

福島県の広帯域リニアアレイで観測された 常時微動の地震波干渉法解析(その2)*

岩手大学大学院工学研究科 佐藤史佳
岩手大学理工学部 山本英和 齊藤剛

1. はじめに

前回の報告では地震予知振興会により福島に設置された 10 点の臨時観測点の上下動データに、国立研究開発法人防災科学技術研究所の広帯域地震観測網 F-net の観測点 HRO と観測点 SBT の上下動データを加えて地震波干渉法解析を行った(山本ほか, 2016)。本研究では、観測点 No.1~No.10 の水平動データを用いて地震波干渉法により Radial 成分と Transverse 成分の相互相関関数の算出と、得られた相互相関関数から群速度の算定を行うことを目的とする。また、RZ と ZR を用いて表面波と実体波を分離する Takagi et al.(2014)の手法を用いて表面波の分離を試みる。

2. 広帯域リニアアレイ観測

広帯域リニアアレイ観測は地震予知総合研究振興会により平成 23 年 8 月から平成 26 年 2 月まで福島県で実施された。リニアアレイ測線の配置を図 1 に示す。黒い点は各観測点を示す。観測機器は広帯域速度計 (Trillium Compact : Nanometrics 製)、データロガー (LS-8800 : 白山工業株式会社製) を用いた。また、本解析では観測点 No.1 から No.10 の向きを正, No.10 から No.1 の向きを負の向きと設定した。

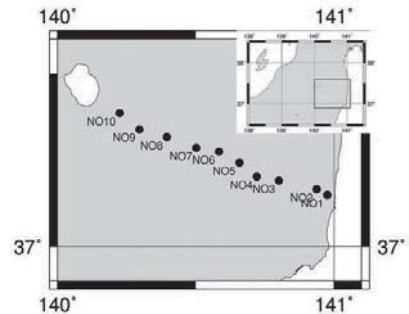


図 1 観測点位置図

3. 相互相関関数の算定

観測点の位置関係に基づき、時間領域で EW 成分, NS 成分から Radial 成分、Transverse 成分を計算したのち、山本ほか(2016)と同様の手法で相互相関関数を重合し、グリーン関数を算出した。図 2 に Radial, Transverse の 1 日平均相互相関関数, 1 ヶ月平均相互相関関数を示す。1 ヶ月平均は重合が少ないためシグナルが小さいが、特徴的な位相が確認できる。図 3 に 2012 年 1 月の 1 ヶ月平均相互相関の全観測点の組み合わせを示す。縦軸は観測点距離を示す。Radial, Transverse 双方で正と負の両方の時間遅れ方向に顕著な位相が見られる。観測点距離の増加とともに位相が遅れていることがわかる。また、図 4 に 2012 年 1 月における No.1 と各観測点の組み合わせの Radial (RR), Transverse (TT), Vertical (ZZ) の相互相関関数の比較を示す。RR と ZZ を比較すると遅れ時間はほぼ同じであるが、RR と TT の遅れ時間を比較すると TT の方がわずかに速いことが分かる。

*Seismic interferometry analysis of microtremors observed in linear array with broadband seismometers in Fukushima Prefecture Part 2 by F. Sato, H. Yamamoto and T. Saito

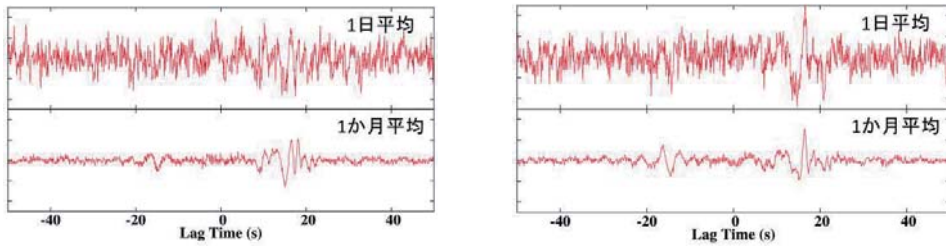


図2 No.2とNo.7の1日平均相互相関関数と1ヶ月平均相互相関の比較
左図がRadial, 右図がTransverse相互相関関数を示す。

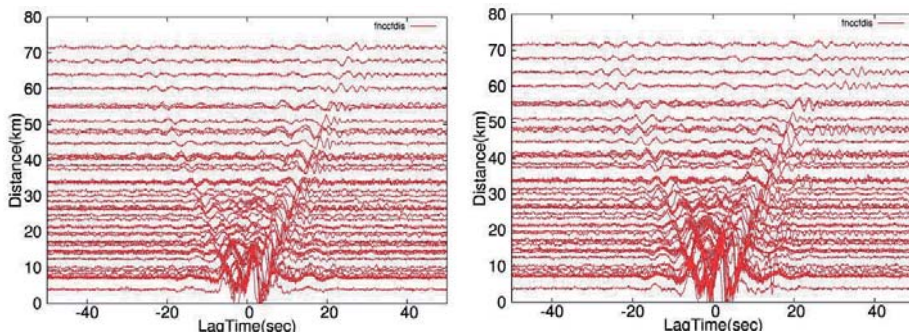


図3 2012年1月の全観測点の組み合わせ1か月平均相互相関関数
左図がRadial(RR), 右図がTransverse相互相関関数(TT)を示す。

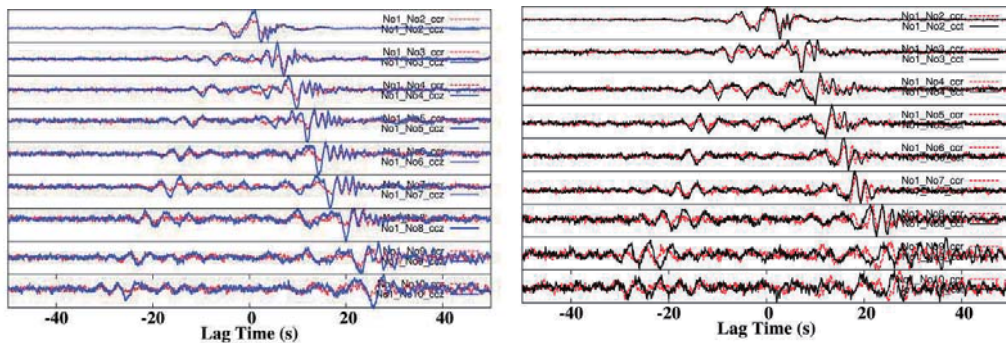


図4 2012年1月におけるNo.1と各観測点の組み合わせのRR(赤), ZZ(青), TT(黒)の1か月平均相互相関関数の比較

4. 群速度とSN比の算定

得られた相互相関関数に対し、マルチプルフィルタ解析 (Dziewonsky et al., 1969) により周期ごとの群速度を算出した。また、同時にSN比も算出し、信頼性の高い群速度の周期範囲を定量的に検証するために用いた。SN比が大ききことは算定された群速度の信頼性が高いことを意味する。例として、図5に観測点No.5とNo.10の2012年10月のRRの相互相関

関数から計算された群速度分散曲線と同時に計算される周期ごとの SN 比を示す。SN 比の閾値は前報と同様 10 以上と設定すると、正の方向の周期 2~7 秒の群速度が利用可能であり、約 3km/s で分布することが分かる。

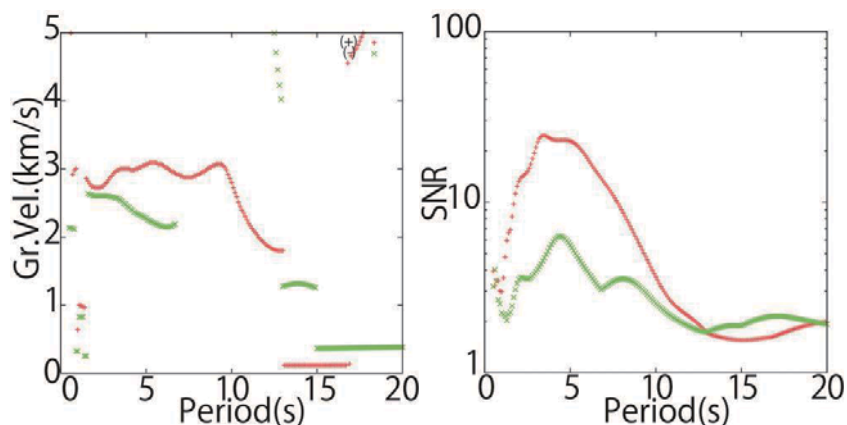


図5 観測点 No.5 と No.10 の 2012 年 10 月の RR 群速度分散曲線(左図)と SN 比(右図)
赤が正の方向，緑が負の方向の群速度と SN 比を示す。

また、全観測点で 1 ヶ月のデータが全て存在する、2012 年 1 月、4 月、9 月、10 月、11 月、12 月、2013 年 1 月、3 月、4 月、9 月、12 月、2014 年 1 月の 1 ヶ月平均相互相関を平均することで 12 ヶ月平均相互相関関数を計算し、群速度と SN 比を算出した。図 6 に観測点 No.1 と No.8 における RR と TT の 12 ヶ月平均相互相関関数から計算された正の方向の群速度分散曲線と SN 比を示す。SN 比 10 以上の周期範囲では、RR、TT 双方の群速度が約 2~3km/s で連続的に分布している。また、周期 5 秒以下では RR より TT の群速度がわずかに遅いが、5 秒以上では TT が RR の群速度よりも速い値を示すことが分かる。

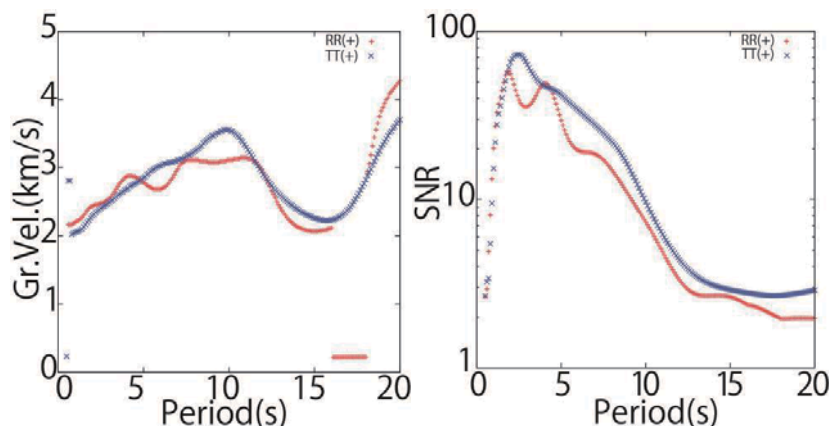


図6 観測点 No.1 と No.8 の RR(赤)と TT(青)の 12 ヶ月平均相互相関関数から
計算した群速度分散曲線(左図)と SN 比(右図)

さらに、Nishida et al.(2008)のモデルと観測による群速度の比較を行った。図7にNo.5の地点のNishidaモデルによる群速度とNo.1とNo.8におけるRRとTTの12ヶ月平均相互相関関数から計算されたSN比10以上の正の方向の群速度分散曲線の比較を示す。NishidaモデルはNo.6地点の構造を用いた。比較すると、全体的にNishidaモデルによる群速度よりも観測による群速度が遅く分布しており、最大で約0.6km/s遅いことが分かる。これは、Nishidaモデルの速度構造よりも浅部の速度構造が遅いためであると考えられる。

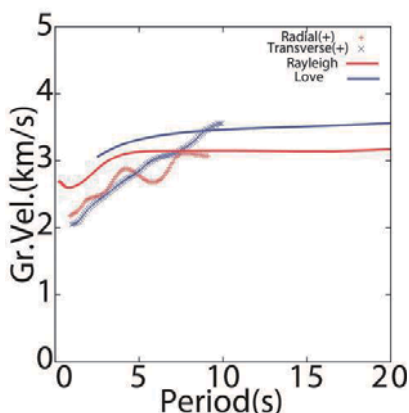


図7 観測点No.1とNo.8のRRとTTの12ヶ月平均相互相関関数から計算した群速度分散曲線とNishidaモデルの比較

5. Takagiの手法の適用

Takagi et al.(2014)では、Vertical-Radial 相互相関関数(ZR)、Radial-Vertical 相互相関関数(RZ)を求め、ZRとRZは表面波が異符号、実体波が同符号という特徴をもつことを利用し、ZRとRZの差をとることで表面波を、和をとることで実体波をそれぞれ分離する。図8に2012年1月のZRとRZの差(表面波)と和(実体波)の1ヶ月平均相互相関の全観測点の組み合わせを示す。比較すると表面波成分の相互相関関数は正と負の双方で明瞭な特徴的位相が見られ、観測点距離の増加とともに位相の遅れも確認できるが、実体波成分の相互相関関数は特徴的な位相が確認できない。このことから、観測された微動の主成分は表面波であることが分かる。また、ZRとRZの差から得られた表面波の相互相関関数に対し、マルチプルフィルタ解析により群速度とSN比の算定を行った。図9に観測点No.5とNo.10におけるZRとRZの差とRR、ZZの12ヶ月平均相互相関関数から計算された正の方向の群速度分散曲線とSN比を示す。比較するとZRとRZの差はZZとはSN比が同程度であるが、RRよりSN比が向上することが分かる。また、SN比10以上の周期の群速度を比べると3つの群速度がほぼ一致しており、約2~3km/sで連続的に分布している。さらに、No.5~10の区間を小区間に分割し、小区間の距離をNishidaモデルから計算される小区間の群速度で除すことで小区間の遅れ時間を求めた。その後、小区間の距離の合計を小区間の群速度の合計で除すことでNishidaモデルによる平均的群速度を求め、観測による群速度と比較した。図10にNishidaモデルによる平均群速度とNo.5とNo.10におけるZRとRZの差とRR、ZZの12ヶ月平均相互相関関数から計算されたSN比10以上の

正の方向の群速度分散曲線の比較を示す。比較すると、全体的に Nishida モデルによる平均群速度と観測による群速度が一致していることが分かる。

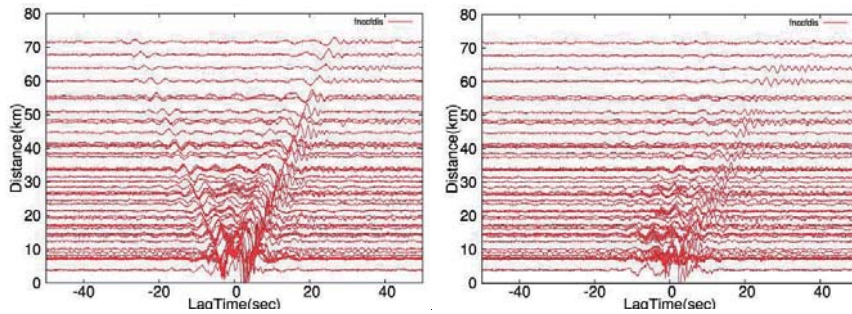


図 8 2012 年 1 月の全観測点の組み合わせ 1 ヶ月平均相互相関関数
左図が ZR と RZ の差(表面波), 右図が ZR と RZ の和(実体波)を示す。

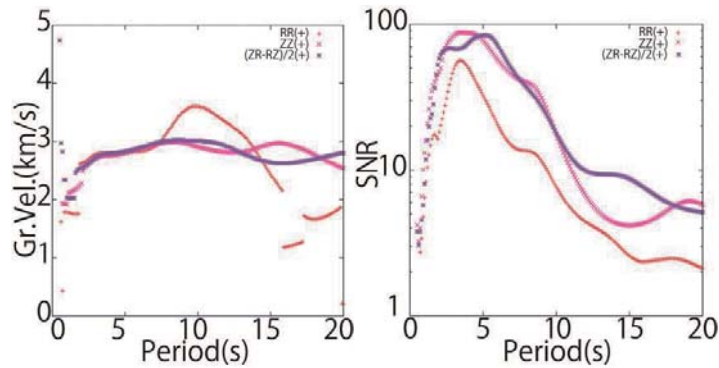


図 9 観測点 No.1 と No.8 の ZR と RZ の差(紫)と RR(赤), ZZ(ピンク)の 12 ヶ月
平均相互相関関数から計算した群速度分散曲線(左図)と SN 比(右図)

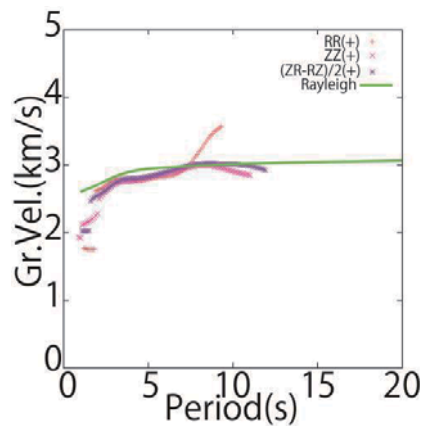


図 10 観測点 No.5 と No.10 の ZR と RZ の差(紫)と RR(赤), ZZ(ピンク)の 12 ヶ月
平均相互相関関数から計算した群速度分散曲線と Nishida モデルの(緑)比較

5.まとめ

本研究では、Radial 成分と Transverse 成分の相互相関関数の算出と、得られた相互相関関数から群速度の算定を行うことを目的とし、地震波干渉法により広帯域リニアアレイの水平動観測記録の解析を行った。相互相関関数を算出すると RR より TT がわずかに速い結果となった。さらに、SN 比の閾値を 10 以上とすると RR と TT の双方の群速度が約 2~3km/s で連続的に分布し、Nisdida モデルよりも最大で約 0.6km/s 遅いことが分かった。また、Takagi の手法を用いて表面波と実体波の分離を行ったところ、微動の主成分は表面波であることが分かった。得られた表面波の群速度を算出し、RR と ZZ と比較すると、SN 比 10 以上の周期範囲では 3 つの群速度がほぼ一致した。今後の課題として、観測点距離より短い波長の群速度の抽出しや、観測点間の群速度の算出、S 波速度構造の逆解析を行うことなどが挙げられる。

謝辞

地震予知総合研究振興会から広帯域リニアアレイ観測データを提供していただきました。一部の図の作成には、GMT を用いました。記して感謝致します。

参考文献

- Bensen, G.D., M.H. Ritzwoller, M.P. Barmin, A.L. Levshin, F. Lin, M.P. (2007), Processing seismic ambient noise data to obtain reliable broad-band surface wave dispersion measurements, *Geophys. J. Int.*, 169, 1239-1260.
- Dziewonski, A., S. Bloch, and M. Landisman(1969), A technique for the analysis of transient seismic signals, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 59, 427-444.
- Nishida K., Kawakatsu H., Obara K.(2008), Three-dimensional crustal S wave velocity structure in Japan using microseismic data recorded by Hi-net tiltmeters. *J. Geophys. Res.*, 113, B10302. doi:10.1029/2007JB005395.
- Takagi R., Nakahara H., Kono T., Okada T. (2014), Separating body and Rayleigh waves with cross terms of the cross-correlation tensor of ambient noise. *J. Geophys. Res.*, 10.1002/2013JB010824.
- Wessel, P. and W. H. F. Smith(1998), New, improved version of the Generic Mapping Tools released, *EOS Trans. AGU*, 79, 579.
- 山本英和, 佐藤史佳, 齋藤剛(2016), 福島県の広帯域リニアアレイで観測された常時微動の地震波干渉法解析, *東北地域災害科学研究* 第 52 巻, 263-268.