

地震計アレイデータの高分解能周波数-波数解析法 - 高周波地震動の励起源の推定 -

High-resolution frequency-wavenumber analysis of seismic array data

今西 和俊[1], 伊藤 久男[2], 桑原 保人[1]

Kazutoshi Imanishi[1], Hisao Ito[2], Yasuto Kuwahara[1]

[1] 産総研, [2] 地質調査所

[1] AIST, [2] Geological Survey of Japan

アレイデータは、波動場の解析や震源と媒質の情報を引き出すために使用される。その適用範囲は広く、通信、生体工学、電波天文学など多岐の分野にわたっている。地震学においては、コーダ波の解析、散乱体分布の推定、表面波の分散曲線の解析、火山性活動による波動伝播特性の解析、大地震の破壊伝播の推定などに適用されている。本研究では、従来のアレイ解析法よりも単純で分解能が高い F-K 解析法を提案する。そして、特に、断層運動による高周波地震動の励起源の推定への適用について考察する。

アレイ解析の方法は周波数領域または時間領域で行うかによって2つに分類できるが、周波数領域での解析はアレイに同時に到達する波を分離できる能力を持っている。最も単純な方法はビームフォーミング法であるが、ビームフォーミング法により推定されるパワースペクトルは、真のパワースペクトルとアレイ応答関数（アレイ配置により決まる）のコンボリューションであることが示されている。実際のアレイ応答関数はデルタ関数ではないため、推定されるパワースペクトルはアレイレスポンスによりゆがめられ、分解能が低くなる。Capon (1969) はビームフォーミング法よりも分解能が高い方法を提案したが、複数の波が混在する場合には、分解能がビームフォーミング法と大きく変わらないことが知られている。一方、Schmidt (1986) は複数の波を分離できる方法として、MUSIC 法を提案した。この方法は、アレイデータの空間相関行列の固有値分解によりノイズと信号の情報を分離し、高分解能に信号の到来方向等を推定する手法である。しかしながら、この方法の最大の欠点は、波の数を事前に与える必要がある点である。真の波の数と異なる数を与えてしまうと、高分解能な結果は得られない。多くの場合、波の数は未知数であることを考えると、その適用は限られていると言える。

本研究では、ビームフォーミング法により得られたパワースペクトルをアレイ応答関数でデコンボリューションすることにより、高分解能にパワースペクトルを推定する方法を提案する。この時、パワースペクトルは正の量であるため、我々は非負の拘束条件を与えて解を推定する。アルゴリズムとしては、NNLS法 (Lawson & Hanson, 1974) を使用した。また、実体波のように非分散性の波を解析対象にしている場合には、slowness stacking (Spudich & Oppenheimer, 1986) により分解能をさらに上げることができる。

この方法の有効性を示すために、数値実験を行った。理論波形は、ほぼ同じ方向からほぼ同時に到達する2つのRickerウェーブレットからなり、さらに最大振幅値の10パーセントのノイズを与えて作成した。ビームフォーミング法やCaponの方法では2つの波を分離することができなかったが、本手法とMUSIC法では分離できた。さらに、分解能は本手法の方がMUSIC法よりも高いことが明らかになった。

1 Hz 以上の高周波成分の波は地震被害に大きくかかわっているにもかかわらず、その励起メカニズムは明らかにされていないとは言えない。その最大の理由は、1 Hz 以上の理論波形を精度良く計算することができないため、波形インバージョン法を適用できない点にある。アレイデータは観測波形のみから波の出所を推定することができる利点を持っており、高周波成分の励起メカニズムを調べるのが可能である。我々は、数値実験および1999年台湾集集地震 (Mw=7.6) の観測データにより、1 Hz 以上の高周波成分の破壊過程がアレイ解析により推定可能であることを紹介する。

謝辞：本研究を進める上で、アメリカ地質調査所の Paul Spudich 博士には大変有益なコメントを頂きました。記して感謝致します。