

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25287116

研究課題名(和文)ハイブリッドP波トモグラフィーによる地球表層現象と深部構造の関連解明

研究課題名(英文)Relation between Earth surface phenomena and deep mantle structure inferred from a hybrid P-wave tomography

研究代表者

大林 政行(OBAYASHI, Masayuki)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球深部ダイナミクス研究分野・主任研究員

研究者番号：30359179

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,300,000円

研究成果の概要(和文)：波線理論、有限波長理論両方を用いるハイブリッドP波トモグラフィーを開発した。新手法を北東アジア、フレンチポリネシアの広帯域地震観測網データに適応し詳細なマントル構造を得るのに成功した。中国の松遼盆地周囲の新生代火山の下に約200kmまで続く低速度異常が見られる。マントル遷移層の松遼盆地の下で日本海溝から沈み込んだ横たわるスラブの穴が観測され、これは白頭山の火成活動と関連していると考えられる。フレンチポリネシアの下核-マントル境界からの低速度異常は地表までまっすぐ続いておらず、深さ550-900kmで急に異常の水平規模、振幅ともに小さくなり、地表の4つのホットスポット火山を結ぶリング状となる。

研究成果の概要(英文)：We developed a P-wave mantle tomography, using ray theory for onset times and finite frequency kernels for broadband waveform data. We applied this new method to investigate mantle structures in Northeastern Asia and French Polynesia and succeeded to obtain detail structures. The tomography image shows slow anomalies below the Cenozoic volcanoes around the Songliao basin. In the mantle transition zone, no extended flatten slab is observed beneath the basin while it is observed to the north and south. It looks like a hole of the stagnant slab. The hole of the stagnant slab may be related with the volcanism of Changbaishan. Below the French Polynesia, the image shows that a strong large-scale (~1000 km in diameter) slow anomalies from the core-mantle boundary do not extend straight to the surface but become small and weak in the depth range about 550 - 900 km. The small-scale slow anomalies seem to shape a circle connecting the Society, Marquesas, Pitcairn and MacDonald hotspots.

研究分野：地震学

キーワード：地震波トモグラフィー 火山現象 テクトニクス 地球内部構造 沈み込むスラブ マントルブルーム  
ホットスポット

### 1. 研究開始当初の背景

地球内部を調べる有効な手段として地震波トモグラフィーがある。この手法を用いて地球内部の3次元地震波速度構造が求められ、地球内部ダイナミクスの解明に大きく貢献している。しかし、この手法は震源と観測点の分布に大きく依存するため地震の起こらない安定大陸や海洋の下では解像度は低い。先進国では地震観測網の拡充が図られているが、それ以外の地域や海洋下では依然解像度が悪いままである。そのような状況を打開するために日本の研究者が中心でまたは他国と共同で臨時地震観測網を展開してきている。

一方、地震波走時トモグラフィーは従来、ゼロ波長近似仮定による波線理論に基づく手法がとられてきた。これは地震波の立ち上がり走時をデータとする上では、遠地地震実体波の卓越周期が1~2Hzであること、トモグラフィーの分解能が約100kmであることからから妥当な近似であった。有限波長理論では走時が波形相関で測定されたとすると震源と観測点を結ぶ断面図ではバナナ型、それに垂直な断面ではドーナツ型の形状になる。これは周波数が異なると走時に影響を及ぼしている領域が異なることを意味し、マントルに3次元の速度構造が存在すると、周波数によって走時に違いが生じるという分散が観測されることを示唆している。逆に言えば、分散を利用することで、波線理論に比べ広範囲でより高分解能でトモグラフィー像を得ることができることを意味する。臨時観測などの数少ないデータを十分に活かすことが可能となった。

### 2. 研究の目的

従来の波線理論に基づく地震波走時トモグラフィーに地震波波形解析により得られた分散データを有限波長理論で組み込むトモグラフィー手法を開発し、トモグラフィーの解像度を地表付近の浅部から上部マントルを通して飛躍的に向上させる。それにより地表における現象と地球深部の構造が関連あるのか、あるとすればどのように関連しているのかを明らかにすることを目的とする。主に中国東部を中心とする北東アジア、フレンチポリネシアをターゲットとする。中国東部では、日本海溝、伊豆小笠原海溝から沈み込んだスラブがマントル遷移層で滞留した後の微細形状を明らかにするとともにその上の構造を明らかにし、滞留スラブと表層のテクトニクス、島弧火山から遠くはなれた特異な火山との関連を明らかにする。フレンチポリネシアではホットスポット火山直下の低速度異常と下部マントルでの低速度異常の関連を明らかにする。

### 3. 研究の方法

異なる観測点間のP波走時差を約2秒~30秒間を10帯域に分け、それぞれを波形相

関法を用いて測定し分散データを測定する。またノイズの少ない観測点を選び、P波到着立ち上がり時刻を測定した。これらの測定を中国地東北地方において日中米共同で展開した臨時広帯域地震計観測網、及びフレンチポリネシアにおいて日仏共同で展開した広帯域地震計、広帯域海底地震計観測網データに適用した。測定においては、地殻多重反射波の干渉によって生じる見かけの分散を補正する方法を開発し適用した。

得られたデータのうち地震波P波の立ち上がり走時に波線理論、分散データに有限波長理論を用いてデータ周期に対応したカーネルを計算した上で、トモグラフィーを実行しマントルのP波速度構造を推定した。

### 4. 研究成果

新しいトモグラフィーによって従来よりも高解像度イメージを得ることに成功した。北東アジアでは中国の松遼盆地の下では深さ100kmまで高速異常が見られるのに対し盆地周囲にある新生代火山の下では約200kmまで続く低速異常が見られる。日本海溝から沈み込んだスラブはマントル遷移層の深さ500~600kmで滞留して(スタグナントスラブという)その西端は中国大陸に達していることが知られている。しかし新たにトモグラフィーで得られた地震波速度高速異常スタグナントスラブは中国東北地方の松遼盆地の下で穴があることが明らかになった(図1)。この穴から中国-北朝鮮国境にある火山・白頭山(長白山)に向けて連続する低速異常があり、スタグナントスラブの穴を通しての上

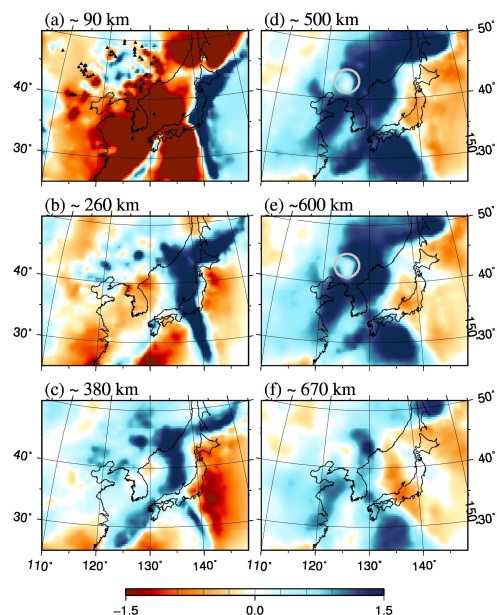


図1 日本、中国地東北地方付近のP波速度構造。(c)、(d)にスラブに対応する高速異常に穴が見られる(丸で囲まれた部分)

昇流が火成活動と関連していることが分かった。

またフレンチポリネシアの下の核-マントル境界から続く低速度異常を高解像度で得ることに成功した。得られた低速度異常は核-マントル境界から深さ約 1000km までは非常に長波長（直径 1000km 程度）であるが、深さ 550km-900km 間で急に異常の水平規模、振幅ともに小さくなり、ソシエテ、マーケサス、ピトケアン、マクドナルドの4つのホットスポット火山を結ぶリング状となる。更に浅い上部マントルでは再び速度異常が水平規模、振幅共に大きくなり、ソシエテ、ピトケアンホットスポットの直下へ続くことが明らかとなった（図2）。このような深さ 550km-900km 間での低速度異常の急激な変化は低速度異常が高温異常のみが原因ではないことを示唆している。

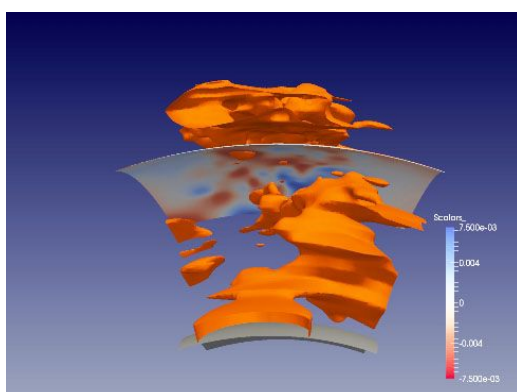


図2 フレンチポリネシア下の地震 P 波低速度異常の3次元イメージ。P 速度が平均より 0.5%遅い等値面を東側から見ている。深さ 700km の速度異常を挿入してある。

## 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 9 件）

Kim T., Y. Fukao, M. Obayashi, CSMAP: Cross Section Selector and Tomogram Generator, JAMSTEC Report of Research and Development, 22, 2015, 31-38, doi: 10.5918/jamstecr.22.31. (査読あり)

Guo Z., Y.J. Chen, J. Ning, Y. Feng, S.P. Grand, F. Niu, H. Kawakatsu, S. Tanaka, M.Obayashi, J. Ni, High resolution 3-D crustal structure beneath NE China from joint inversion of ambient noise and receiver functions using NECESSArray data. Earth Planet. Sci. Lett., 416, 2015, 1-11, doi:10.1016/j.epsl.2015.01.044. (査読あり)

Liu Z., F. Niu, Y.J. Chen, S. Grand, H.Kawakatsu, J. Ning, S. Tanaka, M. Obayashi, J. Ni, Receiver function images of the mantle transition zone beneath NE China: New constraints on intraplate volcanism, deep subduction and their potential link. Earth Planet. Sci. Lett., 412, 2015, 101-111, doi:10.1016/j.epsl.2014.12.019. (査読あり)

Tang Y., M. Obayashi, F. Niu, S.P. Grand, Y.J. Chen., H. Kawakatsu, S. Tanaka, J. Ning, J.F. Ni, Chanbaishan volcanism in northeast China linked to subduction-induced mantle upwelling, Nature Geoscience, 7, 2014, 470-475, doi:10.1038/ngeo2166. (査読あり)

Tao K., F. Niu, J. Ning, Y. J. Chen, S. Grand, H. Kawakatsu, S. Tanaka, M. Obayashi, J. Ni, Crustal structure beneath NE China imaged by NECESSArray receiver function data, Earth. Planet. Sci. Lett., 398, 2014 48-57, doi:10.1016/j.epsl.2014.04.043. (査読あり)

Takeuchi N., H. Kawakatsu, S. Tanaka, M. Obayashi, Y.J. Chen, J. Ning, S.P. Grand, F. Niu, J. Ni, R. Iritani, K. Idehara, T. Tonegawa, Upper mantle tomography in the northwestern Pacific region using triplicated P wave, J. Geophys. Res., 119, 2014, 7667-7685, doi:10.1002/2014JB011161. (査読あり)

Tanaka S., H. Kawakatsu, M. Obayashi, Y. J. Chen, J. Ning, S.P. Grand, F. Niu, J. Ni, Rapid lateral variation of P-wave velocity at the base of the mantle near the edge of the Large-Low Shear Velocity Province beneath the western Pacific, Geophys. J. Int., 200, 2014, 1050-1063, doi:10.1093/gji/ggu455. (査読あり)

Obayashi M., J. Yoshimitsu, G. Nolet, Y. Fukao, H. Shiobara, H. Sugioka, H. Miyamachi, Y. Gao, Finite frequency whole mantle P-wave tomography: Improvement of subducted slab images, Geophys. Res. Lett., 40, 2013, 5652-5657, doi:10.1002/2013GL057401. (査読あり)

Fukao Y., M. Obayashi, Subducted slabs stagnant above, penetrating through, and trapped below the 660-km discontinuity, J. Geophys. Res, 118, 11, 2013, 5920-5938, doi:10.1002/2013JB010466. (査読あり)

り)

〔学会発表〕(計 12 件)

Obayashi M., Y. Fukao, J. Yoshimitsu, Unusually Deep Bonin Earthquake (M7.9) of May 30, 2015 Suggests that Stagnant Slab Transforms into Penetration Stage, American Geophysical Union 2015 fall meeting, 2015 年 12 月 14 日、San Francisco Moscorne Center (米国・サンフランシスコ)

大林政行、2015 年 5 月 30 日小笠原深発地震と沈み込むスラブ、日本地震学会 2015 年度秋季大会、2015 年 10 月 26 日、神戸国際会議場 (兵庫県神戸市)

Obayashi M., H. Kawakatsu, S. Tanaka, F. Niu, Y.J. Chen, J. Ning, S.P. Grand, J. Yoshimitsu Stagnant Honshu slab and its implication for Japan Sea Opening and off-arc volcanism, International Union of Geodesy and Geophysics 2015 General Assembly, 2015 年 6 月 22 日、Prague Congress Center (チェコ共和国・プラハ)

Obayashi M., J. Yoshimitsu, H. Sugioka, A. Ito, T. Isse, H. Shiobara, D. Suetsugu, P-wave velocity anomalies of the plume beneath the French Polynesia, Japan Geoscience Union Meeting 2015, 2015 年 5 月 24 日、幕張メッセ (千葉県千葉市)

Obayashi M., J. Yoshimitsu, H. Sugioka, A. Ito, T. Isse, H. Shiobara, D. Suetsugu, P-wave velocity anomalies of the plume beneath the French Polynesia, European Geoscience Union General Assembly 2015, 2015 年 4 月 12 日、Austria Center Vienna (オーストリア・ウィーン)

Obayashi M., J. Yoshimitsu, H. Sugioka, A. Ito, T. Isse, H. Shiobara, D. Suetsugu, Finite Frequency P-wave Tomography for French Polynesia Region, American Geophysical Union 2014 fall meeting, 2014 年 12 月 16 日、San Francisco Moscorne Center (米国・サンフランシスコ)

Miyoshi T., M. Obayashi, Y. Tono, S. Tsuboi, Adjoint Tomography Imaging of Three-dimensional Seismic Velocity Structure in East Asia, Asia Oceania Geosciences Society 2014, 2014 年 8 月 1 日、ロイトン札幌 (北海道札幌市)

Tsuboi S., T. Miyoshi, M. Obayashi, Y. Tono, Determination of Earth Structure Using Waveform Inversion and Spectra-element Method, Asia Oceania Geosciences Society 2014, 2014 年 8 月 1 日、ロイトン札幌 (北海

道札幌市)

大林政行、吉光淳子、石原靖、末次大輔、Measurement of differential P-wave travel time between two BBOBSs with correction for crustal reverberation, Japan Geoscience Union Meeting 2014, 2014 年 5 月 2 日、パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市)

大林政行、石原靖、末次大輔、海洋多重反射波の補正法(広帯域海底地震計間 P 波相対走時測定のための)、日本地震学会 2013 年度秋季大会、2013 年 10 月 9 日、神奈川県民ホール(神奈川県横浜市)

Obayashi M., F. Niu, J. Yoshimitsu, H. Kawakatsu, S. Tanaka, Y.J. Chen, J. Ning, S.P. Grand, A hole of stagnant slab: implication for volcanism, back-arc opening and trench migration, Japan IAHS-IASPSO-IASPEI 2013, 2013 年 7 月 24 日、Gothenburg Convention Center (スウェーデン・ヨーテボリ)

Obayashi M., F. Niu, J. Yoshimitsu, H. Kawakatsu, S. Tanaka, Y.J. Chen, J. Ning, S.P. Grand, N. Takeuchi, K. Miyakawa, K. Idehara, T. Tonegawa, R. Iritani, Absence of stagnant slab: implication for volcanism, back-arc opening and trench migration, Japan Geoscience Union Meeting 2013, 2013 年 5 月 23 日、幕張メッセ (千葉県千葉市)

〔図書〕(計 1 件)

Fukao Y., M. Obayashi, Subduction zone structure in the mantle transition zone, In: Treatise on Geophysics (Second Edition) Volume 1. Deep Earth Seismology ed. A. Dziewonski, B. Romanowicz Elsevier, 2015, 907 (641-654), doi:10.1016/B978-0-444-53802-4.00025-7. (査読あり)

〔その他〕

ホームページ等  
[http://d-earth.jamstec.go.jp/GAP\\_P4/](http://d-earth.jamstec.go.jp/GAP_P4/)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大林 政行 (OBAYASHI, Masayuki)  
国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球深部ダイナミクス研究分野・主任研究員  
研究者番号: 30359179

(2) 連携研究者

吉光 淳子 (YOSHIMITSU, Junko)  
国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球深部ダイナミクス研究分野・技術副主任  
研究者番号: 70392941