

# Examination of broadband slant-stacked waveform with synthetic one by 3-D wave propagation and their application to focal depth estimation

\*Masahiro KOSUGA<sup>1</sup>

1. Graduate School of Science and Technology

## 1. はじめに

走時データを用いた震源決定において、震源上方に観測点が存在しない場合の震源深さは、地震発生時刻とのトレードオフのため精度良く推定することが困難である。これは海域で発生した地震において深刻な問題であった。それはS-net観測点でのデータを用いることで解消された地域があるとは言え、過去に発生した地震に対する状況は変わっていない。これまで、さまざまな地表（海面）変換波が海域地震の震源深さの精度向上に用いられてきたが、目視で確認できる周波数帯の利用に限られていたのに加え、変換波の波動場の利用例はほとんどない。一方、特性の揃ったHi-net観測網の波形記録を広帯域化すると、多数の後続波が空間的に連続した波動として検出できることがわかってきた。前報（JpGU2022）では、広帯域化した波形のslant-stackを行うことで各地震の波形を単純化し、波形相関によって分類された地震の空間分布・CMT解・波形の特徴の検討を行なった。今回は、3次元地下構造を仮定した波動伝播シミュレーションによって計算した波形に対しても同じ処理を行い、観測スタック波形がシミュレーションによってどの程度再現可能なのかを調べた。また、シミュレーションのスタック波形が震源深さに対して系統的に変わる性質が震源の深さ推定に適用可能なことがわかったので報告する。

## 2. データ処理

波形に対して、地震計の特性補正・フィルタリング・auto gain controlを行った後でスタッキングを行った。フィルターの帯域は0.02-0.2, 0.05-0.5, 0.1-1.0 Hzの3通りを用いた。スタッキングは見かけ速度7.0~9.0 km/sまで0.4 km/sごとの6通りに対して行った。スタッキングは震央からの距離が400 km以内で、エンベロープ振幅のS/N比が設定したしきい値を超えている観測点の波形に対して行った。シミュレーションにはOpenSWPC（Maeda et al., 2017）を用いた。3次元地下構造は全国1次地下構造モデル（JIVSM）（Koketsu et al., 2012）を用いた。震央から400 km以内のHi-net観測点に対して計算された波形に対しても、観測波形と同様な処理を行った。対象地震は、岩手県中部の沖（39.53N, 143.56E, 15.7 km, M5.0）、宮城県北部の沖（38.66N, 142.15E, 42.1 km, M4.5）、および宮城県中部の沖（38.13N, 143.49E, 16.3 km, M5.0）の、いずれもプレート境界付近で発生した地震とした。震源位置・マグニチュード・メカニズム解は、気象庁CMT解のセントロイド位置・モーメントマグニチュード・ダブルカップル成分を与えた。

## 3. 観測とシミュレーションによるスタッキング波形の比較

シミュレーションによるスタッキング波形は、長周期の波、それより大振幅の中間周期の波、および小振幅で短周期の波の重なりと見ることができ、長周期の波が明瞭なのは規模が大きい地震に対して長周期のフィルターをかけた場合で、周期は20 s程度、振動の継続時間は50 s程度である。中間周期の波の周期は5 s前後で、相対的に小さい見かけ速度でのスタッキング波形において明瞭である。観測スタッキング波形と比較すると、両者がよく似ているのは、見かけ速度の範囲が7.0~8.2 km/sで初動から30 s程度の時間範囲内であることがわかった。見かけ速度がそれよりも速くなると、シミュレーション波形の中間周期の波の振幅は次第に小さくなる。また、シミュレーション波形では初動から30 s以降にも振幅の大きい後続波が見られるが、観測波形では明瞭な波動は見られない。ただし、これが一般的な傾向かどうかは他の地震に対するシミュレーションも行って検討する必要がある。

## 4. 震源深さ推定の試み

震源深さを変えてシミュレーションを行い、スタック波形の変化を確認した。それによると、中間周期の波の山谷の間隔（周期）が、震源が深くなると系統的に長くなることがわかった。これは、震源から後続波生成源までの距離が深さとともに長くなるためと解釈できる。この性質を使うと、観測スタック波形との相関から

震源深さを推定することができる。すなわち、震源深さと相関係数の関係は単一の山を有する2次関数的な形になると期待されるので、相関係数を深さの多項式で近似することで、相関が最大となる深さを決めることができ、それを震源深さと見なすことができる。

#### 5. おわりに

観測スタック波形の主要な部分はシミュレーション波形においても再現できることが確認できた。また、シミュレーション波形の中間周期の波の周期が仮定した震源深さとともに系統的に変わることがわかった。この性質を用いると、海域で発生した地震の震源深さを精度良く推定できる可能性がある。今後は多数のシミュレーションによってこれらの結果の一般性を確認し、3次元的な震源位置の推定方法の検討が課題である。

#### 謝辞

本研究では防災科研H-netの観測波形と気象庁CMT解カタログを使用した。波動伝播シミュレーションには東京大学地震研究所のEIC計算機システムを利用した。（公財）地震予知総合研究振興会からは研究費の援助をいただいた。以上の機関に感謝します。