

VHF 帯の DBF 海洋レーダによる安定した 長期リアルタイム観測とその有効性

Long-term Real Time Monitoring System by DBF Ocean Radar and its Availability and Effectiveness

松山昌史¹・吉井 匠²・坪野考樹³・坂井伸一³・多田彰秀⁴・水沼道博⁵

Masafumi MATSUYAMA, Takumi YOSHII, Kouki TSUBONO
Shin'ichi SAKAI, Akihide TADA, Michihiro MIZUNUMA

DBF ocean radar can detect surface currents widely with high resolution in all weather conditions. We developed 24-hours real-time oceanographic monitoring system, which based on automatic figuring system for surface currents and wireless communication system with high-speed packet communications (up to 384 bps). Figures of surface currents can be delivered every 15 minutes with time lag of about 45 minutes through the Internet. The Dragon System is feasible for emergency observation after sudden ocean accident such as oil spills because of high portability. Field observations showed a measurable rating is more than 90 % within 15 km along the receiving beam lines. Amount of measuring points in one operation periodically change over time. Its fluctuations were related with tidal variability.

1. はじめに

沿岸に海洋レーダ基地局を複数設置し、表層流れの分布を 24 時間連続で観測することが可能になった。(財)電力中央研究所では、VHF 帯の電波を用いた DBF 海洋レーダ(Dragon System: Doppler RADAR Grid Operation System)を開発した(坂井ら, 2002)。Dragon System は、観測範囲は最大距離 25 km、距離分解能は 500 m、測定時間間隔は 15 分と、時空間において高解像度に観測できるという特徴がある(表-1)。

海洋レーダの活用に関して、学術面においては、閉鎖性水域の海水交換、河口域では降水後の河川から出水による流れ等の問題があり、これら課題を検討する上で、高精度な表層流れデータの蓄積が期待される。このためには、安定した長期観測が必要である。実用面においては、海域に流出した重油、ゴミ、及び漁業や発電所取水に悪影響を与えるクラゲ、これらの漂流・漂着対策として、表層流れに関する即時の情報提供が期待される。このためにはデータのリアルタイム配信が必要である。

以上の観点を踏まえ、本研究では、VHF 帯の DBF 海洋レーダを、環境問題等に対して、学術的にも実務的にもより活用することを目的に、安定した長期リアルタイム観測を構築した。さらに、現地観測を実施し、観測結果の特徴や有効性について検討した。

表-1 Dragon system の基本仕様(坂井ら, 2002)

項 目	Dragon system
空中線方式	デジタル・ビーム・フォーミング
送受信方式	FMICW(*1)
中心周波数	41.9 MHz
周波数掃引幅	300 kHz
送信出力	100 W
ビーム幅(*2)	13 ~ 17 度
観測範囲	0.5 ~ 25 km
距離分解能	500 m
速度分解能	2.13 cm/s
測定時間(*3)	15 分以下
設置面積	40 m × 4 m 程度

*1: Frequency Modulated Interrupted Continuous Wave の略

*2: 各方位毎のビーム幅

*3: 1 シーン(20 km 四方)の観測に要する時間

2. 長期リアルタイム観測システム

海洋レーダでは、表層の流速ベクトルデータを作成するために、少なくとも 2 つの基地局が必要である。安定した観測の実現には、各基地局で発生した障害を早期に検知する必要がある。そこで、最初のステップとして、遠隔の管理サイト(研究室や事業所等)から、基地局の観測機器稼動状況を把握するために、観測監視システムを構築した。次に、表層流速データの即時的把握と配信を行うためにリアルタイムデータ配信システムを構築した。

(1) 観測監視システム

このシステムは、観測サイトと管理サイト間の無線通信サブシステム、データ多重化サブシステム、観測情報に関するメール配信サブシステムから構成される。

a) 無線通信サブシステム

NTT ドコモ(株)が提供するアクセスサービス、ビジネス mopera アクセスエコノミー(以下、mopera-e)を基

1 正会員 工修 (財)電力中央研究所 地球工学研究所
2 正会員 修(工) (財)電力中央研究所 環境科学研究所
3 正会員 工博 (財)電力中央研究所 環境科学研究所
4 正会員 工博 長崎大学工学部社会開発工学
5 正会員 工修 西日本技術開発(株)調査解析部

幹に、図-1に示す無線通信サブシステムを構築した。mopera-eは、遠隔サイトにFOMA端末を設置して、管理サイトとのパケット通信を可能にすることができる。

観測サイトの各基地局にはカード型FOMA端末(F2402)、FOMA用アンテナ、及び専用ルーター機器(PacketWalkerII、以下PWII)、通信用PC(ノート型)、ネットワーク接続ストレージ(以下、NAS)、GPS利用NTPサーバ、遠隔電源管理機器(RPC-T4H、明京電機製)、を設置した。写真-1に設置状況を示す。これらの機器は、既存の送・受信機および観測用PCが接続されたLANを取り込み、図-2に示すネットワークを構築した。

観測では2つの基地局からの観測時間が重ならないように正確な時間管理が必要であるが、Dragon Systemでは、観測用機器の時間を補正するためにGPS衛星から正確な時間情報を得るNTPサーバを設置した。また、遠隔電源管理機器は、ルーター及び通信用PCのハングアップに対応するために導入した。この機器はネットワークに接続されるが、電源出力を4つ装備しており、そこに接続された機器の電源管理を行うことができる。例えば、事前に設定することにより、ルーターがハングアップした場合には、自動的に再起動を行うことができる。また、通信用PCが動作不安定になった場合には、管理サイトからシャットダウン信号の送付や、停止後にはWake On LAN機能を利用して、遠隔起動することが可能である。

管理サイト側は、FOMA端末、光通信回線、ADSL回線などでmopera-eに接続することが可能である。今回は安定性とコストを考慮して、図-1に示すように、光通信回線を管理サイトに敷設した。

このように、mopera-eを利用して観測サイトのLANと管理サイトの各LANを融合させた。一般のインターネットを介さずにバーチャルプライベートネットワーク(VPN)を構築しており、情報漏洩の危険が低く、その安全性は極めて高い。観測サイトはFOMAを利用しており、日本沿岸においてそのサービスエリアは広い。有線通信が不可能な地点においてもFOMA通信が可能であればリアルタイム観測が可能となる。また、特に通信用に工事を行う必要もなく、可搬性も高い。通信速度は上り下り共に最大384 Kbpsで、数100 kbの転送量であれば数10秒、1 MB程度で約5分で転送できる。

b) 観測データ多重化サブシステム

本サブシステムは、観測で最も重要なスペクトルデータの安全性を高めることが目的である。そのために、観測用PCに蓄積されたデータを、通信用PCとNASに自動的にバックアップするシステムを構築した。まず、毎回の観測直後に、データファイルを、観測用PCから通信用PCにコピーする。さらに、1日に4回、通信用PC

から、NASにデータがバックアップされ、同じデータが3セット保存される。データファイルは1回の観測で約1 MBの大きさであり、LANを介したコピー作業については、数秒と短い時間で完了する。なお、無線通信を介した管理サイトへの定期的なバックアップは、データ通信コストが飛躍的に増大するために実施していない。

c) メール配信サブシステム

毎日数回、定期的に観測機器の情報を記載したメールが通信用PCから自動配信される。このメールには、i) 最新の観測データ測得日時、ii) 観測データバックアップ記録、iii) ntpサーバ動作状況、が含まれる。送信回数・時間は任意に設定可能である。管理者はこのメールにより観測機器の状態を、管理サイトなどの遠隔地

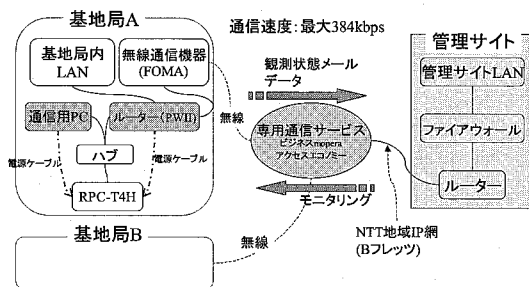


図-1 無線通信サブシステムとの概要



写真-1 通信サブシステムを設置した基地局内

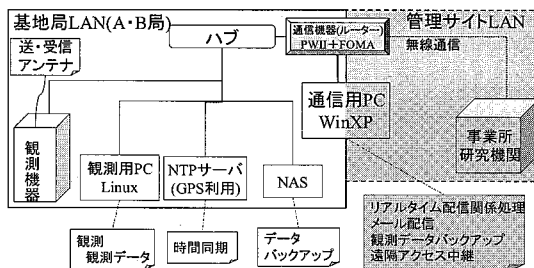


図-2 リアルタイム配信関連機器のネットワークとその役割

において把握することが可能となる。

(2) リアルタイムデータ配信システム

a) 視線方向流速の作成と転送

リアルタイムデータ配信を実現するため、管理サイトに、各基地局のデータ集積・配信用サーバ(以下、配信サーバ)を設置した。リアルタイムデータ配信に関するフローを図-3に示す。各基地局において、毎回の観測後に、バックアップを終えたスペクトルデータは、通信用 PC (インテル Celeron M プロセッサ 1.30 GHz)において坪野ら(2007)の方法により視線方向流速へ自動変換される。変換に必要な時間は約 10 秒である。得られた視線流速データは、管理サイトの配信サーバへ自動転送される。以上の工程により、配信サーバには毎時 4 回各基地局から転送された視線方向流速データが蓄積される。なお、1 回の観測で得られる視線方向流速データファイルの大きさは 3 KB 以下と、1 MB 程度あるスペクトルデータと比べて小さく、転送時間・コスト共に実用的である。

b) データ配信用ウェブページ作成

配信サーバでは、1 時間に 4 回、最新の視線方向流速

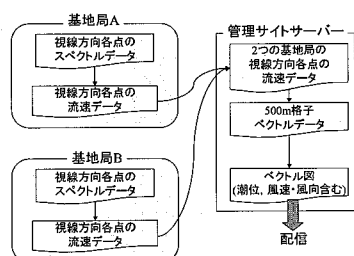


図-3 リアルタイムで自動実施される表層流れベクトル図の作成と配信に関するフロー

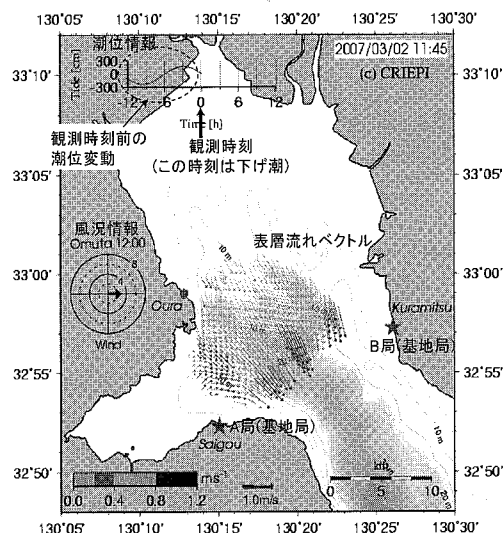


図-4 リアルタイム観測による表層流れベクトル図例

データを基に、観測から約 45 分後に表層流れのベクトル図が更新される。まず、転送された最新の視線方向流速、同じ局の前回観測データ(30 分前)、もうひとつの基地局の最新データ(15 分前)、この 3 つを基に表層ベクトルデータが時空間内挿され、地形データと併せて表層ベクトル図が作成される。図-4 にその例を示す。ベクトル図には、海上保安庁と気象庁のインターネットサイトから得た潮位変動と風況の観測値を表記し、海況をわかりやすく把握することができる。なお、リアルタイム配信も含めた通信にかかるランニングコストは両局併せて約 30,000 円/月となった。

3. 観測結果

(1) 観測監視システムの有効性

観測監視システムでは、各基地局の PC に管理サイトからアクセス可能であり、一定のメンテナンスやデータ等の送受信も可能である。さらに、メール配信により観測状況が毎日把握できるので、定期的な現場作業の回数が減少し、管理コストが低減した。これまで実際に、供給電圧の低下や観測用 PC の故障などのトラブルを管理サイトから検知することができた。

(2) リアルタイム観測の有効性

有明海において、海洋レーダによるリアルタイム観測を実施した。図-5 に A 局(長崎県雲仙市)と B 局(熊本県荒尾市)における、視線方向を示す。観測海域は諫早湾の湾口とその東側にひろがる有明海の中央部である。今回、対象とするリアルタイム観測データの期間は 2007 年 1 月 11 日から 3 月 12 日までの約 50 日間である。各視線方向各点における流速データの測得率を、図-6 に示す。横軸は視線方向距離である。各基地局から 15 km 以内はほぼ 90 % 以上の測得率となった。次に、地図上に測得率をプロットしたものを図-7 に示す。図中の 12 km × 12 km 程度の矩形範囲において、両局の視線

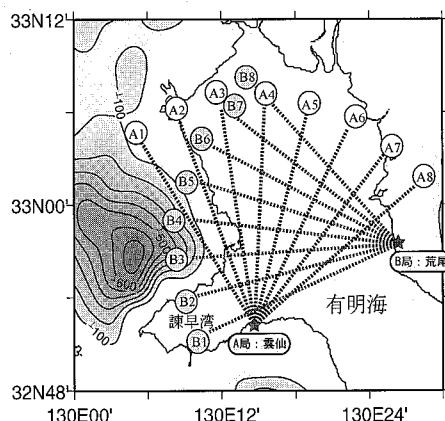


図-5 基地局と視線方向

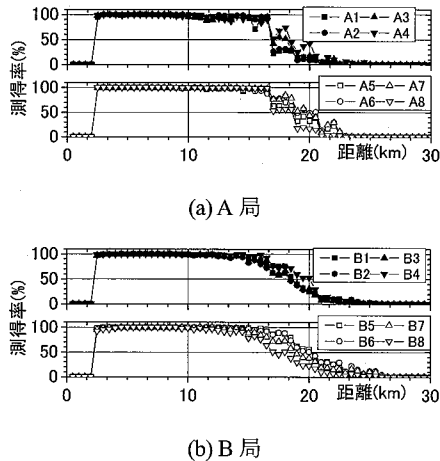


図-6 視線方向流速の視線方向距離と測得率

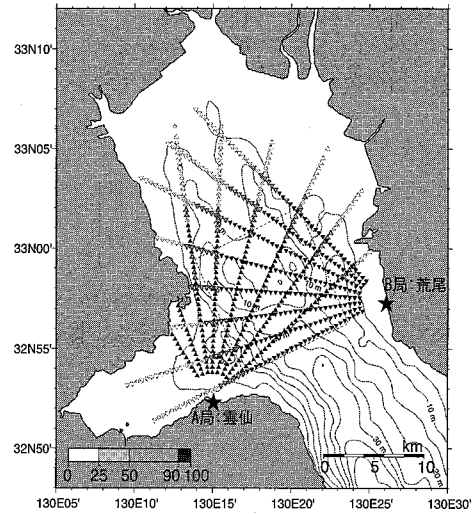


図-7 リアルタイム観測における測得率の分布

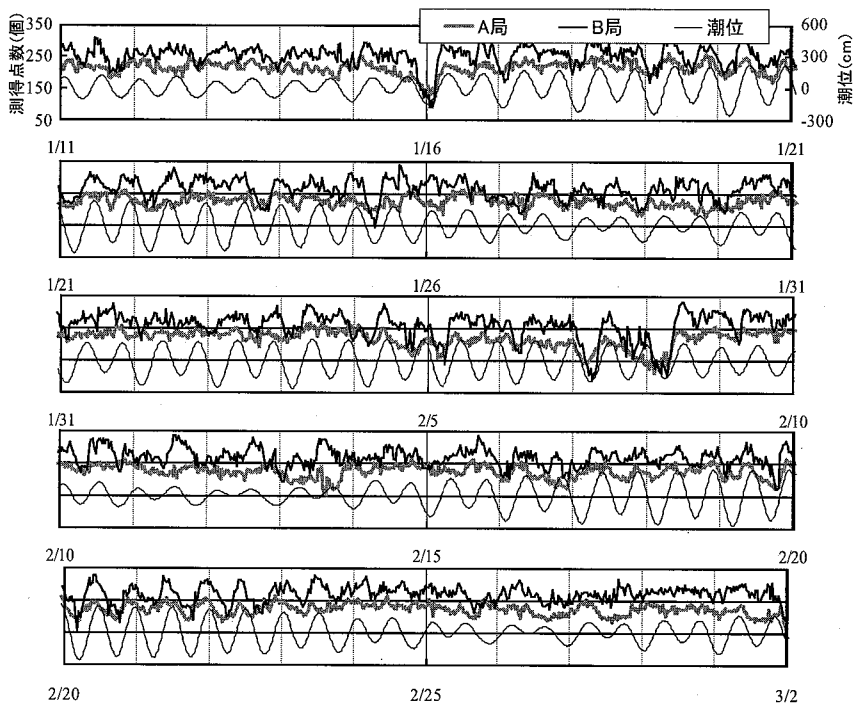


図-8 視線方向流速データ測得点数と潮位変動の時間変化 (2007年1/11～3/2)

方向上における各点の測得率は、ほぼ90%以上の高測得率である。

(3) 測得点数の変化特性

図-8に、2007年1月11日から3月2日までの50日間について、各局の視線方向流速データ測得点数と有明海の潮位変動(大浦)の時間変化を比較した。測得点数はB局が全体的にA局より多く、最大測得点数はA局で

約250点、B局で約330点である。これは、図-5に示すようにA局の2本の視線(A1, A2)の一部は陸上にあり、陸上部の視線方向流速が欠測となるためである。また、その測得点数は、高潮位時に多く、低潮位時に少ない傾向が見られる。そこで、測得点数変動と潮位変動の関係を調べるために、スペクトル解析を実施した。図-9に測得点数のパワースペクトルを示すが、A, B局とも

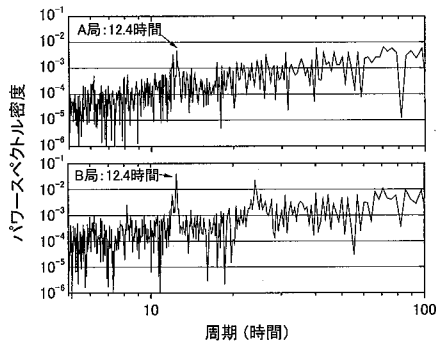


図-9 測得点数の時系列のパワースペクトル密度

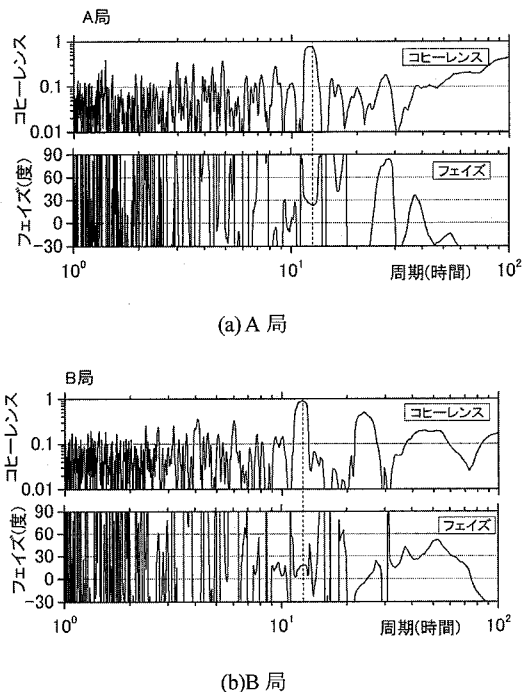


図-10 潮位変動と測得点数のスペクトル解析結果

卓越周期は約 12 時間 24 分と潮汐の変動周期に近い。さらに、測得点数の変動と潮汐変動のコヒーレンスとフェイズを図-10 に示す。コヒーレンスの最大値は図に点線で示したが、A 局で 12 時間 20 分、B 局で 12 時間 24 分とほぼ同じである。その時の位相差は A 局で約 50 分(約 25 度)、B 局で約 34 分(約 17 度)となった。このように潮位変動に対して、測得点数は 34 分から 50 分程度

先行して変動し、低潮位時に測得率が低下する傾向が見られた。図-6 に示す測得率が低下した視線方向距離 15 km 以上の領域では、近距離の領域と比較して、S/N 比が小さくなるために、この傾向が現れたと考えられる。この測得率低下の直接的な要因については、潮位変動と連動して変化する水深や潮流の大きさ、また、淡水の流入による影響等が考えられる。現段階では、その原因は未解明であるが、今後の課題として、検討する予定である。

4. おわりに

無線通信を利用した海洋レーダによるリアルタイム観測システムを構築し、有明海において 2ヶ月連続観測した。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 各基地局から視線方向 15 km 以内において、データの測得率は 90 % 以上と高い。
- (2) 視線方向 15 km 以上離れた領域を中心に、視線方向流速データ測得点数は、潮位変動と連動して変化する傾向が見られた。

Dragon System は、河川からの異常出水等の不定期なイベントに対しても、長期連続観測により有効なデータを得る可能性が高い。また、無線通信システムを採用し、有線通信システムよりも可搬性に優れている。すなわち、油流出事故等の突発的な事象が発生した場合、FOMA のサービスエリア内で 40 m×4 m 程度の敷地があれば、電源工事のみで緊急リアルタイム観測が可能である。

謝辞：システム構築にあたっては、(株)電力計算センターの山崎健一氏には、大変お世話になりました。ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 坂井伸一、平口博丸、松山昌史、坪野考樹、森 信人、杉山陽一、藤井智史、佐藤健司、松岡健志(1998): 短時間観測が可能なデジタルビームフォーミング方式による沿岸海洋レーダの開発、海岸工学論文集, 第 49 巻, pp. 1511-1515.
- 坪野考樹、森 信人、松山昌史、坂井伸一(2007): DBF 海洋レーダの表層流速自動推定法、海岸工学論文集, 第 54 巻 (印刷中)。