

科学研究費補助金研究成果報告書

平成24年5月25日

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20340119

研究課題名（和文） 不連続面を含む日本列島下の3次元速度構造研究

研究課題名（英文） 3-D seismic velocity structure with velocity discontinuities beneath the Japan Islands

研究代表者

平原 和朗（HIARAHARA KAZURO）

京都大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：40165197

研究成果の概要（和文）：地震波不連続面の検出に用いるレシーバ関数イメージングでは、通常成層構造を用いてスタックを行い、スラブ上面などの決定を行なっているが、九州地方に沈み込むフィリピン会プレートのように高角で沈み込む場合は誤ったイメージを与える。この難点を克服するため高角に傾斜する不連続面に起因する波線のまがりを考慮した、ラジアル成分のみならずトランスバース成分も含む新たなベクトリアルレシーバ関数イメージング手法を開発し、特に九州地方下における不連続を含む3次元速度構造を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：In receiver function imaging of seismic velocity discontinuities, 1-D velocity structure is assumed to map the discontinuities, such as the top of the subducting slabs, from receiver functions. However, this procedure gives a false image in the cases where the slab is descending with a high dip angle. We developed a new method to map the velocity discontinuities by taking the ray bending due to the highly dipping discontinuity into account. With this method using vectorial receiver function analyses we successfully delineated 3-D image of subduction Philippine Sea slab subducting with a high dip angle beneath the Kyusyu region, south west Japan. . .

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	6,400,000	1,920,000	8,320,000
2009年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2010年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
年度			
年度			
総計	13,700,000	4,110,000	17,810,000

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

キーワード：地震現象・地球内部構造・地震波不連続面・レシーバ関数・スラブ・地震波走時トモグラフィ

1. 研究開始当初の背景

（1）地震波トモグラフィは3次元地震波速度構造を明らかにし、特に沈み込むスラブの構造研究に大きな寄与をしてきた。

ところが多くは滑らかな速度構造を推定しており、不連続面を仮定した研究はあるが、

地震波不連続面と3次元速度構造を推定した研究はない。

一部には、初期構造モデルに不連続面形状を入れているのも見られるが、その形状は繰り返しインバージョン中には固定されたままで、各層内の3次元速度構造のみを彗星し

ている。

(2) 一方、直達 P 波の後続波部分の水平成分を上下動成分でデコンボリューションしたレシーバ関数には、観測点下での地震波速度不連続面で P 波から S 波へ変換した PS 変換波が含まれており、地震波不連続面の検出によく用いられている。

(3) 上記 (1) と (2) を組み合わせて、P 波および S 波の直達走時およびレシーバ関数からえら得られる直達 P 波と PS 変換波の走時をデータとする、地震波不連続面を含む地震波 3 次元速度構造推定を行うレシーバ関数トモグラフィーを行う必要がある。

2. 研究の目的

1. に挙げた背景にあるように、レシーバ関数トモグラフィーの開発が必須であるが、レシーバ関数を用いた地震波速度構造不連続面のマッピング手法において、以下の点で改良を図る必要がある。

すなわち、通常は成層構造を用いてラジアルレシーバ関数のマッピングを行なっているが、不連続面の傾斜が大きくなると、P 波から S 波への変換の際に大きく波線が曲げられ、ラジアル成分のみならずトランスバース成分にも振幅を持つようになる。

こういった波線の大きな折れ曲がりやを考慮しないと全く間違った不連続面のイメージを与える。従って、破線追跡を行い、レシーバ関数において、ラジアル成分に加え、トランスバース成分も考慮したベクトリアルレシーバ関数マッピングを行い必要がある。

本研究では主としてこの点の改良を行い、特に、九州地方下に急角に沈み込むフィリピン海プレートの形状および構造を明らかにする。

3. 研究の方法

まず、アイコナール方程式を差分化して解く Fast Marching Method (FMM) (Kool et al., 2006) による不連続面を含む 3 次元不均質場中での直達波・および PS 変換波の波面および走時を計算する。

なお、この手法は任意に傾斜する地震波速度不連続面での屈折を正しく計算可能である。次に、直達 P 波と PS 変換波との時間差を用いてマッピングを行う。

この際に成層構造から始め、繰り返し上記作業を行い、徐々に逐次的に傾斜した構造推定を行い、最終的に収束すれば、高角の速度不連続面の推定が可能である。

このことは、高角度で傾斜する速度不連続面を含むモデルに基づき、ガウシアンビーム (GBM) 法を用いて合成した理論地震波形を用いて検証した。

4. 研究成果

3 で開発した手法を九州地方に展開されている Hi-net 観測点で得られた遠地記録データに適用して、30 度以上の高角度で沈み込むフィリピン海スラブの形状及び地震波側道構について以下の点を造明らかにした。

すなわち、深さ 70km に達する、海洋性モホ面を検出し、得られた低速度の値から流体分布を推定した。

さらに、これらの地震波速度構造イメージから推定される、フィリピン海スラブによって持ち込まれる流体の移動と火成活動等について議論を行なった。

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 9 件)

- ① Abe, Y., T. Ohkura, K. Hirahara and T. Shibutani, Water transportation through the Philippine Sea slab subducting beneath the central Kyushu region, Japan, as derived from receiver function analyses, 査読有り、Geophys. Res. Lett., 38, L23305, doi:10.1029/2011GL049688, 2011.
- ② Abe, Y., T. Ohkura, K. Hirahara and T. Shibutani, . Common-conversion-point stacking of receiver functions for estimating the geometry of dipping interfaces, 査読有り、Geophys. J. Int., doi:10.1111/j.1365-246X.2011.05001.x, 2011.
- ③ Abe, Y., T. Ohkura, T. Shibutani, K. Hirahara and M. Kato, Crustal structure beneath Aso Caldera, Southwest Japan, as derived from receiver function analysis, 査読有り、J. Volcanol. Geotherm. Res., 195, 1-12, doi:10.1016/j.jvolgeores.2010.05.011, 2011.
- ④ Mitsui, Y. and K. Hirahara, Interseismic pore compaction suppresses earthquake occurrence and causes faster apparent fault loading, 査読有り、Geophys. Res. Lett., 36, L20305, doi:10.1029/2009GL039932, 2009.
- ⑤ Mitsui, Y. and K. Hirahara, Coseismic thermal pressurization can notably prolong earthquake recurrence intervals on weak rate and state friction faults: Numerical experiments using different constitutive equations, 査読有り、J. Geophys. Res., 114, B09304, doi:10.1029/2008JB006220, 2009.
- ⑥ 澁谷拓郎・平原和朗・上野友岳、レシー

- バ関数解析による地震波速度不連続構造、査読有り、地震、61、S199-S207, 2009.
- ⑦ Ohmi, S., K. Hirahara, H. Wada and K. Ito, Temporal variations of crustal structure in the source region of the 2007 Noto Hanto Earthquake, central Japan, with passive image interferometry, 査読有り、Earth Planets Space, 60, 1069-1074, 2008.
- ⑧ Tonegawa, T., K. Hirahara, T. Shibutani, H. Iwamori, H. Kanamori and K. Shiomi, Water flow to the mantle transition inferred from a receiver function image of the Pacific slab, 査読有り、Earth Planet. Sci. Lett., 274, 346-354, 2008.
- ⑨ Shibutani, T., T. Ueno and K. Hirahara, Improvements in the extended-time multitaper receiver function estimation technique, 査読有り、Bull. Seismol. Soc. Am., 92, 812-816, 2008.
- [学会発表] (計18件)
- ① Hirahara, K., A strategy of receiver function tomography, ASC2010, Hanoi, Vietnam, 2010年11月9日
- ② 安部祐希・大倉敬宏・平原和朗・澁谷拓郎、レシーバ関数で見る九州地方のフィリピン海スラブ、日本地震学会 2010年度秋季大会、P3-14, 広島、2010年10月29日.
- ③ 三井雄太・平原和朗、非定常な間隙流体圧が断層のスティックスリップ挙動に及ぼす影響 -現象論モデルの統合による-, 日本地震学会 2010年度秋季大会、C22-08, 広島、2010年10月28日.
- ④ 大見士朗・平原和朗、雑微動の相互相関関数による西南日本の地殻下反射面の検出、日本地震学会 2010年度秋季大会、A32-04、広島、2010年10月29日.
- ① 正木喜啓・平原和朗、地震波干渉法による 2003 年十勝沖地震における地下構造変化検出の試み、日本地震学会 2010 年度秋季大会、P2-22, 広島、2010 年 10 月 27 日.
- ② Mitsui, Y. and K. Hirahara, Interseismic pore compaction suppresses earthquake occurrences and unexpectedly promotes fault loading on model faults with loading by slip deficits, 2009 AGU Fall meeting, T23C-1928, San Francisco, USA, 2009 年 12 月 15 日..
- ③ Ohmi, S. and K. Hirahara, Temporal variation of the decay rate of the autocorrelation function of the ambient seismic noise, 2009 AGU Fall meeting, S21A-1701, San Francisco, USA, 12 月 15 日.
- ④ 大見士朗・平原和朗、雑微動の自己相関関数に地震前後の変化は見えるか? ~2007 年能登半島地震を例に~、日本地震学会 2009 年度秋季大会、D11-11、京都、2009 年 10 月 21 日.
- ⑤ 澁谷拓郎・北脇裕太・中尾節郎・西村和浩・伊藤潔・大見士朗・平原和朗、紀伊半島下の地震波速度不連続構造とスラブ形状稠密リニアアレイ観測データを用いたレシーバ関数解析、日本地震学会 2009 年度秋季大会、B11-10、京都、10 月 21 日.
- ⑥ 安部祐希・大倉敬宏・平原和朗・澁谷拓郎、レシーバ関数で求めた九州地方のモホ面の深度分布、日本地球惑星科学連合 2009 年大会、S153-010, 千葉、幕張、2009 年 5 月.
- ⑦ 平原和朗、3 次元不均質構造がレシーバ関数に及ぼす影響評価 -ガウシアンビーム法による合成波形を用いて-, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会、S157-002, 千葉、幕張、2009 年 5 月.
- ⑧ 大見士朗・平原和朗、雑微動の自己相関関数の decay rate の時間変化検出の試み、日本地球惑星科学連合 2009 年大会、S157-018, 千葉、幕張、2009 年 5 月
- ⑨ Hirahara, K., Strategy of receiver function tomography: retrieve of velocity contrasts and configurations of velocity discontinuities, 2009, IASPEI 2009 General Assembly, Cape Town, South Africa, 2009 年 1 月 14 日.
- ⑩ Abe, Y., T. Ohkura, K. Hirahara, M. Kato, and T. Shibutani, Crustal structure beneath Aso caldera, southwest Japan, as derived from receiver functions, 2008 AGU Fall meeting, V54A-05, San Francisco, USA, 2008 年 12 月 19 日.
- ⑪ Ohmi, S. and K. Hirahara, Temporal variations of crustal structure in the source region of the 2007 Noto Hanto Earthquake, central Japan, using ambient seismic noises, 2008 AGU Fall meeting, S53A-1808, San Francisco, USA, 2008 年 12 月 19 日.
- ⑫ 小河和雄・平原和朗・澁谷拓郎、ラジアル・トランスバース・上下動レシーバ関数解析 -紀伊半島下の傾斜地震波速度不連続面-, 地球惑星科学関連学会 2008 年合同大会、S226-009, 千葉、幕張、2008 年 5 月
- ⑬ 大見士朗・平原和朗、Passive Image Interferometry によって検出された 2007 年能登半島地震震源域における急

激な地震波速度低下領域、地球惑星科学
関連学会 2008 年合同大会, S226-007, 千
葉、幕張, 2008 年 5 月。

- ⑭ Hirahara, K., Strategy of receiver
function tomography: retrieve of
velocity contrasts and configurations
of velocity discontinuities, 2009,
IASPEI 2009 General Assembly, Cape
Town, South Africa, 2009 年 1 月 14 日.
- ⑮ Abe, Y., T. Ohkura, K. Hirahara, M.
Kato, and T. Shibutani, Crustal
structure beneath Aso caldera,
southwest Japan, as derived from
receiver functions, 2008 AGU Fall
meeting, V54A-05, San Francisco, USA,
2008 年 12 月 19 日.
- ⑯ Ohmi, S. and K. Hirahara, Temporal
variations of crustal structure in the
source region of the 2007 Noto Hanto
Earthquake, central Japan, using
ambient seismic noises, 2008 AGU Fall
meeting, S53A-1808, San Francisco, USA,
2008 年 12 月 19 日.
- ⑰ 小河和雄・平原和朗・澁谷拓郎、ラジアル・
トランスバース・上下動レシーバ関
数解析 ―紀伊半島下の傾斜地震波速度
不連続面―、地球惑星科学関連学会 2008
年合同大会, S226-009, 千葉、幕張, 2008
年 5 月
- ⑱ 大見士朗・平原和朗、Passive Image
Interferometry によって検出された
2007 年能登半島地震震源域における急
激な地震波速度低下領域、地球惑星科学
関連学会 2008 年合同大会, S226-007, 千
葉、幕張, 2008 年 5 月。

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況(計◇件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：

番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平原 和朗 (HIRAHARA KAZURO)
京都大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：40165197

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

大倉 敬浩 (OHKURA TAKAHIRO)
京都大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号：40233077