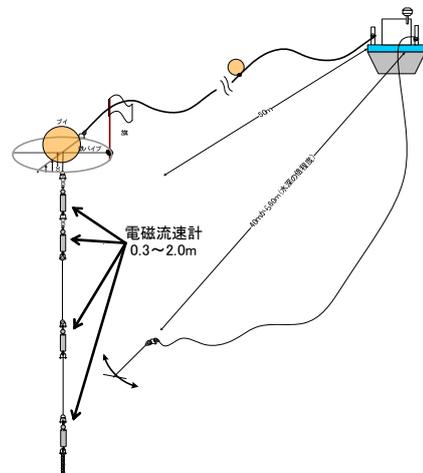


図-9 設置概略図

表-2 現地観測一覧

	観測期間	備考
1月22日	2008/1/22 7:30:00 ~2008/1/22 17:30:00	日の出から日の入りまで観測
2月2日	2008/2/2 8:30:00 ~2008/2/2 17:30:00	日の出から日の入りまで観測
2月16日	2008/2/16 8:00:00 ~2008/2/16 15:30:00	天候不良のため 15:30 に撤収

今回の観測は、日の出から日の入りまでの短期間の観測データであった。観測当日の天候は、1月22日及び2

月 2 日は穏やかであったが、2 月 16 日は風が強かった。

(3) 現地調査と海洋短波レーダの結果比較

短時間での評価であるが、1 月 22 日と 2 月 2 日は海洋短波レーダと流速計の相関は高かった。しかし、詳細な分析を行うと、流速計が 20cm/s を示しているのに対し、レーダが 10cm/s となっている場合もあり、相関は高いが、流速計とレーダは違う値を示している場合もあったことから、海洋短波レーダの観測値は実際の流速値に対して小さい値を示す傾向があると想定される。

また、2 月 16 日は、紀伊水道全域で北西風が強く、午後には 8~10m/s の風が吹いており、13 時頃から上げ潮に変化する潮周りであった。

2 月 16 日の結果をみると、流速計は、13 時以降は流向の変動は上げ潮に変わると共に、風にも反応しているが、レーダは上げ潮を追従できていないことから、風が強い時など、急激な流況の変化に追従できていない可能性があるかと想定される。

6. 海洋短波レーダ活用高度化への取組み

6.1 取組みの概要

平成 17 年 4 月より九州地方整備局は、有明海の環境再生に向けた取組みの一環として、同海域に「デジタルビームフォーミング(DBF)方式の海洋短波レーダ」を導入し、運用を開始した(図-10)。また、同局では、平成 18 年度より 2 年間にわたり「海洋短波レーダ活用高度化技術検討調査」において、観測精度を向上させる取組みを行ってきたところである。この取組みにおいて、①ノイズ特性の把握、従来解析手法の改修等を踏まえた波浪観測の高度化、②浅海域における流況観測網の拡大化、③観測情報の公表方法について一定の成果・見通しを立てることができた。主な結果は以下のとおり。



図-10 有明海の表層流況・波浪情報の公開例

6.2 波浪観測の高度化について

波浪観測の高度化については、主に次の 3 つの点から検討を行った。結論と合わせて示すこととする。

(1) ノイズ除去の検討

外来からのノイズ(外部ノイズ)については、ノイズ指標(一次散乱エネルギーピーク値/2 次散乱エネルギーの平均値)を算出し、解析データの品質管理を行うことが妥当であることがわかった。

加えて、向かい合う海洋短波レーダ局からの送信波を受信することによる電波干渉の影響(混信ノイズ)については、ディレイタイム(送受信タイミングの時間遅延)だけではなく、レーダ局自体の観測時間帯を相互にずらすことが有効であることがわかった。

(2) 波浪解析手法の検討

従来からの主な解析手法としては、海洋短波レーダで得られたドップラスペクトルデータより波高・周期を計算する「バリック法」、そして波高・周期に加えて波向まで計算できる「ベイズ法」がある^{3) 4)}。

バリック法は、2 次散乱の基礎式である非線形積分方程式(図-11)を線形化することにより、波高・周期を求める方法である。一方、ベイズ法は、基礎式の非線形積分方程式を線形化せずに逐次推定しながら方向スペクトル分布を推定することにより波高・周期・波向きを求める方法である⁴⁾。

$$\sigma_{(2)}(\omega) = 2^6 \pi K^4 \sum_{m_1=1}^{\infty} \sum_{m_2=1}^{\infty} \left[\int_{-\infty}^{\infty} \Gamma^2 S(m_1 \vec{K}_1) S(m_2 \vec{K}_2) \delta(\omega - m_1 \sqrt{gK_1} - m_2 \sqrt{gK_2}) dpdq \right]$$

カップリング係数： Γ_E ：電磁気学的効果、 Γ_H ：流体力学的効果

$$\Gamma_H = \frac{-i}{2} \left[K_1 + K_2 - \frac{(K_1 \cdot K_2)(K_1 \cdot K_2)(\omega^2 + \omega_B^2)}{m_1 m_2 \sqrt{K_1 K_2} (\omega^2 - \omega_B^2)} \right]$$

$$\Gamma_E = \frac{1}{2} \left[\frac{(K_1 \cdot K)(K_2 \cdot K) / K^2 - 2K_1 \cdot K_2}{\sqrt{K_1 \cdot K_2} - K\Delta} \right]$$

図-11 2 次散乱の基礎式：詳細は文献⁵⁾を参照

この 2 次散乱から波浪方向スペクトルを求めることができれば、波高・周期とともに波向を知ることができる。

平成 18 年度は、上述している波浪解析手法として改良ベイズ法を構築し、平成 19 年度において現地観測結果を用いて有効性を検証した。その結果、現地観測によるデータ及び海洋短波レーダによるデータともに算出結果がほぼ一致したため、当該手法の妥当性を確認することができた。

(3) 波浪観測精度の検討

海洋短波レーダによって観測された波浪との比較・検証を行う目的で、有明海の 3 地点において、局地気象モデル(MM5)を用いて有明海における海上風を推算し、得られた風データを入力として第三世代波浪推算モデル(WAM)による波浪推算を行った。波浪推算手順を、図-12 に示す。

なお、波浪推算結果は、九州大学大学院工学研究院環境都市部門沿岸域環境学講座において計算されたものである。

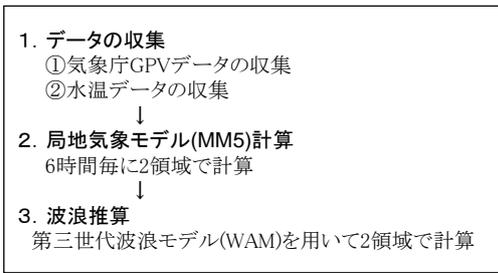


図-12 波浪計算手順

波浪計測精度については、平成19年8月30日～平成19年10月17日の期間に有明海に設置した海象計との比較により評価を行った。現地観測の概要は図-13、図-14のとおりである。

その結果、観測データに含まれるノイズ(雑音)レベルが小さい条件であれば、有義波高の計測誤差の規模は、±10cm程度となることがわかった。

しかしながら、有義波周期については、波高が30cm以上となる期間のみで比較を行ったが、ノイズレベルが低い状況でも現地波高計とレーダとの相関係数は低い結果となった。これは、周期はほとんどがほぼ3秒と大きな変化がなかったためである。

また、波向き計算については、現地観測期間中、高波浪が観測されず、十分な解析、評価を行うまでのデータが取得できなかった。

このため、今後は、解析のためのより多くの現地観測データの蓄積に期待する必要がある。

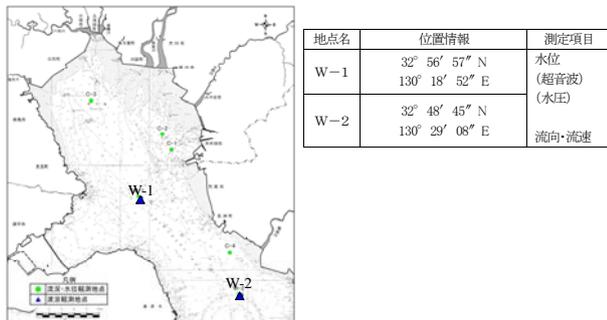


図-13 波浪調査概要位置図

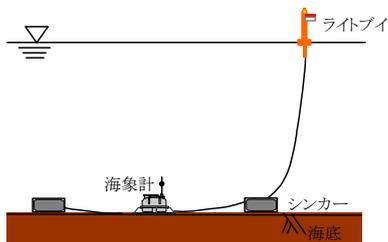


図-14 波浪観測機器設置イメージ

6.3 流況観測の高度化について

流況観測の高度化については、主に次の3つの点から検討を行った。結論と合わせて示すこととする。

(1) 流況観測の精度検証

流れ計測精度については、波浪計測精度と同様に平成19年8月30日～平成19年10月17日の期間に有明海に設置した ADCP (超音波ドップラー式流速計) との比較により評価を行った。現地観測の概要を図-15、図-16に示す。

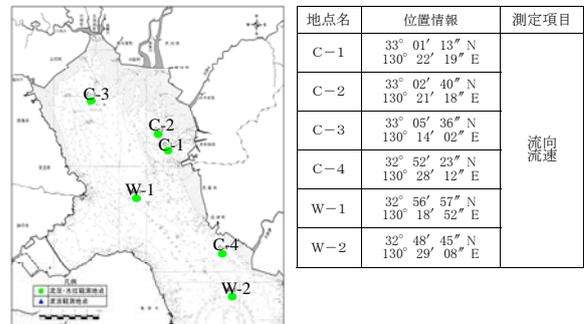


図-15 流況調査概要位置図

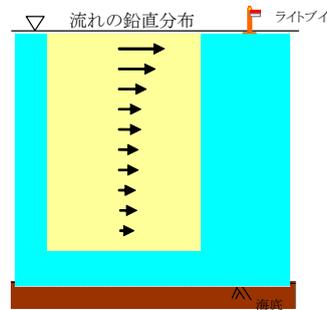


図-16 流況観測機器設置イメージ

流れの計測精度を評価するため、レーダビーム視線方向における ADCP の流速とレーダの流速を比較し、その一致を両者の相関係数及び標準誤差 (ADCP の流速とレーダの流速から求めた回帰直線からのずれ) から検証した。その結果は、表-3、表-4 に示すとおり非常に高い精度で一致している。

表-3 視線方向流速と ADCP の相関・標準誤差

地点名	長州局		多比良局	
	相関係数	標準誤差 (cm/s)	相関係数	標準誤差 (cm/s)
C-1	0.97	7.79	0.97	7.48
C-2	0.93	10.44	0.91	12.41
C-3	0.95	7.46	0.96	7.56

表-4 視線方向流速と ADCP の相関・標準誤差

地点名	河内局		宇土局	
	相関係数	標準誤差 (cm/s)	相関係数	標準誤差 (cm/s)
C-4	0.94	10.46	0.96	9.8
W-2	0.53	5.47	0.95	9.37

(2) 浅海域流況観測の検証

浅海域への海洋短波レーダ適用検討のため、水深 5m を境界として、水深 5m 以深の場合と水深 5m より浅い場合に分けて、ADCP とレーダの相関及び標準誤差を検証した。調査地点については、調査期間中に、水深が 5m より浅くなる 2 地点について行った。その結果をもとに解析した相関係数及び標準誤差を表-5 に示す。

表-5 ADCP が観測した流れと
海洋レーダが観測した流れの相関及び標準誤差

地点名	深度 (水面下)	サンプル 個数	相関係数		標準誤差 (cm/s)	
			東西 成分	南北 成分	東西 成分	南北 成分
C2	5.0m以深	593	0.37	0.96	13.11	10.37
	5.0mより浅い	150	0.16	0.92	13.08	9.91
C3	5.0m以深	722	0.65	0.95	13.07	9.83
	5.0mより浅い	394	0.51	0.92	15.83	11.54

解析の結果、水深 5m 以深及び 5m より浅い場合とで相関及び標準誤差に大きな違いが見られないため、海洋短波レーダは、従来計測機器に相当する観測精度を持ち、精度的に十分であることが示された。

(3) 流況観測範囲拡張手法の検討

上述(2)の検証結果をもとに 5m より浅くなる場合を検証した結果、水深 3m 以上であれば、高い精度で計測できる。したがって、現在の有明海表層流況・波浪情報システムで設定している流況観測範囲の閾値を水深 5m から 3m に引き下げても問題ないと判断した。

6.4 観測情報の公表方法

観測情報の公表は、現在有明海流況・波浪情報システム（九州地方整備局のホームページ上で公開）を通じて行われている。そこで、今般、当該調査を踏まえ、これまでなかった観測精度の説明についてもあらたに加えるべきであると判断し、その旨「海洋短波レーダ活用高度化技術検討調査報告書」の中で示したところである。

7. まとめ

(1) 海洋環境整備船への海洋短波レーダの適用

粒子の移動予測計算は、その有効性が確認できたことから、海洋環境整備船高度情報システムに追跡シミュレーションとして組込むことで、浮遊ゴミの搜索・回収の効率化が図れるようになった。

(2) 垂直モノポール型海洋短波レーダの観測データ

観測精度が良い場合と悪い場合があるが、これはレーダの特性として、観測時間や流速データの計算手法から、流況データに平滑化がかかるような状況も影響しているためである。今後、海洋環境整備船システムに適用する

には、GPS 漂流ブイの追跡調査などを実施し、より詳細に特性・精度を確認する必要がある。

(3) 海洋短波レーダの高度化

有明海における浅海域流況観測については、前述のとおり、従来の観測範囲より拡張できることが示された。しかしながら、波浪観測の精度向上については、今後も、ノイズ調査、データの更なる蓄積による解析手法の改善等追求できる余地がある。

(4) 海洋短波レーダの将来性

現在、海洋短波レーダは、国際的なレーダ電波の割り当ての調整など、技術面の課題への取り組みだけでなく、運用面での整備も進められている状況にあるが、今後も、レーダ自体の長所を十分に活用できるレベルまで研究及び調査を継続的に実施することが望まれる。

(財)沿岸技術研究センターとしても、これまで得た知見を活かし、今後更なる機会を捉え、海洋短波レーダに関する調査研究に携わっていききたい。

8. 謝辞

本稿は国土交通省港湾局、関東地方整備局横浜港湾空港技術調査事務所、四国地方整備局高松港湾空港技術調査事務所及び九州地方整備局下関港湾空港技術調査事務所から発注の海洋短波レーダ関連調査の一部を取りまとめたものである。検討に際しては、関係者の方々から貴重なご意見、ご指導頂きました。ここに記して厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省横浜港湾空港技術調査事務所・(財)沿岸技術研究センター：平成 17 年度海洋環境整備船高度情報システムの開発 報告書、平成 18 年 3 月
- 2) 国土交通省横浜港湾空港技術調査事務所・(財)沿岸技術研究センター：平成 18 年度海洋環境整備船高度情報システム技術確立業務 報告書、平成 19 年 3 月
- 3) Barrick, D.E. : Remote sensing of sea state by radar, Chapter 12 of Remote Sensing of the Troposphere, V.E. Derr, Editor, NOAA/Environmental Research Laboratories, Boulder, CO, pp. 12.1-12.6, 1972.
- 4) 橋本 典明, 徳田 正幸 : 海洋短波レーダによる方向スペクトルの推定, 海岸工学論文集, 第 45 巻, pp. 1271-1275, 1998.
- 5) 児島 正一郎, 橋本 典明, 徳田 正幸 : 海洋短波レーダによる波浪観測に関する基礎的研究-受信信号中のノイズの影響評価-, 海岸工学論文集, 第 48 巻, pp. 1446-1450, 2001.