

学位論文審査の結果の要旨

氏名	藤 良太郎
審査委員	主査 日向 博文 副査 森脇 亮 副査 森 伸一郎 副査 郭 新宇

論文名 Tsunami detection method using high-frequency ocean surface radar

審査結果の要旨

津波減災技術の開発は我が国にとって喫緊の課題である。短波海洋レーダ（以下、HFレーダ）は広域の表層流を陸上から計測できるリモートセンシング機器であり、これまでHFレーダを用いた多くの研究例が発表され海洋物理学の進歩に大きく寄与してきた。さらに、東北地方太平洋地震によって発生した津波を日本沿岸、米国西海岸及びチリ沿岸においてHFレーダを使って計測することに日本、米国、チリ・ドイツの研究グループが初めて成功した。これを契機に米国、欧州を中心にHFレーダを用いた津波検知技術の開発やその性能評価が行われてきたが、そこには大きな課題があった。HFレーダによる津波検知性能はシグナルとノイズの比（SN比）や津波の規模によって変化するはずであり、その性能は統計的に評価されるべきであるが、津波の発生頻度が著しく低いためにそのための実測データが圧倒的に不足しているのである。

本研究では、様々なシナリオの津波をつくり出すことが可能な数値シミュレーションの結果とバックグラウンドノイズを含む実際の海洋レーダの受信信号を数値的に合成し、津波発生時の受信信号を模擬することで津波実測データ不足を克服した。具体的には、和歌山県に設置したHFレーダ（長野日本無線社製）の2014年2月における観測受信波と南海トラフ地震津波（内閣府Case3）の数値計算結果を用いた仮想観測津波実験によって、HFレーダによる津波検知距離や津波検知のリアルタイム性について統計的に検討を行っている。実験では、2014年2月1日の00:00から2月28日18:00までの1時間毎の観測受信波を南海トラフ地震津波の流速によって周波数変調させ、続いて、合成した信号をフーリエ解析することで、津波発生時の表層流速を計算している。そして、レンジ方向に3km離れた2点での視線方向流速の相互相関係数の時間変化から津波到来を判定している。これにより、欠測を除く627ケースの異なる津波発生時刻を想定した仮想津波観測実験を行い、HFレーダによる津波検知性能を統計的に解析することに世界で初めて成功している。

本研究の第1部では、津波検知距離変化のメカニズムを明らかにすることを主な目的にしており、津波検知性能を津波到達60分後の相互相関係数の値を使って検討している。まず、津波検知確率は、背景流の運動エネルギーに対する津波流速の運動エネルギー比に強く依存することを理論的に明らかにした。2014年2月の月平均での岸沖方向の津波検知確率分布は、エネルギー

比が5を超える陸棚上（9km–36km 沖合）では90%であり，そこから陸棚斜面上で検知確率は徐々に減衰し，エネルギー比が1の沖合42kmでは50%となった．仮想津波観測実験で計測した仮想津波観測流と津波数値計算結果の時系列の一致度をVR (Variance Reduction) を使って定量的に評価したところ，津波が検知されたレンジにおいてはVRの値は80%以上，津波が検知されなかったレンジにおいては10%以下となった．このことは，津波を検知したレンジにおける津波観測流を定量的に使うことが可能，すなわち気象庁が発表する津波警報レベルの妥当性の検証，沿岸での波高推定や，インバージョン手法を利用した津波初期水位分布の計算とそれに基づく激甚被災地の特定に応用可能であることを示している．

本研究の第2部では，津波検知手法のリアルタイム性（津波フロント到達時刻と検知時刻との時間差）について検討している．その結果，リアルタイム検知においても津波流速エネルギーと背景流のエネルギー比が重要な働きをしていることを明らかにしている．ただし，検知に必要なエネルギー比は第1部での解析結果に比べて約1桁小さくなった．この原因について，論文では検知判定を行うタイミングの違いによって説明している．統計的には，3.0–22.5km 沖合では津波フロント到達後3–5分の時間遅れで80%の確率で津波を検知できることを示している．さらに，本手法は，津波第1波のフロントだけでなく引き続き来襲する津波や副振動も検知することが可能，すなわち津波警報の解除にも利用できるという点において，すでに米国の研究グループが発表した津波検知手法よりも優れていることを示している．

このように本論文は，これまで観測データ不足から性能検証を行うことができなかった海洋レーダを使った津波検知手法の発展に大きく貢献している．また，陸棚上では海洋レーダによって津波流速を高精度に計測できることを明らかにした．これによって津波初期水位分布を高精度に予測することが可能となり，将来，海洋物理学や地震学への貢献も期待される．

以上の結果により審査委員が全員一致して本論文が博士（工学）の学位を授与するに値するものと判定した．