

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*

岩手大学工学部 山本英和 佐藤史佳 齊藤剛

1. はじめに

東北地方直下では深さ 20km から 30km にプレート間地震や内陸地殻の地震ではない地震の分布が見られ、これらは *supraslab* 地震と呼ばれている (例えば, Uchida et al., 2010)。その発生原因を明らかにするにはより高い解像度で地震波速度構造を求める必要がある。そのため、福島県において広帯域地震計 10 点からなるリニアアレイ連続観測を実施し、地震波干渉法解析により深部の地下構造の推定を行うことが最終目標である。本研究では地震波干渉法により得られた常時微動の相互相関関数からより信頼性の高い群速度の算定を行うことが目的である。また、リニアアレイ近傍には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 観測点 HRO があり、リニアアレイ測線延長上西側に F-net 観測点 SBT が存在する。本研究では F-net の記録も解析に使用した。

2. 広帯域リニアアレイ観測

広帯域リニアアレイ観測は(公財)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 月まで実施された。本研究では全観測期間のうち全観測点で 1 ヶ月のデータが全て存在する 2012 年 1 月, 2012 年 4 月, 2012 年 10 月, 2013 年 1 月, 2013 年 3 月, 2013 年 9 月, 2013 年 12 月, 2014 年 1 月の 8 か月分のデータを使用した。リニアアレイ測線と F-net 観測点 HRO と SBT の配置を図 1, 図 2 に示す。黒い点が地震予知振興会により設置された臨時観測点, 赤い点が F-net の観測点の位置をそれぞれ示す。また, 本解析では観測点 NO1 から NO10 の向きを正, NO10 から NO1 の向きを負の向きと設定した。

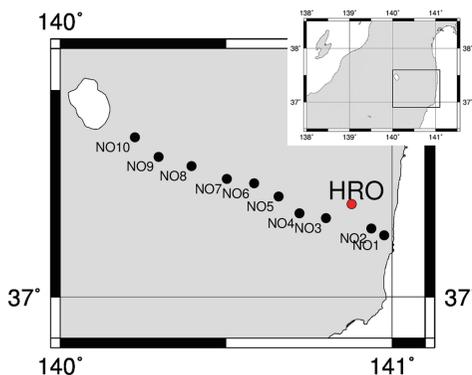


図 1 リニアアレイ測線配置図

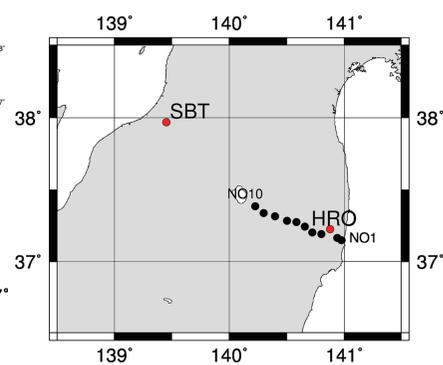


図 2 観測点位置図

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

臨時観測点 NO1~10 の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。Trillium Compact は帯域が 0.0083Hz(120sec) ~100Hz, 外径が 90 mm (耐圧ケースに入れた場合は 101.6 mm) と小さく, 傾斜角 $\pm 2.5^\circ$ まで動作可能であるため, 取り扱いが容易で, かつ消費電力が 160mW と小さい。LS-8800 は分解能 24 ビット, ダイナミックレンジ 28dB, 消費電力 200mW の低消費電力のデータロガーである。また, 観測データはサンプリング周波数 100Hz であるが, 20Hz にダウンサンプリングし, 解析に用いた。また, F-net 観測点 HRO と SBT のデータはサンプリング間隔 0.05 秒広帯域上下動データを用いた。図 3 に全観測点の 2012 年 1 月 3 日 4 時~5 時の上下動波形例を示す。

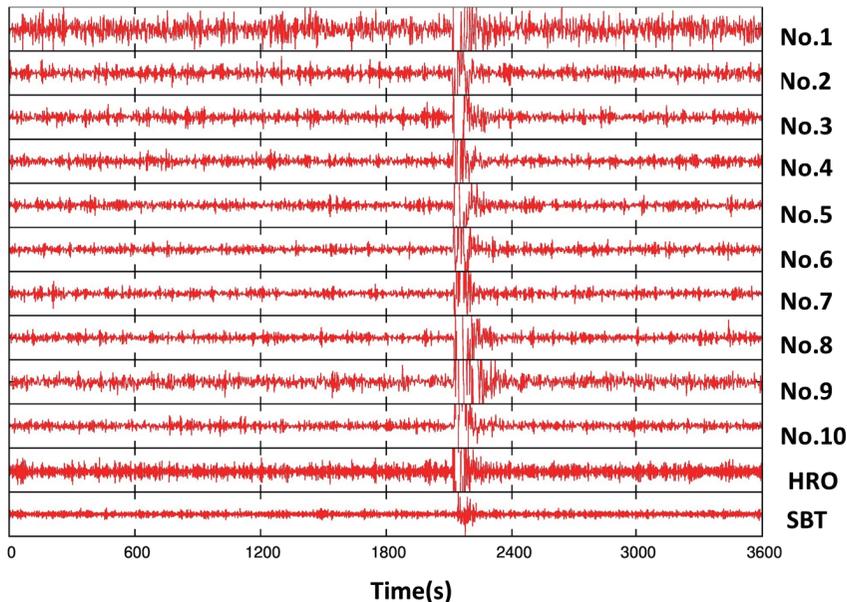


図 3 全観測点の上下動波形例 (2012 年 1 月 3 日 4 時~5 時)

3. 相互相関関数の算定

ノイズの影響の軽減と周波数範囲の規格化を目的とし, 観測される上下動微動に前処理として時間規格化, 二値化, スペクトルホワイトニングを行った (例えば, Bensen et al., 2007)。前処理を行った 1 時間波形に対し FFT 処理によりクロススペクトルを算出し, クロススペクトルの逆フーリエ変換により相互相関関数を計算した。さらに得られた相互相関関数を重合することでグリーン関数を算出した。また, 本研究では基本区間を 15 分とし, 4 つ重合することで 1 時間平均とした。図 4 に観測点 NO10 と SBT の 1 日平均相互相関関数, 1 ヶ月平均相互相関関数, 8 か月平均相互相関関数を示す。重合することによりノイズが軽減し, 位相が明瞭となることが分かる。図 4 に 8 か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。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。

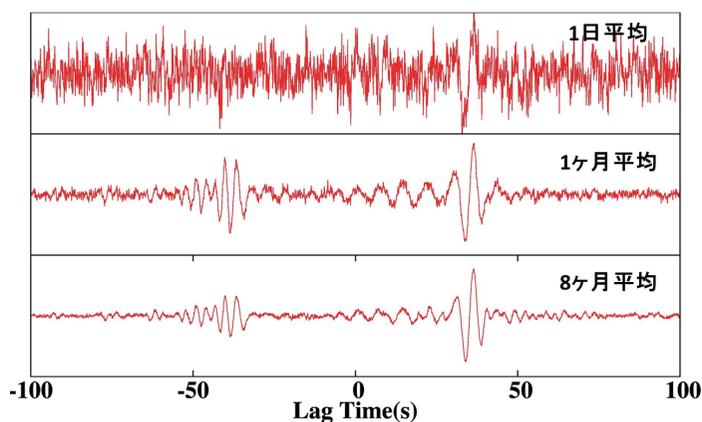


図4 観測点 NO10 と SBT の各平均相互相関関数の比較

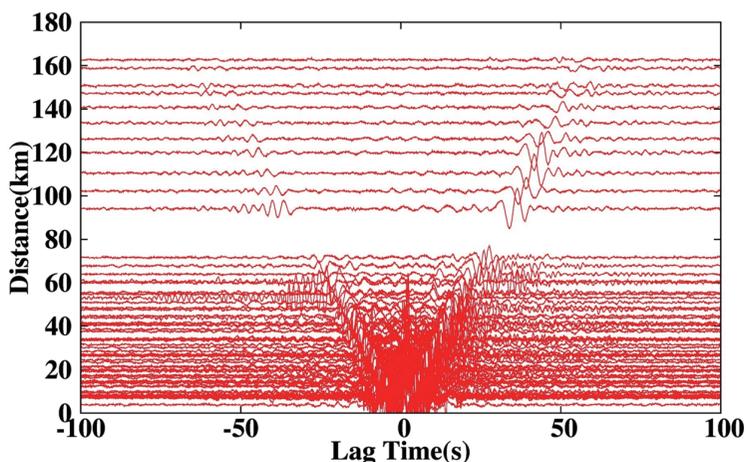


図5 全観測点の組み合わせの8か月平均相互相関関数

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 20 秒までの周期ごとの群速度を算出した。また、SN 比は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。フィルターされたピーク時のシグナルを全体の 8 割から 10 割の区間における平均値絶対振幅のノイズで除すことにより周期ごとに SN 比を算出した。

また、ここで SN 比の閾値について検討する。図 6 に観測点 NO1 と NO4 の 2012 年 1 月のマルチプルフィルタ解析から計算される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 比が大きい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。SN 比の閾値を仮に 10 以上と設定すると、周期 2.5~6 秒の周期範囲で正も負も利用可能となる。この時、周期 2.5~6 秒の範囲では正と負の群速度が約 2.5~3km/s で連続的に分布し、ほぼ一致することがわかる。また、SN 比 10 未満の周期範囲では正と負の群速度のばらつきが大きくなる。このこ

とから、SN 比の閾値は 10 以上で妥当であると判断し、10 以上と設定した。

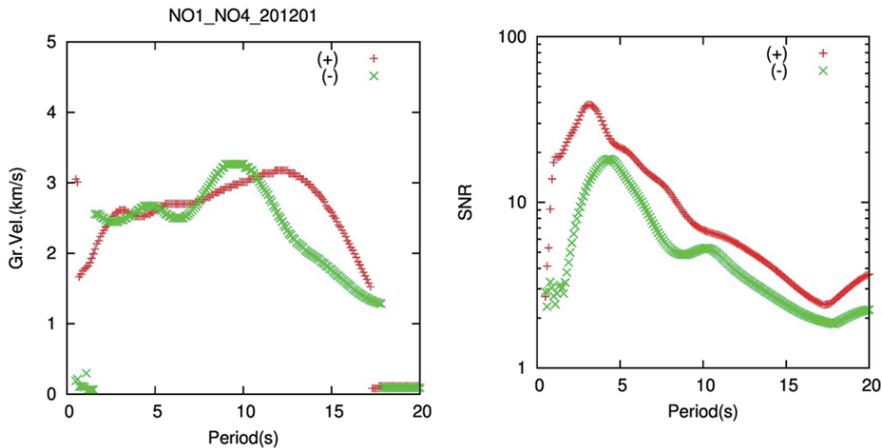


図 6 観測点 NO1 と NO4 の 2012 年 1 月の群速度分散曲線と SN 比

図 7 に観測点 NO10 と SBT の 2012 年 1 月のマルチプルフィルタ解析から計算される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 比からわかるように、正の方向で周期 3 秒以上から周期 10 秒、負の方向で周期 2 秒以上から 6 秒の間では SN 比が 10 以上を示し、それ以外の周期では SN 比が小さい値を示している。正も負も適用可能な周期範囲では約 2.5～3km/s の群速度が得られることがわかる。また、図 8 に観測点 NO10 と SBT の 8 ヶ月平均相互相関数から計算された群速度分散曲線と SN 比を示す。SN 比からわかるように、正の方向で周期 2 秒以上から周期 12 秒、負の方向で周期 2 秒以上から 10 秒の間では SN 比が 10 以上を示している。正も負も適用可能な周期範囲では約 2.5～3km/s の群速度が得られる。

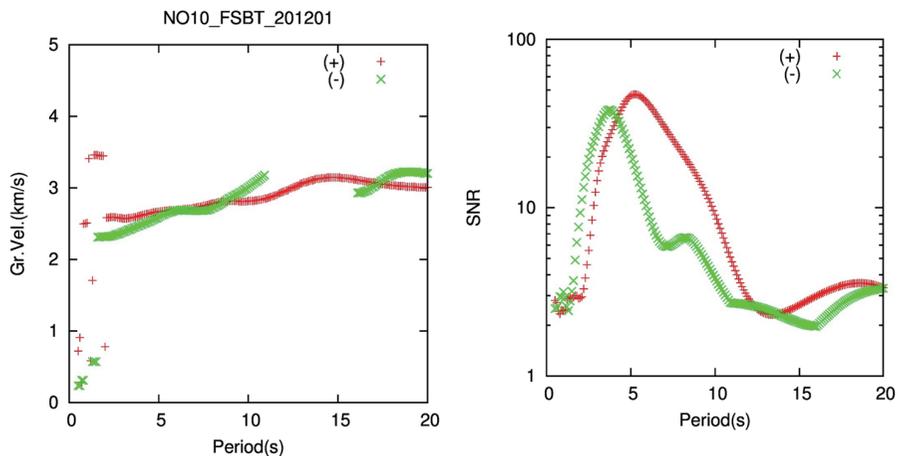


図 7 観測点 NO10 と SBT の 2012 年 1 月の群速度分散曲線と SN 比

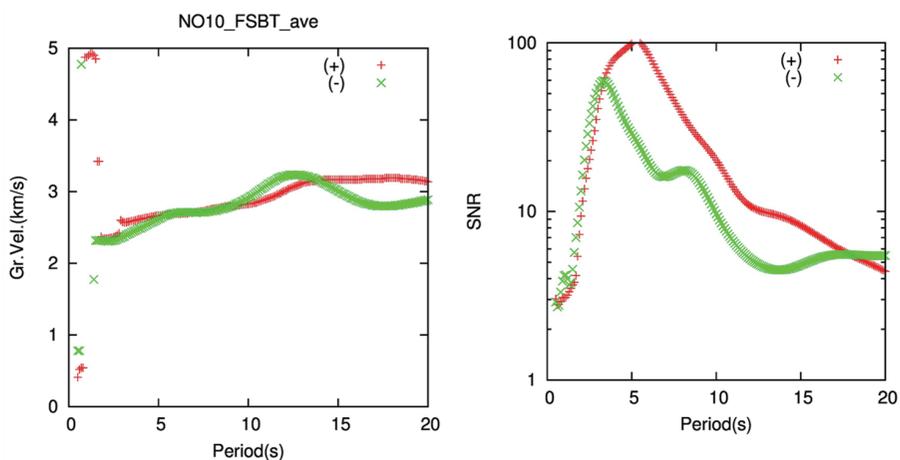


図8 観測点 NO10 と SBT の 8 か月平均相互相関関数から計算した群速度分散曲線と SN 比

図9に観測点 NO10 と SBT の正の方向と負の方向の 2012 年 1 月と 8 か月平均相互相関から計算される周期ごとの SN 比の比較を示す。青が 2012 年 1 月、赤が 8 か月平均相互相関から計算される SN 比である。平均することで正の方向でも負の方向でも SN 比のピークが高くなり、SN 比 10 以上の周期範囲も広くなることが分かる。すなわち、隣り合う観測点距離のように短い観測点距離でない場合、数か月間の長期間の平均することでより信頼性の高い群速度の周期範囲を決定することが可能となる。

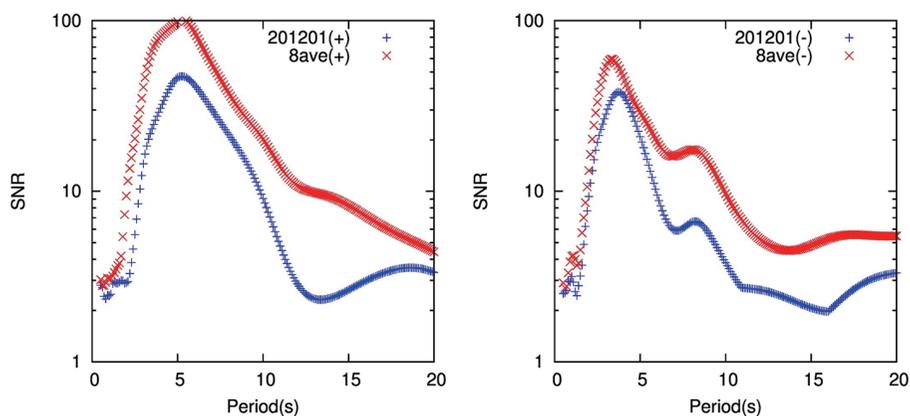


図9 観測点 NO10 と SBT の正の方向と負の方向の 2012 年 1 月と 8 か月平均相互相関関数から計算される周期ごとの SN 比の比較

図10に SBT と全観測点の正の方向と負の方向の 8 か月平均相互相関関数から計算した SN 比 10 以上の群速度分散曲線の比較を示す。SBT とほぼ全ての観測点の組み合わせで、SN 比 10 以上の群速度分散曲線は正と負どちらの向きでも約 2.5~3km/s で分布していることがわかる。

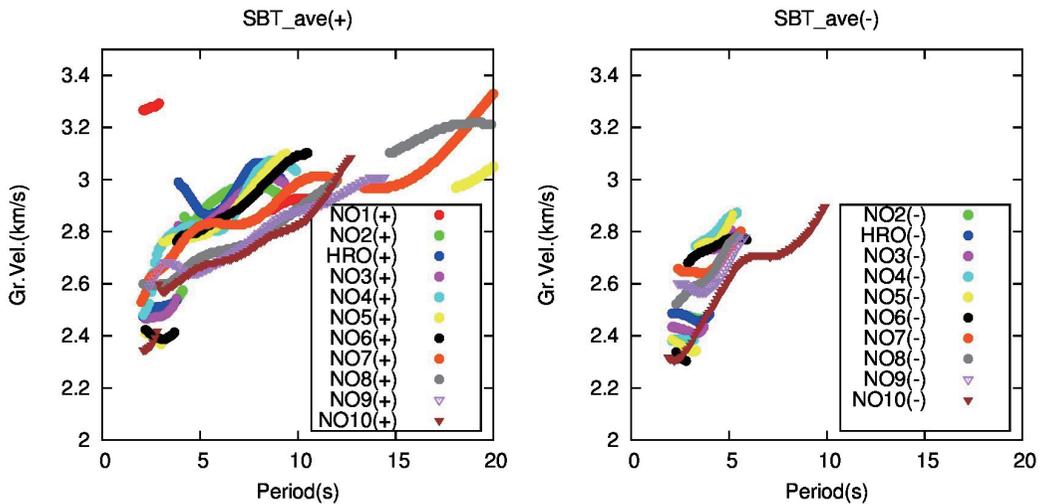


図 10 SBT と全観測点の正の方向と負の方向の 8 か月平均相互相関関数から計算した SN 比 10 以上の群速度分散曲線の比較(負の方向の NO1 は SN 比 10 未満である)

5. まとめ

本研究では福島県の地下 20~30km の地殻構造の推定を最終目標とし、地震波干渉法による広帯域リニアレイ微動観測記録の解析を行った。相互相関関数を数か月間の長期間で重合することによりノイズが軽減し、より高い SN 比が得られることがわかった。また、SN 比の閾値を 10 以上と設定すると、SBT とほぼ全ての観測点の組み合わせで約 2.5~3km/s の群速度が得られた。今後の課題としては観測点間の群速度の算出と S 波速度構造の逆解析や、SBT を基準とする観測点間の位相差から解析を進めることなどが挙げられる。

謝辞

(公財)地震予知総合研究振興会から広帯域リニアレイ観測データを提供していただきました。国立研究開発法人防災科学技術研究所から F-net の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.
- Uchida, N., S. H. Kirby, T. Okada, R. Hino and A. Hasegawa(2010), Supraslab earthquake clusters above the subduction plate boundary offshore Sanriku, northeastern Japan: Seismogenesis in a graveyard of detached seamounts?, *J. Geophys. Res.*, Vol. 115, B09308, doi:10.1029/2009JB006797.
- Wessel, P. and W. H. F. Smith(1998), New, improved version of the Generic Mapping Tools released, *EOS Trans. AGU*, 79, 579.