

沖縄沿岸海洋環境観測のための海洋レーダ技術の研究開発 (122311002)

Oceanographic Radar for Observation of Coastal Water at Okinawa

研究代表者

藤井 智史 琉球大学
Satoshi Fujii University of the Ryukyus

研究分担者

御手洗 哲司 沖縄科学技術大学院大学
Satoshi Mitarai Okinawa Institute of Science and Technology

研究期間 平成 24 年度～平成 25 年度

概要

現在利用されている海洋レーダは、沿岸から数 km 以上沖合からしか観測できず、距離分解能も km オーダーであるため、沖縄地方のようなサンゴ礁周辺海域の詳細な流動観測には不十分である。そのため、沿岸から数 km 以内のサンゴ礁海域を高い空間分解能で観測するために必要な性能要件を実際の海洋観測から明らかにし、その性能に達する近距離高分解能海洋レーダの技術指針と実現方法をプロトタイプシステムを構築して検討を進める。

1. まえがき

沖縄は黒潮の影響をうけた島嶼地域で構成され、世界で有数のサンゴ礁生態系を有する海に囲まれている。その特異で優れた沿岸環境を正確にとらえることができる近距離高分解能海洋レーダの技術指針と実現方法の研究開発を目的としている。その観測結果を沿岸環境保護などに応用することにより、沖縄における海洋生態系の保全とその恩恵としての漁業や観光などの産業振興に寄与できると期待される。

現在国内外で稼働している海洋レーダは、5~42MHz の短波帯から VHF 低周波帯を利用しており、沿岸から数 km 以遠の沖合の観測を対象とし、許容される帯域幅の制限から距離分解能は km オーダーに限られている。比較的帯域幅が広い 42MHz 帯レーダでも空間分解能は 0.5km に制限されており、サンゴ礁を含めたごく沿岸域での観測には不十分である。

本研究では、海岸からごく近距離の海を対象として現在の 10 倍程度の分解能を有する海洋レーダの開発を目標としている。

2. 研究開発内容及び成果

研究目的の近距離用高分解能海洋レーダの構築にあたり、以下能 2 点について研究開発を進めた。

- (1) サンゴ礁海域観測パラメータの抽出と検証
- (2) 海洋レーダシステムの構築

2-1. サンゴ礁海域観測パラメータの抽出と検証

実際のサンゴ礁海域で海底設置型流速計を用いた現場観測により、海洋レーダに必要とされるパラメータを抽出することを目的に、平成 24 年度ならびに平成 25 年度に 1 回ずつ沖縄本島沿岸のサンゴ礁海域で流況観測を行った。

平成 24 年度は、沖縄県国頭郡本部町備瀬崎灯台沖の水深 13m と 19m に、音響式流向流速計を 2 基、平成 25 年 2 月 4 日から 3 月 7 日までの 32 日間海底に設置して観測を行った。この調査では海洋レーダで観測する対象をより明確にできるよう、目標とする解像度 (100m) に近い 70m 間隔に設置した 2 地点の流速差などを計測した。

平成 25 年度は、沖縄県国頭郡恩納村谷茶前の水深 13m と 14m に、音響式流向流速計 (ADCP) を 2 基、平成 26 年 1 月 17 日から 2 月 17 日までの 29 日間海底に設置して観測を行った。流速計の固定には、金属製の杭と土嚢袋を

用いて行い、流失を防止した (図 1)。

設置中の 29 日間、波の高さは 0.5 m から 3.5 m の間を変動した。これは大陸からの強い北風が周期的に吹き付けていることに対応すると思われる。波の向きはほぼ常に北側であるが、50 度程度の変動は見られた。一方、流れは海岸線に沿った流れが卓越しており、流速は 0.1 - 0.3 m/s 程度、向きは北東が主であったが、平均流と同程度の規模の変動も見られた。2 地点間では、地点 A の流速の方が地点 B に比べ若干早いと観測された。これらの波と流れの変動データはレーダで捉えられる周波数データと比較される。また、サンゴ礁内に風が吹くときに、水面にそれに呼応した波が視認により観測された。周期は短く数分の単位であり、このような風波がどのようにレーダの観測データに影響を及ぼすのかも検証していく必要があることが分かった。



図 1 流速計の設置場所と設置方法
海底にくい打ちしてフレームを固定し、さらに土嚢袋をのせて厳重に固定する。

2-2. 海洋レーダシステムの構築

・プロトタイプシステムの仕様と設計

プロトタイプシステムは、信号処理パラメータの修正が容易なソフトウェア無線技術を用いて構築することとした。受信部ソフトウェアは Linux システム上でツールキットとして GNU Radio を用いて構築した。無線インタフェースとして USRP N210 を受信アンテナの素子アンテナごとに配備し、PC との間を独立したギガビットイーサ (GbE) で接続する構成とした。

想定周波数を 400MHz 帯としてシステムを想定し、処理能力等について検討した。その結果、次のようなパラメ

ータの FMCW レーダとして海洋レーダを構成し、それに
基づき設計を行った。

- ・ 中心周波数 412.9725 MHz)
- ・ 掃引周波数幅 1.255 MHz
- ・ ブラッグ散乱波長 0.363 m
- ・ 同ブラッグ共鳴波長の位相速度 ± 0.753 m/s
- ・ 掃引周期 16 Hz
(観測可能最大流速を 2 m/s と想定)
- ・ 掃引速度 20.08 MHz/s
- ・ 空中線電力 10W

なお、使用周波数および電力は、総務本省衛星移動通信
課ならびに沖縄総合通信事務所との協議・調整の結果、沖
縄総合通信事務所管内での特定試験実験局用周波数とし
て告示された、412.345-413.6MHz を利用することとな
った。この帯域幅では、研究開発当初の目標である距離分
解能 100m には若干満たないが、ほぼ同程度(約 120m)の分
解能を得ることができることとなった。

この仕様でシステム設計を行い、図 2 に示すような
GNU Radio のフローグラフで表された構成で実装し、処
理速度に関して疑似信号を入力し上記構成システムで実
現可能なことを検証した。

なお、送信部については、USRP N210 上でのドーたボ
ード WBX で直接生成される 400MHz 帯 RF 信号にはオー
バーサンプリングによるデジタル処理での周波数変
換では多数のスプリアスが発生し、特に所望信号の近傍周
波数でのスプリアスについてはフィルタでの除去または
低減が困難であることが分った。そのため、USRP N210
の Basic TX ドータボードの出力に、外部局部発振器と平
衡変調器(DBM)にて構成されたアップコンバーターを用
いて所望周波数を得ることとした。

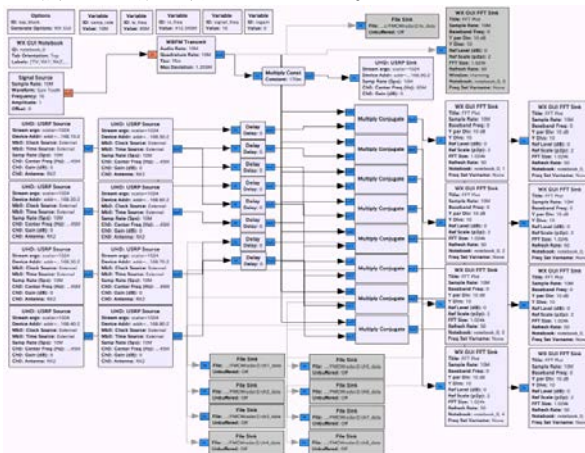


図 2 海洋レーダプロトタイプシステムを構成する
GNU Radio のフローグラフ

・ アンテナシステム構成の検討と製作

送信アンテナは、観測海域をレーダ正面から左右方向に
 $\pm 60^\circ$ の範囲とするため、3 エレメント八木アンテナを用
いている。

受信アンテナは、素子アンテナとして 3 エレメント八木
アンテナを用いて、図 4 に示すように 8 素子で構成する
リニアアレイアンテナとした。この合成ビームはボアサイ
ト方向で 10° 、 $\pm 60^\circ$ 方向で 25° のビーム幅となる。こ
のアレイアンテナの各素子間位相の正確さを得るため、給
電用同軸ケーブルの長さは 1mm の精度を確保した。

平成 26 年 3 月に沖縄県国頭郡恩納村恩納の沖縄科学技
術大学院学シーサイドハウス横にアンテナを設置し、送受

信実験を実施した。観測実験時に展開した送受信機部な
らびに受信アンテナアレイを図 3 に示す。



図 3 プロトタイプレーダシステム

(a) PC の右が受信用 USRP N210 群。左側は送信用
USRP N210、局部発振器、アップコンバータ、
終段パワーアンプで構成される送信部。

(b) 受信アレイアンテナの構成

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

本研究開発の成果により、ごく沿岸域の流動場を高分解
能に計測できる海洋レーダを構築できることを示した。さら
に、海洋レーダが海況を陸上から面的かつ連続的に観測
できることは、海上における観測作業の労力とコストを考
えると、運用や保守の面から極めて有用な測器として活用
が期待される。

サンゴ礁生態系の北限に位置する沖縄の沿岸域は、黒潮
の影響も受け、豊かな生物多様性を誇っている。その海洋
環境の保全は、沖縄地域における環境保護の根幹をなして
いる。海洋レーダを活用して正確に海洋環境を把握でき
れば、その保護・保全に大いに役立てることができる。

また、その観測技術と活用成果は日本国内ならびに世界
でのモデルとなり得るものであり、海洋環境の理解や保護
が進むことで保たれる豊かな生態系とそこからもたらさ
れる漁業や観光等の地場産業への貢献も大きいと期待さ
れる。

4. むすび

ごく沿岸域の海洋環境計測を可能にする近距離高分解
能海洋レーダを構築するために必要となる観測パラメ
ータの抽出とその検証を行い、所望性能を有する海洋レー
ダシステムプロトタイプを構築した。さらにそのプロトタイ
プシステムを用いて沖縄県西海岸での実観測を実施した。
今後、この結果を検証しつつ、具体的なシステム構築に向
けて研究を継続する予定である。

また、今回、海洋レーダという電気電子工学技術を基盤
とした研究と海洋物理や海洋生態学という異分野の研究
の連携が SCOPE を通じて実現できた。このことは、沖縄
地域における研究機関のポテンシャル向上に直接寄与す
るものであり、今後より広範な研究連携を生み出す第一歩
となるであろう。

【誌上发表リスト】

- [1] 小野、藤井、杉谷、川村、岩井、“淡青丸での海洋レ
ーダ洋上受信実験”、「大気海洋敵守斧リモートセンシ
ング技術の開発」共同研究集会、pp.11-13 (平成 25 年 2
月 25 日)
- [2] Mitarai, Uchiyama, Sakagami, Molemaker, Siegel
and McWilliams, “Typhoons alter dispersal patterns
in the Kuroshio Current system”, ASLO 2013 Aquatic
Sciences Meeting (平成 25 年 2 月 22 日)