

2011 年東北地方太平洋沖地震に伴う地震波速度変化—遠野アレイの利用— 高木涼太, 河野俊夫, 岡田知己, 長谷川昭 (東北大学)

1. はじめに

近年, 地震波干渉法を常時微動に適用した地下構造モニタリングが精力的に行われている. 常時微動から抽出した表面波の周波数依存性を用いれば, 地震波速度変化の存在する深さを見積もることが可能である. しかし, 常時微動には様々な波動成分が含まれるため, 結果を正しく解釈するには, その構成成分を知る必要がある. 本研究では, 小アレイで観測された常時微動に地震波干渉法を適用し, 常時微動の構成成分について検討を行う. また, 2011 年東北地方太平洋沖地震に伴う地震波速度変化の周波数依存性を明らかにする.

2. データ

東北大学が岩手県遠野市に展開する広帯域地震計アレイ (遠野アレイ) を使用する. 遠野アレイは, 3 成分地震計 10 点から成り, 最小・最大間隔は 2.4 km と 18 km である (図 1a). 解析には, 2010 年から 2012 年までの 3 年間分の常時微動記録を使用した. まず, 連続記録を 30 秒ずつ重複する 60 秒のセグメントに分割する. 各セグメントについて, オフセットの除去, 地震計特性の補正を行った後, 相互相関関数を計算し, 設定期間の全セグメントにわたりスタックする. 相互相関関数は, 観測点ペアに対して鉛直成分 (Z), 視線成分 (R), 接線成分 (T) 同士と, 別の成分間の合計 9 成分計算した. また, 地震の混入を防ぐため, 1-2 Hz 帯域の RMS 振幅が閾値を超えるセグメントは解析に使用しない.

3. 常時微動波動場

図 1b に, 0.25-2.0 Hz 帯における, 2010 年の 1 年間平均の相互相関関数の対称成分を示す. ここで, 相互相関関数は, パワースペクトルを用いて周波数領域で規格化し, さらに, 観測点間距離 1 km のビンごとに相互相関関数を平均してある. 相互相関関数の ZZ 成分と ZR 成分には, 伝播速度 3 km/s 程度のレイリー波基本モードが卓越する. 一方, RR 成分には, レイリー波のみではなく, 約 6 km/s で伝播する P 波が明瞭である. TT 成分には, レイリー波より少し伝播速度が速いラブ波が見られる.

各波動成分の位相速度とアレイへの入射振幅を推定するため, 周波数領域において理論クロススペクトルを観測されたクロススペクトルにフィッティングした. 表 1 に, 入射強度を 1 (レイリー波場合は鉛直成分を 1) とした場合の理論クロススペクトルを示す [Aki 1957, Haney et al., 2012, Sanchez-Sesma and Campillo, 2006]. ここで, 表面波では 2 次元均質媒質, P 波では 3 次元無限均質媒質中でのランダムな平面波の等方入射を仮定している. まず, ZZ 成分と ZR 成分について, レイリー波基本モードのみで構成されると仮定し, 位相速度と入射強度を推定した. 次に, ZZ 成分から得られたレイリー波位相速度を使用し, RR 成分と TT 成分からラブ波・P 波の位相速度と, レイリー波・ラブ波・P 波の入射強度を推定した. 図 2 に, 推定された位相速度とラブ波・P 波と水平動レイリー波入射強度比を示す. ラブ波の相対強度は周波数とともに緩やかに大きくなる. 一方, P 波の相対強度は 1 Hz を境に急激に変化し, 1 Hz 以上では, P 波が卓越していることがわかる.

4. 地震波速度変化

ZZ 成分と ZR 成分を用いて, レイリー波位相速度の時間変化を推定する. 常時微動源の時間変化の影響を軽減するため, 入射強度の方位依存性をフーリエ級数で表現し, 理論クロススペクトルのフィッティングを行った [Cox et al., 1973]. 0 次 (等方) と 4 次までのフーリエ級数を用いた結果, どちらの場合も, 2011 年東北地方太平洋沖地震後に位相速度が急激に低下した (図 3a). また, 地震時の位相速度低下の周波数依存性も確認された (図 3b). 0.3~1.1 Hz において, 位相速度低下は, 0.1% から 0.5% まで周波数に比例して大きくなり, これは表層付近の大きな速度低下で説明できる. しかし, 1.2~1.7 Hz では, 位相速度低下量が減少する. 1.2~1.7 Hz における特徴を地震波速度変化の深さ依存性で説明するのは簡単ではないこと, この帯域での P 波の振幅が大きいことから, P 波の混入が ZZ 成分と ZR 成分の位相速度推定に影響を与えていると考えられる.

表 1. 理論クロススペクトル (k : 波数, r : 観測点間距離, H : レイリー波 H/V)

	Rayleigh	Love	P
ZZ	$J_0(kr)$	0	$[j_0(kr) + j_2(kr)]/3$
ZR	$HJ_1(kr)$	0	0
RR	$H^2 [J_0(kr) - J_2(kr)]/2$	$[J_0(kr) + J_2(kr)]/2$	$[j_0(kr) - 2j_2(kr)]/3$
TT	$H^2 [J_0(kr) + J_2(kr)]/2$	$[J_0(kr) - J_2(kr)]/2$	$[j_0(kr) + j_2(kr)]/3$

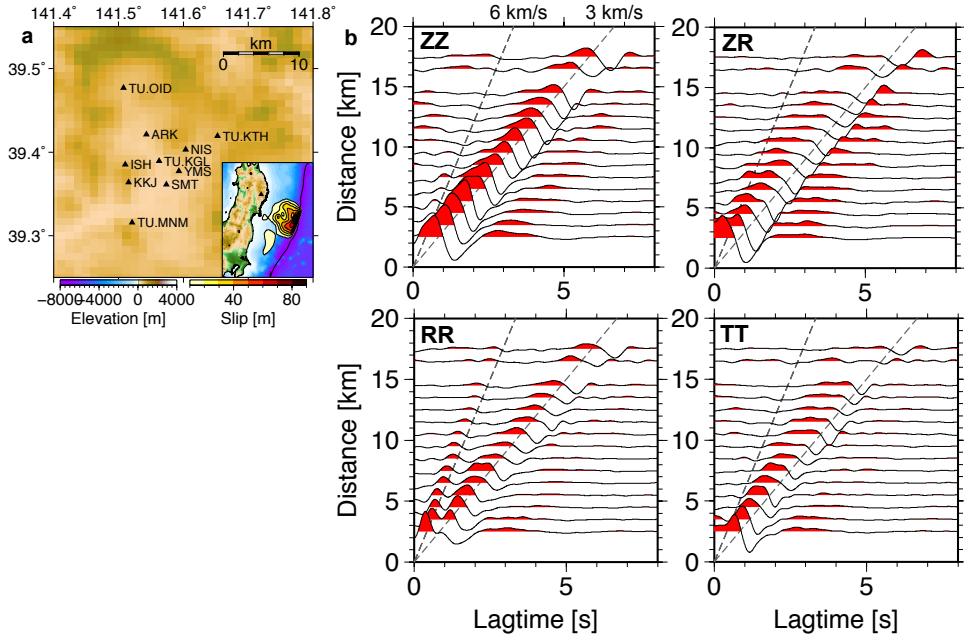


図 1. (a) 遠野アレイの観測点配置図. (b) 2010 年平均の各成分相互相関関数.

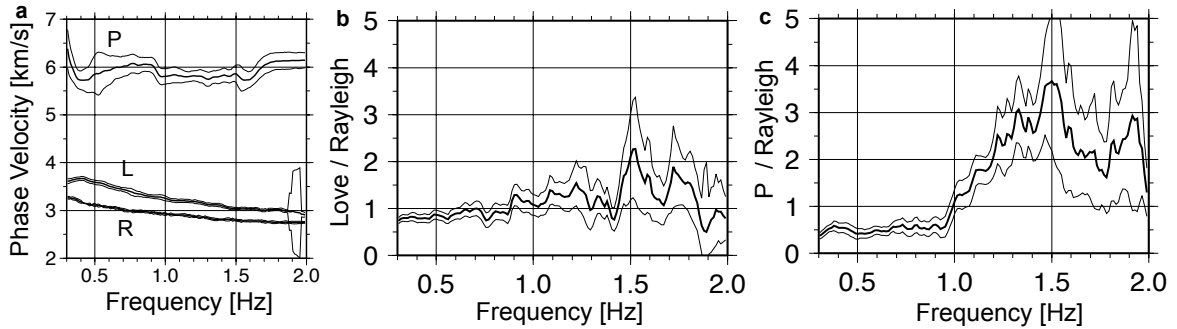


図 2. (a)位相速度. (b)ラブ波と水平動レイリー波の入射強度比. (c)P波と水平動レイリー波の入射強度比.

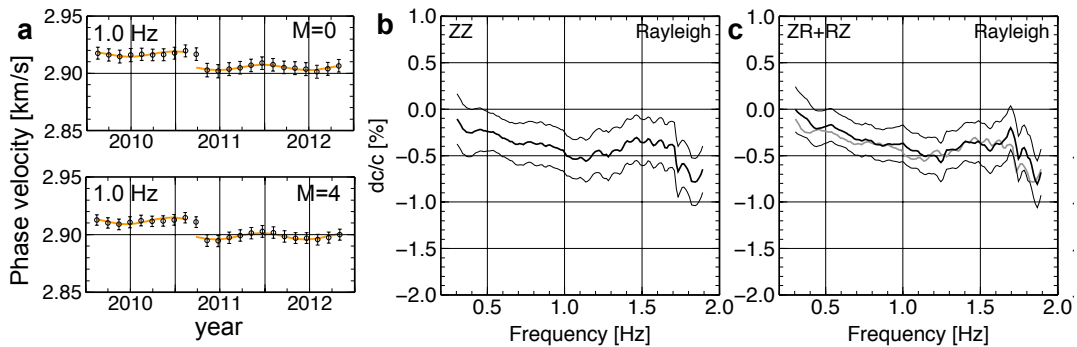


図 3. (a)位相速度の時間変化 (ZZ 成分, 1 Hz, 0 次と 4 次の場合). (b,c)ZZ 成分と ZR 成分から推定した位相速度地震時変化の周波数依存性.