

仮想津波観測実験に基づく海洋レーダによるリアルタイム津波検知手法の開発

愛媛大学 学生会員 尾方浩平 国際航業・愛媛大学 正会員 藤良太郎 愛媛大学 正会員 日向博文

1. はじめに

海洋レーダは、海表面の流れや波浪を遠隔観測するリモートセンシング機器である。一方で、Barrick (1979) など多くの研究者によって過去 20 年にわたり、海洋レーダの津波検知への応用が数值的、理論的に議論されてきた。そのような中、2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による津波の流速場を日本、米国やチリの研究チームが海洋レーダを用いて初めて捉えることに成功した（例えば、Hinata et al, 2011）。以来、多くの研究者が海洋レーダを改良し、津波検知が可能な津波レーダの開発を進めている。ただし、日々の海象変化や船舶などのノイズによる海洋レーダ観測精度への影響が現時点では不明であり、今後、様々なノイズ状況下での津波観測性能の検証が必要となる。この観測性能の検証には、海洋レーダによる津波の実測データを用いる必要があるが、津波の発生頻度は著しく低いため津波観測データが不足している。そこで、Fuji and Hinata (submitted) では、津波シミュレーションによる数値モデルの計算結果に海洋レーダの実測データを数值的に合成することで、レーダが観測する仮想的な津波を作成し、観測性能を検証する手法を提案した（仮想観測津波実験）。この手法によりレーダの観測期間内において様々なタイプの津波の発生をシミュレートでき、観測データ不足を克服することができる。Fuji and Hinata (submitted) では、図 1 および 2 に示した和歌山県美浜町に設置されていた海洋レーダ（以下、美浜局レーダ）と南海トラフ地震（以下、内閣府断層パラメータケース 3 地震津波）の組み合わせによる最大の津波検知距離を津波到達後 60 分間の観測データを使った後解析に基づいて解析した。そこで、本研究では、リアルタイム津波検知手法を開発し、その手法の性能検証を目的とする。

2. 仮想津波観測実験に基づくリアルタイム津波検知手法

解析に用いた仮想津波観測データは Fuji and Hinata (submitted) が作成したものである。データとなる視線方向流速は美浜局レーダの各観測点（視線方向：1.5 km-96.0 km, 1.5 km 間隔；方位分解能：7.5°；図 2）において 1 分間隔で得られている。数値計算の結果から津波の周期が概ね 60 分とわかっていたため、60 分ハイパスフィルターを使って視線方向流速から潮流など津波周期よりも長い周期の成分流（背景流）を除去し、津波成分流を抽出した。このとき、フィルターウィンドウの後半（ここでは 30 分間）の背景流については、AR モデルを用いて予測した。

本研究では、美浜局レーダの 12 本のビームのうち、ほぼ真南を向いている第 4 ビーム（図 2）上において、相関算出距離 3 km（藤ら, 2015）離れた 2 点（以下、相関算出点）で観測された視線方向流速の 60 分間の相互相関係数に着目して、リアルタイム津波検知と検知距離について以下の手順で検討を行った。（1）平常時相互相関係数の計算：2014 年 2 月の 1 ヶ月間の観測データから得られる 1 分ごとの視線方向流速を用いた。63 組の相関算出点

(1.5-3.0km, 3.0-4.5km, ..., 94.5-96.0km) において 60 分間の視線方向流速データ 60 個を用いて 1 分ごとに 1 ヶ月間分の相互相関係数を算出した。そして、各組合せにおいて得られた 40,260 個の相互相関係数を用いて、平常時の相互相関係数の頻度分布を作成し、それを正規分布で近似し確率密度を計算した。（2）津波検知判定方法：（1）

で求めた各相関算出点の平常時相互相関係数の頻度分布と津波発生時の相互相関係数を比較することでリアルタイム津波検知の判定を行った。具体的には、まず各相関算出点の平常時相互相関係数の確率密度分布に

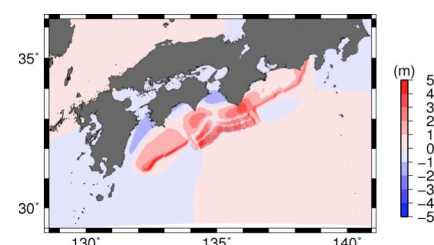


図 1. 内閣府断層パラメータケース 3 地震津波の津波初期水位。

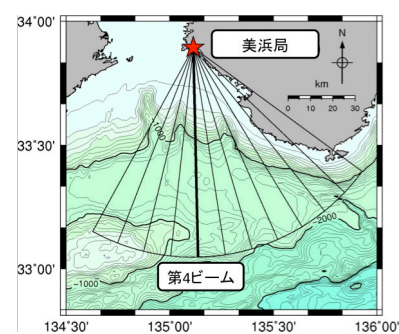


図 2. 美浜局レーダの観測範囲。

ある閾値（ここでは，上位 1，5，10，15%に相当する相関係数）を設定する．そして，各算出点において津波発生時の相関係数が閾値に相当する値を超えているかを判定する．沖側に連続して隣り合う 2 つの組合せについても同様の判定を行い，3 つの組合せ（例えば，12.0-15.0 km, 13.5-16.5 km, 15.0-18.0 km）全てで相互相関係数が閾値を超えた場合に，その時刻において最も岸側の観測地点（この場合，15.0 km）で津波を検知したと判断した．

3. リアルタイム津波検知結果

図 3 は第 4 ビーム上の仮想津波視線方向流速の時間—岸沖距離ダイヤグラムに，津波発生時刻を 2014 年 2 月 1 日 6:00 とした場合の第 4 ビーム上での津波検知結果（上位 1% の場合）を重ねたものである．図中の黒線に沿って押し波第 1 波が岸に伝播している．津波到達前に検知と判断した場合（誤検知）に緑丸，津波到達以降に初めて検知した時刻に赤丸を記している．この津波ケースの場合，沖合 30km 付近で発生した押し波第 1 波が津波発生後約 19 分でレーダ設置地点に到達する．沖合 15 km 地点までは津波到達時刻から初めて津波を検知した時刻までの時間（以下，検知時間）が 1 分以下，そこから 24 km 沖合までは検知時間 1-2 分であり，ほぼリアルタイムで津波を検知している．24km 地点では津波発生 5 分後に押し波第 1 波をとらえていることから，今回のケースでは津波が岸に到達する 14 分前に津波を検知したことになる．

4. まとめ

美浜局レーダの観測受信波（2014 年 2 月の 1 ヶ月間）と内閣府断層パラメータケース 3 地震津波を用いて津波をリアルタイム検知する手法を開発した．2014 年 2 月 1 日 6:00 に津波が発生した場合には，24k 沖合で押し波第 1 波到達から 1-2 分遅れで津波を検知できたと推定された．時間的には，津波がレーダ設置地点に到達する 14 分前に津波を検知できたことになる．今後は，本手法のケースを増やし，統計的な解析から本手法の検証を行う予定である．

謝辞 本研究は科学研究費（課題番号 16H04419）の補助，および総務省 SCOPE（受付番号 165011003）の委託を受けて行った．

5. 参考文献

- 1). Barrick, D. E. (1979) : A coastal radar system for tsunami warning, Remote Sensing of Environment, Vol. 8, pp. 353-358.
- 2). Hinata, H., Fujii, S., Furukawa, K., Kataoka, T., Miyata, M., Kobayashi, T., Mizutani, M., Kokai, T., and Kanatsu, N. (2011) : Propagating tsunami wave and subsequent resonant reception signals detected by HF radar in the Kii Channel, Japan, Estuar. Coast. Shelf Sci., 95(1), pp.268-273.
- 3). Fuji, R. Hinata, H. (submitting): Temporal variability of tsunami arrival detection distance based on virtual tsunami observation experiments using numerical simulation and one-month HF radar observation.
- 4). 藤 良太郎・日向 博文・藤井 智史・永松 宏・小笠原 勇・伊藤 博之・片岡 智哉・高橋 智幸. (2015) : 仮想津波観測実験に基づく海洋レーダ津波検知距離の検討, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 71, No.2 pp. I_337-I_342.

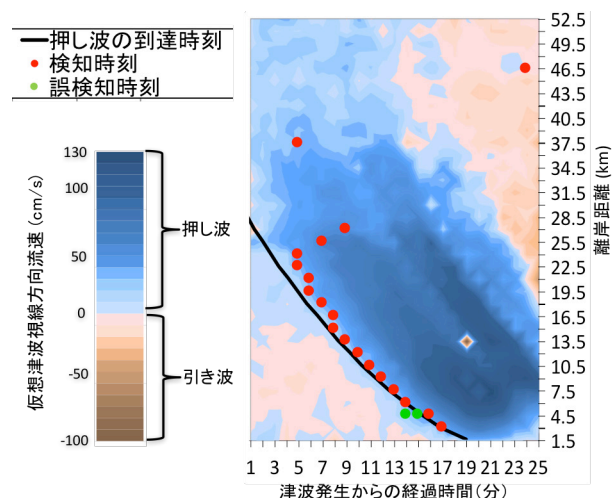


図 3. 津波発生タイミング 2014 年 2 月 1 日 6:00 の閾値が上位 1% 値の場合のリアルタイム津波検知結果と仮想津波視線方向流速の時間変化を表したコンターの重ね合わせ図．