3.1.9 自然地震による地殻構造探査(近畿圏)

(1) 業務の内容

(a) 業務題目:自然地震による地殻構造探査(近畿圏)

	UJ].	브 =	= 7	П
--	-------	-----	------------	---

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
京都大学防災研究所	教授	伊藤潔	ito@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp
京都大学防災研究所	助教授	澁谷拓郎	shibutan@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp
京都大学防災研究所	助教授	渡辺邦彦	watkun@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp
京都大学防災研究所	助教授	片尾浩	katao@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp
京都大学防災研究所	助手	大見士朗	ohmi@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp

(c) 業務の目的

大都市大震災軽減化特別プロジェクト(大大特)において実施されている地下構造調査 の目的は、大都市圏に大きな被害をもたらすと予想される大地震の強震動予測を高度化す るため、震源断層の深部構造と地震波の伝播経路の構造を推定することである。京都大学 防災研究所が担当する近畿圏での地下構造調査では、和歌山県新宮市から京都府舞鶴市ま で南南東 北北西に近畿圏を縦断する測線における人工地震観測と自然地震観測が実施さ れている。これらの調査の主眼は、発生が 30~50 年以内に迫ってきたと考えられている 東・南海地震とその地震波の大阪方面への伝播経路にあたる紀伊半島の地下構造を詳細に 調べることにある。

本研究は、自然地震観測による構造探査であり、人工地震探査では明らかにできない地 殻深部の地震波速度構造やフィリピン海プレートと近畿地方を形成するプレートとの境界 近傍の構造を明らかにすることを目的とする。

- (d) 5 ヵ年の年次実施計画
 - 1) 平成14年度: 観測の準備を行った。
 - 2) 平成15年度: 自然地震観測測線の計画、および新設観測点の設置。 和歌山県新宮市から大阪府河内長野市まで南南東 北北西に紀伊半島を縦断する測線(南測線)を設定し、この測線の近傍の定常観測点も利用して、ほぼ5km間隔で観測点が配置されるよう自然地震観測を計画した。河内長野市から和歌山県橋本市までに3観測点を設置した。
 - 3) 平成16年度: 既設観測点の保守・データ回収、および新設観測点の設置。 既設観測点の保守・データ回収を行いつつ、平成15年度に引き続き、 橋本市から新宮市までに10観測点を設置した。これらの臨時観測点 と定常観測点のデータを統合処理するシステムを構築した。
 - 4) 平成17年度: 既設観測点の保守・データ回収、新設観測点の設置、およびレシ
 ーバ関数解析。

既設観測点の保守・データ回収を行った。大阪府高槻市から京都府京 丹後市まで南南東 北北西に近畿地方北部を縦断する測線(北測線) を設定し、この測線の近傍の定常観測点も利用して、ほぼ 5km 間隔で 観測点が配置されるよう臨時観測点を 15 点設置した。これらの観測 点で蓄積された波形データに対して、レシーバ関数解析を行った。

5) 平成18年度: 既設観測点の保守・データ回収、新設観測点の設置、およびレシーバ関数解析。 既設観測点の保守・データ回収を行った。奈良県御所市から奈良県生駒市までほぼ南北に南測線と北測線をつなぐ測線(中測線)を設定し、臨時観測点を7点設置した。蓄積された波形データを用いたレシーバ 関数解析により、フィリピン海プレートやモホ面などの地震波速度不連続面のイメージングを行った。

(e) 平成18年度業務目的

和歌山県新宮市から京都府京丹後市まで近畿圏を縦断する測線上に臨時観測点を 35 点 設け、近傍の定常観測点も利用して、平均間隔約 5km の高密度自然地震観測を実施する。 取得される遠地地震の波形データを用いたレシーバ関数解析により、フィリピン海プレー トやモホ面などの地震波速度不連続面のイメージングを行う。データ蓄積が進んでいる紀 伊半島においては、レシーバ関数イメージからさらにS波速度偏差を求め、沈み込むフィ リピン海プレートの形状、深部低周波イベントの発生域と海洋地殻の速度異常、海洋地殻 の脱水と蛇紋岩化ウェッジマントル等の関係について議論し、東南海地震の震源域の下限 を推定する。

澁谷拓郎(京都大学防災研究所)

shibutan@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp

伊藤潔(京都大学防災研究所)

ito@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp

(a) 業務の要約

紀伊半島の南端から丹後半島の北端まで近畿圏を縦断する自然地震観測測線のうち、和 歌山県新宮市 ~ 大阪府河内長野市の部分(南測線)については、平成16年度までに設置した 13 臨時観測点と測線近傍の4定常観測点において、波形データの蓄積を行った。19か月分 のデータを用いてレシーバ関数(RF)解析を行い、紀伊半島下のS波速度不連続面のイメー ジを得た。さらに、このイメージから地震波速度の深さ分布を求める手法を開発した。そ の結果、紀伊半島下に沈み込むフィリピン海プレートや蛇紋岩化したと考えられるマント ルウェッジを捉えることに成功した。

大阪府高槻市~京都府京丹後市の部分(北測線)については、平成17年度に設置した15 臨時観測点と測線近傍の6定常観測点において、データの蓄積を行った。8か月分のデー タを用いてレシーバ関数(RF)解析を行い、近畿地方北部下のS波速度不連続面の暫定的な イメージを得た。

これらの中間部分(中測線)については、新たに臨時観測点を7点展開し、データの蓄積 を開始した。

(b) 業務の実施方法

自然地震観測の概要

図1に示すように、平成17年度までに、新宮市から京丹後市にいたる測線上に、3成分 短周期地震計(セーセル社製 L-4C-3D)とオフラインデータロガー(白山工業社製 LS-7000XT)からなる観測装置を28点展開した。この測線の近傍にある定常観測点もあわせ ると、観測点間隔は約5kmとなり、自然地震観測としては非常に密な配置ということがで きる。地震計からの出力信号は100Hz サンプリングでデータロガーのCFカードに連続記録 される。データロガーの内部時計は1時間に1回GPS時刻に同期される。臨時観測点のう ち、9点はフレッツ ISDN 回線を利用したオンライン観測とした。

今年度は、奈良県御所市から奈良県生駒市にいたる測線上に臨時観測点を7点設置した。

データ解析

連続収録された臨時観測点の波形データから地震イベントを切り出し、定常観測点の波 形データにマージした。切り出す地震イベントは、図1の範囲内は気象庁の震源リストに 掲載される地震、その外側で日本周辺の領域は気象庁の震源リストに掲載されるマグニチ ュード5以上の地震、震央距離が10°以上の遠地の領域は米国地質調査所の震源リストに 掲載されるマグニチュード6以上の地震とした。

このようにして得られた波形データを用いて、P 波と S 波の到着時刻の読み取り作業を 行った。このデータは、フィリピン海プレートの沈み込みに伴う地震の震源再決定に用い



図 1 測線と観測点の配置。AA を南測線、BB を北測線と呼ぶ。黒丸が 観測点で、そのうち SK で始まるものが臨時点。青い実線は三好・石 橋(2004)⁹⁾によるフィリピン海プレートの上面の等深線。赤い実線 は活断層。

られた。

RF解析では、2004年5月から11月までの7か月分のデータ処理が終了した。図2に示 す126個の遠地地震に対して、各観測点のRFを計算した。RFの計算には、澁谷他(2006)¹⁾ による改良版時間拡張マルチテーパ法(Helffrich, 2006²⁾; Park and Levin, 2000³⁾)を 用いた。RFの波形例として、南測線の観測点SK08で得られた RFの radial 成分波形を図3 に示す。backazimuth が近い RF には共通の特徴が見られる。このことは、RF における震源 関数の除去と観測点下のS波速度不連続面でのPS変換波の抽出とがうまく行われたことを 意味する。また、backazimuth が異なる RF は異なる特徴を示す。このことは、観測点下の S 波速度不連続面の不均質性を示唆する。

次に、気象庁の速度構造 JMA2001(上野・他,2001⁴⁾)を用いて RF の時間軸を深さ軸に変



図 2 レシーバ関数解析に用いた遠地地震の分布。震源の深さを色分けし て示す。+は南測線の位置。

換し、S波速度構造に対して ray tracing した波線を測線の鉛直断面に投影し、断面上で RFの振幅の重合平均を行った。このような解析によりS波速度不連続面の2次元イメージ を描くことができる。

さらに、測線断面上で重合平均された RF イメージを、平均的な slowness(0.069 s/km) をもつ波線に沿ってリサンプリングすることにより、測線上に 1km 間隔で設けた仮想的な 観測点に対する RF を求めた。これらの RF を同時に解いて、測線断面における S 波速度の JMA2001 モデルに対する偏差を求めた。

(c) 業務の成果

紀伊半島下(南測線)におけるS波速度不連続面のイメージ

図4は、1,660本のRFの重合平均により得られた、南測線の鉛直断面でのS波速度不連 続面のイメージである。赤系統の領域はRFの正の振幅を示し、深い方が高速度のS波不連 続面である。これに対し、青系統の領域はRFの負の振幅を示し、深い方が低速度のS波不 連続面である。図4にはこの断面の近傍で発生した地震も重ねてプロットしてある。北西 下がりに分布している+は、沈み込むフィリピン海プレートに関連している地震であって、 RFイメージの正の振幅の連なりとよく一致している。この上方には、青で示される負の振 幅の連なりがほぼ平行に見られる。深さ 30~40kmに分布している は、深部低周波イベン ト(Obara, 2002⁵⁾, Katsumata and Kamaya, 2003⁶⁾)であり、RFイメージの負の振幅の連な りと関係しているように思われる。

	239.5 050331.0125	239.3 041226.1004	239.3	manuna and and and the stand and and and and and and and and and	232,4 001120	Constant of a state of	mound of Manual Manual Manual Manual	237.0 050519.1100	and the states of the second states and the second	236.8 05075.1057	236.2 050403.1216	and the party of t	234.4 050514.1410	5150 010050 E 180	and an and a state of the state	231.2 050411.0230	and the second s	231.0 050410.2020	224.0 050510.1015	and a second and the first and an and an and an and	218.9 040916.0414	and a second provident of the second	many purposed many and	206.4 051029.1315	And a local state of the second state of the s	And When the second second second second	204.7 050205.2125	1000 Scores of the second scor	0.4 provide production of the production	0.2 Menund Welgers Association	-10 0 10 20 30 40 Time, s
SK08	198.7 050215.2345	198.6 050719.0441	050305 0408	much for the mountains	0161;607050	topo and which we have	manual Walter and a construction	195.8 041112.0754		195.6 041213.2105	194.6 050803.1944	man man man man and the former	9261.E11130	180.37 0045		188.9 050302.1946	and a standard and a	188.1 041014.0542 press.etal.press.etal.press.etal.press.etal.	182.4 041007.0736	manunder and provide and the provide	180.6	and a second the second second second	Henry High production of the second	172.9 050808.1738	1228	and all the mark of a second and a second	1675 05017.0520	STORE AND ADDRESS AND ADDRESS	1.4 pressed when the mark house and	0.0 1000 Martin Martin Martin Martin	1 -10 0 10 20 30 40 Time, s
	163.7 050411.2124	163.6	160 S 041123 0535	wagened pedulinger mag bed annum	160.1	Manual and an		156.1 051001.0820	superplayer of here a superior and a superior	155.8 1 050930.0055	155.7 050202.1132	married Married and an and an and and and and and and	153.9 050114.1738	153.5 050016.0036	mound and a present and a second present and a second seco	153.4 050615.1918	ないとうでしていたいとうとうとうないのないであるというとう	1531.000000 050000.1631	150.7 050205.1235	May an annous provide a second	147.2 050123.0535	- And a second of the second s	Sunday Manutan Manutan Straday	146.0 050211.0201	145 5 . DOOR DOOR DOOR DOOR DOOR DOOR DOOR DO	a manus and a manus and a manus	1445	1441 144 144 144 144 144 144 144 144 14	protected Mander Substantion and an and a second	0.2 hours hydra war war war war	-10 0 10 20 30 40 Time, s
	142.7 050208.2354 142.7 MANANALUN MUNUMAN	142.6 050516.1303	000 2000 0000 0000 0000	montemanonomana	140.8 050809.1433	and a second provide a second	warmen of party provide a provide a second	136.9 050712.0814		136.0 050320.0241	134,1 041118.0616		132.6 041207,0133	11 A 19050	many hap many many many	131.1	Muunumunumunum		127.9 041121.2014	and for an an an an an an an an	126.6 050518.1935		ANA NA Manufactor and a second and	50.9 050615.1159	Manufacture and a second secon	Mansay many want want for any former and the second	45.5 051120.2158	1 ESO OCODO	number was a second and a second and a second a	0.2 horan www.www.www.horan	-10 0 10 20 30 40 Time, s

図 3 レシーバ関数の波形例。南測線の観測点 SK08 において求められたレシー バ関数の radial 成分の波形を backazimuth 順に並べて示す。各波形の左 上の数値が北から時計回りに計った backazimuth の大きさ。各波形の右 上の数字は地震番号。

近畿地方北部(北測線)におけるS波速度不連続面のイメージ

図 5 は、832 本の RF の重合平均により得られた、北測線の鉛直断面での S 波速度不連続 面のイメージである。用いた RF は南測線の半分程度であるが、南東端の深さ 35km から北



図 4 新宮市から河内長野市にいたる南測線に沿う断面でのレシーバ関数 イメージ。レシーバ関数の正の振幅を暖色系で、負の振幅を寒色系 で示す。+はこの断面の近傍で発生した地震。 は深部低周波イベ ント。

西端の深さ 30km までほぼ水平に分布する RF イメージの正の振幅の連なりが認められる。 これは大陸性のモホ面と考えられる。観測点 SK18 の下のモホ面には深部低周波イベントが 見られる。

紀伊半島下(南測線)におけるS波速度偏差

図6は、図4に示した南測線のRFイメージから求められた、S波速度のJMA2001に対す る偏差である。南東端の深さ30km 付近から北西下がりに分布する深部の高速度域は、フィ リピン海プレートの海洋性マントルと考えられる。この高速度域の上面をつなぐように線 を引き、これを海洋性モホ面と考えた。沈み込みに伴う地震のほとんどは海洋性マントル の中で発生していることになる。

次に、海洋性モホ面の上部に見られる低速度域に注目する。南東端の深さ 25km 付近か ら北西下がりに深さ約 40km まで大きな低速度異常を示し、厚さは約 5km である。これを海 洋地殻と考えた。先ほどの海洋性モホ面の上方 5km にこのモホ面に平行に線を引き、これ を海洋地殻の上面、すなわちフィリピン海プレートの上面とする。海洋地殻は、深部低周 波イベントが発生する深さ約 40km までは大きな低速度異常を示し、それより深いところで は低速度異常の程度は小さくなっている。このことは、低周波イベントの発生域で脱水が 起こっていることを示唆する。



図 5 高槻市から京丹後市にいたる北測線に沿う断面でのレシーバ関数 イメージ。レシーバ関数の正の振幅を暖色系で、負の振幅を寒色 系で示す。+はこの断面の近傍で発生した地震。 は深部低周波 イベント。

さらに、低周波イベント発生域の上限に近い深さ 30km から北西端の深さ 35km 付近まで 浅部の高速度域と深部の低速度域の境界に線を引く。この境界線の北西延長は大陸性のモ ホ面につながると考えられるので(上野・他, 2006⁷¹)、この境界線を大陸性モホ面とした。 この境界線より下方は、海洋地殻から脱水した「水」によりマントルウェッジのかんらん岩 が蛇紋岩化されたために低速度異常を示していると考えられる。したがって、この領域の モホ面は、下部のマントルの方が上部の地殻よりも低速度であるという特異な性質を示す。 このようなモホ面は inverted Moho (Bostock et al., 2002⁸¹)と呼ばれる。蛇紋岩は強度 が低く、歪を溜めにくいので、蛇紋岩化したマントルウェッジと海洋地殻の境界は震源域 にはならない。したがって、東南海地震の震源域の下限は、図6に示す海洋地殻の上面の 深さ 30km 付近と考えることができる。

(d) 結論ならびに今後の課題

本研究では、和歌山県新宮市から京都府京丹後市まで約 5km 間隔で地震観測点を設置し、 記録された遠地地震の波形データを用いて、レシーバ関数(RF)解析を行った。得られた S 波速度不連続面のイメージにおいて、紀伊半島下では沈み込むフィリピン海プレートを、 近畿地方北部下では大陸性のモホ面を捉えることに成功した。

とくに、紀伊半島下では、南東端の新宮市の下約 20km から北西下がりに河内長野市の下



図 6 新宮市から河内長野市にいたる南測線に沿う断面での地震波速度構造のイメージ。JMA2001速度構造モデルに対するS波速度の偏差を、 正を寒色系、負を暖色系で示す。+はこの断面の近傍で発生した地震。 は深部低周波イベント。

約 60km まで角度 20°~30°で沈み込むフィリピン海プレートがイメージされた。また、 測線近傍の沈み込みに伴う地震はほとんど海洋性マントルの内部で発生していることもわ かった。したがって、本研究で得られたフィリピン海プレートの上面は、従来の地震の深 さ分布から推定されたもの(三好・石橋,2004⁹⁾など)より 10km 程度浅くなる。このことは、 伊藤・他(2005)¹⁰⁾による人工地震探査の結果と調和的である。

さらに、海洋地殻の脱水と深部低周波イベントの発生と蛇紋岩化マントルウェッジの形 成を考慮すると、東南海地震の震源域の下限は本研究で求められた海洋地殻上面の深さ 30km 付近と考えられる。地震調査委員会(2001)¹¹⁾の想定震源域の下限より陸側に 20~30km 程度入り込む可能性がある。

強震動予測の高精度化のためには、フィリピン海プレートの3次元的な形状や想定震源 域の下限の横方向の変化を推定することが必要であり、このためには他の測線を設けて、 同様な研究を行う必要がある。 (e) 引用文献

- 1) 澁谷拓郎,上野友岳,平原和朗:時間拡張マルチテーパレシーバ関数推定法の改良,日本地球惑星科学連合 2006 年大会,S118-002,2006.
- 2) Helffrich, G.: Extended-time multitaper frequency domain cross-correlation receiver-finction estimation, Bull. Seism. Soc. Am., 96, 1, pp.344-347, 2006.
- 3) Park, J., and Levin, V.: Receiver functions from multiple-taper spectral correlation estimates, Bull. Seism. Soc. Am., 90, 6, pp.1507-1520, 2000.
- 4) 上野寛, 畠山信一, 明田川保, 舟崎淳, 浜田信生: 気象庁の震源決定方法の改善- 浅部 速度構造と重み関数の改良 - , 験震時報, 65, pp.123-134, 2002.
- 5) Obara, K.: Nonvolcanic Deep Tremor Associated with Subduction in Southwest Japan, Science, Vol. 296, pp. 1679 1681, 2002.
- Katsumata, A., and Kamaya, N.: Low-frequency continuous tremor around the Moho discontinuity away from volcanoes in the southwest Japan, Geophys. Res. Lett. Vol. 30, doi: 10.1029/2002GL015981, 2003.
- 7) 上野友岳,澁谷拓郎,土井一生,伊藤潔:西南日本におけるフィリピン海スラブ形状の 推定,日本地震学会講演予稿集 2006 年度秋季大会, C048, 2006.
- 8) Bostock, M. G., Hyndmann, R. D., Rondenay, S. and Peacock S. M.: An inverted continental Moho and serpentinization of the forearc mantle, Nature, Vol. 417, pp. 536-538, 2002.
- 9) 三好崇之,石橋克彦:震源分布から見た伊勢湾から四国西部にかけてのフィリピン海ス ラブの形状,地震, Vol. 57, pp. 139-152, 2004.
- 伊藤潔,佐藤比呂志,梅田康弘,松村一男,澁谷拓郎,廣瀬一聖,上野友岳,森下可 奈子,伊藤谷生,平田直,川中卓,黒田徹,阿部進,須田茂幸,斎藤秀雄,井川猛:近 畿圏における大大特プロジェクトの地下構造調査,京都大学防災研究所年報,48B, pp.243-258,2005.
- 11) 地震調査委員会: 南海トラフの地震の長期評価について, 平成13年9月27日, 2001.

著者	題名	発表先	発表年月日
<u>澁</u> 谷拓郎,	レシーバ関数解析による紀伊半	日本地球惑星科学連合	平成 18 年
伊藤潔,大	島下のフィリピン海プレートの	2006年大会	5月16日
見士朗,他	イメージング		
澁 谷 拓 郎,	紀伊半島~近畿北部地域におけ	日本地震学会 2006 年秋季	平成 18 年
伊藤潔,大	るレシーバ関数イメージ	大会	11月2日
見士朗,他			
西村和浩,	大大特:近畿地方縦断自然地震	京大防災研年報, 49, B, pp.	平成 18 年
中尾節郎,	観測	297-306, 2006	4月
三浦勉,他			

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

- (g)特許出願,ソフトウエア開発,仕様・標準等の策定
- 1)特許出願 なし
- 2)ソフトウエア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定 なし