

コーダ波干渉法による見かけ速度変化の差分計算に基づく解釈

澤崎郁 (防災科学技術研究所)

はじめに

前年の本研究集会では、相似地震波形を用いた地震波干渉法解析から、2011年東北地方太平洋沖地震（東北沖地震）に伴うリソスフェア全体の見かけ速度低下を最大 0.2%と見積もった。しかし、この変化に対して地盤浅部とリソスフェア深部での速度変化がそれぞれどれくらい寄与するかは明らかではない。本研究では、地盤浅部とリソスフェア深部の地震波速度を独立に変化させて差分法による波動場計算を行い、地震波干渉法による位相遅れ曲線を説明可能な速度変化モデルを提案する。

2011年東北地方太平洋沖地震後の「見かけ」速度変化

図1に、IWITH14とIBRH09の各観測点で記録された相似地震クラスターA、B、C、Dの位置と、それぞれのクラスターについて地震波干渉法解析から求めた東北沖地震前後の位相遅れ曲線を示す。いずれのクラスターでも、本震前と本震発生後102-129日の間に相似地震が発生している。offshore(クラスターB、D)ではPコーダ波の位相遅れは緩やかであるが、S波到達直後から急に大きく遅れている。また、nearcoast(クラスターA、C)ではSコーダ波の位相遅れがほとんど生じないが、offshoreではSコーダ波でも位相が遅れ続けている。

2次元差分計算

図1に示した相似地震クラスター-観測点の位置関係を模して、震央距離0km(nearcoast)と150km(offshore)の場合について2次元波形計算を行った。震源の深さは前者と後者でそれぞれ50kmおよび30kmとし、メカニズム解は傾斜角 22.5° のダブルカップル型震源、震源時間関数は卓越周波数2HzのKüpper waveletとした。観測点は地表からの深さ300mに設置した。背景速度構造は、1km以深ではNakajima et al. (2001)のトモグラフィ結果に基づく1次元構造を、1km以浅ではKiK-net検層記録に基づく1次元構造を用い、それらに相関距離5kmの指数関数型ランダム不均質媒質を足し合わせた。速度揺らぎの平均強度を表す ε は深さの関数として与えた。この速度構造を基準とし、速度変化を与えた場合に計算波形の位相遅れ曲線がどのように変化するかを調べた。

計算結果

Sawazaki and Snieder (2013)により、本震から3-6ヶ月後の表層75mのP波、S波速度の低下量がそれぞれ平均2%、0%であることが分かっているため、これを固定した。この場合、75m以深のP波、S波速度を、nearcoastではそれぞれ0.15%、0.06%増加させたとき、offshoreではそれぞれ0.02%、0.00%増加させたときに、観測を最もよく説明する位相遅れ曲線が再現された。図2に、これらの速度変化を与えたときの位相遅れ曲線の計算結果を示す。

考察、まとめ

offshoreにおいては、観測された位相遅れ曲線はおおむね、表層75mでの2%のS波速度低下のみで説明可能である。nearcoastにおいては、同様のS波速度低下を与えると位相遅れが過大となり、深部での地震波速度を増加させなければ位相遅れ曲線を説明できない。東北沖地震に伴う地殻変動により、観測点直下のリソスフェア中では東西、上下方向にそれぞれ0.004%の膨張、0.002%の圧縮ひずみが増加したと推定される。有限歪弾性論(Murnaghan, 1967)に基づくと、これらのひずみ変化により、東西、上下方向に伝播するP波速度はそれぞれ約0.04%低下および0.02%増加し、S波速度の変化は0.01%以下と見積もられる。これらの結果は、nearcoastで大き

なP波速度増加が検出されたこと、offshoreでの深部速度変化が小さかったことを定性的に説明できる。したがって、地殻変動によるひずみがリソスフェア深部での速度変化に強く影響するが、その量は最大で0.1%程度であり、表層の速度変化と比較して極めて小さいと考えられる。本研究と同様に、Takagi et al. (2012)やHobiger et al. (2012)も、2008年岩手・宮城内陸地震について地盤浅部の速度変化が大部分を占めることを指摘している。

強震動を伴わない群発地震やスロースリップの前後で速度変化が報告された事例もある(例えばMaeda et al., 2010; Rivet et al., 2011)。これらの現象では深部の変化が重要であると考えられるため、本研究のような差分法による位相遅れ曲線の解析が有効であると考えられる。

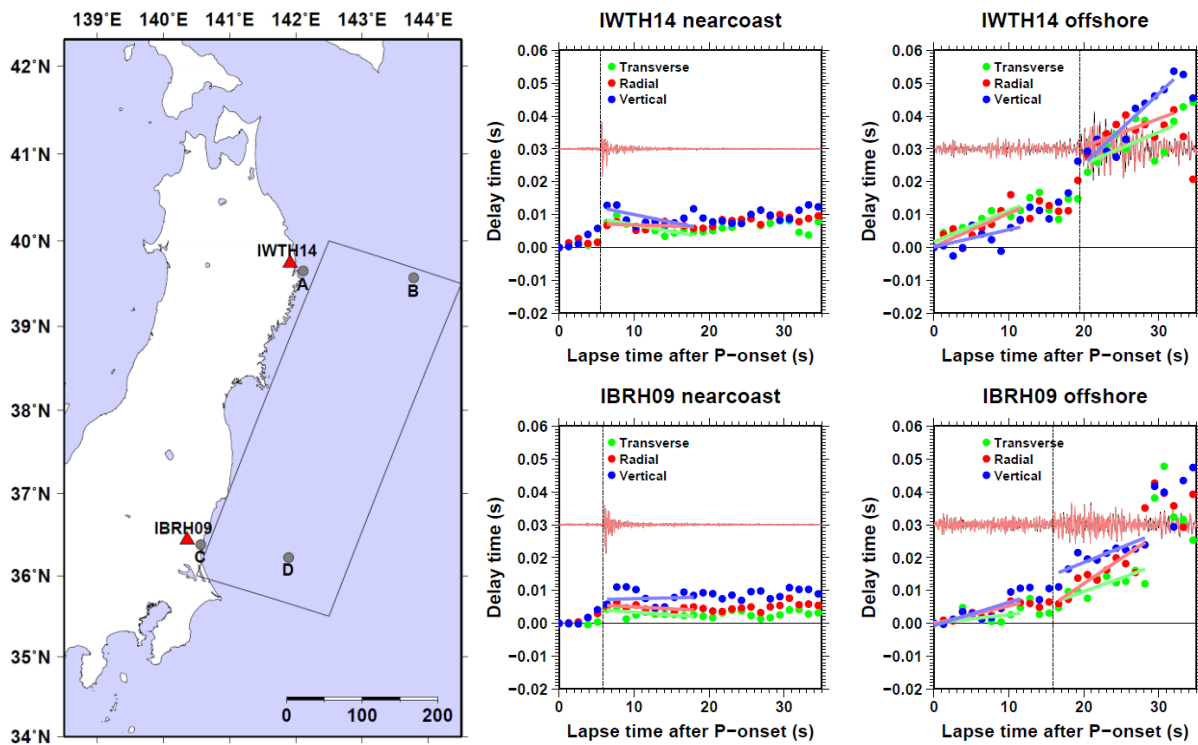


図 1. 地図: KiK-net(Hi-net)観測点位置(三角)と相似地震の震央(灰色丸)。相似地震 A, B は IWTH14、C, D は IBRH09 で観測された。グラフ: 各クラスター観測点ペアの位相遅れ曲線。P波到達時刻からの経過時間を横軸に、P波初動部の位相遅れを0sとして表示している。黒および桃色の波形は本震前後の東西成分観測記録を、点線はS波到達時刻を表す。

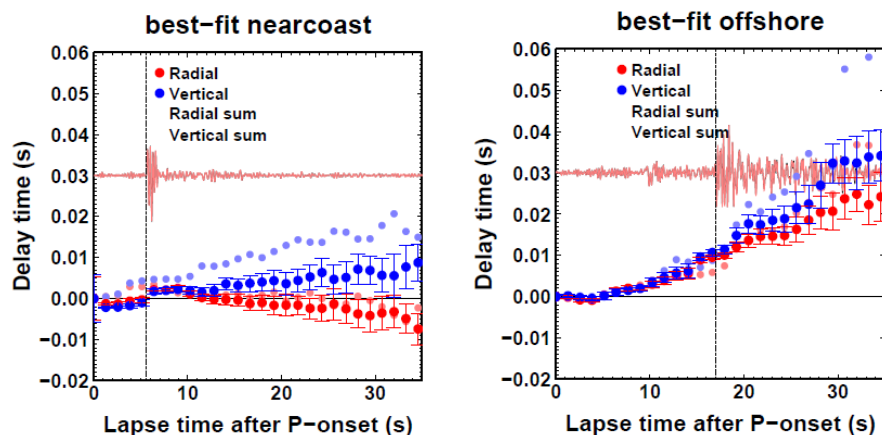


図 2. 差分計算により求めた、観測値に最も合う震央距離0km(nearcoast)、150km(offshore)での位相遅れ曲線。黒および桃色の波形は速度変化前後のradial成分計算波形を、点線はS波到達時刻を表す。