

3. 1. 6 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)

(b) 担当者

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調査であり、人工地震観測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カ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

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、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を設定し、この測線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、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。これら臨時観測点のデータ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、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を設定し、この測線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 15 点の自然地震観測点を設置した。また、昨年度の分も含めてほとんどの観測点をオンライン化し、冬期の積雪などに備えた。これらの観測点では順調にデータを取得している。さらに、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うための前処理をおこない、紀伊半島の観測点に対して、レシーバ関数による地下構造調査を行った。

5) 平成 18 年度：既設観測点の保守・データ回収、レシーバ関数解析。

既設観測点の保守・データ回収を行う。また、河内長野市－生駒市間に 7 点の観測点を設置し、さらに観測を継続する。さらにこれらの蓄積された波形データに対して、レシーバ関数解析を行い、フィリピン海プレートやモホ面および地殻内の地震波速度不連続面のイメージングを実施する。

(e) 平成 17 年度業務目的

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を設定し、15 点の自然地震観測点を設置し、測線近傍の定常観測点も利用して高感度自然地震観測を実施する。これらの観測点で取得される遠地地震により、レシーバ関数を求め、紀伊半島、新宮市から丹後半島までの測線における自然地震による地下構造のイメージングをおこなう。また、近畿地方の高感度地震観測データの取得により、地震波速度インバージョンのためのデータ蓄積をおこなう。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うための前処理をおこない、データ蓄積が進んでいる紀伊半島の観測点に対して、レシーバ関数による地下構造調査を行う。

(2) 平成 17 年度の成果

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南半分については、昨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。最初の 7 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波速度不連続面の暫定的なイメージを得た。まだ不鮮明ではあるが、北西方向に傾斜するフィリピン海プレートが捕らえられた。一昨年行われた人工地震探査の結果¹⁾と調和的である。

北半分については、新たに 15 の臨時観測点を展開し、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、昨年度、新宮市から河内長野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 13 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えることができる。これを南測線と呼ぶことにする。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。

今年度は、高槻市から京丹后市にいたる測線上に 15 の臨時観測点を設置した。これを北測線と呼ぶことにする。南北測線の 28 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。

データ処理

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、走時トモグラフィー解析のために P 波と S 波の到着時刻の読み取り作業を開始した。

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 に示す遠地地震に対して、各観測点の RF を計算した。測線を構成する観測点には固有周期 1 秒の短周期地震計が設置されている。M6 以上の遠地地震の P 波の卓越周期は数秒以上であり、短周期地震計の周波数特性が落ちていく帯域にあたる。この落ち方は固有周期と

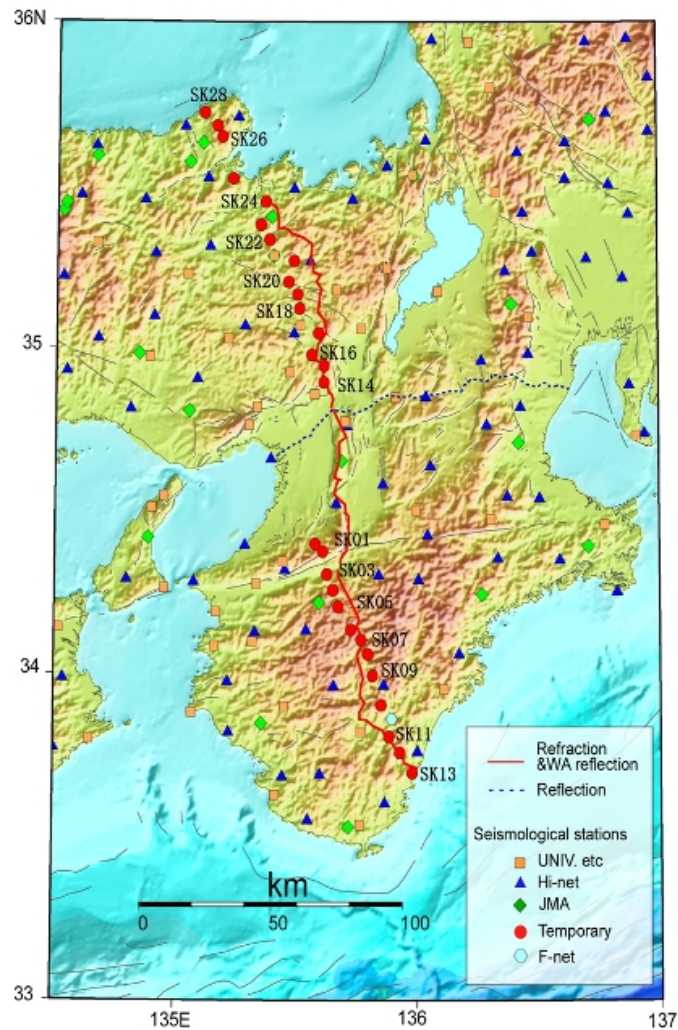


図 1 観測点配置。赤丸が本研究で新たに設置した地震観測点。SK01～SK13 を南測線、SK14～SK28 を北測線と呼ぶ。赤い実線は 2004 年に実施された人工地震探査(伊藤・他、2005¹⁾)の測線。

減衰定数によって決まるが、それらは地震計によって微妙に異なる。本解析では個々の波形について、生波形からその地震計の周波数特性をデコンボリューションすることによって補正を行った。

RFを計算する際の(radial成分)/(上下動成分)のデコンボリューションを安定して行うために、Park and Levin (2006)²⁾はマルチテーパ(MT)法を考案した。この手法では、prolate taperをデータにかけてからフーリエ変換を行うことで、スペクトル漏れによってスペクトルが非常に小さい振幅をとることを防ぎ、さらに分母の上下動成分のパワースペクトルにノイズのパワースペクトルを加えることで、周波数領域での除算を安定化させる。しかし、全time windowの 2/3 以上をtaperでつぶしてしまうので、長いRFを計算しづらいという短所があった。澁谷他 (2006)³⁾は、Helfrich (2006)⁴⁾のextended-time MT RF estimationを改良し、このtaperを 1/4 ずつずらしてかけて得られたスペクトルを位相をずらして足し合わせるにより、妥当な長さのtaperから任意の長さのRFを計算できるようにした。

次に、気象庁の速度構造JMA2001(上野・他、2002⁵⁾)を用いてRFの時間軸を深さ軸に変

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の振幅の重合を行う。このような処理により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。

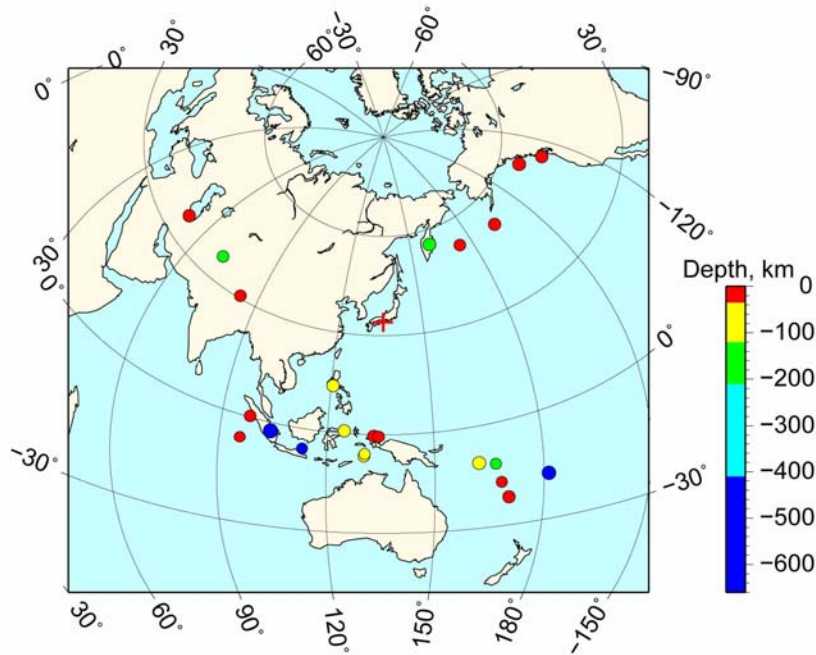


図2 RF解析に用いた遠地地震の分布。震源の深さで色分けして示す。赤い+は本研究の南測線の位置。

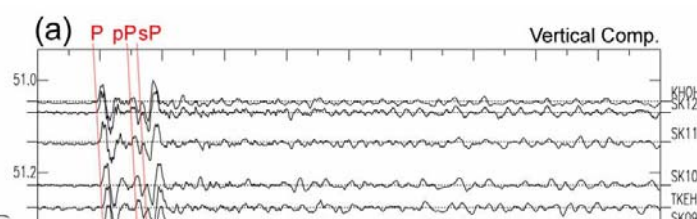
(c) 業務の成果

地震 041008.1735 の波形例

図3に、2004年10月8日8時27分(UT)にソロモン諸島付近で発生した地震(表面波マグニチュード6.9、深さ36km)の南測線の波形を震央距離順に並べて示す。Pに続いてpPとsPが明瞭に観測される。これらの波相はほとんど同じslownessをもつ。図3(a)に示す上下動成分では、これらの波層の波形が全観測点でとてもよく似ている。これは、上下動波形に震源関数が色濃く反映していることを示すものである。これに対して、図3(b)に示すradial成分の波形は、観測点により少しずつ異なる。これは、radial波形が観測点近傍で生成された変換波の影響を受けているためと考えられる。radial波形から上下波形をデコンボルブしたRFを図3(c)に示す。RFは観測点ごとに特徴ある波形を示すが、これはRFが観測点下の速度不連続構造に起因する波形であることを想起すれば納得できる。SK12とSK11、TKEHとSK09、SK02とSK01のように近い観測点ではRFに類似性が見られる。

観測点SK01のレシーバ関数波形例

図4に観測点SK01について計算されたRFを地震のback azimuth (BAZ)順に示す。上述のように、RFは基本的には観測点により特徴ある波形を示すが、ひとつの観測点に対



して得られた RF でも BAZ により波形にかなりの違いが見られる。BAZ の近い RF には強

い類似性が見られることから、BAZによるRFの違いは、観測点下の構造の不均質性を表しているものと考えられる。不均質構造としてまず考えられるのは、北西方向に傾斜して沈み込むフィリピン海プレートであり、上で述べたRFの複雑さはフィリピン海プレートに起因する可能性が大きいので、逆にレシーバ関数解析からフィリピン海プレートの形状等を推定できると考えられる。

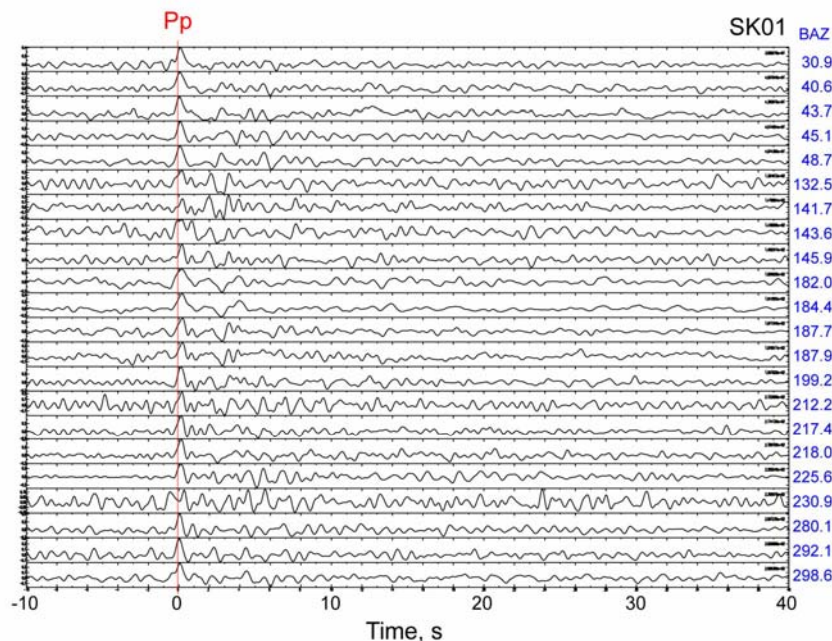


図4 観測点 SK01 で得られた RF の radial 成分。波形右の数値はそれぞれの地震の back azimuth を示す。Pp は直達 P 波を表す。

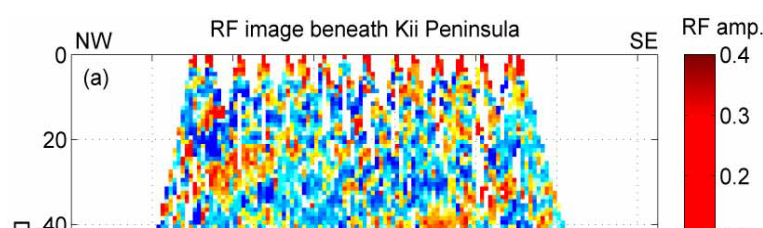
紀伊半島下における S 波速度不連続面のイメージ

図 5(a) は測線下の鉛直断面での S 波速度不連続面のイメージである。赤の領域は 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 5(b) はその解釈図である。青い半透明の太線は沈み込むフィリピン海プレートの海洋地殻の上面、赤い半透明の太線はフィリピン海プレート内のモホ面を示している。これらの特徴は、2004 年に行われた人工地震探査の結果と調和的である。図 5(c) は波線のヒットカウントを示している。ほとんどの領域でヒットカウントが 20 以下であり、まだ重合する RF 数が十分でないため、S/N の改善が不十分であって、いまひとつ鮮明なイメージとなっていないと考えられる。

(d) 結論ならびに今後の課題

自然地震観測では、新宮市から河内長野市にいたる南測線と高槻市から京丹後市にいたる北測線が完成した。南測線については、最初の 7 か月分のデータに対して RF 解析を行い、暫定的な S 波速度不連続面のイメージを得た。

今後はデータ解析を進めて、さらに鮮明なイメージが得られるようにしたい。



(e) 引用文献

- 1) 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 I の地下構造調査, 京都大学防災研究所年報, Vol. 48B, pp.243-258, 2005.
- 2) Park, J., and Levin, V.: Receiver functions from multiple-taper spectral correlation estimates, Bull. Seism. Soc. Am., 90, 6, pp.1507-1520, 2000.
- 3) 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.
- 4) Helffrich, G.: Extended-time multitaper frequency domain cross-correlation receiver-function estimation, Bull. Seism. Soc. Am., 96, 1, pp.344-347, 2006.
- 5) 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ー浅部速度構造と重み関数の改良ー, 験震時報, Vol.65, pp.123-134, 2002.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
澁谷拓郎, 伊藤 潔, 大見士朗 他	大大特: 紀伊半島における自然地震観測ー観測の目的と概要ー	京大防災研研究発表講演会	平成 17 年 2 月 22 日
西村和浩, 中尾節郎, 辰己賢一, 他	大大特: 紀伊半島における自然地震観測ー観測システムとデータ処理の概要ー	京大防災研年報, 48, B, 269-277, 2005	平成 17 年 4 月
澁谷拓郎, 伊藤 潔, 大見士朗, 他	レシーバ関数解析による紀伊半島下のフィリピン海プレートのイメージング	京大防災研研究発表講演会	平成 18 年 2 月 22 日
西村和浩, 中尾節郎, 三浦 勉, 他	大大特: 近畿地方縦断自然地震観測	京大防災研研究発表講演会	平成 18 年 2 月 22 日

(g) 特許出願, ソフトウェア開発, 仕様・標準等の策定

1)特許出願

なし

2)ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 18 年度業務計画案

既設観測点の保守およびデータ回収

平成 17 年度までに設置が完了した 28 臨時観測点の保守・データ回収を定期的に行う。臨時観測点の連続収録データの切り出しと定常観測点のデータとの統合を行う。P 波と S 波の到着時刻の読み取りを行う。

データ解析

遠地地震の波形データを用いてレシーバ関数解析を行う。測線上の観測点で記録された波形データを用いてレシーバ関数を求め、測線下の S 波速度不連続面をイメージングする。これにより、紀伊半島下へ沈み込むフィリピン海プレートの形状をより鮮明にイメージングする。

中測線の展開

南測線と北測線とをつなぐ中測線での観測点設置を平成 18 年度前半に行う。南北測線と同様のデータ処理を行い、波形データを蓄積する。