

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月 7日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21740318

研究課題名（和文） 地震学的観測に基づく西南日本下のマントル上昇流の実体解明とそのテクトニクス的意義

研究課題名（英文） Study on a mantle upwelling in southwestern Japan and its tectonic implications

研究代表者

中島 淳一（NAKAJIMA JUNICHI）

東北大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：30361067

研究成果の概要（和文）：

多量かつ高品質の地震波形および地震波到着時刻データを用いて、西南日本下の地震波速度・減衰構造を推定した。その結果、西南日本の上部マントルに存在する大規模な上昇流は地震波低速度・高減衰域を示すこと、和歌山の群発地震震源域や1995年兵庫県南部地震震源域直下の下部地殻には低速度・高減衰域が分布すること、などが明らかになった。これらの成果は、マントル上昇流が西南日本の地震・火山活動に大きな影響を与えていることを強く示唆する重要な地震学的観測事実である。

研究成果の概要（英文）：

We estimated three-dimensional seismic velocity and attenuation structures beneath southwestern Japan using a large number of high-quality seismic waveform data. The obtained results that a large low-velocity and high-attenuation zone is distributed in the upper mantle and appears to penetrate into the Philippine Sea slab locally beneath the Kii Peninsula. Seismo- and volcano-tectonics beneath SW Japan may be controlled by the mantle upwelling which is probably related to deep dehydration of the Pacific slab.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：地震波速度構造、トモグラフィ、上昇流、紀伊半島

## 1. 研究開始当初の背景

日本列島下の地震・火山テクトニクスを理解するためには、太平洋プレートとフィリピン海プレートの沈み込みや、その結果生じるマントル対流による水の循環およびマグマの生成・上昇過

程を解明することが不可欠である。申請者がこれまでに行ってきた地殻・マントルの詳細な地震波トモグラフィの研究により、日本列島下における沈み込むプレートの形状やマントル上昇流の存在が明らかになってきた。

その結果、日本列島下には平洋プレートやフィリピン海プレートの沈み込みによって生じるマントル上昇流の他に、紀伊半島から中国地方にかけての領域では、上部マントルに起源を持つ大規模な上昇流が存在することが明らかになった。このうち、プレートの沈み込みの反流として生じている上昇流は、東北地方や中部日本、九州に存在するいわゆる「島弧火山」の源であり、東北地方において申請者らによって提唱された、「沈み込み帯におけるマグマ生成・上昇過程モデル」を支持する観測事実である。一方、西南日本の上部マントルの大規模な上昇流は、申請者らによって初めてその存在が明瞭に示されたものであり、上昇流の存在はこれまで理解があまり進んでいなかった紀伊半島と中国地方の日本海沿岸でみられる特異な地殻活動をよく説明することができる。つまり、西南日本のテクトニクスは、上部マントルに存在するマントル上昇流によって支配されている可能性があり、その詳細な分布を検討することは、西南日本の地震・火山現象を理解する上で極めて重要である。

## 2. 研究の目的

本研究では、西南日本下の上部マントルに見出された大規模な上昇流の実体解明およびそのテクトニクス的意義の理解を目的に、

(1) 高分解能で推定した地震波速度・減衰構造の定量的解釈による上昇流の温度・流体分布の解明、(2) 波形のクロススペクトルから計算した走時差データを多数用いた速度トモグラフィによる紀伊半島下の上昇流の微細構造の推定、および特異な地殻活動との関連性の解明、(3) 中国地方下におけるフィリピン海プレートの北限付近でのプレートの融解の可能性の検証、を行う。それらの結果を基に、マントル上昇流とフィリピン海スラブの相互作用を定量的に議論し、上昇流が西南日本の地震・火山テクトニクスに与える影響を考察する。

## 3. 研究の方法

西南日本下で発生している地震について、陸上の観測点で得られた地震波形および地震波走時データを用いて、地下の不均質構造を解明する。走時データは気象庁一元化データに、東北大で独自に読み取っているデータも追加して解析に用いた。また、波形解析用のプログラムの作成も行った。

## 4. 研究成果

本研究で得られた成果は以下の通りである。

(1) 地震減衰構造推定用のデータを得るために、地震スペクトルから震源の周波数特性をあらわすコーナー周波数、および周波数の減衰をあらわす  $t^*$  を決定するプログラムを作成した。さらに、減衰構造推定の

ためのインバージョン（逆解析）プログラムを作成した。

(2) 近畿地方の三次元地震波速度、減衰構造を推定した結果、紀伊半島下の上部マントルには大規模な低速度域が存在すること、その低速度域は紀伊半島下のフィリピン海スラブ内まで貫入しているようにみえること、和歌山の群発地震震源域や 1995 年兵庫県南部地震震源域直下の下部地殻には低速度・高減衰域が分布すること、などが明らかになった（図 1）。

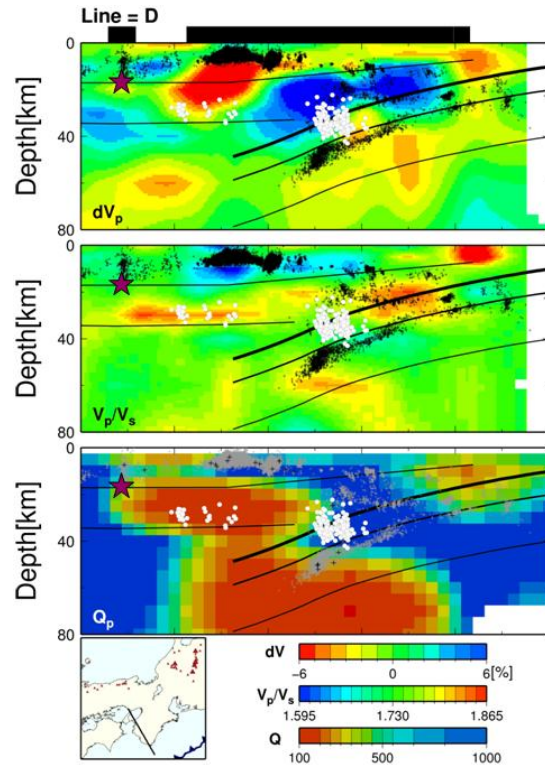


図 1. 紀伊半島下の地震波速度・減衰構造の鉛直断面図。星印は 1995 年兵庫県南部地震の震源、白丸は深部低周波地震、黒丸は微小地震である。

(3) 上部マントルの低速度域は、高温異常に加え多量の流体を含むと考えられることから、紀伊半島直下には深部から流体が供給されていると推測される。これらの結果は、深部からの供給された流体によりフィリピン海スラブが変成を受け、最終的にはスラブを突き抜けて下部地殻にまで流体が上昇していることを示唆している。

(4) 多量地震波読み取りデータを用いて、地殻の詳細な速度構造の推定を行った結果、中央構造線の南北で速度が大きく変化し、その北側の上部地殻は地震波速度が速いこと、下部地殻には中央構造線に沿って地震波低速度域が分布していることなどが明らかになった。さらに、得られた三次元

構造を用いて地震の震源再決定を行った結果、気象庁による震源に比べて数キロ程度浅くなり、中央構造線に沿って局所的に地震発生相の下弦が浅くなっていることが明らかになった。これらの結果は、中央構造線周辺の下部地殻は流体に富むことを示唆しており、マントル上昇流による流体の供給に加えて、低角で沈み込むフィリピン海プレートからの流体の寄与があると考えられる。

- (5) 西南日本とは異なるテクトニクス場である東北日本において、マントルウエッジの三次元地震波減衰構造の推定を行った。その結果、背弧側のマントルウエッジには、沈み込むスラブにほぼ平行な高減衰域が分布すること（図 2）、その高減衰域は南北方向にも不均質であり、第四紀火山下のマントルで特に高減衰になっていることなどが明らかになった。

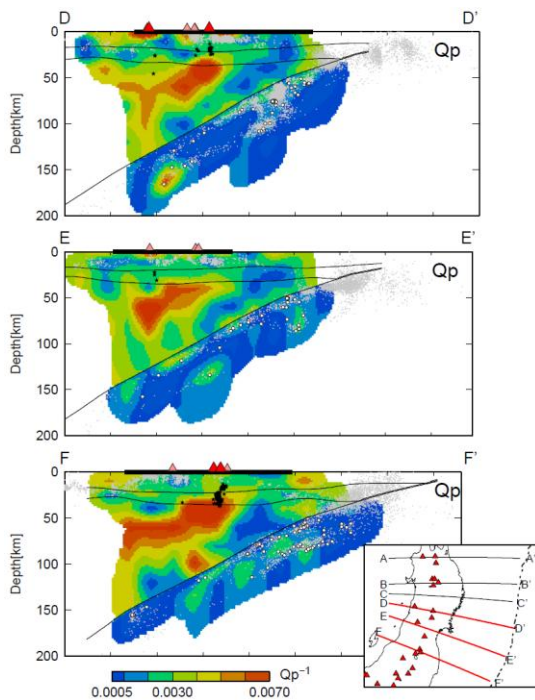


図 2. 東北地方における P 波減衰構造の鉛直断面図。測線の位置は挿入図に示してある。白丸、灰色の丸は微小地震、黒星は深部低周波地震。

- (6) これまでに得られた西南日本の結果と比較することで、日本列島においては太平洋プレート、フィリピン海プレートの 2 つの海洋性プレートからの脱水と深く関係しているマントル上昇流が広く分布すること、上昇流は温度異常のみでは説明出来ないこと、上昇流の分布は地表の第四紀火山の分布と非常によい対応を示すことなど、列島規模の地震火山テクトニクスを理解する上で重要な新しい知見を明らか

にすることができた。

## 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 19 件)

- ① Nakajima, J., A. Hasegawa, and F. Hirose, Stress regime in the Philippine Sea slab beneath Kanto, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L16318, doi:10.1029/2011GL048754, 2011. 査読有
- ② Nakajima, J., A. Hasegawa, and S. Kita, Seismic evidence for reactivation of a buried hydrated fault in the Pacific slab by the 2011 M9.0 Tohoku earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L00G06, doi:10.1029/2011GL048432, 2011. 査読有
- ③ Okada, T., K. Yoshida, S. Ueki, J. Nakajima, N. Uchida, T. Matsuzawa, N. Umino, A. Hasegawa, and Group for the aftershock observations of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Shallow inland earthquakes in NE Japan possibly triggered by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, *Earth Planets and Space*, 63, 749-754, 2011. 査読有
- ④ Reynard, B., J. Nakajima, and H. Kawakatsu, Earthquakes and plastic deformation of anhydrous slab mantle in double Wadati-Benioff zones, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L24309, doi:10.1029/2010GL045494, 2010. 査読有
- ⑤ Kita, S., T. Okada, A. Hasegawa, J. Nakajima, and T. Matsuzawa, Existence of interplane earthquakes and neutral stress boundary between the upper and lower planes of the double seismic zone beneath Tohoku and Hokkaido, northeastern Japan, *Tectonophysics*, 496, 68-82, 2010. 査読有
- ⑥ Nakajima, J., A. Kato, T. Iwasaki, S. Ohmi, T. Okada, T. Takeda, and The Japanese University Group of the Joint Seismic Observations at NKTZ, Deep crustal structure around the Atotsugawa fault system, central Japan: A weak zone below the seismogenic zone and its role in earthquake generation, *Earth Planets and Space*, 62, 555-566, 2010. 査読有
- ⑦ Uchida, N., T. Matsuzawa, J. Nakajima,

- and A. Hasegawa, Subduction of a wedge-shaped Philippine Sea plate beneath Kanto, central Japan, estimated from converted waves and small repeating earthquakes, *J. Geophys. Res.*, 115, B07309, doi:10.1029/2009JB006962, 2010. 査読有
- ⑧ Kita, S., T. Okada, A. Hasegawa, J. Nakajima, and T. Matsuzawa, Anomalous deepening of a seismic belt in the upper-plane of the double seismic zone in the Pacific slab beneath the Hokkaido corner: Possible evidence for thermal shielding caused by subducted forearc crust materials, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 290, 415-426, 2010. 査読有
- ⑨ Nakajima, J., and A. Hasegawa, Cause of M7 earthquakes beneath the Tokyo metropolitan area, Japan: Possible evidence for a vertical tear at the easternmost portion of the Philippine Sea slab, *J. Geophys. Res.*, 115, B04301, doi:10.1029/2009JB006863, 2010. 査読有
- ⑩ Tamura, Y., J. Nakajima, S. Kodaira, and A. Hasegawa, Tectonic setting of volcanic centers in subduction zones: 3D structure of mantle wedge and arc crust, In *Volcanic and Tectonic Hazard Assessment for Nuclear Facilities*, edited by Conner, C., Chapman, N.A, Conner, L., 177-194 pp, Cambridge University Press, 2009. 査読有
- ⑪ Umeda, K., A. Ninomiya, K. Shimada, and J. Nakajima, Helium isotope variations along the Niigata-Kobe Tectonic Zone, central Japan, In *The Lithosphere; Geochemistry, Geology and Geophysics*, edited by Anderson, J.E., and Coates, R.W., 141-170 pp., Nova Science Publisher Inc., 2009. 査読有
- ⑫ Nakajima, J., F. Hirose, and A. Hasegawa, Seismotectonics beneath the Tokyo metropolitan area, Japan: Effect of slab-slab contact and overlap on seismicity, *J. Geophys. Res.*, 114, B08309, doi:10.1029/2008JB00610, 2009. 査読有
- ⑬ Yamamoto, S., J. Nakajima, A. Hasegawa, and S. Maruyama, Izu-Bonin arc subduction under the Honshu island, Japan: Evidence from geological and seismological aspect, *Gondwana Research*, 16, 572-580, 2009. 査読有
- ⑭ Uchida, N., J. Nakajima, A. Hasegawa, and T. Matsuzawa, What controls interplate coupling?: Evidence for abrupt change in coupling across a border between two overlying plates in the NE Japan subduction zone, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 283, 111-121, 2009, 2009. 査読有
- ⑮ Hasegawa, A., J. Nakajima, N. Uchida, T. Okada, D. Zhao, T. Matsuzawa, and N. Umino, Plate subduction, and generation of earthquakes and magmas in Japan as inferred from seismic observations: An overview, *Gondwana Research*, 16, 370-400, 2009. 査読有
- ⑯ Nakajima, J., Y. Tsuji, and A. Hasegawa, Seismic evidence for thermally-controlled dehydration reaction in subducting oceanic crust, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L03303, doi:10.1029/2008GL036865, 2009. 査読有
- ⑰ Nakajima, J., Y. Tsuji, A. Hasegawa, S. Kita, T. Okada, and T. Matsuzawa, Tomographic imaging of hydrated crust and mantle in the subducting Pacific slab beneath Hokkaido, Japan: Evidence for dehydration embrittlement as a cause of intraslab earthquakes, *Gondwana Research*, 16, 470-481, 2009. 査読有
- ⑱ Sano, Y., A. Kameda, N. Takahata, J. Yamamoto, and J. Nakajima, Tracing extinct spreading center in SW Japan by helium-3 emanation, *Chemical Geology*, 266, 50-56, 2009. 査読有
- ⑲ Omuralieva, A., J. Nakajima, and A. Hasegawa, Three-dimensional seismic velocity structure of the crust beneath the central Tien Shan, Kyrgyzstan: Implications for large- and small-scale mountain building. *Tectonophysics*, 465, 30-44, 2009. 査読有

[学会発表] (計14件)

- ① Nakajima, J., A. Hasegawa, S. Kita, An intraslab earthquake (M7.1) along a buried hydrated fault in the Pacific plate, triggered by the 2011 M9 Tohoku earthquake, AGU Fall Meeting 2011, San Francisco, Moncone Center, 2011年12月9日.
- ② 中島淳一・長谷川昭・北佐枝子, 東北地方太平洋沖地震と誘発地震～4月7日のスラブ内地震 (M7.1) について～, 日

- 本地震学会 2011 年秋季大会, グランシップ静岡, 2011 年 10 月 13 日.
- ③ Nakajima, J., Seismic imaging of slab structure and its relation to seismicity, Workshop on Ocean Mantle Dynamics: From Spreading Center to Subduction, 東大柏の葉キャンパス, 2011 年 10 月 5 日.
  - ④ 中島淳一・長谷川昭・弘瀬冬樹, フィリピン海スラブ内の起震応力場と関東地震のアスペリティ, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 幕張メッセ, 2011 年 5 月 27 日.
  - ⑤ 中島淳一・長谷川昭, フィリピン海プレート沈み込みと関東地方の地震テクトニクス, 日本地震学会 2010 年秋季大会, 広島国際会議場, 2010 年 10 月 27 日.
  - ⑥ Nakajima, J., A. Hasegawa, Seismic evidence for dehydration reactions in the subducting oceanic plates, G-COE Symposium 2010 Dynamic Earth and Heterogeneous Structure, Sendai City War Reconstruction Memorial Hall, 2010 年 7 月 15 日.
  - ⑦ 中島淳一, 地震波トモグラフィで診る日本列島下の上部マントル構造, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 幕張メッセ, 2010 年 5 月 23 日.
  - ⑧ 中島淳一・長谷川昭, 前弧マントルウエッジは含水化しているか?, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 幕張メッセ, 2010 年 5 月 23 日.
  - ⑨ 中島淳一・長谷川昭, 伊豆前弧マントルウエッジの蛇紋岩化: 関東下の地震波速度構造からの考察, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 幕張メッセ, 2010 年 5 月 23 日.
  - ⑩ 中島淳一・長谷川昭, 関東下におけるフィリピン海スラブの断裂-スラブ内地震 (M7) との関連-, 日本地震学会 2009 年秋季大会, 京都大学, 2009 年 10 月 22 日.
  - ⑪ 中島淳一・長谷川昭, スラブ内地震の発生機構~地震学的データによる脱水脆性化説の検証~, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 幕張メッセ, 2009 年 5 月 23 日.
  - ⑫ 中島淳一・長谷川昭, スラブ内地震の発生機構~地震学的データによる脱水脆性化説の検証~, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 幕張メッセ, 2009 年 5 月 23 日.
  - ⑬ 中島淳一, 地震波速度トモグラフィで診るひずみ集中帯の深部構造, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 幕張メッセ, 2009 年 5 月 20 日.
  - ⑭ 中島淳一・加藤愛太郎・岩崎貴哉・大見士朗・岡田知己・武田哲也・歪集中帯大

学合同地震観測グループ, 跡津川断層周辺の三次元地震波速度構造~断層深部の低速度領域~, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 幕張メッセ, 2009 年 5 月 17 日.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中島 淳一 (NAKAJIMA JUNICHI)  
東北大学・大学院理学研究科・准教授  
研究者番号: 30361067

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号:

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: