

## 特異値分解法による震源の振動構造の解析

### Analysis of the vibration structure of a hypocenter using a singular value decomposition method

\*菊池 年晃<sup>1</sup>

\*Toshiaki Kikuchi<sup>1</sup>

1. 防衛大学

1. National Defense Academy

震源の振動構造を非線形信号解析に関する手法を用いて解析した。その結果から震源構造に起因する特有の放射特性が明らかになる。その特有の放射特性は、熊本地震を含む5つの地震で確認された。これらは地震予知に繋がる重要な結果である。解析処理はタイムリバーサル法を用いた等価的な震源振動の取得と、得られた震源振動の非線形解析の二段階で行う。

各地の観測点で観測される地震波は、震源から観測点までの伝搬環境による影響を受けるため震源本来の振動とは異なる。そこでタイムリバーサル法を活用して、地震波を震源位置に置換した震源本来の振動を求める。求められたタイムリバーサルパルスは多周波成分からなる複雑な振動波形である。そこでこの複雑な振動波形を非線形信号解析の特異スペクトル解析法を用いて解析し、その中で振幅が最も大きい主要な振動成分を求める。求められた主要な振動成分の周波数の、震源からの方位に対する分布は明確な指向性を示した。

初めに、震源を囲む観測点で受信した地震波からP波を切り出し、その信号の時間軸を反転させた信号を伝搬シミュレーション上で放射して震源位置に形成されるパルスを求める。この際、伝搬環境を変化させてパルスの振幅が最大になる条件を求め、それを最適伝搬環境とする。次に、最適伝搬環境で求めたタイムリバーサルパルス(TRP)、即ち等価的な震源振動を分析する。TRPは多周波数からなる複雑に振動する非線形信号であるから、特異スペクトル解析法を用いて解析する。まず、ある観測点に対応するTRPを含むn点からなる時間間隔dtの行列を作る。この行列を全体にdt遅らせた第二の行列を作る。更にdt遅らせた第三の行列を作る。これをm回繰り返して、 $m \times n$ の行列  $X$  が得られる。これが軌道行列である。これを  $U^T U = V^T V = E$  ( $E$ : 単位行列) を満たす正規直交行列  $U(m \times n)$ ,  $V(m \times n)$  を用いて分解するため、次の関係式  $X = U W V^T$  に適用して  $W$  を求める。この中の最も大きい特異値  $\lambda_1$  に注目し、それを主要な成分として取り出す。

ここでは、2009年8月11日に駿河湾の南部で発生したM6.5の地震に対して例示する。最初に、駿河湾の周辺に位置する観測点で受信した信号からP波を切り出し、その時間軸を反転して震源位置における波、TRPを求めた。このパルスに特異値分解法を適用してパルスを構成する成分を算出し、その中で最も振幅の大きい成分を求めた。それは、ほぼ単一の周波数からなる緩やかに変動するパルスである。

同様に、各観測点に対応するTRPに特異値分解法を適用して最も振幅の大きい成分を抽出した。それらの成分の周波数を、震源を中心とした観測点の方位に対する分布として図に示した。明らかに、震源からの放射周波数は方位によって大きく異なる指向性を持っている。即ち、方位角27.4°の裾野から、方位角97.0°の河津までの周波数が高く、特に、裾野6.41Hz、南足柄5.70Hz、西伊豆西5.00Hz及び河津7.34Hzなどの周波数が高い。

我々が先に示した震源振動の動的モデルでのパラメトリックスポットは西伊豆西、○印である。このスポットは活断層中で亀裂が進行する際に発生した圧力が累積的に加算されて受信波の先頭が膨張する方位である。この圧力の累積的加算は亀裂の進行速度が縦波の速度に等しい場合に生じる。この原理に基づけば、軸となる西伊豆西(86.4°)より方位角の小さい裾野(27.4°)や南足柄(39.0°)での高い周波成分は、活断層中の亀裂がより速い位相速度で進行したことを示唆している。これらの放射パターンは活断層の振動モードに関係すると考えられる。

このような震源振動の主要な振動数の取得は防災上重要であり、震動構造の解明にもつながる。

キーワード：震源振動、タイムリバーサル法、特異値分解法

Keywords: Hypocenter vibration, Time reversal method, Singular value decomposition

