

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検討

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

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震津波の流速場計測の成功以来、海洋レーダによる津波検知技術の開発が進められている。津波避難遅れへの対策として、津波フロント部における流速変動を捉え津波を早期に検知する手法（以下、リアルタイム津波検知手法）の開発が Lipa et al. (2012)や Grilii et al. (2015)により行われている¹⁾。ただし、時々刻々変化する海象変化や船舶航行に起因した背景ノイズの海洋レーダ観測精度への影響については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、多くの津波実測データを用いる必要があるが、津波の発生頻度が著しく低いため津波観測データが不足しているのが現状である。この観測データ不足を克服するために藤ら（2015）は、津波計算結果と海洋レーダの実測データを数値的に合成することで仮想的な津波観測データを作成し、そのデータを使って津波検知手法の精度検証を行う手法（以下、仮想津波観測実験）を提案した。この手法に基づいて尾方ら（2017）は、2014年2月1日を対象としたリアルタイム津波検知手法の性能検証を行った。そこで、本研究では、仮想津波観測実験の対象期間を2014年2月1日から28日に拡張することで、尾方ら（2017）が開発した手法の性能を統計的に評価することを目的とする。

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

本研究では、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）と南海トラフ地震ケース3の組み合わせによる仮想津波観測データを用いた。まず、津波時刻を2014年2月1日の6:00から1時間ずつ変化させることによって660通りの仮想津波観測データを作成した（津波発生時刻：2014年2月1日6:00～2月28日17:00）。続いて、各ビーム上の3km離れた2点（以下、相関算出点）での視線方向流速（測定間隔1分）の相互相関係数の津波到達前後の変化に着目し津波を検出した^{4), 5)}。具体的な手順を以下に示す。（1）平常時相互相関係数の計算：各ビーム上の全ての相関算出点（1.5-4.5km～93-96km）において30分間の視線方向流速データ30個を用いて相互相関係数を1分ごとに1ヶ月間分（計40,260個ずつ）算出する（Fuji, 2017）。そして、それぞれの相関算出点で得られた1ヶ月間の相互相関係数の頻度分布を求める。さらに、頻度分布を正規分布で近似することで平常時相互相関係数の確率密度分布を計算しておく。（2）津波検知判定方法：（1）で求めた確率密度分布と津波発生時の相互相関係数の比較から津波検知の判定を行う。具体的には、各相関算出点において津波発生時の相互相関係数がある閾値（ここでは、平常時確率密度分布の上位1%値）を超えているかを判定する。沖側に隣り合う2つの相関算出点についても同様に判定し、3組全てで相互相関係数が閾値を超えた時点で最も岸側の観測点において津波を検知したと判断した。

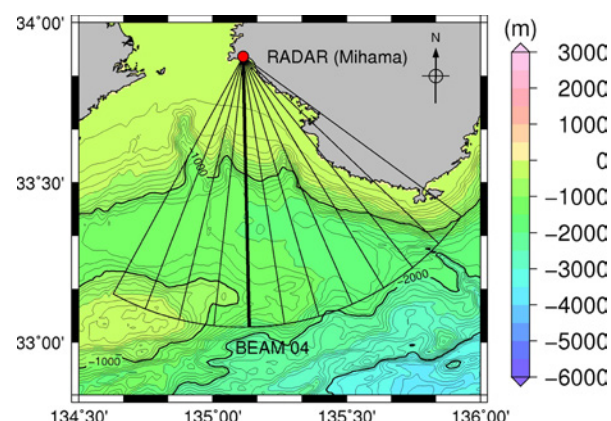


図1. 美浜局レーダの観測範囲および水深分布。

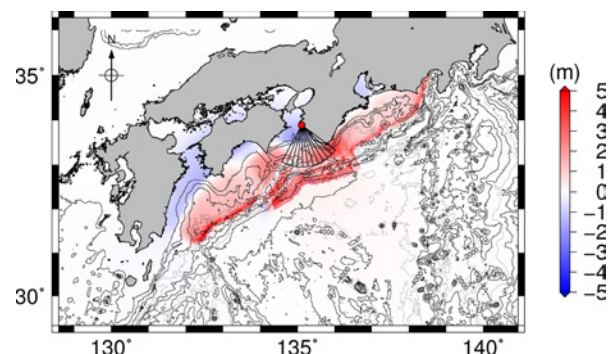


図2. 内閣府断層パラメータケース3地震津波の津波初期水位。

3. リアルタイム津波検知結果

欠測期間を除いた 590 シナリオを用いて津波検知確率を計算した。図 3 はレーダ観測領域内での津波検知確率の時間変化（地震発生後 0, 4, 7, 10, 13, 16 分）を示したものである。図中のピンク線は、押し波第 1 波の先端部を示している。押し波第 1 波の先端部は津波発生後約 16 分でレーダ設置地点に到達する。地震発生 4 分後では最大検知確率は 20% であり、地震発生 7 分後（津波先端部が岸に到達する 9 分前）には 80% まで上昇している。この時 80% 検知確率は津波先端部のおよそ 3 km 背後に位置しており、その後この位置関係を保ったまま岸まで伝播した。

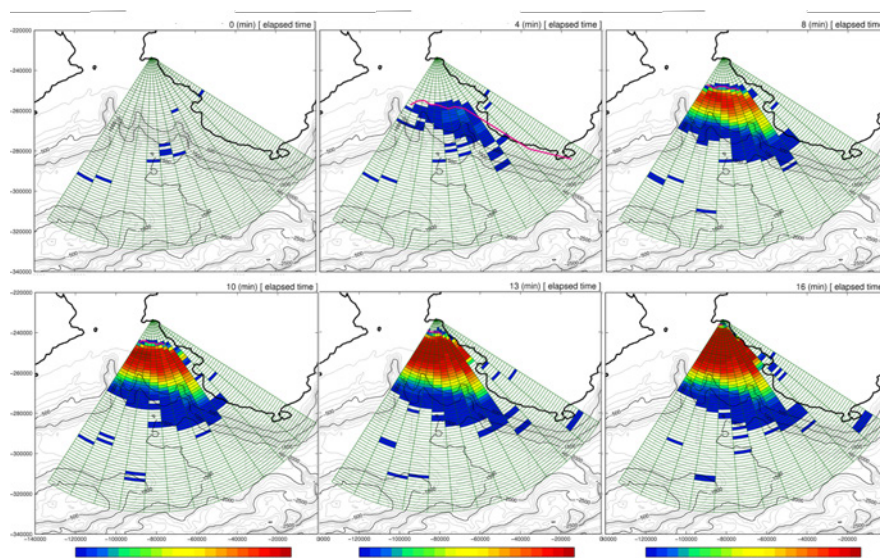


図 3. レーダ観測領域内での地震発生後 0(左上), 4(中上), 7(右上), 10(左下), 13(中下), 16(右下)分における津波検知確率。

4. まとめ

美浜局の観測受信波（2014 年 2 月の 1 ヶ月間）と南海トラフ地震ケース 3 を用いて仮想津波観測実験を行い、590 ケースの津波シナリオを用いて統計的にリアルタイム津波検知手法を評価した。2014 年 2 月に津波が発生した場合、地震発生 4 分後では最大検知確率は 20% であり、地震発生 7 分後（津波先端部が岸に到達する 9 分前）には 80% まで上昇することがわかった。今後は、仮想津波観測実験に用いるレーダ受信波の観測時期を変化させることでより詳細な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）、中部電力原子力安全技術研究所公募研究（代表者：藤井智史）の補助、及び総務省 SCOPE（受付番号 165011003）の委託を受けて行った。

参考文献

- 1). Lipa, B., Isaacson, J., Nyden, B. and Barrick, D.: Tsunami arrival detection with high frequency (HF) radar. *Remote Sens.*, 4(5):1448–1461, 2012. doi: 10.3390/rs4051448
- 2). Grilli, S.T., Grosdidier, S. and Guérin, C.A.: Tsunami Detection by High-Frequency Radar Beyond the Continental Shelf, *Pure Appl Geophys.*, 173(12): 3895–3934, 2015. doi:10.1007/s00024-015-1193-8
- 3). 尾方 浩平・藤 良太郎・日向 博文.: 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, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 73, No. 2, I_1615–I_1620, 2017.
- 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.: 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, 2015.
- 5). Fuji, R. and Hinata, H.: Temporal variability of tsunami arrival detection distance revealed by virtual tsunami observation experiments using numerical simulation and 1-month HF radar observation, *J Oceanogr.* 2017. doi: 10.1007/s10872-017-0428-y
- 6). Fuji, R.: Tsunami detection method using high-frequency ocean surface radar, Ehime University, 2017, Ph. D. thesis.