

周波数領域での波形インバージョンに基づく断層震源解析手法の開発とJISNETデータへの適用

Development of a waveform inversion method in the frequency domain to estimate earthquake source mechanism

中野 優 [1]; 熊谷 博之 [1]; 山品 匡史 [1]; 宮川 幸治 [1]; 井上 公 [1]

Masaru Nakano[1]; Hiroyuki Kumagai[1]; Tadashi Yamashina[1]; Koji Miyakawa[1]; Hiroshi Inoue[1]

[1] 防災科研

[1] NIED

我々は周波数領域での波形インバージョンに基づく、震源位置、メカニズム、震源関数推定のための手法を開発した。本手法では、インバージョンを周波数領域で行なうため計算が高速であるとともに、震源関数を同時に推定できるという特長を持っている。

本手法では次の手順によって震源過程の推定を行なう。波形インバージョンでは、 $d=Gm$ の形の正規方程式を解くことで震源メカニズムに関するパラメータを推定する。ここで d は観測データを表すベクトル、 m はメカニズムおよび震源関数の時間変化に関するパラメータを表すベクトルである。 G はグリーン関数を表す行列であり、そのサイズは (データ数) \times (パラメータ数) である。時間領域でインバージョンを行なう場合、行列 G のサイズは $(N_t N_s) \times (N_m N_p)$ となる。ここで N_t 、 N_s 、 N_m 、 N_p はそれぞれ、インバージョンに用いる波形の数、各波形のサンプル数、メカニズムの成分の数、震源関数の時間変化を表すためのパラメータの数である。一方、インバージョンを周波数領域で行う場合、正規方程式は解析に用いる周波数成分それぞれについて独立に解くことができる。そのため行列 G のサイズは $N_t \times N_m$ と小さくなり、逆問題を高速に解くことができる。方程式の数は解析に用いる周波数成分の数に増えるが、行列の解法にかかる時間が短いため周波数領域でのインバージョンの方が圧倒的に高速である。この手法では、震源関数の時間変化に制約がないため、津波地震のような破壊継続時間が非常に長い場合にも先験情報なしに適用可能である。

上記の周波数領域での波形インバージョンで推定される震源関数 $mf(t)$ はインバージョンで使用した周波数帯域に限られ、本来の震源関数 $m(t)$ にバンドパスフィルターがかかったものが推定される。従って ramp function で表されるような震源関数の DC 成分などは復元できない。そこで我々は、次のようにして震源関数を推定する手法を開発した。震源関数を基底関数 $s(t)$ (例えば ramp function) と、ある関数 $a(t)$ のコンボリューションで表現できると仮定する ($m(t)=a(t)*s(t)$)。次に基底関数 $s(t)$ に波形インバージョンで用いた帯域を通すフィルターをかけたものを $sf(t)$ とする。 $mf(t)$ に $a(t)*sf(t)$ をフィッティングさせることによって $a(t)$ を推定し、その結果を用いて震源関数 $m(t)$ を得る。ここで、断層運動では震源関数が減少することはないので、 $a(t)$ に非負の条件を課して推定する。

我々はこの手法を JISNET 観測データに適用し、インドネシアにおける地震の震源とメカニズムの推定を行なった。JISNET の観測点密度は高くないため、少ない観測点のデータから震源とメカニズムを推定する必要がある。そこで Nakano and Kumagai (2005; GRL) が火山性地震の解析に用いた手法を断層運動に拡張した。すなわち震源として点震源のダブルカップルを仮定し、dip, slip, rake に関してグリッドサーチを行なうことでメカニズムを推定した。また震源 (セントロイド) の推定は空間方向のグリッドサーチによって行なった。以下に解析したイベントの例を示す。

2006年7月17日 (ジャワ島南西沖、 $M_w7.8$) の地震: この地震はマグニチュードの割に破壊継続時間が100秒よりも長く、津波地震であったと推定されている (例えば Ammon et al., 2006; GRL)。この地震を本手法によって50-200秒の帯域を用いて解析した。その結果、セントロイドは $9.8^\circ S$ 、 $107.4^\circ E$ の深さ10kmに求まり、マグニチュードは $M_w7.5$ 、メカニズムは逆断層型であり、破壊継続時間は約120秒という値が得られた。これらの結果は Ammon et al. (2006)、USGS、Harvard CMT などの結果と調和的である。

2007年1月21日 (スラウェシ島北東沖、 $M_w7.5$) の地震: 本手法によって10-100秒の帯域を用いて解析した結果、セントロイドは $1.0^\circ N$ 、 $126.2^\circ E$ の深さ25kmに求まった。マグニチュードは $M_w7.5$ 、メカニズムは逆断層型であり、破壊継続時間は約15秒に求まった。セントロイド、メカニズムは USGS、Harvard CMT などの結果と調和的であり、破壊継続時間はマグニチュードから予想される値と調和的である。

本手法ではこのように、震源関数に自由度があるため破壊継続時間が大きく異なる場合でも、同一のプロセスで震源過程の推定を行うことができる。さらに自動化も可能であるため、震源メカニズムだけでなく震源関数についてもルーチン的に決定することができる。