

高感度加速度計アレイによる波動伝播モニタリングと超低周波地震の検出

Monitoring of seismic-wave propagation and detection of very-low-frequency earthquakes by array analysis

浅野 陽一 [1]; 伊藤 喜宏 [1]; 小原 一成 [1]
Youichi Asano[1]; Yoshihiro Ito[1]; Kazushige Obara[1]

[1] 防災科研
[1] NIED

はじめに

フィリピン海プレートが西南日本の下に沈み込む南海トラフでは、周期 10 秒以上の長周期成分に富んだ超低周波地震が発生していることが知られている [たとえば、石原 (2002, 2003), 小原 (2004)]。Ito and Obara (2006) は、この地域で発生する超低周波地震の CMT 解を推定し、それらのセントロイドの深さや節面の傾斜角などから、これらの地震が付加体内部の逆断層帯におけるゆっくりとしたすべりによるものであることを明らかにした。また、Obara and Ito (2005) は、2004 年の紀伊半島南東沖の地震後にこの地域での超低周波地震の活動が活発になったことを指摘している。このように超低周波地震活動の時間・空間的特性を詳細に調べることは、沈み込み帯の構造的特徴と地震の起き方との関係やプレート境界近傍の応力状態を理解するうえで重要である。そこで我々は、高感度加速度計アレイの記録を用いたセンブランス解析によって波動伝播をモニタリングし、その解析結果から多数の超低周波地震を自動検出することを試みた。

解析方法

サンプリング周波数 20Hz で連続的に収録される高感度加速度記録水平成分に対して、設置方位の補正 [汐見・他 (2003)] を行った後にバンドパスフィルターに通し、その処理後の記録を 1 Hz でリサンプリングする。この 1 Hz 記録波形を以下のセンブランス解析で使用する。フィルターの通過周波数帯域は、超低周波地震による地震動の卓越周波数 (0.1Hz 以下) とアレイを構成する観測点の間隔 (約 20km) とを考慮して 0.02 ~ 0.05Hz とした。このとき、見かけ速度や 3km/s の表面波を仮定すると地震波の波長は 60 ~ 150km 程度であるから、観測点間隔はその約 1/3 ~ 1/8 である。したがって、空間的なエイリアシングをほぼ起こすことなく、波群の到来方向と見かけ速度の推定が可能である。次に、全国に配置した半径 50km の円内に入る観測点によって複数のアレイを構成し、それぞれのアレイについてセンブランス解析を行った。単一のアレイを構成する観測点数は、平均して 15 観測点程度である。センブランス値は重合後の波形エネルギーを重合前の波形エネルギーの和と重合数との積で規格化した値として定義され、複数の波形相関の度合い (コヒーレンシー) を表す指標のひとつである。ここでは、波群の到来方向および見かけ速度から期待される観測点間の到達時刻差に応じて幅 60 秒間の時間窓を設定し、その時間窓内の波形相関をセンブランス値によって評価した。このセンブランス値が最大になるような到来方向および見かけ速度をグリッドサーチによって推定する。同様の解析を時間窓の設定時刻を 30 秒ずつ動かしながら行って、到来方向と見かけ速度の時系列を得た。得られるセンブランス値は超低周波地震によるコヒーレントな波群の到達に対応して高い値をとり、その到来方向はほぼ震央方向を表す。したがって、最大センブランス値に閾値を設けて超低周波地震などを検出し、各アレイで観測される波群の到来方向からその震央位置の推定することが可能である。

超低周波地震の記録解析とその結果

2004 年 8 月 30 日 21 時 00 分から 60 分間の波形についての解析例を紹介する。この時間帯に 2 箇所以上のアレイでのセンブランス値が同時に 0.5 を超えるようなイベントは 3 つ検出され、いずれも紀伊半島沖で発生した超低周波地震によるものである。その一つ、21 時 31 分の超低周波地震について、そのセントロイド時間の約 50 秒後における各アレイでのセンブランス解析の結果を示す [図]。センブランス値が大きな値をとるアレイでは、波群の到来方向はいずれも震央方向である紀伊半島南東沖を向いている。一方、見かけ速度については、震央から遠い四国では 5 ~ 10km/s 程度と早く、震央に近い紀伊半島では 3 ~ 4km/s 程度と遅い。これは、伝播速度の速い実体波が先行して四国まで到達しているのに対して、より遅い表面波が紀伊半島付近を伝播中であることを示唆する。四国内のアレイでの見かけ速度の時間変化を調べると、この実体波が到達した後に見かけ速度がより遅い表面波が到達する様子が捉えられており、前述の説を支持する。アレイで観測される実体波と表面波との到達時刻差はアレイと震央との距離にほぼ比例することから、震央位置推定への応用も期待される。

まとめ

高感度加速度計アレイの記録を用いたセンブランス解析によって超低周波地震を容易に検出できることが示された。特に、紀伊半島南東沖で発生した超低周波地震の記録の解析結果からは、見かけ速度の速い実体波とそれよりも遅い表面波の到達を識別することができた。本稿で紹介した波形処理に要する時間は記録時間長よりも十分に短いので、準リアルタイムでの処理システムとして稼動することが可能である。

2005/08/30 21:32:30.0 (JST)

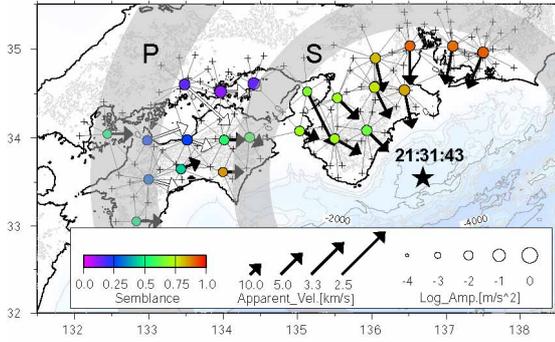


図. 解析例. 各アレイの中心とアレイを構成する観測点の位置を丸印と十印でそれぞれ示す. 星印は本解析によって推定された震央の位置を表す. 波群のRMS振幅とセンプランス値を丸印の大きさとカラースケールでそれぞれ表す. また, 見かけ速度と到来方向を矢印(センプランス値が0.4以上の場合に黒矢印)の長さでそれぞれ表す. P波およびS波のおおよその到達をグレー網掛け帯で併せて示す. 実体波(P波およびS波)の到達域では見かけ速度が大きく, Sコーダ波および表面波の到達域と考えられる紀伊半島東部では見かけ速度が小さい.