

海洋短波レーダーを活用した有明海 浮遊ゴミ移動予測システムの開発

DEVELOPMENT OF "THE SEA GARBAGE MOVEMENT PREDICTION SYSTEM"
WHICH UTILIZED "THE HIGH-FREQUENCY OCEANIC RADAR SYSTEM"

吉田秀樹¹・中島謙二郎²・川野泰広³・江口秀之³・中村義文⁴・日向博文⁵

Hideki YOSHIDA, Kenjiro NAKASHIMA, Yasuhiro KAWANO, Hideyuki EGUCHI,
Yoshifumi NAKAMURA, and Hirofumi HINATA

1正会員 工博 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
(〒750-0066 下関市東大和町2-29-1)

2正会員 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 (〒750-0066 下関市東大和町2-29-1)

3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 (〒750-0066 下関市東大和町2-29-1)

4国土交通省九州地方整備局 熊本港湾・空港整備事務所 (〒861-4115 熊本市川尻2丁目8-61)

5正会員 工博 国土交通省国土技術政策総合研究所 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

The Kyushu Regional Development Bureau, Ministry of Land, Infrastructure and Transport has placed four High-Frequency Oceanic Radar System (HF radar) at the Ariake Sea with the aim of regenerating environmental condition, and has observed the surface current and ocean wave situations since 2005.

The paper presents (1) the result of study for precision of HF radar observation, (2) the real-time informing system by internet named "The Ariake Sea current and ocean waves information system", and (3) the development of "The sea garbage movement prediction system" utilized the surface current observation information by the system with the aims of the improving the sea garbage collecting service by the Advanced Anti-Pollution Vessel "KAIKI" as well as the progress of the installing the system. As result of the development, the precision is verified appropriately, and the system has been operated since April, 2007.

Key Words: Ariake sea, Ocean environmental reproduction, High-frequency(HF) oceanic radars, Wave observation, Current observation, Anti-pollution vessel, Sea garbage movement prediction

1. はじめに

有明・八代海においては、近年、水質の変化、浮泥の堆積、二枚貝をはじめとする底生生物等の減少といった様々な環境問題が生じており、深刻化した環境異変の原因究明、海域環境の保全・再生施策が求められている。このような状況を受け、平成14年には『有明及び八代海を再生するための特別措置に関する法律』が策定され、国、地方自治体、大学等関係機関は、有明・八代海の総合的な海域環境の保全・再生を目的とした取り組みを本格化しているところである。

国土交通省九州地方整備局では平成15年度に環境整備船「海輝」(図-1)を同海域に配備し、「海洋清掃」及び「環境調査」を実施し、さらに、港湾事業による「浚渫土砂等の利活用による干潟再生・造成」を柱として有明・八代海の海洋環境の保全・再生に取り組んでいる。

このような背景の中で、基本的なデータの一つで

ある有明海の流況・波浪の把握のため、有明海全域を準リアルタイムに観測が可能な「海洋短波レーダー」(HFレーダー: 24.5MHz±50kHz)を導入し、有明海表層流況・波浪観測システムとして運用を開始した。また、環境整備船「海輝」による海面清掃を効率的に行い、海洋短波レーダーから得られる表層流況データを活用した浮遊ゴミ移動予測システムの開発を行った。

本稿では、海洋短波レーダーを活用した「有明海表層流況・波浪情報システム」及び「浮遊ゴミ移動予測システムの開発」について報告する。



図-1 環境整備船「海輝」

2. 有明海表層流況・波浪情報システムの概要

(1) 有明海表層流況・波浪情報システム導入経緯

有明海は、水域約1,700km²、平均水深20m、平均潮位差が5.4m、海域の約1割程度が干潟である浅海域を有する閉鎖性海域である。

この有明海の再生・保全のために必要な潮流等の現象解明、対策技術向上に重要な要素の一つである流況・波浪観測については、従来は海域に流速計や波高計等機器を設置し点での観測を行っているが、情報量は少なく、有明海全域の流況や波浪を把握することは困難であった。

以上の現況を踏まえ、広範囲な海域の表層流況・波浪情報を面的かつ準リアルタイムに観測が可能である「海洋短波レーダーによる表層流況・波浪観測」を実施することにした（図-2）。



図-2 海洋短波レーダー観測施設

(2) 海洋短波レーダーの概要と観測原理

海洋短波レーダーシステムの構成は、観測されたデータを解析する中央局と海岸沿いの陸上に設置して観測を行う複数のレーダー局で構成される。

海洋短波レーダーによる流況の観測原理は、レーダー波を海面に送信し戻ってきた散乱波をフーリエ解析したドップラースペクトルが得られる（図-3）。

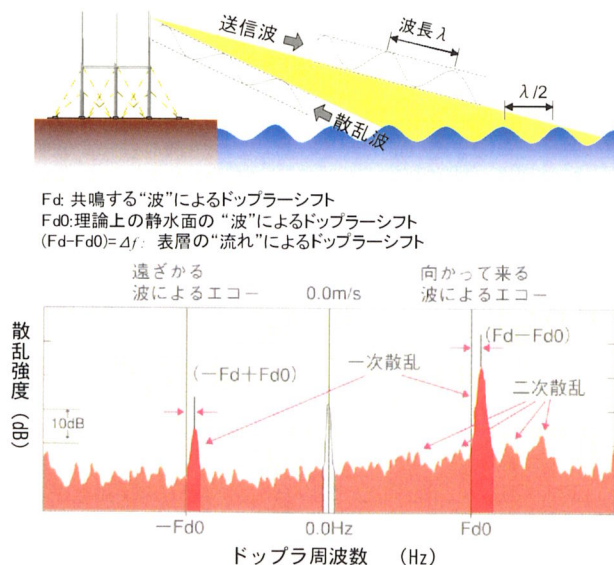


図-3 ドップラースペクトルの概要

レーダー波の1/2の波長を持つ波浪成分に強く散乱したものが一次散乱で以下のとおり視線方向流速が解析できる¹⁾。

$$\text{視線方向流速} = \frac{(\text{電波の速度}) \times (\text{ドップラーシフト } \Delta f)}{2 \times (\text{電波の周波数})}$$

また、一次散乱の周辺に存在する二次散乱より波浪情報を解析することが可能である²⁾。

(3) 試験観測の実施

閉鎖性海域である有明海は胃袋型に湾曲した地形を有し、潮流は速く複雑に流れている上、沿岸には干潟等浅海域が広く分布し、水際線にはコンクリート護岸に囲まれている個所も多い。海洋短波レーダー電波は、これら周辺環境や航行船舶の影響を受けることが懸念されるため、安定かつ確実なデータ取得が可能であるかの確認を目的とし、試験観測を実施した。

有明海へのシステム導入をより効率的に行うために、国土技術政策総合研究所と共同で同研究所所有のHFレーダー（FA方式：フェイズドアレイ）2基を有明海湾奥部に設置し、平成17年1月から10月まで約9ヶ月間試験観測を行った。

精度比較は、有明海内の8地点で過去実施されたADCP（ドップラー式流向流速計）の現地観測データと海洋短波レーダー試験観測データを同地点において各々調解析し、潮流楕円による精度確認を行った。調解析結果より、潮流楕円の形が近似していることから、海洋短波レーダーによる良好な観測が可能であることを確認した（2. (5) に示す）³⁾。よって、これら試験観測で得られた知見を基にシステム導入を行うこととした。

(4) 表層流況・波浪情報システムの概要

海洋短波レーダーのシステム導入では、レーダー装置の能力及びコスト面等から同技術を所有する数種類のレーダーの能力について比較検討後、配置個所候補選定を行い、さらに現地踏査を行った結果、DBF方式のHFレーダーを4基（観測局は、長洲局、河内局、多比良局、宇土局、中央局は熊本新港）を配置することとし、平成17年度末にレーダー施設設置工事を完了した⁴⁾（表-1、図-4）。

表-1 導入システムの概要

① 海洋短波レーダー仕様

- ・周波数帯 24.5MHz±50kHz（HF帯 波長12m）
- ・観測距離 50km
- ・3素子八木8列アレイアンテナ 方向探知方式 DBF（デジタル・ビーム・フォーミング）方式

② 取得情報

- ・広域表層流況・波浪情報（流向・流速・波高・周期）

③ 分解能・観測時間・視程

- ・分解能 距離1.5km 方位7.5度
- ・観測時間間隔 通常1時間毎



図-4 レーダー設置位置及び観測範囲

このことより、有明海において1時間に1回、1.5kmごとに約300地点の流況・波浪情報（流向・流速・波高・周期）の観測を可能となったため、平成18年4月1日よりインターネットによる公開を開始した（図-5）。

【<http://www.ariake-yatsushiro-system.jp/>】

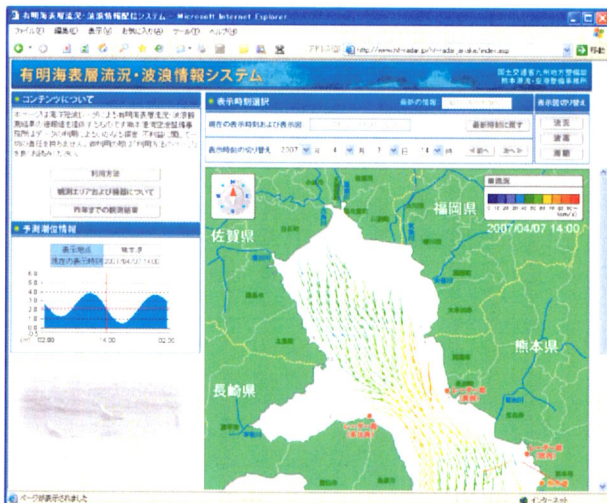


図-5 インターネットによる公開概要（流況）

(5) 調和解析による精度検証

今回導入したレーダー形式は、試験観測に使用したフェイズドアレイ方式と異なる、DBF（デジタル・ビーム・フォーミング）方式を採用したため、運用観測における精度検証を行った。精度検証は、海上保安庁海洋情報部が平成13年5月に有明海の12箇所で15日間実施したADCP約15日間の測定結果（図-6）及び(3)で示した海洋短波レーダーによる

試験観測（平成17年1月～10月）と、DBF方式海洋短波レーダーによる運用観測（平成18年7月～9月）のデータについて調和解析を行い、有明海で卓越する半日周潮（ M_2 成分、 S_2 成分）の潮流成分について比較解析を行った。検証の結果、 M_2 分潮、 S_2 分潮は、ほとんどの地点で潮流楕円がほぼ一致した（図-7）。なお、平成19年度に詳細な精度検証を目的として、現地にADCPを投入し、レーダー取得結果と比較検証を行う予定である。

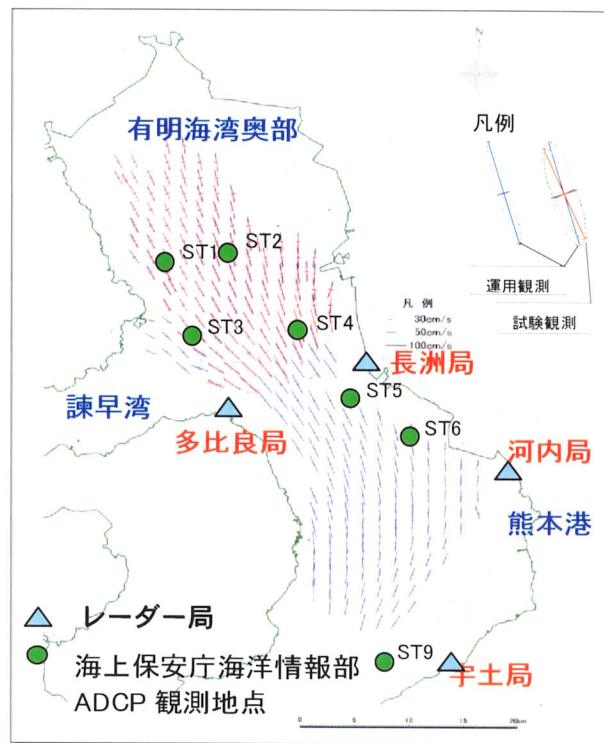


図-6 ADCP観測地点と潮流楕円分布図（ M_2 潮）

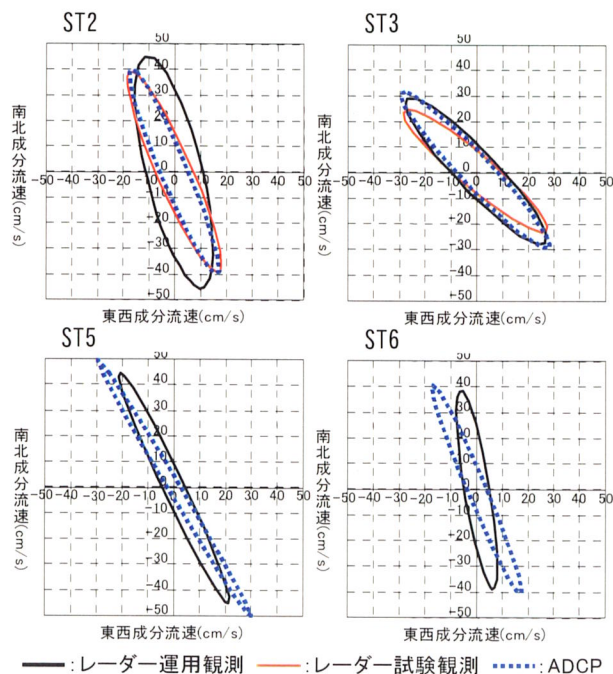


図-7 潮流楕円 M_2 潮による精度検証結果（一部）

3. 有明海浮遊ゴミ移動予測システムの開発

(1) 有明海浮遊ゴミ移動予測システム導入経緯

環境整備船「海輝」による有明・八代海域でのゴミ回収作業は、有明・八代海域を3つのエリアに分けて定期的に巡回しながら海洋清掃する場合と大雨等による出水後の大量浮遊ゴミの発生時に随時回収を行っている(図-8)。

大量浮遊ゴミの回収にあたっては、フェリー会社や港湾管理者及び漁業関係者等によって構築している「浮遊ゴミ情報収集ネットワーク」に基づき、ゴミ回収の要請を受けてからゴミ発見場所へ「海輝」が出動することとしている。しかし回収海域への到着までの時間や有明・八代海特有の大きな潮位差によって生じる潮流等により浮遊ゴミが移動するため、ゴミ回収作業が不効率となる。

そこで、海洋短波レーダーによる流況情報を活用して、効率的にゴミを回収できる浮遊ゴミ移動予測システムを開発し、「海輝」への導入に取り組むこととなった。

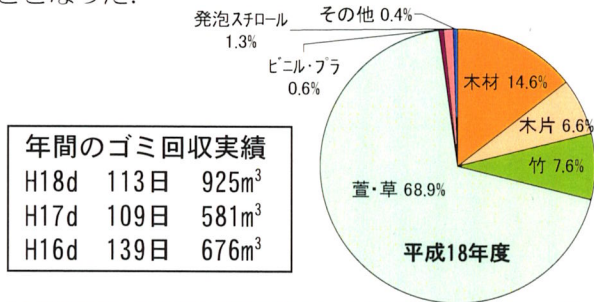


図-8 浮遊ゴミ回収状況と回収ゴミの分類

(2) 浮遊ゴミ移動予測システム概要

浮遊ゴミ移動予測システムは、浮遊ゴミ発生の通報情報をシステムへ入力することで、ゴミの移動経路の追跡・予測計算を実行し、追跡経路を及び座標を表示する機能及び、海洋短波レーダー及び周辺エリアの最新の海象観測結果を準リアルタイムに船舶において閲覧できる機能、その他データベース・統計処理機能により、「海輝」の効率的なゴミ回収を支援するものである(図-9)。

システム構成は、汎用性の高いインターネット技術をベースに HTTP によるクライアントサーバシステムとし利用者は通常使用のパソコンと WEB で使用できる。以下にシステムの構成を示す。

a) システムの基本構成

- ・インターネット局サーバ処理システム(表層流況・波浪情報システムと同サーバ)
- ・端末システム(専用ノートパソコン(船舶)、通

常の業務用パソコン(職員))

- ・通信システム(携帯電話・インマルサット(船舶)、WAN(職員):通信基盤はインターネット)

b) システムの主な構成

【リアルタイム情報】

- ・気象海象情報表示:海洋短波レーダー(流況・波浪・潮目)、気象情報(河川水位・風向風速・降水量)
- ・ゴミ移動(追跡)予測機能:浮遊物の移動経路を予測(過去24時間から未来3時間まで)

【データベース・統計処理】

- ・データベース機能:浮遊ゴミの回収情報登録、管理・閲覧(検索)、統計処理・グラフ等作成

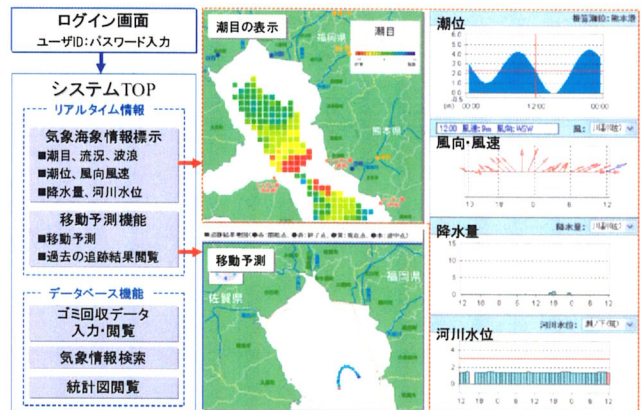


図-9 浮遊ゴミ移動予測システム

(3) 浮遊ゴミ移動予測プログラムの開発

浮遊ゴミの移動予測は、平成17年度の試験観測で国土技術政策総合研究所が研究開発でGPS漂流ブイによる移動軌跡の検証が行われている⁵⁾。

本システムでは、移動経路は、「過去から現在(レーダ実測データが存在する期間)」「過去・現在から未来(レーダ実測データが存在しない期間)」で予測している。なお、システム上においては利用者が意識せず利用できる仕組みとした。

a) 過去から現在の予測手法

海上の漂流物に与えられる力は、図-10に示すように海面から突出した部分には風が作用、海面下では表層流が作用すると考えることができる。このうち海洋短波レーダーによる表層流況は「潮流・吹送流・密度流」を含む。

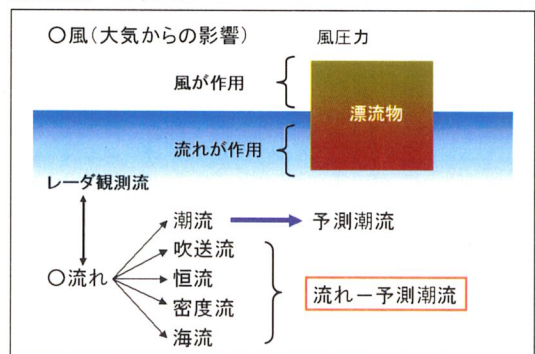


図-10 海上漂流物の力のバランス

移動予測計算を行うにあたり、レーダー観測は通常1時間更新のデータであるため、レーダーのデータを60秒単位で時間的に線形補間すると共に、移動経路計算においては図-11に示す、粒子と周囲4点のレーダーデータにより形成される4つの四角形の面積比(重み付け)を利用した流速値の算出方法を利用した。

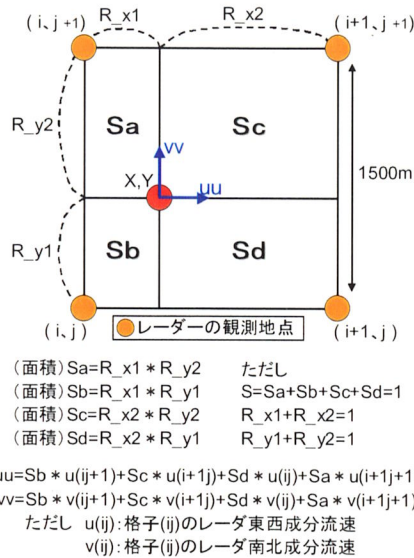


図-11 追跡計算方法

b) 過去・現在から未来の予測手法

未来の時間の予測手法については図-12 および以下①, ②に示す手順で予測流況を算出した。

- ① T_n 時のレーダー実測値 - T_n 時の予測潮流
= T_n 時の恒流成分
- ② T_n 時の恒流成分 + T_{n+1} 時の予測潮流
= T_{n+1} の流れを予測

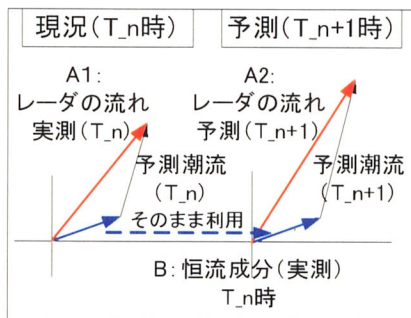


図-12 流況予測計算手法

予測潮流の算出に利用するレーダー全観測点における調和常数解析手法は(日向)¹⁾に基づき計算した(図-13)。

具体的には、レーダー中央局に蓄積されたドップラスベクトルデータより各レーダー局の視線方向流速を算出し、調和定数を求め、レーダー観測海域内の1.5Kmメッシュごとに空間的に内挿し、ベクトル合成することにより、東西・南北方向13分潮以上の調和定数表を算出する方法である。

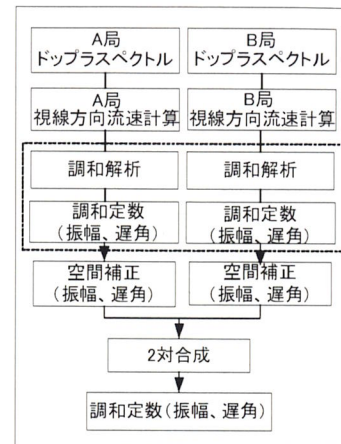


図-13 調和常数の算出手法

c) 風圧流

風から与えられる力は風圧流とし考慮した。風圧流の加算方法は、海上保安庁海洋情報部技報(福島)⁶⁾に示された風圧係数と偏角(漂流物により異なる)から計算するものとした。

システムに入力する風データは、漂流物の予測計算時に「海輝」にて観測されている、現時刻での海上風データや沿岸域において計測し、本システムにて毎時取得を行っているゴミ発生地点に近い風向風速データ等を使用する。

(4) 浮遊ゴミ移動予測システムの精度検証

本システムの開発にあたり、a)のGPS漂流ブイの軌跡と「ゴミ移動予測プログラム」で以下に示すb)及びc)の計算条件で、システムの精度検証を行った。

- a) GPS漂流ブイの軌跡(小潮時 平成17年8月12日: 国土技術政策総合研究所が実施⁵⁾)
 - b) (3) a)に示した手法により風による応力を与えずに「ゴミ移動予測プログラム」にて計算
 - c) (3) c)に示した手法により風による応力を与え「ゴミ移動予測プログラム」にて計算
- 計算時間: 平成17年8月12日6時から23時までの17時間

入力パラメータ: 初期入力 of 風(SSW4.5m/s), 風圧係数 1, 偏角 30.0度

なお、本手法はまだ現時点で研究段階のものであるが、本検証での対象であるa)のGPS漂流ブイのパラメータはない。そのため、本手法に必要な風圧係数の値は「1」を与え、偏角のパラメータは一般的に風圧流を与える時風下に対して右に30度で与えた。

また、初期入力 of 風は、漂流ブイの追跡調査実施時(平成17年8月12日6時)に調査船上にて観測された風向風速データを利用した。

図-14に本システムで計算した検証結果(ブイとの軌跡比較図)を示した。

検証結果では、(パターンb)の風を加算しない場合では、平成17年度に実施された国土技術政策総合研究所の検証結果⁵⁾と一致すると共に、GPS漂流

ブイの軌跡（パターンa）との距離差は6時間後1,171m、12時間後873m、16時間後739mの結果となった。風の情報を加算した場合（パターンc）においては、6時間後222m、12時間後769m、16時間後1,766mとなり、12時間後までは、GPS漂流ブイの軌跡に近い結果となった。

検証の結果（パターンb）及び（パターンc）について、運用上の環境整備船乗務員によるゴミの目視による発見可能範囲に十分な精度となっている。

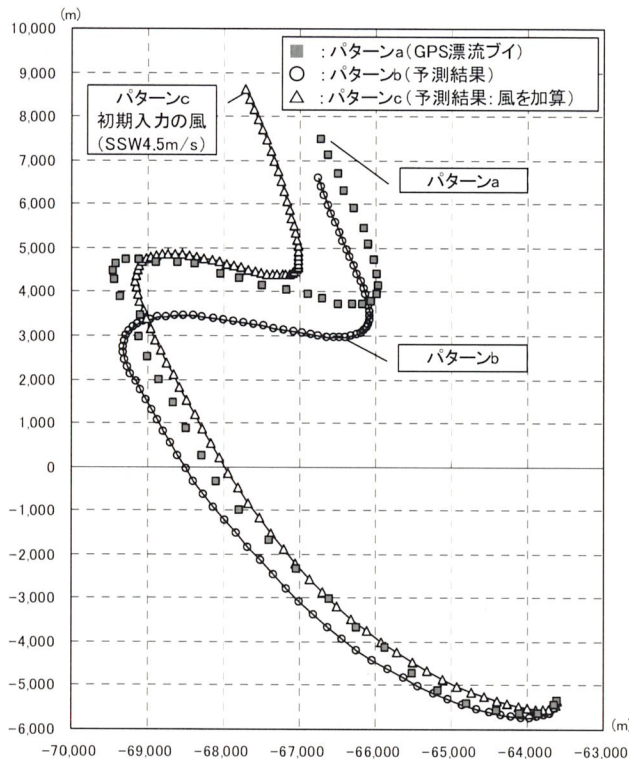


図-14 GPS漂流ブイとの比較検証結果

4. 今後の課題

海洋短波レーダーを有明海に運用開始して約1年が経過した。波高計や流速計等の従来の海象観測システムが点観測であるのに対し、海洋短波レーダーによる流況等の観測技術は、長時間にわたり・瞬時に・面的に計測できる点が最大の長所である。しかし全国的にも常時観測されている事例がまだ少ない状況であり下記の技術課題が残されている。

(1) 有明海表層流況・波浪情報システム

- a) 現運用では水深の浅い干潟区域等（水深5m以浅）については、解析対象から外しているが、有明海沿岸域は干潟が多く存在するため、同海域の環境変化の原因究明には浅海域の観測データは重要である。平成19年度に、5m以下の海域について流向・流速計等の点データとの比較検証・検討を行い、流況観測範囲の拡大について検討を行う。

- b) 波浪情報については、現在の運用ではバリック法による波高・周期の解析を行っている。平成18年度より、波向スペクトルの解析が可能である厳密解を求めるベイズ法による解析手法の確立、ノイズの影響の排除、安定したデータ取得、について平成19年度までに有識者による技術検討委員会で行う。

(2) 有明海浮遊ゴミ移動予測システム

- a) 海洋短波レーダー以外の情報もシステムに取り込むことによるゴミ移動予測精度の向上。（河川からの流量情報や気象海象情報（潮汐・風雨）、ゴミの種類によって異なるパラメータの入力）
b) ゴミ回収実績データ等を登録・管理していくことによるゴミ移動予測精度の向上。（ゴミの移動パターンや潮目の収束発散分布の把握）
c) 海洋短波レーダーの未観測エリアについて、数値シミュレーション等によるゴミ移動予測解析の補完。

5. おわりに

本研究で開発した技術は、潮流などの基本的なデータをより多く、より連続的に観測し公開することで、九州地方整備局の業務である環境整備船「海輝」によるゴミ回収をはじめ、各機関で組み込まれている有明海の再生・保全のために必要な潮流等の現象解明、対策技術向上に大きく資するとともに、有明海の面的な台風時などの波浪情報の提供により、海域・沿岸の安全の向上に大きく貢献するものと考えている。

最後に、有明海への海洋短波レーダーシステム導入では、試験観測・観測データ解析及び浮遊物追跡システムは、国土技術政策総合研究所が研究開発を行い、導入検討は財団法人港湾空間高度化環境センター、浮遊ゴミ移動予測システムの開発は国際航業株式会社が担当したものです。

参考文献

- 1) 日向博文：HF レーダーによる東京湾の M_2 潮流観測，国土技術政策総合研究所資料，No. 212，2005。
- 2) 児島正一郎，橋本典明，佐藤祐二，吉松みゆき：海洋短波レーダーによる面的波浪観測法に関する研究，港湾空港技術研究所報告，第41巻第1号，PP. 3-50，2002。
- 3) 国土技術政策総合研究所：有明海 HF レーダー観測データ解析業務報告書，2006。
- 4) 下関港湾空港技術調査事務所：海洋短波レーダー導入検討調査報告書，2004。
- 5) 海洋短波レーダーを利用した浮遊物追跡システム開発のための基礎的検討業務報告書，国土技術政策総合研究所，2006。
- 6) 福島繁樹：漂流予測の高度化のための基礎調査～風圧流と偏角について～，海洋情報部技報，vol. 24，PP. 107-111，2006。