

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26400446

研究課題名(和文) 応力状態変化に伴う地殻深部速度構造の時間変化の検出

研究課題名(英文) Detection of temporal change of deep crustal velocity structure accompanying stress state change

研究代表者

五十嵐 俊博 (IGARASHI, TOSHIHIRO)

東京大学・地震研究所・助教

研究者番号：10334286

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：相似地震は、ほぼ同じ場所で繰り返し発生する特徴をもつ。本研究では、世界各地で発生した相似地震の波形情報を使用したレシーバ関数解析手法を開発し、地殻深部における地震波速度構造の時間変化を推定した。その結果、2011年東北地方太平洋沖地震発生後の地殻内地震波速度構造が、震源域の西側に位置する東北地方の内陸部で低下、北海道内部及び東北地方北部では増加していた。これらは、近年発生した巨大地震の影響が長時間、広範囲に及んだ可能性を示唆している。

研究成果の概要(英文)：Similar earthquakes are characterized by repeatedly occurring at almost the same location. In this study, we developed a receiver function analysis technique using seismogram of similar earthquakes occurred in various places of the world to estimate the temporal changes of the seismic velocity structure in the deep crust. As a result, the seismic velocity structure of the crust after the 2011 Tohoku-Oki earthquake decreased in the inland areas of the Tohoku district located on the west side of the source region, and increased in Hokkaido and the north part of the Tohoku district. These changes suggest the influence of the recent huge earthquakes may have extended over a long period to a wide area.

研究分野：地震学

キーワード：地球内部構造 レシーバ関数 相似地震 時間変化

1. 研究開始当初の背景

(1) プレート境界型大地震の地震発生サイクル過程では、大地震の発生、余効変動やプレート間固着状態の変化に伴い、その周辺の広い領域にわたる応力状態が時間変化することが数値計算によって示されている。この応力変化の影響は、大小様々なクラックや断層の変形を起こし、さらには流体の移動をもたらすことにより、地震波速度構造を変化させる原因となり得ると考えられている。

(2) 近年、地震発生域における応力状態の変化や流体の移動を明らかにするため、地震波速度構造の時間変化を調査する研究が数多く行われている。その結果、大地震の発生によって生じる地表面付近の速度低下が明確になってきた。また、震動源と観測点との間の走時変化を基に、破線経路中における速度低下が示唆されている。しかしながら従来の研究では、地表面付近の速度変化の影響や、震動源と速度構造との間のトレードオフにより、どの場所の速度が変化したのか特定することは困難であった。そのため、地殻深部の速度変化の有無は未だ明らかでない。

(3) レシーバ関数法は、地震観測点のほぼ真下から到来する地震波から、変換相の時間遅れと振幅を抽出し、地下深部に存在する速度不連続面の深さと速度変化の大きさを推定する手法である。使用する発震源の震源過程の影響をほぼ取り除くことができ、変換相の同定が比較的容易である。また、地震の震源が速度変化推定域には存在しないため、震源と構造の間のトレードオフの問題は生じない。そこで、本研究では、地殻深部の速度変化を捉えるため、レシーバ関数法を使用した。

(4) 相似地震は、ある地震計で捉えられた、全く異なる時刻に発生した地震の波形同士が、非常に似通っている地震のことをいう。ほぼ同じ発生機構であり、ほぼ同じ場所で繰り返し発生する特徴を持つ。相似地震の波形のわずかな違いは、地震波伝播経路の速度構造変化を明瞭に抽出することを可能にすることが期待される。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、プレート境界域で発生したすべり現象や、内陸で発生した大地震・地殻変動に伴う地殻応力状態の変化を明らかにするため、地殻深部における地震波速度構造の時間変化の検出を行う。そのため、相似地震の情報を使用した、レシーバ関数による速度変化推定法を新たに開発する。さらに、各観測点、各相似地震群から推定された速度変化を重ね合わせ、速度が時間変化した領域を特定する。大地震や顕著な地殻変動が生じた時期、地震活動が活発化した期間と比較検討することにより、速度変化が発生した原因をより明確にすることを目指す。

3. 研究の方法

(1) 本目的を達成するため、本研究課題では以下に示す三つの解析を行った。遠地で発生した中規模相似地震力タログの構築、各観測点下の標準的な地殻・最上部マンツルの地震波速度構造、地震波速度不連続面の推定、相似地震を用いた地震波速度構造の時間変化の推定。これらの解析は、1989年9月から2016年2月の間に世界各地で発生し、日本列島域で観測されたM4.5以上の地震波記録を蓄積して実施した。

(2) 中規模相似地震力タログは、地殻深部の地震波速度構造の時間変化を推定する際に必要である。相似地震は、近接して発生する地震ペアの相互相関係数を計算することにより抽出した。その際、レシーバ関数解析で使用する波長帯域を考慮し、0.1-4.0 Hzの範囲で、幾つかの周波数帯域フィルタを選択して解析を行った。

(3) レシーバ関数解析による地震波速度構造の推定は、二段階に分けて行った。まず、各観測点下の地殻・最上部マンツルの地震波速度構造及び地震波速度不連続面は、先に得られた全期間のデータを用いて推定した。

(4) 地震波速度構造の時間変化は、日本の観測史上最大の地震であり、地震発生後、広範囲にわたる応力変化をもたらした、2011年東北地方太平洋沖地震を対象として行った。速度変化の推定は、地震の発生時刻をまたいで前後に発生した相似地震のペアを抽出し、データを地震発生前と発生後に分けて処理することにより行った。この際、推定パラメータを減らすため、モホ面の深さが、解析期間内では変化しない拘束条件を取り入れた。

4. 研究成果

(1) 相似地震は、アリューシャン列島からマリアナ諸島までの太平洋プレート沈み込み帯や、インドネシアからフィジーまでのインド-オーストラリアプレート沈み込み帯等、様々な地域で多数検出することができた(図1)。2004年スマトラ地震等、巨大地震の余震域では、いずれも本震発生後は再来間隔が短く、その後徐々に間隔が延びる傾向が見られた。このことは余効すべりの発生を示唆している。巨大地震が発生していない地域では、プレート間相対運動と同程度かやや遅いすべり速度に相当する再来間隔で発生していた。これらのことから、相似地震の情報は、世界各地のプレート間すべりの比較を可能にすることが示唆された。トンガ周辺の深発地震発生域では、年に数回、比較的波形の似ている地震が発生していた。頻繁に繰り返す相似地震の情報は、地震波速度構造変化の時間分解能を向上させる有用な情報となり得る。

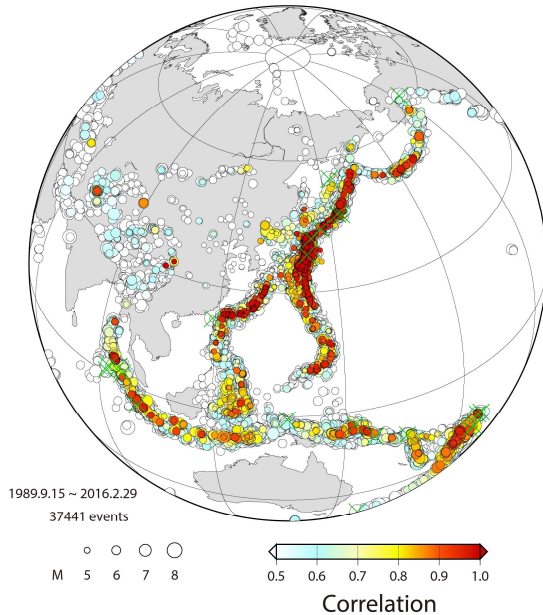


図1 各地震の相互相関係数の最大値。

(2) 各地震のペア毎に得られた、各地震観測点における相互相関係数の値を調べたところ、値は地域毎に時間変化していることがわかった。このことは、日本列島下の地震波速度構造が時間・空間変化している可能性を示唆している。

(3) 次に、日本全国に展開されている地震観測点でレーバ関数解析を行い、地殻・最上部マントルの地震波速度構造、地震波速度不連続面の推定を行った。その結果、深さ毎の空間分布に幾つかの特徴を見つけることができた。まず、堆積平野、盆地、台地では、地表面付近に顕著な低速度層が見つかった。これは、低速度の堆積物が厚く堆積していることを示している。一方、西日本地域では、高速度帯が広がっていた。これらの分布は、地震調査委員会(2009)によって推定された基盤層の深さと良く対応している。地殻の速度は、活火山の周辺や、新潟 神戸歪集中帯の東部で低速度であった。また、糸魚川 静岡構造線を境に、西側では比較的安定な高速度域が広がっているのに対し、東側では速度の空間分布が短波長で変化していた。さらに、地殻内地震発生域の深部には、上部地殻と、中部あるいは下部地殻を分ける顕著な速度勾配を持つ領域が見られた。他にも、地殻内には主要な速度不連続の存在を確認することができた。

(4) 推定されたモホ面の深さは、山地で深く、周辺域に向かって浅くなる傾向が見られた(図2)。この傾向は、地殻最下部から最上部マントルにかけて、島弧の中央部に沿って明瞭な低速度層が存在していることから確認できる。地震波トモグラフィ解析で得られた地震波速度構造から推定されたモホ面に相当する深さ(Matsubara *et al.*, 2016)も、北海道など一部地域を除いて良く似てい

た。また、幾つかの場所では、地殻・マントル境界付近でS波速度が遅く、高い V_p/V_s を持つ速度遷移域が存在することが示唆された。

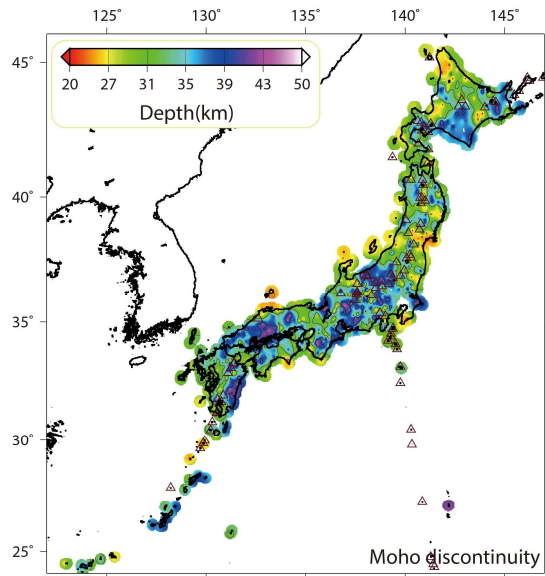


図2 モホ面深度分布。

(5) 本解析により、地震波速度構造及び顕著な地震波速度不連続面の深さ分布を、北海道から沖縄まで、ほぼ同一の精度で推定することができた。ここで得られた速度構造は、各観測点下の平均的な地殻・最上部マントルの地震波速度構造モデルとなり得る。

(6) さらに、2011年東北地方太平洋沖地震発生の前後の地震波速度構造を比較した。その結果、震源域の西側に位置する、東北地方中部の広い領域で上部・下部地殻内の地震波速度が低下していることが検出された(図3)。ただし、地震波速度の変化と、地震活動度の変化や活火山の存在との関連は、明瞭には見られなかった。

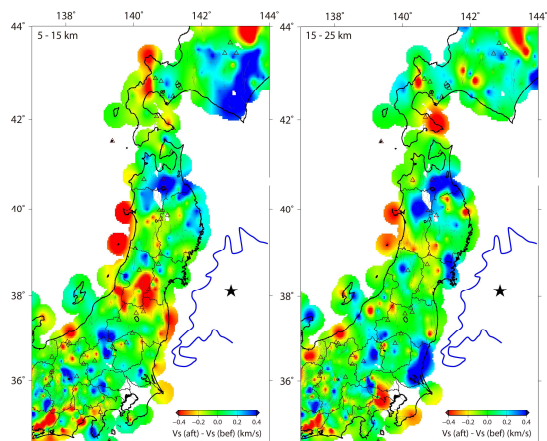


図3 2011年東北地方太平洋沖地震前後の地震波速度構造の変化。左：深さ5-15 km。右：深さ15-25 km。2011年東北地方太平洋沖地震の大すべり域を青色の線で示している。

(7) 一方、東北地方の北部及び北海道の南部では速度の増加が見られた。これらの領域はそれぞれ 1994 年三陸はるか沖地震、2003 年十勝沖地震の震源域の延長に当たる。本解析では相似地震を使用しているため、地震の前後とも、それぞれ数年間のデータをスタックして使用している。地震時の応答に伴う速度変化は、比較的時定数が短く、本解析の結果には表れにくかったのかもしれない。その一方で、速度増加域の存在は、近年発生した巨大地震発生後の粘弾性緩和による応力・歪変化の影響が、長時間、広範囲に及んだ可能性を示唆するものであった。

(8) 今回開発した地震波速度構造の時間変化の推定法は、任意の時間の前後における地震波速度構造を推定することが可能である。今後、他の期間においても地震波速度構造の時空間変化の推定を進めることにより、地震波速度が変化した時間や領域を、より厳密に特定できると期待される。地震波速度の時間変化の情報から、時空間的に連続的な応力変化の情報を明らかにすることにもつながっていくであろう。

<引用文献>

地震調査委員会, 2009, 全国地震動予測地図, 地震調査研究推進本部, 185pp.

Matsubara, M., H. Sato, T. Ishiyama, and A. V. Horne, 2016, Configuration of the Moho discontinuity beneath the Japanese Islands derived from three-dimensional seismic tomography, *Tectonophys.*, doi:10.1016/j.tecto.2016.11.025.

5. 主な発表論文等

[学会発表](計9件)

五十嵐 俊博、飯高 隆、レシーバ関数解析から推定された日本列島の地殻・最上部マントル構造、日本地震学会 2016 年秋季大会、2016 年 10 月 6 日、名古屋国際会議場 (愛知県名古屋市)

Toshihiro Igarashi, Crustal structure beneath the Japanese Islands inferred from receiver function analysis using similar earthquakes, *European Geosciences Union General Assembly 2016*, 2016 年 4 月 20 日, ウィーン(オーストリア)

Toshihiro Igarashi, Inter-plate aseismic slip on the subducting plate boundaries estimated from repeating earthquakes, *American Geophysical Union*, 2015 年 12 月 18 日, サンフランシスコ(アメリカ)

五十嵐 俊博、日本の地震観測網で捉えられた世界の中規模相似地震活動、日本地震学会 2015 年秋季大会、2015 年 10 月 26

日、神戸国際会議場(兵庫県神戸市)

Toshihiro Igarashi, Teleseismic similar earthquakes detected by the seismic observation network in Japan, *Asia Oceania Geoscience Society 12th Annual Meeting*, 2015 年 8 月 7 日, シンガポール(シンガポール)

Toshihiro Igarashi, Similar earthquakes extracted from the Japanese seismic network, *26th IUGG General Assembly 2015*, 2015 年 6 月 29 日, プラハ(チェコ)

五十嵐 俊博、飯高 隆、レシーバ関数グリッドサーチにより推定された日本列島のモホ面深度、日本地球惑星科学連合 2015 年大会、2015 年 5 月 27 日、幕張メッセ国際会議場(千葉県千葉市)

Toshihiro Igarashi, Takashi Iidaka, Major crustal and Moho discontinuities in the Japanese Islands identified from receiver function imaging, *American Geophysical Union Fall Meeting*, 2014 年 12 月 16 日, サンフランシスコ(アメリカ)

五十嵐 俊博、日本の地震観測網で捉えられた遠地相似地震活動、日本地震学会 2014 年秋季大会、2014 年 11 月 24 日、朱鷺メッセ:新潟コンベンションセンター(新潟県新潟市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

五十嵐 俊博 (IGARASHI, Toshihiro)

東京大学・地震研究所・助教

研究者番号: 10334286