

平成 30 年 6 月 6 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26400452

研究課題名(和文) 瀬戸内海下の地殻マントル構造から探る深部低周波地震の発生機構

研究課題名(英文) Deep low-frequency earthquakes and the crust-mantle structure beneath the Seto Inland Sea

研究代表者

久家 慶子 (Kuge, Keiko)

京都大学・理学研究科・准教授

研究者番号：50234414

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：瀬戸内海下の深部低周波地震発生域のマントルウェッジ域の地震波速度は、従来言われてきた値よりも低い可能性がある。P波S波の初動データだけからの地震波走時トモグラフィーはマントルウェッジ域の地震波速度を系統的に高く見積もる。周辺にモホのような速度の不連続がある場合、推定値がその影響を受けていることが予想される。後続波の走時データを使うと、より正しい値をもたらすのが、速度不連続の設定に関して検討の余地が残る。

研究成果の概要(英文)：This study suggests that the seismic wave speeds in the mantle wedge beneath the Seto Inland Sea, western Japan, where deep low-frequency earthquakes/tremor occur, can be lower than the values previously suggested. When the mantle wedge has low speeds of P and S waves, travel time tomography using first arrivals of P and S waves would estimate the values of the speeds to be higher than the true ones. The presence of velocity discontinuities around the mantle wedge (e.g., oceanic Moho) would affect the estimates. Using arrival times of later phases can help to correct the estimates, however, a problem about how to set velocity discontinuities arises.

研究分野：地震学

キーワード：地震波速度 トモグラフィー 西日本

1. 研究開始当初の背景

西日本では、南海トラフからフィリピン海プレートが北西方向へ沈み込み、陸側プレートとの境界で大地震が起きる。その大地震の震源域の下端周辺深さ約 30~40km で、深部低周波地震や非火山性微動が発生している (Obara, Science 2002; Katsumata and Kamaya, GRL 2003)。

深部低周波地震は、その震源の分布とメカニズム解から、陸側プレートとフィリピン海プレートの境界でのせん断すべりで発生していると考えられている (Shelly et al., Nature 2006)。しかし、ふつうのプレート境界地震と特性の異なる非火山性微動や深部低周波地震がどのような仕組みで発生しているかはいまだわかっていない。

西日本ではこれまで、いくつかの地震波速度トモグラフィーが実施されてきた (Matsubara, Tectonophysics 2009 など)。深部低周波地震や微動の発生機構に関連しては、大陸側プレートと沈み込むフィリピン海プレートとの間の楔上のマントルウェッジで、P 波速度と S 波速度の比が、他の領域よりも大きいことが主張され (Matsubara, Tectonophysics 2009)、これをもとに含水鉱物の役割などが主張された。

最近、四国および瀬戸内海西部のフィリピン海プレート地殻内地震から遅いみかけ速度で伝播する P 波・S 波の後続波が、地震観測をもとに指摘された (Kuge, GRL 2013)。しかし、この後続波の存在は、これまでの地震波速度トモグラフィーの結果では説明できない。地震波速度トモグラフィーの結果はマントルウェッジの P 波速度が 8km/s に近い値を表していた。

2. 研究の目的

本研究では、Kuge (2013) で P 波や S 波の後続波が観測されていることを踏まえて、地震波走時データをもとに 3 次元地震波速度トモグラフィーで推定する西瀬戸内海および周辺の地殻マントル構造について検討する。西瀬戸内海下の地震波速度を調査することで、深部低周波地震が発生するプレート境界域の特性解明に貢献する。

3. 研究の方法

(1) P 波・S 波の後続波

西日本の瀬戸内海周辺に沈み込むフィリピン海プレート内に発生する地震では、P 波の小さな初動の数秒後に、振幅の大きな後続波が観測される (Kuge, 2013)。

本研究では、地震基盤観測網 Hinet のデータを用いて、これら P 波および S 波の後続波を調べた。その特性を確認するとともに、到来時刻を読み取った。さらに、Kuge (2013) が指摘した以外に地下構造を反映すると思

われる系統的な後続波が観測されていないか、調査した。

(2) 気象庁一元化データの P 波・S 波到来時刻データの特性

西日本では地殻・マントル最上部構造を調べるために、これまで、地震波走時トモグラフィーが実施されてきた。各々の研究で使用される走時データはまちまちであり、多くの場合、公開されていない多数のデータを含んでいる。一方で、ほとんどの地震波走時トモグラフィーの研究に、気象庁の一元化データの P 波・S 波到来時刻データが含まれている。

地震波走時トモグラフィーに関わる論文では、解像度の試験として、チェッカーボードテストなどの結果を定性的に表示するだけで、使用した到来時刻データの特性や質について述べられることはない。しかし、P 波速度と S 波速度の比を議論するには、そのような定性的な解像度の試験だけでは不十分である。

本研究では、西日本における気象庁の一元化データの P 波・S 波の到来時刻データについて、観測値の距離範囲やみかけ速度などを調査した。本研究では、気象庁および大学や国立研究開発法人などの関係機関が所有する地震観測点で観測された地震検測値を含んだ検測値データを、気象庁ホームページから取得した。このデータの中には、観測された地震波の相名、到来時刻、震央距離や方位が含まれる。観測値を震源決定に使用したか否かも示されている。

本研究の(1)において地震波形記録から直接観測した P 波 S 波の初動、後続波の結果を、これら一元化データの相の観測値とも比較した。

(3) 地震波走時トモグラフィーのデータ依存性

多くの地震波走時トモグラフィーは、P 波と S 波の初動の到来時刻をデータとして地下構造を推定している。西日本で実施されてきた地震波走時トモグラフィーも同じである。これらの地震波走時トモグラフィーで得られた地下構造では、本研究で扱っている P 波や S 波の後続波は、説明ができない。本研究では、「P 波・S 波初動を用いた地震波走時トモグラフィーの解析に問題があり、実際の地下構造を正しく推定できていない。」という仮説をたて、検討した。

初動の到来時刻とともに、後続波の到来時刻を観測値として地震波走時トモグラフィーを行うことを考えた。後続波の走時データの利用を念頭にトモグラフィーの諸手法を検討したところ、既存の FMTOMO (Rawlinson et al., Explor. Geophys. 2006; Rawlinson and Urvoy, GRL 2006) の手法が適用できる可能性があることがわかった。本研究では FMTOMO を使用することとした。

FMTOMO では、3 次元地下構造を伝播する地

震波の走時計算に、波面追跡を利用した Fast Marching 法(FMM; de Kool et al., GJI 2006)を使用する。地下構造モデルに速度不連続境界を設定することによって、地震波が伝播する領域を区分化し、その区分化された領域で地震波の経路を規定することで異なる伝播経路の地震波を分けることができる。逆問題解法には、Kennett et al. (GJI 1988)の subspace inversion 法が使用されている。FMTOMO は、レシーバー関数などで決まる地震波速度不連続面を地下構造モデルに加味する場合などで活用されている。

4. 研究成果

(1) P 波・S 波の後続波

Kuge (2013) で指摘されているように、四国および瀬戸内海西部の地域では、沈み込むフィリピン海スラブ内に発生したと思われる地震の P 波・S 波に対して、大きな振幅をもつ後続波が観測された。後続波の観測は、地震と観測点を結ぶ経路に依存する。四国西側周辺の地震を観測するとき顕著である。

小さな振幅の P 波初動のみかけ速度は約 8km/s である一方、大きな振幅の P 波後続波のみかけ速度はおおよそ 6.7km/s である。後続波がみられない場合の P 波初動のみかけ速度は約 8km/s である。振幅が顕著な S 波のみかけ速度はおおよそ 3.8km/s である。初動と思われる小さな振幅の S 波がみえる場合もあるが、P 波にくらべて、それをはっきりと検知できることは少ない。遅いみかけ速度の P 波・S 波後続波は、距離約 100 km を超えるような観測点で見える傾向にある。

Kuge (2013) がみついているこれらの後続波以外に、四国および瀬戸内海周辺の地下構造に影響を受けている可能性のある地震波を探したが、ターゲットとしている地下構造の影響を受けていると思われる新たな地震波は検出できなかった。

(2) 気象庁一元化データの P 波・S 波到来時刻データの特性

地震波走時トモグラフィーによく使われる走時データの特性として、気象庁一元化検測値における P 波・S 波のデータの特徴を調査したところ、P 波 S 波いずれも観測データの大部分が、距離約 150km 内で検知されたものであることがわかった。観測値のある最大距離は、P 波と S 波で類似している。時折、P 波でより遠くの観測値がある。

Kuge (2013) が調べたフィリピン海プレート地殻内地震についてみられた一元化検測値の特徴を、次にまとめる：

P 波の一元化検測値にみえるみかけ速度ははやく、距離約 50km 以上に伝播するみかけ速度はおおよそ 8km/s である。みかけ速度が 7km/s 程度の低速度にみえるようなものはない。S 波では、約 100 km を超える距離で、みかけ速度が 4km/s 程度の低い値になる検測

値がみられる場合がある。

これらの地震について、P 波・S 波の走時検測値を Hinet で観測された地震波形と比較した。その結果、P 波検測値は、振幅の大きな後続波ではなく、P 波初動と判断される。検測値に速いみかけ速度が見えていることと調和的である。一方、距離約 100km を超える S 波の検測値には、振幅の大きな後続波の到来時刻を読んでいるものがある可能性がでてきた。このことは、検測値に遅いみかけ速度が見えていることも説明しうる。

(3) 地震波走時トモグラフィーのデータ依存性

理想的な震源分布と観測点分布を仮定して、マントルウェッジに低速度領域が存在する P 波速度構造モデルに対する走時トモグラフィーの数値実験を実施した。平面のプレートが沈み込む、2 次元の地下構造を仮定した。マントルウェッジに低速度領域がない初期モデルから、マントルウェッジの低速度領域が正しく検出できるかどうかを調べた。初動にかかわらず、後続波にもなる複数の波線を伝播する P 波の走時データを使用すると、マントルウェッジに正しく低速度の値が推定できることが確認できた。一方、P 波初動の走時データのみを使用した場合には、地震波速度モデル内の速度不連続境界の設定にかかわらず、マントルウェッジに正しい低速度の値は求められず、不安定に高い値を見積もることがわかった。

西日本における実際の気象庁一元化データの地震観測点と地震の配置を用いて調べた。全国 1 次地下構造モデル (JIVSM; Koketsu et al., Proc. 14WCEE 2008) をベースに、1997 年 10 月以降に発生した大陸地殻内の地震とフィリピン海プレート地殻内地震を選んだ。FMTOMO の中で、フィリピン海プレートのモホを速度不連続境界に設定し、地震観測点と地震の組み合わせによって得られる地下の P 波速度構造の変化を調べた。初動のみならず、境界の上部や下部を通過するすべての P 波の走時データを用いると、フィリピン海プレートの上側にある低速度のマントルウェッジをよく求めることができる。走時データを初動に限定した場合、マントルウェッジの地震波速度は系統的に高めに求められる。初動のみを使用したときの高速度への系統的なずれは、2 次元構造と理想的な観測点配置を仮定した場合ほどに顕著ではない。3 次元的に変化する地下構造では、その影響が弱くなるようにみえる。初動走時データを距離 100km 内に限定しても、マントルウェッジの速度が系統的に高めに求まるようすは大きく変わらない。フィリピン海プレート内の高速マントルを通過するヘッドウェイブは、距離約 100km あたりから顕著に増加する。ヘッドウェイブによる初動走時データが、みかけ上、マントルウェッジ内の速度を上昇させてみせているわけではないよ

うだ。むしろ、速度不連続境界の設定や波線の密度などが影響している可能性がある。この場合、P波もS波も同じように速度の値がずれることが予想され、P波とS波の速度比には影響しにくいだろう。P波とS波の観測点分布に偏りがあると、求められる速度のずれに違いが生じるかもしれない。

ここでは、距離約100kmを超える地震観測点でS波後続波をS波初動として読みとった場合の影響は、含まれていない。このことによりS波速度だけがより遅く見積もられる可能性がある。この場合には、P波で推定されるマントルウェッジのP波速度は影響を受けない。これまでの走時トモグラフィーの結果に従うと、マントルウェッジのP波速度は高い値ということになる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 3件)

- ① Kuge, K., Performance test of first body-wave arrival times for constraining a slow mantle wedge in a subduction zone, IUGG, S01p-577(IUGG-4131), Prague, Czech Republic, 29 June, 2015.
- ② Kuge, K., Performance test of first body-wave arrival times for constraining a slow mantle wedge in a subduction zone, American Geophysical Union 2016 Fall meeting, S41A-2723, San Francisco, 15 December, 2016.
- ③ Kuge, K., Data effect on seismic wave speeds in mantle wedge beneath Western Shikoku, Western Japan, American Geophysical Union 2017 Fall meeting, S23A-0785, New Orleans, 12 December, 2017.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0件)

○取得状況(計 0件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

久家 慶子 (KUGE, Keiko)

京都大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：50234414

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし