

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：18001

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560525

研究課題名(和文) 海洋レーダによる津波観測の高度化

研究課題名(英文) Tsunami observation by oceanographic radar

研究代表者

藤井 智史 (FUJII, SATOSHI)

琉球大学・工学部・教授

研究者番号：30359004

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：海洋での流れや波浪などの空間的分布や時間的変動を把握することができる海洋レーダを津波観測に利用するにあたって必要となる観測パラメータや技術要件を検討しその指針をまとめた。また、海洋レーダの流速観測データから津波到来検出のためのqファクターの有効性を検証し、その計算法を拡張して、津波到来時の流動場変動分布と時間変化をより詳細に明らかにする手法を構築した。さらに、海洋レーダ観測から津波波源の逆計算による津波現象の把握と防災への活用方法を示した。

研究成果の概要(英文)：Oceanographic radar, which can observe distributions and time-variations of coastal surface currents, is expected to detect actual tsunami arrivals. Technical and observation parameters of tsunami observation by oceanographic radar are discussed in detail and summarized. The q-factor, which signals the tsunami arrival when it exceeds a threshold value, is evaluated as its performance. As the extension of the q-factor computation, we introduce averaging method of coastal current velocities over "width-limited band" to analyze in detail short-time distribution of current patterns like tsunami waves and oscillation. The inversion method to estimate tsunami initial surface elevation using oceanographic radar data is also developed and will contribute to prevent and mitigate tsunami disasters.

研究分野：電子システム工学

キーワード：海洋レーダ 計測システム 津波

1. 研究開始当初の背景

(1) 沿岸観測機器としての海洋レーダ

海洋での流れや波浪などの空間的分布や時間的変動を把握するために、従来の直接観測では、多数の係留ブイを面的に設置したり、船舶での移動観測を連続して行う必要がある。このような海上観測は、計測機器の設置や継続観測の維持管理に多くの労力と費用を要し、観測点数が多くなるにつれて負担はさらに大きいものとなる。

このような直接観測の欠点を補い、現象の空間分布を把握する観測技術として、衛星リモートセンシング技術がある。しかし、衛星搭載のセンサーは、全球規模の広範囲な海洋情報の理解に適しているが、沿岸域スケールの海洋現象を理解・解明するためには、衛星リモートセンシング技術の空間・時間分解能では不十分で、かつ、沿岸域近傍では誤差が大きいという欠点がある。

沿岸域の海洋観測機器として、海洋レーダが注目を集めている。海洋レーダは、波長が数 100m から 1m 程度の海面重力波からのブラッグ散乱(波長が散乱体の波長の 2 倍の電波による散乱)を受信するため、船舶用や気象レーダで使用される波長数 cm 程度のマイクロ波帯ではなく、波長 100~数 m の短波(HF)帯や超短波(VHF)帯の電波を利用している。また、海洋レーダは、表層流や波浪、海上風向などの空間分布を比較的高分解能に連続的に観測するために、受信信号のドップラー周波数解析を利用しており、ドップラーレーダ技術の一種であると言える。

海洋レーダには、陸上設置のため維持管理が容易なこと、荒天時でも運用が可能であるという利点がある。加えて、空間的に広がりを持つ海洋情報を面的に連続観測ができることから、沿岸海洋観測には非常に適した観測機器であると言える。この特長から、近年、海岸工学や海洋科学関係の研究機関を中心に導入が進んできており、さらに、港湾管理や海洋情報の現業部門の監視業務や海洋調査企業などに導入され始めたところである[1]。

(2) 海洋レーダによる津波の観測

地震に伴う津波の検知に海洋レーダを利用する検討は、その開発当初から試みられており、研究代表者らもシミュレーションを基に津波観測・監視に関する技術について特許化を行っている[2]。しかしながら、津波現象発生の頻度が極めて低いことと、海洋レーダの連続観測網の広域展開が不十分であったことから、これまで実際に津波を観測するまでには至らなかった。

そんな中、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震が発生し、それに伴う巨大津波が日本沿岸各地を襲い大被害をもたらした。その波高は海岸で最大 30m 以上に達したと記録されており、海上においてもそれまでに類を見ない波高と空間的広がりを持った規模

であった。

その際、日本国内と太平洋をはさんだ南北アメリカ大陸西海岸で連続観測中の海洋レーダが、史上初めて津波到来時の流速観測を行うことができ、報告がなされた。研究代表者らも、通常1時間間隔の通常観測モードで稼動していた海洋レーダを、急遽連続観測に切り替えることにより、津波到来時の流速観測を行い、GPSブイや沿岸の潮位計との比較から初めて実際の津波による洋上での流動場変動をとらえることに成功した。

(3) 海洋レーダでの通常時の観測と津波観測

現在、沿岸の環境計測や海況監視に利用されている海洋レーダは、通常時の沿岸域での流動場を支配している潮流やそれより長周期の現象を計測するべく、1~2時間間隔での観測を行っている。そのため、積分時間を1~1.5時間程度とり平均化することでノイズ成分を減じている。海洋レーダでは、海面での散乱がほぼ水平入射となることでほとんどのエネルギーは前方に散乱しレーダに戻る後方散乱は微弱であることと、伝搬路が往復とも伝搬損失の大きい地表面伝搬モードであることにより、受信される信号は極めて微弱となる。このことから、海洋レーダでのSN比改善とそれによる流速読み取り精度の向上には、この積分時間(平均化処理時間)は重要なものとなっている。

それに対して、津波の振動周期は1時間未満であるため、より短時間間隔(数分程度)での観測が必要とされている。そのため、送信電力が制限される中での信号処理法の検討が要求されている。

2. 研究の目的

海洋レーダの観測データから、海上での津波の挙動を連続的に観測できる技術を開発することにより、津波現象やそれに起因する湾内振動などをより詳細に把握することを可能になる。それにより、津波や高潮防災に海洋レーダを直接活かし、国民の安心・安全の確保に資することを目的とする。

その目的のため、現用の海洋レーダの問題点を洗い出し、津波観測に適した観測技術に関する指針を明らかにするとともに、その信号処理・データ処理法の開発を本研究課題の具体的な目的とした。

3. 研究の方法

(1) 上記の研究目的を実現するために、まず、実際に海洋レーダで観測された津波到来時の流速データを収集し、その信号処理レベルでのデータの取扱や、流速データからより詳細な津波現象の把握といったデータ活用を容易に行えるようにデータベースを構築する。

(2) 並行して、現行の海洋レーダ観測では津波のような周期が1時間以内の現象を観測す

るようには設計・運用されていないことから、津波観測に必要な観測パラメータおよびレーダ技術の諸元を洗い出し、その条件や技術課題をまとめた。これにより今後の「津波観測レーダ」または「津波観測モード」の構築に資する。

(3) 津波検知にかかる信号処理法に関して検討する。海岸に津波が達する前に、洋上で津波到来を検知することができれば、警報の精度向上に役立ち、避難行動を含めた安全確保に直結する。そのため、津波の検知は海洋レーダに期待される大きな要素である。津波の検知には、観測時間の短時間化が重要な課題である。これに対して、流速観測でのSN比向上に、通常観測時のような時間平均ではなく空間平均による方法が提案されている。その手法の有効性を実際の津波到来時データにあてはめて検証する。

(4) 現在の地震発生時の津波被害予測は地震観測による地震発生場所と規模から推定しているが、それに対して、実際の津波そのものを計測して被害予測ができれば、より精度の高い被災状況の推定ができ、救難計画策定や実際の救難活動が効率よく行える等の防災上のメリットは大きい。これを目的に、海洋レーダの観測された流速分布を逆伝搬させることにより、津波波源域での初期水位を逆計算し、その波源を用いて津波を伝搬させて高精度な津波シミュレーションが可能となる手法を検討する。

4. 研究成果

(1) 海洋レーダデータの収集とデータベース化

2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震によって発生した津波が到来した際の海洋レーダのデータを詳細に検証するために、当時連続観測を行っていた国内沿岸の海洋レーダの抽出を行った。

その結果、国土交通省中部地方整備局にて設置展開されている伊勢湾および三河湾の海洋レーダ6基のスペクトルデータと通常モード公開用流速データ、ならびに国土交通省四国地方整備局が設置している紀伊水道四国側の2基の海洋レーダのスペクトルデータと通常モード公開用流速データを入手した。さらに、国土交通省近畿地方整備局にて設置されている紀伊水道和歌山側の海洋レーダ2局のADデータを入手した。

これらのデータは、津波前後での比較検討が必要であるため、前後2カ月のデータを入手した。また、スペクトルデータならびにADデータは、レーダ受信機からの一次データであり、例えば、CODAR/SeaSondeレーダのスペクトルデータは、1分間隔で64kバイトのデータとなり、これらのデータ量は合計で5Tバイトにおよぶ。

このスペクトルデータ等から必要な時間

間隔の流速データを計算しデータ処理法の検討に活用できるようにデータサーバと計算用サーバを整備した。現在、伊勢湾・三河湾の4局分について、津波検知アルゴリズム検討のために5分間隔流速データを2か月分作成し、このデータベースに蓄えており、他のデータ形式にも活用できるようになっている。

(2) 津波観測パラメータと技術検討

現在稼動しているHFレーダは、沿岸流動や波浪の監視・観測が主な用途であるため、ほぼ1時間毎に1回データを出力している。レーダシステム全体としては、複数のレーダ局と1台の中央局から構成されている。各レーダ局は、1時間毎に平均化したドップラースペクトル（または、それから求まる視線方向流速）を中央局に送っている。中央局は、複数のレーダ局の視線方向流速を合成し、流速ベクトルや波浪の計算を行っており、ここまで約30分の時間を要している。

津波の計測では、周期1時間以内の変動を扱う必要があり、現在のレーダシステムの観測間隔、観測時間及び処理時間は津波計測には全く不十分である。このため、これらの処理の高速化が必要である。

また、津波の検知範囲を広げるためには、距離方向にも方位角方向にも観測範囲の拡大が望まれ、同時に高精度に津波伝播の挙動を知るためには両方向の高分解能化も必要となる。この改善は、観測範囲拡大という点で通常観測にも有効である。

さらに、津波到来時に有効なデータを確保し伝達しなければならないという災害対応の観点から、停電や通信トラブルへの対処にも考慮が必要である。

以下に、上記の3つの課題について詳細を検討しまとめた。これらを、系統立ててまとめたのは初めてであり、本研究での成果である。

① 流速計測の高速化

海洋レーダでは、送受切換えながら周波数掃引するFMCW(FMICW: Frequency Modulated Interrupted Continuous Wave)方式で電波を送信し、海面の各距離から同時に返ってくる受信信号をフーリエ変換することで受信信号の距離分布を算出している。流速計測を行うには、電波の周波数に対して極めて小さいドップラー周波数偏移を位相変化として検出するために、必要な時間の時系列データを得る必要がある。例えば、現在稼動中の24.5MHzのレーダでは、4.78cm/sの速度分解能を得るために128秒間の観測時間が必要である。

速度分解能を低めれば観測時間を短くすることは可能であるが、東北地方太平洋沖地震津波の観測結果から、波高数10cmの津波検知のためには数cm/s程度の速度分解能が必要であることが示されている。つまり、津波計測では、この速度分解能を保ちつつ流速

計測の高速化と連続化を図る必要がある。そのために必要な要点を以下に述べる。

a) 流速算出時の SN 比の改善

1 回の 128 秒間データから得られるドップラースペクトルは、ノイズによる速度情報の読み取り(1 次散乱ピーク周波数の読み取り)のあいまいさが大きくなるため、通常観測では、128 秒間のドップラースペクトル(パワースペクトル)を何回か計測して、それらを平均化することで SN 比の改善を行っている。例えば、現行のアレイアンテナ方式の海洋レーダでは、約 8.5 分(512 秒)の観測データから 1/2 区間オーバーラップの切り出しで得られる 7 個の 128 秒間データを平均化している。

津波観測では、数分毎に流速値を得る必要があるため、このような平均化処理を行えない。そのため、1 回分のドップラースペクトル(例えば 128 秒間)でも SN 比を向上でき、流速読み取り精度を高められる方法が必要となる。その対策として考えられるものを以下に列挙し、効果について検討する。

・送信出力の増大

送信電力を大きくすれば受信信号も大きくなり SN 比を改善できるが、外の無線局に干渉を与える可能性が高くなるため、特に慎重な検討が必要である。

・アンテナおよび受信機数の増加

アンテナ開口を広げれば受信ビームを狭まるため所望方向以外のノイズの影響を避けられるが、アンテナ数を変えずに開口長だけを上げるとサイドローブが増大して別の方向からのノイズの影響が大きくなってしまう。そこで、開口長の増大とともに、アンテナ数増加によりサイドローブを抑圧する方法を併用することで、所望方向以外からのノイズ成分を減らすことができる。また、アンテナ数の増加により単純に受信合成電力も大きくなるため、各受信機間のノイズに相関が無ければ SN 比を上げることができる。

・受信機の改善

受信機単体として、NF(Noise Figure: 雑音指数)の改善、高感度化、ダイナミックレンジの向上、基準発振器の高安定化といった、電子回路や素子レベルでの改善を行う余地がある。10dB 程度は改善できるであろう。

・レーダ方式の変更

FMCW 方式では、送受信機を交互に ON/OFF することで、送信信号の直接混入がない(小さい)受信時間を確保している。この方式には、送受切換えによりスイッチングノイズが発生する、受信ウィンドに入らなかった信号が受信されないため信号強度が低下するといった欠点がある。この改善には、送受信機を ON/OFF せず連続送受信を行う FMCW 方式を用いることが考えられる。実際、Helzel 社の WERA システムは FMCW 方式を採用している。この方式で、受信機ダイナミックレンジの向上や送受信アンテナの配置の工夫などにより、送信信号の受信機への直接混入の影響を解消できれば、SN 比

の大きな改善になることが期待される。

b) ドップラースペクトル算出の高速化

現在、約 5cm/s の速度分解能を得るために 128 秒の観測を要しているのは、スペクトル解析に FFT を用いているからである。津波到来時の流速変化を、スペクトル形状の変化としてとらえるのであれば、短時間フーリエ変換やウェーブレット変換などの利用とその効果について検討を進める必要がある。

また、より短い時間の観測データから高分解能スペクトル推定を行う MEM、MLM 等の非線形スペクトル推定法の利用も考えられる。

c) 連続観測化

現状のアレイアンテナ方式の海洋レーダの通常観測では、レーダ局で周波数掃引を必要回数分行って観測を終えて、ドップラースペクトルを算出して中央局にデータを転送したあとは、次の観測時刻まで観測を休止している。また、連続観測をしている CODAR/SeaSonde レーダも、ドップラースペクトルの平均化処理は 1 時間ごとにしか行っていない。

通常の 1 時間毎の観測であれば、このようなドップラースペクトル算出スケジュールでも問題はないが、津波計測のように連続して変化する流速データを必要とする場合には、観測(FMICW 信号の送受信)と距離分布の計算(距離 FFT)は中断なく連続で行い、ドップラースペクトル算出以降の処理は必要掃引数(観測時間分の掃引)が集まり次第、別プロセスで並列処理して流速値を連続出力する必要がある。

② 観測の広範囲化と高分解能化

津波到来を検知するためには、方位角方向にも距離方向にも広い観測範囲が有利であり、津波による流速変化を高精度に検知するためには方位角方向にも距離方向にも高分解能化が求められる。

a) 広範囲化

方位角方向には、現在稼動しているアレイアンテナ方式の海洋レーダは 90° の観測範囲を持っている。このシステムの送信用 3 エlement 八木アンテナの半値角はもともと約 120° であり、観測範囲の制限要素ではない。したがって、受信側の改善—例えば受信用アレイアンテナの配置の工夫—により広角掃引時のサイドローブやバックローブを抑圧できれば、120° 幅程度まで観測範囲を広げられる。ただし、この方法はアレイアンテナを設置する用地の大きさや形状の制限を受けるため、設計時にシミュレーションによるアンテナパターンの最適化が必要であろう。

距離方向については、SN 比の向上で観測距離を拡大できるため、流速算出時の SN 比の改善の項で述べた内容をそのまま利用できる。

b) 高分解能化

方位角方向の分解能は、アレイアンテナの

場合はアンテナ開口長で物理的に規定される。現在稼働中の海洋レーダで使用している、8素子の3エレメント八木アンテナを半波長間隔で配置した直線アレイアンテナのビーム幅は、約 15° となっている。これを改善するには、開口長を広げることになるが、より広い設置面積を要することになり、用地選定が鍵になる。

FMCW/FMICW方式の距離分解能は掃引周波数幅で決定されるため、例えば、国内最多数の24.5MHzレーダの場合、掃引幅は100kHzであり距離分解能は1.5kmとなる。レーダ局の送信電波については、無線局免許にて規定されるが、海洋レーダの重要性や有用性から広い周波数帯域幅が認められれば、距離分解能の改善を見込める。

③ レーダシステム全体の対応

a) 通信の高速化

流速ベクトルは、複数のレーダ局の視線方向流速を用いて算出されるため、各レーダ局から中央局へのデータ転送時間の短縮も重要である。それには、現在のISDN回線より高速な、ADSLや光回線などの有線回線や、WiMAXやLTEなどの高速無線回線の活用が候補となる。

また、伝送するデータ量を減らして通信に要する時間を減らしてことを考えるならば、レーダ局側で流速値まで計算するなどの方策を要する。

b) データの確保と可用性の向上

事後の高精度解析のためのADデータの保存には、レーダ局側に大容量ハードディスク等で構成されたデータ保存システムが必要であろう。また、地震や津波発生時のデータを確保するためには、停電などの電源障害に備えて交流電源の多重化や蓄電池による電源のバックアップを行い、中央局へのデータ転送を可能にするためには回線断や輻輳などの通信障害に備えて冗長経路の確保やデータ保存用ディスクを用意し、可用性の高いシステムを構築すべきであろう。この対策には、他のコンピュータシステム、計測システムなどの例が参考になる。

c) 津波観測モード

通常観測時とは異なる連続観測や短時間でのスペクトル演算を行うためには、通常観測とは別に津波観測モードを持たせることが考えられる。このモード変更には、人間が介入する手動切換えの他に、地震情報などを利用した自動切換え機能なども考える必要がある。

また、津波検知の自動化などを視野に入れるのであれば、潮汐除去や吹送流などの予測といった高度処理を織り込んだ津波現象の抽出を考えたシステムが必要となるだろう。

(3) 津波検知アルゴリズムの検証

津波の伝搬速度を考慮すると、津波検知には短時間処理による検知が必要となる。そのためには、ベクトル合成やノイズ除去、他成

分の分離などに要する時間を極力短くすることが望まれる。上述のように、特に、現行の海洋レーダでは、ドップラースペクトルを時間平均によりSN比を改善することで視線方向流速を求めている。この平均化処理を空間で行うことと、ベクトル合成せずに1台のレーダの視線方向成分だけで津波検知をしようということ提案されたのが、qファクターである[3]。

その有効性に関して、2011年3月11日東北地方太平洋沖地震津波が伊勢湾内に到達した際に、三重県津市ならびに愛知県名古屋港に設置のCODAR/SeaSondeレーダで実際の観測されたデータを基に検証した。流速時系列とし、64秒間隔のドップラースペクトルから5分間の平均化処理して得たスペクトルを用いて視線方向流速を求めた。さらに、津波が浅海域に進行する際は等深線に直交する成分が支配的になることから、海底地形(等深線)に平行となる“バンド”と称する帯状領域内の視線方向流速を岸向き方向に投影した流速を空間平均して、qファクター算出のための流速時系列を求めた。

このバンド幅を変化させて、qファクターを構成する三要素(流速増加関数、流速偏差関数、相関関数)の寄与度を測った。その結果、ノイズ成分はバンド幅内の流速値平均によって津波到来の検知に十分なSN比となる程度に抑えられ、潮汐による潮流成分のような津波周期とは異なる流速変化は除去できることが示された。また、qファクターの値そのものは相関関数の影響が一番大きい、検知のための閾値設定に注意を要することが明らかとなった。

このqファクターの評価・検討は、今まで提案者以外ではなされておらず、本研究が最初である。

さらに、qファクター計算で使われる“バンド”状に広い領域での空間平均では、地形の影響が小さくないことがこの検討の中で判明した。このことは、直線状の海岸のように津波伝搬が海岸線(および沿岸の等深線)に直交成分だけで特徴づけられるような単純な地形が少ない日本においては、qファクターの利用に関して留意する必要があることを示している。

そこで、“長さの制限されたバンド”を導入し、津波による流動場変動の詳細情報把握について検討した。“長さの制限されたバンド”での平均化処理を行うことで、伊勢湾内で津波によって励起された副振動と考えられる流動場変動を捕らえることができた。これによって、海洋レーダ観測から、津波による湾内詳細流動といった短時間現象の把握が可能であることが示され、海洋レーダの短時間観測の活用の初端が開けたと考えられる。

(4) 津波流速場変動からの波源域推定 海洋レーダの流速場計測値を逆伝搬させ

て津波波源域での初期水位を逆計算することにより正確な初期波源が求められれば、そこから津波到達時の波高や津波浸水域の予測などが精度良く行うことができ、救援計画策定を精度良く行なえ救援活動が効率よく実施できる等の防災上大きなメリットとなる。その検証のために、海洋レーダで得られる流速精度や観測時間と逆計算で求めた初期波源の精度を、モデル津波を用いて計算機シミュレーションにて比較実験を行った。その結果とし、津波初期水位の再現性は津波の卓越周期とレーダ観測時間との相対関係で決まることを明らかにした。

これらの知見を基に、今後、海洋レーダの配置と観測時間や観測精度に関する検討を行い、津波検知だけでなく津波詳細観測を可能とする、津波観測レーダの構築に向けて研究を進める方針である。

<引用文献>

- [1] 土木学会編、陸上設置型レーダによる沿岸海洋観測、土木学会、2001年、212pp.
- [2] 藤井智史、徳田正幸、津波・海象監視予測装置、特許 2721486、1996
- [3] Lipa, B., J. Isaacson, B. Nyden, and D. Barrick, Tsunami Arrival Detection with High Frequency(HF) Radar, Remote Sensing, Vol.4, 2012年、1448-1461

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

- ① 藤良太郎, 日向博文, 藤井智史, 高橋智幸、海洋レーダを利用したインバージョンに対するレーダ観測時間の影響、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、査読有、第 69 卷、2013、436-440
- ② Fujii, S., M. Heron, K. Kim, J.-W. Lai, S.-H. Lee, X. Wu, X. Wu, L. Wyatt, and W.-C. Yang, Overview of developments and applications of oceanographic radar networks in Asia and Oceania countries, Ocean Science Journal, 査読有、Vol. 48、2013年、69-97
- ③ 日向博文, 藤良太郎, 藤井智史, 藤田裕一, 花土弘, 片岡智哉, 水谷雅裕, 高橋智幸、紀伊水道における短波海洋レーダを用いた津波・副振動観測、土木学会論文集 B2(海岸工学)、査読有、第 68 卷、2012、196-200

〔学会発表〕(計14件)

- ① 藤井智史、Development and Observation of Oceanographic Radar in Japan、18th Session of the Ocean Observations Panel for Climate、2015年4月14-17日、東北大学(宮城県仙台市)
- ② 藤井智史, 増山晃裕, 日向博文、Tsunami Observation Ise-Bay Area、The 2nd Ocean Radar Conference for Asia、2014年4月2-4日、Kaohsiung(台湾)

- ③ 藤良太郎, 日向博文, 藤井智史, 高橋智幸、Influence of Integration Time on the Accuracy of Estimation of Tsunami Initial Sea Surface Elevation Based on Inversion Using Oceanographic Radar、2014 Ocean Sciences Meeting、2014年2月23-28日、Honolulu(米国)

- ④ 仲松圭一郎, 藤井智史、海洋レーダでの津波検出におけるスペクトル推定法の研究、平成 25 年度電気学会九州支部沖縄支所講演会、2013年12月7日、琉球大学(沖縄県西原町)

- ⑤ 藤良太郎, 日向博文, 藤井智史, 高橋智幸、Influence of Integration Time on Tsunami Inversion by Oceanographic Radar、International Tsunami Symposium 2013、2013年9月25-28日、Göcek(トルコ)

- ⑥ 藤井智史、海洋レーダによる津波観測、第 10 回津波予測技術に関する勉強会、2013年7月2日、気象庁(東京都)

- ⑦ 伊藤浩之, 日向博文, 高橋智幸, 藤井智史, 花土弘, 川相隆, 小笠原勇、津波観測のための海洋レーダの改良、2012年海洋レーダ研究集会、九州大学応用力学研究所(福岡県春日市)

- ⑧ 藤井智史、Oceanographic radars in Japan、The 1st Ocean Radar Conference for Asia、2012年5月17-19日、Seoul(韓国)

6. 研究組織

(1)研究代表者

藤井智史 (FUJII, Satoshi)

琉球大学・工学部・教授

研究者番号：303590004