

3. 4. 2. 3 活断層および周辺地殻の三次元速度・減衰構造モデルの研究

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

活断層および周辺地殻の三次元速度・密度構造モデルの研究

(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	産学官連携 研究員	廣瀬一聖	hirose@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
京都大学防災研究所	助教授	赤松純平	akamatsu@06dpri.mbox.media. kyoto-u.ac.jp
京都大学防災研究所	助手	中村佳重郎	nakamura@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp
産業技術総合研究所	主任研究員	駒澤正夫	komazawa-m@aist.go.jp
岡山理科大学	教授	西村敬一	nisimura@big.ous.ac.jp

(c) 業務の目的

近畿地方の活断層系について、断層の深部形状の把握および活断層とその周辺地域の地殻構造モデルの推定を過去の制御震源データを用いて検討する。また、既存の地震観測網データベースを用いて近畿圏および活断層周辺の地殻の三次元速度構造モデルを作成する。既存の重力データベースに新たな重力観測データを加えて近畿圏中央部の活断層を含む三次元基盤構造モデルを作成する。

(d) 5カ年の年次実施計画

- 1) 平成14年度：既存の制御震源実験データ・地震観測網データ・重力データの収集・コンパイル、データ解析手法の検討を行った。
- 2) 平成15年度：制御震源実験データの走時解析、地震観測網データによる三次元速度構造の解析、および重力データの解析を行った。
- 3) 平成16年度：制御震源実験データの走時および波形(後続波群)の解析、自然地震の走時データを用いた三次元速度構造トモグラフィ解析、および重力データ解析の基礎となる基盤岩の密度測定を行った。
- 4) 平成17年度：地殻構造と地震発生特性の詳細な検討、近畿圏の地殻内および活断層近傍の詳細な三次元速度構造モデルの作成、および有馬高槻構造線近傍における三次元密度構造モデルの作成を行った。
- 5) 平成18年度：近畿全体の地殻構造と地震発生特性、地殻内および活断層近傍の詳細な三次元速度構造、および大阪・京都盆地の構造境界付近の三次元基盤構造を取りまとめた。

(e) 平成18年度業務目的

平成16年度に東京大学地震研究所によって行われた大阪－鈴鹿測線と新宮－舞鶴測線の人工地震記録も取り入れ、さらに広域の近畿地方の地震波速度構造を求める。自然地震データのトモグラフィ解析による近畿圏中央部の地殻内および主要な活断層近傍の詳細な三次元速度構造について取りまとめを行う。大阪盆地北東部の基盤構造の高精度化、特に有馬・高槻構造線東端部の詳細構造を把握して、大阪・京都堆積盆の構造境界付近の三次元基盤構造を構築する。

(2)平成 18 年度の成果

(2-1)人工地震記録を用いた近畿地方の地震波速度構造

伊藤 潔 (京都大学防災研究所)

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

廣瀬 一聖 (京都大学防災研究所)

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

(a) 業務の要約

本項では活断層の深部構造や活断層と地殻構造の関係を明らかにすること、強震動予測や津波予測のための基礎的な地殻構造を得ることを目的として、近畿地方で行われた複数の人工地震探査記録を統合的に解析し、近畿地方広域の地震波速度構造の推定を行った。本年度は、平成 16 年度に東京大学地震研究所によって行われた大大特、大阪－鈴鹿測線と、京都大学防災研究所によって行われた新宮－舞鶴測線の記録も取り入れ、さらに広域の近畿地方の地震波速度構造を求めた。また、それぞれの測線が近畿地方北部で交差することを利用し、統一的な構造を求めることを目的とした。最終的には、部分的ではあるが、3次元的地震波速度構造モデルを得た。

(b) 業務の実施方法

本研究では、近畿地方で実施された大規模な人工地震を用いた地殻構造探査測線の記録の中から、1963～64 年倉吉－花房測線（初動読み取り値記録）、1989 年藤橋－上郡測線、1995 年京北－西淡測線、2004 年大阪－鈴鹿測線、2004 年新宮－舞鶴測線の 5 測線記録を収集して、統合的な解析を行った。

倉吉－花房測線及び、新宮－舞鶴測線の概要については、本報告書、近畿圏大深度弾性波探査を、藤橋－上郡測線、京北－西淡測線については、平成 17 年度報告書、大阪－鈴鹿測線については、平成 16 年度報告書で詳述したため本項では割愛する。これらの測線の分布を、図 1 に示す。

解析方法は、平成 17 年度報告書で述べた屈折法解析とほぼ同様であるが、以下に略記する。速度構造の推定には、深さ約 10km までの地殻浅部と、それ以深に分けて解析を行った。浅部構造は、各測線記録から初動走時を読み取り、タイムターム法及び、二次元波線追跡法(Zelt and Smith, 1992¹⁾)を用いて表層速度、基盤深さ、基盤速度を求めた。次に深部構造は、反射法解析の結果や、近隣の測線の結果などを参考に初期モデルを作成し、



図 1 本研究で用いた人工地震を用いた地殻構造観測測線。緑の点は観測点、赤の星は発破点、赤丸はパイブロサイス多重発振点を示す。赤線は活断層を示す。

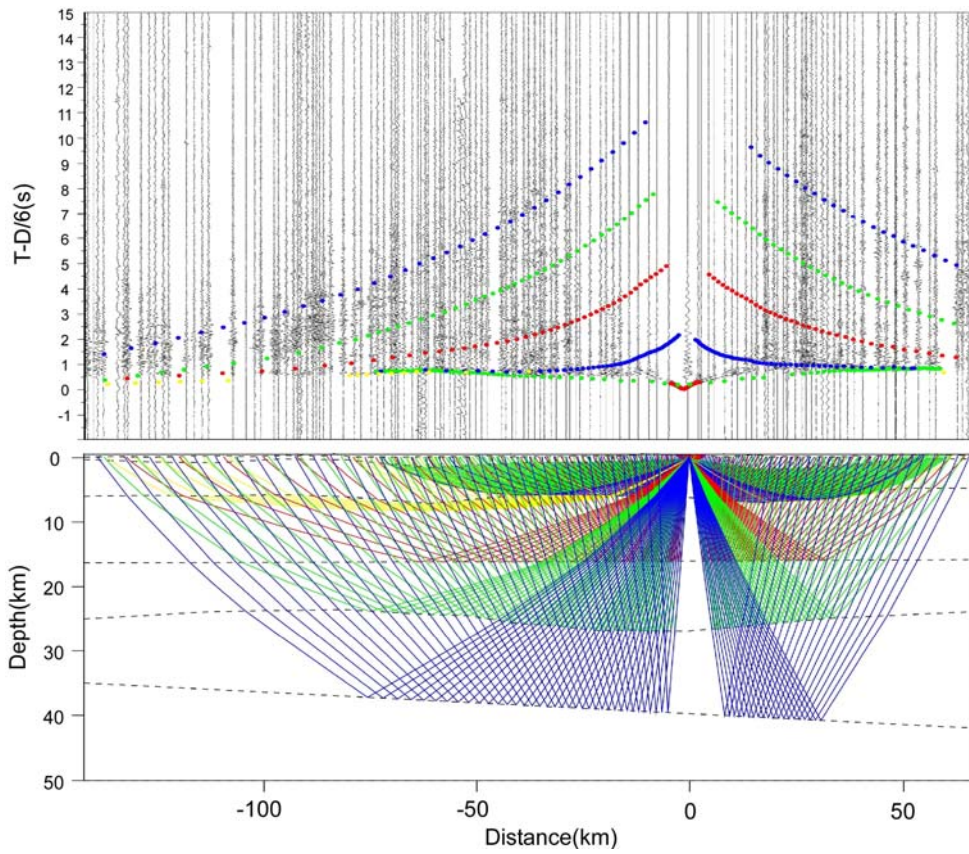


図 2 (a) 藤橋－上郡測線の波形と計算走時の比較 (上) と、得られた構造と波線 (下) の例

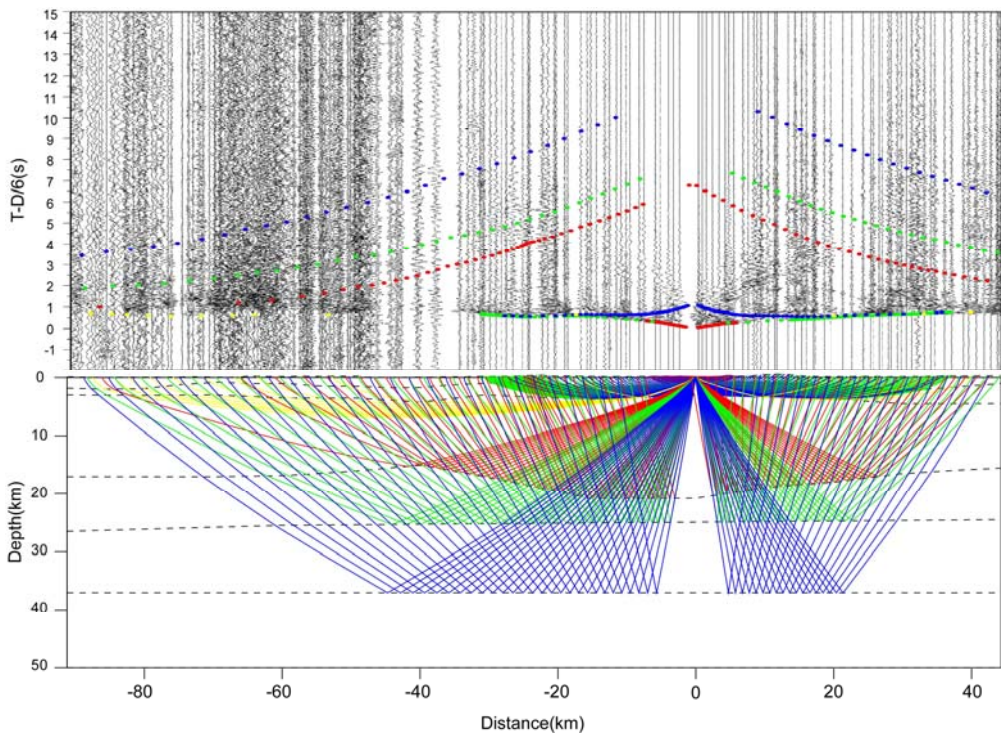


図 2 (b) 京北－西淡測線の波形と計算走時の比較 (上) と、得られた構造と波線 (下) の例

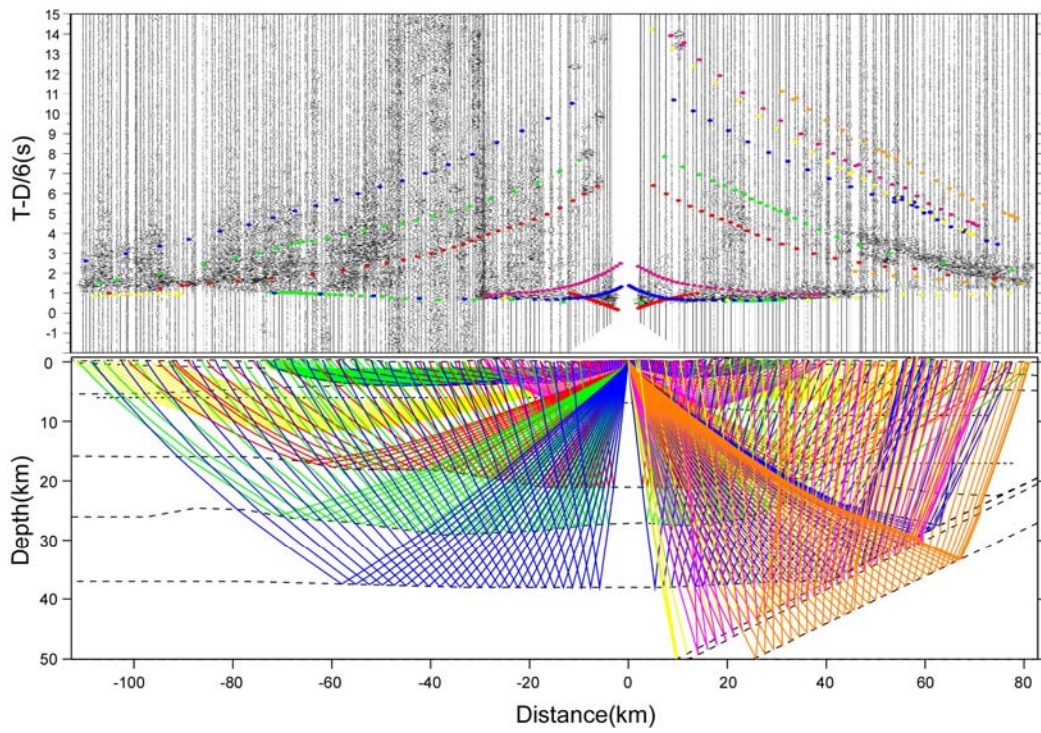


図 2 (c) 新宮－舞鶴測線の波形と計算走時の比較（上）と、得られた構造と波線（下）の例

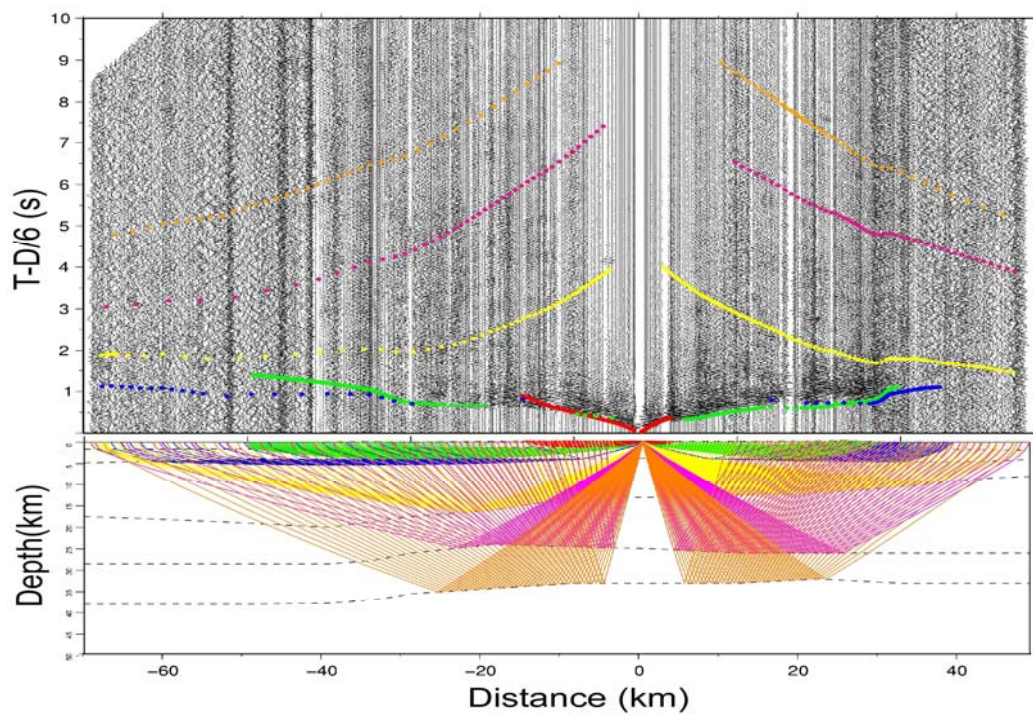


図 2 (d) 大阪－鈴鹿西淡測線の波形と計算走時の比較（上）と、得られた構造と波線（下）の例

二次元波線追跡法によって構造や地震波速度を修正した。測線の両端部分やショットのエネルギーが小さい場合には、速度を決定するのに十分な波線が通らないため、速度境界や地震波速度が一意的に求まらない場合がある。そこで、本研究では、上記の測線同士が交差する場所で速度境界の深さや地震波速度に矛盾が生じないように、試行錯誤で速度構造を求めた。図2に最終に得られた波線と、地震波形記録と計算走時の比較を示す。

なお、倉吉－花房測線はアナログ記録のため、初動走時記録のみ使用が可能であった。しかし、本測線は測線長が300km以上あり、爆薬も2トンを使用しているため、地殻深部の構造を求めるには有用である。そこで、倉吉－花房測線の記録はモホ面の深さの決定に用いた。図3に波線追跡法の結果を示す。

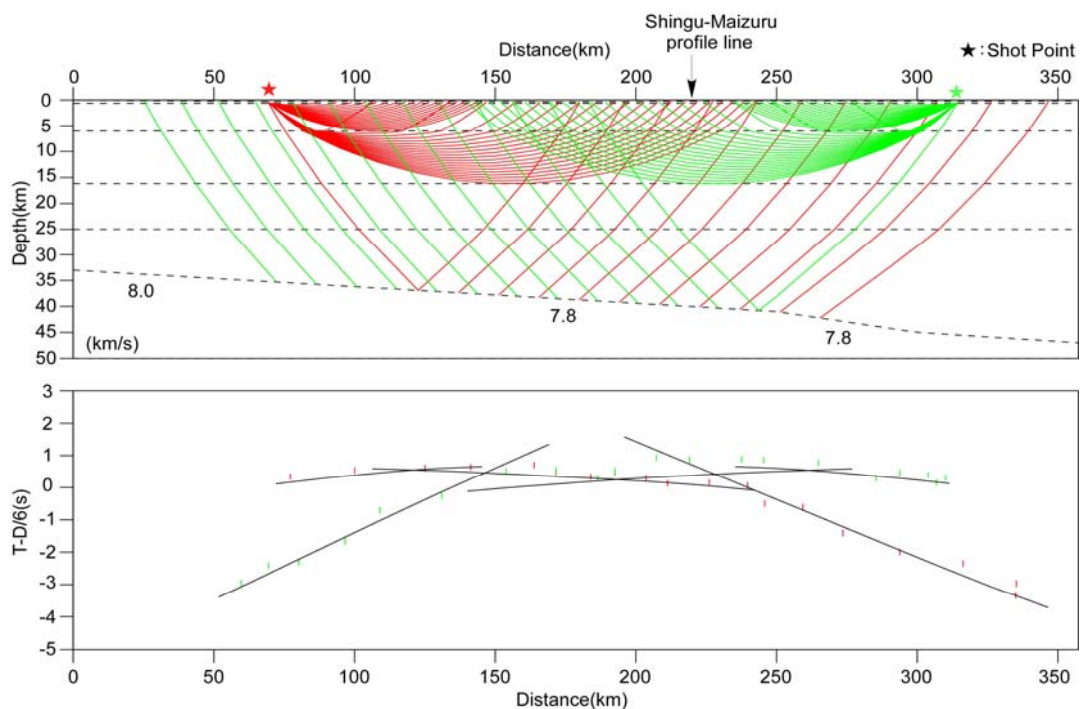


図3 倉吉－花房測線の波線追跡法結果。構造モデルと波線（上）と、初動走時と計算走時の比較（下）。

(c) 業務の成果

図4に最終的に得られた4測線（倉吉－花房以外）の地震波速度断面を示す。図中の数字はP波速度(km/s)を示す。括弧で囲んだ数字は、推定値であることを示す。

2004年大阪－鈴鹿測線では、測線中央付近でダイナマイト発振が行われたが、両端部ではバイブロサイズ車による多重発振で直達波が地殻深部を通らなかったため、特に東端部で5km以深の速度がほとんど決まらなかった。3層目(6.2km/s)と4層目(6.4km/s)の境界は、反射面ではあるが、速度境界面であるかどうかは不明である。今後の近畿地方東部の観測結果を待ちたい。表層付近では両端の大阪平野と鈴鹿平野で速度が1.6～1.8km/sと極端に遅い堆積層が厚く、測線中央部では5.0km/sの火山岩類の層が露出しており、非常に速度コントラストの大きな測線である。本測線浅部の速度構造の解釈は平成16年度

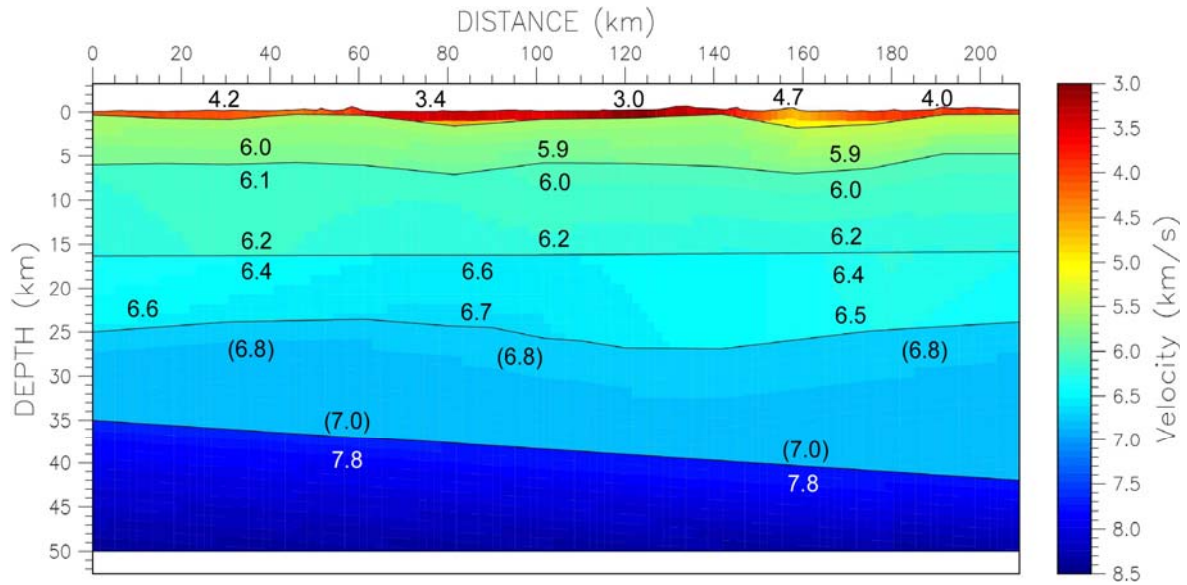


図4 (a) 藤橋－上郡測線の速度構造。図中の数字は P 波速度(km/s)を、括弧内の数字は速度が推定値であることを示す。

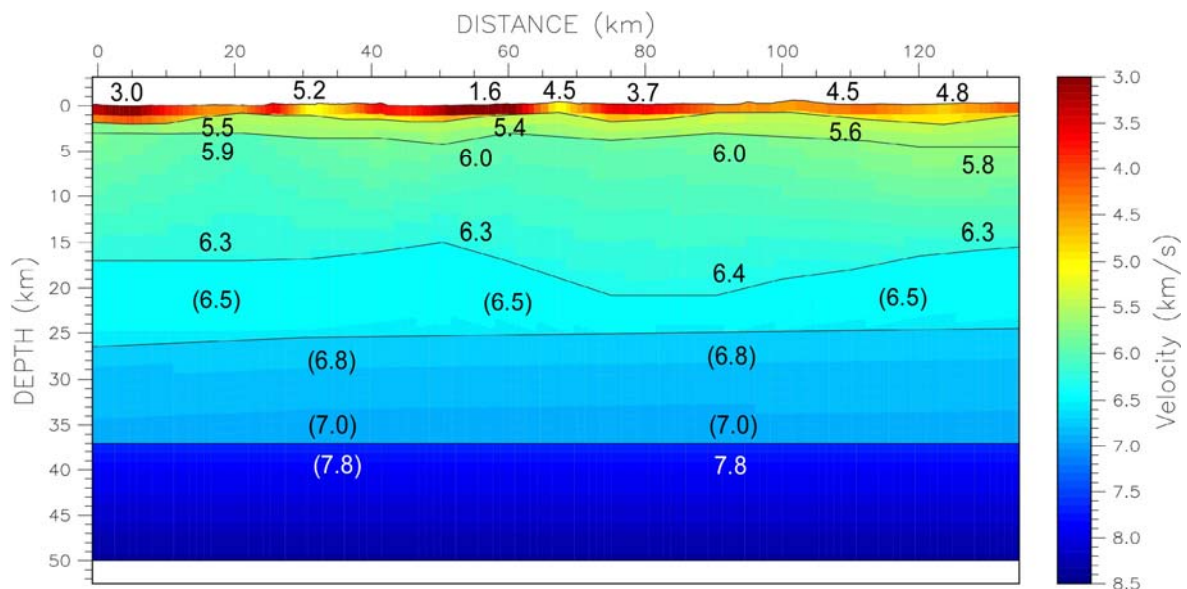


図4 (b) 京北－西淡測線の P 波速度構造

報告書（東京大学地震研究所）に詳しいため、本項では割愛する。

図5には、これらの4測線の速度断面を3次的に配置し、南西側及び、南東側から俯瞰して表示した。深さは全て地表から50kmまでで、水平－鉛直比は1：1とした。また見やすいように、測線と対応する地形図は速度断面の下に示した。交差する2測線の交点で、速度境界と速度がほぼ一致しており、特に近畿地方中北部は速度構造が精度良く求められたと思われる。平成18年度に行われた琵琶湖を横断する近江測線などの結果も加えることにより、より詳細な近畿地方全体の速度構造が得られることが期待される。

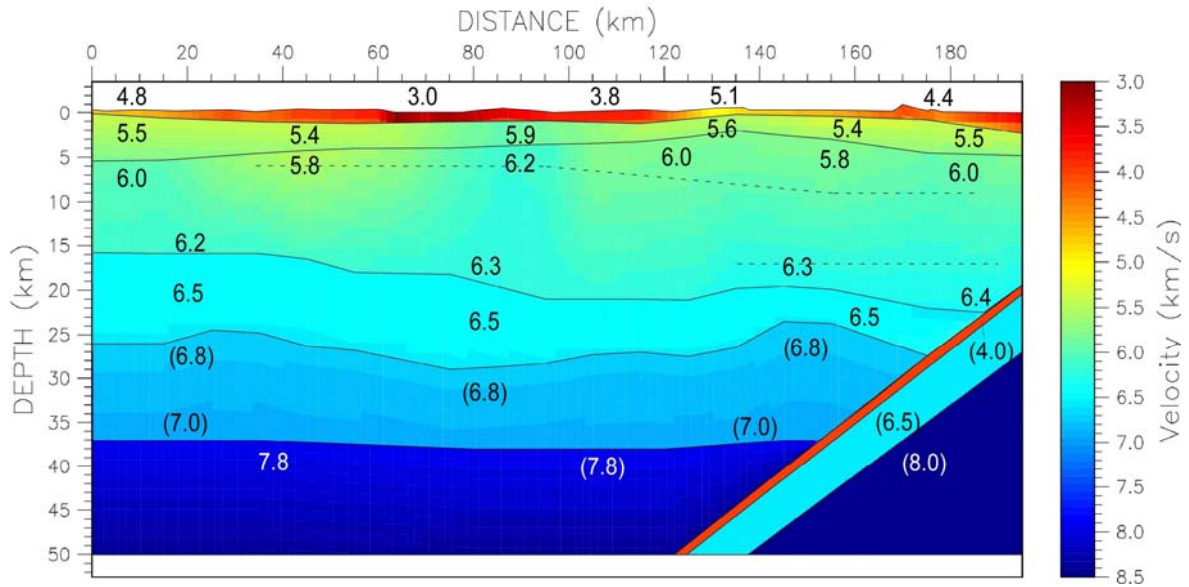


図 4 (c) 新宮－舞鶴測線の P 波速度構造

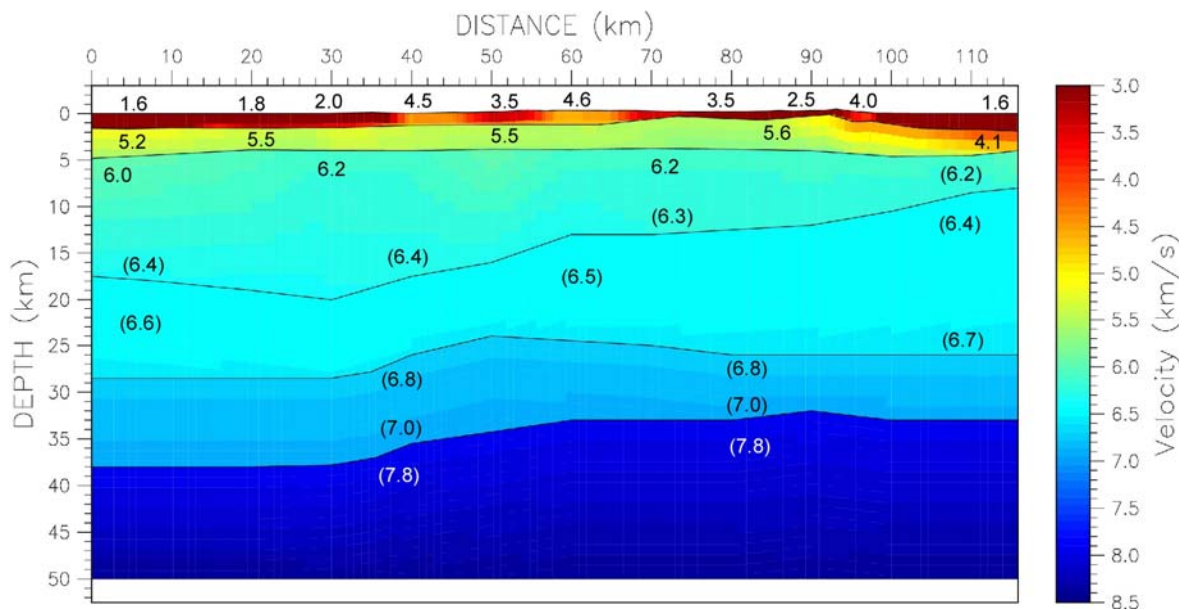


図 4 (d) 大阪－鈴鹿測線の P 波速度構造

また図 6 には、1989 年藤橋－上郡測線と 1995 年京北－西淡測線について、反射法解析によって得られた反射断面(廣瀬・伊藤, 2005²⁾)に、本研究で最終的に得られた速度構造を重ねて示した。平成 17 年度報告書で反射面と速度構造の関係を示したが、より反射面と速度構造が一致していることがわかる。特に、京北－西淡測線では、深さ約 20km 付近の北西下がりの反射面は明瞭であり、この反射面の上端は 1995 年兵庫県南部地震 (Mjma7.3) の震源にも近いことから、飯尾(1996)³⁾が述べているように、地震発生と速度構造の関係も示唆される。内陸で発生する浅い地震の発生メカニズムを調べる上で、震源周辺の地殻構造を調べることは大変重要であると考え。今後、より多くの事例の研究が待たれる。

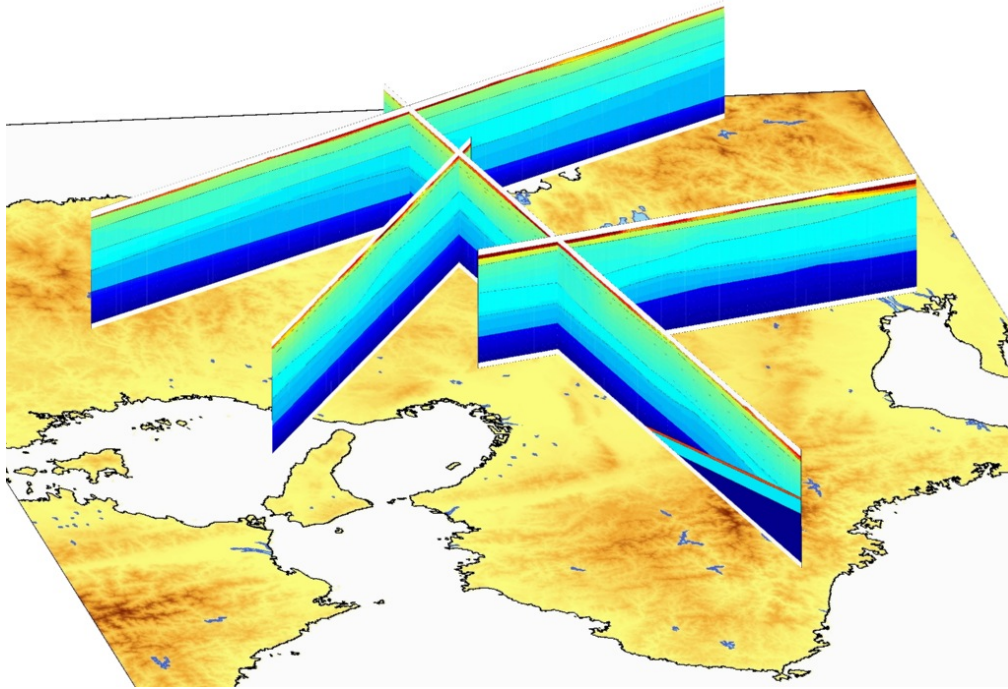


図 5 (a) 4 測線の速度構造の接合及び、俯瞰表示結果。南西側からの俯瞰表示。

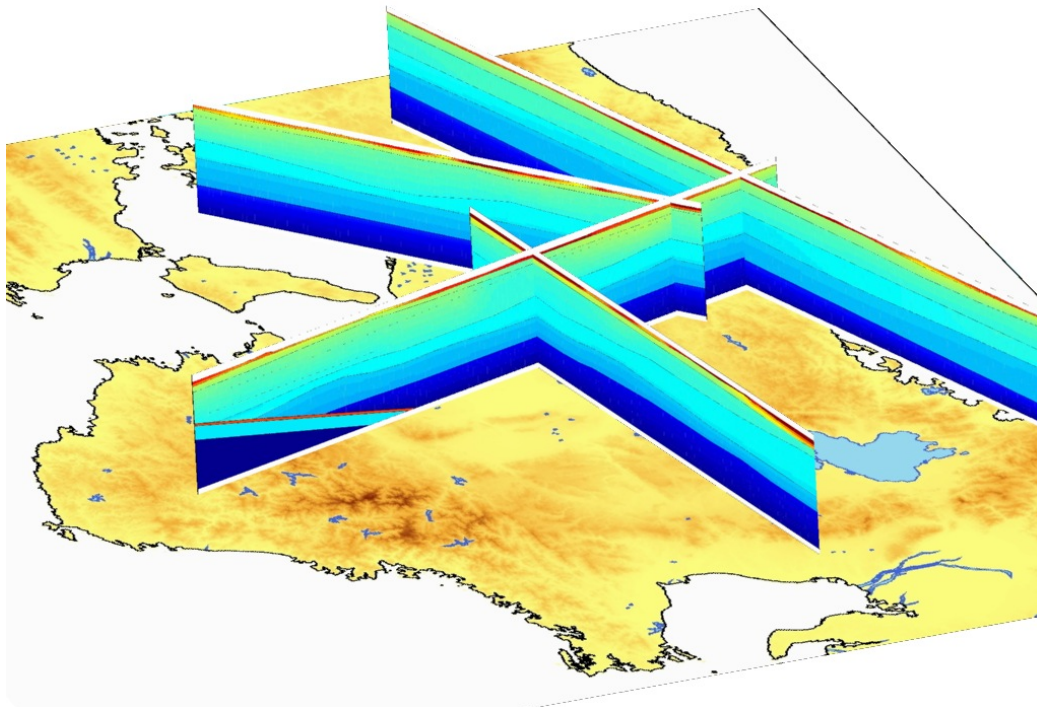


図 5 (b) 4 測線の速度構造の接合及び、俯瞰表示結果。南東側からの俯瞰表示。

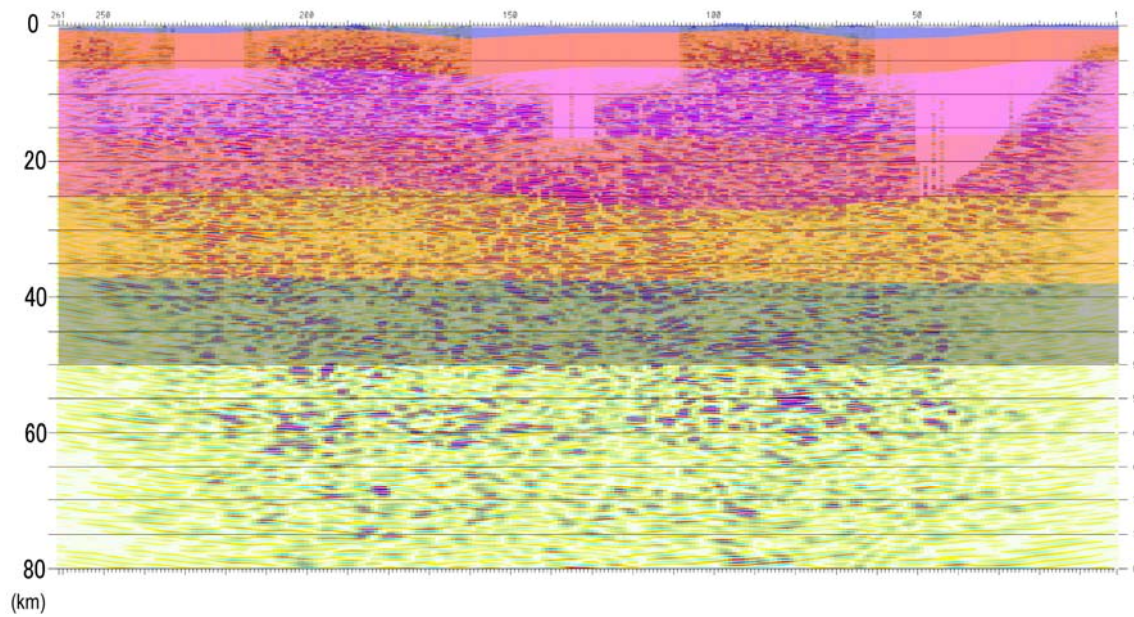


図 6 (a) 藤橋－上郡測線の反射法解析結果と速度構造の比較

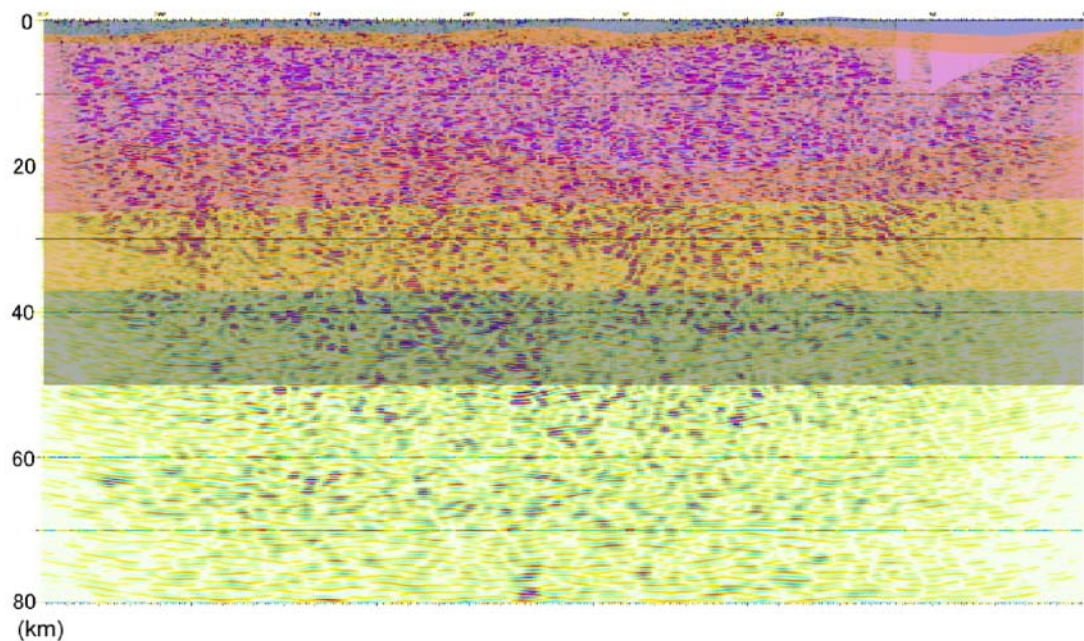


図 6 (b) 京北－西淡測線の反射法解析結果と速度構造の比較

(d)結論ならびに今後の課題

近畿地方で実施された複数の人工地震を用いた地殻構造探査記録の再解析を行い、近畿地方広域の P 波速度構造を求めた。特に平成 16 年度に行われた大阪－鈴鹿測線や新宮－舞鶴測線の記録も含めて、測線同士の交点で速度が等しくなるように、統一的な解析を行った。大阪－鈴鹿測線の東端部では、深部速度構造が一意的に決めることができなかったが、近畿地方中北部では、複数の測線が交差しており、精度のよい P 波速度構造が得られたと思われる。これらの結果は、近畿地方での強震動予測等の研究に非常に有用であると思われる。

さらに、反射法解析結果と、本研究で得られた速度構造を比較したところ、良い相関が得られた。特に、1995年兵庫県南部地震の震源周辺では、速度境界である反射面が明瞭で、地震発生と地殻構造の関係が示唆される。他の内陸地震との比較など、より詳細な今後の研究が待たれる。

(d) 引用文献

- 1) Zelt, C.A. and R.B. Smith,: Seismic travel time inversion for 2-D crustal velocity structure, *Geophys. J. int.*, 108, pp. 16-34, 1992.
- 2) 廣瀬一聖, 伊藤潔 : 人工地震探査による近畿地方中北部の地殻構造 (2) : 屈折法探査記録の反射法解析, 2005年日本地震学会秋季大会予稿集, 203, 2005.
- 3) 飯尾能久 : 兵庫県南部地震の発生過程 - 断層の固着とディタッチメントのすべり -, 地震 第2輯, 49, pp. 103-112, 1996.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
廣瀬一聖, 伊藤潔	広角反射法および屈折法解析による近畿地方の地殻構造の推定	京都大学防災研究所 年報, 49B, CD-ROM	2006年4月
廣瀬一聖, 伊藤潔	人工地震探査による近畿地方中北部の地殻構造 (3)	日本地球惑星科学連 合 2006年大会, S118-P004.	2006年 5月16日
Issei Hirose, Kiyoshi Ito	Deep structure and seismicity in the Kinki district, southwest Japan, as revealed by seismic refraction and wide-angle reflection surveys	12 th International symposium on deep seismic profiling of the continents and their margins	2006年 9月27日
廣瀬一聖, 伊藤潔	大大特 I : 地殻構造探査による近畿地方の P 波速度構造	日本地震学会 2006 年秋季大会, C072	2006年 11月2日

(f) 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

(2-2) 自然地震を用いた三次元地殻構造

大見士朗（京都大学防災研究所）

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

(a) 業務の要約

本項目では、自然地震・制御震源を用いた内陸活断層の深部モデルと地殻内三次元構造モデルの構築に関する研究を行なう。ここでは、その中のサブテーマとして、自然地震データを用いたトモグラフィ等の手法により、内陸活断層や周辺地殻の三次元速度構造モデルの推定を行なうことを目的とする。

(b) 業務の実施方法

はじめに

活断層やその周辺地域の精密な三次元地震波伝播速度構造を求めることは、強震動のシミュレーションにとって必要であるだけでなく、地震の発生環境としての活断層のテクトニクスを理解するためにも重要である。本研究では、自然地震を用いたトモグラフィ手法により、近畿地方のいくつかの活断層（図1参照）の深部構造を求めるほか、周辺の地殻内三次元地震波速度構造を求め、強震動のシミュレーションに資するためのデータを作成する。得られる結果は、地震活動そのほかのデータとの比較により、当地域の地震発生環境の理解にも資することが期待される。

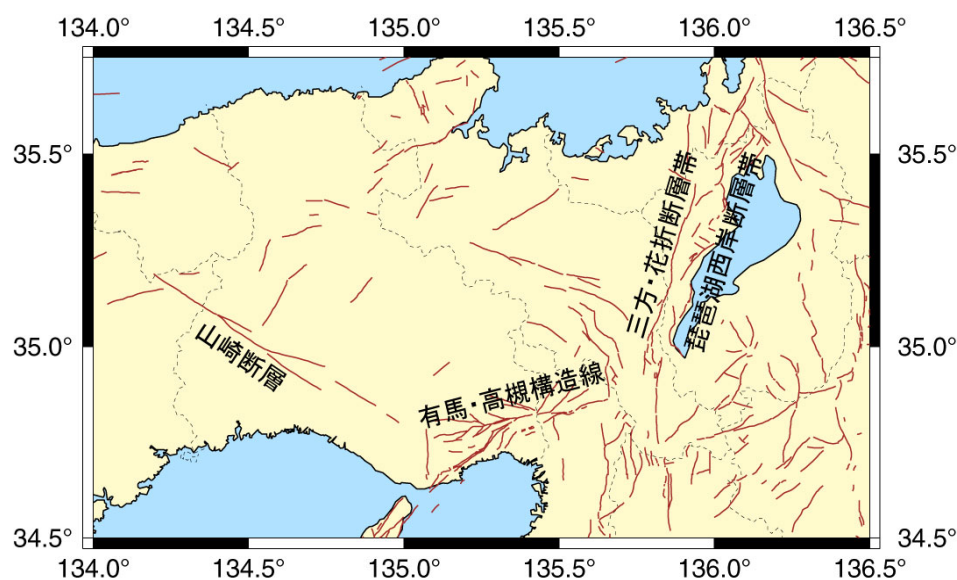


図1 近畿地方の活断層の分布。茶色の実線が活断層を示す。

これまでの研究

近畿地方においては、これまでもいくつかの研究により、三次元地震波速度構造の研究が行なわれてきた。Zhao and Negishi (1998)¹⁾は、兵庫県南部地震の合同余震観測(Hirata et al, 1996²⁾)の観測データを用いて、兵庫県南部地震の震源断層である野島断層から有馬高槻構造線にかけての地域の地震波速度構造を求めた。これによると、兵庫県南部地震の震源付近は、P波、S波とも顕著な低速度異常を示し、ポアソン比が高い領域であることが判明した。これは、この領域に流体が満たされた岩石が分布しているためと解釈され、これらの流体が破壊開始に寄与したのではないかと考えられた。また、Zhao et al. (2000)³⁾により、日本全域の三次元地震波速度構造モデルが求められ、これと内陸の大きな地殻内地震の発生場所の関連が調べられた。それによれば、1885年から1999年までの115年間に発生したM5.7からM8.0までの内陸の地殻内地震は、ほぼ普遍的に地震波速度の低速度領域の周縁部で発生していることが明らかになり、兵庫県南部地震もその例であることが指摘された。これらの低速度異常域は、沈み込む海洋性プレートの脱水反応によって生じる流体によるものと考えられ、これにより地殻の強度低下が起り、大きな地震が発生すると考えられている。最近、Okada et al. (2004)⁴⁾は、Zhao and Negishi (1998)¹⁾が使用したのと同じデータとDouble-Difference Tomographyの手法を用い、兵庫県南部地震の震源域の微細構造の再解析を行い、断層に沿う地域が低速度領域を呈しながら、かつアスペリティに相当する部分は周囲よりも高速度を呈することを明らかにした。

解析方法とデータ

今年度は、引き続き、トモグラフィ解析に頻繁に用いられており大量のデータの取り扱いに優れているZhao et al.(1992)⁵⁾のプログラムを用いて、近畿地方中央部の構造のイメージを試みた。今回は、近畿地方で強震動評価がなされている琵琶湖西岸断層帯と山崎断層の双方の構造を把握するために、解析範囲を若干東西に拡大した。これに伴い、解析に使用した地震数も可能な限り増加させた。また、観測点近傍の走時異常を補正するために、平成17年度と同様、前処理として、トモグラフィ解析の前に、観測点補正值を評価して走時データの補正も行なった。

図2に今回の解析領域を示す。グリッド間隔は水平方向0.2度、鉛直方向には5km～100kmの間隔に配置した。なお、平成17年度は、解析を2ステップに分割し、第一ステップで荒いグリッドの解析を、第二ステップでより細かなグリッドでの解析を行ったが、この方法では得られた速度パーターベーションのコントラストが若干過大になるきらいがあった。そのため、今回はそのような処置は行わず、図1に示すグリッド配置での計算結果と、これを水平方向に0.1度ずらしたグリッド配置での計算結果の双方を用いて結果のイメージを生成した。

図3には使用した地震の分布を示す。1998年から2006年までの気象庁カタログから選択した、約26,000個の地震を解析に用いた。使用したP波走時の数は約61万、S波走時は約57万である。観測点は450である。なお、解析地域には、新潟県中越地方、紀伊半島沖、鳥取県西部、兵庫県北部、伊豆諸島などで発生したM6クラス以上の地震の余震活動や群発地震活動域が含まれるため、これらの地域については適宜地震を間引いて使用した。

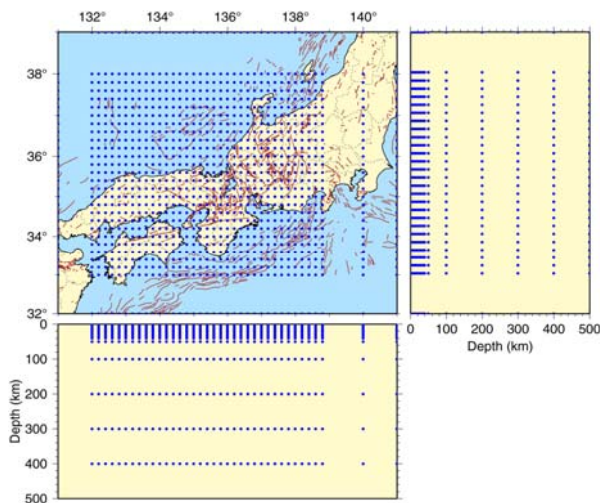


図2 解析に使用したグリッド配置。水平方向に 0.2 度、鉛直方向には 5km~100km とする。

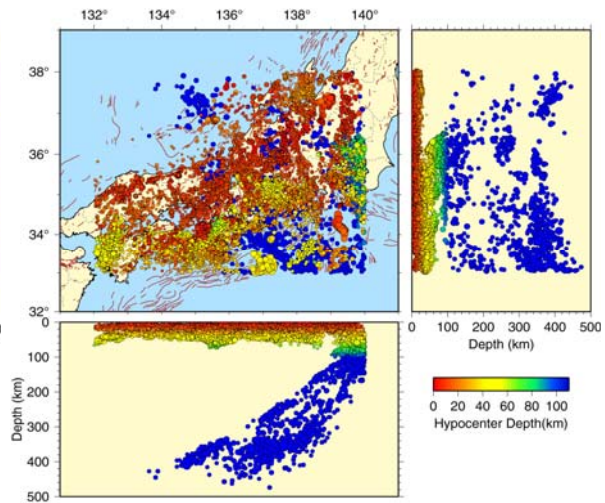


図3 解析に使用した自然地震の分布。地震数約 26,000 個、P 波走時約 61 万個、S 波走時約 57 万個を使用。観測点は 450 点。

走時データの前処理

トモグラフィ解析の前に、観測点近傍の走時異常を補正するために観測点補正値を評価して走時データを補正した。トモグラフィ解析に用いる地震のカタログの中から、深さが 100km よりも浅い地震 (図 4) について、JMA2001 の速度構造 (上野・他, 2001)⁶⁾ (図 5) を使用して hypomh プログラム (Hirata and Matsu'ura, 1987⁷⁾) による通常の震源決定を行ない、各観測点の走時残差の平均値をそれぞれの観測点の観測点補正値として走時データを補正した。

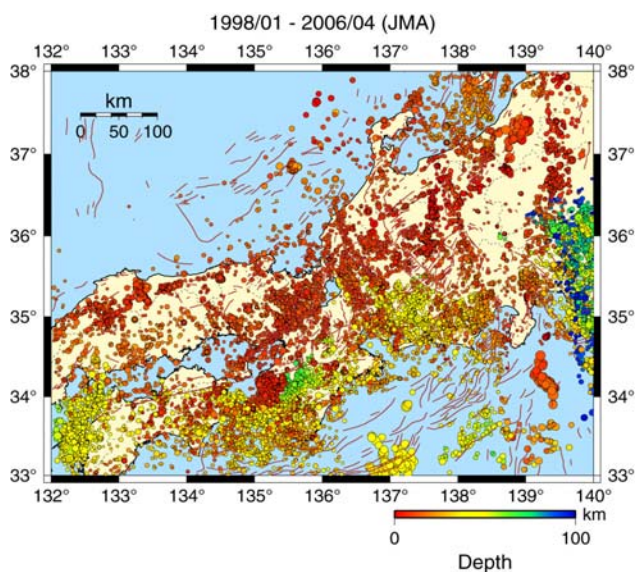


図4 観測点補正値の解析に使用した地震と観測点

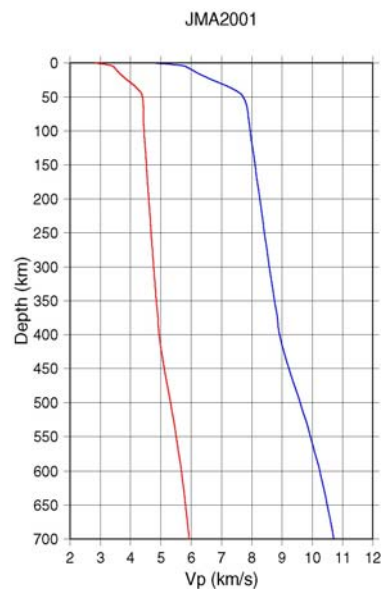


図5 地震波速度構造(JMA2001) 青が V_p を、赤が V_s を示す。

図6に各観測点での走時残差の分布を示す。図6(左)が観測点補正値を使用しない場合の震源決定に基づく、各観測点の走時残差の分布である。図6(右)は、左図に見られる各観測点の走時残差を観測点補正値として与え、走時データを補正し、再度震源決定を行なった際の走時残差の分布を示す。観測点補正を適用することにより、各観測点の走時残差が小さくなっている。

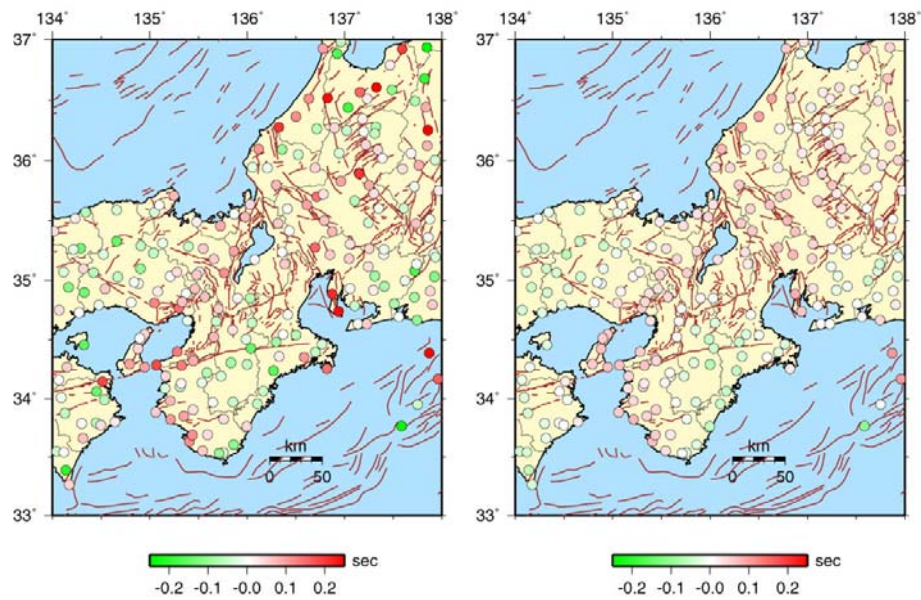


図6 各観測点の走時残差の分布
 (左) 観測点補正値無し
 (右) 観測点補正値有り

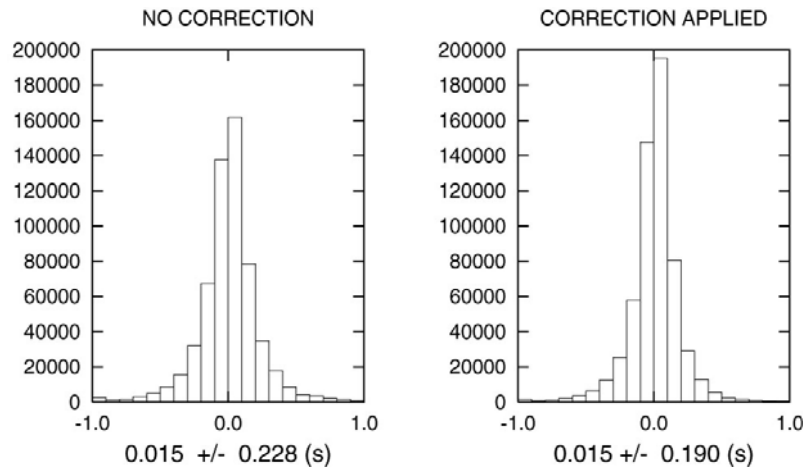


図7 全 P 波データの走時残差分布
 (左) 観測点補正無し
 (右) 観測点補正有り

また、図7に、全 P 波走時データの走時残差分布を示す。観測点補正を適用して震源決定したもの（右）の方が残差の分布が狭い範囲にかたまるようになっている。これらの結果は、観測点近傍の構造による走時異常を、ある程度補正できたためと考えられる。ここで求めた観測点補正を施した走時データを、トモグラフィ解析の入力データとする。

(c) 業務の成果

解の信頼性を見るために、近畿中央部における「チェッカーボードテスト」の結果を図8に示す。チェッカーボードテストでは、水平方向 0.2 度刻みでテストデータを置き、使用した波線データでイメージを復元できるかどうかを調べている。チェッカーボード模様が復元できている地域の解の信頼性は高い。ここでは、深さ 0 km、5 km、10 km、15km、20km、25km の結果を示す。広域・深部の地震までをデータとして使用しているが、最終的な対象地域である近畿地方中央部においては、15km から 20km 程度の深さまではある程度の解像度があると考えられる。

得られたトモグラフィ解析の結果を図9に示す。0 km、5 km、10 km、15km、20km、25km の深さの P 波および S 波の速度構造の計算結果を、速度の初期値からの揺らぎ (%) で示している。すでに報告しているように、活断層のトレースと低速度領域に良い対応が見られる地域があることがわかる。深さ 5km の結果では、有馬・高槻構造線から花折・琵琶湖西岸断層に至る地域、京都府中西部の三峠・西山断層系に至る地域の低速度領域がみてとれる。そのほかにも、山崎断層の南東部に延びる低速度域や、和歌山市付近の中央構造線に沿うものが見て取れる。さらに、兵庫県南部地震の震央付近にも顕著な低速度異常域が認められる。これらの傾向は、S 波速度構造にも認めることができる。深さ 5km で認められた傾向は、深さ 10km、15km でも引き続き認めることができ、活断層のトレース

に沿う低速度異常は、少なくとも上部地殻内部では深部まで連続しているように見える。

図 10 には、近畿地方のいくつかの活断層について、断層トレースに沿う断面の速度パーターベーション、P 波速度の絶対値、および V_p/V_s 比の分布を示したものである。対象は、琵琶湖西岸断層帯、三方・花折断層帯、有馬高槻構造線、山崎断層の 4 断層である。

(d) 結論ならびに今後の課題

本プロジェクトでは、気象庁一元化データに基づく自然地震の走時データを使用した地震波速度構造の解析を行なった。その結果、近畿地方中央部で、活断層に沿って低速度異常が見られることが判明した。この傾向は、有馬・高槻構造線をはじめとして、花折、琵琶湖西岸断層、三峠・西山断層系、山崎断層南東部などの主な活断層周辺に共通して見られている。また、表層のみならず、解の信頼性が期待される 15km 程度の深さまで共通して認められ、活断層のトレースに沿う低速度異常は、少なくとも上部地殻内部では深部まで連続しているように見える。

強震動予測のための波形計算に資するためには、速度構造の絶対値が必要である。また、地下の岩盤の物性を論じるためにも V_p と V_s の双方の値が必要である。岩盤中のクラックに流体が存在すれば地震波速度は低下するが、流体が水であるか部分熔融体であるか、さらには、クラックの aspect ratio の大きさの違い等が、 V_p/V_s 比に影響を与えるとされている(たとえば Takei, 2002⁸⁾)。これらの解釈のためには信頼性の高い速度構造の絶対値が必要となる。

しかしながら、今回の解析の印象では、速度構造の相対的なパターンは得られているが、それを絶対値に変換するためにはさらにパラメタのチューニングが必要であるように見える。特に、S 波構造は揺らぎが大きく、トモグラフィ計算に与えるパラメタの調整により、相対的なパターンは変わらないものの、揺らぎの振幅が変化する傾向が見られる。本解析では、P 波速度構造と S 波速度構造を独立に解析する手法を採っているが、S 波速度構造の絶対値の検証のため、P 波速度構造と S 波速度構造の同時インバージョンの手法を採用するなどして、速度構造の絶対値の検証が必要であると思われる。

謝辞

Dapeng Zhao 博士から、トモグラフィ解析のためのプログラム一式を提供していただいた。記して感謝申し上げます。

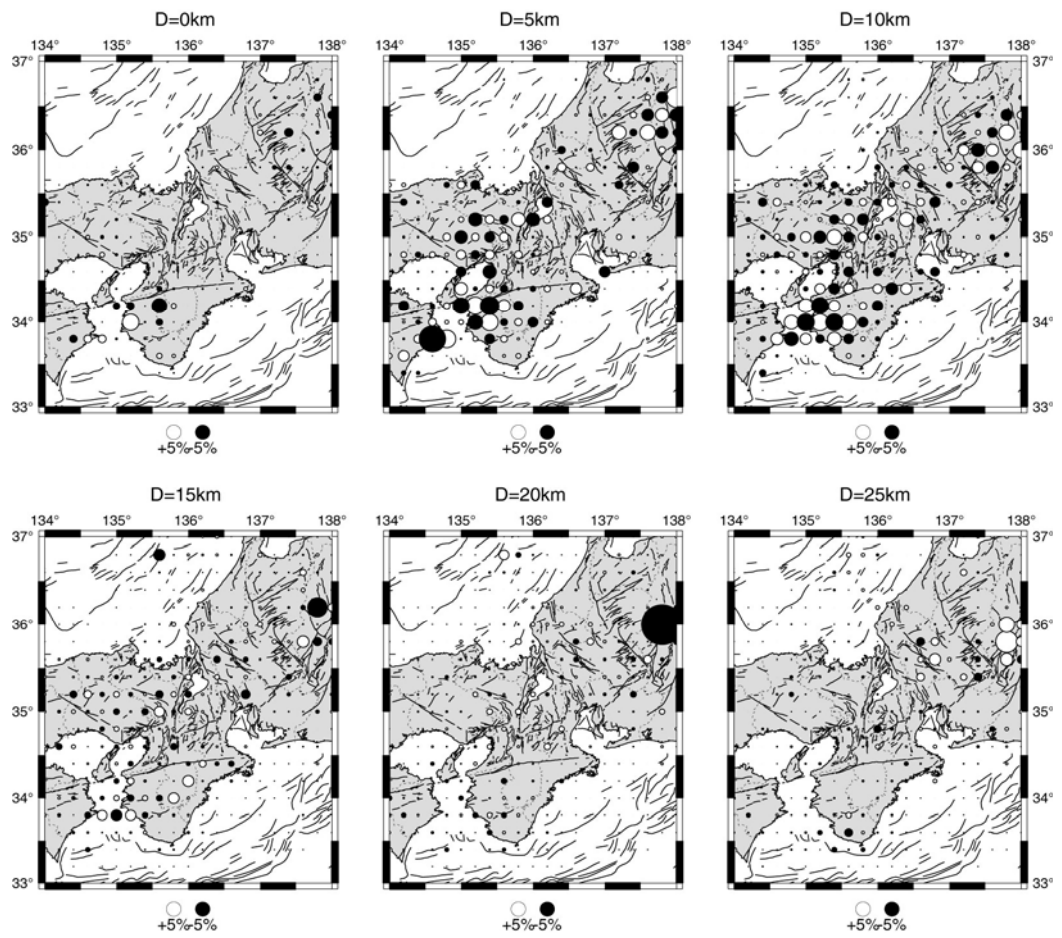


図8 チェッカーボードレゾリューションテストの結果

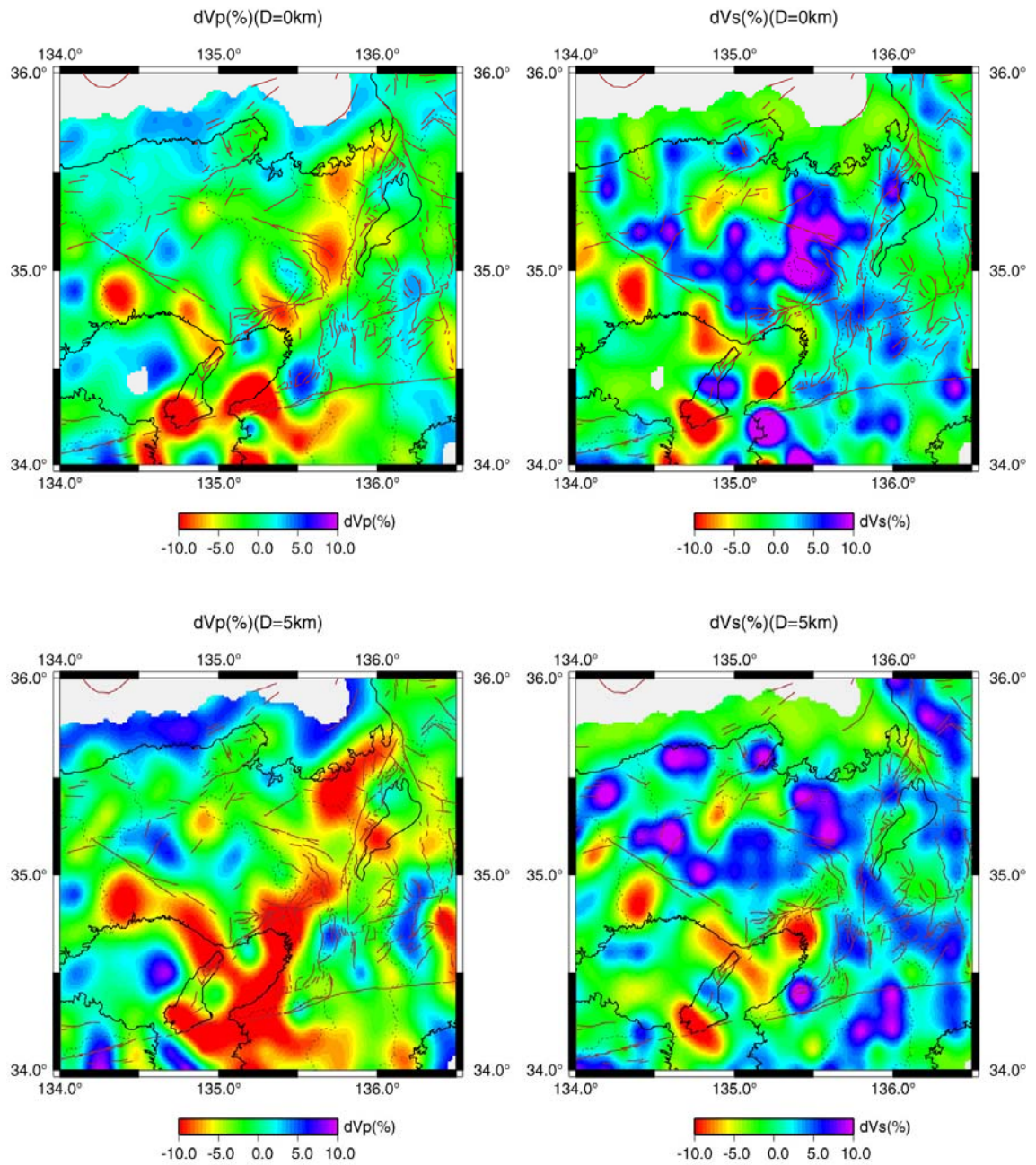


図9 (a) 得られた P 波速度構造 (左) および S 波速度構造 (右)。上段が深さ 0km、下段が深さ 5km の結果。それぞれ、各層内の平均的な速度値からの揺らぎを示す。

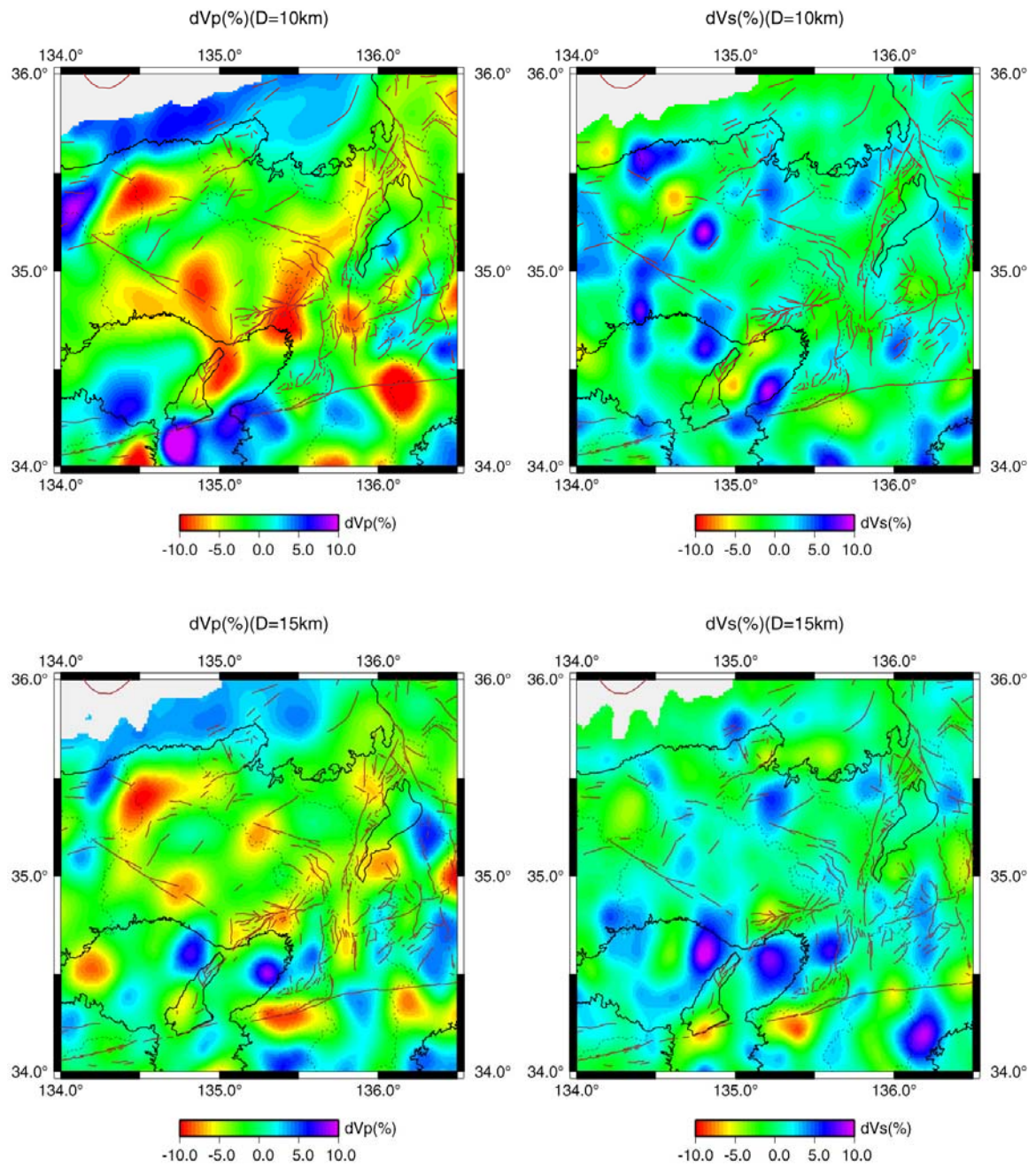


図9 (b) 得られた P 波速度構造 (左) および S 波速度構造 (右)。上段が深さ 10km、下段が深さ 15km の結果。それぞれ、各層内の平均的な速度値からの揺らぎを示す。

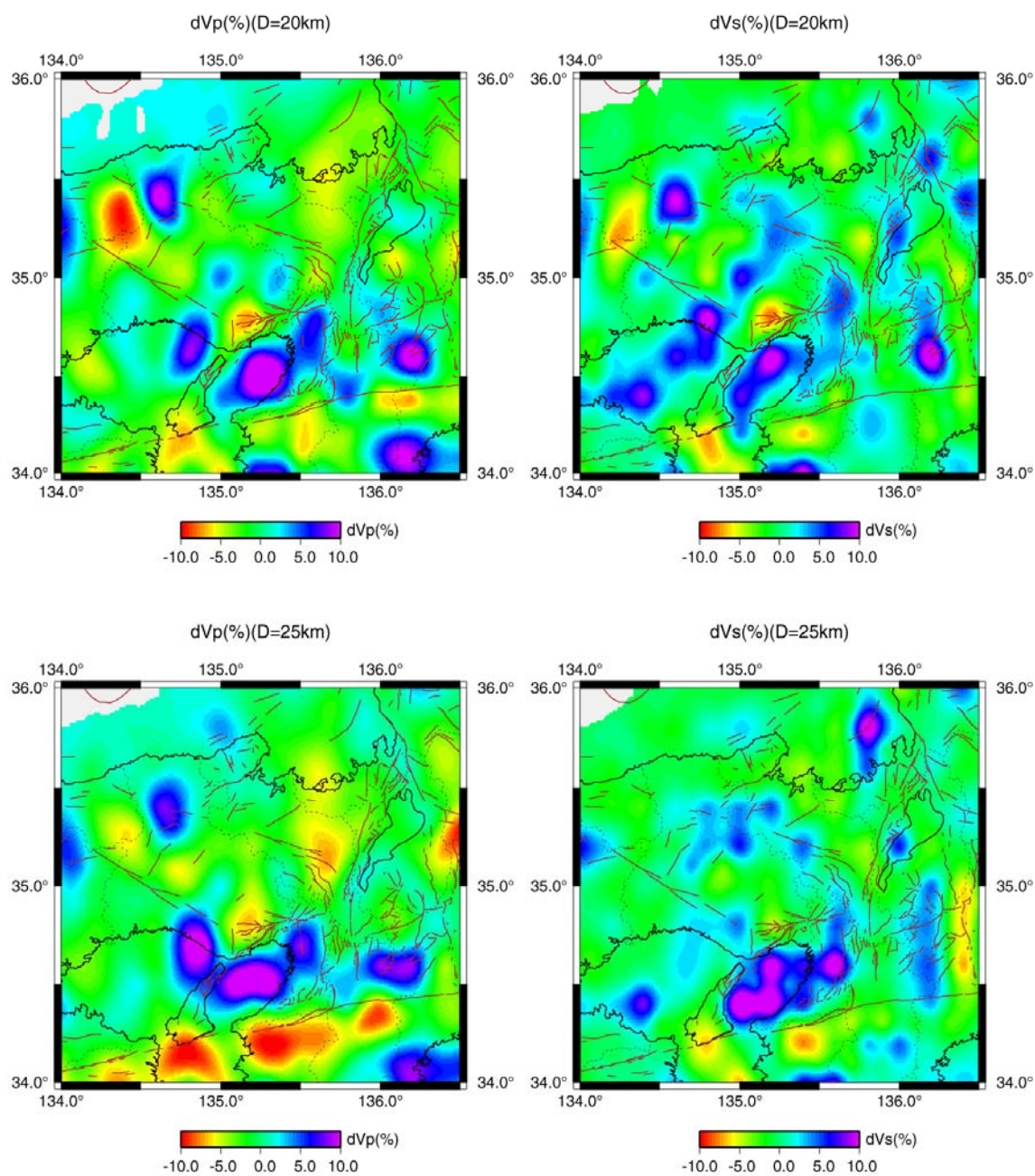


図9 (c) 得られた P 波速度構造 (左) および S 波速度構造 (右)。上段が深さ 20km、下段が深さ 25km の結果。それぞれ、各層内の平均的な速度値からの揺らぎを示す。

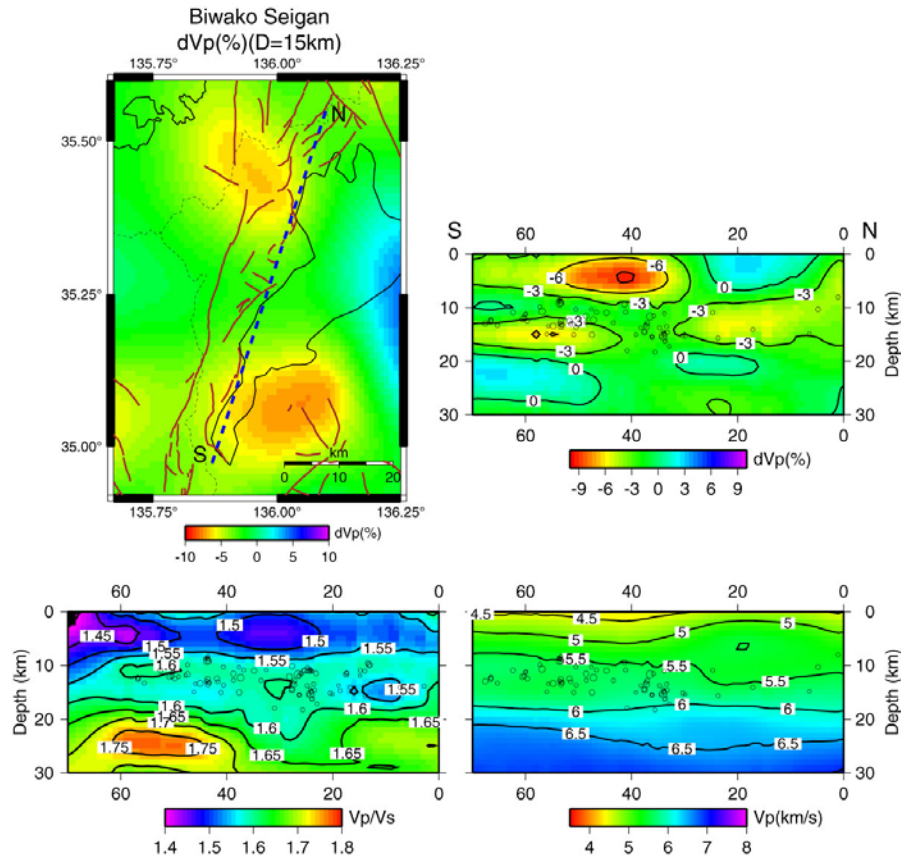


図 10 (a) 琵琶湖西岸断層帯に沿う断面。
 (左上) 断面を取ったライン。
 (右上) ΔV_p (%)。
 (右下) V_p 絶対値。
 (左下) V_p/V_s 比。

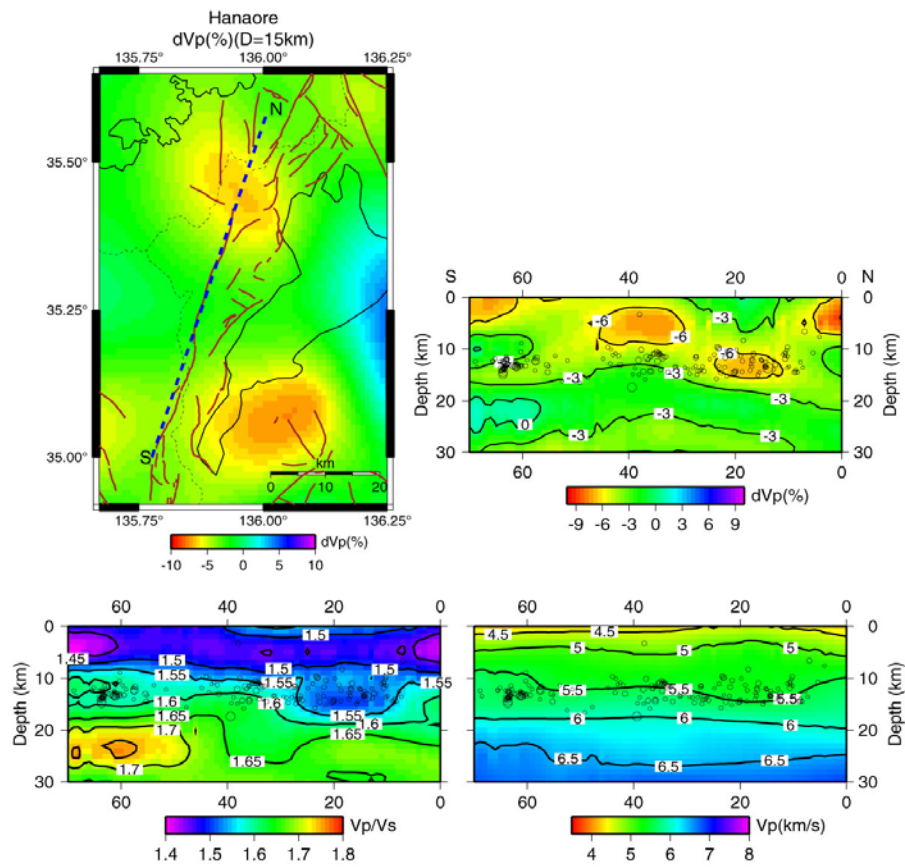


図 10 (b) 三方花折断層帯に沿う断面。
 (左上) 断面を取ったライン。
 (右上) ΔV_p (%)。
 (右下) V_p 絶対値。
 (左下) V_p/V_s 比。

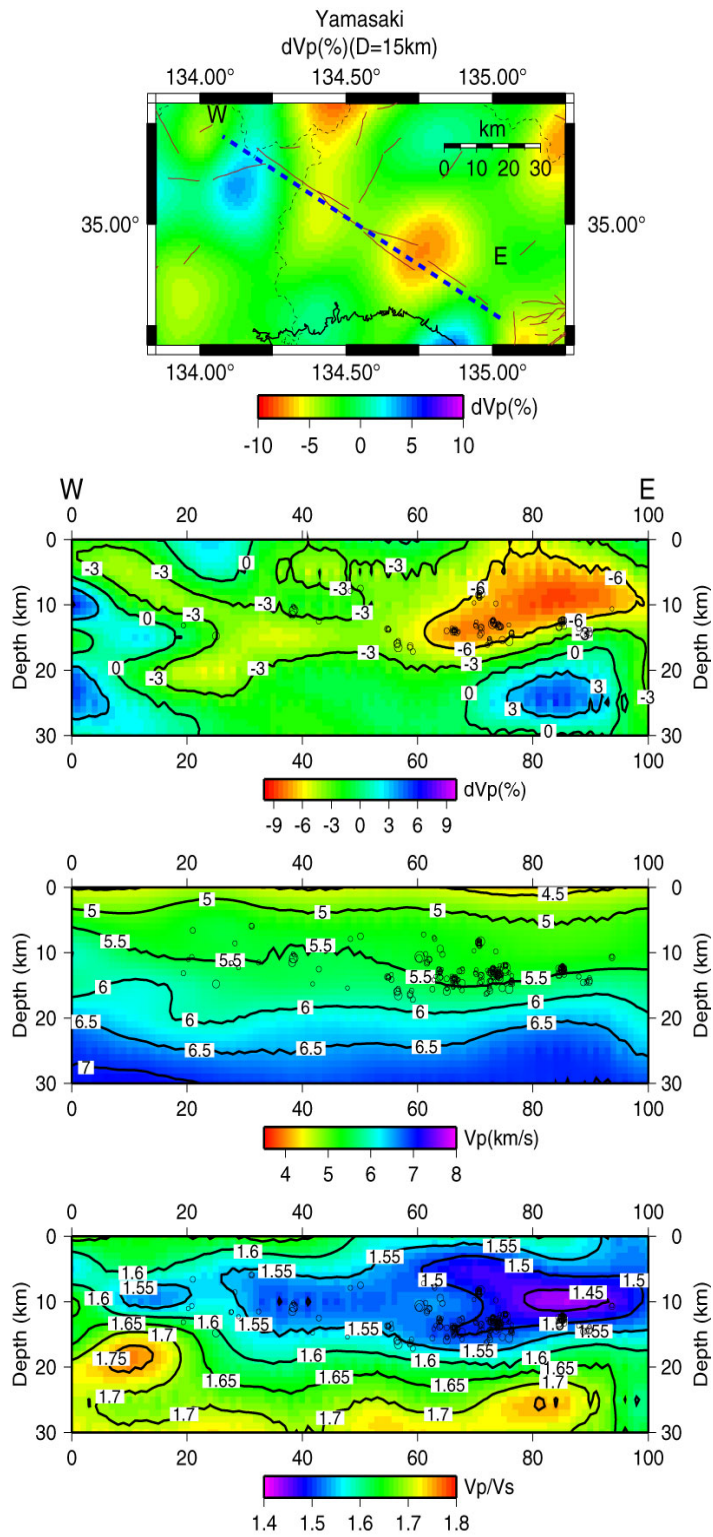


図 10 (c) 山崎断層に沿う断面。上から順に、断面を取ったライン、Delta Vp (%)、Vp 絶対値、Vp/Vs 比。

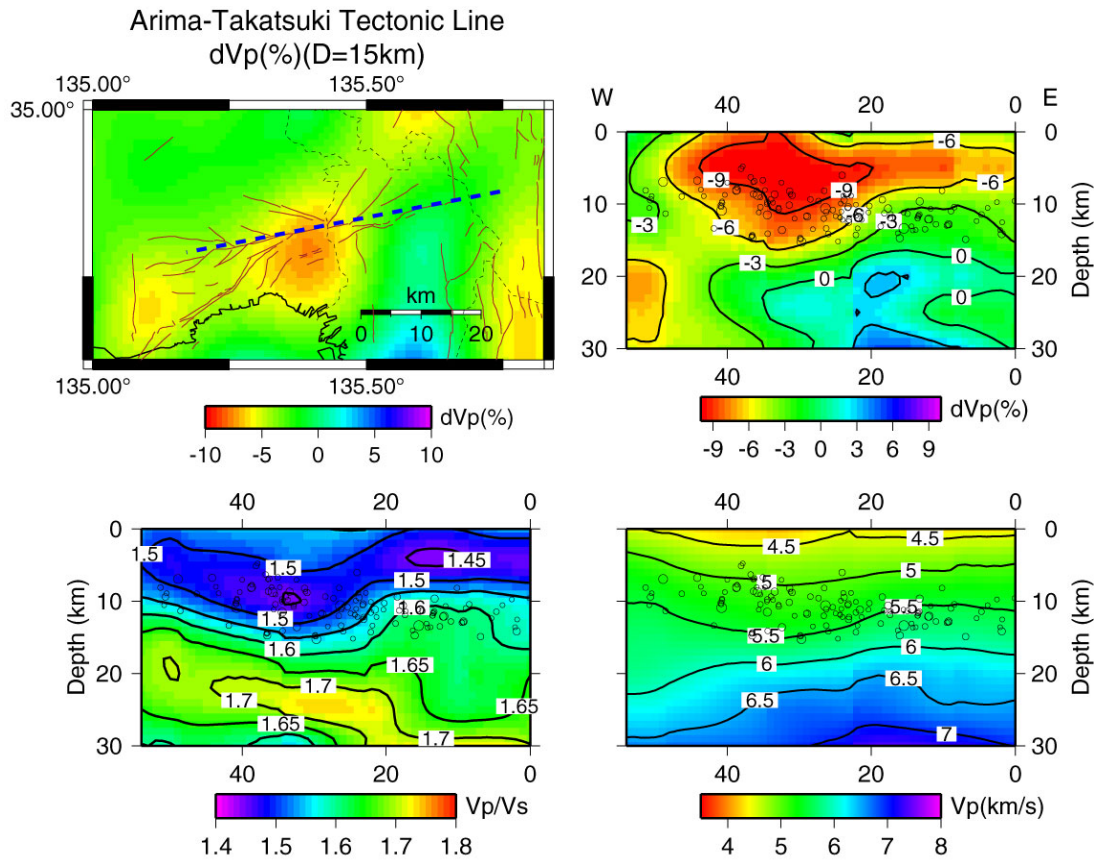


図 10 (d) 有馬高槻構造線に沿う断面。
 (左上) 断面を取ったライン。
 (右上) ΔV_p (%)。
 (右下) V_p 絶対値。
 (左下) V_p/V_s 比。

(e) 引用文献

- 1) Zhao, D. and H. Negishi: The 1995 Kobe earthquake: Seismic image of the source zone and its implications for the rupture nucleation, *J. Geophys. Res.*, 103: pp. 9967-9986, 1998.
- 2) Hirata, N., S. Ohmi, S. Sakai, K. Katsumata, S. Matsumoto, T. Takanami, A. Yamamoto, T. Iidaka, T. Urabe, M. Sekine, T. Ooida, F. Yamazaki, H. Katao, Y. Umeda, M. Nakamura, N. Seto, T. Matsushima, H. Shimizu, and Japanese University Group of the Urgent Joint Observation for the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake.: Urgent joint observation of aftershocks of the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake., *J. Phys. Earth*, 44: pp. 317-328, 1996.
- 3) Zhao, D., F. Ohchi, A. Hasegawa and A. Yamamoto: Evidence for the location and cause of large crustal earthquakes in Japan, *J. Geophys. Res.*, 105: pp. 13579-13594,

2000.

- 4) Okada, T., A. Hasegawa, J. Suganomata, D. Zhao, H. Zhang, C. Thurber: Imaging the fault plane and asperities of the 1995 southern Hyogo (Kobe) earthquake (M7.3) by double-difference tomography, *Eos Trans. AGU*, 85(47), Fall Meet. Suppl., Abstract, S53C-01, 2004.
- 5) Zhao, D., A. Hasegawa and S. Horiuchi: Tomographic imaging of P and S wave velocity structure beneath northeastern Japan, *J. Geophys. Res.*, 97: pp. 19909-19928, 1992.
- 6) 上野 寛, 島山信一, 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.
- 7) Hirata, N. and M. Matsu'ura: Maximumlikelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using nonlinear inversion technique, *Phys. Earth Planet. Interiors*, 47, pp. 50-61, 1987.
- 8) Takei, Y.: Effect of pore geometry on Vp/Vs: From equilibrium geometry to crack, *J. Geophys. Res.*, 107, pp. 2043, 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
大見士朗	近畿地方中央部の地震波速度構造	日本地球惑星科学連合 2006 年大会, S118-012	2006 年 5 月 18 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

(2-3)重力データを用いた地殻密度構造

赤松純平（京都大学防災研究所）

akamatsu@06dpri.mbox.media.kyoto-u.ac.jp

中村佳重郎（京都大学防災研究所）

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

西村敬一（岡山理科大学）

nisimura@big.ous.ac.jp

駒澤正夫（産業技術総合研究所）

komazawa-m@aist.go.jp

(a) 業務の要約

大阪盆地北東部、特に有馬-高槻構造線(ATTL)東端部の3次元重力基盤構造を高精度にモデル化した。周辺地域において精密重力測定を実施すると共に既存データの見直しを行った。深さ2km程度より浅い構造を対象とした残差ブーゲー異常図を作成し、3次元構造解析により基盤+堆積地盤1層のモデルを構築した。構造解析の主な結果は以下のようである。ATTLに伴う深さ1,000mに達する大規模な断層崖が大阪盆地の北縁を形成し、その東端部は男山の南麓に直線状に延びている。生駒断層帯の交野断層および枚方断層に伴っても急峻に基盤が沈降している。枚方断層に伴う南北走向の基盤隆起帯は円弧を描いてATTLに併走し、東端部ではATTLとの間に幅の広いグラーベン様の構造を呈する。地表活断層の位置と基盤形状の不一致、段丘や丘陵と基盤傾斜の対応など、地形・地質構造と基盤構造との関係が明瞭になった。

(b) 業務の実施方法

1) 重力測定

重力解析の対象地域は、国土地理院2万5千分の1地形図の高槻、淀、吹田、枚方図幅に対応する範囲(東経135度30分-45分、北緯34度55分-45分)の東西約22.8km、南北約18.5kmである。特にATTL東端部周辺域の構造を精密に調査するために、男山および天王山周辺域において細密重力測定を実施した。測定に使用した重力計は、Burriss #1、LaCoste #605 および #911、Scintrex CG-3M #1326 である。重力値は、京都大学宇治構内および高槻市内に設置した重力基準点からの閉塞測定により、概ね $30\mu\text{Gal}$ の精度が保たれた。測定点の位置測量は京都大学宇治構内および京都大学農学部附属農場(高槻市)に設置したGPS基準点とのDGPSによった。用いたGPSレシーバは2周波のLeica520である。基準点の座標は付近の国土地理院電子基準点からDGPSにより決定した。調査地域のジオイド高は数10cmも変化しているので、GPSによる楕円体高を標高に換算する際、各観測点のジオイド高を国土地理院のジオイド・モデル「日本のジオイド2000(gsigeome)」のメッシュデータを内挿して求めた。この結果、高さ方向も含めて重力測定点の位置決定精度は10cm以内と見積られる。このようにして得られたデータは既存の重力データとマージして重力解析に使用する。ブーゲー異常図(後述)においてコンターの特異な屈曲や単独点による目玉等、不自然な構造が予測される地点においては再測を行い既存データの

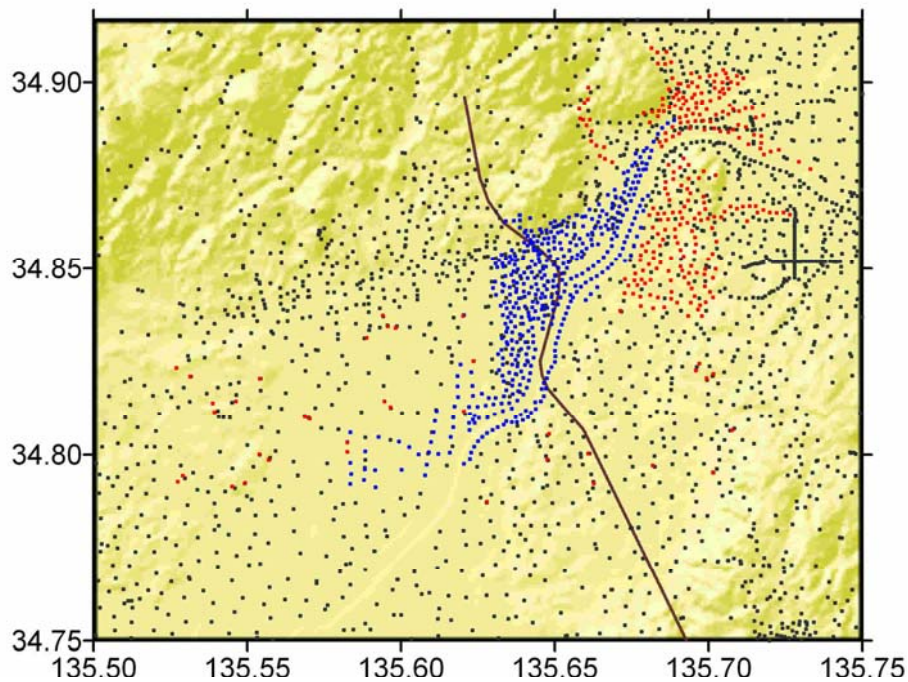


図1 重力測定点と反射法探査測線。

黒：既存データ、青：平成17年度測定、赤：平成18年度測定。

見直しを行った。図1に測定点の分布を示す。既存データを黒色(1982個)、平成17年度測定を青色(444個)、平成18年度測定を赤色(283個)で示した。また、平成16年度に実施された反射法探査の重合測線を茶色の線で示した。

2) 重力解析

解析対象区域内の重力データ 2709 個に周辺データ 6727 個（地質調査所，2000¹⁾、赤松・駒澤，2003²⁾）を加え、以下の方法でブーゲー異常図を作成した。重力値は IGSN71 に準拠させ、正規重力値は測地規準系 1980 による式を用いた。地形補正は、実際の地形を仮想扇形プリズムの集合体に近似して 60km の範囲まで、地球による曲率効果も考慮して行った。地形データは、500m 以遠は国土地理院による 250mDEM を、500m 以内は 50mDEM を用いた。地形補正とブーゲー補正には密度 2.4g/cm^3 を仮定した。近畿地方では地殻の深い構造を反映して、紀伊半島から琵琶湖にかけて重力値が小さくなる顕著な広域異常がある。この影響を除去するために上方接続フィルターを用いた。接続高度は 5km として約 2km より浅い構造を対象とした(Komazawa, 1995³⁾)。

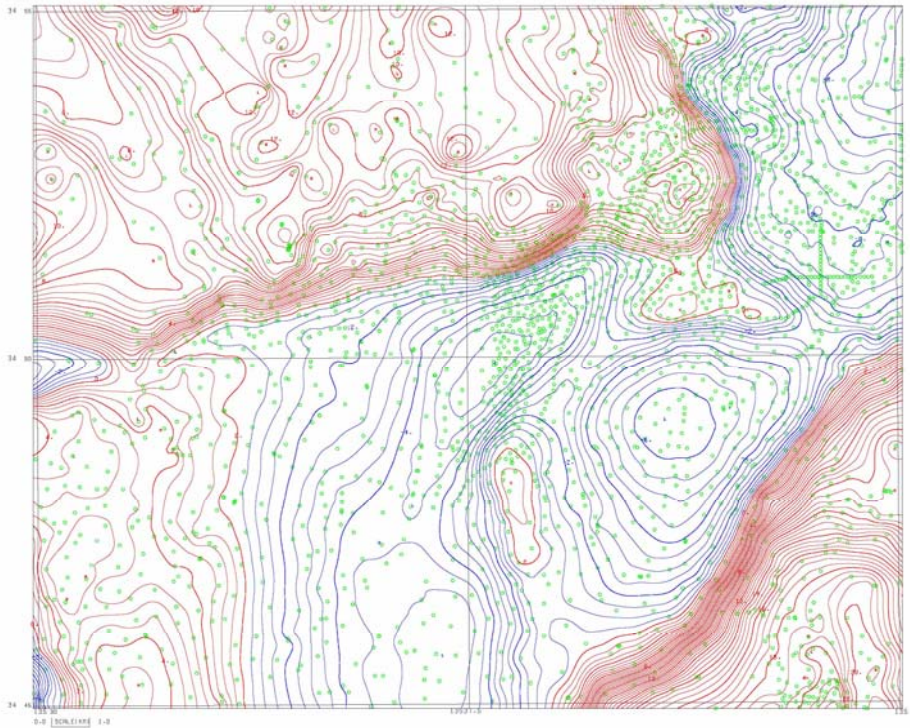


図2 残差ブーゲー異常図。仮定密度は 2.4g/cm^3 。フィルターは接続高度 5km と 50m の上方接続による。コンター間隔は 0.5mGal 。

また、地表付近の微細構造や測定時の擾乱など短波長成分を除去するために接続高度 50m の上方接続フィルターを併用した。なお、メッシュデータのグリッド間隔は 100m である。図 2 にこのようにして得られた残差ブーゲー異常図を示す。正異常が赤色の、負異常が青色のコンターで示されている。コンター間隔は 0.5mGal である。

3) 3次元基盤構造解析

図 2 の重力異常を説明する基盤構造を 2層構造(半無限+1層)に単純化してモデル化する。これは、堆積盆においては堆積層と基盤岩との密度コントラストが最も大きいことに依拠している。モデル計算には基盤の起伏の重力異常を観測値に収束させる逐次近似法(駒澤, 1984⁴⁾)を用いた。この計算では、層の密度差のほか、拘束条件(コントロールポイント)として基盤の深さを与える必要がある。密度差として 0.4g/cm^3 を用いた。またコントロールポイントとして、周辺北摂山地および生駒山系の基盤岩の高さと大阪盆地内の深層ボーリングの着岩深度(市原ほか, 1991⁵⁾)とを用いた。このようにして得られた3次元重力基盤構造を図 3 に示す。コンター間隔は 100m であり、標高で表示されている。また、地形図と比較した鳥瞰図を図 4、5 に示す。図 4 は南西方向から、図 5 は南東方向から俯瞰した図である。なお、これらの図には活断層(岡田・東郷, 2000⁶⁾)が赤線で示されている。

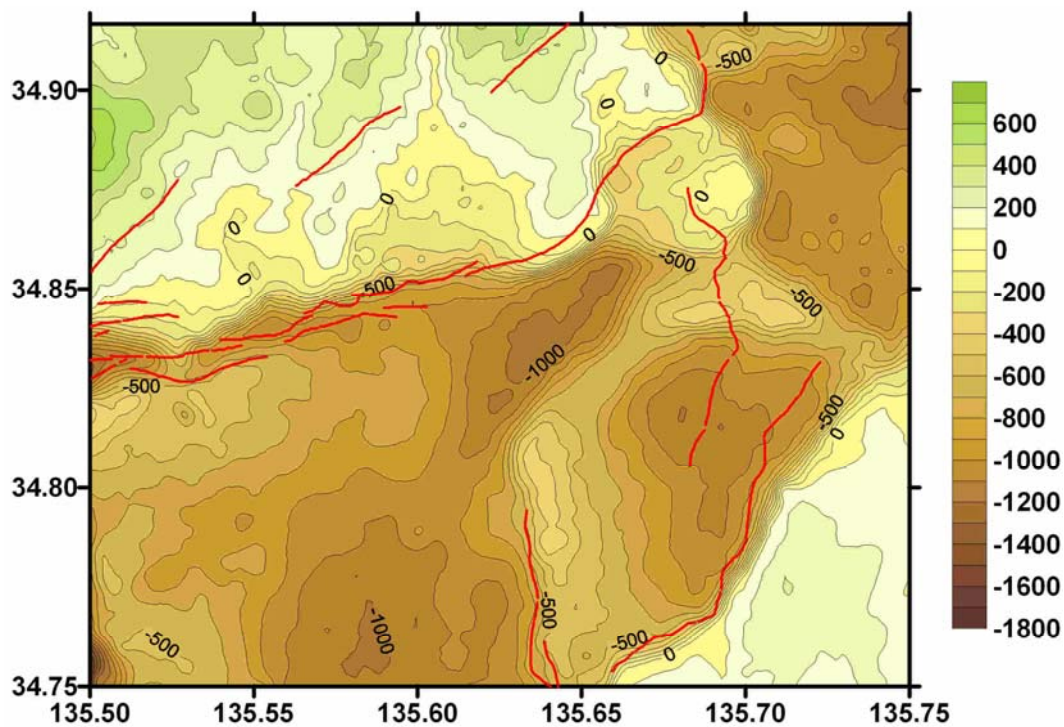


図 3 重力基盤構造図。堆積層と基盤との密度差 0.4g/cm^3 。
コンターは標高であり、間隔は 100m。
赤線：活断層(岡田・東郷, 2000⁶⁾)。

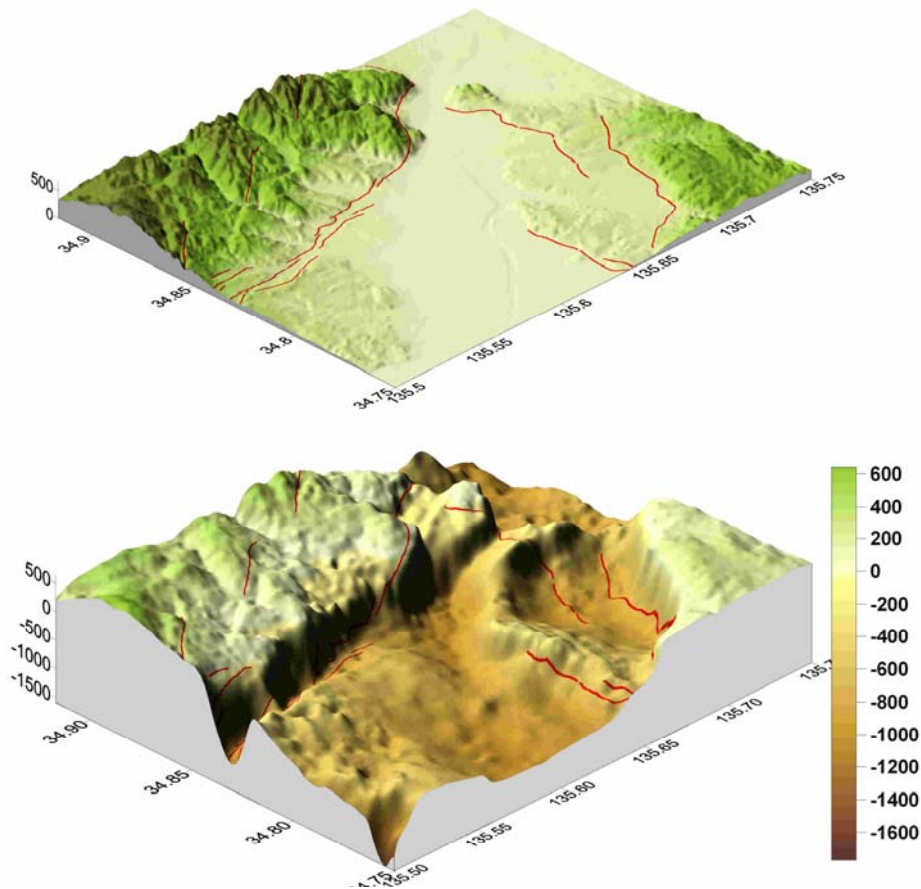


図4 南西方向から俯瞰した地形と基盤の比較。
 地形図は国土地理院 50mDEM による。
 赤線：活断層（岡田・東郷，2000⁶⁾）。

(c) 業務の成果

重力測定および重力解析により残差ブーゲー異常図が得られた(図2)。残差ブーゲー異常図の特徴は以下のようなものである。

- 1) 北摂山地、洞ヶ峠を含む男山周辺、生駒山系、枚方丘陵の北部および千里山丘陵から上町台地にいたる地域が正異常である。枚方丘陵を挟んで負異常が拡がり、東側の負異常は-6mGal に達する。北側では-5.5mGal、西側では-5mGal である。
- 2) ATTL に沿ってほぼ東北東-西南西方向に正負境界のコンターが密に並ぶ。この並びは男山の西で分岐し、東へは男山を巻いて京都盆地西縁に沿って北北西に延びる。北への分岐は天王山南麓に沿って東に向かい、京都盆地の東北東-西南西走向の宇治川断層に連なって見える。
- 3) 生駒断層系の交野断層に沿っても正負境界のコンターが密に並ぶ。
- 4) 生駒断層系の枚方断層(撓曲)に沿って正負境界のコンターが南北方向に延び、淀川流域付近で北東に向きを転ずる。

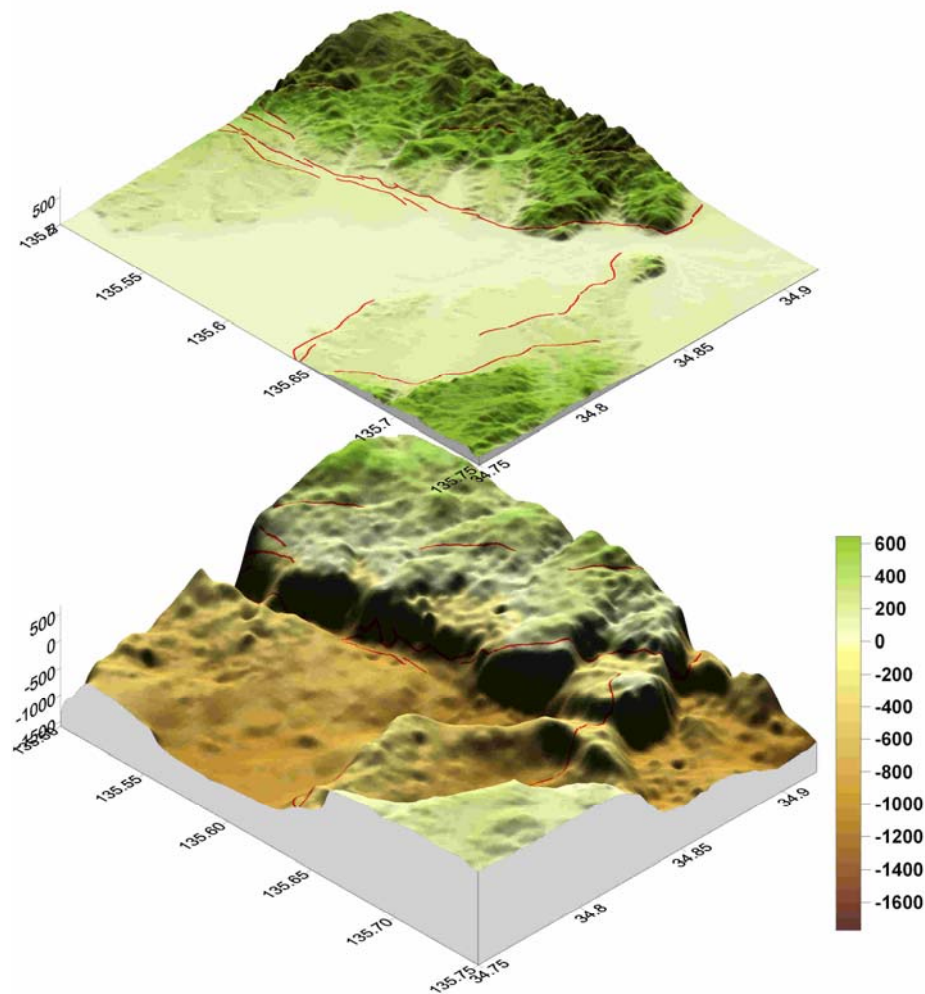


図5 南東方向から俯瞰した地形と基盤の比較。
 地形図は国土地理院 50mDEM による。
 赤線：活断層（岡田・東郷，2000⁶⁾）。

先にも述べたように残差ブーゲー異常図(図2)は深さ約 2km より浅い密度構造を反映している。この深さ範囲では堆積層と基盤岩との密度コントラストが最も大きい。基盤構造解析により得られた重力基盤は大阪盆地の基盤岩(石炭紀/ジュラ紀の丹波層群および白亜紀後期の花崗岩類)に対比できる。図3-5に示された基盤構造モデルの特徴は以下のとおりである。

- 5) ATTL に沿って基盤は急峻に最大 1,000m 程度沈降し、この断層崖構造が大阪盆地の北縁を形成している。西部の千里丘陵ではグラーベン状の陥没地形を形成している。この断層崖構造は東に直線状に延びて男山の南麓を通る。男山南麓での基盤の深さは 400m 以上である。
- 6) ATTL に沿う断層崖構造は男山の西で北方向に分岐し、天王山山麓に沿って屈曲して沈降帯を形成している。地表の ATTL 系活断層はこの基盤構造に対応している。男

山北麓の基盤の深さは 350m に達する狭い箇所があるが、男山南麓に比べ全体的に浅い。淀川はこの基盤の尾根を越えて京都盆地から大阪盆地に流入する。天王山山麓下の沈降帯は東に延びて宇治川断層に繋がるように見える。

- 7) 基盤は交野断層に沿って急峻に沈降する。沈降域は交野市から枚方市南部に広がり、最深部の深さは約 1,000m に達する。
- 8) 上記沈降域は、西~北方向に隆起し、枚方丘陵の西外縁から北外縁に湾曲した帯状の隆起帯を形成する。隆起帯での深さは浅い場所で 200m 程度である。枚方断層はこの西側斜面に対応する。隆起帯は東に延び男山の南に達する。隆起帯と ATTL 東部との間には、グラーベン様の陥没地形(最深部は深さ約 1,050m)が見られるが、千里山丘陵付近のグラーベン構造に比べ幅が広い。
- 9) 基盤は枚方丘陵の西側の広い範囲で沈降しており、最深部の深さは約 1,000m である。基盤は西~北西に向かって隆起している。
- 10) 基盤は全体として盆地の南東から北西に向けて隆起し、南東-北西断面構造は鋸歯状を呈する。逆方向にたどると、枚方丘陵では北西から南東にかけて、大阪層群下部層、Ma6 層以下の上部層、Ma6 層より上の上部層、段丘堆積層と、堆積層が下位から順に並んでいる(市原, 1993⁷⁾) が、この層序と基盤傾斜の傾向とが見事に調和している。千里山丘陵においても全く同じ傾向である。ただし、男山の南に広がる八幡丘陵では、基盤は波打って帯状に隆起しており、地表地質の層序との関係は複雑である。
- 11) 男山の西に認められている田口断層の南部の基盤は深く平坦である。

(d) 結論ならびに今後の課題

高精度細密重力測定による重力データと重力定量解析により、調査対象地域の精密な 3 次元基盤構造モデルが構築された。重力基盤構造は基盤岩に対比されると考えられる。基盤構造に関する主な結論は次のようである。

- 1) 大阪盆地北東部の盆地境界は、ATTL と生駒断層系交野断層に伴う断層崖構造により形成されている。
- 2) ATTL に沿う基盤の断層崖構造は直線状に東に延びて男山の南麓に沈降帯を形成している。また断層崖構造は男山の西で北方向に分岐し、天王山山麓に沿って屈曲する沈降帯を形成している
- 3) 生駒断層系枚方断層(撓曲)に伴って基盤の隆起帯が存在する。隆起帯は湾曲して ATTL に近接し、やや幅の広いグラーベン様の沈降域を形成している。
- 4) 盆地の基盤は、全体として南~東から北~西に向けて隆起している。交野断層北東部、枚方断層に伴う隆起帯の北および西の沈降域の深さは 1,000m 以上に達する。

今後の課題として以下のことがあげられる。

- 5) 大阪盆地および京都盆地の基盤構造は、ATTL、生駒断層系、京都盆地西縁・東縁断層系などの地震(大地震、被害地震)を伴った断層運動によって形成されたと考えられる。基盤構造と断層運動について、広域のテクトニックおよび地史的観点からの議論が必要である。

(e) 引用文献

- 1) 地質調査所(編)：日本重力 CD-ROM、2000.
- 2) 赤松純平，駒澤正夫：京都盆地の地盤震動特性と重力基盤，京都大学防災研究所年報，46-B, 929-936, 2003.
- 3) Komazawa, M. : Gravimetric analysis of Aso Volcano and its interpretation, J. Geol. Soc. Ja., 41, 17-45, 1995.
- 4) 駒澤正夫：北鹿地方の定量的重力解析について，物理探鉱, 37, 123-134, 1984.
- 5) 市原実，吉川周作，三田村宗樹，林隆夫：12万5千分の1「大阪とその周辺の第四紀地質図」，アーバンクボタ, 30, 1991.
- 6) 岡田篤正，東郷雅美(編)：近畿の活断層，東京大学出版会、2000.
- 7) 市原実(編著)：大阪層群，創元社，2大阪盆地北部(市原実・井上和俊)および3大阪盆地東部(市原実・小西哲夫)，1993.

(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
中村佳重郎，赤松純平，西村敬一，駒澤正夫	有馬・高槻構造線東端周辺の重力異常と基盤構造	日本測地学会第106回講演会	平成18年10月18日
赤松純平，中村佳重郎，西村敬一，駒澤正夫	大阪盆地北東部の3D基盤構造による地震動増幅域	第25回日本自然災害学会学術講演会	平成18年11月14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