

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：14301  
 研究種目：基盤研究(C)  
 研究期間：2011～2014  
 課題番号：23540496  
 研究課題名(和文) 南海トラフ巨大地震の予測高度化を目指した紀伊半島下の3次元地震波速度構造の推定  
  
 研究課題名(英文) Estimation of 3D seismic velocity structure beneath Kii Peninsula in order to improve predictions of Nankai Trough megaquakes  
  
 研究代表者  
 澁谷 拓郎 (SHIBUTANI, Takuo)  
  
 京都大学・防災研究所・教授  
  
 研究者番号：70187417  
  
 交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、南海トラフ巨大地震の発生や強震動の予測を高度化するために、巨大地震の震源域であり、破壊開始点であり、強い地震波の経路である紀伊半島の3次元地震波速度構造を正確に推定することを試みた。

沈み込むスラブが深さ30～40 kmに達するあたりの深部低周波イベント発生域は、低速度異常を示した。和歌山県北部の地震活動が活発な地域の下部地殻にも強い低速度異常域が存在することがわかった。これらは、スラブ内の含水鉱物が深部低周波イベント発生域付近で脱水分解して、その結果放出された流体がマンテルウェッジや下部地殻に移動して、低速度域を作り出し、地震発生に関与していることを示している。

研究成果の概要(英文)：We tried to estimate 3D seismic velocity structure accurately beneath Kii Peninsula which is a part of the source area of Nankai Trough megaquakes and through which strong seismic waves propagate to the big cities in Kansai.

Results of the seismic tomography show that the generating areas of deep low frequency earthquakes at the depths of 30 - 40 km of the subducting Philippine Sea slab have low velocity anomalies. Other strong low velocity anomalies are widely distributed in the lower crust beneath northern Wakayama Prefecture where seismic activity is very high in the upper crust. These phenomena indicate that hydrous minerals in the slab dehydrate at the depths, and the discharged fluids move up to the mantle wedge or the lower crust, cause the low velocity anomalies and get involved in the occurrence of the earthquakes.

研究分野：地震学

 キーワード：南海トラフ巨大地震 紀伊半島 地震波速度構造 フィリピン海プレート スラブ起源流体 レシーバ  
 関数 トモグラフィ

1. 研究開始当初の背景

(1) 紀伊半島沿岸部は南海トラフ巨大地震の震源域であり、紀伊半島は巨大地震から発せられた強い地震波の大阪、京都、奈良などの都市への伝播経路にあたる。このような紀伊半島下のフィリピン海プレート形状や地震波速度不連続面の分布を含む地下構造を推定することは、巨大地震の発生予測と強震動予測の高度化にとって非常に重要である。

(2) 西南日本弧の下に沈み込むフィリピン海プレートの形状は非常に複雑であり、紀伊半島下のフィリピン海プレートの形状はいまだにはっきりしていないのが現状である。

(3) 紀伊半島東部から四国西部にかけての地域にみられる深部低周波微動や短期的スロースリップなどの現象は、プレートから脱水した流体の存在と深い関係があると考えられる。プレート境界面付近に流体や蛇紋岩が存在する場合は、境界面の摩擦特性が大きく変化すると考えられる。

2. 研究の目的

(1) 南海トラフ巨大地震の発生や強震動の予測を高度化するために、巨大地震の震源域であり、破壊開始点であり、強い地震波の経路である紀伊半島の3次元地震波速度構造を正確に推定することである。

(2) 申請者のグループが独自に展開しているリニアアレイ観測のデータを解析して、地震波速度不連続面の3次元形状を推定し、それらを組み込んだ走時トモグラフィを行うことにより、地震発生や強震動の予測に供することができる3次元速度構造モデルを構築する。

3. 研究の方法

(1) 地震観測。申請者を中心とするグループは、2004年～2013年に紀伊半島において図1に示すようなリニアアレイ観測を行った。測線の長さは80 km以上となるように設定し、各測線において、観測点間隔が5 km程度になるよう臨時観測点を配置した。

(2) レシーバ関数解析。レシーバ関数とは、遠地地震のP波部分の水平動成分から上下動成分をデコンボリューションし、観測点下の地震波速度構造のレスポンスを抽出したものである。レシーバ関数は直達P波と観測点下のS波速度不連続面でのPs変換波から構成され、それらの時間差はS波速度不連続面の深さで決まり、Ps変換波の振幅は不連続面でのS波速度の不連続量で決まる。レシーバ関数の時間軸を気象庁の地震波速度モデル JMA2001を用いて深さ変換し、測線断面上に投影したPs変換点上でレシーバ関数の振幅を重合することにより、S波速度不連続面の深さ分布を描くことができる。

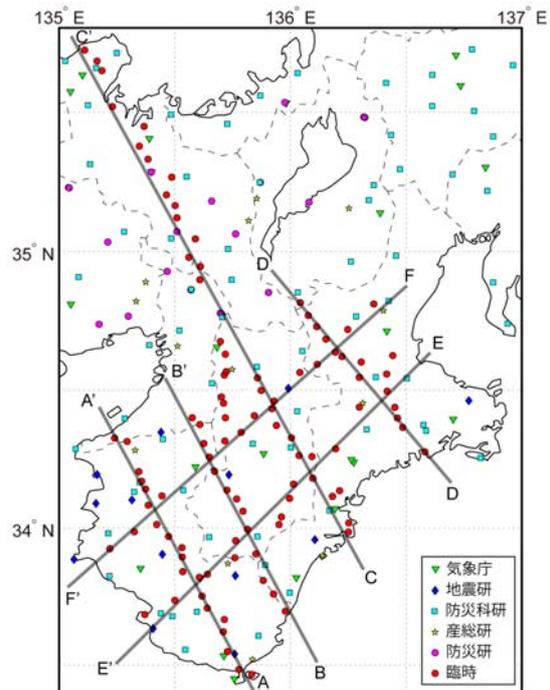


図1 リニアアレイ地震観測

測線 AA'～FF'に対して得られたS波速度不連続面の深さ分布から、フィリピン海プレートの上面、スラブ内の海洋モホ面、および陸側のモホ面を読み取り、適切な補間を行って、紀伊半島下の速度不連続面の3次元形状を推定した。

(3) 走時トモグラフィ。紀伊半島およびその周辺で発生する近地地震と深発地震のP波とS波の到着時刻の読み取りを行った。

FMTOMOというプログラム (Rawlinson et al., 2006) を改良して、トモグラフィ解析を行い、紀伊半島およびその周辺の3次元地震波速度構造を推定した。速度構造モデルには、レシーバ関数解析により推定した上述の速度不連続面を組み込んだ。グリッドサイズは、東西と南北方向には0.05°、深さ方向には6 kmである。走時データは上記読み取りによるP波走時148,104とS波走時141,617である。なお、使用した地震は、近地地震が2,425個、深発地震が96個であり、使用した観測点は、臨時観測点が103点、定常観測点が144点である。

4. 研究成果

(1) レシーバ関数イメージ。図2に解析結果の1例として、CC'測線でのS波速度不連続面の深さ分布を示す。紀伊半島の太平洋岸

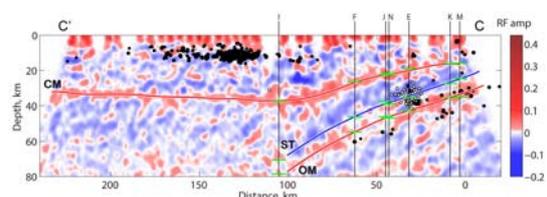


図2 CC'測線のレシーバ関数イメージ

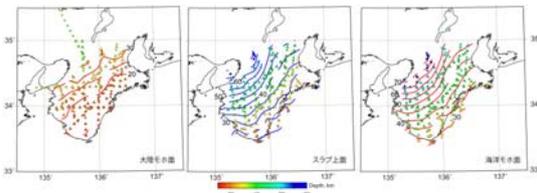


図3 地震波速度不連続面の3次元的形状

(C) から北西方向に傾き下がるフィリピン海スラブ上面 (ST 青線) とスラブ内の海洋モホ面 (OM 赤線) が明瞭にイメージされている。大陸モホ面 (CM 赤線) は近畿地方の北部～中部では深さ 35～37 km にほぼ水平に横たわっているが、紀伊半島下では沈み込むフィリピン海スラブの上をせり上げるように南東方向に傾き上がっている。

(2) 地震波速度不連続面の 3 次元形状。図 3 にレーザ関数解析により推定した大陸モホ面、スラブ上面、海洋モホ面の 3 次元形状を示す。スラブ上面と海洋モホ面の形状からわかるように、フィリピン海スラブは、紀伊半島の東部と西部で浅く、中部で深い、幅広い谷状の形状をして、沈み込んでいる。大陸モホ面は、紀伊半島北部では深さ 37 km にあるが、紀伊半島下では南東方向に浅くなり、太平洋岸では深さ 15 km に存在する。

大陸モホ面のこの特徴は、本研究で初めて明らかになった。紀伊半島では、通常では地震が発生しない下部地殻相当の深さ 20 km 付近で「中間層の地震」と呼ばれる特異な地震が発生することが知られている。我々が明らかにした大陸モホ面が南東方向に浅くなるという特徴を考慮すると、中間層の地震はマントル内に位置することになり、マントルを構成する岩石はその温度・圧力下で脆性的性質を保持するので、地震の発生が説明できることになる。

(3) 地震波速度不均質構造。図 4 に 1 例として 135.7°E に沿う断面での P 波速度 ( $V_p$ ) の不均質分布を示す。初期モデルの JMA2001 (上野他, 2002) からの偏差 (%) で表されている。赤丸で示す深部低周波地震発生域は低速度異常域となっている。沈み込むフィリピン海スラブの深さ 30～40 km での温度・圧力条件において、海洋地殻内の含水鉱物が脱水分解し、水を放出する。この流

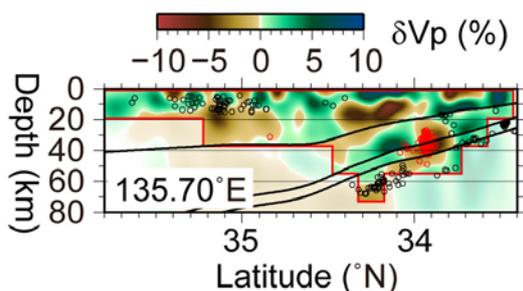


図4 南北断面での地震波速度不均質

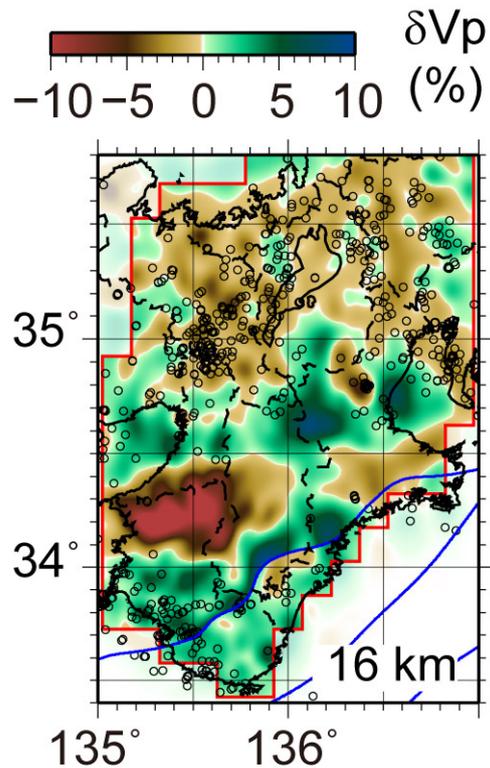


図5 深さ 16 km での地震波速度不均質

体が、スロースリップや深部低周波微動などの現象に関与し、低速度異常の原因となっていると考えられる。

図 5 に深さ 16 km での P 波速度 ( $V_p$ ) の不均質分布を示す。この深さは下部地殻の最上部に当たる。和歌山県北部に速度偏差が -10 % を超えるような非常に強い低速度異常が広範囲に分布していることがわかった。この低速度異常の原因も流体によるものと考えられる。和歌山県北部下の上部地殻内では、微小地震活動が非常に高いことが知られている。下部地殻の低速度異常域から流体が上昇してきて、上部地殻の脆性領域に存在するクラック内の間隙水圧を上げることにより、クラックに働く有効法線応力が下がり、数多くの地震が引き起こされていると考えられる。

約 10 年間に及ぶ臨時観測で得られた走時データを用いることにより、既往のどの研究よりも解像度の良い 3 次元地震波速度構造を紀伊半島を中心とする地域において得ることができた。その結果は、深部低周波イベント発生域が低速度異常であることを示し、沈み込むフィリピン海スラブからの流体の寄与を示唆した。さらに、和歌山県北部下の下部地殻に強い低速度域が存在することを示し、スラブ起源流体の移動と当該地域の上部地殻内の地震活動への関与の可能性を初めて示唆する結果を得た。

今後は、我々が保有している豊富な波形データを利用して、減衰の 3 次元構造を推定し、紀伊半島下のフィリピン海スラブ周辺の物性や状態について、さらに詳しく調べていく

必要があると考える。

<引用文献>

- ① Rawlinson, N., de Kool, M. and Sambridge, M., 2006. Seismic wavefront track-ing in 3-D heterogeneous media: applications with multiple data classes. *Explor. Geophys.*, 37, 322-330.
- ② 上野寛・畠山信一・明田川保・舟崎淳・浜田信生, 2002, 気象庁の震源決定方法の改善－浅部速度構造と重み関数の改良－, 駿震時報, 65, 1507-1520.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 10 件)

- ① 澁谷拓郎・平原和朗, 地震波走時トモグラフィから推定された紀伊半島下のスラブ起源流体の特徴, 日本地球惑星科学連合, 2015年5月25日, 幕張メッセ (千葉市)
- ② 澁谷拓郎, 南海トラフ巨大地震の予測高度化を目指したフィリピン海スラブ周辺域の構造研究, 日本自然災害学会, 2014年9月25日, 鹿児島大学(鹿児島市)
- ③ 澁谷拓郎・今井基博・平原和朗・中尾節郎, 紀伊半島下を南東にせり上がる大陸モホ面と中間層の地震, 日本地球惑星科学連合, 2014年4月30日, パシフィック横浜 (横浜市)
- ④ Shibutani, T., M. Imai, K. Hirahara, S. Nakao, 3D Seismic Velocity Structure Around Philippine Sea Slab Subducting Beneath Kii Peninsula, Japan, 米国地球物理学連合, 2013年12月11日, サンフランシスコ (米国)
- ⑤ 澁谷拓郎・今井基博・平原和朗・中尾節郎, 紀伊半島下に沈み込むフィリピン海スラブ周辺の3次元地震波速度構造 (4), 日本地震学会, 2013年10月7日, 神奈川県民ホール (横浜市)

- ⑥ 澁谷拓郎・今井基博・平原和朗・中尾節郎, 紀伊半島下に沈み込むフィリピン海スラブ周辺の3次元地震波速度構造 (3), 日本地球惑星科学連合, 2013年5月20日, 幕張メッセ (千葉市)
- ⑦ 澁谷拓郎・今井基博・平原和朗・中尾節郎・西村和浩, 紀伊半島下に沈み込むフィリピン海スラブ周辺の3次元地震波速度構造 (2), 日本地震学会, 2012年10月18日, 函館市民会館 (函館市)
- ⑧ 澁谷拓郎・福居大志・平原和朗・中尾節郎, 紀伊半島下に沈み込むフィリピン海スラブ周辺の3次元地震波速度構造, 日本地球惑星科学連合, 2012年5月20日, 幕張メッセ (千葉市)

[その他]

ホームページ等

<http://www1.rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp/~shibutan/index.html>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

澁谷 拓郎 (SHIBUTANI, Takuo)  
京都大学・防災研究所・教授  
研究者番号: 70187417