

(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。

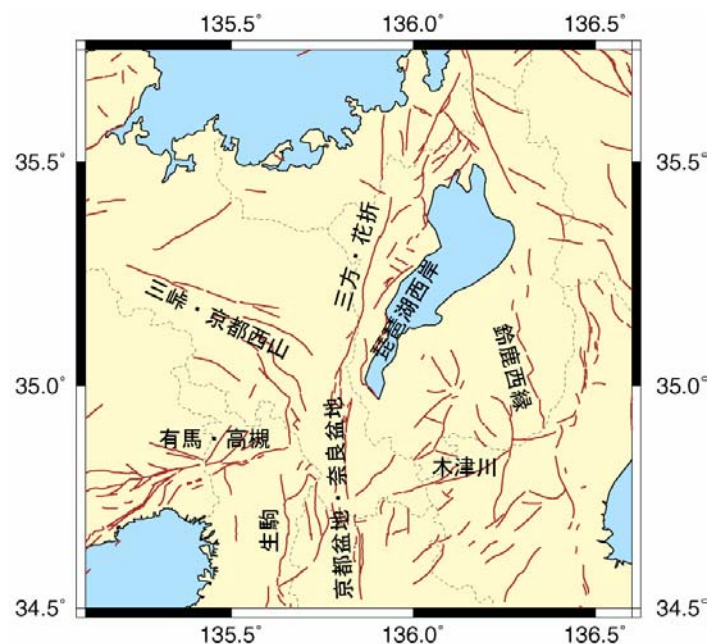


図 1：近畿地方の活断層の分布。茶色の実線が活断層を示

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われてきた。Zhao and Negishi (1998)は、兵庫県南部地震の合同余震観測 (Hirata et al, 1996) 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)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こり、大きな地震が発生すると考えられている。最近、Okada et al. (2004)は、Zhao and Negishi (1998)が使用したものと同じデータと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。

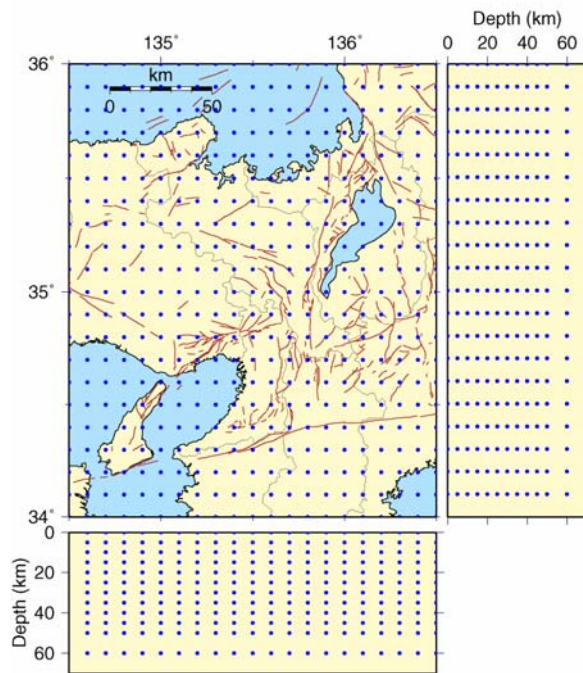


図2：解析に用いたグリッド配置。水平方向は0.2度、深さ方向は5kmから10kmのスペーシングに設定。

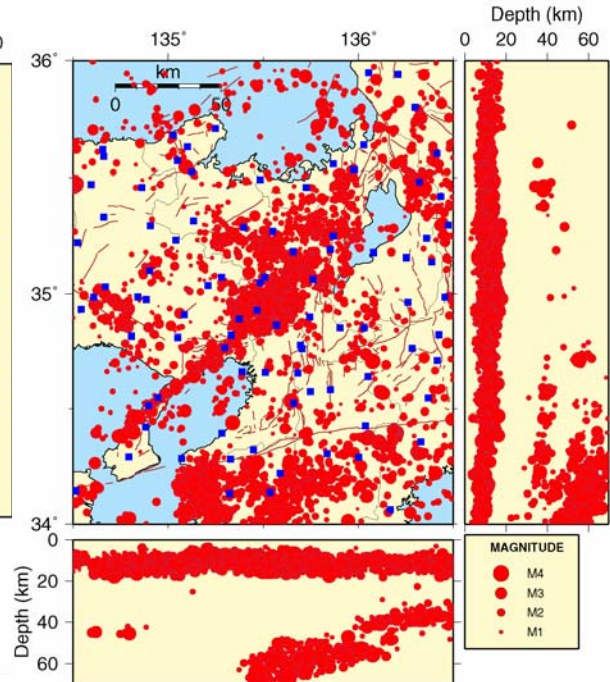


図3：解析に用いた観測点（青四角）と地震（赤丸）。地震数約6100個、観測点数93点、検測データはP、Sとも約13万個を使用。

解析方法とデータ

今回は、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)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ングを試

みた。解析領域として、近畿地方の中心部を対象とし、水平方向には0.1（約10km）、深さ方向には5kmから10kmのグリッドメッシュを設定した（図2）。データは、気象庁の一元化震源カタログを用い、対象地域に展開されている大学、気象庁、Hi-netの観測点のうちから、主にボアホールに設置されている観測点を中心に、約90観測点のデータを使用した。1998年1月から2004年10月までの地震から、P波、S波ともに10点以上の観測点において検出されている地震を、約6100個選び出した。検出データ数は、P波S波ともそれぞれ約130,000個である。図3には、使用した地震と観測点の分布を示している。

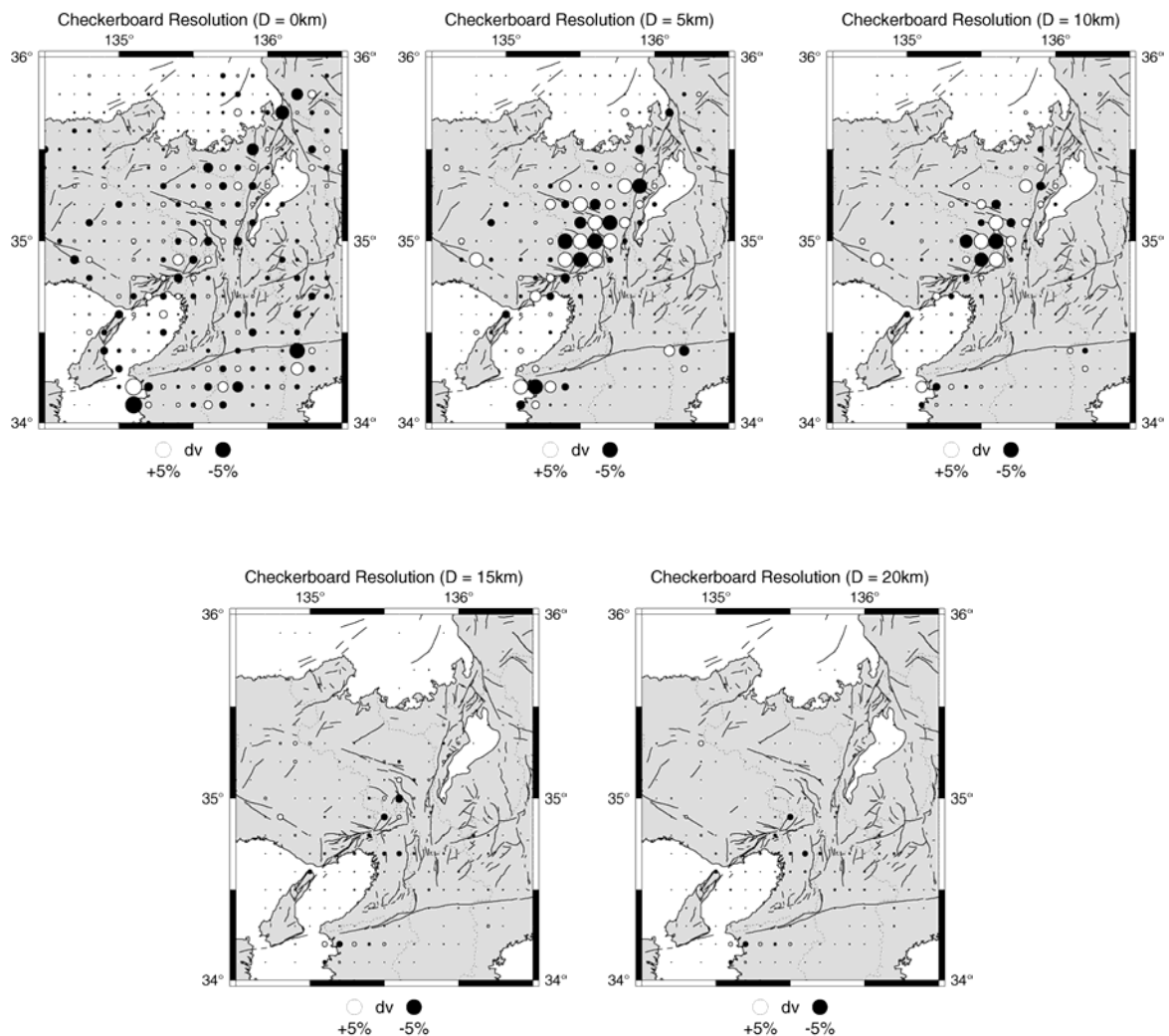


図4：チェッカーボードレゾリューションテストの結果。深さ20kmより深くなると近畿中央部においても解像度が悪くなる。

(c) 業務の成果

解析結果と考察

解の信頼性を見るための「チェッカーボードテスト」の結果を図4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0km、5km、10km、15km、20kmの結果を示す。使用した地震の深さ分布（図3参照）が主に深さ15km程度までに限られるため、これより深い部分の解像度は低い。得られたトモグラフィ解析の結果を図5に示す。これらは、0km、5km、10km、15km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（%）で示したものである。なお、S波の結果は、揺らぎの程度が大きいため、P波の結果の3倍のカラースケールで描いてある。この結果によれば、活断層のトレースと低速度領域に良い対応が見られることがわかる。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顕著である。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。

(d) 結論ならびに今後の課題

今年度の結果と来年度の課題

平成16年度は、前年度に引き続き、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、活断層に沿って顕著な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。今回の解析では、深さ0km（表層）の結果に、観測点近傍に局在した著しい速度異常は現れておらず、解析に用いる観測点を主にボアホール埋設式のものに限定したことが良い影響を及ぼしたことも考えられる。しかし、表層の影響を完全に除去できている確証はないので、観測点補正值の評価を加えて再解析を行うことも必要かと思われる。

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。

平成16年度の解析では、近畿中央部において活断層の分布と速度構造に良い相関がみられるという結果が得られた。平成17年度には、表層の速度異常の補正を加えて、速度

構造の精密化をはかると同時に、速度の絶対値を評価できる方法を検討していくことを目標とする。

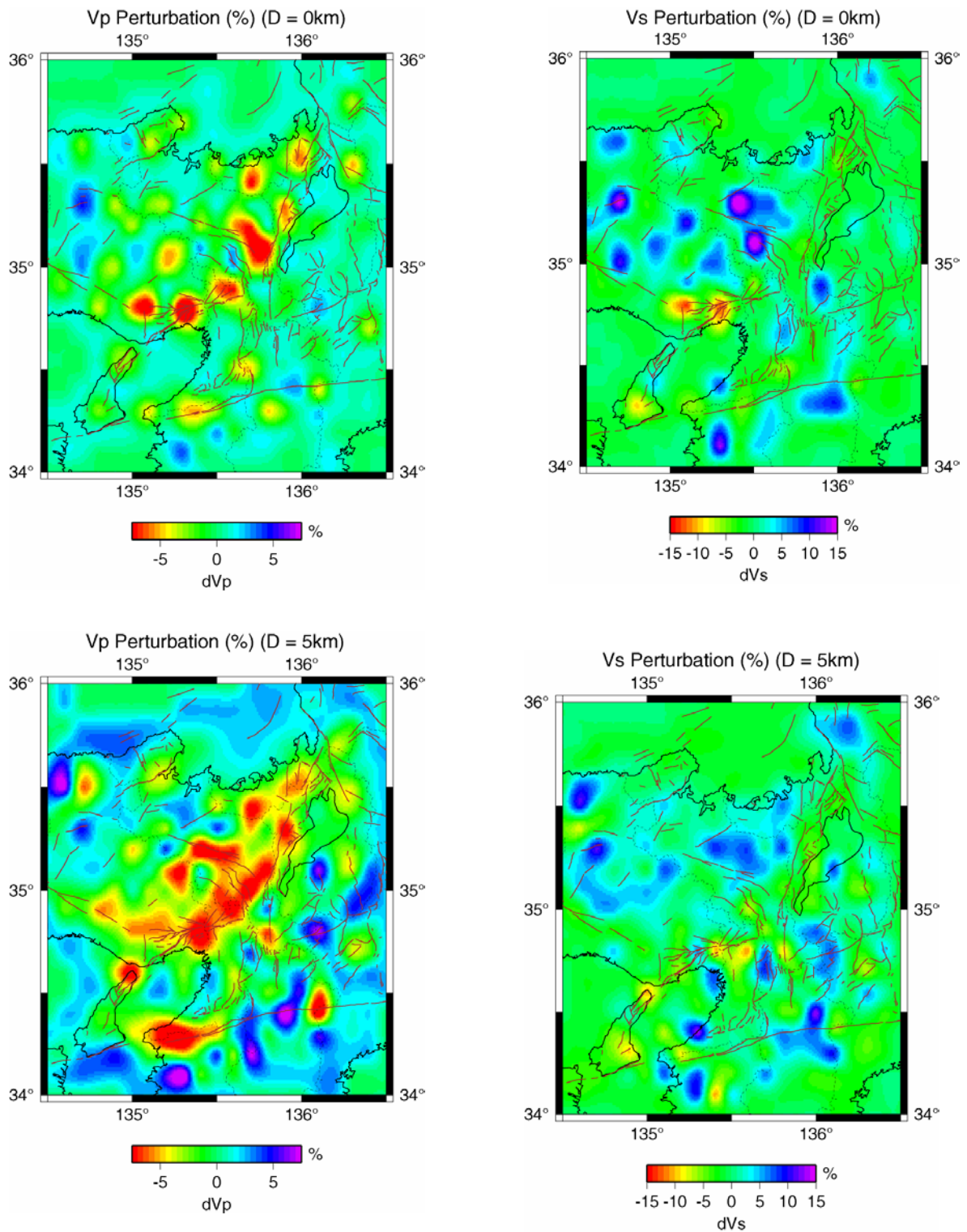


図 5: 得られた P 波速度構造(左)および S 波速度構造(右). 上段が深さ 0km, 下段が深さ 5km の結果. それぞれ, 各層内の平均的な速度値からの揺らぎを示す.

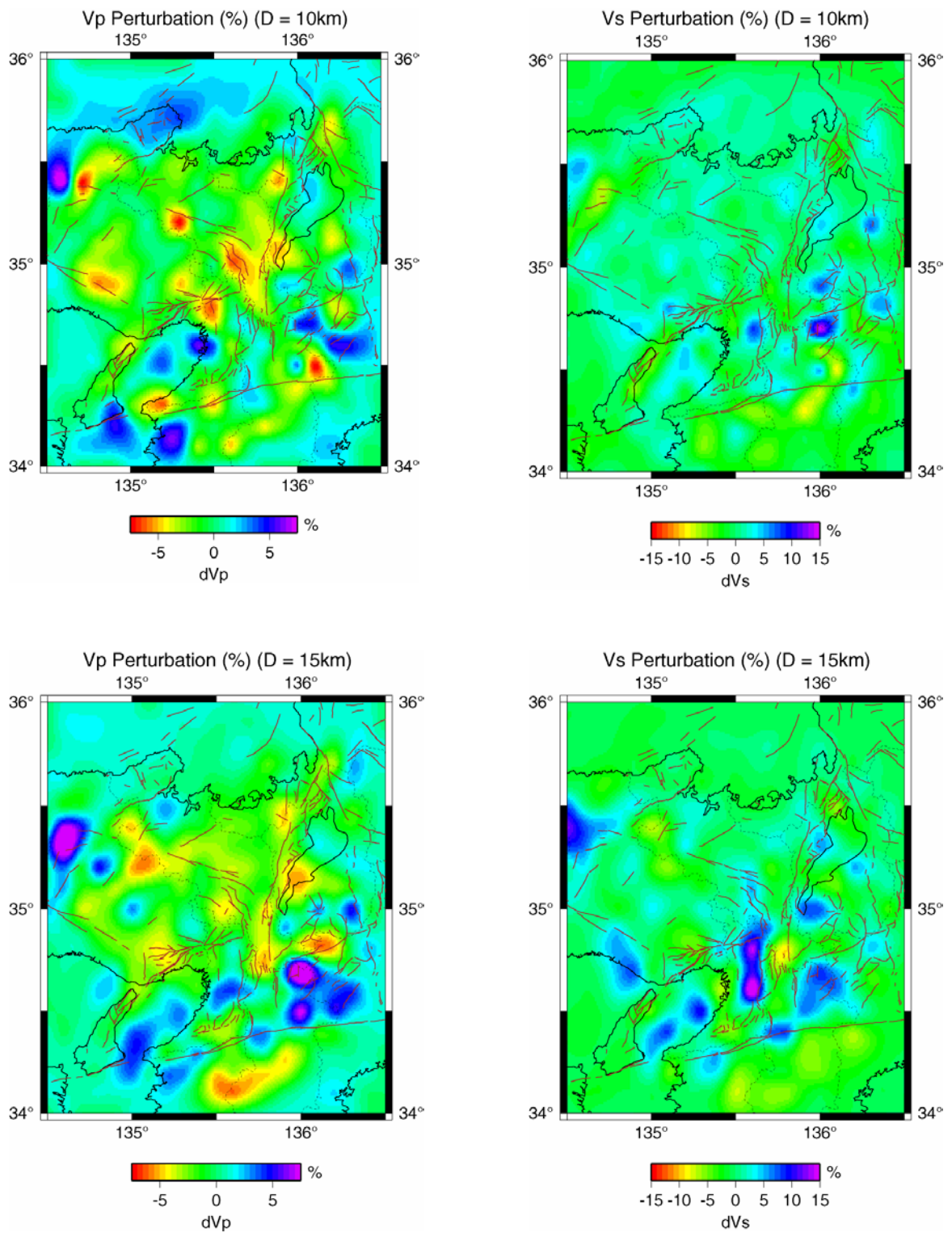


図 5 (続) : 得られた P 波速度構造 (左) および S 波速度構造 (右). 上段が深さ 10 km, 下段が深さ 15km の結果. それぞれ, 各層内の平均的な速度値からの揺らぎを示す.

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る。

(e) 引用文献

- 1) Hirata, N., Ohmi, S., Sakai, S., Katsumata, K., Matsumoto, S., Takanami, T., Yamamoto, A., Iidaka, T., Urabe, T., Sekine, M., Ooida, T., Yamazaki, F., Katao, H., Umeda, Y., Nakamura, M., Seto, N., Matsushima, T., Shimizu, H. 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.
- 2) Okada, T., Hasegawa, A., Suganomata, J., Zhao, D., Zhang, H., and Thurber, C.: 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.
- 3) Zhao, D., Hasegawa A., and Horiuchi, S.: Tomographic imaging of P and S wave velocity structure beneath northeastern Japan, *J. Geophys. Res.*, 97, pp.19909-19928, 1992.
- 4) Zhao, D. and Negishi, H.: 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.
- 5) Zhao, D., Ohchi, F., Hasegawa A., and Yamamoto, A.: Evidence for the location and cause of large crustal earthquakes in Japan, *J. Geophys. Res.*, 105, pp.13579-13594, 2000.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

1)論文発表

なし

2)口頭発表、その他

なし

(g) 特許出願, ソフトウェア開発, 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@drs.dpri.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

尾上謙介(京都大学防災研究所)

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

駒澤正夫(産業技術総合研究所)

komazawa-m@aist.go.jp

西村敬一(岡山理科大学)

nisimura@big.ous.ac.jp

(a) 業務の要約

生駒山を貫ぬく現在使用されていないトンネルを利用して、トンネル内と地表の両方で重力測定を実施した。トンネルと地表の間(約 50~400m のかぶり)の岩石による引力は地表では重力を増やし、トンネル内での測定には重力を減らす様に作用する。この性質を利用して地表の重力測定から求めたブーゲー異常とトンネル内で測定した結果得られたブーゲー異常が一致するように密度を決定した。通常の方法では山全体の平均的な密度を決定する位の精度しかないが、この方法では水平方向の密度の違いも明瞭に求めることが出来た。

(b) 業務の実施方法

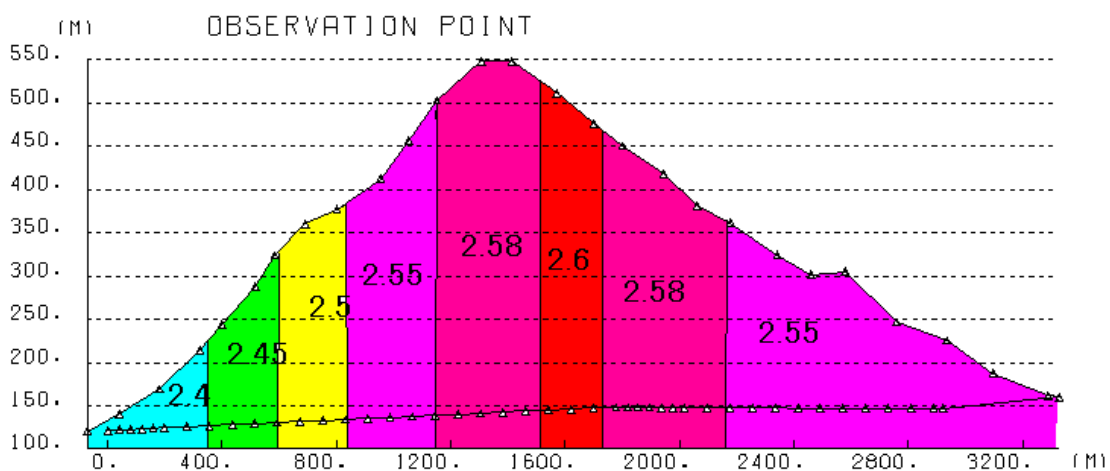
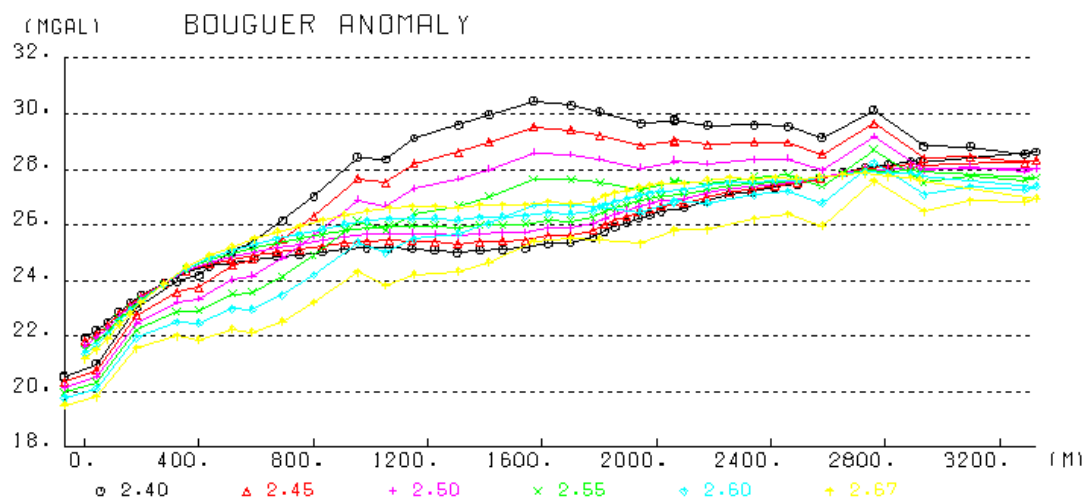
平成16年6月に、近鉄旧生駒トンネル内において40~100m間隔で総延長約3kmにわたって、また10月にこの直上と重力測定点の疎らな周辺地域1)、2)で3台の重力計を用いて稠密重力測定を実施した。重力測定点の位置は、トンネル内ではレーザー測距と水準測量により、また地表では精密GPS測量により、数cmの精度で求められている。

(c) 業務の成果

これまで実施されてこなかった新しい密度決定法で、生駒山系の密度を決定することが出来た。決定された密度は地質学的な岩石の分布とも整合性を持つ値である。GPSの有効利用によってトンネルを利用したこの方法で基盤の密度構造を決定することが他の地域でも可能になれば、それぞれの地域におけるより適切な基盤岩密度のコントロールポイントを増やすことが可能である。このことは精密な基盤構造モデルを構築する上で極めて重要なことである。

(d) 結論ならびに今後の課題

生駒山系においてGPS観測と、トンネルを有効に利用して重力測定を実施し、基盤岩の密度を精密に決定することが出来た。この方法はこれまで実施されていなかったが、GPSを有効利用することとトンネル内での重力測定が可能であれば、この空間分解能と密度の決定精度が高いこの方法は極めて有効である。精度の良い重力密度構造のコントロールポイントを増やすことによって、速度構造との整合性から密度構造モデルの誤差の範囲



が議

図1. 地表とトンネル内での重力測定から求めたブーゲー異常（上）とそれが一致する様にして求めた生駒山の密度分布

論できる。この結果は、3次元構造のための境界条件を与える。今後は、本年度実施された大深度弾性波探査の結果とクロスチェックが可能になるので、それをすることによって構造モデルの確度が高まることが期待される。

(e) 引用文献

- 1) 阪神淡路地域周辺の重力異常図 (西南日本重力研究グループ)
- 2) 日本重力 CD-ROM (地質調査所)
- 3) 横山卓雄：古大阪湾・古京都湾の自然史—自然史をひもとく—, 三和書房.
- 4) KOMAZAWA, M., K. NAKAMURA, K. NISHIMURA, J. AKAMATSU, R. SHICHI and A. YAMAMOTO, 3D gravity basement structure associated with active faults in the

middle part of Kinki District, west Japan,IUGG2003, 2003.6.

(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
駒澤正夫・ 赤松純平	重力と脈動から見た京都 盆地の基盤構造	物理探査学会第108回 (春季)学術講演会	平成15年5 月
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 次講演会	平成15年2 月
KOMAZAWA,M., K.NAKAMURA, K.NISHIMURA, J.AKAMATSU, R.SHICHI and A.YAMAMOTO	3D gravity basement structure associated with active faults in the middle part of Kinki District, west Japan	IUGG2003	平成 15 年 6 月

(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17年度の業務計画案

(3-1)

制御震源実験データについて、走時および波形データの解析を取りまとめて、活断層近傍および近畿地方の地殻構造と地震発生特性の関係をモデル化する。

(3-2)

三次元速度構造について、得られたインバージョン結果の検討、特に活断層に沿った低速度域の検証、速度の絶対値の評価を行う。

(3-3)

重力データ解析について、有馬高槻構造線等の活断層近傍における精密な基盤構造モデルを作成する。近畿圏広域の弾性波探査の結果と整合する3次元密度構造モデルを構築する。