

## - 5 地震波速度の異方性を考慮した理論波形計算コードの開発と応用 Development of numerical codes to compute synthetic seismograms considering seismic anisotropy and its application

(研究期間 平成 16~17 年度)

国際地震工学センター

International Institute of Seismology and Earthquake Engineering

原 辰彦

Tatsuhiko Hara

We develop a numerical code to compute synthetic seismograms for global scale earth structure models including lateral heterogeneity and anisotropy of seismic velocities. We perform preliminary numerical tests for the earth models of Su et al. (1994) and Oda (2005). We also improve the inversion method to determine temporal distribution of moment release of large earthquakes. We apply this method to the analysis of the main shock of the 2004 off the Kii peninsula earthquakes to find the temporal change of the source mechanism during the rupture.

【研究目的及び経過】 現在、観測地震波形と理論的に計算された波形を比較、解析することによって、震源に関するパラメータや地球内部の物性パラメータが内外の研究者によって推定されている。理論計算では多くの場合地震波速度の等方性を仮定しており、異方性の効果は考慮されていない。しかしながら、地震波速度の異方性は存在が多くの研究で示されており、その効果を無視することによって、推定結果は誤差を含むことになる。

本課題では、全地球的に設置された広帯域地震計のデータを使って震源パラメータを推定する際の解析精度の向上を図るために、地震波速度の異方性を考慮できる理論波形計算コードの開発を目的として研究を実施した。また、震源パラメータを推定するデータ手法の開発・改良も平行して進めた。

【研究内容】 上記の目的に対して、以下の3項目を実施した。全地球スケールの地震波速度異方性（水平方向不均質を含む）を入れた地球内部構造モデルに対して、長周期の理論地震波形を計算するコードの開発。

で開発した数値計算コードを用いた試験的な計算の実施。

Hara (2004)<sup>1)</sup>が開発した地震時に開放される地震モーメントの時間変化を推定する手法の改良と 2004 年 9 月 5 日に発生した紀伊半島南東沖地震の本震の解析への応用<sup>2)</sup>。

【研究結果】 理論波形計算は 2 つのステップで行う。まず仮定された地球内部構造モデルに対する剛性マトリックスとマスマトリックスを計算し、次に運動方程式を解く。地震波速度の異方性を考慮した剛性マトリックスは、球対称地球モデルに対して求められた自由振動モードの固有関数を基底関数として、Mochizuki (1986)<sup>3)</sup>に従い計算する。水平方向不均質を含む等方地球モデル用に開発した数値コードを基に開発を進め、21 個の弾性

定数に対して行列要素を計算できるように改良した。

運動方程式の解法としては、既が開発済の Direct Solution 法<sup>4)</sup>に加えて、モード展開による解法<sup>5)</sup>の数値コードを開発した。この手法では、まず仮定された地球内部構造モデルの自由振動モードを一般化固有地問題を解くことにより求める。次にモード展開により運動方程式を解き、理論地震波形を計算する。Direct Solution 法と比べて、長周期帯域の長い時系列を安定に計算できる利点があり、自由振動帯域のデータ解析に有効である。

上記の開発したコードで試験的な計算を行った。地球内部構造モデルとしては、等方部分については Su et al. (1994)<sup>6)</sup>の全マントル 3 次元モデル、異方性構造については Oda (2005)<sup>7)</sup>のモデルを用いた。このモデルでは上部マントルの異方性として六方晶系を仮定し、P 波、S 波の摂動に比例関係を仮定している。周期 320 秒までの全ての自由振動モードの固有関数を基底として用い、計算を行った。異方性を入れた場合と入れない場合について比較し、計算結果の妥当性を確認した。

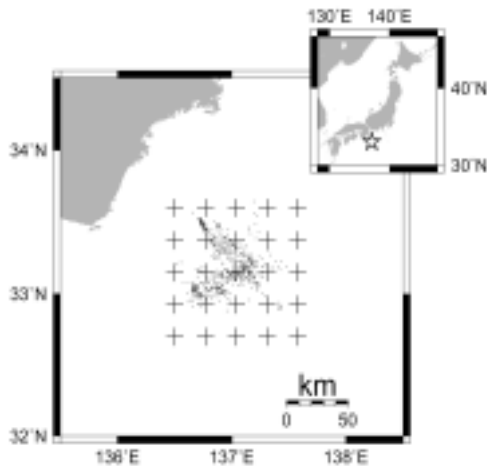
データとしては、世界各地に設置された高性能地震計の長周期チャンネル記録（3 成分）を IRIS データセンターから取得し、周期 50-100 秒の長周期実体波を解析した。

解析は 2 つのステップで行った。第 1 ステップでは CMT 解をグリッドサーチで求めた。水平方向の空間グリッドを図 1(a)に示す。深さ方向には 10、20、30 km にグリッドを置いた。震源時間は 50 秒とし、時間グリッドを 10 秒間隔で設定した。時間、空間グリッドそれぞれのペアに対して理論地震波形のグリーン関数を DSM8)で計算し、線形インバージョンでモーメントテンソルを求めた。図 1(b) に示された が観測を最もよく説明した空間グリッドである（深さ 20km、時間グリッド

ドは地震開始から 30 秒後)。このグリッドをセントロイド位置として固定し、第2ステップの解析を行った。

第2ステップではセントロイド位置を固定し、開放された地震モーメントの時間変化を推定した。震源時間は第1ステップと同じ50秒とし、グリッド間隔は5秒に設定した。Hara (2004)<sup>1)</sup>は各グリッドにおけるモーメントレート関数をデルタ関数にしたが、より滑らかな解を得るために、本研究では三角形関数を用いた。

(a)



(b)

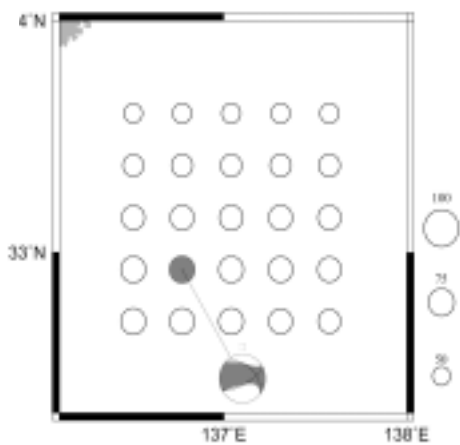


図1 (a) 水平方向のグリッド位置 (+)。点は余震分布右上図のは米地質調査所が決定した震央。(b) 深さ20kmにおいた各グリッドに対して行ったMTインバージョンで得られた残差の改善(%)。スケールは右に表示)。がデータを最もよく説明したグリッドであり、震源メカニズムも合わせて表示した。

各時間グリッドにおけるモーメントテンソル各成分の大きさを変数とする線形インバージョンの結果を図2に示す。地震開始から10-20秒は横ずれ断層成分が認められるが、25-35秒には逆断層成分が顕著になっており、震源メカニズムが変化していることが分かる。時間解像

度は±10秒程度であり、推定で得られた時間スケールの変化は検出可能である。

この結果はGPSによる地殻変動の解析<sup>9)</sup>と調和的であり、津波の解析結果<sup>10),11)</sup>とも矛盾しない。また、余震分布が2つのトレンドを示すこと(図1a)、横ずれ断層型の余震が発生していることとも調和的である。従って、紀伊半島南東沖地震の本震には2つ以上の断層が関係していると考えられる。

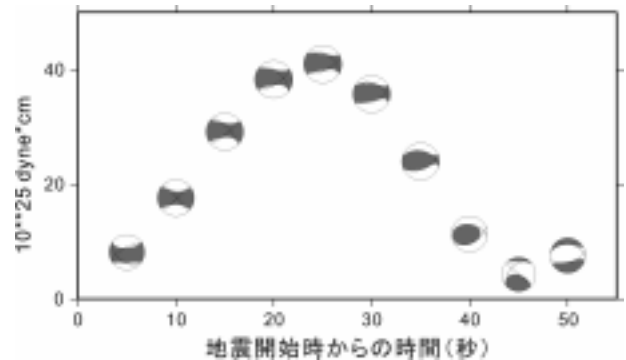


図2 地震モーメントの時間分布。縦軸は各サブイベントのスカラーモーメント

#### 【参考文献】

- 1) Hara, T., Earth Planets Space, 56, 307-310, 2004.
- 2) Hara, T., Earth Planets Space, 57, 179-183, 2005.
- 3) Mochizuki, E., Geophys. J. R. astr. Soc. 86, 167-176, 1986.
- 4) Hara, T., Tsuboi, S., Geller, R. J., Geophys. J. Int. 104, 523-540, 1991.
- 5) 例えば、Park, J., J. geophys. Res., 91, 6441-6464, 1986.
- 6) Su, W.-J., Woodward, R. L., and Dziewonski, A. M., J. geophys. Res. 99, 6945-6980, 1994.
- 7) Oda, H., Geophys. J. Int., 160, 667-682, 2005.
- 8) 例えば、Cummins, P. R., R. J. Geller, T. Hatori, and N. Takeuchi, Geophys. Res. Lett., 21, 533-536, 1994.
- 9) Hashimoto, M., K. Onoue, F. Ohya, Y. Hosoi, K. Segawa, K. Sato, and Y. Fujita, Earth Planets Space, 57, 185-190, 2005.
- 10) Baba, T., P. R. Cummins, and T. Hori, Earth Planets Space, 57, 167-172, 2005.
- 11) Satake, K., T. Baba, K. Hirata, S. Iwasaki, T. Kato, S. Koshimura, J. Takenaka and Y. Terada, Earth Planets Space, 57, 173-178, 2005.